

Aus dem Department für Nutztiere und öffentliches Gesundheitswesen der
Veterinärmedizin der Veterinärmedizinischen Universität Wien
(Departmentsprecher: Univ.-Prof. Dr. med. vet. Michael Hess)

Institut für Lebensmittelsicherheit, Lebensmitteltechnologie und Öffentliches
Gesundheitswesen

(Leiter: Univ.-Prof. Dr. med. vet. Martin Wagner, Dipl. ECVPH)

Abteilung für Hygiene und Technologie von Lebensmitteln

(Leiterin: Univ.-Prof. Dr. med. vet. Karin Schwaiger)

Eintragsquellen für Histamin und andere biogene Amine in Heimtierfutterkonserven

Diplomarbeit

Veterinärmedizinische Universität Wien

vorgelegt von

Nadine Hofmann

Wien, im Dezember 2022

Betreuer: Ao. Univ.-Prof. Dr. med. vet. Peter Paulsen, Dipl. ECVPH

Gutachterin: Dr. med. vet. Beatrix Stessl

Danksagung

„Lucem demonstrat umbra.“

Ich möchte mich bei allen Menschen bedanken, die mich auf meinem Lebensweg bis hin zum Abschluss des Studiums unterstützt haben: bei meinem Mann Andreas für sein Vertrauen in mich und seine Geduld; bei meiner Familie und meinen besten Freunden – ohne euch hätte ich es nicht geschafft.

Mein Dankeschön gilt auch meinen ehemaligen Lehrern, die immer an mich geglaubt haben. Ein ganz besonderer Dank gilt meinem Kater Odin, dem besten „Study-Buddy“, den es jemals geben wird.

Dankeschön auch an meinen Betreuer,

Ao. Univ.-Prof. Dr. med. vet. Peter Paulsen, Dipl. ECVPH für seine Unterstützung.

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung.....	4
2.	Allgemeines zu biogenen Aminen.....	7
2.1	Definition von biogenen Aminen und Polyaminen	7
2.1.1	Bildung, Vorkommen und Abbau von biogenen Aminen und Polyaminen.....	7
2.1.2	Unterschied von Monoaminen und Polyaminen	9
2.2	Biologische Wirkungen der biogenen Amine und Polyamine bei Säugetieren.....	11
2.2.1	Funktionen im Nervensystem	11
2.2.2	Wirkungen auf Herz und Kreislauf	12
2.2.3	Wirkungen im Gastrointestinaltrakt und auf den Stoffwechsel.....	13
2.2.4	Wirkungen auf das Immunsystem	14
2.3	Nebenwirkungen von biogenen Aminen und Polyaminen bei Säugetieren	15
2.3.1	Auswirkungen auf den Gastrointestinaltrakt	16
2.3.2	Einfluss auf das Wachstum von Tumoren.....	16
2.3.3	Toxizität von Histamin (und anderen ausgewählten Aminen)	17
3.	Biogene Amine als Kennzeichen mikrobiologischen Verderbs	21
4.	Gehalte von biogenen Aminen in Fisch, Fleisch und Nebenprodukten der Schlachtung	26
4.1	Höchstwerte in Lebensmitteln für den menschlichen Verzehr.....	27
4.2	Zusammenstellung typischer Heimtierfutterrezepturen	29
4.2.1	Gesetzliche Grundlagen und Definitionen	29
4.2.2	Bewusstsein für gesunde Tierernährung im Wandel der Zeit	30
4.2.3	Bedeutung und Nährwert von Schlachtnebenerzeugnissen für Heimtiere	31
4.2.4	Literaturangaben zu Amingehalten in Heimtierfutter	32
4.2.4.1	Amingehalte in zur Rohverfütterung bestimmtem Hunde- und Katzenfutter („BARF“)	33
4.2.4.2	Amingehalte in Trockenfutter für Hunde und Katzen	35
4.2.4.3	Amingehalte in Hunde- und Katzenfutterkonserven	38

4.2.5	Vergleich von herkömmlichen Heimtierfutterrezepturen.....	39
4.2.5.1	Vergleich Nassfutter für Katzen (Anhang A: Handelsübliche Futterrezepturen - Katze)	41
4.2.5.2	Vergleich Nassfutter für Hunde (Anhang B: Handelsübliche Futterrezepturen – Hund)	42
5.	Diskussion	45
5.1	Welche Rohstoffe tierischer Herkunft haben Bedeutung als Aminquelle?	46
5.2	Gibt es bei Heimtierfutter „Risikoprodukte“ für erhöhte Gehalte an Histamin und anderen Aminen?.....	48
5.3	Bedeutung biogener Amine für die Heimtierfüttererzeugung	49
6.	Zusammenfassung	51
7.	Summary.....	52
8.	Literaturverzeichnis	53
	Zitierte Rechtsschriften	60
9.	Abkürzungen	62
10.	Abbildungsverzeichnis	63
11.	Tabellenverzeichnis	64
	Anhang A: Handelsübliche Futterrezepturen – Katze.....	65
	Anhang A: Handelsübliche Futterrezepturen – Katze (fortlaufend)	66
	Anhang A: Handelsübliche Futterrezepturen – Katze (fortlaufend)	67
	Anhang B: Handelsübliche Futterrezepturen – Hund	68
	Anhang B: Handelsübliche Futterrezepturen – Hund (fortlaufend).....	69
	Anhang B: Handelsübliche Futterrezepturen – Hund (fortlaufend).....	71
	Anhang C: Gehalte biogener Amine in Muskelfleisch, Organen und Nebenprodukten der Schlachtung in mg/kg.....	73

1. Einleitung

Biogene Amine sind stickstoffhaltige Verbindungen und natürlich vorkommende Bestandteile von allen lebenden Zellen und Organismen, sodass sie in Nahrungsmitteln pflanzlichen und tierischen Ursprungs nachgewiesen werden können (Askar und Treptow 1986, Doeun et al. 2017, Muñoz-Esparza et al. 2019). Die Bildung ist abhängig von dem Vorhandensein freier Aminosäuren und Bedingungen, welche das Wachstum Decarboxylase-positiver Mikroorganismen begünstigen (EFSA 2011, Ekici und Omer 2020, Feddern et al. 2019). Somit können sie als Indikatoren für mikrobiologischen Verderb genutzt werden (Radosevich 2007, Schirone et al. 2022). Einige Amine sind besonders essentiell für Abläufe verschiedener physiologischer Funktionen im menschlichen als auch tierischen Organismus. Tab. 1 zeigt eine Übersicht ausgewählter Amine und ihrer Funktionen. Biogene Amine erfüllen weitreichende lebensnotwendige Funktionen (Abschnitt 2.2) im Herz-Kreislauf-System sowie dem Nervensystem, regulieren den Stoffwechsel und die Nahrungsaufnahme (Muñoz-Esparza et al. 2019, Saad und Tofalo 2020, Tabanelli 2020). Polyamine sind besonders für Zellwachstum und –differenzierung, sowie Apoptose relevant (Paulsen et al. 2008) und unterstützen die Entwicklung der Darmschleimhaut und des Immunsystems (Muñoz-Esparza et al. 2019).

Neben den wünschenswerten physiologischen Funktionen werden biogene Amine für die Entstehung verschiedener Krankheitsbilder verantwortlich gemacht. Eine Vielzahl von Autoren beschreiben vornehmlich für Menschen, aber auch andere Säugetiere, die Beteiligung diverser biogener Amine an der Entstehung verschiedener Pathologien (2.3). Dazu zählen einerseits Tumorerkrankungen durch die Förderung malignen Zellwachstums (Bardocz 1995, Handa et al. 2018, Kalač 2014, Soda 2011) und andererseits psycho- und vasoaktive Reaktionen (Paulsen et al. 2000). Im Rahmen einer Intoxikation durch unzureichende Enzymaktivität, oder einer überschießenden Immunantwort. In Zusammenhang mit einer Allergie oder Intoleranz stellt Histamin in der Humanmedizin das bekannteste biogene Amin dar (Paulsen et al. 2000). Die Futtermittelallergie (FA) und Futtermittelintoleranz (FI) werden auch für Hunde und Katzen beschrieben, sind jedoch schwer zu differenzieren (Craig 2019). In der Literatur wird beim Menschen nach dem Konsum erhöhter Mengen Histamin über Hautrötungen, Kopfschmerzen, Blutdruckschwankungen, Übelkeit, Erbrechen, Diarrhoe mit abdominalen Krämpfen sowie Hitzegefühl und Atembeschwerden als Symptome berichtet (Feddern et al. 2019, Paulsen et al. 2000, Schnedl et al. 2019). Andere Amine können diese Symptome verstärken (Bardocz 1995, Omer et al. 2021, Silla-Santos 1996). Aufgrund der toxischen Wirkungen wurden deshalb sowohl empfohlene Grenzwerte für den Konsum biogener Amine für Hunde und Katzen – in

dieser Arbeit werden sie folgend auch als Heimtiere bezeichnet - sowie rechtlich bindende Grenzwerte für den Menschen eruiert. Bisher existieren wenige wissenschaftliche Arbeiten zu den Auswirkungen von biogenen Aminen auf Heimtiere. Dies ist auf eingeschränkte Methoden im Rahmen einer objektiven Bewertung von Symptomen zurückzuführen. Wenn die Beurteilung möglicher Symptome je nach Untersucher:in subjektiv erfolgt, ist die Aussagekraft zu hinterfragen und eine Vergleichbarkeit mit anderen Studien nur bedingt gegeben. In Verbindung mit dem Verzehr von histaminreichen Fischen (bspw. Makrelen, Thunfisch, Lachs) konnten in einer Studie von Guilford et al. (1994) 30 Minuten nach dem Verzehr Erbrechen, Diarrhoe und Salivation bei Hunden und Katzen beobachtet werden. Die toxikologische Wirkung von Histamin ist von mehreren Faktoren (z. B. Alter, Gesundheitsstatus) abhängig und es existieren tierartliche Unterschiede. Juvenile, alte und kranke Tiere sind nach der Aufnahme von biogenen Aminen besonders gefährdet (Altafini et al. 2022). Bereits bestehende Erkenntnisse, die durch Publikationen im Literaturreview bereits vorliegen sind: als mögliche Eintragsquelle von biogenen Aminen können für die Herstellung von Alleinfuttermitteln für Hunde (Anhang B: Handelsübliche Futterrezepturen – Hund) und Katzen (Anhang A: Handelsübliche Futterrezepturen – Katze) demnach die Rohstoffe Fisch, Fleisch und Schlachtnebenprodukte genannt werden. Es wurden – sofern in der Literatur angegeben – die Amingehalte der verschiedenen Inhaltsstoffe tabellarisch angeführt notiert (Anhang C: Gehalte biogener Amine in Muskelfleisch, Organen und Nebenprodukten der Schlachtung in mg/kg. Falsches Handling und schlechte Qualität der Rohstoffe prädestinieren zu mikrobieller Kontamination und begünstigen folglich die Bildung biogener Amine (Meeker und Meisinger 2015, Radosevich 2007). Die Möglichkeit der Berechnung der Amingehalte in Fleisch und Fisch wurden in Zusammenhang mit der Qualität der jeweiligen Rohstoffe angeführt, welche für die Herstellung von Heimtierfutter verwendet werden.

Diese Diplomarbeit beschäftigt sich mit der Fragestellung, welche Komponenten für die Herstellung von Nassfutter für Hunde und Katzen eine zentrale Eintragsquelle für biogene Amine darstellen. Im praktischen Teil dieser Arbeit wurden 54 Dosen bzw. Schalen Alleinfuttermittel für Hunde und Katzen subjektiv aus der Sicht einer Tierbesitzer:in (verwendete Rohstoffe, sonstige Komponenten) im Rahmen verschiedener Preiskategorien verglichen (Anhang A: Handelsübliche Futterrezepturen – Katze Anhang B: Handelsübliche Futterrezepturen – Hund. Es wurde versucht, Aussagen über mögliche Quellen für biogene Amine anhand der quantitativen Mengenangaben und der Qualität der verwendeten Rohstoffe (insbesondere Muskelfleisch oder Schlachtnebenprodukte) innerhalb der Preisklassen zu treffen. In diesem Zusammenhang trat die Fragestellung auf, ob die Verfütterung teurer,

mittelpreisiger oder günstiger Futtermittelprodukte möglicherweise das Risiko toxischer Auswirkungen biogener Amine beinhalten.

Ein Eintrag von biogenen Aminen in dem Futter enthaltener Inhaltsstoffe Gemüse, Milch- und Weizenprodukte, Obst und Kräuter wurde in dieser Arbeit nebensächlich behandelt. Der Fokus wurde auf Fleisch, Fisch und tierische Nebenprodukte gelegt.

2. Allgemeines zu biogenen Aminen

2.1 Definition von biogenen Aminen und Polyaminen

Bei biogenen Aminen handelt es sich um organische Basen und stickstoffhaltige Verbindungen mit einem niedrigen molekularen Gewicht. Amine werden sowohl über Lebensmittel (Weiß 2009) aufgenommen, als auch über den Stoffwechsel lebender Organismen gebildet und metabolisiert (Ercan et al. 2013, Jastrzab et al. 2016). Es können nach der Anzahl der Aminogruppen Mono-, Di- und Polyamine unterschieden werden (Beutling 1996) und nach der Art der Synthese biogene Amine und natürliche Polyamine (Bardocz 1995). Nach der Struktur ihrer Moleküle können biogene Amine in aliphatische, heterozyklische respektive aromatische Amine gruppiert werden (Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit 09.04.2020). Einer Vielzahl von biogenen Aminen werden unter anderem breit gefächerte physiologische Funktionen zugeschrieben (Bardocz 1995). Einige erlauben als Fäulnisindikatoren Aussagen über die Lebensmittelsicherheit (Schirone et al. 2022).

2.1.1 Bildung, Vorkommen und Abbau von biogenen Aminen und Polyaminen

Biogene Amine werden vornehmlich durch die Decarboxylierung von Aminosäuren (Tab. 1) und den Abbau von stickstoffhaltigen Verbindungen gebildet.

Tab. 1: Biogene Amine und ihre biologischen Funktionen

Aminosäure	Biogenes Amin	Biologische Funktionen
Serin	Ethanolamin	Vorstufe von Phosphatidylethanolamin
Threonin	Aminopropanol	Baustein von Vitamin B ₁₂
Asparaginsäure	β-Alanin	Baustein in Pantothensäure
Glutaminsäure	γ-Aminobuttersäure	Neurotransmitter
Cystein	Cysteamin	Baustein in Pantothensäure
Methionin	Propylamin (Methamin)	Baustein in Spermin und Spermidin
Arginin	Agmatin	Vorstufe von Putrescin
Ornithin*	Putrescin	Vorstufe von Spermin und Spermidin; Baustein in Ribosomen
Lysin	Cadaverin	Baustein in Ribosomen
Histidin	Histamin	Mediator immunologischer Reaktionen
Tyrosin	Tyramin	Steigerung von Blutdruck und Uteruskontraktion
3,4-Dihydroxyphenylalanin (Dopa)**	Dopamin	Neurotransmitter; Vorstufe von Noradrenalin und Adrenalin
Tryptophan	Tryptamin	Hormon (?); Produkt von Mikroorganismen in Darm und Niere
5-Hydroxytryptophan	Serotonin	Neurotransmitter; Vorstufe von Melatonin

* keine proteinogene Aminosäure, entsteht aus Arginin
** keine proteinogene Aminosäure, vor Decarboxylierung erfolgt Hydroxylierung im Ringsystem

Quelle: In Anlehnung an (Weiß 2009)

Decarboxylasen sind Enzyme, die sich in tierischen, mikrobiellen und pflanzlichen Geweben finden (Beutling 1996). Jede Zelle eines Organismus ist in der Lage, Polyamine zu bilden (Silla-Santos 1996). Besonders die Leberzellen sind durch komplexe Reaktionsmechanismen wesentlich an der Synthese und der Metabolisierung von Aminosäuren beteiligt (Pschyrembel Fachredaktion Medizin 2021), somit kann in diesem Organ mit einer intensiven Aminentwicklung gerechnet werden (Beutling 1996, Muñoz-Esparza et al. 2019). Die Eigensynthese des Körpers (Coruzzi et al. 2001) ist für die Vielzahl an biologischen Prozessen (Abschnitt 2.2), an denen sie beteiligt sind, jedoch nicht ausreichend, sodass Polyamine über Nahrungsmittel zugeführt werden müssen (Askar und Treptow 1986, Silla-Santos 1996, Weiß 2009). Diese werden hauptsächlich über den Dünndarm absorbiert, während der Dickdarm mit seiner Darmflora in der Lage ist, Polyamine zu bilden (Muñoz-Esparza et al. 2019). Es wird zudem davon ausgegangen, dass Zellen in der Lage sind, Polyamine zu speichern und bei Bedarf abzugeben (Silla-Santos 1996). Mitte des 20. Jahrhunderts konnte nachgewiesen werden, dass bestimmte Familien und Gattungen von Bakterien (Tab. 2) – vor allem *Enterobacteriaceae* und andere gramnegative Keime – ein gesundheitlich bedenklich hohes Ausmaß an Histamin durch die Decarboxylierung von Histidin bilden können. Einer Reihe von Mikroben (bspw. *Enterobacteriaceae*, *Pseudomonas*, *Lactobacillus*) wird die Funktion als

Decarboxylasebildner zugeschrieben (Calzada et al. 2013). Die Bildung biogener Amine durch mikrobielle Decarboxylasen ist abhängig von der Verfügbarkeit freier Aminosäuren (für Polyamine z. B. Methionin, Arginin und Ornithin), optimalen Wachstumsbedingungen und dem Auftreten von Mikroorganismen mit ausreichender Decarboxylierungsfunktion (Calzada et al. 2013, Kalač 2014, Meeker und Meisinger 2015, Stadnik und Dolatowski 2010). Dementsprechend können biogene Amine während einer Vielzahl von Prozessen im Zusammenhang mit Aminosäuren entstehen, sodass bei der Herstellung, Verarbeitung und Lagerung von eiweißreichen Lebensmitteln die Bildung von Aminen erwartet werden kann (Askar und Treptow 1986). Amine kommen daher in verschiedenen Konzentrationen in nahezu allen Nahrungsmitteln vor, insbesondere in Milch-, Fleisch- und Fischprodukten (Buyukuslu 2015, Feddern et al. 2019, Silla-Santos 1996). Dementsprechend muss die Zufuhr von biogenen Aminen über Nahrungsmittel berücksichtigt werden, ebenso der endogene Metabolismus über die Leber und die mögliche Synthese im Darm: im Kot von Hunden konnte nach Verfütterung verschiedener Proteinquellen ein erhöhter Gehalt an biogenen Aminen nachgewiesen werden (Zentek und Pietrzak 1997). Für den Vorgang der Decarboxylierung wird das Coenzym Pyridoxal-5-phosphat, eine Vorstufe von Vitamin B6, benötigt. Dieses Coenzym ist für die Bildung von Tryptamin, Phenylethylamin, Histamin, Putrescin und Cadaverin von Bedeutung (Askar und Treptow 1986, Beutling 1996). Der Abbau von biogenen Aminen erfolgt bei Säugetieren und Menschen über die in der Mukosa des Dünndarms lokalisierten Enzyme Monoaminoxidase (MAO) und Diaminoxidase (DAO) sowie Polyaminoxidase (PAO) (Ruiz-Capillas und Herrero 2019), wobei verschiedene Faktoren die entgiftende Funktion negativ beeinflussen können (Rauscher-Gabernig et al. 2009). Dazu zählen einerseits die Aufnahme hoher Mengen biogener Amine, ein Mangel an den entsprechenden Enzymen sowie die Einnahme von Oxidasehemmern, eine Immundefizienz des betroffenen Organismus und Erkrankungen oder Schädigungen des Gastrointestinaltrakts, die die Effektivität der Oxidasen senken oder hemmen können (Paulsen et al. 2000, Ruiz-Capillas und Herrero 2019). Dies führt, abhängig von der Art und Menge des aufgenommenen Amins, in weiterer Folge zur Akkumulation desselben und zu diversen symptomatischen Vergiftungserscheinungen (Rauscher-Gabernig et al. 2009, Visciano et al. 2020), die unter Abschnitt 2.3 erläutert werden.

2.1.2 Unterschied von Monoaminen und Polyaminen

Unter Monoaminen versteht man eine Vielzahl von Verbindungen, die eine Aminogruppe (z. B. Phenylethylamin und Tyramin) tragen und durch die Decarboxylierung einer Aminosäure, insbesondere Tyrosin, entstehen (Beutling 1996, Pschyrembel online 04.2020, Visciano et al. 2020). Nur wenige Vertreter von der großen Gruppe an Monoaminen haben eine nennenswerte

physiologische Wirkung, oder werden als Parameter für Lebensmittelhygiene herangezogen. Von besonderer Relevanz sind jedoch die Katecholamine Adrenalin, Noradrenalin und Dopamin, welche unter anderem als so genannte Stresshormone und als Neurotransmitter im Nervensystem eine wichtige Rolle übernehmen (Costa et al. 2018). Diese Stresshormone werden im Gegensatz zu anderen Monoaminen, die über Nahrungsmittel aufgenommen werden, endogen synthetisiert. Die physiologische Wirkung bleibt sowohl in einem sauren als auch alkalischen pH-Bereich (zwischen den Werten 5 und 11) erhalten. Monoamine sind in verschiedenen Körperflüssigkeiten und Wasser löslich. Weiterhin können Monoamine einfach resorbiert werden und Zellwände überwinden (Beutling 1996).

Polyamine (beispielsweise Spermidin, Putrescin, Cadaverin und Spermin) weisen dagegen zwei (sogenannte Diamine) oder mehr Aminogruppen auf. Die Aminogruppen können endständig und frei vorliegen (z. B. Putrescin) oder in einer Ringform (z. B. Tryptamin) integriert sein. Es werden zudem Abkömmlinge von Indol - einem Abbauprodukt der Aminosäure Tryptophan - nämlich Tryptamin und Serotonin sowie Derivate von Imidazol (z. B. Histamin) unterschieden (Beutling 1996, Pschyrembel Fachredaktion Medizin 04.2020, Weiß 2009). Besonderes Augenmerk ist auf Histamin zu legen, da es aufgrund seiner Aminogruppen gleichermaßen wie ein Mono- oder Diamin agieren und dahingehend verschiedene physiologische Reaktionen bzw. infolge seiner hohen Toxizität entsprechende Nebenwirkungen auslösen kann (Pegg 2016). Polyamine kommen ubiquitär in den Zellen und Geweben von Säugetieren vor und werden sowohl endogen über Bakterien der Darmflora synthetisiert und wie Monoamine über diverse Nahrungsmittel zugeführt (Bardocz 1995, Kalač 2014). In Zellen menschlichen und tierischen Ursprungs sind die Polyamine Putrescin, Spermin und Spermidin weitestgehend vertreten (Dadáková et al. 2012, Tofalo et al. 2019). Die Bildung dieser Polyamine erfolgt nach Bardocz (1995) wie bei anderen biogenen Aminen über die Decarboxylierung von freien Aminosäuren, jedoch werden für den komplexen Vorgang zusätzliche Enzyme benötigt. Für Putrescin ist die Decarboxylierung der Aminosäure Ornithin durch das Enzym Ornithindecarboxylase erforderlich, Spermin und Spermidin werden aus der Aminosäure S-Adenosylmethionin über Spermidin- und Sperminsynthase katalysiert (Bardocz 1995, Soda 2011, Tofalo et al. 2019). Diese biogenen Amine sind dementsprechend auch allgegenwärtig in Fleischprodukten vorzufinden; damit stellen ausgewählte Lebensmittel eine relevante Quelle für die Zufuhr dieser Polyamine dar (Bardocz 1995, Tofalo et al. 2019). Polyamine übernehmen eine schützende Funktion der Zellen eines Organismus, indem sie die DNA durch Komplexbildung vor Denaturierung durch erhöhte Temperaturen bewahren (Pegg 2016). Mit den Monoaminen haben sie eine hohe Hitzetoleranz gemeinsam. Bereits gebildete Amine

werden dementsprechend durch Kochen oder Sterilisierversuche nicht zur Gänze zerstört (Paulsen et al. 2000).

2.2 Biologische Wirkungen der biogenen Amine und Polyamine bei Säugetieren

Polyamine und biogene Amine erfüllen physiologische Funktionen im Organismus, welche sowohl positive als auch negative Effekte im Rahmen schädlicher Nebenwirkungen auslösen können. Sowohl Mono- als auch Polyamine beteiligen sich an einer Vielzahl von komplexen, lebensnotwendigen Prozessen. Biogene Amine regulieren unter anderem die Aufnahme von Nahrung und damit die Zufuhr von weiteren Polyaminen, erfüllen eine Funktion als Neurotransmitter im Nervensystem, wirken als Hormone auf verschiedene Organsysteme und stabilisieren die DNA und Proteine der Zellen, um nur einige ihrer Wirkungsbereiche zu nennen (Feddern et al. 2019, Tofalo et al. 2019). Die Monoamine Adrenalin und Noradrenalin, die zu den Stresshormonen zählen, übernehmen übergreifende Wirkungen auf diverse Organsysteme (Beutling 1996). In den Ribosomen der Zellen von Säugetieren sind Putrescin, Cadaverin, Spermin und Spermidin in großen Mengen verbreitet. Spermidin konnte erstmals im Jahr 1678 in Spermien nachgewiesen werden (Jastrzab et al. 2016). Im Folgenden soll näher auf die Funktionen in den verschiedenen Bereichen des Körpers von Säugetieren eingegangen werden.

2.2.1 Funktionen im Nervensystem

Der Hypothalamus ist dem vegetativen Nervensystem übergeordnet und an der Regulation der Homöostase (z. B. an endokrinen Vorgängen und der Thermoregulation sowie der Nahrungs- und Wasseraufnahme) beteiligt. Die Katecholamine Adrenalin und Noradrenalin werden im Nebennierenmark produziert und von dort in die Blutbahn abgegeben. Adrenalin und Noradrenalin wirken gemeinsam mit den biogenen Aminen Dopamin, Serotonin und Histamin in höherer Konzentration als Neurotransmitter in den verschiedenen Kerngebieten des Gehirns sowie an den Synapsen des vegetativen Nervensystems (bestehend aus Sympathikus und dessen Gegenspieler, dem Parasympathikus) (Costa et al. 2018). Eine Erregung des Sympathikus wird über diese Botenstoffe efferent auf postganglionäre Neurone übertragen und löst eine Reaktion des jeweiligen Erfolgsorgans aus. γ -Aminobuttersäure übt dagegen eine hemmende Wirkung aus. Ein Mangel der genannten Amine kann je nach dem betroffenen Kerngebiet des Gehirns zur Störung physiologischer Prozesse führen und die kognitive Leistung beeinflussen, sowie Veränderungen des Verhaltens hervorrufen (Beutling 1996). Polyamine spielen dementsprechend eine Rolle im Rahmen von Lern- und Gedächtnisprozessen. Spermidin

interagiert gemeinsam mit NMDA-Antagonisten wie Dizocilpine an den N-Methyl-D-Aspartat (NMDA)-Rezeptoren im Zentralnervensystem (Handa et al. 2018). Bei Dizocilpine handelt es sich um ein Medikament, welches antikonvulsive und anästhetische Eigenschaften besitzt; als NMDA-Antagonist beeinflusst es das zentrale Nervensystem. In Versuchen mit Nagetieren (Ratten und Mäuse) konnte gezeigt werden, dass die Lern- bzw. Gedächtnisleistung nach der intraperitonealen Applikation von einer Dosis von 0,1 mg/kg und 0,3 mg/kg Dizocilpine abnimmt (Kovacic und Somanathan 2010, Kumar et al. 2018). Spermidin verstärkt Wirkung von Dizocilpine, sodass also eine deutliche Verminderung der kognitiven Leistungsfähigkeit auftritt. Weiterhin konnte ein Anstieg von Spermidin im Gehirn eines Tieres, welches von seiner Gruppe getrennt wurde, sowie ein damit verbundenes erhöhtes Aggressionspotential verzeichnet werden (Handa et al. 2018). Ein Defizit an Dopamin führt bei älteren Menschen zum Parkinson-Krankheitsbild, welches durch Muskelkrämpfe gekennzeichnet ist (Askar und Treptow 1986, Beutling 1996); die Krankheit wird jedoch auch bei jungen Hunden beobachtet und tritt erblich bedingt auf (z. B. Kerry Blue Terrier, Chinese Crested Dog) und äußert sich in Beeinträchtigungen des Gangbildes, Muskelzittern und -steifheit (Niemand 2018). Niedrige Serotonin-Spiegel führen zu psychischen Erkrankungen und Schlafstörungen und beeinflussen die Daueraufmerksamkeit negativ. Eine intakte Blut-Hirn-Schranke ist für biogene Amine über Rezeptoren oder als Vorstufen passierbar. So kann L-DOPA die Schranke überwinden, Dopamin jedoch nicht (Forschungszentrum Jülich 21.03.2022). Die Permeabilität der Blut-Hirn-Schranke kann durch verschiedene Pathomechanismen (z. B. Hypertonie) gesteigert sein. Biogene Amine sind damit in der Lage, die Blut-Hirn-Schranke zu überwinden und ihre Wirkung kann demzufolge verstärkt werden (Beutling 1996).

2.2.2 Wirkungen auf Herz und Kreislauf

Die Regulation des Herz-Kreislauf-Systems findet in der *Medulla oblongata* statt. In Stresssituationen überwiegt die Wirkung des Sympathikus und die Synthese von Adrenalin und Noradrenalin wird im Nebennierenmark erhöht und von dort in die Blutbahn abgegeben. Über die Bindung an β -Rezeptoren dilatieren die Gefäße von Herz und Skelettmuskulatur sowie die Bronchien, sodass diese vermehrt perfundiert und mit Sauerstoff versorgt werden. Eine Bindung an α -Rezeptoren führt dagegen zur Konstriktion von Hautgefäßen und verminderter Durchblutung von Darm und Nieren. Die Katecholamine sind daher für das „fight-or-flight“-Prinzip eines Säugetieres in einer Stresssituation verantwortlich. Adrenalin und Noradrenalin sind neben Histamin, Serotonin, Phenylethylamin und Tyramin von Bedeutung für die Regulation des Blutdrucks (Paulsen et al. 2000). Phenylethylamin und Tyramin sind für den

Anstieg des Blutdrucks verantwortlich, während Histamin den gegenteiligen Effekt durch Vasodilatation bewirkt (Silla-Santos 1996). Die Wirkung Histamins wird ausführlicher unter Abschnitt 2.3.3 besprochen.

2.2.3 Wirkungen im Gastrointestinaltrakt und auf den Stoffwechsel

In einer Gefahren- oder Stresssituation benötigt der Körper vermehrt Energie. Um diese zu mobilisieren, kommt es zur vermehrten Ausschüttung von Adrenalin und Noradrenalin. Adrenalin führt einerseits zur Glykogenolyse und zur Glukoneogenese in der Leber, damit der erhöhte Glukosebedarf der Zellen gedeckt werden kann, andererseits wird die Ausschüttung von Insulin blockiert. Noradrenalin und Adrenalin bewirken gemeinsam den Abbau von Fettreserven in der Leber, um weitere Energie zur Verfügung stellen zu können. Histamin führt zur Erhöhung der Magensaftsekretion (Coruzzi et al. 2001, Paulsen et al. 2000).

Über die Nahrung zugeführte Polyamine werden nahezu vollständig im proximalen Abschnitt des Dünndarms, dem Duodenum, absorbiert (Kalač 2014, Muñoz-Esparza et al. 2019, Paulsen et al. 2000, Tofalo et al. 2019). Dort finden sich im Gegensatz zum Jejunum erhöhte Gehalte an Polyaminen (Kalač 2014). Es kann angenommen werden, dass das Mikrobiom des Dickdarms wesentlich an der Produktion von Polyaminen beteiligt ist (Muñoz-Esparza et al. 2019, Tofalo et al. 2019), da bei Menschen während einer Fastenzeit eine endogene Synthese nachgewiesen werden konnte (Kalač 2014). Das Mikrobiom umfasst unter anderem verschiedene Bakterienstämme (darunter *Enterobacteriaceae* und *Corynebacteriaceae*), Pilze und Protozoen, welche unverdauliche Nahrungsbestandteile zu Aminosäuren verstoffwechseln (Tofalo et al. 2019). Die produzierten Polyamine werden über die Darmmukosa aufgenommen und einerseits in den Blutstrom abgegeben, um ihre Wirkungen in anderen Geweben auszuüben, andererseits werden sie von den Darmbakterien selbst zur Kommunikation zwischen Zellen und deren Differenzierung genutzt (Muñoz-Esparza et al. 2019, Tofalo et al. 2019). Der Gastrointestinaltrakt sowie Milz, Leber und Pankreas zählen zu den Organen mit einer hohen Zellteilungsrate. Die aufgenommenen und endogen synthetisierten Polyamine sind daher für die genannten Organe für die Zellreifung, -wachstum, -regeneration und -alterung sowie die darauffolgende Apoptose von Bedeutung (Kalač 2014, Muñoz-Esparza et al. 2019, Tofalo et al. 2019). Von besonderer Bedeutung für die Aufrechterhaltung physiologischer Zellfunktionen und damit der Proliferation und Regeneration der Darmschleimhaut sind Spermin, Spermidin und Putrescin (Bardocz 1995, Kalač 2014, Muñoz-Esparza et al. 2019). In Versuchen mit postnatalen Mäusen und Ratten zur Bioverfügbarkeit von oral aufgenommenen Polyaminen

(nämlich Putrescin, Spermidin und Spermin) konnte nachgewiesen werden, dass diese die Reifung der Darmschleimhaut sowie der dort befindlichen Teile des Lymphsystems beeinflussen (Muñoz-Esparza et al. 2021, Pérez-Cano et al. 2010). Putrescin wird zu großen Teilen in Spermidin und Spermin umgewandelt, welche die Reifung und morphologischen Veränderungen des Darmepithels sowie die Permeabilität der Mukosa beeinflussen (Bardocz 1995, Muñoz-Esparza et al. 2019).

Der Hypothalamus steht in enger Verbindung mit dem vegetativen Nervensystem (König und Liebich 2015). Sowohl der Hypothalamus als auch das vegetative Nervensystem sind gemeinsam an der Regulation der Nahrungsaufnahme sowie der -beendigung beteiligt, sodass den Katecholaminen ein weiterer Funktionsbereich zugeschrieben werden kann. Noradrenalin und Dopamin stimulieren die Aufnahme, wohingegen Serotonin eine hemmende Wirkung ausübt und das Bedürfnis beendet (Beutling 1996).

2.2.4 Wirkungen auf das Immunsystem

Die Entwicklung des Immunsystems juveniler Tiere beginnt in der Fetalperiode, erreicht seine volle Funktionsfähigkeit jedoch erst nach der Geburt, wenn der Organismus mit diversen Antigenen und Mikroorganismen in Kontakt tritt. Die Aufnahme von Kolostrum in den ersten Lebensstunden versorgt die Neonaten mit wertvollen Proteinen, Mineralstoffen, Vitaminen und trägt zur Reifung des Immunsystems bei, da ein deutlich erhöhter Gehalt an Immunglobulinen vorliegt (Engelhardt et al. 2015, König und Liebich 2015). Die weitere Versorgung der Jungtiere erfolgt über Milch, welche nun geringere Mengen an Immunglobulinen aufweist und neben Hormonen und Wachstumsfaktoren die Polyamine Spermin, Spermidin und Putrescin enthält. Die Konzentration derselben nimmt über die Dauer der Laktationsperiode ab. Die Zufuhr von Spermin und, in geringerem Ausmaß von Spermidin, führt zur Reifung von CD8⁺, CD4⁺- Lymphozyten und Natürlicher Killerzellen des intestinalen und systemischen Immunsystems. Spermin unterstützt die Entwicklung der Darmvilli und -krypten durch Steigerung des IgA-Gehalts sowie die Zellproliferation, somit wird die Integrität der Darmbarriere gestärkt und kann von Antigenen erschwert überwunden werden (Muñoz-Esparza et al. 2021, Pérez-Cano et al. 2010). Dies führt zu einer signifikanten Senkung der Entwicklung einer Nahrungs- oder Futtermittelallergie (Pérez-Cano et al. 2010, Verlinden et al. 2006).

Histamin übernimmt eine Schlüsselrolle im Immunsystem, da es Bestandteil der Leukozyten ist. Die Substanz findet sich in den Granula von Mastzellen, welche mit einem IgE-Rezeptor ausgestattet sind, und ist an Allergien von Typ 1 (Soforttyp) beteiligt. Nach Zweitkontakt mit einem Antigen kommt es zur Bindung zwischen diesem und dem IgE-Rezeptor an der

Oberfläche der Mastzellen, wodurch Histamin als wirksamer Mediator typischer allergischer Reaktionen freigesetzt wird. Die entsprechenden Nebenwirkungen werden unter Abschnitt 2.3.3 erläutert.

2.3 Nebenwirkungen von biogenen Aminen und Polyaminen bei Säugetieren

Neben den physiologischen Wirkungen verursachen biogene Amine und Polyamine verschiedene pathophysiologische und toxikologische Nebenwirkungen. Viele Autoren haben sich weitgehend mit den Wirkungen und Nebenwirkungen von Polyaminen und biogenen Aminen auf den Menschen bzw. auf Säugetiere beschäftigt (Büyükuslu 2015, Jairath et al. 2015, Pegg 2016). Bisher existieren wenige Studien zu den pathophysiologischen Auswirkungen bei Hunden und Katzen aus ethischen Beweggründen, da die Schwere der Effekte nicht abgeschätzt werden kann (Altafini et al. 2022). Es konnten ähnliche Symptome wie bei Lebensmittelvergiftungen des Menschen nachgewiesen werden, die je nach Spezies variieren können (Askar und Treptow 1986). Es werden vasoaktiv und psychoaktiv (bspw. Tyramin und Histamin) wirksame Amine beschrieben. Die Ursachen dafür sind ebenso vielfältig: eine toxische Wirkung ist je nach Art und Konzentration des aufgenommenen Amins zu erwarten, zudem muss der Gesundheitszustand des Organismus und seine Fähigkeit, Amine ausreichend abzubauen individuell berücksichtigt werden. Ein Mangel an den Enzymen MAO, DAO oder PAO oder eine Insuffizienz (bspw. durch Verabreichung enzymhemmender Medikamente) derselben führt unter anderem zu einer Akkumulation von Aminen und dementsprechenden Nebenwirkungen. Bei empfindlichen Organismen können selbst geringe Konzentrationen von Aminen deutliche Reaktionen auslösen. Weiterhin spielt die Art der Zufuhr eine wesentliche Rolle, da eine subkutane oder intramuskuläre Injektion im Vergleich zur oralen Aufnahme die Wirkung signifikant erhöhen kann (Beutling 1996). Die Zufuhr über Futtermittel stellt für Heimtiere eine bedeutende Quelle dar. In Lebens- und Futtermitteln sind unterschiedlich hohe Gehalte an diversen biogenen Aminen und Polyaminen vorhanden, einigen davon kann eine besondere Bedeutung als potenzielle Auslöser von pathologischen Wirkungen beigemessen werden. An dieser Stelle sei Histamin als bekanntestes Stimulans allergischer und toxischer Reaktionen zu nennen. Während der katabolen Umbauprozesse von Spermin, Spermidin und deren Vorläufer Putrescin entstehen die Nebenprodukte Hydrogenperoxid und Acrolein, welche möglicherweise einen Einfluss auf die Entstehung von schwerwiegenden Erkrankungen haben. Dazu zählen neurodegenerative Veränderungen, Nierenversagen sowie durch kanzerogene Wirkung das Wachstum von Tumoren (Kalač 2014).

2.3.1 Auswirkungen auf den Gastrointestinaltrakt

Zu den beobachteten Nebenwirkungen von Histamin im Besonderen können Übelkeit, Erbrechen, gesteigerter Darmtonus sowie -motilität und damit verbundene vermehrte Flüssigkeitsausscheidung über den Darm gezählt werden (Guilford et al. 1994). Histamin steigert neben der Peristaltik die Durchblutung des Gastrointestinaltrakts. Durch die erhöhten Bewegungen des Darms wird vermehrt Flüssigkeit abgegeben und in Diarrhö, Übelkeit und Erbrechen resultieren (Ekici und Omer 2020, Gardini et al. 2016). Eine Besserung der genannten Symptome wird erreicht, wenn die schädigende Noxe ausgeschieden wird. Erkrankungen und Schädigungen der Darmmukosa (Gastritis, Ulzerationen) können die toxischen Effekte jedoch verstärken und den Abbau der Amine negativ beeinflussen, da die Aktivität der Oxidasen herabgesetzt ist (Bardocz 1995, Paulsen et al. 2000). Über den Darm absorbierte Polyamine werden in die Blutbahn abgegeben und im Organismus verteilt (Soda 2011).

2.3.2 Einfluss auf das Wachstum von Tumoren

Polyamine sind von großer Relevanz für die Proliferation, das Wachstum sowie die Reparatur und die Differenzierung von Zellen, da sie sowohl die DNA stabilisieren als auch an der Proteinsynthese und als Transkriptionsfaktoren beteiligt sind. Besonders hohe Gehalte finden sich in jungen heranwachsenden Säugetieren, gleichermaßen auch in Geweben mit einer hohen Teilungsrate. Dementsprechend wird die Entwicklung von Tumoren begünstigt (Larqué et al. 2007, Muñoz-Esparza et al. 2021, Soda 2011). In Zusammenhang mit Krebserkrankungen werden vor allem Putrescin, Spermin und Spermidin genannt. In Blut (weiße und rote Blutzellen) und Urin von an Krebs erkrankten Personen können erhöhte Gehalte durch vermehrte endogene Synthese von Polyaminen nachgewiesen werden. Dementsprechend ist die Expression und Aktivität der Ornithindecaboxylase (ODC), welche Ornithin zu Putrescin abbaut, aus dem in weiterer Folge Spermin und Spermidin synthetisiert werden, gesteigert. Dies ist damit zu begründen, dass das Tumorgewebe eine hohe Teilungsrate aufweist und Polyamine unentbehrlich für das Wachstum der Zellen sind. Die erhöhten Konzentrationen und Aktivitäten können als Biomarker für ein neoplastisches Krankheitsgeschehen betrachtet werden (Büyüksülu 2015, Larqué et al. 2007, Soda 2011). Daher müssen die Möglichkeit der Metastasierung und Streuung von Tumoren in andere Organe beachtet werden. Damit korrelieren die erhöhten Gehalte von biogenen Aminen mit einer schlechten Prognose. Das Darmmikrobiom und die Nahrungsaufnahme sind ebenso an der Produktion beteiligt, wodurch diese ebenfalls zu den erhöhten Polyaminkonzentrationen bei an Krebs erkrankten Individuen

beitragen. Upp et al. 1988 konnten, verglichen mit gesunden Probanden, erhöhte Gehalte von Spermin und Spermidin in der Mukosa des Kolons nachweisen; dieses Ergebnis konnte jedoch nicht reproduziert werden. Die vermehrte endogene Produktion kann jedoch durch chirurgische Exzision des neoplastischen Gewebes oder Chemotherapie unterbunden werden (Bardocz 1995, Muñoz-Esparza et al. 2019, Soda 2011). Weiterhin werden der Einsatz von entsprechenden Inhibitoren der Polyaminsynthese und das Vermeiden von Nahrungsmitteln, welche reich an Polyaminen sind, als Einflussfaktoren auf Krebserkrankungen diskutiert. In Versuchen mit an P388-Leukämie-Zelllinien erkrankten Mäusen konnte mit α -Difluoromethylornithin (DFMO) – gemeinsam mit oder ohne Methylglyoxal-bis-(guanylhydrazon), einem Inhibitor von S-Adenosylmethionin - die Funktion der ODC gehemmt werden. Somit konnte eine weitere Zellinvasion, damit progressives Tumorwachstum verhindert und die Überlebenszeit verlängert werden (Larqué et al. 2007, Muñoz-Esparza et al. 2019, Nakaike et al. 1988, Soda 2011).

Zudem stehen Spermin und Spermidin im Verdacht, zusammen mit in Lebensmitteln enthaltenem Nitrit (bspw. Nitritpökelsalz in Fleischprodukten) und der Magensäure aus Spermin und Spermidin die karzinogen wirkende Nitrosaminverbindung N-Nitrosopyrrolidin zu bilden (Askar und Treptow 1986, Bardocz 1995). Da die exogene Zufuhr das Krankheitsgeschehen beeinflussen kann, wird für an Krebs erkrankte Individuen eine an Polyaminen reduzierte Diät empfohlen (Larqué et al. 2007, Soda 2011).

2.3.3 Toxizität von Histamin (und anderen ausgewählten Aminen)

Histamin kann als Auslöser für verschiedene toxische Effekte betrachtet werden. Für Nebenwirkungen nach der Futteraufnahme werden zwei Kategorien unterschieden: einerseits die Futtermittelallergie bzw. Hypersensitivität, welche durch immunologische Reaktionen nach Nahrungsaufnahme gekennzeichnet ist, andererseits die Futtermittelintoleranz, welche nicht immunmedierte Effekte durch das Vorhandensein von Toxinen auslöst. Eine Annahme ist, dass ein positives Erlebnis die Ausschüttung des Glückshormons Endorphin im Gehirn eines Hundes und damit auch nicht immunbedingte Freisetzung von Histamin bedingen kann und das Tier darauffolgend Pruritus zeigt (Verlinden et al. 2006). Erhöhte Konzentrationen von Histamin in Nahrungsmitteln können zu einer sogenannten Histaminintoxikation führen, welche generell zu der Gruppe der Futtermittelintoleranz zählt. Erscheinungen einer Intoxikation können innerhalb weniger Minuten auftreten, sind jedoch nur von kurzer Dauer (<1 Stunde) (Paulsen et al. 2000). Bei Hunden und Katzen konnten nach erhöhter Aufnahme von biogenen Amininen sowohl

Anzeichen einer Intoxikation als auch Auswirkungen auf die Annahme von Futter beobachtet werden (Altafini et al. 2022). Katzen mit einer höheren Empfindlichkeit gegenüber Histamin können vasoaktive Reaktionen zeigen (Craig 2019). Die Intoxikation wird häufig in Zusammenhang mit dem Verzehr von histaminreichen Fischen und Fischerzeugnissen beobachtet und als „Fischvergiftung“ bezeichnet (Visciano et al. 2020). Der Zeitpunkt bis zum Auftreten erster Vergiftungserscheinungen ist nicht nur abhängig von der aufgenommenen Dosis, sondern von der individuellen Fähigkeit der Desaminierung und Empfindlichkeit eines Organismus gegenüber Histamin; das Vorhandensein von histaminbildenden Bakterienstämmen mit entsprechender Decarboxylaseaktivität muss berücksichtigt werden (Tab. 2).

Tab. 2 Histaminbildende Mikroben

Mikrobengattung	Mikrobenart
<i>Enterobacter</i>	<i>Eb. aerogenes</i> <i>Eb. cloacae</i>
<i>Escherichia</i>	<i>E. coli</i>
<i>Klebsiella</i>	<i>K. oxytoca</i> <i>K. pneumoniae</i>
<i>Proteus</i>	<i>P. mirabilis</i> <i>P. vulgaris</i>
<i>Pseudomonas</i>	<i>P. aeruginosa</i> <i>P. cepaciae</i>
<i>Citrobacter</i>	<i>Cb. freundii</i>
<i>Clostridium</i>	<i>Cl. perfringens</i> <i>Cl. novyi</i>
<i>Morganella</i>	<i>M. morganii</i>
<i>Hafnia</i>	<i>H. alvei</i>

Quelle: In Anlehnung an (Beutling 1996, Visciano et al. 2020)

Die Inaktivierung oder Desaminierung erfolgt über die DAO und Histamin-N-Methyltransferase (HMT). Größere Mengen Histamin, die Einnahme von bestimmten Medikamenten (z. B. MAO-Hemmer und DAO-Hemmer) können den Abbau nachweislich blockieren. Zu diesen Medikamenten zählen unter anderem nichtsteroidale Analgetika (z.B. Diclofenac, Ketoprofen oder Acetylsalicylsäure) oder Psychopharmaka, welche die Aktivität von MAO oder DAO hemmen. Die Polyamine Putrescin, Cadaverin, Tyramin und Tryptamin können die Wirkung von Histamin verstärken (Omer et al. 2021, Silla-Santos 1996). Tyramin kann Übelkeit und Erbrechen auslösen (Visciano et al. 2020). Die Wirkung kann gleichermaßen durch Mikroben (Tab. 2) bzw. deren Endotoxine (*Escherichia coli*) potenziert werden, sodass beim Meerschweinchen ein Schockgeschehen mit letalem Ausgang beobachtet werden kann (Beutling 1996).

Histamin wirkt sowohl vaso- als auch psychoaktiv. Zu den vasoaktiven Symptomen, die Histamin hervorrufen kann, zählen Übelkeit, Erbrechen und Diarrhoe, weiterhin wird durch Vasodilatation Hypotension hervorgerufen und die Herzleistung dadurch beeinflusst. Durch die erhöhte Permeabilität der Kapillaren können Hauteffloreszenzen (Hautrötungen und -schwellungen, Ödeme) verbunden mit Pruritus hervorgerufen werden, zudem kann es zu Atemnot durch Bronchokonstriktion kommen (Blonz und Olcott 1978, Durak-Dados et al. 2020, Paulsen et al. 2000) während Tremor und eine Abnahme der kognitiven Leistungsfähigkeit als psychoaktive Nebenwirkungen beobachtet werden (Bardocz 1995).

Nach dem Verzehr von rohen Fischen der Familie *Scombridae* konnte bei Katzen aus verschiedenen Haushalten den Gastrointestinaltrakt betreffende Symptome wie Erbrechen, Durchfall und vermehrte Salivation beschrieben werden (Guilford et al. 1994). Weiterhin wurden vermindertes Allgemeinverhalten (Paulsen et al. 2000), Myosis sowie Tachykardie und eine Steigerung der Atemfrequenz beobachtet. 30 Minuten nach der Verabreichung eines H1-Antihistaminikums (kompetitive Hemmung der Histamin-H1-Rezeptoren) wurden die Symptome abgeschwächt bzw. beendet (Guilford et al. 1994, Diphenhydramin, 02.08.2022). Die Effekte werden über H1- und H2-Rezeptoren vermittelt (Silla-Santos 1996). Im Rahmen einer Futtermittelallergie vom Typ 1 werden innerhalb von Minuten nach dem Zweitkontakt mit einem Antigen Histamin und weitere Entzündungsmediatoren (bspw. Prostaglandin) aus den Granula der Mastzellen freigesetzt, welche zu den bereits genannten Reaktionen bzw. bei Überempfindlichkeit zu anaphylaktischen Reaktionen mit möglicherweise letalem Ausgang führen können (Beutling 1996, Silla-Santos 1996). Es werden tierartliche Unterschiede für das Ausmaß der toxischen Effekte beschrieben (Askar und Treptow 1986, Paulsen et al. 2000) – Jungtiere, trächtige und erkrankte Tiere sind im Gegensatz zu adulten gesunden Tieren vermehrt dem Risiko einer Intoxikation ausgesetzt (Altafini et al. 2022, Askar und Treptow 1986, Oetjen et al. 2017, Paulsen et al. 2000). Aufgrund der Vielzahl an Faktoren, die an der Entstehung einer Histaminvergiftung beteiligt sind, können in der Literatur lediglich geschätzte Grenzwerte (Tab. 3) für das Auftreten toxischer Symptome angegeben werden, da der Schwellenwert individuell zu betrachten ist. Diese Werte können infolge fehlender Studien bezogen auf Hund und Katze nur für den Menschen angegeben werden. Es werden moderate, toxische und hochtoxische Wirkungen unterschieden, welche eine lebensbedrohliche Situation darstellen (Bardocz 1995).

Tab. 3 Grenzwerte zur Histaminwirkung

Wirkung	Gehalt
Moderate Wirkung	Ca. 40 mg
Toxische Wirkung	Ca. 100 mg
Hochtoxische Wirkung	Ca. 1000 mg

Quelle: In Anlehnung an (Beutling 1996, Larqué et al. 2007, Silla-Santos 1996, Visciano et al. 2020)

Ähnliche, allerdings abgeschwächte Symptome können durch die Amine Tyramin, Cadaverin und Tryptamin hervorgerufen werden (Askar und Treptow 1986). Nach Craig 2019 senken vasoaktiv wirkende Amine möglicherweise den Schwellenwert von Allergenen bei Hunden und Katzen, in Folge dessen können eher allergische Reaktionen erwartet werden.

3. Biogene Amine als Kennzeichen mikrobiologischen Verderbs

Biogene Amine sind in verschiedenen Konzentrationen in Lebensmitteln tierischen und pflanzlichen Ursprungs zu finden (Costa et al. 2018, Feddern et al. 2019). Die Bestimmung der Gehalte in tierischen Produkten dient als Indikator für die hygienische Qualität und weist auf einen möglichen Verderb hin (Costa et al. 2018, Silla-Santos 1996). Die Anzahl und Konzentration der Amine können nach Zusammensetzung und Struktur diverser analysierter Lebensmittel enorm variieren (Costa et al. 2018). In einigen Rohmaterialien (Fisch, Fleisch) hygienisch einwandfreier Qualität können bereits vor der weiteren Verarbeitung geringe Mengen an biogenen Aminen (z. B. Putrescin) nachgewiesen werden (EFSA 2011). Bereits frisches, gekühlt gelagertes Fleisch ist dem Prozess des Verderbs durch den beginnenden Eiweißabbau für das Wachstum von Mikroorganismen ausgesetzt (Triki et al. 2018). Menge, Art und Vorkommen der verschiedenen biogenen Amine hängt von der Beschaffenheit der Lebensmittel und dem Vorhandensein von Mikroorganismen ab. Einige Lebensmittel (Fleisch-, Fisch-, Milchprodukte) sind daher für die Bildung prädestiniert (Feddern et al. 2019, Silla-Santos 1996). Gärung von Lebensmitteln sowie Fäulnis- und Verwesungsprozesse durch Mikroben sind wesentliche Faktoren (Costa et al. 2018, Ekici und Omer 2020, Visciano et al. 2020). Die Fähigkeit von Mikroorganismen, biogene Amine zu bilden, ist eine stammspezifische Eigenschaft, welche unter gewissen Gattungen und Arten möglicherweise durch horizontalen Gentransfer weit verbreitet ist (Jairath et al. 2015). Zu diesen Mikroorganismen zählen als Starterkulturen genutzte Milchsäurebakterien sowie die Kontamination mit *Enterobacteriaceae* (Barbieri et al. 2019). Das Wachstum Decarboxylase-positiver Bakterien erfolgt unter geeigneten (Umwelt-) Bedingungen. Eine wichtige Rolle spielen erhöhte Temperaturen und pH-Werte, sowie die Wasseraktivität (a_w) und das Redoxpotential des Substrats (Ekici und Omer 2020, Jairath et al., Schirone et al. 2022, Stadnik und Dolatowski 2010). Niedrige Temperaturen hemmen dagegen das weitere Wachstum von Mikroorganismen und behindern die Enzymaktivität und führen zu einer geringeren Bildung von Aminen (Beutling 1996, Ekici und Omer 2020). Fermentationsprozesse und der mikrobiologische Verderb von Lebensmitteln erfüllen die Anforderungen für die Bildung von biogenen Aminen (EFSA 2011, Silla-Santos 1996). Als Ursache für den mikrobiologischen Verderb müssen mehrere Faktoren in Betracht gezogen werden: die bakterielle Verunreinigung des Rohmaterials vor oder während der Herstellung bzw. Verarbeitung des Lebensmittels durch

unhygienische Arbeitsweisen, die Verwendung besonders proteinreichen Rohmaterials sowie solches von niedriger Qualität und ungeeignete oder fehlerhafte Lagerung, bspw. bei zu hohen Temperaturen (EFSA 2011, Feddern et al. 2019, Larqué et al. 2007, Paulsen et al. 2021b, Silla-Santos 1996). Die Lagerung bei abweichenden Temperaturen ermöglicht das Wachstum von Mikroorganismen und kann die Produktion von Aminen durch verbesserte Enzymaktivität signifikant steigern. Zu jenen bekannten Verderbniserregern, welche die entsprechenden Aminosäuren decarboxylieren können, zählen die Gattungen *Pseudomonas*, *Escherichia*, *Clostridium*, *Streptococcus*, *Salmonella*, *Shigella*, *Enterobacter*, *Klebsiella* und *Proteus* (Ekici und Omer 2020, Feddern et al. 2019). Neben der Zusammensetzung des Produkts (Protein- und Fettgehalt) spielt der pH-Wert eine wesentliche Rolle für das Wachstum von Mikroorganismen. Ein niedriger pH-Wert führt zu einer Steigerung der Decarboxylase-Aktivität und entsprechend erhöhter Aminbildung (Jairath et al. 2015). Tab. 4 soll einen detaillierteren Überblick über die verschiedenen Bedingungen, die den mikrobiologischen Verderb und die daraus folgende Aminbildung fördern, geben.

Tab. 4 Bedingungen zur Förderung mikrobiologischen Verderbs und der Aminbildung

Faktoren	Förderliche Bedingungen
Temperatur	20-37°C
pH-Wert	2,5-6,5
Wasseraktivität (a_w)	-
Redoxpotential	Verringertes Redoxpotential der Substanz
Sauerstoff-Gehalt	Anaerobe Bedingungen
Additiva	Zucker, Starterkulturen (LAB)
Zusammensetzung des Produkts	Hoher Protein- und Fettgehalt, minderwertige Qualität
Verarbeitungs- und Produktionsschritte	Nichteinhaltung der Guten-Hygiene-Praxis (GHP)

Quelle: In Anlehnung an (Altafini et al. 2022, Costa et al. 2018, Doeun et al. 2017, EFSA 2011, Ekici und Omer 2020, Feddern et al. 2019, Jairath et al. 2015, Schirone et al. 2022, Triki et al. 2018, Visciano et al. 2020)

Mikrobieller Verderb und damit die Bildung von biogenen Aminen kann demzufolge durch Verwendung hochwertiger Rohmaterialien, kontrollierte Temperaturverhältnisse und Nutzung von Starterkulturen verhindert werden (Doeun et al. 2017). Die Verwendung von Starterkulturen zur Fermentation dient einerseits der Verbesserung von Geschmack und Aroma, andererseits sollen sie pathogene Keime durch pH-Wert-Senkung und Säurebildung unschädlich machen (Beutling 1996). Es muss beachtet werden, dass bei Verwendung einiger Starterkulturen die Aminbildung gefördert wird (García-Díez und Saraiva 2021, Mah et al. 2019). Somit wird die Ansammlung von Aminen begünstigt und stellt damit ein Kriterium für die Qualität und gegebenenfalls eine Genussuntauglichkeit eines Lebensmittels dar (Barbieri et al. 2019). Für die Herstellung von Lebensmitteln werden verschiedene Starterkulturen, die u.

A. Hefen, *Lactobacillus* und *Lactococcus*, *Leuconostoc*-Arten und *Pediococcus* umfassen, verwendet. Bei einigen Bakterien wurde die verstärkte Bildung von Histamin (Tab. 2) und Tyramin (z. B. *Carnobacterium*) nachgewiesen (Ercan et al. 2013). Der Nachweis von biogenen Aminen in nicht fermentierten Lebensmitteln kann als Indikator mikrobieller Kontamination dienen, wobei nur das Wachstum Decarboxylase-positiver Mikroben für die Aminbildung berücksichtigt werden darf (Moniente et al. 2021, Silla-Santos 1996).

In verdorbenen Rohmaterialien bzw. Lebensmitteln sind demnach neben hohen Gehalten an biogenen Aminen und Polyaminen – Histamin, Putrescin, Cadaverin, Spermin und Spermidin - auch bakterielle Endotoxine als gesundheitsgefährdendes Agens zu erwarten, wodurch diese Rohstoffe als unsicher einzustufen sind (Ruiz-Capillas und Herrero 2019), davon sind gleichermaßen Rohfutterzutaten für Hunde und Katzen betroffen (Paulsen et al. 2021b). Während des Verderbs von Hühner- und Rinderfleisch sowie Fisch wird stufenweise Putrescin, Cadaverin und Histamin gebildet (Beutling 1996, Silla-Santos 1996), während in Schweinefleisch zusätzlich zu Putrescin und Cadaverin ein Anstieg von Spermin und Spermidin beobachtet werden kann (Beutling 1996). Ein Anstieg des Gehalts an biogenen Aminen deutet auf eine mangelhafte bzw. sinkende hygienische Qualität des Produkts hin (EFSA 2011, Feddern et al. 2019). Die Konzentrationen von Spermin und Spermidin nehmen mit der Verlängerung der Lagerungsperiode ab, deshalb wird diesen Aminen keine besondere Bedeutung als Qualitätsindex in frischen Lebensmitteln beigemessen (Costa et al. 2018). Der Putrescin und Cadaverin Gehalt steigt mit der Lagerungsdauer, daher dienen diese biogenen Amine als Indikatoren für die Frischfleischqualität (Askar und Treptow 1986, Costa et al. 2018, Ercan et al. 2013). Für gelagertes rotes Fleisch können zudem die Werte von Tyramin als Indikator herangezogen werden. Für Geflügelfleisch sind hingegen die Amine Putrescin, Cadaverin, Spermin und Spermidin wesentlich. Das Vorkommen dieser Amine ist von der Geflügelart sowie deren Haltungform abhängig. Im Fleisch biologisch gehaltener Hühner und Enten treten bspw. nur Tyramin und Spermin auf (Costa et al. 2018).

Der Histamingehalt ist je nach Fischart variabel. Nach EU (VO) Nr. 2073/2005 gelten Fischarten der Familien *Scombridae*, *Clupeidae*, *Engraulidae*, *Coryphenidae* sowie *Pomatomidae* und *Scorpaenidae* reich an Histamin. In verdorbenem Fisch steigt der Histamingehalt deutlich an (Werte >100 mg/100 g gelten als toxisch (Blonz und Olcott 1978)). Zusammen mit Histamin gilt die Konzentration von Trimethylamin (TMA) als weiteres Kriterium für die Frische von Fisch (Askar und Treptow 1986, Beutling 1996). Trimethylamin ist ein biogenes Amin, welches bei Raumtemperatur als fischartig übelriechendes Gas auftritt, das von der Bakteriengattung *Pseudomonas* im Lauf des Fischverderbs produziert wird. Bei

Werten >15 mg TMA-N/100 g ist Fisch als genussuntauglich einzustufen (Askar und Treptow 1986, Doccheck 27.01.2022, Saad und Tofalo 2020). Als Indikator für die Frische bzw. den Verderb von Fisch müssen jedoch neben erhöhten Gehalten an Histamin und Trimethylamin auch Putrescin und Cadaverin berücksichtigt werden (Askar und Treptow 1986). Der Verzehr von Makrelenartigen (*Scombridae*), welche durch Lagerung bei zu hohen Temperaturen verdorben sind oder bereits vor der Verarbeitung bakteriell kontaminiert sind, führt zur sogenannten Scombroidvergiftung. Diese ist durch hohe Konzentrationen an Histidin gekennzeichnet, welches in biochemischen Prozessen in Histamin umgewandelt wird. Decarboxylase-positive Mikroorganismen (Tab. 2) finden sich bereits vor der weiteren Verarbeitung auf Haut und Kiemen, sie können während dem Ausnehmen in das Muskelgewebe übertreten (Costa et al. 2018, Visciano et al. 2020).

Da bereits gebildete biogene Amine als äußerst thermostabil gelten, sind sie in der Lage Hitzebehandlungen (Koch- und Sterilisationsvorgänge) bei der Herstellung von Nahrungsmitteln zu überstehen. Dahingehend sind Aussagen über die Frische oder bereits vorhandene bakterielle Kontamination der verwendeten Produkte bzw. die hygienischen Bedingungen während der Herstellung möglich (Beutling 1996, Doeun et al. 2017, Feddern et al. 2019, Paulsen et al. 2000). Die Entwicklung des „Biogenic Amine Index“ (BAI) nach Mietz und Karmas (1977) ermöglicht durch Berechnung die quantitative Einschätzung des Verderbs von Fisch, aber auch Rindfleisch kann damit evaluiert werden. In der Formel werden die Amine Putrescin, Histamin, Cadaverin, Spermin und Spermidin (Angaben in mg/kg Frischmasse) berücksichtigt (Askar und Treptow 1986, Beutling 1996, Feddern et al. 2019, Paulsen et al. 2000, Steneberg 2007):

$$\text{Biogenic Amine Index (BAI)} = (\text{Putrescin} + \text{Histamin} + \text{Cadaverin}) : (1 + \text{Spermin} + \text{Spermidin})$$

Der BAI basiert auf dem Anstieg der Werte von Putrescin, Cadaverin und Histamin, wohingegen die Werte von Spermin und Spermidin während der Lagerung von Fisch sinken (Jairath et al. 2015, Ruiz-Capillas und Herrero 2019). BAI-Werte von >10 deuten auf mangelhafte Qualität aufgrund eines fortschreitenden Fäulnisprozesses hin (Askar und Treptow 1986, Ruiz-Capillas und Herrero 2019, Steneberg 2007). Werte von 0–1 weisen auf eine gute Qualität des Fisches hin, Ergebnisse zwischen 1–10 sind von grenzwertiger Qualität (Askar und Treptow 1986, Ruiz-Capillas und Herrero 2019). Tab. 5 zeigt die Beurteilung von Fisch- und

Fischprodukten, sowie Meeresfrüchten bezogen auf niedrige und ansteigende BAI-Werte in Zusammenhang mit der Veränderung ihrer sensorischen Qualität.

Tab. 5 Beurteilung nach BAI-Werten und sensorischer Qualität von Fisch- und Fischprodukten sowie Meeresfrüchten.

Produkt	Sensorische Qualität	BAI
Thunfisch, in Dosen	1	0-1
	2	1-10
	3	> 10
Lachs, Steak	1	0-0,8
	2	0,8-8
	3	> 8
Garnele	1	0-5
	2	5-25
	3	> 25
1 = annehmbare Qualität, 2 = Grenzqualität, 3 = nicht annehmbare Qualität		

Quelle: In Anlehnung an (Askar und Treptow 1986)

Der BAI wurde ursprünglich für die Bestimmung des Verderbnisgrades von Fisch bzw. dessen Frische entwickelt, da Histamin als alleiniger Indikator nicht ausreicht (Askar und Treptow 1986). Muskelgewebe von Fischen der Familie *Scombridae* (dazu zählen Makrelen und Thunfische) enthält natürlicherweise mehr Histidin, welches bereits nach dem Fang durch vorhandene Decarboxylase-positive Mikroorganismen zu Histamin konvertiert werden kann (Doeun et al. 2017). Der Index kann zwar für Fleisch- und Fleischerzeugnisse angewandt werden, berücksichtigt jedoch Tyramin als das überwiegende biogene Amin während dem Verderb dieser Rohstoffe nicht. Die Aussagekraft der Ergebnisse ist daher zu hinterfragen (Beutling 1996, Ruiz-Capillas und Herrero 2019). In diesem Zusammenhang wurde für Fleisch und Fleischerzeugnisse (sowie Käse) von Hernández-Jover et al. (1996) die Berechnung des BAI die Summe von Cadaverin, Putrescin, Histamin und Tyramin vorgeschlagen:

- für frisches Fleisch von guter Qualität gilt ein BAI $< 5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,
- für Fleisch mit ersten, noch akzeptablen Kennzeichen von Verderb zwischen $5\text{-}20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,
- für Fleisch niedriger Qualität zwischen $20\text{--}50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ und für verdorbenes Fleisch $> 50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (Hernández-Jover et al. 1996, Jairath et al. 2015, Ruiz-Capillas und Herrero 2019, Triki et al. 2018).

4. Gehalte von biogenen Aminen in Fisch, Fleisch und Nebenprodukten der Schlachtung

In einer Vielzahl verschiedener proteinhaltiger Lebensmittel, bspw. in Fleisch, Fisch, Milchprodukten und fermentierten Produkten sind biogene Amine enthalten (z. B. Wein, Gemüseprodukte) (Askar und Treptow 1986, Bardocz 1995, Beutling 1996, Durak-Dados et al. 2020). In Rohstoffen tierischen Ursprungs variiert das Vorhandensein unterschiedlicher Amintypen und ihre Konzentration je nach Spezies des Tieres, Art der verwendeten Körperteile (bspw. Muskulatur oder Organe) und ihrer weiteren Verarbeitung. In Anhang C: Gehalte biogener Amine in Muskelfleisch, Organen und Nebenprodukten der Schlachtung in mg/kg wird ein Überblick der Gehalte biogener Amine, nachgewiesen in Muskelfleisch, Organen und tierischen Nebenprodukten, gegeben.

Auffallend sind die Maximalwerte von Putrescin, Cadaverin, Histamin sowie Tyramin und Phenylethylamin von Muskelfleisch verschiedener Tierarten. Organe bzw. Schlachtnebenprodukte zeigen drei- bis vierstellige Maximalwerte von Putrescin, Cadaverin, Histamin, Spermidin und Spermin. Zu Mehlen verarbeitete tierische Nebenprodukte weisen einen vielfach höheren Amingehalt auf. In Fleisch und Fleischerzeugnissen finden sich beträchtliche Konzentrationen von biogenen Aminen (Hernández-Jover et al. 1996). Die Leber ist intensiv am Aminosäurestoffwechsel und damit an der Bildung von biogenen Aminen beteiligt. Frisches Rind-, Schweine- und Geflügelfleisch enthält natürlicherweise Spermin und Spermidin (Costa et al. 2018, Durak-Dados et al. 2020, Hernández-Jover et al. 1996, Jairath et al. 2015, Schirone et al. 2022), da diese Amine physiologische Funktionen erfüllen (Costa et al. 2018). Spermingehalte zwischen 20 und 60 mg * kg sowie Spermidingehalte von 10 mg * kg können als normal betrachtet werden, wobei der Gehalt von Spermidin selten >10 mg * kg übersteigt (Durak-Dados et al. 2020, Stadnik und Dolatowski 2010, Visciano et al. 2020). Rohes Fleisch, welches unter hygienischen Bedingungen weiter verarbeitet wird, sollte als gekochtes Endprodukt weiterhin nur Spermin und Spermidin enthalten (Costa et al. 2018, Hernández-Jover et al. 1996). Die Qualität des verwendeten Rohmaterials ist der relevanteste Faktor für die Möglichkeit einer weiteren Aminbildung (Durak-Dados et al. 2020). Die Amine Cadaverin, Putrescin, Histamin, Tyramin und Tryptamin können dagegen während der Verarbeitung und Lagerung des Fleisches in hohen Mengen gebildet werden (Costa et al.

2018, Hernández-Jover et al. 1996). In verderbendem Fleisch steigt die Konzentration von Cadaverin, Histamin und Putrescin signifikant (Askar und Treptow 1986, Bardocz 1995) aufgrund des stattfindenden Eiweißabbaus (Durak-Dados et al. 2020). Für die Proteolyse können fleischeigene Enzyme verantwortlich gemacht werden, deren Aktivität durch Zunahme der Azidität und Dehydration des Fleisches begünstigt wird (Stadnik und Dolatowski 2010). In weiterer Folge werden in komplexen biochemischen Prozessen große Peptide in Oligopeptide und diese letztlich in freie Aminosäuren gespalten (Durak-Dados et al. 2020). Damit werden optimale Bedingungen für das Wachstum von Decarboxylase-positiven Mikroorganismen geboten. Um den Amingehalt zu bestimmen, gibt es mehrere Methoden: die Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (HPLC), welche überwiegend genutzt wird, und Gaschromatographie, sowie Fluoreszenzmessverfahren, Kapillarelektrophorese und Enzymimmunoassays (ELISA) (Costa et al. 2018, Wójcik et al. 2020).

4.1 Höchstwerte in Lebensmitteln für den menschlichen Verzehr

Die Aufnahme hoher Mengen von Aminen kann zu unerwünschten Nebenwirkungen bis hin zu Vergiftungserscheinungen führen oder lebensmittelbedingte Erkrankungen auslösen. Die Bestimmung eines exakten Schwellenwerts bis zum Auftreten von toxischen Symptomen gestaltet sich aufgrund vieler verschiedener und individueller Faktoren als schwierig (Costa et al. 2018, Silla-Santos 1996). Einerseits spielt die aufgenommene Menge der biogenen Amine eine Rolle, welche zu einer Defizienz der abbauenden Enzyme führen kann, andererseits kann ihre Effizienz durch andere Komponenten (bspw. Medikamente, Polyamine) beeinflusst werden; zudem ist der individuelle Gesundheitszustand zu berücksichtigen, um nur ein paar Beispiele zu nennen (Stadnik und Dolatowski 2010). Zu den kritisch betrachteten Aminen zählen Tyramin, Histamin, β -Phenylethylamin und Tryptamin; Histamin und Tyramin sind weltweit hauptverantwortlich für Lebensmittelvergiftungen (Costa et al. 2018).

Da Histamin und seine Wirkungen weitestgehend erforscht wurden, wurden von verschiedenen Autoren Empfehlungen für die Höchstaufnahme von Histamin ausgesprochen (Tab. 3), als auch von internationalen und nationalen Lebensmittelorganisationen Höchstmengen definiert. Die Organisation Food and Drug Administration (FDA) empfiehlt explizit für Histamin in Fischen einen Grenzwert von 50 mg/kg. Derselbe Grenzwert wird von der World Health Organization (WHO) und European Food Safety Authority (EFSA) als akzeptabler Wert in Lebensmitteln vertreten (Costa et al. 2018, Wójcik et al. 2020). Aufgrund von gesammelten Daten über das

Auftreten von Lebensmittelvergiftungen wurde als legales Höchstlimit 100 mg/kg Lebensmittel vorgeschlagen (Ekici und Omer 2020, Jairath et al. 2015, Silla-Santos 1996). Basierend auf Informationen der EFSA wurden 25–50 mg Histamin pro Person pro Mahlzeit als jene Dosis definiert, bei der keine gesundheitsschädigenden Auswirkungen bei gesunden Probanden beobachtet wurden („no observed adverse health effects level“ - NOAEL). Der Wert kann jedoch durch den Konsum von aminreichen Lebensmitteln überschritten werden und bei Personen mit einer Histaminintoleranz können selbst bei Aufnahme von geringen Mengen Nebenwirkungen auftreten (EFSA 2011, Ekici und Omer 2020). Bisher ist lediglich der Histamingehalt in Fischerzeugnissen rechtlich bindend festgelegt. Die Europäische Union (EU) hat tolerierte Grenzwerte für Histamin in Fisch und Fischerzeugnissen in der Verordnung (VO) (EG) Nr. 2073/2005 über mikrobiologische Kriterien für Lebensmittel, sowie EU VO (EG) Nr. 1441/2007 und EU VO (EG) Nr. 365/2010 protokolliert. Hierbei gelten je nach Kategorie des Produkts verschiedene Grenzwerte, welche in Tab. 6 gelistet werden: es wird zwischen Fisch unterschieden, welcher in Salzlösung enzymatisch gereift wurde und solchem, welcher hohe Gehalte an freiem Histidin im Muskelgewebe enthält (Schirone et al. 2022).

Tab. 6 In der EU rechtlich tolerierte Grenzwerte für Histamingehalte in Fisch und Fischerzeugnissen (VO (EG) Nr. 2073/2005)

Kategorie:	Grenzwerte Histamin
Fischereierzeugnisse mit hohem Histidingehalt im Muskelgewebe	100-200 mg * kg
Fischereierzeugnisse die in Salzlösung enzymatisch gereift wurden*	200-400 mg * kg
*betrifft Arten der Familien <i>Scombridae</i> , <i>Clupeidae</i>	

Als gesundheitsschädigende Dosis von Tyramin und β -Phenylethylamin in Lebensmitteln wurden 100–800 mg/kg für Tyramin und 30 mg/kg für β -Phenylethylamin von verschiedenen Autoren vorgeschlagen (Ekici und Omer 2020, Radosevich 2007, Silla-Santos 1996).

Für Heimtiere existieren derzeit weder definierte toxische Werte noch rechtlich bindende Höchstmengen (Altafini et al. 2022). In Literaturarbeiten wird jedoch über eine verstärkte Wirkung von mehreren kombinierten biogenen Aminen sowie physiologische und pathologische Wirkungen bei Säugetieren (Abschnitt 2.2 und 2.3) berichtet (Radosevich 2007).

4.2 Zusammenstellung typischer Heintierfutterrezepturen

4.2.1 Gesetzliche Grundlagen und Definitionen

Nach EU VO (EG) Nr. 767/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13. Juli 2009 über das Inverkehrbringen und die Verwendung von Futtermitteln können Futtermittel die Form von Einzelfuttermitteln, Mischfuttermitteln, Futtermittelzusatzstoffen, Vormischungen oder Fütterungsarzneimitteln annehmen. Dabei sind nachfolgende Definitionen zu beachten.

Heintier: „ein nicht der Lebensmittelgewinnung dienendes Tier, das gefüttert, gezüchtet oder gehalten wird, jedoch üblicherweise nicht zum menschlichen Verzehr verwendet wird.“

Einzelfuttermittel: „Erzeugnisse pflanzlichen oder tierischen Ursprungs, die vorrangig zur Deckung des Ernährungsbedarfs von Tieren dienen, im natürlichen Zustand, frisch oder haltbar gemacht, und Erzeugnisse ihrer industriellen Verarbeitung sowie organische oder anorganische Stoffe, mit Futtermittelzusatzstoffen oder ohne Futtermittelzusatzstoffe, die zur Tierernährung durch orale Fütterung bestimmt sind, sei es unmittelbar als solche oder in verarbeiteter Form, für die Herstellung von Mischfuttermitteln oder als Trägerstoff für Vormischungen.“

Mischfuttermittel: „eine Mischung aus mindestens zwei Einzelfuttermitteln, mit Futtermittelzusatzstoffen oder ohne Futtermittelzusatzstoffe, die zur oralen Fütterung in Form eines Alleinfuttermittels oder Ergänzungsfuttermittels bestimmt sind.“

Alleinfuttermittel: „Mischfuttermittel, das wegen seiner Zusammensetzung für eine tägliche Ration ausreicht.“

Futtermittelzusatzstoffe (EFSA): „Produkte, die bewusst Futtermitteln zugesetzt werden, um den Geschmack des Futtermittels zu verbessern, den Bedarf an bestimmten Nährstoffen zu decken oder die Leistung von gesunden Tieren zu steigern.“ Dazu zählen:

- Sensorische Zusatzstoffe: Aroma-, und Farbstoffe;
- Technologische Zusatzstoffe: Konservierungsmittel, Antioxidationsmittel, Emulgatoren, Säureregulatoren;
- Ernährungsphysiologische Zusatzstoffe: Aminosäuren, Vitamine, Spurenelemente;
- Zootechnische Zusatzstoffe: Verdaulichkeitsförderer;
- Kokzidiostatika und Histomonostatika

Tierische Nebenprodukte (TNP): „ganze Tierkörper oder Teile von Tieren oder Erzeugnisse tierischen Ursprungs bzw. andere von Tieren gewonnene Erzeugnisse, die nicht für den menschlichen Verzehr bestimmt sind.“

4.2.2 Bewusstsein für gesunde Tierernährung im Wandel der Zeit

Das Bewusstsein für eine gesunde Lebensweise und somit auch Ernährung hat sich bei Menschen über die Jahre stetig weiterentwickelt. Der Anspruch der Konsument:innen an Lebensmittel steigt (Triki et al. 2018). Konsumgüter (im Besonderen Fleisch, Fisch, Milchprodukte sowie Gemüse und Obst) sollen frisch, sicher und wohlschmeckend sein, einen hohen Nährwert aufweisen, aus ökologischer Landwirtschaft und Tierhaltung stammen und somit eine facettenreiche Ernährung ermöglichen. In einer Statistik der AMA und GfK im Zeitraum von 2011 bis 2020 wurden 2800 österreichische Haushalte zu den jährlichen Haushaltsausgaben bezogen auf Lebensmittel befragt. So gaben die Österreicher 2011 knappe 93 Euro im Jahr für Bioprodukte aus, 2020 betrug die Ausgaben mit rund 190 Euro mehr als das Doppelte (AMA Marketing et al. 2021). Die Haltung von Hunden und Katzen erfreut sich in Österreich zunehmend großer Beliebtheit. So wurden diese Tiere früher zur Arbeit genutzt (z. B. zum Schutz, zur Jagd, in Ställen), nehmen sie in der heutigen Zeit den Stellenwert als Familienmitglied ein. Im Jahr 2020 wurde über die Haltung von 827.000 Hunden und mehr als zwei Millionen Katzen in österreichischen Haushalten berichtet. Durchschnittlich werden für Katzen etwa 51 Euro pro Monat ausgegeben, davon rund 40 Euro für Futter. Für Hunde belaufen sich die Ausgaben auf rund 103 Euro, wovon 75 Euro für Futter ausgegeben werden. Für das Jahr 2022 wird auf dem österreichischen Markt ein Umsatz von erstmals mehr als 600 Millionen Euro von Heimtierfutterherstellern erwartet (Statista Research Department 2022). Das Angebot an Tiernahrung wird stetig erweitert und ermöglicht der Käufer:in eine große Auswahl. In diesem Zusammenhang ist unter den Tierbesitzer:innen das Interesse an dem Thema Tierernährung gewachsen und der Wunsch entstanden, dem eigenen Haustier ähnlich dem Menschen eine ausgewogene, vielfältige, nachhaltige und nahrhafte Ernährung anzubieten. Es ist anhand der erhobenen Daten anzunehmen, dass die Tierbesitzer:innen dazu bereit sind, mehr Geld für qualitativ hochwertiges Futter auszugeben. Die zunehmende Mensch-Tier-Verbindung führt dazu, dass Tierbesitzer:innen dazu neigen ihren eigenen Ernährungsstil auf ihr Haustier zu übertragen und dementsprechend für das Tier als vermeintlich gesund erachtete Rohkost-, vegetarische oder vegane Diäten als Alternative zu herkömmlichem Futter anzubieten. Die tatsächlichen individuellen Bedürfnisse von Tieren

werden dabei aufgrund mangelnder Fachkenntnis und dem Einholen von Falschinformationen über das Internet nicht in jedem Fall berücksichtigt. Die Verbreitung von irreführenden Bildern und Beschreibungen nicht validierter Quellen zur Verwendung von Schlachtnebenprodukten für die Herstellung von Hunde- und Katzenfutter schließen Tierbesitzer:innen Produkte mit diesen Komponenten teilweise aus Sorge um die Sicherheit ihrer Tiere aus (Di Cerbo et al. 2017, Meeker und Meisinger 2015). Es gilt zu beachten, dass Katzen obligate Karnivoren und somit auf die Aufnahme von Fleisch angewiesen sind, während Hunde ähnlich dem Menschen durchaus als omnivor betrachtet werden können. Es bestehen signifikante Unterschiede zwischen Hunden und Katzen bezüglich der physiologischen Funktionen ihres Gastrointestinaltrakts, weshalb das Thema Ernährung für beide Arten gesondert betrachtet werden muss. Der Körper des Hundes ist im Gegensatz zu dem der Katze in der Lage, essentielle Nährstoffe wie Arginin, Taurin und Niacin zu synthetisieren (Di Cerbo et al. 2017). Katzen sind nicht in der Lage, diese Komponenten selbst zu synthetisieren, sowie β -Carotin in seine aktive Form, Retinol oder Vitamin A, umzuwandeln. Diese müssen daher über den Konsum von Fleisch zugeführt werden (Di Cerbo et al. 2017, Meeker und Meisinger 2015, Pibot et al. 2008). Vegetarische Diäten sind für Katzen in diesem Fall unzureichend und Mangelerscheinungen können auftreten (Meeker und Meisinger 2015). Weiterhin verfügen Hunde die Gene AMY2B, MGAM und SGLT1, welche letztlich die Aufnahme von Glukose und die Verdauung von Stärke ermöglichen (Di Cerbo et al. 2017). Als Besonderheit ihres Stoffwechsels können Katzen ihren Energiehaushalt anders als der Hund nicht über die Aufnahme von Kohlehydraten regulieren, sondern über Glukoneogenese aus Aminosäuren. Die Zufuhr von viel und hochwertigem Protein ist daher unbedingt notwendig (Bolbecher 2013, Di Cerbo et al. 2017, Pibot et al. 2008).

4.2.3 Bedeutung und Nährwert von Schlachtnebenerzeugnissen für Heimtiere

Nach Meeker und Meisinger (2015) gilt für nachhaltig hergestelltes und qualitativ hochwertiges Futter folgende Definition: „The ability to produce pet food that provides sufficient energy and the amounts of essential nutrients required to maintain good health now and into the future with the smallest possible environmental footprint.“ Um den genannten Ansprüchen gerecht zu werden, werden in der Heimtierfuttermittelherstellung Schlachtnebenprodukte verarbeitet, die im Rahmen der Schlachtung anfallen. In Bezug auf Umgang, Verarbeitung und weitere Nutzung von Schlachtnebenprodukten gilt innerhalb der EU die VO (EG) Nr. 1069/2009.

Für die Herstellung von sicheren Heimtierfuttermitteln können tierische Nebenprodukte der Kategorie 3 verwendet werden, welche nicht für den menschlichen Verzehr bestimmt sind (bspw. Fettgewebe, Blut, Felle). Die Tierkörperverwertung ermöglicht die ökologische Verarbeitung und Nutzung von wertvollen tierischen Materialien mit Fokus auf nicht Lebensmittel-produzierenden Bereichen wie in der Kosmetik-, Pharmaindustrie und Heimtierfuttermittelindustrie (Jayathilakan et al. 2012). Für eine artgerechte Ernährung von Hunden und Katzen und der Erhaltung ihrer Gesundheit muss der Nährstoffbedarf erfüllt werden: der Bedarf an Proteinen und Energie muss gedeckt sein und der Mineralhaushalt in Balance gehalten werden (Meeker und Meisinger 2015). Schlachtnebenprodukte besitzen trotz der kritischen Betrachtung durch Tierbesitzer:innen einen hohen Nährwert, da sie eine gute Quelle für essentielle Nährstoffe (z.B. Spurenelemente und Vitamine) darstellen (Meeker und Meisinger 2015) sowie hohe Amingehalte aufweisen (Paulsen et al. 2021b). Schlachtnebenprodukte enthalten unter anderem Mineralstoffe, Spurenelemente, Vitamine, Fettsäuren und Aminosäuren (Jayathilakan et al. 2012, Meeker und Meisinger 2015, Toldrá et al. 2016). Die Leber, Ohren und Füße eines Kalbs weisen einen ähnlich hohen Proteingehalt wie mageres Muskelfleisch auf. Nieren sowie Leber sind reich an Kohlehydraten, somit reichhaltige Quellen für Vitamin B12 und B6 sowie Folsäure. Zudem enthält die Leber Vitamin A und Niacin. Blut, welches zu Blutmehl verarbeitet wird, ist besonders reich an Proteinen, Aminosäuren und Mineralstoffen (bspw. Eisen). Fleisch- und Knochenmehl enthalten Vitamin B12, Mineralstoffe und sind eine gute Proteinquelle, da sie über essentielle Aminosäuren verfügen (Jayathilakan et al. 2012). Aufgrund ihres hohen nutritiven Wertes werden daher in Europa jährlich 15 Millionen Tonnen roher und weiter verarbeiteter Schlachtnebenprodukte für die Herstellung von Heimtierfutter wiederverwertet (Toldrá et al. 2016). Je nach Art (Muskelgewebe, Organe, Blut) und Zustand (Rohmaterial oder verarbeitetes Material) der verwendeten tierischen Nebenprodukte können unterschiedliche Konzentrationen an biogenen Aminen erwartet werden (Anhang C: Gehalte biogener Amine in Muskelfleisch, Organen und Nebenprodukten der Schlachtung in mg/kg).

4.2.4 Literaturangaben zu Amingehalten in Heimtierfutter

Zur exakten Berechnung von Amingehalten in Heimtierfuttermitteln existiert bisher wenig aussagekräftige Literatur (Altafini et al. 2022). Einige Studien liefern jedoch Erkenntnisse über die Gehalte biogener Amine in diversen Rohstoffen. Diese wurden bereits in Anhang C: Gehalte biogener Amine in Muskelfleisch, Organen und Nebenprodukten der Schlachtung in mg/kg zusammengetragen. In Ermangelung vollständiger Ergebnisse konnten nicht alle Parameter angegeben werden. Nachfolgend werden für die Futtermittelherstellung verwendete,

ausgewählte Rohstoffe für die Trocken-, Nass- und Rohfütterung und ihre (Höchst-)Werte von biogenen Aminen unter Verwendung verschiedener Quellen verglichen.

4.2.4.1 Amingehalte in zur Rohverfütterung bestimmtem Hunde- und Katzenfutter („BARF“)

Die Rohfütterung („BARFen“) nimmt unter den Tierbesitzer:innen einen zunehmenden Stellenwert ein. Die Rationen werden meist von den Halter:innen aus Frischfleisch selbst zusammengestellt. Futterhersteller bieten auch gefrorene Rationen in verschiedenen Zusammensetzungen an. Die Rationen enthalten sowohl rohes Muskelfleisch als auch Organe sowie Schlachtnebenprodukte (Koch et al. 2020). Die für die Futterherstellung verwendeten Komponenten sind in Anhang C: Gehalte biogener Amine in Muskelfleisch, Organen und Nebenprodukten der Schlachtung in mg/kg abzulesen. Im nachfolgenden Vergleich werden nur die höchsten Amingehalte verschiedener ausgewählter Rohstoffe herangezogen. Diese Werte liegen insgesamt im ein- bis vierstelligen Bereich. Es gilt jedoch zu beachten, dass nicht alle in Anhang C: Gehalte biogener Amine in Muskelfleisch, Organen und Nebenprodukten der Schlachtung in mg/kg genannten Komponenten und Werte berücksichtigt wurden, da Unterschiede in den Angaben verschiedener Literaturarbeiten existieren und nicht für jedes Amin Berechnungen durchgeführt wurden. Anhand des Vergleichs kann daher keine allgemeingültige Aussage getroffen werden. Der Vergleich soll lediglich einen Überblick über mögliche Futtermittelbestandteile geben, welche aufgrund ihrer hohen Gehalte ein potenzielles Risiko für die Gesundheit des Tieres darstellen können. Die restlichen Werte bzw. Komponenten, welche hier nicht aufgeführt werden, können nachgelesen werden. Jeder Rohstoff tierischer bzw. pflanzlicher Natur enthält biogene Amine, die sich in Art und Gehalt unterscheiden, somit stellen selbst geringe Werte eine Eintragsquelle für Amine dar. Zusätzlich muss bedacht werden, dass für die Futtermittelherstellung verschiedene proteinreiche Rohstoffe verwendet werden und der Zusatz von Gemüse oder Teigwaren ebenso zu einer Akkumulation von biogenen Aminen führen kann.

Vergleich biogener Amine in Muskelfleisch verschiedener Tierarten und Fisch:

Die folgenden Daten wurden aus verschiedenen Literaturarbeiten gesammelt und übersichtlich in Anhang C: Gehalte biogener Amine in Muskelfleisch, Organen und Nebenprodukten der Schlachtung in mg/kg dargestellt.

Putrescin: Roher Fisch (536,9 mg/kg) weist im Vergleich zu anderen Fleischarten den höchsten Wert an Putrescin auf. Geflügelfleisch (382,7 mg/kg) enthält höhere Putrescin-Werte als

Schweine- und Rindfleisch. Rindfleisch für Rohverfütterung enthält mit 149 mg/kg mehr Putrescin als Schweinefleisch (131,5 mg/kg).

Cadaverin: Die höchsten Werte bewegen sich im dreistelligen Bereich. Geflügelfleisch (764,2 mg/kg) weist im Vergleich zu rohem Fisch (595 mg/kg) den höheren Wert auf. Roher Fisch erreicht höhere Cadaverin-Werte als Schweinefleisch (440 mg/kg) und Rindfleisch (295,6 mg/kg). BARF-Rindfleisch weist einen Gehalt von 154 mg/kg auf; Hackfleisch vom Rind (116,2 mg/kg) enthält in diesem Zahlenbereich den niedrigsten Cadaveringehalt.

Histamin: Den höchsten Histamingehalt zeigt im Vergleich zu Rind-, Schweine- und Geflügelfleisch roher Fisch (537,6 mg/kg). Geflügelfleisch enthält 180,5 mg/kg Histamin und somit mehr als Hackfleisch vom Rind (90,1 mg/kg). Roher Fisch und Geflügelfleisch liegen mit ihren Höchstwerten damit weit über dem Histamingehalt der anderen Komponenten.

Spermidin: BARF-Rindfleisch erreicht mit 32 mg/kg den höchsten Spermidin-Wert. Roher Fisch (27,2 mg/kg) weist höhere Werte von Spermidin auf als Truthahnbeine (18,3 mg/kg). Geflügelfleisch (9,8 mg/kg) zeigt im Vergleich zu Schweine- und Rindfleisch höhere Spermidin-Werte.

Spermin: Rohes Schweinefleisch weist mit 67,1 mg/kg den höchsten Spermin-Gehalt auf. Geflügelfleisch (53,6 mg/kg) zeigt im Vergleich zu Truthahnbeinen (49,2 mg/kg) und Rindfleisch (44,6 mg/kg) die höchsten Spermin-Werte, Rindfleisch weist höhere Spermin-Werte als Schweinefleisch (33,7 mg/kg).

Tyramin: Roher Fisch (333,7 mg/kg) zeigt im Vergleich zu Geflügel- und Schweinefleisch den höchsten Tyramin-Wert; Geflügelfleisch (171,2 mg/kg) und Schweinefleisch (171,2 mg/kg) zeigen dieselben Werte und enthalten somit mehr Tyramin als BARF-Rindfleisch (140 mg/kg).

Phenylalanin: Roher Fisch erreicht mit 263 mg/kg den höchsten Wert.

Tryptamin: Roher Fisch (47,9 mg/kg) zeigt hierbei den höchsten Wert.

Vergleich biogener Amine in Organen und Schlachtnebenerzeugnissen:

Putrescin: Geflügelmehl (1340 mg/kg) weist den höchsten Putrescin-Wert im Vergleich zu Fischmehl (537 mg/kg) und Tierkörpermehl (286 mg/kg) sowie Federmehl (267 mg/kg) auf. Federmehl enthält mehr Putrescin als Rinderleber (259 mg/kg).

Cadaverin: Fischmehl (1430 mg/kg) zeigt einen hohen Wert an Cadaverin; Geflügelmehl liegt mit 1350 mg/kg knapp darunter. Tierkörpermehl (450 mg/kg) zeigt höhere Werte als Blutmehl (280 mg/kg) und Federmehl (159 mg/kg).

Histamin: Fischmehl (1620 mg/kg) weist auch hier den höchsten Wert auf, wobei dieser exorbitant hoch ausfällt; die Werte der anderen Komponenten fallen wesentlich geringer aus. Tierkörpermehl enthält dagegen bspw. nur 208 mg/kg, Geflügelmehl 167 mg/kg.

Spermidin: Rinderleber (390 mg/kg) weist den höchsten Wert von den beurteilten Komponenten auf. Fischmehl (97 mg/kg) enthält mehr Spermidin als Geflügelmehl (53 mg/kg), Milz vom Schwein (51,9 mg/kg) sowie Tierkörpermehl (39 mg/kg).
Spermin: Fischmehl (139 mg/kg) weist hierbei den höchsten Wert auf. Rinderleber (128 mg/kg) zeigt höhere Gehalte als Geflügelmehl (96 mg/kg) und die Nieren (88,5 mg/kg) vom Schwein.
Tyramin: Da nur Daten für zwei Komponenten abzulesen sind, können nur die Werte für Fleischmehl (81 mg/kg) und Rinderleber (12,5 mg/kg) verglichen werden.
Phenylethylamin und Tryptamin: Aufgrund fehlender Angaben kann hierzu kein Vergleich erfolgen.

4.2.4.2 Amingehalte in Trockenfutter für Hunde und Katzen

Im Vergleich zu Nassfuttermitteln (0,85 a_w) weisen Trockenfuttermittel (0,40-0,45 a_w) eine niedrigere Wasseraktivität auf, was sie weniger anfällig für Verderb macht (Altafini et al. 2022). Frisches Fleisch weist quantitativ weniger biogene Amine (Histamin, Tyramin, Tryptamin, Cadaverin und 2-Phenethylamin) auf als Fleischmehl (Learey et al. 2018a). Diese Tatsache lässt sich auf mikrobiellen Abbau und aggressive, thermische oder mechanische industrielle Verarbeitungsprozesse zurückführen. Produktionsprozesse, die für die Trockenfutterherstellung genutzt werden, bspw. die Extrusion welche Dampf, hohen Druck (ca. 35-37 bar) und hohe Temperaturen (100-200 ° Grad Celsius) vereinbart (Learey 2018b), können die Bildung von biogenen Aminen verhindern, sofern das Ausgangsmaterial noch nicht mikrobiell kontaminiert ist (Radosevich 2007). Die Gehalte von Histamin, Cadaverin, Tyramin, Tryptamin und 2-Phenethylamin in Trockenfuttermitteln wurden aus den Angaben verschiedener Literaturarbeiten gesammelt. Guilford et al. (1994) beschreibt für untersuchte Trockenfuttermittelproben den Gehalt von 1,32–4,05 mg/kg für Histamin. Die von Montegiove et al. (2020) erhobenen Daten zu den Gehalten der oben genannten biogenen Amine in Frischfleisch und Fleischmehl von Huhn, Lachs und Schwein wurden vom Autor als Grafik dargestellt (Abb. 1, Abb. 2, Abb. 3, Abb. 4, Abb. 5). Bisher existiert nur wenig Literatur, welche exakte Angaben von biogenen Aminen in mg/kg für Trockenfutter bereitstellt. In diesem Zusammenhang wird auf Anhang C: Gehalte biogener Amine in Muskelfleisch, Organen und Nebenprodukten der Schlachtung in mg/kg verwiesen, welcher die Amingehalte diverser Rohstoffe zusammenfasst, die für die Produktion von Trockenfutter genutzt werden.

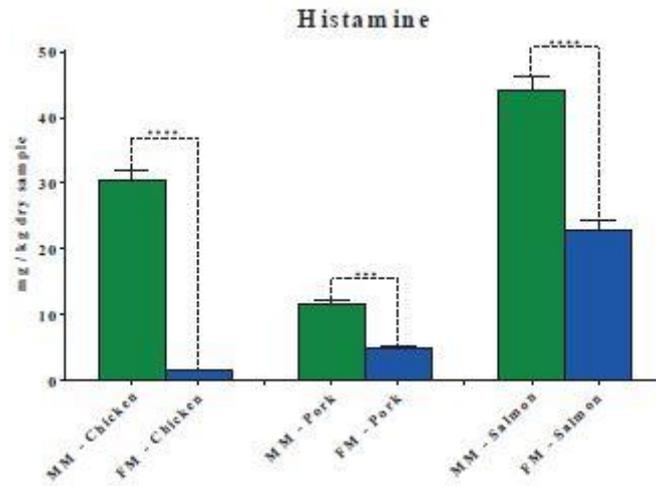


Abb. 1 Histamingehalt in mg/kg für Fleischmehl (MM) und Frischfleisch (FM) von Huhn, Schwein und Lachs (Montegiove et al. 2020)

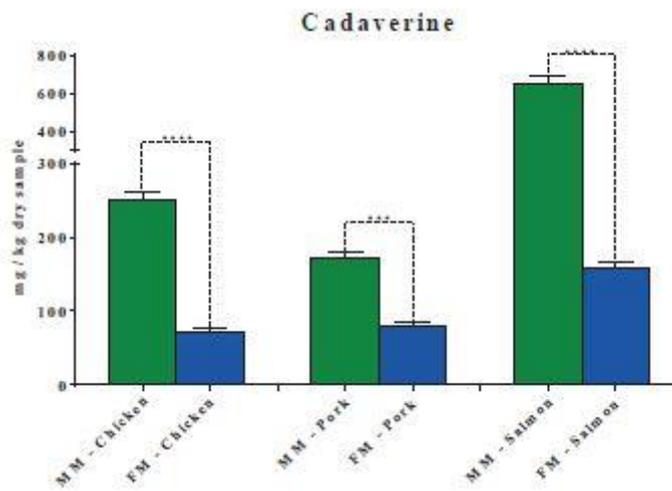


Abb. 2 Cadaveringehalt in mg/kg für Fleischmehl (MM) und Frischfleisch (FM) von Huhn, Schwein und Lachs (Montegiove et al. 2020)

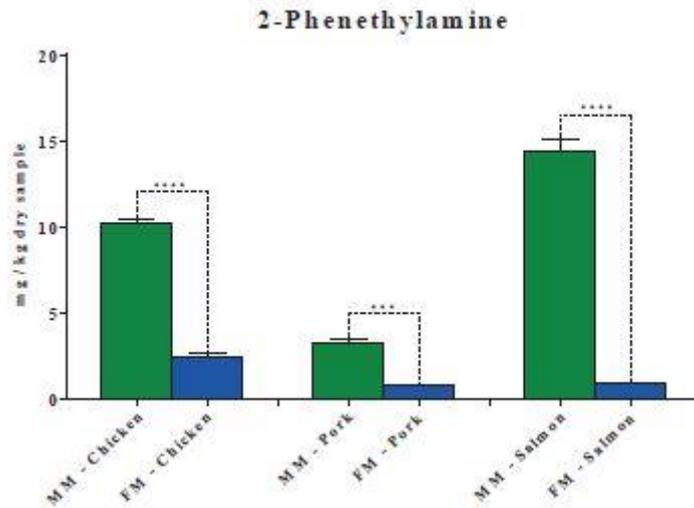


Abb. 3 2-Phenethylamingehalt in mg/kg für Fleischmehl (MM) und Frischfleisch (FM) von Huhn, Schwein und Lachs (Montegiove et al. 2020)

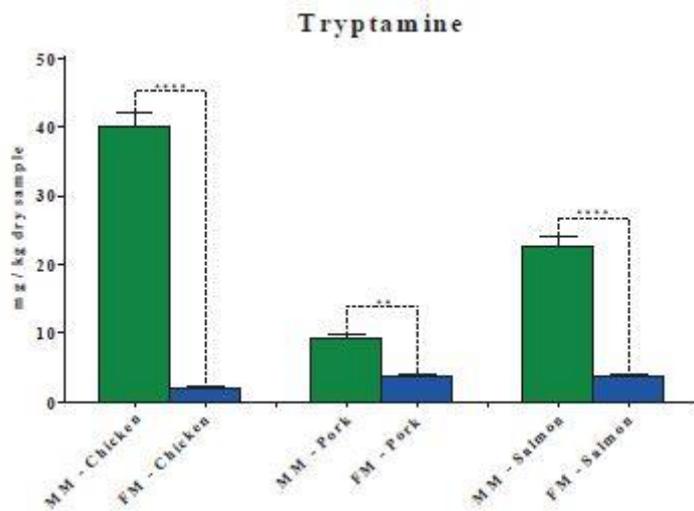


Abb. 4 Tryptamingehalt in mg/kg für Fleischmehl (MM) und Frischfleisch (FM) von Huhn, Schwein und Lachs (Montegiove et al. 2020)

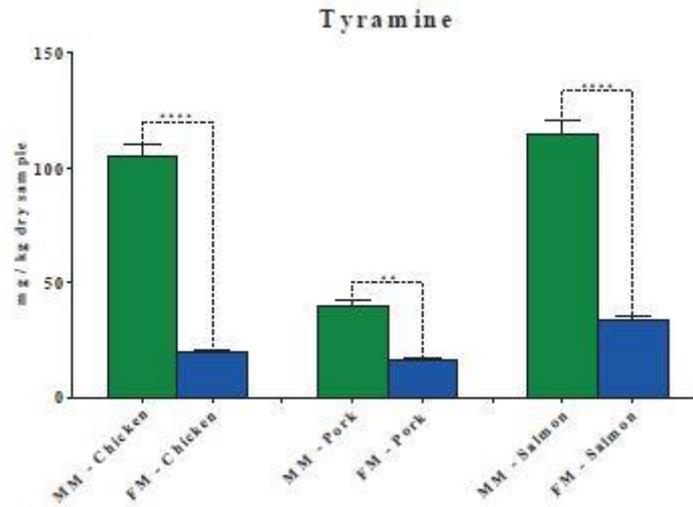


Abb. 5 Tyramingehalt in mg/kg für Fleischmehl (MM) und Frischfleisch (FM) von Huhn, Schwein und Lachs (Montegiove et al. 2020)

4.2.4.3 Amingehalte in Hunde- und Katzenfutterkonserven

Für die Produktion von Nassfutterkonserven für Hunde und Katzen werden wie auch für die Rohfütterung und Trockenfutterherstellung Muskelfleisch, Organe und Schlachtnebenprodukte verwendet, welche in Anhang C: Gehalte biogener Amine in Muskelfleisch, Organen und Nebenprodukten der Schlachtung in mg/kg gelistet werden. Die Gehalte können nach verwendeten Ausgangsstoffen variieren. Konserven unterschiedlicher Preisklassen können zudem Inhaltsstoffe wie Gemüse, Kräuter und Früchte enthalten, welche in geringen Mengen der Futtermittelrezeptur hinzugefügt werden. Trotz der geringen Mengen muss ein eventueller Eintrag von Aminen bedacht werden. Abschnitt 4.2.4 gibt einen Überblick über mögliche Inhaltsstoffe in Konserven verschiedener Futtermittelhersteller. Der Nachweis von biogenen Aminen in Nassfutterkonserven deutet somit auf mangelhafte Rohstoffe bzw. Fehler in der Verarbeitung und Lagerung hin (Learey et al. 2018a, Paulsen et al. 2021a, Radosevich 2007). In einer Studie von Paulsen et al. (2021a) wurden die Amingehalte von Nassfutterkonserven und zur Rohverfütterung bestimmtem Rindfleisch verglichen. Mehr als die Hälfte der getesteten Nassfutter- und BARF-Proben überschritten mit >50 mg/kg den BAI-Grenzwert für Fleisch (Hernández-Jover et al. 1996) und damit die Summe an Cadaverin, Putrescin, Histamin und Tyramin. Frisches Fleisch guter Qualität sollte einen BAI <5 mg/kg aufweisen (Hernández-Jover et al. 1996). Insgesamt wiesen die Nassfutterkonserven höhere Histamin- und Spermingehalte auf als die BARF-Proben. Die BARF-Proben hingegen wiesen signifikant höhere Gehalte von Putrescin, Cadaverin und Tyramin auf als die Konserven (Paulsen et al. 2021a). Hohe Histamingehalte treten in Nassfutterkonserven auf, welche vorrangig Fisch, Schlachtnebenprodukte und Leber enthalten (Guilford et al. 1994, Meeker und Meisinger

2015). Fisch als potenzielle Histaminquelle findet sich überwiegend in Nassfutterkonserven für Katzen. Interessanterweise konnten in einer Studie von (Paulsen et al. 2021b)a) höhere Histamingehalte in Konserven für Hunde nachgewiesen werden als in Konserven mit Fisch für Katzen, obwohl Fisch aufgrund seines hohen Histamingehalts als Risikofaktor gewertet wird. Das getestete Nassfutter für Hunde enthielt keine Fischkomponenten. Dies könnte ein Hinweis sein, dass andere histaminreiche Rohstoffe wie Organe (bspw. Leber) zugesetzt wurden (Kalač 2014, Paulsen et al. 2021a).

Allgemein gilt, dass sich für die Herstellung von Nass-, Trocken- und Rohfuttermitteln die Verwendung von qualitativ hochwertigen Rohstoffen empfiehlt, da diese geringere Konzentrationen von Histamin, Cadaverin, Tryptamin, Tyramin und 2-Phenylethylamin aufweisen (Learey 2018b, Montegiove et al. 2020). Die Verwendung von zu Mehl verarbeiteten Rohstoffen – im Besonderen Fisch- und Geflügelmehl – stellt eine wesentliche Eintragsquelle für biogene Amine dar. Die Einhaltung der GHP und eines HACCP-Konzeptes nach VO (EG) Nr. 178/2002 und VO (EG) Nr. 183/2005 ist zu jeder Zeit unerlässlich, um die Sicherheit von Lebens- bzw. Futtermitteln zu gewährleisten und folglich die Bildung biogener Amine zu unterbinden.

4.2.5 Vergleich von herkömmlichen

Heimtierfutterrezepturen

Im Handel sind überwiegend drei Produktarten erhältlich: Feucht- und Trockenfutter sowie halbfeuchte Futtermittel. Diese Produkte lassen sich aufgrund ihres Wassergehalts unterscheiden (Altafini et al. 2022). Ein weiterer aufsteigender Trend in der Ernährung von Hunden und Katzen stellt die Rohfütterung von Fleisch und Organen, das sogenannte „BARFen“ (per definitionem biologisch artgerechtes rohes Futter) dar (Koch et al. 2020). Feuchtfuttermittel weisen im Durchschnitt einen Feuchtigkeitsgehalt von 60-87 %, Trockenfutter 12-14 % und halbfeuchtes Futtermittel zwischen 14-35 % auf (Altafini et al. 2022, European Pet Food Industry Federation 2018). Sie bestehen überwiegend aus Fleisch und tierischen Nebenprodukten der Tierarten Fisch, Rind und Huhn mit pflanzlichen Zutaten (Getreidearten oder Gemüse). Tab. 7 bietet einen Überblick über die Zusammensetzung von Nass- und Trockenfutter.

Tab. 7 Inhaltsstoffe in Futtermitteln

Inhaltsstoffe
Proteine
Kohlenhydrate
Ballaststoffe
Vitamine
Mineralstoffe
Öle und Fette
Antioxidantien

Quelle: (Learey 2018b)

Um die Sicherheit von Nassfuttermitteln zu gewährleisten, führt ein Erhitzungsprozess zur Inaktivierung potentieller Krankheitserreger (bspw. Bakterien, Parasiten). So können Schlachtnebenprodukte sicher verwendet werden und die Haltbarkeit ungeöffneter Produkte ohne zusätzliche Kühlung verlängert werden (Paulsen et al. 2021b)a). Bereits gebildete biogene Amine werden dadurch nicht zerstört (Beutling 1996, Montegiove et al. 2020, Paulsen et al. 2000). Die Qualität der für Heimtiefutter verwendeten Rohmaterialien spielt eine tragende Rolle in der Entstehung von biogenen Aminen (Montegiove et al. 2020), da mit dem mikrobiellen Wachstum die Konzentration von biogenen Aminen proportional steigt (Bardocz 1995, Montegiove et al. 2020). In einer Studie von Montegiove et al. (2020) konnte gezeigt werden, dass die Verwendung von Fleischmehl der Tierarten Huhn, Schwein und Lachs zur Herstellung von Trockenfutter zu signifikant höheren Aminkonzentrationen (vor allem Histamin, Tyramin, Cadaverin und Tryptamin) aufgrund mikrobiellen Zerfalls führt.

Die Wasseraktivität eines Produkts gibt Auskunft über enzymatische Aktivität und mikrobielles Wachstum, erhöhte Werte stehen in Korrelation mit der Anfälligkeit für Verderb. Nassfuttermittel weisen einen a_w -Wert $>0,85$ auf und ermöglichen somit verschiedenen Pathogenen das Wachstum, während Trockenfuttermittel mit einem a_w -Wert zwischen $0,40-0,45$ nicht davon betroffen sind. Änderungen der Temperatur können die Wasseraktivität produktspezifisch steigern oder senken. Die Wasseraktivität von Nassfuttermitteln verändert sich kaum. Die korrekte Lagerung von kommerziellen Nassfuttermitteln für Hunde und Katzen Futtermitteln beeinflusst organoleptische Faktoren (z. B. Geruch und Geschmack) und senkt das Risiko des Verderbs. Weiterhin wurde durch entsprechende Amingehalte ein negativer Einfluss auf die Schmackhaftigkeit des Futters in Verbindung mit dem Fressverhalten (Altafini et al. 2022) berichtet. Das Vorhandensein von biogenen Aminen in Futtermitteln muss aufgrund ihrer möglichen toxischen bzw. allergischen Wirkungen und dem Zusammenhang mit dem

rasch einsetzenden mikrobiologischen Verderb von Rohmaterial als Risiko für die Gesundheit von Tieren betrachtet werden (Meeker und Meisinger 2015, Paulsen et al. 2021b).

Die getesteten Futtermittel wurden für Hunde und Katzen in je drei Preiskategorien eingeteilt: günstiges, mittleres und hochpreisiges Sortiment. Der Preis wurde pro 100 Gramm berechnet. Weiterhin wurden innerhalb jeder Preisklasse von Hunde- und Katzenfutter je drei Sorten von verschiedenen Herstellern bzw. wenn vorhanden, Futtermittel desselben, jedoch einer anderen Preiskategorie zugehörig herangezogen. Für Katzen (Anhang A: Handelsübliche Futterrezepturen – Katze) wurden die Sorten Geflügel, Rind und Fisch gewählt und für Hunde (Anhang B: Handelsübliche Futterrezepturen – Hund Geflügel, Rind und Fisch bzw. ersatzweise Wild) ausgesucht. Der Vergleich soll zeigen, welche Informationen Tierbesitzer:innen zu den Inhaltsstoffen und ihren prozentuellen Gehalten in herkömmlichen Nassfuttermitteln zur Verfügung stehen.

4.2.5.1 Vergleich Nassfutter für Katzen (Anhang A: Handelsübliche Futterrezepturen – Katze)

Im günstigsten Sortiment sind keine exakten prozentuellen Angaben zu Inhaltsstoffen vorhanden. Je nach Sorte sind 0-16 % Fleisch- oder Fischgehalt abzulesen, eine detaillierte Zusammensetzung der tierischen und pflanzlichen Nebenerzeugnisse sowie numerische Angaben fehlen. Für das Sortiment in der mittleren Preisspanne sind prozentuelle Anteile von 0-94 % für Fleisch und Fisch angegeben, sowie für Fleisch und tierische Nebenerzeugnisse, welche sich auf 0-94 % belaufen, jedoch nicht näher kategorisiert werden. Zudem weisen einige der Dosen bzw. Schalen Zutaten in Form von definiertem Gemüse (0-4 %) und Milchprodukten (0-4 % Käse) auf. Im teuren Sortiment finden sich für Fleisch und Fisch Angaben im Bereich von 0-96 %. Auf vier Dosen bzw. Schalen in diesem Preissegment sind neben dem prozentuellen Anteil an Huhn auch die genutzten Organe (Herzen, Lebern, Häuse, Mägen, Lungen, Pansen) von Geflügel und Rind abzulesen. Eine der Proben bietet eine detaillierte prozentuelle Angabe der verwendeten Organe bzw. Schlachtnebenprodukten (Herzen, Karkasse, Häuse, Lebern). Hersteller G in der teuren Preisspanne gibt ähnlich den Produkten in der günstigen Kategorie wenige Informationen zu den Inhaltsstoffen. Prozentuell wird für den Fleisch- und Fischgehalt jeweils 0-4 % angegeben, exakte Angaben fehlen. Unter den teuren Produkten ist bei zwei (Hersteller H und I) von drei Herstellern aufgefallen, dass gewisse Zutaten - z. B. Früchte (Cranberries) und Algen (Spirulina) mit exakten Prozenten angegeben werden. Drei Produkte von Hersteller H im teuren Sortiment weisen darauf hin, kein Tier- und Knochenmehl zu enthalten. Dieselben Produkte enthalten definierte Mengen Brühe

(0–27,3 %). Ein Hersteller F im mittleren und Hersteller I im teuren Preissegment bewerben ihre Produkte mit Inhaltsstoffen aus ökologischer, regionaler Landwirtschaft.

4.2.5.2 Vergleich Nassfutter für Hunde (Anhang B: Handelsübliche Futterrezepturen – Hund)

Hersteller A und Hersteller J im günstigen Sortiment geben für ihre Produkte den prozentuellen Anteil an Fleisch (Rind, Geflügel, Wild), Fisch (Lachs, Forelle, Seefisch) und Organen (Leber) im Bereich von 0–8 % an. Hersteller A definiert prozentuelle Angaben zu verwendetem Gemüse (4 % Karotten) und Teigwaren (4 % Nudeln) für eine Sorte. Allen drei Sorten dieses Herstellers wurde Inulin (0,4 %) zugesetzt. Eine detaillierte Zusammensetzung der tierischen und gegebenenfalls pflanzlichen Nebenerzeugnisse fehlt bei zwei Herstellern (A und J) von drei Herstellern im niedrigpreisigen Sortiment. Hersteller K im günstigen Sortiment gibt für seine drei Produkte 70 % Fleisch- und tierische Nebenerzeugnisse, je nach Sorte bestehend aus Muskelfleisch, Innereien und gegebenenfalls Fisch, an. Zwei dieser Produkte geben den prozentuellen Anteil an Rind (35 %) und Huhn (13 %) an, eines der Produkte unterteilt den Gehalt an Rind (35 %) auf Fleisch, Lungen, Schwarten, Lebern und Pansen, welche jedoch nicht einzeln abzulesen sind. Auf zwei von drei Produkten ist die Verwendung von Lungen, Muskelfleisch, Nieren, Schwarten, Lebern, Pansen und gegebenenfalls Euter vermerkt, numerische Angaben sind nicht vorhanden. Weiterhin sind auf diesen drei Produkten zwei Zusätze (0,2 % Flachsöl und Rübenfasern) prozentuell festgelegt. Hersteller K weist auf dem Etikett seiner Produkte darauf hin, kein Soja-, Tier- oder Knochenmehl zu verwenden. Im mittleren Preissegment geben zwei (L und N) von drei Herstellern den Anteil an Fleisch und tierischen Nebenerzeugnissen mit 70–94 % an; Hersteller L unterteilt diese in Muskelfleisch und Innereien, nähere Angaben dazu sind nicht abzulesen. Derselbe Hersteller gibt für den Gehalt an Rind 23 % bzw. Geflügel 45 % und Fisch 23 % aus biologischer Landwirtschaft an. Bei den Produkten von Hersteller M und N können zum Teil die prozentuellen Gehalte von Fleisch, Herzen, Lebern, Lungen, Mägen und Hälsen von verwendetem Geflügel (Huhn) sowie Fleisch, Herzen, Lebern, Lungen und Pansen vom Rind und Herzen, Fleisch, Lebern und Lungen vom Wild abgelesen werden. Drei Produkte von Hersteller M verwenden die Zutaten Obst (bspw. Äpfel, Birnen), Gemüse (bspw. Karotten, Kohlrabi) und Kräuter (bspw. Brennnesselblätter, Brunnenkresse) sowie Algen und Amaranth. Numerische Angaben zu den Gehalten sind teilweise angegeben. Hersteller N gibt für seine Produkte die Verwendung von Brühe (28,6 %) an. Im teuren Sortiment werden von den ausgesuchten drei Herstellern O, P und Q für alle Dosen (ausgenommen einer Dose der Sorte Lachs) zwischen 50–67 % an Fleisch und tierischen Nebenerzeugnissen angegeben, wobei diese Muskelfleisch und Innereien

umfassen. Zwei (O und P) von drei Herstellern legen für ihre Produkte für den Anteil an Rind, bestehend aus Fleisch, Herzen, Lebern, Lungen und Pansen zwischen 50–65 % fest, für Geflügel (Huhn, Fasan), bestehend aus Fleisch, Herzen, Mägen, Lebern, Hälsen und Fett 50–65 %. Detaillierte numerische Angaben zu einzelnen Bestandteilen sind bei diesen Produkten nicht vorhanden. Zwei (O und Q) der drei Hersteller geben als Inhaltsstoff für ihre Produkte Brühe (26,9–27,4 %) oder Trinkwasser (25,7–25,79 %) an. Bei den Produkten von Hersteller P sind für alle drei ausgewählten Sorten (Huhn, Rind, Hirsch) sowohl prozentuelle Angaben zum Fleischgehalt, sowie zu den jeweilig verwendeten Nebenerzeugnissen abzulesen. Diese umfassen Informationen zum Gehalt von Rinderlungen, -leber, -herz sowie Hühnerleber, -hälse, -herzen und Karkasse und weiterhin Lungen, Leber und Herz vom Hirsch. Alle drei Hersteller dieser Preiskategorie geben die Verwendung einer Vielzahl von Zusätzen, bspw. verschiedene Gemüsesorten, Kräuter und Öle in Prozent (0,01–18 %) an.

Während des Vergleichs von Heimtierfuttermitteln im günstigen, mittleren und hohen Preissegment ist aufgefallen, dass den Tierbesitzer:innen überwiegend im teuren Sortiment für beide Tierarten eine detaillierte Auflistung ihrer einzelnen Inhaltsstoffe inklusive prozentueller Angaben geboten wird. Sowohl im günstigen als auch im teuren Sortiment findet sich bei einigen Produkten der deutliche Vermerk, dass kein Tiermehl enthalten ist. Im mittleren und teuren Preissegment beider Tierarten werben Hersteller mit biologischer Landwirtschaft und Verwendung von Produkten aus der Region im Vergleich zu den Herstellern im günstigen Sortiment. Im teuren Sortiment finden sich zudem diverse Zutaten wie Kräuter, Obst und Gemüse, welche aufgrund ihres nutritiven und ernährungsphysiologischen Werts jedenfalls Bestandteil der gesunden Ernährung des Menschen sind.

Pflanzliche Zutaten in Hunde- und Katzenfutter als mögliche Eintragsquelle für biogene Amine und ihr phytotherapeutischer Nutzen:

Der Einsatz von Heil- und Gewürzpflanzen, bspw. Kartoffeln und Karotten, findet einerseits in der Veterinärmedizin bereits in Form von Phytotherapie statt (Aichberger et al. 2012), andererseits werden sie in der Herstellung von Heimtierfuttermitteln verwendet. Lebensmittel pflanzlichen Ursprungs enthalten abhängig von ihrer Art und der weiteren Verarbeitung unterschiedliche Konzentrationen von biogenen Aminen (Askar und Treptow 1986, Beutling 1996). Pflanzliche Zutaten können zusätzlich zu den tierischen Erzeugnissen bei Verwendung für die Heimtierfutterproduktion eine Eintragsquelle darstellen. Als vorherrschende Amine werden in Gemüse und Obst Spermidin und Putrescin beschrieben, weiterhin Spermin; Obst enthält dabei die geringsten Konzentrationen (Muñoz-Esparza et al. 2019). Spinat und Tomaten

enthalten daneben hohe Mengen an Histamin, Tryptamin und Tyramin, Tomaten mit längerer Haltbarkeitsdauer zudem erhöhte Mengen an Putrescin. Kartoffeln enthalten weiterhin Tryptamin und Noradrenalin, Tyramin und Serotonin (Beutling 1996). Sojabohnen weisen hohe Konzentrationen an Spermidin und Spermin auf (Muñoz-Esparza et al. 2019). Die Qualität bzw. weitere Verarbeitung der Zutaten (z. B. roh, gekocht) beeinflusst die Entstehung von biogenen Aminen (Triki et al. 2018). Tab. 8 zeigt verschiedene Gemüse- und Kräutersorten, welche als Inhaltsstoffe gelistet wurden, und ihre nachgewiesenen Wirkungen.

Tab. 8 Pflanzliche Inhaltsstoffe in Tierfuttermittel und ihre Wirkung als Phytotherapeutika

Pflanzliche Inhaltsstoffe	Nachgewiesene Wirkungen
Karotten	<ul style="list-style-type: none"> - spasmolytisch - anthelminthisch - antioxidativ - antimikrobiell
Kartoffeln	<ul style="list-style-type: none"> - spasmolytisch - antazid (Hemmung der Magensäureproduktion)
Löwenzahn	<ul style="list-style-type: none"> - saluretisch - sekretionsfördernd im oberen Magen-Darm-Trakt
Brennnesselblätter	<ul style="list-style-type: none"> - diuretisch - antiphlogistisch - analgetisch
Ringelblumenblüten	<ul style="list-style-type: none"> - antibakteriell - gastroprotektiv - antiphlogistisch

Quelle: In Anlehnung an (Aichberger et al. 2012, Chrubasik 2005)

5. Diskussion

Die gesunde Ernährung von Heimtieren nimmt heute unter Tierbesitzer:innen einen hohen Stellenwert ein. Die Fütterungsmethoden variieren von Nass-, Trocken- und Rohfütterung („BARF“), wobei die Methode des BARFens sich aufgrund der Erwartungshaltung von Tierhaltern bezogen auf die Natürlichkeit dieser Fütterung großer Beliebtheit erfreut (Koch et al. 2020). Unabhängig von der Art der Fütterung werden für die Herstellung aller drei Methoden Fleisch, Fisch, Innereien und weitere Schlachtnebenprodukte verwendet (Meeker und Meisinger 2015). Die weitere Verarbeitung dieser proteinreichen Rohstoffe zu Fleisch- und Fischmehl und deren Verwendung für die Herstellung von Heimtierfutter führt aufgrund mikrobiellen Zerfalls zu deutlich erhöhten Aminkonzentrationen im Vergleich zu Frischfleisch (Montegiove et al. 2020). Anhand der Angaben in der Literatur kann darauf geschlossen werden, dass die Verwendung von Fleisch- bzw. Tierkörper- sowie insbesondere Fischmehl für die Herstellung von Trockenfutter als besondere Eintragsquelle für biogene Amine gewertet werden kann, da die genannten Mehlsorten signifikant höhere Mengen biogene Amine enthalten als frisches Fleisch (Feddern et al. 2019, Montegiove et al. 2020, (Learey et al. 2018a), Radosevich 2007). In Lebensmitteln sind vor allem Putrescin, Cadaverin, Tryptamin, Tyramin, Histamin, 2-Phenylethylamin sowie Spermin und Spermidin vertreten. Biogene Amine sind an physiologischen Prozessen des Organismus beteiligt, sie können jedoch ein gesundheitsschädliches Agens darstellen (Beutling 1996, Wójcik et al. 2020). Die Literatur liefert zahlreiche Erkenntnisse zu den pathophysiologischen Wirkungen auf den Menschen. Histamin nimmt eine zentrale Rolle im Rahmen einer Intoxikation ein (Askar und Treptow 1986, Beutling 1996). Nebenwirkungen bedingt durch erhöhte Histaminaufnahme können auch bei Hunden bzw. Katzen beobachtet werden (Craig 2019, Guilford et al. 1994). Es existieren bisher nur rechtlich bindende Grenzwerte für Histamin für Menschen. Aufgrund ihrer möglichen toxischen Wirkung auf Heimtiere wurde von verschiedenen Autoren mittels durchgeführter Studien die Bestimmung von den Amingehalten in Nassfutterkonserven und BARF-Produkten angestrebt (Altafini et al. 2022, Guilford et al. 1994, Paulsen et al. 2021b, Paulsen et al. 2021a) sowie Aussagen über Auswirkungen auf die Akzeptanz und Geschmackhaftigkeit von Futtermitteln zu treffen (Blonz und Olcott 1978).

5.1 Welche Rohstoffe tierischer Herkunft haben Bedeutung als Aminquelle?

Die Literatur kommt überwiegend zu der Erkenntnis, dass einerseits Schlachtnebenprodukte (Meeker und Meisinger 2015), andererseits die Verwendung minderwertiger Rohstoffe (Feddern et al. 2019, Paulsen et al. 2021b) sowie bestimmte Spezies von Fischen (besonders der Familie *Scrombridae*) (Altafini et al. 2022, Costa et al. 2018, European Pet Food Industry Federation 2018) ein mögliches Risiko eines erhöhten Eintrags von Aminen darstellen. Fisch birgt aufgrund seines hohen Histamingehalts das Risiko einer Histaminintoxikation (Abschnitt 2.3.3) und wird deshalb in der Futtermittelindustrie als kritisch eingestuft. Frisches Muskelfleisch von guter Qualität enthält im Vergleich zu Innereien (z.B. Leber) und zu Mehl weiter verarbeiteten Nebenprodukten (bspw. Blutmehl, Fischmehl, Fleischmehl) quantitativ weniger biogene Amine (Anhang C: Gehalte biogener Amine in Muskelfleisch, Organen und Nebenprodukten der Schlachtung in mg/kg. In Innereien sind höhere Polyaminkonzentrationen zu erwarten (Kalač 2014). Da für die Herstellung von Hunde- und Katzenfutter Schlachtnebenprodukte und Innereien verarbeitet werden, kann davon ausgegangen werden, dass diese aufgrund ihres hohen Amingehalts eine Eintragsquelle darstellen. Die Fütterung nach der BARF-Methode stellt ein Risiko dar. Weiterhin birgt diese Fütterungsmethode eine Gefahr für Tierhalter:innen und das Tier, da mit Zoonose-Erregern kontaminierte Produkte im Handel vertrieben werden und folglich Heimtiere infiziert werden und den Erreger ev. ausscheiden (bspw. *Salmonella* oder *Campylobacter*) (Koch et al. 2020).

Auffällig hohe Werte für Putrescin, Cadaverin und Histamin erreichen die verarbeiteten Schlachtnebenprodukte Fisch- und Geflügelmehl (Anhang C: Gehalte biogener Amine in Muskelfleisch, Organen und Nebenprodukten der Schlachtung in mg/kg, welche Futtermittel aufgrund ihres hohen Gehalts an Nährstoffen zugesetzt werden können. Interessanterweise wiesen bei dem Vergleich von Futtermitteln (Abschnitt 4.2.5) verschiedener Preisklassen sowohl Produkte aus dem günstigen und teuren Sortiment deutlich darauf hin, kein Tiermehl zu enthalten. Eine Begründung dafür ließ sich jedoch weder auf dem Etikett, noch auf den Internetseiten der jeweiligen Hersteller ablesen. Dennoch stellen diese Zutaten Risikoprodukte für den Amineintrag dar. Um jedoch eine allgemein gültige Aussage über Amingehalte in Hunde- und Katzenfutter treffen zu können, müsste eine umfangreiche Anzahl von Proben labortechnisch analysiert und dokumentiert werden. Für weitere detaillierte Informationen zu den verwendeten Inhaltsstoffen (z. B. Verarbeitung, Herkunft der Rohstoffe, Lagerungsbedingungen) wäre der Hersteller zu kontaktieren. Anhand des Vergleichs kann

angenommen werden, dass bestimmte Komponenten von Bedeutung für den Eintrag von biogenen Aminen in der Rohfütterung sind und somit potenziell gesundheitsschädliche Folgen (Abschnitt 2.3) haben. Zudem muss beachtet werden, dass verwendetes rohes Fleisch und Organe bzw. Schlachtnebenprodukte mikrobiologisch kontaminiert sein können und somit einerseits die Bildung von Aminen begünstigt wird, andererseits Infektionen bei Tieren und Tierhalter:innen auslösen können (Koch et al. 2020).

Insgesamt kann die Aussage getroffen werden, dass die Nutzung proteinreicher sowie qualitativ minderwertiger Komponenten eine potenzielle Aminquelle darstellt. Steigende Putrescin- und Cadaverin-Werten geben Hinweis auf beginnenden Verderb. Der Nachweis erhöhter Konzentrationen in Futtermitteln für Heimtiere deutet demnach darauf hin, dass die verwendeten Rohstoffe zum Zeitpunkt der weiteren Verarbeitung bereits verdorben waren. Die Amingehalte von Muskelfleisch, Organen und Schlachtnebenprodukten können zudem durch folgende Gegebenheiten beeinflusst werden:

- Vor der Schlachtung:
 - Verschmutzte bzw. unzureichend saubere Tiere sowie Transporter und weiteres genutztes Equipment (Radosevich 2007);
- Nach der Schlachtung:
 - Mikrobielle Kontamination des Rohstoffes durch Austritt von Darminhalt oder Kontakt mit der Haut;
 - Unzureichende Reinigung und Desinfektion von Arbeitsmaterialien und – oberflächen;
 - Mängel in der Personalhygiene;
 - Lagerungsfehler: verlängerte Zeitspannen zwischen Schlachtung und Kühlung bzw. unzureichende Kühlung;

Um die Bildung weiterer Amine zu verhindern muss erneut die Relevanz der Einhaltung eines GHP und HACCP-Konzeptes betont werden (EFSA 2011). Hierzu muss einerseits die Lagerung bei entsprechenden Temperaturen optimiert werden bzw. sollte die Kühlkette nicht unterbrochen werden. Durch geeignete Kühlung kann das Wachstum Decarboxylase-positiver Mikroorganismen jedenfalls vermindert werden. Zudem muss auf ausreichende Betriebs- und Personalhygiene geachtet werden. Diese Maßnahmen können den weiteren Eintrag von biogenen Aminen in zur Futtermittelherstellung verwendeten Rohstoffen wesentlich mindern. Dementsprechend gilt, dass alle Schritte – von der Anlieferung der Schlachttiere über die Schlachtung, Lagerung und der weiteren Verarbeitung – sorgfältig kontrolliert und

dokumentiert werden müssen, um die Sicherheit von Futtermitteln gewährleisten zu können. Nach EU VO (EG) Nr. 767/2009 wurde die Lebens- und Futtermittelsicherheit durch EU VO (EG) Nr. 178/2002 sowie EU VO (EG) Nr. 183/2005 jedenfalls für zur Lebensmittelgewinnung bestimmten Tierarten erweitert, indem für Futtermittelunternehmen festgelegt wurde: „[...] dass in den Futtermittelunternehmen das HACCP-Prinzip [...] und Leitlinien für die gute Hygienepraxis eingeführt wurden.“

5.2 Gibt es bei Heimtierfutter „Risikoprodukte“ für erhöhte Gehalte an Histamin und anderen Amininen?

Aufgrund seiner möglichen Toxizität ist Histamin für die Futtermittelindustrie von besonderem Interesse (Meeker und Meisinger 2015) und wird oftmals in Studien zu Gehalten von biogenen Amininen in Futtermitteln (Nass- und Trockenfutter sowie in BARF-Produkten) von verschiedenen Autoren thematisiert. Es wird die Annahme vertreten, dass Histamin über die Verwendung von bestimmten Fischarten eingetragen werden kann. In einer Studie von (Paulsen et al. 2000) wurde Fisch als mögliche Komponente in Konserven angeführt, welcher höhere Histamingehalte erwarten lässt als Konserven mit anderen Inhaltsstoffen (bspw. Geflügel und Rind). Eine aktuelle Studie von (Paulsen et al. 2021b) berichtet nach der Untersuchung von Nassfutterkonserven für Hunde und Katzen über unerwartet höhere Histamingehalte in Hundefutter als im Katzenfutter, obwohl dieses im Vergleich zum Hundefutter die Komponente Fisch enthielt. Dahingehend konnte kein höheres Risiko für den Eintrag von Histamin bei Verwendung von Fisch nachgewiesen werden, jedoch erhöhte Gehalte von Cadaverin als Hinweis auf mikrobiologischen Verderb. In einer Studie von Altafini et al. (2022) konnte in Nassfutterkonserven auf Fischbasis Histamin nachgewiesen werden. Die histaminreichen Proben wurden verschiedenen Temperaturbedingungen ausgesetzt. Die Lagerung bei hohen Temperaturen führte im Gegensatz zur Lagerung bei Raumtemperatur zu einem signifikanten Anstieg des Histamingehalts. Dennoch wurden die von der EU festgelegten Grenzwerte für Fisch und Fischerzeugnisse nach EU VO (EG) Nr. 2073/2005 von keiner Probe überschritten. Altafini et al. 2022 kommt somit bezogen auf Histamin als Risikofaktor zu einer ähnlichen Erkenntnis wie (Paulsen et al. 2021b)). In einer Studie von Guilford et al. (1994) konnte gezeigt werden, dass bei den untersuchten Konserven jene mit Fisch als Komponente die höchsten Histamingehalte erreichten. Zudem wurden hohe Gehalte von Histamin in Konserven nachgewiesen werden, welche Schlachtnebenprodukte von Geflügel sowie Leber

enthielten. Weiterhin wurde in dieser Studie der Einfluss auf die Histaminbildung durch die Lagerung von geöffneten Konserven bei Raumtemperatur sowie unter kühlen Bedingungen berücksichtigt. Keine der beiden genannten Lagerungsbedingungen führte zu einem bemerkenswerten Anstieg von Histamin. Bestimmte Fischarten sind für die Bildung von Histamin aufgrund ihres hohen Histidengehalts prädestiniert. Dazu zählen unter anderem Fische der Familie *Scombridae* und *Clupeidae*. Dunkles Muskelfleisch von Fischen gilt reicher an Histamin als helles Muskelfleisch. Bei angemessener kühler Lagerung kann die Bildung von Histamin jedoch eingeschränkt werden. Es kann nicht verallgemeinert werden, dass alle Fische hohe, toxisch wirkende Konzentrationen von Histamin enthalten (Visciano et al. 2020). Die Histaminintoxikation tritt überwiegend nach dem Verzehr von bakteriell kontaminierten Fischen der Familie *Scombridae* auf. In Bezugnahme auf diese Erkenntnisse wären eine exakte Auflistung der Inhaltsstoffe sowie deren Mengen in Prozentangaben sowie mg/kg hilfreich, um Aussagen über ein mögliches Risiko treffen zu können. Weiterhin könnte der wiederholte Verzehr bestimmter Komponenten im Futter als Risiko gewertet werden (Altafini et al. 2022). Studien über die Auswirkungen oder den Zusammenhang von biogenen Aminen in zugefügtem Gemüse, Obst und Kräutern bei herkömmlichen Rezepturen sowie ein therapeutischer Nutzen für Hunde und Katzen waren zum Zeitpunkt des Erstellens der Diplomarbeit nicht vorhanden, wären jedoch interessant zu hinterfragen. Dieses Gebiet bedarf daher weiterer Forschung.

5.3 Bedeutung biogener Amine für die Heimtierfütterung

Im Rahmen der Verwendung histaminreicher Rohstoffe für die Herstellung von Futtermitteln muss die Möglichkeit einer Futtermittelintoleranz als Krankheitsbild bei Heimtieren in Betracht gezogen werden. Ursache für eine Histaminintoleranz (Abschnitt 2.3.3) kann eine unzureichende Funktion der MAO, DAO sowie PAO sein; für Katzen wurden Unterschiede in der Aktivität von DAO beschrieben (Craig 2019). Obwohl in der Literatur ein Konsens dazu herrscht, dass in Heimtierfutterkonserven (mit Fischanteilen) ein zu geringer Histamingehalt vorliegt, um tatsächlich eine Intoxikation auszulösen, beschreibt Guilford et al. (1994) in einer Studie mögliche idiosynkratische Reaktionen bei Katzen nach dem Konsum geringer Mengen Histamins. Tiere, welche sensitiv auf Histamin reagieren, können Tachypnoe sowie -kardie, Hypotension sowie gastrointestinale Symptome entwickeln. Vasoaktiv wirksame Amine wie Histamin können weiterhin den Treshold für Allergene herabsetzen (Craig 2019). In Hinsicht auf die Vielfalt der pathophysiologischen Wirkungen von biogenen Aminen auf Hunde und Katzen wäre es sinnvoll, weitere Forschung zu betreiben. Für Heimtiere existieren im Vergleich

zum Menschen bisher noch keine rechtlich festgelegten Grenzwerte für biogene Amine bzw. im Besonderen für Histamin (Tab. 3). Die Angabe von toxisch wirksamen Konzentrationen gestaltet sich für Heimtiere als schwierig, da für jedes Tier individuelle Aspekte zu berücksichtigen sind. Lediglich Fischmehl als Futtermittelkomponente weist daher ein definiertes Limit für Histamin auf. Hierfür sind die rechtlich bindenden Grenzwerte für Fisch und Fischerzeugnisse zu beachten (Tab. 6). Für die Amine Tyramin (100–800 mg/kg) und Phenylethylamin (30 mg/kg) gelten bisher Empfehlungen für den Konsum (Radosevich 2007).

In EU VO (EG) Nr. 178/2002 werden allgemeine Anforderungen sowohl für die Lebens-, als auch Futtermittelsicherheit vorgeschrieben. Hygienevorschriften für die Nutzung tierischer Nebenprodukte, welche nicht für den menschlichen Verzehr bestimmt sind, werden in EU VO (EG) Nr. 1069/2009 erläutert. Für die hygienische Qualität von verarbeiteten Futtermitteln in Konserven sowie zur Rohverfütterung bestimmten Zutaten werden in EU VO (EG) Nr. 142/2011 Grenzwerte festgelegt: Futtermittelkonserven müssen auf einen F_c -Wert von mindestens 3 erhitzt werden, anderes Futter als Konserven muss einer Hitzebehandlung von mindestens 90 °C unterzogen werden, insbesondere wenn diese möglicherweise kontaminiertes Fleisch oder kontaminierte Schlachtnebenprodukte enthalten. Um eine Kontamination zu vermeiden ist das Heimtierfutter nach der Behandlung in neue Verpackungen zu füllen, wobei die Einhaltung der Hygiene unabdingbar ist. Während der Herstellung und Lagerung von Materialien, die zur Rohfütterung von Heimtieren verwendet werden sind Zufallsstichproben zu entnehmen, um eine Kontamination mit Salmonellen und *Enterobacteriaceae* ausschließen zu können.

Es gilt: „Salmonellen: kein Befund in 25 g, $n = 5$, $c = 0$, $m = 0$, $M = 0$, *Enterobacteriaceae*: $n = 5$, $c = 2$, $m = 10$, $M = 5000$ in 1 g, wobei

n = Anzahl der zu untersuchenden Proben,

m = Schwellenwert für die Keimzahl; das Ergebnis gilt als zufriedenstellend, wenn die Keimzahl in allen Proben m nicht überschreitet,

M = Höchstwert für die Keimzahl; das Ergebnis gilt als nicht zufriedenstellend, wenn die Keimzahl in einer oder mehreren Proben größer oder gleich M ist, und

c = Anzahl der Proben, bei denen die Keimzahl zwischen m und M liegen kann, wobei die Probe noch als zulässig gilt, wenn die Keimzahl in den anderen Proben m oder weniger beträgt.“

Mithilfe des BAI kann im Rahmen von Futtermitteluntersuchungen die Qualität von verwendetem Fleisch und Fisch bestimmt werden und zugleich damit eine Aussage über die Sicherheit des Futtermittels gemacht werden. Für Futtermittel gilt, dass die Summe aller Amine

den Wert von 300 mg/kg und für Histamin den Wert von 500 mg/kg nicht überschritten werden sollten (Paulsen et al. 2021b, The European Pet Food Industry 2018).

6. Zusammenfassung

Diese Diplomarbeit beschäftigt sich mit der Fragestellung, welche möglichen Auswirkungen biogene Amine auf Heimtiere haben können und welchen Stellenwert sie als über das Futter vermittelte gesundheitsschädigende Noxe haben. Aus bereits bestehenden wissenschaftlichen Arbeiten und entsprechender Literatur wurden folgende Erkenntnisse zusammengetragen: als mögliche Eintragsquelle von biogenen Aminen in kommerziellem Alleinfuttermittel für Heimtiere wurde die Verwendung von Fleisch verschiedener Tierarten sowie Schlachtnebenprodukte berücksichtigt, welche aus ökonomischen und wirtschaftlichen Gründen Einzug in die Futtermittelproduktion halten. Im Rahmen der Arbeit wurden 54 Nassfutterkonserven für Hunde (Anhang B: Handelsübliche Futterrezepturen – Hund und Katzen (Anhang A: Handelsübliche Futterrezepturen – Katze auf ihre Inhaltsstoffe verglichen; die Zutaten wurden vom Etikett abgelesen. Die wenigsten Produkte wiesen eine vollständige Angabe der Inhaltsstoffe auf. Die Verwendung von Fleisch, Schlachtnebenprodukten und Fisch als Basis für Heimtierfutter stellt jedoch eine wesentliche Eintragsquelle für biogene Amine aufgrund ihres hohen Proteingehalts dar. Anhand verschiedener Studien (Anhang C: Gehalte biogener Amine in Muskelfleisch, Organen und Nebenprodukten der Schlachtung in mg/kg) konnten vor allem Produkte zur BARF-Fütterungsmethode sowie Nassfutterkonserven mit Fisch und Fleisch als Risikoprodukte eingestuft werden. Bisher wurden keine rechtlich tolerierten Grenzwerte für Gehalte von biogenen Aminen in Heimtierfutterprodukten festgelegt, es existieren lediglich Empfehlungen.

7. Summary

This diploma thesis deals with possible effects of alimentary biogenic amines on pets and which significance amines have as noxious agents that are harmful to health. Findings were compiled based on existing scientific work and corresponding literature: the use of meat from various animal species and slaughter by-products, which are used in feed production for economic reasons, were considered as a possible source of biogenic amines in commercial complete feed for pets. As part of the work, 54 canned wet food for dogs and cats were compared concerning their ingredients based on the product label; very few products had a complete list of ingredients. However, the use of meat, slaughterhouse by-products, and fish as the basis for pet food represents a significant source of entry for biogenic amines due to their high protein content. Based on various studies products for the BARF feeding method and canned wet food with fish and meat have been classified as risk products. So far, no legal limits for contents of biogenic amines in pet food products have been specified, only recommendations were given.

8. Literaturverzeichnis

- Aichberger L, Graftschafter M, Fritsch F, Gansinger D, Hagmüller W, Hahn-Ramssl I, Hozzank A, Kolar V, Stöger E. 2012. Kräuter für Nutz- und Heimtiere. Ratgeber für die Anwendung ausgewählter Heil- und Gewürzpflanzen. Zweite Aufl. Eigenverlag.
- Altafini A, Roncada P, Sonfack GM, Guerrini A, Romeo GA, Fedrizzi G, Caprai E. 2022. Occurrence of Histamine in Commercial Cat Foods under Different Storage Conditions. *Veterinary Sciences*, 9 (6): 270. DOI 10.3390/vetsci9060270.
- AMA Marketing, GfK, KeyQUEST. 2021.
<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/607552/umfrage/ausgaben-fuer-bioproducte-in-oesterreich/> (Zugriff 24.02.2023).
- Askar A, Treptow H. 1986. Biogene Amine in Lebensmitteln. Vorkommen, Bedeutung und Bestimmung. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer, 197.
- Barbieri F, Montanari C, Gardini F, Tabanelli G. 2019. Biogenic Amine Production by Lactic Acid Bacteria: A Review. *Foods (Basel, Switzerland)*, 8 (1): 1–27. DOI 10.3390/foods8010017.
- Bardocz S. 1995. Polyamines in food and their consequences for food quality and human health. *Trends in Food Science & Technology*, 6 (10): 341–346.
- Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit. 09.04.2020.
https://www.lgl.bayern.de/lebensmittel/chemie/toxische_reaktionsprodukte/amine.html#vorkommen_natur (Zugriff 24.02.2023).
- Beutling DM, Hrsg. 1996. Biogene Amine in der Ernährung. Berlin, Heidelberg, New York, Barcelona, Budapest, Hongkong, London, Mailand, Paris, Santa Clara, Singapur, Tokio: Springer, 265.
- Blonz ER, Olcott HS. 1978. Effects of orally ingested histamine and/or commercially canned spoiled skipjack tuna on pigs, cats, dogs and rabbits. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Comparative Pharmacology*, 61 (1): 161–163. DOI 10.1016/0306-4492(78)90127-2.
- Bolbecher G. 2013. Gesunde Katzenernährung (Teil I). *Zeitschrift für Ganzheitliche Tiermedizin*, 27 (04): 126–129. DOI 10.1055/s-0033-1350914.
- Buyukuslu N. 2015. Dietary Polyamines and Diseases: Reducing Polyamine Intake Can Be Beneficial In Cancer Treatment. *Journal of Nutrients*, 2 (2): 27–38. DOI 10.18488/journal.87/2015.2.2/87.2.27.38.

- Büyükuslu N. 2015. Dietary Polyamines and Diseases: Reducing Polyamine Intake Can Be Beneficial In Cancer Treatment. *Journal of Nutrients*, 2 (2): 27–38.
DOI 10.18488/journal.87/2015.2.2/87.2.27.38.
- Calzada J, Del Olmo A, Picón A, Gaya P, Nuñez M. 2013. Reducing biogenic-amine-producing bacteria, decarboxylase activity, and biogenic amines in raw milk cheese by high-pressure treatments. *Applied and environmental microbiology*, 79 (4): 1277–1283.
DOI 10.1128/AEM.03368-12.
- Chrubasik S. 2005. Zur arzneilichen Wirkung der Kartoffel. *ARS MEDICI - Schweizer Zeitschrift für Hausarztmedizin*, (25/26): 1175–1178.
- Coruzzi G, Morini G, Adami M, Grandi D. 2001. Role of histamine H3 receptors in the regulation of gastric functions. *Journal of Physiology and Pharmacology*, 52 (4): 539–553.
- Costa MP, Rodrigues BL, Frasao BS, Conte-Junior CA. 2018. Biogenic Amines as Food Quality Index and Chemical Risk for Human Consumption.
- Craig JM. 2019. Food intolerance in dogs and cats. *The Journal of small animal practice*, (60): 77–85. DOI 10.1111/jsap.12959.
- Dadáková E, Pelikánová T, Kalač P. 2012. Concentration of biologically active polyamines in rabbit meat, liver and kidney after slaughter and their changes during meat storage and cooking. *Meat science*, (90): 796–800. DOI 10.1016/j.meatsci.2011.11.017.
- Di Cerbo A, Morales-Medina JC, Palmieri B, Pezzuto F, Cocco R, Flores G, Iannitti T. 2017. Functional foods in pet nutrition: Focus on dogs and cats. *Research in veterinary science*, 112: 161–166. DOI 10.1016/j.rvsc.2017.03.020.
02.08.2022.
https://flexikon.doccheck.com/de/Diphenhydramin?utm_source=www.doccheck.com&utm_medium=DC%2520Search&utm_campaign=DC%2520Search%2520content_type%253Aall&utm_content=DC%2520Search%2520Diphenhydramin (Zugriff 24.02.2023).
Doccheck. 27.01.2022.
- <https://www.chemie.de/lexikon/Trimethylamin.html#:~:text=Trimethylamin%20ist%20ein%20farbloses%20brennbares,darin%20eine%20recht%20starke%20Base>. (Zugriff 24.02.2023).
- Doeun D, Davaatseren M, Chung M-S. 2017. Biogenic amines in foods. *Food science and biotechnology*, 26 (6): 1463–1474. DOI 10.1007/s10068-017-0239-3.
- Durak-Dados A, Michalski M, Osek J. 2020. Histamine and other biogenic amines in food. *Journal of Veterinary Research*, 64 (2): 281–288. DOI 10.2478/jvetres-2020-0029.
- EFSA. www.efsa.europa.eu/de/topics/topic/feed-additives (Zugriff 24.02.2023).

- EFSA. 2011. Scientific Opinion on risk based control of biogenic amine formation in fermented foods. *EFSA Journal*, 9 (10): 1–93. DOI 10.2903/j.efsa.2011.2393 (Zugriff 14.07.2022).
- Ekici K, Omer AK. 2020. Biogenic amines formation and their importance in fermented foods. *BIO Web of Conferences*, 17 (00232): 1–5. DOI 10.1051/bioconf/20201700232.
- Engelhardt W, Breves G, Diener M, Gäbel G. 2015. *Physiologie der Haustiere*. Fünfte Aufl. Stuttgart: Enke Verlag.
- Ercan SŞ, Bozkurt H, Soysal Ç. 2013. Significance of Biogenic Amines in Foods and Their Reduction Methods. *Journal of Food Science and Engineering*, 3 (8): 395–410. DOI 10.17265/2159-5828/2013.08.001.
- European Pet Food Industry Federation. 2018. Guide to Good Practice for the Manufacture of Safe Pet Foods: 1–72. <https://fediaf.org/self-regulation/safety.html> (Zugriff 27.04.2022).
- Feddern V, Mazzuco H, Fonseca FN, Lima GJMM de. 2019. A review on biogenic amines in food and feed: toxicological aspects, impact on health and control measures. *Animal Production Science*, (59): 608–618. DOI 10.1071/AN18076.
- Forschungszentrum Jülich. 21.03.2022. <https://www.fz-juelich.de/de/ibi/ibi-1/forschung/generation-propagation-and-transmission-of-cellular-signals/biogene-amine-wichtige-botenstoffe-im-nervensystem> (Zugriff 24.02.2023).
- García-Díez J, Saraiva C. 2021. Use of Starter Cultures in Foods from Animal Origin to Improve Their Safety. *International journal of environmental research and public health*, 18 (5): 1–25. DOI 10.3390/ijerph18052544.
- Gardini F, Özogul Y, Suzzi G, Tabanelli G, Özogul F. 2016. Technological Factors Affecting Biogenic Amine Content in Foods: A Review. *Frontiers in microbiology*, 7: 1–18. DOI 10.3389/fmicb.2016.01218.
- Guilford WG, Roudebush P, Rogers QR. 1994. The histamine content of commercial pet foods. *New Zealand veterinary journal*, 42 (6): 201–204. DOI 10.1080/00480169.1994.35823.
- Handa AK, Fatima T, Mattoo AK. 2018. Polyamines: Bio-Molecules with Diverse Functions in Plant and Human Health and Disease. *Frontiers in chemistry*, 6: 1–18. DOI 10.3389/fchem.2018.00010.
- Hernández-Jover T, Izquierdo-Pulido M, Veciana-Nogués M.T., Vidal-Carou MC. 1996. Biogenic Amine Sources in Cooked Cured Shoulder Pork. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 44 (10): 3097–3101. DOI 10.1021/jf960250s.

Jairath G, Singh PK, Dabur RS, Rani M. Biogenic amines in meat and meat products and its public health significance a review.

Jairath G, Singh PK, Dabur RS, Rani M, Chaudhari M. 2015. Biogenic amines in meat and meat products and its public health significance: a review. *Journal of food science and technology*, 52 (11): 6835–6846. DOI 10.1007/s13197-015-1860-x.

Jastrzab R, Lomozik L, Tylkowski B. 2016. Complexes of biogenic amines in their role in living systems. *Physical Sciences Reviews*, 1 (6): 1–23. DOI 10.1515/psr-2016-0003.

Jayathilakan K, Sultana K, Radhakrishna K, Bawa AS. 2012. Utilization of byproducts and waste materials from meat, poultry and fish processing industries: a review. *Journal of food science and technology*, (49): 278–293. DOI 10.1007/s13197-011-0290-7.

Kalač P. 2014. Health effects and occurrence of dietary polyamines: a review for the period 2005–mid 2013. *Food chemistry*, (161): 27–39. DOI 10.1016/j.foodchem.2014.03.102.

Koch J, Flekna G, Iben C, Smulders F, Paulsen P. 2020. Mikrobiologische Qualität von Muskelgewebe vom Rind zur Rohverfütterung an Hunde. *Wiener Tierärztliche Monatsschrift*, (107): 91–98.

König HE, Liebich H-G, Hrsg. 2015. *Anatomie der Haussäugetiere. Lehrbuch und Farbatlas für Studium und Praxis*. Sechste Aufl. Stuttgart: Schattauer.

Kovacic P, Somanathan R. 2010. Clinical physiology and mechanism of dizocilpine (MK-801). *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 3: 13–22.
<https://doi.org/10.4161/oxim.3.1.10028> (Zugriff 10.10.2022).

Kumar N, Budania N, Mondal A, Tafseer S, Ahuja S, Bhardwaj VK. 2018. Effect of dizocilpine (MK-801) on the working memory of rats on a three-panel runway apparatus. *International Journal of Basic & Clinical Pharmacology*, 7 (12): 2373–2377.
DOI 10.18203/2319-2003.ijbcp20184849.

Larqué E, Sabater-Molina M, Zamora S. 2007. Biological significance of dietary polyamines. *Nutrition (Burbank, Los Angeles County, Calif.)*, 23 (1): 87–95.
DOI 10.1016/j.nut.2006.09.006.

Learey JJ. 2018b. Microsoft Word - PhD Thesis J_LEAREY.docx. Expanding on current methods employed for investigating pet food stability [Dissertation]. Melbourne: Deakin University, 282.

Learey JJ, Crawford-Clark S, Bowen BJ, Barrow CJ, Adcock JL. 2018a. Detection of biogenic amines in pet food ingredients by RP-HPLC with automated dansyl chloride

derivatization. *Journal of Separation Science*, 41 (24): 4430–4436.

DOI 10.1002/jssc.201800455.

Mah J-H, Park YK, Jin YH, Lee J-H, Hwang H-J. 2019. Bacterial Production and Control of Biogenic Amines in Asian Fermented Soybean Foods. *Foods (Basel, Switzerland)*, 8 (2): 2–15. DOI 10.3390/foods8020085.

Meeker DL, Meisinger JL. 2015. COMPANION ANIMALS SYMPOSIUM: Rendered ingredients significantly influence sustainability, quality, and safety of pet food. *Journal of Animal Science*, (3): 835–847.

Moniente M, García-Gonzalo D, Ontañón I, Pagán R, Botello-Morte L. 2021. Histamine accumulation in dairy products: Microbial causes, techniques for the detection of histamine-producing microbiota, and potential solutions. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 20 (2): 1481–1523. DOI 10.1111/1541-4337.12704.

Montegiove N, Calzoni E, Cesaretti A., Alabed H, Pellegrino RM, Emiliani C, Pellegrino A, Leonardi L. 2020. Biogenic amine analysis in fresh meats and meat meals used as raw materials for dry pet food production. *Scientific Bulletin. Series F. Biotechnologies*, 24 (2): 33–42. <https://www.researchgate.net/publication/349412287>.

Muñoz-Esparza NC, Latorre-Moratalla ML, Comas-Basté O, Toro-Funes N, Veciana-Nogués MT, Vidal-Carou MC. 2019. Polyamines in Food. *Frontiers in nutrition*, 6: 1–11. DOI 10.3389/fnut.2019.00108.

Muñoz-Esparza NC, Vásquez-Garibay EM, Guzmán-Mercado E, Larrosa-Haro A, Comas-Basté O, Latorre-Moratalla ML, Veciana-Nogués MT, Vidal-Carou MC. 2021. Influence of Breastfeeding Factors on Polyamine Content in Human Milk. *Nutrients*, 13 (9). DOI 10.3390/nu13093016.

Nakaike S, Kashiwagi K, Terao K, Iio K, Igarashi K. 1988. Combined Use of α -Difluoromethylornithine and an Inhibitor of S-Adenosylmethionine Decarboxylase in Mice Bearing P388 Leukemia or Lewis Lung Carcinoma. *Japanese Journal of Cancer Research*, (79): 501–508. DOI 10.1111/j.1349-7006.1988.tb01619.x.

Niemand HG. 2018. *Praktikum der Hundeklinik*. Zwölfte Aufl. Enke Verlag.

Oetjen KA, Cabrices OG, Borton C, Sadjadi SA, Krepich S, Garber T. 2017. Ensuring quality and freshness in animal nutrition products. Streamlined quality assurance workflow to quantitate biogenic amines using LC-MS/MS Technology. *Food and Environmental*: 1–4.

- Omer AK, Mohammed RR, Ameen PSM, Abas ZA, Ekici K. 2021. Presence of Biogenic Amines in Food and Their Public Health Implications: A Review. *Journal of food protection*, 84 (9): 1539–1548. DOI 10.4315/JFP-21-047.
- Paulsen P, Bauer S, Bauer F, Dičáková Z. 2021b. Contents of Polyamines and Biogenic Amines in Canned Pet (Dogs and Cats) Food on the Austrian Market. *Foods (Basel, Switzerland)*, 10 (10): 1–7. DOI 10.3390/foods10102365.
- Paulsen P, Bauer S, Kukleci E, Smulders F, Dičáková Z. 2021a. Gehalte an biogenen Aminen in Tierfutterkonserven und in zur Rohfütterung bestimmter Rindermuskulatur. *Journal of Food Safety and Food Quality*, 72 (3): 89–93.
- Paulsen P, Dičáková Z, Bauer F. 2008. Biogenic amines and polyamines in liver, kidney and spleen of roe deer and European brown hare. *European Food Research and Technology*, (227): 209–213. DOI 10.1007/s00217-007-0712-y.
- Paulsen P, Taub N, Dičáková Z, Bauer F. 2000. Ein Beitrag zum Vorkommen von biogenen Aminen in Futtermitteln für Hunde und Katzen. *Wiener Tierärztliche Monatsschrift*, (87): 236–240.
- Pegg AE. 2016. Functions of Polyamines in Mammals. *The Journal of biological chemistry*, 291 (29): 14904–14912. DOI 10.1074/jbc.R116.731661.
- Pérez-Cano FJ, González-Castro A, Castellote C, Franch A, Castell M. 2010. Influence of breast milk polyamines on suckling rat immune system maturation. *Developmental and comparative immunology*, 34 (2): 210–218. DOI 10.1016/j.dci.2009.10.001.
- Pibot P, Biourge V, Elliott D. 2008. *Enzyklopädie der klinischen Diätetik der Katze*. New York: Aniwa SAS, 517.
- Pschyrembel Fachredaktion Medizin. 04.2020. <https://www.pschyrembel.de/Indol/K0AQK> (Zugriff 24.02.2023).
- Pschyrembel Fachredaktion Medizin. 2021. <https://www.pschyrembel.de/Aminos%C3%A4urestoffwechsel/K026W> (Zugriff 24.02.2023).
- Pschyrembel online. 04.2020 (Zugriff 24.02.2023).
- Radosevich J. 2007. <https://www.petfoodindustry.com/articles/521-analyzing-amines> (Zugriff 24.02.2023).
- Rauscher-Gabernig E, Grossgut R, Bauer F, Paulsen P. 2009. Assessment of alimentary histamine exposure of consumers in Austria and development of tolerable levels in typical foods. *Food Control*, 20 (4): 423–429. DOI 10.1016/j.foodcont.2008.07.011.

Ruiz-Capillas C, Herrero AM. 2019. Impact of Biogenic Amines on Food Quality and Safety. *Foods* (Basel, Switzerland), (8): 1–16. DOI 10.3390/foods8020062.

Saad B, Tofalo R, Hrsg. 2020. Biogenic amines in food. Analysis, occurrence and toxicity. London: Royal Society of Chemistry, xiv, 329 pages.

Schirone M, Esposito L, D'Onofrio F, Visciano P, Martuscelli M, Mastrocola D, Paparella A. 2022. Biogenic Amines in Meat and Meat Products: A Review of the Science and Future Perspectives. *Foods* (Basel, Switzerland), 11: 1–14. DOI 10.3390/foods11060788.

Schnedl WJ, Lackner S, Enko D, Schenk M, Holasek SJ, Mangge H. 2019. Evaluation of symptoms and symptom combinations in histamine intolerance. *Intestinal research*, 17 (3): 427–433. DOI 10.5217/ir.2018.00152.

Silla-Santos MH. 1996. Biogenic amines: their importance in foods. *International Journal of Food Microbiology*, 29: 213–231.

Soda K. 2011. The mechanisms by which polyamines accelerate tumor spread. *Journal of experimental & clinical cancer research : CR*, (30). DOI 10.1186/1756-9966-30-95.

Stadnik J, Dolatowski ZJ. 2010. BIOGENIC AMINES IN MEAT AND FERMENTED MEAT PRODUCTS. *Acta Sci.Pol. Technol. Aliment.*, 3 (9): 251–263.
<https://www.food.actapol.net/volume9/issue3/abstract-1.html>.

Statista Research Department. 2022. https://de.statista.com/themen/2913/haustiere-in-oesterreich/#dossierContents__outerWrapper (Zugriff 24.02.2023).

Steneberg A. 2007. Biogene Amine - Ernährung bei Histamin-Intoleranz. *UMWELT & GESUNDHEIT*, (2): 47–56. <http://www.iug-umwelt-gesundheit.de/pdf/> (Zugriff 19.07.2022).

Tabanelli G. 2020. Biogenic Amines and Food Quality: Emerging Challenges and Public Health Concerns. *Foods* (Basel, Switzerland), 9 (7). DOI 10.3390/foods9070859.

The European Pet Food Industry. 2018. Guide to Good Practice for the Manufacture of Safe Pet Foods. FEDIAF: 1–72. <https://europeanpetfood.org/self-regulation/safety>.

Tofalo R, Cocchi S, Suzzi G. 2019. Polyamines and Gut Microbiota. *Frontiers in nutrition*, (6): 1–5. DOI 10.3389/fnut.2019.00016.

Toldrá F, Mora L, Reig M. 2016. New insights into meat by-product utilization. *Meat science*, (120): 54–59. DOI 10.1016/j.meatsci.2016.04.021.

Triki M, Herrero AM, Jiménez-Colmenero F, Ruiz-Capillas C. 2018. Quality Assessment of Fresh Meat from Several Species Based on Free Amino Acid and Biogenic Amine Contents during Chilled Storage. *Foods* (Basel, Switzerland), 7 (9). DOI 10.3390/foods7090132.

- Upp JR, Saydjari R, Townsend CM, Singh P, Barranco SC, Thompson JC. 1988. Polyamine levels and gastrin receptors in colon cancers. *Annals of surgery*, 207 (6): 662–668.
DOI 10.1097/00000658-198806000-00004.
- Verlinden A, Hesta M, Millet S, Janssens GPJ. 2006. Food allergy in dogs and cats: a review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 46 (3): 259–273.
DOI 10.1080/10408390591001117.
- Visciano P, Schirone M, Paparella A. 2020. An Overview of Histamine and Other Biogenic Amines in Fish and Fish Products. *Foods (Basel, Switzerland)*, (9): 1–15.
DOI 10.3390/foods9121795.
- Weiß C. 2009. Biogene Amine. *Ernährungs Umschau*: 172–179. https://www.ernaehrungs-umschau.de/fileadmin/Ernaehrungs-Umschau/pdfs/pfd_2009/03_09/EU03_172_179.qxd.pdf (Zugriff 10.05.2022).
- Wójcik W, Łukasiewicz M, Puppel K. 2020. Biogenic amines: formation, action and toxicity – a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101: 1–7.
DOI 10.1002/jsfa.10928.
- Zentek J, Pietrzak T. 1997. Nachweis biogener Amine mittels HPLC nach FMOC-Derivatisierung in Kotproben von Hunden. *Proceedings of the Society of Nutrition Physiology*, (6): 56.

Zitierte Rechtsschriften

- Verordnung (VO) (EG) Nr. 2073/2005 der Kommission vom 15. November 2005 über mikrobiologische Kriterien für Lebensmittel, ABl. L 2005/338, 1.
- Verordnung (VO) (EG) Nr. 1069/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Oktober 2009 mit Hygienevorschriften für nicht für den menschlichen Verzehr bestimmte Nebenprodukte und zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 1774/2002 (Verordnung über tierische Nebenprodukte), ABl. L 2009/300, 1.
- Verordnung (VO) (EG) Nr. 178/2002 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 28. Januar 2002 zur Festlegung der allgemeinen Grundsätze und Anforderungen des Lebensmittelrechts, zur Errichtung der Europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit und zur Festlegung von Verfahren zur Lebensmittelsicherheit, ABl. L 2002/31, 1.
- Verordnung (VO) (EG) Nr. 183/2005 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. Januar 2005 mit Vorschriften für die Futtermittelhygiene (Text von Bedeutung für den EWR), ABl. L 2005/35, 1.

Verordnung (VO) (EG) Nr. 142/2011 der Kommission vom 25. Februar 2011 zur Durchführung der Verordnung (EG) Nr. 1069/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates mit Hygienevorschriften für nicht für den menschlichen Verzehr bestimmte tierische Nebenprodukte sowie zur Durchführung der Richtlinie 97/78/EG des Rates hinsichtlich bestimmter gemäß der genannten Richtlinie von Veterinärkontrollen an der Grenze befreiter Proben und Waren (Text von Bedeutung für den EWR), ABl. L 2011/54, 1.

Verordnung (VO) (EG) Nr. 767/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13. Juli 2009 über das Inverkehrbringen und die Verwendung von Futtermitteln, zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1831/2003 des Europäischen Parlaments und des Rates und zur Aufhebung der Richtlinien 79/373/EWG des Rates, 80/511/EWG der Kommission, 82/471/EWG des Rates, 83/228/EWG des Rates, 93/74/EWG des Rates, 93/113/EG des Rates und 96/25/EG des Rates und der Entscheidung 2004/217/EG der Kommission, ABl. L 2009/229, 1.

Verordnung (VO) (EG) Nr. 365/2010 der Kommission vom 28. April 2010 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 2073/2005 über mikrobiologische Kriterien für Lebensmittel im Hinblick auf das Vorkommen von Enterobacteriaceae in pasteurisierter Milch und sonstigen pasteurisierten flüssigen Milcherzeugnissen sowie das Vorkommen von *Listeria monocytogenes* in Speisesalz, ABl. L 2010/107, 1.

Verordnung (VO) (EG) Nr.1441/2007 der Kommission vom 5. Dezember 2007 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 2073/2005 über mikrobiologische Kriterien für Lebensmittel, ABl. L 2007/322, 1.

9. Abkürzungen

AMA.....	<i>Agrarmarkt Austria Marketing GesmbH</i>
aw	<i>Wasseraktivität</i>
BAI.....	<i>Biogenic Amine Index</i>
BARF	<i>Biologisch artgerechte Rohfütterung</i>
DAO	<i>Diaminoxidase</i>
DFMO	<i>Difluoromethylornithin</i>
EFSA	<i>European Food Safety Authority</i>
EG.....	<i>Europäische Gemeinschaft</i>
ELISA.....	<i>enzyme-linked immunosorbent assay"</i>
EU.....	<i>Europäische Union</i>
FA.....	<i>Futtermittelallergie</i>
F _c -Wert	<i>F-Wert im Kern (Hitzebehandlung)</i>
FDA.....	<i>Food and Drug Administration</i>
FI	<i>Futtermittelintoleranz</i>
GfK.....	<i>GfK Austria GmbH</i>
GHP.....	<i>Guten-Hygiene-Praxis</i>
HACCP.....	<i>Hazard Analysis and Critical Control Point</i>
HMT	<i>Histamin-N-Methyltransferase</i>
HPLC.....	<i>high-performance liquid chromatography</i>
L-DOPA	<i>L-3,4-Dihydroxyphenylalanin</i>
MAO.....	<i>Monoaminoxidase</i>
NMDA.....	<i>N-Methyl-D-Aspartat</i>
NOAEL	<i>no observed adverse health effects level</i>
Nr.....	<i>Nummer</i>
ODC	<i>Ornithindecaboxylase</i>
PAO.....	<i>Polyaminoxidase</i>
SRM	<i>Spezifiziertes Risikomaterial</i>
TMA	<i>Trimethylamin</i>
TNP	<i>Tierische Nebenprodukte</i>
TSE.....	<i>Transmissible spongiforme Enzephalopathie</i>
VO	<i>Verordnung</i>
WHO	<i>World Health Organization</i>

10. Abbildungsverzeichnis

Abb. 1 Histamingehalt in mg/kg für Fleischmehl (MM) und Frischfleisch (FM) von Huhn, Schwein und Lachs (Montegiove et al. 2020).....	36
Abb. 2 Cadaveringehalt in mg/kg für Fleischmehl (MM) und Frischfleisch (FM) von Huhn, Schwein und Lachs (Montegiove et al. 2020).....	36
Abb. 3 2-Phenethylamingehalt in mg/kg für Fleischmehl (MM) und Frischfleisch (FM) von Huhn, Schwein und Lachs (Montegiove et al. 2020).....	37
Abb. 4 Tryptamingehalt in mg/kg für Fleischmehl (MM) und Frischfleisch (FM) von Huhn, Schwein und Lachs (Montegiove et al. 2020).....	37
Abb. 5 Tyramingehalt in mg/kg für Fleischmehl (MM) und Frischfleisch (FM) von Huhn, Schwein und Lachs (Montegiove et al. 2020).....	38

11. Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Biogene Amine und ihre biologischen Funktionen.....	8
Tab. 2 Histaminbildende Mikroben.....	19
Tab. 3 Grenzwerte zur Histaminwirkung	20
Tab. 4 Bedingungen zur Förderung mikrobiologischen Verderbs und der Aminbildung.....	22
Tab. 5 Beurteilung nach BAI-Werten und sensorischer Qualität von Fisch- und Fischprodukten sowie Meeresfrüchten.....	25
Tab. 6 In der EU rechtlich tolerierte Grenzwerte für Histamingehalte in Fisch und Fischerzeugnissen (VO (EG) Nr. 2073/2005).....	28
Tab. 7 Inhaltsstoffe in Futtermitteln	40
Tab. 8 Pflanzliche Inhaltsstoffe in Tierfuttermittel und ihre Wirkung als Phytotherapeutika	44

Anhang A: Handelsübliche Futterrezepturen – Katze

Proben Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Hersteller	A	A	A	B	B	B	C	C	C
Marke	clever	clever	clever	Molly	Molly	Molly	Dein Bestes	Dein Bestes	Dein Bestes
Inhalt/g	Rind/100g	Lachs/100g	Geflügel/100g	Lachs/100g	Rind/100g	Huhn und Leber/100g	Huhn/100g	Lachs/100g	Rind&Truthahn/100g
Feuchtegehalt (%)	82	82	82	81	81	82	83	81,5	83
F & TN (%)									
Rindfleisch (%)	5				4				5
Huhn/ Geflügel (%)			16			4	5		5
Leber (%)						4			
F & FN (%)		5		4				14	
Information	F & FN			F & TN		PN	G	F & TN; F & FN	F & TN; G
€ Preis/ 100g	0,2	0,2	0,2	0,29	0,29	0,18	0,3	0,3	0,3

Anhang A: Handelsübliche Futterrezepturen – Katze (fortlaufend)

Proben Nr.	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Hersteller	D	D	D	E	E	E	F	F	F
Marke	Dein Bestes	Dein Bestes	Dein Bestes	Molly Premium	Molly Premium	Molly Premium	HofCat	HofCat	HofCat
Inhalt/g	Rind, Kalb, Erbsen/100g	Huhn mit Pute/100g	Lachs mit Zucchini/100g	Forelle u. Gemüse/100g	Rind u. Käse/100g	Huhn in Käsesauce/100g	Geflügel/100g	Rind/100g	Fisch/100g
Feuchtegehalt (%)	82	82	84	82	82	82	82	82	82
F & TN (%)				46	60		94	94	72
Rindfleisch (%)	14				14			22	
Kalb (%)	4								
Huhn/ Geflügel (%)		14 , 4				20	94 Huhn		
F & FN (%)			14	14					22 Lachs
Zusätze (%)	2 Erbsen	2 Karotten	4 Zucchini	2 Karotten, 2 Erbsen	4 Käse	4 Käse			
Information:	F & TN	F & TN	F & TN; F & FN			PN	94 % Muskelfleisch u. Innereien	94 % Muskelfleisch u. Innereien; 22% Bio-Rind	72% Muskelfleisch u. Innereien
€ Preis/ 100g	0,5	0,5	0,45	0,55	0,55	0,44	0,69	0,69	0,69

Anhang A: Handelsübliche Futterrezepturen – Katze (fortlaufend)

Proben Nr.	19	20	21	22	23	24	25	26	27
Hersteller	G	G	G	H	H	H	I	I	I
Marke	Gourmet Perle	Gourmet Perle	Gourmet Perle	ZooRoyal M. Naturkost	ZooRoyal M. Naturkost	ZooRoyal M. Naturkost	KatzenLiebe	KatzenLiebe	KatzenLiebe
Inhalt/g	Rind/85g	Huhn/85g	Thunfisch/85g	Huhn&Lachs/100g	Rind&Huhn/100g	Ente&Huhn/100g	Bio-Huhn/100g	Bio-Rind/100g	Bio-Lachs/100g
Feuchtegehalt (%)	79	82	79	78	78	80	62,66	60,66	52,62
F & TN (%)					34 (Herzen, Fleisch, Lungen, Lebern, Pansen)		94		
Rindfleisch (%)	4							96	
Brühe (%)				26,2	25,3	27,3			
Huhn/Geflügel (%)		4 Huhn		40 Huhn (Herzen, Fleisch, Leber, Hälse)	34 Huhn (Herzen, Fleisch, Leber, Hälse)	34 Ente (Herzen, Mägen, Hälse), 34% Huhn (Herzen, Fleisch, Leber, Hälse)	94 Huhn (80 Brustfleisch, 5 Herzen, 5 Hälse, 5 Karkasse, 5 Leber)		
Leber (%)							5		
Hälse (%)							5		
Herz (%)							5		
F & FN (%)			4	30 Lachs					96
Zusätze (%)				2 Cranberries, 0,1 Katzenminze, 0,1 Spirulina, 0,1 Eierschalpulver, 1 Mineralstoffe, 0,5 Lachsöl	5 Kartoffeln, 0,2 Löwenzahn, 1 Mineralstoffe, 0,5 Sonnenblumenöl	3 Karotten, 0,1 Spirulina, 0,1 Löwenzahn, 1 Mineralstoffe, 0,5 Distelöl	0,1 Taurin	0,1 Taurin	0,1 Taurin
Information:	PN; F & FN, Zucker	PN; F & FN, Zucker	PN; F & FN, Zucker	Ohne Tier- und Knochenmehl	Ohne Tier- und Knochenmehl	Ohne Tier- und Knochenmehl	Bio: Quinoa, Birne, Kokosflocken	Bio: Schwarzwurzel, Quinoa, Kokosflocken	Bio: Kartoffel, Karotte, Kokosflocken
€ Preis/ 100g	1,16	1,16	1,16	0,99	0,99	0,99	1,89	1,89	1,89

Anhang B: Handelsübliche Futterrezepturen – Hund

Probenr.	28	29	30	31	32	33	34	35	36
Herstellerreferenz	A	A	A	J	J	J	K	K	K
Marke/Inhalt/g	clever/Rind& Leber/300g	clever/Huhn, Karotte, Nudeln/300g	clever/Geflügel, Wild/300g	Scotty/Rind& Leber/300g	Scotty/Huhn/300g	Scotty/Lachs& Forelle/300g	Rinti/Rind/800g	Rinti/Huhn/800g	Rinti/Seefisch/800g
Feuchtegehalt (%)	81	81	81	81	81	82	77	77	77
F % TN (%)							70 (Muskelfleisch u. Innereien)	70 (Muskelfleisch u. Innereien)	70 (Muskelfleisch, Fisch u. Innereien)
Rind (%)	8			4			35 (Lunge, Fleisch, Schwarten, Leber, Pansen)		
Huhn/Geflügel (%)		4	8		4			13 Huhn	
Wild (%)			4						
Leber (%)	4			4					
Fisch u. NE (%)						4 Forelle, 4 Lachs			9 Seefisch
Zusätze (%)	0,4 Inulin	4 Nudeln; 4 Karotten; 0,4 Inulin	0,4 Inulin				0,2 Flachsöl; 0,2 Rüben-faser; Mineral-stoffe	0,2 Flachsöl; 0,2 Rüben-faser; Mineral-stoffe	0,2 Flachsöl; 0,2 Rüben-faser; Mineral-stoffe
Information:	PN	PN	PN	PN	PN	F & TN	ohne Soja, Tier-o. Knochenmehl	ohne Soja, Tier-o. Knochenmehl; Lunge, Muskel-fleisch, Niere, Schwarten, Leber, Pansen, Euter - unbekannte Mengen	ohne Soja, Tier-o. Knochenmehl; Lunge, Muskel-fleisch, Niere, Schwarten, Leber, Pansen - unbekannte Mengen
€ Preis/100g	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,34	0,34	0,34

Anhang B: Handelsübliche Futterrezepturen – Hund (fortlaufend)

Probennr.	37	38	39	40	41	42	43	44	45
Herstellerreferenz	L	L	L	M	M	M	N	N	N
Marke/Inhalt/g	BioDog/Bio Rind/300g	BioDog/Bio Geflügel/300g	BioDog/Bio Fisch/300g	Dog's Love/Huhn/800g	Dog's Love/Rind/800g	Dog'sLove/Fisch/800g	Lex/Rind/400g	Lex/Huhn/400g	Lex/Wild/400g
Feuchtegehalt (%)	82	82	82	78	77	76	78	78	78
F & TN	94 (Muskelfleisch u. Innereien)	94 (Muskelfleisch u. Innereien)	71 (Muskelfleisch u. Innereien)				70 (50 Herz, Leber, Fleisch, Lungen; 20 Rinderherz, -fleisch, -leber, -lungen, -pansen)	70 (50 Herz, Leber, Fleisch, Lungen, Pansen; 20 Hühnerherz, -fleisch, -leber, -mägen, -hälsen)	70 (50 Herz, Leber, Fleisch, Lungen, Pansen; 20 Wildherzen, -fleisch, -lebern, -lungen)
Rind (%)	23 (Bio-Rind), restl. 71 normales Rind?				53 (27 Fleisch)			35 (Herz, Fleisch, Leber, Lunge, Pansen)	
Rinderherz (%)					19				
Rinderleber (%)					7				
Brühe (%)							28,6	28,6	28,6
Huhn/Geflügel (%)		45 (Bio-Geflügel), restl. 49 normales G.?		55 Huhn (29 Fleisch)					
Wild (%)									20 (Herzen, Fleisch, Lebern, Lungen)
Leber (%)				10 (Huhn)					
Herz (%)				16 (Huhn)					
F & FN (%)			23 (Bio-Fisch) u. Fischneben-erzeugnisse			55 Fisch			

Zusätze (%)				12 Karotten; 12 Kohlrabi; 7 Birnen; 2 Quinoa; Kartoffelstärke, Sonnenblumenöl; Eierschalpulver; Seealgen; Löwenzahnblätter; Brennnesselblätter; Ringelblumenblüten; Brunnenkresse	10 Zucchini; 10 Karotten; 9 Blattspinat; 9 Äpfel; Leinöl; Eierschalpulver; Seealgen; Löwenzahnblätter; Brennnesselblätter; Ringelblumenblüten; Brunnenkresse; Vitamine; Mineralstoffe	13 Zucchini; 13 Karotten; 7 Himbeeren; Kartoffelstärke; 2 Amaranth; 0,01 Löwenzahnblätter; Kartoffelstärke; Sonnenblumenöl; Eierschalpulver; Mineralstoffe; Seealgen; Leinsamen; Brennnesselblätter; Ringelblumenblüten; Brunnenkresse	1 Mineralstoffe; 0,2 Leinöl; 0,2 Rübenfasern	1 Mineralstoffe; 0,2 Leinöl; 0,2 Rübenfasern	
€ Preis/100g	0,4	0,4	0,4	0,6	0,6	0,6	0,4	0,4	0,4

Anhang B: Handelsübliche Futterrezepturen – Hund (fortlaufend)

Probennr.	46	47	48	49	50	51	52	53	54
Herstellerreferenz	O	O	O	P	P	P	Q	Q	Q
Marke/Inhalt/g	dogzfinefood/ Rind/400g	dogzfinefood/ Huhn&Fasan/ 400g	dogzfinefood/ Wild&Hering/ 400g	HerzensHund/ BioHuhn/400g	HerzensHund/ BioRind/400g	HerzensHund/ BioHirsch/400g	PetsDeli/Huhn/ 400g	PetsDeli/Rind/ 400g	PetsDeli/Lachs/ 375g
Feuchtegehalt (%)	76	76	76	75,6	80,4	76	80	75	73
F & FN (%)	65 (Muskelfleisch u. Innereien)	65 (Muskelfleisch u. Innereien)	50 (Muskelfleisch u. Innereien)	53 (Muskelfleisch u. Innereien)	67 (Muskelfleisch u. Innereien)	65 (Muskelfleisch u. Innereien)	50 (Muskelfleisch u. Innereien)	50 (Muskelfleisch u. Innereien)	
Rind (%)	65 (Fleisch, Herz, Leber, Lunge, Pansen)				60 (Muskel- fleisch)			50 (Fleisch, Herz, Leber, Lunge, Pansen)	
Rinderlunge (%)					10				
Rinderherz (%)					25				
Rinderleber (%)					5				
Brühe (%)							27	26,9	27,4
Wasser (%)	25,7	25,7	25,79						
Kalb (%)									
Huhn/Geflügel (%)		50 Huhn (Fleisch, Herz, Leber, Magen, Hals); 15 Fasan		80 Huhn (Brustfleisch)			50 Huhn (Fleisch, Herz, Magen, Leber, Fett)		
Wild (%)			50 (Herz, Fleisch, Leber, Lunge)			60 (Fleisch)			
Lunge (%)						10 (Hirsch)			
Leber (%)				5 (Huhn)		5 (Hirsch)			
Hälse (%)				5 (Huhn)					
Karkasse (%)				5 (Huhn)					
Herz (%)				5 (Huhn)		25 (Hirsch)			
F u. NE (%)			15 Hering						50 Lachs

Zusätze (%)	3 Kartoffeln; 3 Karotten; 2 Apfel; 1 Mineralstoffe; 0,2 Nachtkerzenöl; 0,1 Löwenzahn	3 Quinoa; 3 Kürbis; 2 Heidelbeeren; 1 Mineralstoffe; 0,2 Rapsöl; 0,1 Kresse;	4 Süßkartoffel; 4 Tomate; 1 Mineralstoffe; 0,2 Borretschöl; 0,01 Spirulina;	18 Bio-Süßkartoffeln; 18 Bio-Apfel; 10 Bio-Sellerie; 1 Bio-Leinsaatschrot	10 Bio-Einkornflocken; 10% Bio-Zucchini; 8 Bio-Karotten; 4 Bio-Fenchel; 1 Bio-Leinöl	13 Bio-Quinoa; 13 Bio-Kürbis; 8 Bio-Birne; 1 Bio-Nachtkerzenöl	8 Quinoa; 7 Karotten; 6 Zucchini; 1 Mineralstoffe; 0,5 Kräuter; 0,4 Tomatenmark; 0,1 Nachtkerzenöl	8 Amaranth; 1 Mineralstoffe; 0,5 Kräuter; 0,4 Tomatenmark; 0,1 Kürbiskernöl	8 Reis; 5 Erbsen; 5 Kartoffeln; 3 Hagebutte; 1 Mineralstoffe; 0,5 Dill; 0,1 Leinöl
Information:				ohne Tier- u. Knochenmehl	ohne Tier- u. Knochenmehl	ohne Tier- u. Knochenmehl			
€ Preis/100g	0,97	0,97	0,97	0,99	0,99	0,99	0,75	0,75	0,8

Legende: F & FN = Fisch und Fischnebenerzeugnisse; F & TN = Fleisch und tierische Nebenerzeugnisse; PN = pflanzliche Nebenerzeugnisse;
Farbkodierung: grün = kostengünstiges Sortiment; gelb = mittelpreisiges Sortiment; rot = hochpreisiges Sortiment

Anhang C: Gehalte biogener Amine in Muskelfleisch, Organen und Nebenprodukten der Schlachtung in mg/kg

Biogene Amine in Fleisch und Nebenprodukten (mg/kg)	PUT	CAD	HIS	SPD	SPM	TYR	PHE	TRYP	SPD	SPM	PUT	CAD	HIS	Referenzen
	(min-max)								(M)					
Fleisch (Muskulatur)														
Rind	6,6–90,9	>0,5–295,6	<0,5	-	-	11,1–65,5	-	-	-	-	-	-	-	Rosinska und Lehotay (2004)
Schwein	12,7–131,5	13,6–440,2	<0,5	-	-	<0,5–171,2	-	-	-	-	-	-	-	Rosinska und Lehotay (2004)
Geflügel	<0,5–382,7	<0,5–764,2	<0,5–180,5	-	-	<0,5–171,2	-	-	-	-	-	-	-	Rosinska und Lehotay (2004)
Rind	Tr–1,9	Nd–1,9	0,3–1,8	0,2–4,1	0,2–3,9	0,1–0,5	-	-	-	-	-	-	-	Jasim and Sdkhan (2015)
Rindermuskulatur (BARF)	uNG–149	uNG–154	uNG–64	uNG–32	uNG–39	uNG–140	-	-	-	-	-	-	-	Paulsen et al. (2021b)
Hackfleisch (Rind)	4,0–60,1	26,0–116,2	27,2–90,1	-	-	uNG–60,4	-	-	-	-	-	-	-	Mahmoud et al. (2021)
Rinderbein	1,3–7,4	uNG	uNG–0,5	2,3–5,4	25,1–33,0	0,3–1,6	0,5–2,6	uNG	-	-	-	-	-	Triki et al. (2018)
Schweinebein	0,6–14,6	uNG–16,2	uNG	2,6–3,9	25,2–27,6	0,7–16,6	uNG–1,7	uNG–6,6	-	-	-	-	-	Triki et al. (2018)
Truthahnbein	1,2–68,7	uNG–13,3	uNG	7,3–18,3	32,6–49,2	uNG–6,9	0,2–15,1	uNG	-	-	-	-	-	Triki et al. (2018)
Hühnerbrust	1,2–52,0	Nd–14,3	0,5–2,1	6,2–9,8	41,9–53,6	Nd–35,2	N–16,9	0,4–15,8	-	-	-	-	-	Triki et al. (2018)
Hühnerbrustl	1,0–1,8	<LOQ–10,5	1,4–4,3	-	-	<LOQ–4,2	-	-	-	-	-	-	-	Wojnowski et al. (2019)
Broiler Huhn (Brust und Schenkel)	Sp	Sp	0,1–0,4	Sp–0,6	Sp	-	-	-	-	-	-	-	-	Saewab et al. (2021)
Schwein roh	7,8	13,3	4,7	7	67,1	-	-	-	-	-	-	-	-	Halasz et al. (1994)
Rind roh	uNG–1,75	uNG	uNG–1,1	1,9–4,2	28,7–44,6	uNG	-	-	-	-	-	-	-	Hernandez-Jover et al. (1996)
Fisch roh	4,0–536,9	<2–595,0	<2–537,6	<2–27,2	<2–15,7	<2–333,7	<2–263,0	<2–47,9	-	-	-	-	-	Paulsen et al. (1999)
Thunfisch	0,1–0,2	-	-	0,5–3,1	7,2–26,1	-	-	-	2	16,6	0,2	-	-	Nishibori et al., 2007

Schwein	-	2,0–2,2	-	4,6–4,8	28,7–33,7	-	-	-	-	-	-	-	-	Hernandez-Jover (1996)
Lamm	-	-	-	-	-	-	-	-	5	41,1	1	-	-	Nishimura et al. (2006)
Rehfleisch	-	-	-	-	-	-	-	-	14,7	54,3	19,3	-	-	Dicakova et al. (2003)
Organe/Schlachtnebenerzeugnisse														
Leber (Rind)	-	-	-	-	-	-	-	-	6,8	197	1	-	-	Nishimura et al. (2006)
Leber (Rind, junge Bullen)	2,2–259	-	-	9,9–390	11,5–128	-	-	-	122	43,1	23,8	-	-	Krausova, Kalac, Krizek und Pelikanova (2006)
Leber (Rind)	1,5–26,1	uNG–42,1	Sp–136,7	5,0–10,4	-	4,6–12,5	-	-	-	-	-	-	-	Eldaly et al. (2016)
Niere (Schwein)	-	-	-	5,7–17,7	32,8–88,5	-	-	-	9,4	53,1	-	-	-	Kozova et al. (2008)
Milz (Schwein)	-	-	-	30,2–51,9	25,3–53,6	-	-	-	36,7	34	-	-	-	Kozova et al. (2008)
Herz (Schwein)	-	-	-	-	-	-	-	-	17,1	36,5	-	-	-	Fuchs et al. (2009)
Zunge (Schwein)	-	-	-	-	-	-	-	-	7,7	21,8	-	-	-	Fuchs et al. (2009)
Lunge (Schwein)	-	-	-	-	-	-	-	-	51,9	77,8	-	-	-	Fuchs et al. (2009)
Haut (Huhn)	-	-	-	-	-	-	-	-	11,4	24,3	-	-	-	Kozova et al. (2009)
Tierkörpermehl	uNG–286	uNG–450	uNG–208	uNG–39	Okt.56	-	-	-	16	31	57	-	-	Barnes et al. (2001)
Fischmehl	12–537	64–557	8–1576	18–97	120–139	-	-	-	31	27	99	-	-	Barnes et al. (2001)
Blutmehl	uNG–223	uNG–280	uNG–36	-	-	-	-	-	-	-	13	7	4	Den Brinker et al. (2003)
Geflügelmehl	7–1340	uNG–1350	uNG–167	n.u.	n.u.	n.u.	-	-	-	-	82	121	19	Den Brinker et al. (2003)
Geflügelmehl	29–45	57–85	5–7	14–17	13–19	21–31	-	-	-	-	-	-	-	Learey et al. (2018b)
Geflügelmehl	84–390	140–870	28–95	19–53	55–96	n.u.	-	-	-	-	-	-	-	Barnes et al. (2001)
Fleischmehl	uNG–121	23–418	uNG–105	5–36	uNG–62	uNG–81	-	-	-	-	-	-	-	Bassanese et al. (2012)
Fischmehl	7–454	11–1430	uNG–1620	n.u.	n.u.	n.u.	-	-	-	-	102	220	570	Den Brinker et al. (2003)
Federmehl	5–267	uNG–159	uNG–90	-	-	-	-	-	-	-	31	42	5	Den Brinker et al. (2003)

Legende: Sp = Spuren; uNG = Gehalte unter der Nachweisgrenze; LOQ = Bestimmungsgrenze; M = Median; PUT = Putrescin, CAD = Cadaverin; HIS = Histamin; SPD = Spermidin; SPM = Spermin; TYR = Tyramin; PHE = Phenylethylamin; TRYP =Tryptamin