

Arbeitsgemeinschaft
für Wirkstoffe in der
Tierernährung e.V.
(Hrsg.)



Vitamine

in der Tierernährung



Herausgeber
**Arbeitsgemeinschaft für Wirkstoffe in
der Tierernährung e.V. (AWT)**
Ansprechpartnerin: Dr. E. Süphke
Roonstr. 5
D-53175 Bonn
Tel. + 49 228/ 35 24 00
Fax + 49 228/ 36 13 97

Wirtschaftsverband AWT

Die AWT als deutscher Wirtschaftsverband mit internationaler Tätigkeit vertritt die fachlichen, wissenschaftlich-technischen und wirtschaftlichen Interessen der führenden Hersteller und Verarbeiter von Zusatzstoffen für die Tierernährung.

Aufgaben und Ziele

- Wahrnehmung der Mitgliederinteressen und deren Vertretung gegenüber Behörden, Regierungsstellen, gesetzgebenden Körperschaften, Fachorganisationen und anderen Institutionen auf nationaler Ebene
- Vertretung der deutschen Interessen für Zusatzstoffe auf internationaler Ebene
- Mitarbeit bei der Harmonisierung der Zulassungsbedingungen von Zusatzstoffen
- Unterrichtung und Beratung der Mitglieder in allen fachspezifischen Angelegenheiten und insbesondere über aktuelle Gesetzgebungsverfahren
- Information der Öffentlichkeit über Nutzen, Sicherheit und Qualität von Zusatzstoffen in der Tierernährung



Vitamine in der Tierernährung

Autoren:

Dr. N. Albers, BASF

Dr. W. Heimbeck, Degussa

Dr. Th. Keller, BASF

Dr. J. Seehawer, Roche Vitamine

Dr. T.D. Tran, Vilomix

AGRI**M**MEDIA

ISBN 3-86037-155-X

© 2001 by Agrimedia GmbH in Bergen

in Zusammenarbeit mit dem Deutschen Fachverlag in Frankfurt am Main.

Telefon (0 58 45) 98 81 - 0 · Telefax (0 58 45) 988 111

E-Mail: mail@agrimedia.com · Internet: www.agrimedia.com

Alle Rechte vorbehalten

1. Forschung und Entwicklung	7
2. Vitamine und ihre biologischen Funktionen	9
2.1 Fettlösliche Vitamine	9
2.1.1 Vitamin A	10
2.1.2 β -Carotin	11
2.1.3 Vitamin D	13
2.1.4 Vitamin E	15
2.1.5 Vitamin K	17
2.2 Wasserlösliche Vitamine	18
2.2.1 Vitamin B ₁	20
2.2.2 Vitamin B ₂	21
2.2.3 Vitamin B ₆	22
2.2.4 Vitamin B ₁₂	23
2.2.5 Biotin	24
2.2.6 Folsäure	25
2.2.7 Niacin	26
2.2.8 Pantothensäure	27
2.2.9 Vitamin C	28
2.2.10 Cholin	29
2.3 Sonstige Stoffe mit Vitamincharakter	30
3. Versorgung mit Vitaminen	33
3.1 Grundlagen	33
3.1.1 Einflussfaktoren auf die Vitaminversorgung	33
3.1.2 Vitaminbedarf als Grundlage für eine optimale Vitamin-Versorgung	34
3.1.3 Empfehlungen zur Vitaminversorgung	35
3.1.4 Nutzen und Kosten der Vitamine	37
3.2 Nativgehalte in Grund- und Handelsfuttermittel	40
3.3 AWT Vitamin-Empfehlungen für Haustiere	44
3.4 Interaktionen von Vitaminen	44
3.5 Sicherheit von Vitaminen	51

4. Vitamine und ihr praktischer Einsatz	52
4.1 Herstellung von Vitaminen	52
4.2 Handelsformen und ihre Qualitätskriterien	54
4.2.1 Handelsprodukte von fettlöslichen Vitaminen	56
4.2.2 Handelsprodukte von wasserlöslichen Vitaminen	58
4.3 Stabilität in Futtermitteln	61
4.3.1 Einzelvitamine	63
4.3.2 Vitaminvormischungen	63
4.3.3 Prämixe und Mineralfutter	63
4.3.4 Mischfutter	64
4.4 Unterschiedliche Produktformen und Stabilisierungs- maßnahmen	65
4.5 Probennahme und Analytik	67
4.5.1 Probenahme	68
4.5.2 Aufbereitung der Muster und instrumentelle Analytik	69
4.5.3 Toleranzen	69
4.5.4 Analysenspielräume	70
4.6 Synonyma	71
5. Futtermittelrechtliche Vorschriften	74
5.1 Abgabe	74
5.2 Verarbeitung	74
5.3 Kennzeichnung	74
5.4 Anwendung	75
6. Umrechnungsfaktoren	76
7. Übersicht zu Abbildungen und Tabel	77

1. Forschung und Entwicklung

1.1 Was sind Vitamine?

Vitamine sind organische Substanzen, die für den normalen Ablauf der Lebensvorgänge im tierischen Organismus unentbehrlich sind. Sie sind zur Aufrechterhaltung von Gesundheit und Leistungsfähigkeit notwendig und müssen dem Körper mit der Nahrung zugeführt werden. Dies kann auch in Form von Provitaminen geschehen, die dann im Körper in das entsprechende Vitamin umgewandelt werden. Der tierische Organismus ist im allgemeinen nicht in der Lage, Vitamine selbst zu synthetisieren.

1.2 Wie wirken Vitamine?

Stehen eines oder mehrere Vitamine nicht oder in nicht ausreichendem Maße zur Verfügung, so führt dies zu vielfältigen Stoffwechselstörungen. Leistungsdepressionen aller Art, Wachstumshemmung, Fortpflanzungsstörungen und Krankheiten sind die Folge. Darüber hinaus hat sich gezeigt, dass durch erhöhte Gaben von einzelnen Vitaminen zusätzlich positive Effekte, wie z. B. ein erhöhter Immunschutz oder bessere Hufhornqualität, erzielt werden können.

Die Vitamine werden entsprechend ihrer Löslichkeit in fettlösliche und wasserlösliche Vitamine eingeteilt. Mit dieser Einteilung wird auch gleichzeitig die Wirkungsweise gekennzeichnet. Während

die fettlöslichen Vitamine insbesondere spezifische Funktionen für Ausbildung und Aufrechterhaltung von Gewebestrukturen ausüben, sind die wasserlöslichen Vitamine im wesentlichen an katalytischen oder steuernden Funktionen im Stoffwechsel beteiligt, z.B. als Coenzyme. Für diese physiologischen Wirkungen werden nur sehr geringe Mengen benötigt.

Jedes einzelne Vitamin erfüllt besondere Aufgaben, die von einem anderen nicht in gleicher Weise ausgeübt werden können.

1.3 Vitaminforschung

Vitamine wurden vor über 80 Jahren durch Fütterungsversuche entdeckt. Ratten und Mäuse, die mit gereinigten Diäten aus Kohlenhydraten, Eiweißstoffen, Fetten und Mineralstoffen ernährt wurden, waren nur kurze Zeit lebensfähig. Durch geringe Milchgaben konnte die Lebenszeit verlängert werden. Daraus wurde geschlossen, dass Milch bis dahin noch unbekannte Wirkstoffe enthalten muss, die für das Leben unentbehrlich sind.

Bald wurde erkannt, dass es sich hierbei um mindestens zwei Substanzen handeln musste, und zwar um einen fettlöslichen Faktor A und um einen wasserlöslichen Faktor B.

Vitamin bzw. Provitamin	Erster Nachweis	Zeitpunkt der Strukturaufklärung	Zeitpunkt der 1. Synthese
β-Carotin	1831 aus Palmöl	1930	1950
Niacin	1867	1873	1894
Vitamin B ₁	1897 aus Reiskleie	1936	1936
Vitamin A	1909 aus Fischleberöl	1930	1947
Vitamin C	1912 aus Zitronensaft	1933	1933
Vitamin D ₃	1918 aus Fischleberöl	1936	1959
Vitamin B ₂	1920 aus Eiereiweiß	1935	1935
Vitamin E	1922 aus Weizenkeimöl	1938	1938
Vitamin B ₁₂	1926 aus Leber	1955	1972
Vitamin K	1929 aus Luzerne	1939	1939
Pantothensäure	1931 aus Leber	1940	1940
Biotin	1931 aus Leber	1942	1943
Vitamin B ₆	1934 aus Reiskleie	1938	1939
Folsäure	1941 aus Leber	1946	1946

Tabelle 1 Zeitpunkte von erstem Nachweis, Strukturaufklärung und erster Synthese der Vitamine

Beim Versuch, den Faktor B zu isolieren, stieß man 1912 auf eine stickstoffhaltige Substanz, die chemisch ein Amin darstellte. Hiervon leitet sich der Name »Vitamin« (Vita = Leben) ab. Dieser Name wurde auf eine ganze Gruppe von lebensnotwendigen organischen Verbindungen übertragen, obwohl es sich nicht immer – wie sich später herausstellte – um stickstoffhaltige Substanzen mit Amincharakter handelte.

In mehr und mehr verfeinerten Tierexperimenten gelang es bald, sowohl den fett-

löslichen Faktor A als auch den wasserlöslichen Faktor B immer weiter in einzelne Substanzen zu unterteilen. Diese belegte man mit den laufenden Buchstaben des Alphabets. Seit dieser Zeit unterscheiden wir zwischen fettlöslichen (A, D, E, K) und wasserlöslichen Vitaminen (B-Vitamine, Vitamin C). Parallel zu den Anstrengungen von Ärzten, Tierärzten und Biologen, möglichst alle für den normalen Lebenslauf notwendigen Vitamine in Tierversuchen aufzuspüren, verliefen die Bemühungen in den chemischen Laboratorien, die Struktur der einzelnen Vitamine aufzuklären und schließlich ihre Synthese zu ermöglichen.

Tabelle 1 ist dem Handbuch der Vitamine von W. Friedrich (1987) entnommen und gibt einen Überblick über die Zeitpunkte des ersten Nachweises, der Aufklärung der Struktur sowie der Synthese des β-Carotins und der Vitamine.

1.4 Anwendung und Verarbeitung

Die folgenden Ausführungen befassen sich in erster Linie mit der Bedeutung der Vitamine und den Empfehlungen zur Versorgung von landwirtschaftlichen Nutztieren und Heimtieren. Darüber hinaus werden in dieser Broschüre die wichtigsten Handelsprodukte beschrieben sowie Hinweise zur Verarbeitung, Stabilität und Analytik gegeben.

2. Vitamine und ihre biologischen Funktionen

Vitamine sind komplexe organische Verbindungen. Sie sind für den Stoffwechsel essentiell und somit zur Aufrechterhaltung der normalen physiologischen Funktionen, wie Wachstum und Entwicklung, aber auch zur Erhaltung der Lebensfunktionen, Gesundheit sowie für die Fortpflanzung notwendig. Eine Vitaminunterversorgung durch Fehlen im Futter oder unzureichende Absorption induziert Mangelsymptome, führt zu spezifischen Krankheiten und mindert die Leistungsbereitschaft. Die meisten Haustiere sind nicht in der Lage, Vitamine überhaupt bzw. in ausreichenden Mengen für ihre optimale Versorgung selbst zu synthetisieren. Dies betrifft die Vitamine A, D, E sowie K, teilweise Vitamin C und zum größten Teil die Vitamine des B-Komplexes (B₁, B₂, B₆, B₁₂, Biotin, Folsäure, Niacin, Pantothersäure) sowie Cholin.

Nach dem klassischen Modell ihrer Löslichkeit werden Vitamine in fettlösliche und wasserlösliche eingeteilt.

2.1 Fettlösliche Vitamine

Zu den fettlöslichen Vitaminen zählen die Vitamine A, D, E, K und das

β-Carotin (Vitamin A-Vorstufe). Über deren Hauptfunktion informiert Tabelle 2. Die hydrophobe Eigenschaft dieser Vitamine resultiert aus der im Molekül vorhandenen langen Seitenkette. Fettlösliche Vitamine bestehen ausschließlich aus Kohlenstoff, Sauerstoff und Wasserstoff. Sie sind relativ empfindlich gegenüber äußeren Einflüssen wie Oxidation, Wärme, UV-Licht, Metallionen sowie bestimmten Enzymen.

Die fettlöslichen Vitamine kommen in Verbindung mit Fetten im Körper vor. Sie werden zusammen mit den Fetten absorbiert, wobei der Mechanismus als ähnlich charakterisiert wird. Der Körper ist in der Lage, fettlösliche Vitamine in teilweise beträchtlichen Mengen zu speichern. Es bestehen jedoch tierart- und altersspezifische Unterschiede. Speicherorgane sind innere Organe wie Leber und Nieren, das Muskelgewebe und das Gehirn sowie das Fettgewebe. Die Ausscheidung erfolgt in der Regel erst nach einer Umwandlung im Stoffwechsel.

Vitamin	Hauptfunktion
Vitamin A	Epithelschutz
β-Carotin	Vitamin A-Vorstufe
Vitamin D	Regulierung des Calcium- und Phosphorstoffwechsels
Vitamin E	Antioxidans
Vitamin K	Blutgerinnung

Tabelle 2
Hauptfunktionen der fettlöslichen Vitamine

2.1.1 Vitamin A

Natürliche Quellen und deren Verwertung

Vitamin A (Retinol) kommt ausschließlich in Futtermitteln tierischer Herkunft vor. Reich an Vitamin A sind: Leber, Fischöl, fettreiches Fischmehl.

Arm an Vitamin A sind: Milch, Eier. Pflanzliche Futtermittel (Gras, Karotten) enthalten nur β -Carotin, das als Vorstufe dann zu Vitamin A umgewandelt werden kann. Das Umwandlungsverhältnis von β -Carotin zu Vitamin A ist –wie Tabelle 3 zeigt– bei den Tierarten unterschiedlich und von der Höhe der Aufnahme abhängig. Bei Aufnahme bedarfsdeckender Mengen werden etwa 80 bis 90 % des Vitamin A im Dünndarm absorbiert; die Verwertung nimmt auch bei erhöhter Aufnahme nicht wesentlich ab.

Physiologische Bedeutung

- Aufbau, Schutz und Regeneration von Haut und Schleimhaut (Epithelschutz)
- Förderung der Fruchtbarkeit durch Verbesserung der Ovulation und Implantation des Eies, der embryonalen

und fetalen Entwicklung und der hormonellen Trächtigkeitsaktivierung

- Regulation von Wachstums- und Differenzierungsvorgängen im Zellstoffwechsel durch Beeinflussung der Transkription von mehr als 300 Genen (Genexpression)
- Erhöhung der Widerstandskraft gegen Infektions- und Invasionskrankheiten

Mangelercheinungen

- Verhornung von Haut- und Schleimhaut mit nachfolgenden Infektionsgefahren
- Verzögerung der Eireifung, Absterben der Embryonen
- Beeinträchtigung der embryonalen Entwicklung
- Erhöhte Anfälligkeit gegen Infektionskrankheiten

Zusatzeffekte

- Immunreaktion: Steigerung der Antikörperbildung und Phagozytose

Tabelle 3

Tierartspezifisches Umwandlungsverhältnis von β -Carotin zu Vitamin A

Tierart	IE Vitamin A je 1 mg β -Carotin	mg β -Carotin : mg Vitamin A
Milchkuh	370 IE	8 - 10 : 1
Mastrind	440 IE	7 - 8 : 1
Pferd	420 IE	6 - 10 : 1
Schaf	480 IE	6 - 8 : 1
Schwein	510 IE	6 - 7 : 1
Geflügel	1.667 IE	2 : 1

2.1.2 β -Carotin

Natürliche Quellen und deren Verwertung

β -Carotin ist nur in Pflanzen enthalten. Reich an β -Carotin sind: Luzerne, Gras und Grassilage, Karotten.

Arm an β -Carotin sind: Getreide und Mühlennachprodukte.

Die Nativgehalte weisen in Abhängigkeit von Vegetationsstand, Erntezeitpunkt, Konservierungsart (Heu, Silage), Trocknungstemperatur und Lagerzeit sehr große Schwankungen auf (Abb. 1).

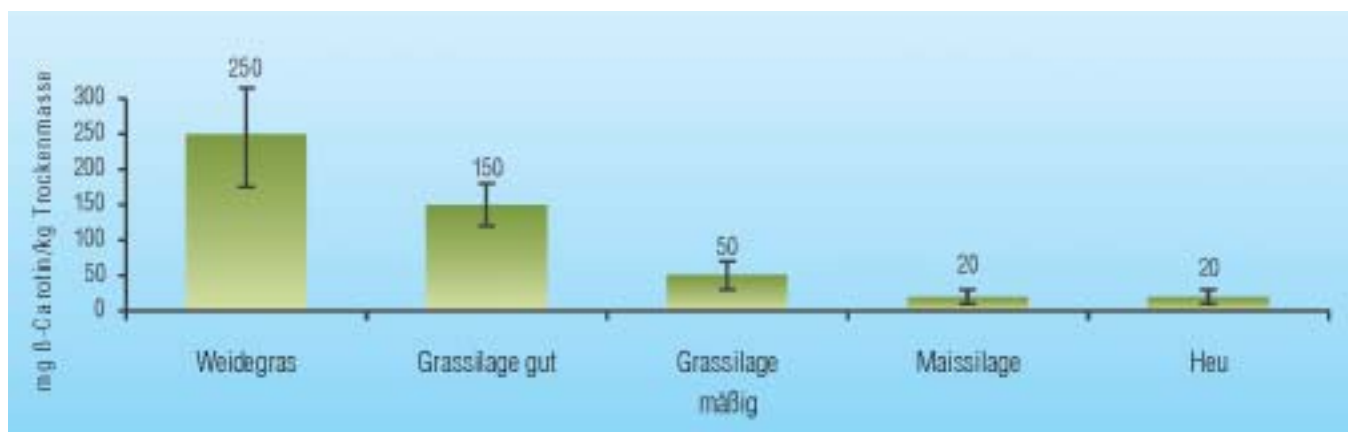
Die Absorption und Speicherung ist je nach Tierart sehr unterschiedlich: hoch bei Gelbfettspezies (Rind, Pferd), gering oder gar nicht bei Weißfetttieren (Schwein, Büffel, Schaf, Ziege, Hund, Katze, Nagetiere).

Physiologische Bedeutung

- Vorstufe (Provitamin) von Vitamin A
- Durch spezifischen Stoffwechseltransport (Rind: 80% HDL Lipoproteine) gelangt β -Carotin in bestimmte Organe (z.B. Gelbkörper, Follikel, Euter), wo es lokal in diesen Organen in Vitamin A (Enzym: Carotinase) umgewandelt wird
- Stimulierung der Synthese des Progesterons zum Aufbau der Uterusschleimhaut
- Wahrscheinliche Vitamin A-unabhängige Beeinflussung durch antioxidative Wirkung gegen zellschädigende Lipidradikale, was zur Steigerung der hormonellen Aktivität (FSH, LH) und Verbesserung der Immunität (Vermehrung der Lymphozyten) führt

Abbildung 1

Gehalte an β -Carotin je kg Trockenmasse in pflanzlichen Futtermitteln



Manglerscheinungen

- Fruchtbarkeitsstörungen wie:
 - längere Dauer der Brunst und stille Brunst
 - verzögerte Follikelreifung und Ovulation
 - Zystenbildung bei Follikel und Gelbkörper
 - embryonale Verluste und Frühaborte
- Erhöhte Milchzellgehalte und Mastitis
- Erhöhte Anfälligkeit der Jungtiere gegenüber Infektionskrankheiten

Zusatzeffekte

- Resistenzsteigerung der Jungtiere durch hohen Gehalt im Kolostrum (unspezifische Immunität)
- Zusammenwirken mit anderen Carotinoiden (Zeaxanthin, Lutein, Lycopin u.a.) als Antioxidans

2.1.3 Vitamin D₃

Natürliche Quellen und deren Verwertung

Vitamin D kommt nur in sehr wenigen Produkten wie Vollmilch, Leberölen (als Vitamin D₃, Cholecalciferol) und sonnengetrocknetem Grünfutter (als Vitamin D₂, Ergocalciferol) vor.

Das Vitamin D₂ entsteht in Pflanzen bei der Trocknung unter dem Einfluss von UV-Strahlen aus Ergosterin. Vitamin D₃ kann dagegen in der Epidermis durch UV-Bestrahlung aus 7-Dehydrocholesterol gebildet werden (Ausnahme: Hund, Katze).

Eine überwiegende Stallhaltung begrenzt die Vitamin D₃-Bildung.

Aufgrund des begrenzten natürlichen Vorkommens sind die natürlichen Vitamin-D-Quellen für die Bedarfsdeckung ohne Bedeutung. Außerdem ist die Verwertung der in Pflanzen vorkommenden Vitamin D-Vorstufen vom Tier nur in sehr geringem Ausmaß möglich.

Physiologische Bedeutung

Vitamin D₃ ist nicht direkt stoffwechselaktiv. Es wird in der Leber in das 25-Hydroxyvitamin D₃ umgewandelt, welches in der Niere in das 1,25-, das 24,25- und das 1,24,25-Hydroxyvitamin D₃ überführt wird. Die stärkste biologische Wirksamkeit hat das 1,25-Hydroxyvitamin D₃.

Im Organismus erfüllt Vitamin D die folgenden Aufgaben:

- Regulierung des Calcium- und Phosphatstoffwechsels, insbesondere Förderung der Calcium- und Phosphatabsorption aus dem Darm
- Regulierung der Calcium- und Phosphatausscheidung über die Niere und Regulation der Calcium- und Phosphateinlagerung in das Skelett
- Calcium-Phosphor-Mobilisierung aus dem Skelett
- Förderung der Bildung von Keimzellen
- Steigerung der Leistungsfähigkeit des Immunsystems, Hemmung von Autoimmunisierung
- Regulation der Transkription von mehr als 50 Genen

Der direkte orale Einsatz von D₃-Metaboliten, etwa zur Verbesserung der Eischalenqualität oder zur Verhütung von

Milchfieber bleibt forschungsseitig und ökonomisch zu hinterfragen.

Mangelscheinungen

- Störungen des Calcium- und Phosphatstoffwechsels
- Hemmung der Mineralisierung beim wachsenden Knochen (Rachitis)
- Abbau der mineralischen Substanz im ausgewachsenen Knochen (Osteomalazie)
- Knochen- und Gelenkdeformation (Knochenweichheit)
- Wachstumsstörungen
- Spontan auftretende Knochenbrüchigkeit
- Mangelhafte Eischalenstabilität

2.1.4 Vitamin E

Natürliche Quellen und deren Verwertung

Vitamin E (Sammelbegriff für verschiedene Verbindungen von Tocopherolen und Tocotrienolen) ist in Pflanzen und tierischem Gewebe enthalten. Dabei ist nicht der Gesamt-Tocopherolgehalt, sondern der Gehalt an der wirksamsten Verbindung, dem d- α -Tocopherol, maßgebend.

Reich an Vitamin E sind: Gras, Klee, Luzerne, Grünmehl, unzerkleinerte Samen. Arm an Vitamin E sind: Ölsaatextraktionsschrote.

Feuchtigkeit und Lagerungszeit üben einen negativen Einfluss auf die Vitamin E-Stabilität bzw. -Gehalte aus. Hiervon sind vor allem Grünfutterkonservate und Getreide betroffen.

In Getreide und Mühlennachprodukten überwiegen mit 70 bis 90 % β -, γ -, δ -Tocopherole, deren biologische Wirksamkeit im Vergleich zum α -Tocopherol deutlich geringer einzuschätzen ist.

Biologische Wirksamkeit verschiedener Vitamin E-Verbindungen:

α -Tocopherol	100 %
β -Tocopherol	15-40 %
γ -Tocopherol	1-20 %
δ -Tocopherol	1 %
α -Tocotrienol	15-30 %
β -Tocotrienol	1-5 %
γ -Tocotrienol	1 %
δ -Tocotrienol	1 %

Physiologische Bedeutung

- Verhinderung der Bildung von Lipid-Peroxyradikalen aus mehrfach ungesättigten Fettsäuren
- Antitoxische Wirkung im Zellstoffwechsel
- Verhinderung von Lebernekrosen und Muskeldegeneration
- Antioxidative Wirkung, durch die eine Stabilisierung der oxidationsempfindlichen Phospholipide in der Zellmembran und sonstiger oxidationsempfindlicher Stoffe wie Vitamin A, Carotinoide und deren Zwischenstufen, erreicht wird. Hinsichtlich des Oxidationsschutzes der Zellmembranen besteht eine enge Beziehung zwischen Vitamin E und Selen. Während Vitamin E in

der Zellmembran agiert, basiert die Wirkung des Selens auf dem Abbau von Peroxiden durch die Glutathion-Peroxidase in den löslichen Anteilen der Zelle. Zur ausreichenden Bildung der selenhaltigen Glutathion-Peroxidase ist ein Selengehalt von 0,2-0,3 mg/kg Futtertrockenmasse notwendig.

- Regulierung des Hormonstoffwechsels über den Hypophysen-vorderlappen
- Erhaltung der Stabilität der Membranen, insbesondere der Herz- und Skelettmuskulatur
- Regulation von Entwicklung und Funktion der Keimdrüsen
- Stimulierung der Antikörperbildung (bessere Resistenz gegenüber Krankheiten) und der Phagozytose sowie der bakteriziden Wirksamkeit der Phagozyten
- Vorbereitung und Schutz der Trächtigkeit

Mangelscheinungen

- Muskelschäden an Herz- und Skelettmuskulatur (Dystrophie, Myopathie)
- Plötzlicher Herztod bei Schädigung des Herzmuskels (Maulbeer-Herzkrankheit)

- Fruchtbarkeitsstörungen
- Veränderungen am Gefäß- und Nervensystem (Encephalomalazie, Ödembildung im Kleinhirn durch verstärkten Plasmaaustritt, die zu einer Fehlhaltung des Kopfes mit unkoordinierten Bewegungen führt)
- Leberschäden und Veränderungen im Fettdepot (Gelbfettkrankheit beim Nerz, Braunfärbung des Specks beim Schwein)
- Beim Schwein: Bewegungsstörungen und Muskelverkrümmungen (Bananenkrankheit)
- Bei Kälbern und Lämmern: Weißfleischigkeit aufgrund dystrophischer Veränderungen
- Beim Geflügel: Verminderte Schlupfrate, exsudative Diathese (verstärkter Plasmaaustritt aus dem Blut)

Zusatzeffekte

- Fettstabilisierung (Oxidationsschutz) in tierischen Produkten (Fleisch, Milch, Eier)

2.1.5 Vitamin K

Natürliche Quellen und deren Verwertung

Vitamin K ist ein Sammelbegriff für die Vitamine K₁ (Phyllochinon), K₂ (Menachinon) und K₃ (Menadion).

Reich an Vitamin K₁ sind: Grünpflanzen.

Arm an Vitamin K₁ sind: Getreide, Rüben, Fleisch- und Fischmehl.

Vitamin K₂ wird durch Bakterien mikrobiell in den Vormägen und im Dickdarm gebildet.

Vitamin K₃ (Menadion) ist eine industriell hergestellte Form, die für die Tierernährung in verschiedenen wasserlöslichen Menadion-Verbindungen angeboten wird:

MSB: Menadion-Natrium-Bisulfit

MPB: Menadion-Dimethylpyrimidinol-Bisulfit

MNB: Menadion-Nicotinsäureamid-Bisulfit

Für die Absorption der fettlöslichen Formen K₁ und K₂ ist die Sekretion von Pankreaslipase und Gallensäuren notwendig, für die wasserlösliche Vitamin

K₃-Form jedoch nicht. Aus allen Vitamin K-Formen wird das im Stoffwechsel besonders aktive Menachinon-4 gebildet.

Physiologische Bedeutung

- Synthese der Blutgerinnungsfaktoren II (Prothrombin), VII, IX und X
- Bildung des Calcium-Transportproteins Osteocalcin für die Mineralisierung der Knochen
- Beteiligung an der Carboxylierung von weiteren Proteinen

Mangelscheinungen

- Blutungen in den verschiedensten Geweben und Organen (Hämorrhagien)
- Störung der Blutgerinnung
- Wachstumstörungen

Antagonisten

- Dicumarol
- Cumarin-Derivate
- Sulfonamide
- Mycotoxine

2.2 Wasserlösliche Vitamine

Die wasserlöslichen Vitamine B₁, B₂, B₆, B₁₂, Biotin, Folsäure, Niacin und Pantothensäure haben im Stoffwechsel wichtige Coenzymfunktionen (Tabelle 4). Jedes Coenzym ist auf ganz bestimmte Reaktionen im Stoffwechsel spezialisiert. Bei ungenügender Versorgung mit B-Vitaminen werden die Aktivitäten eines entsprechenden Enzyms vermindert, was zu Störungen im Stoffwechsel führt.

Vitamin C und Cholin zählen ebenfalls zu den wasserlöslichen Vitaminen. Für sie sind bisher keine Coenzymfunktionen bekannt.

Äußerlich zeigt sich eine Unterversorgung mit Vitaminen des B-Komplexes in Veränderungen von Haut, Schleimhaut und Haarkleid sowie in der Beeinträchtigung des Immunsystems und einer verminderten Leistungsfähigkeit.

Die B-Vitamine können durch die Mikroflora im Magen- und Darmsystem gebildet werden. Beim Wiederkäuer er-

Tabelle 4

Die wichtigsten Coenzyme der wasserlöslichen Vitamine und deren Hauptfunktion im Stoffwechsel

Vitamin	Wichtigste Coenzyme	Hauptfunktion
Vitamin B ₁	Thiaminpyrophosphat	Kohlenhydratstoffwechsel
Vitamin B ₂	FAD, FMN (wasserstoffübertragend)	Energieumsatz
Vitamin B ₆	Pyridoxalphosphat	Aminosäurestoffwechsel
Vitamin B ₁₂	Cyanocobalamin (Methylgruppenbiosynthese)	Eiweißumsatz
Biotin	Pyruvat-, Acetyl-Co A-Carboxylase	Fettsäurestoffwechsel und Energieumsatz
Folsäure	Tetrahydrofolsäure	Amino- und Nucleinsäurestoffwechsel
Niacin	NAD, NADP (wasserstoffübertragende)	Energieumsatz
Pantothensäure	Coenzym A	Fettstoffwechsel und Energieumsatz
Vitamin C	-	Redoxreaktionen
Cholin	-	Fettstoffwechsel, Erregungsübertragung

folgt die Eigensynthese bei einem voll funktionsfähigen Vormagensystem. Beim Schwein findet die bakterielle Synthese der B-Vitamine im Dickdarm statt, so dass die dort gebildeten Vitamine nur in beschränktem Maße absorbiert werden können.

Alle wasserlöslichen Vitamine können vom Tier nur in geringen Mengen gespeichert werden, so dass eine kontinuierliche Zufuhr notwendig ist.

2.2.1 Vitamin B₁

Natürliche Quellen und deren Verwertung

Vitamin B₁ (Thiamin) kommt in allen Futtermitteln in unterschiedlicher Konzentration vor.

Reich an Vitamin B₁ sind: Getreide und Mühlennachprodukte, Ölsaatextraktionsschrote, Milchprodukte, Bierhefe.

Arm an Vitamin B₁ sind: Tapioka, Trockenschnitzel, Fleischmehl, Fischmehl, Kokosschrot.

Das in Futtermitteln vorkommende Vitamin B₁ wird vom Tier gut verwertet. Allerdings kann durch Antagonisten die Verwertung stark beeinträchtigt werden.

Physiologische Bedeutung

In phosphorylierter Form (Thiaminpyrophosphat) ist Vitamin B₁ als Coenzym verschiedenartiger Decarboxylasen (Pyruvatdehydrogenase, α -Ketoglutaratdehydrogenase) und der Transketolase:

- unentbehrlich für die Abbauvorgänge im Kohlenhydratstoffwechsel
- wichtig für die Funktion von Nervengewebe und Herzmuskulatur
- notwendig für die Aufrechterhaltung der Peristaltik im Magen-Darmtrakt

In Form von Thiamintriphosphat:

- möglicherweise Aktionssubstanz im Nervensystem bei der Erregung peripherer Nerven

Manglerscheinungen

Eine Vielzahl schwerwiegender Störungen, die vorwiegend das Nervensystem sowie das Herz- und Gefäßgewebe betreffen:

- Polyneuritis, Reizbarkeit, Krämpfe, Lähmung, Cerebro-Corticale-Nekrose (CCN) bei Kalb, Rind und Schaf
- Verlangsamung der Herzschlagfolge (Bradykardie), Herzversagen, Herzmuskelschäden
- Verminderte Futteraufnahme, ungenügende Energieverwertung, Wachstumsdepression, Kümmern, Schwäche

Antagonisten

- Thiaminasen im Pansen, die durch Pansenmikroben besonders bei stärkereicher, rohfaserarmer Fütterung gebildet werden
- Thiaminasen in frischen Fischen (Nerzfütterung)
- Futter, das mit Bakterien oder Pilzen belastet ist
- Amprolium (Kokzidiostatikum) wirkt thiaminantagonistisch, besonders bei hoher Dosierung
- Phenolderivate und Schwermetalle wie Arsen und Quecksilber können Thiamin inaktivieren

2.2.2 Vitamin B₂

Natürliche Quellen und deren Verwertung

Vitamin B₂ (Riboflavin) kommt in Futtermitteln pflanzlicher und tierischer Herkunft vor.

Reich an Vitamin B₂ sind: tierische Futtermittel, insbesondere Milchprodukte wie Magermilch- und Molkenpulver, außerdem Bierhefe.

Arm an Vitamin B₂ sind: pflanzliche Futtermittel insbesondere Getreide und Tapioka.

Das in Futtermitteln vorkommende Vitamin B₂ ist zum Teil nur in beschränktem Maße verwertbar. Bei Mais und Weizenkleie wurde an Schweinen eine präzale Verdaulichkeit von ca. 60 % festgestellt.

Physiologische Bedeutung

Riboflavin, das fast ausschließlich an Proteine gebunden (Flavoproteine) vorliegt, ist als Bestandteil der Coenzyme FMN (Flavin-mononucleotid) und FAD (Flavin-adenin-dinucleotid) wichtig für:

- die Übertragung von Wasserstoff in der Atmungskette zur Energiegewinnung
- Oxidations- und Reduktionsprozesse zum Auf- und Abbau von Fettsäuren sowie von Aminosäuren

Mangelscheinungen

- Entzündliche Hautveränderungen (Atrophie, Hyperkeratose, Hyperplasie)
- Neurologische Störungen
- Wachstumsverzögerung, schlechter Futterverwertung und Diarrhoe
- Küken: Typisches Erscheinungsbild der einwärts gekrümmten Zehen (»Faustbildung«)
- Zuchthennen: Verschlechterte Schlupfraten und höhere Aufzuchtverluste
- Sauen, insbesondere Jungsauen: Geringere Wurfgröße

2.2.3 Vitamin B₆

Natürliche Quellen und deren Verwertung

Vitamin B₆ (Pyridoxin) kommt in Futtermitteln pflanzlicher und tierischer Herkunft vor.

Reich an Vitamin B₆ sind: pflanzliche Futtermittel wie Getreide und Mühlenachprodukte, Ölsaatextraktionsschrote, außerdem Bierhefe.

Arm an Vitamin B₆ sind: tierische Futtermittel, außerdem Tapioka.

Das in pflanzlichen Futtermitteln vorhandene Vitamin B₆ wird vom Tier nur zum Teil verwertet. Aus Sojaschrot ist es zu 65 % und aus Mais zu ca. 50 % verfügbar.

Physiologische Bedeutung

Vitamin B₆ als Bestandteil des Coenzym Pyridoxal-5'-phosphat nimmt eine zentrale Stellung ein im:

- Aminosäurenstoffwechsel bei der Transaminierung, Decarboxylierung

und Racemisierung der Aminosäuren. Für den Abbau von Tryptophan (bzw. die Synthese von Niacin) ist das Vitamin-B₆-abhängige Enzym Kynureninase erforderlich

- Kohlenhydratstoffwechsel durch Beteiligung an der Phosphorylasewirkung

Mangelscheinungen

- Wachstumsverzögerung, Kümmerern, verminderte Futteraufnahme, verringerter Eiweißansatz
- Hautentzündung, Leber- und Herzschädigung, Veränderung des Blutbildes
- Störungen der Funktion im peripheren und zentralen Nervensystem (Bewegungsstörungen, Erregungszustände, Krämpfe)
- Mangelhafte Brut- und Schlupfergebnisse

Antagonisten

- Hemmfaktor in Leinsaat

2.2.4 Vitamin B₁₂

Natürliche Quellen und deren Verwertung

Vitamin B₁₂ (Cobalamin) kommt nur in Futtermitteln tierischer Herkunft vor.

Reich an Vitamin B₁₂ sind: Fischmehl, Fish-Solubles, Magermilchpulver.

Beim Wiederkäuer bilden die Pansenmikroben bei ausreichendem Cobalt-Gehalt des Futters (> 0,1 mg/kg T) bedarfsdeckende Mengen in den Vormägen.

Das in Futtermitteln vorkommende Vitamin B₁₂ kann von den Tieren gut verwertet werden.

Physiologische Bedeutung

- Blutbildung und Wachstum
- Vitamin B₁₂ dient zum Aufbau der zwei Coenzyme:
 1. 5-Desoxyadenylcobalamin: wichtig für die Propionsäureverwertung und somit für die Glucose- bzw. Lactosebildung bei Wiederkäuern

2. Methylcobalamin: notwendig für Methylierungsreaktionen und somit u.a. für den Methioninstoffwechsel

Mangelscheinungen

- Verminderte Synthese von DNA und von Protein, Wachstumsstörung, schlechte Futterverwertung, Anämie, rauhes Haarkleid und Hautentzündungen
- Geflügel: schlechte Befiederung, verminderte Brutfähigkeit und erhöhte Embryonensterblichkeit
- Wiederkäuer: Abmagerung in Gebieten mit niedrigem Cobaltgehalt in den Pflanzen

Antagonisten

- Gerbsäure vermindert die Absorption von Vitamin B₁₂

2.2.5 Biotin

Natürliche Quellen und deren Verwertung

Biotin kommt in vielen Futtermitteln sowohl tierischer als auch pflanzlicher Herkunft vor.

Reich an Biotin sind: Bierhefe, Ölsaaterationsschrote.

Arm an Biotin sind: Getreide, Tapioka

Das in pflanzlichen Futtermitteln vorkommende Biotin wird vom monogastri-schen Tier zum Teil nur unzureichend verwertet (0-10 % bei Weizen, 20-30 % bei Gerste). Höhere Verwertung haben Mais und Sojaschrot.

Physiologische Bedeutung

Biotin ist als Coenzym zum Aufbau einer Reihe von Enzymsystemen (Carboxylasen) notwendig. Diese biotinabhängigen Enzyme spielen bei den folgenden Stoffwechselvorgängen eine wichtige Rolle:

- Fettsäuresynthese (Acetyl-CoA-Carboxylase)
- Gluconeogenese (Pyruvatcarboxylase)
- Propionsäurestoffwechsel (Propionyl-CoA-Carboxylase)

- Abbau von Leucin (Methylkrotonyl-CoA-Carboxylase)
- Aufbau von DNA und RNA (über die Purinsynthese)

Mangelscheinungen

Je nach Schweregrad und Dauer des Mangelzustandes werden unterschiedliche Ausfallerscheinungen beobachtet:

- Verzögertes Wachstum, Fruchtbarkeitsstörungen
- Schäden an Haut, Haar und Huf (daher wird Biotin auch als Vitamin H bezeichnet)
- Beim Geflügel: schlechte Befiederung; Hautentzündung an Schnäbeln, Extremitäten und Zehen; Fettleber- und Nierensyndrom (FLKS)
- Beim Schwein: Haarausfall, Klauenentzündung und Sohlenrisse
- Bei Rind, Schaf und Pferd: brüchiges Horn, Rillen und Spalten an Klaue und Huf

Antagonisten

- Avidin in rohem Hühnereiklar

2.2.6 Folsäure

Natürliche Quellen und deren Verwertung

Folsäure (Pteroylglutaminsäure) ist ein Sammelbegriff verschiedener Verbindungen, die zusammen auch als Folate bezeichnet werden. Die biologisch aktive Form der Folsäure ist die Tetrahydrofolsäure.

Folate sind sowohl in Futtermitteln pflanzlicher als auch tierischer Herkunft vorhanden.

Reich an Folaten sind: Luzernegrünmehl, Hefen.

Arm an Folaten sind: Tapioka, Getreide. In Futtermitteln sind die Folate in Form von Mono- und Polyglutamat-Formen vorhanden. Die Polyglutamate haben eine sehr geringe Bioverfügbarkeit, so dass die native Folsäure von monogastri-schen Tieren nur teilweise verwertet werden kann. Folate aus Getreide werden vom Geflügel und vom Schwein nur zu 20 – 60 % verwertet.

Physiologische Bedeutung

Folsäure ist als Coenzym in Form von Tetrahydrofolsäure biologisch aktiv und hat folgende Stoffwechselfunktionen:

- Übertragung bestimmter C₁-Einheiten (Methyl- und Formyl-Gruppen),

die im Protein-, DNA- und RNA-Stoffwechsel wichtig für Zellwachstum, Zellteilung und Zelldifferenzierung ist

- Gemeinsame Beteiligung von Tetrahydrofolsäure und Vitamin B₁₂ an der Umwandlung von Homocystein zu Methionin

Mangelscheinungen

- Störung des Blutbildes (makrozytäre Anämie)
- Schäden an Haut und Schleimhaut
- Beim Geflügel: Wachstumsstörungen, schlechte Befiederung und Depigmentierung, Perosis, erhöhte Embryonensterblichkeit, verminderte Schlupfrate, geringere Legeleistung
- Beim Schwein: Haarausfall, Fruchtbarkeitsstörungen
- Beim Rind: Fruchtbarkeitsstörungen

Antagonisten

- Sulfonamide und Aflatoxine im Futter sowie Medikamente, die die intestinale Mikroflora hemmen

Zusatzeffekte

- Erhöhte Antikörperbildung

2.2.7 Niacin (Nicotinsäure/Nicotinsäureamid)

Natürliche Quellen und deren Verwertung

Niacin ist in Form von Nicotinsäure in unterschiedlichen Konzentrationen in fast allen Futtermitteln pflanzlicher Herkunft vorhanden.

Reich an Niacin sind: Hefen, Kleie, Grünfutter und pflanzliche Eiweißfuttermittel.

Arm an Niacin sind: Mais und Roggen, Milchprodukte.

Nicotinsäureamid kommt vor allem in tierischen Zellen vor. Eine geringe Menge wird durch mikrobielle Synthese im Darm sowie aus der Umwandlung der Aminosäure Tryptophan gebildet.

Nicotinsäure und Nicotinsäureamid sind unter physiologischen Gesichtspunkten als gleichwertige Niacinquellen zu betrachten.

Die Verwertbarkeit des aus Getreide und Mühlennachprodukten stammenden Niacins ist für Schweine, Geflügel und Wiederkäuer nur gering.

Physiologische Bedeutung

- Baustein von NAD (Nicotin-Adenin-Dinucleotid) und NADP

(Nicotin-Adenin-Dinucleotid-Phosphat), die als wasserstoffübertragende Coenzyme an lebensnotwendigen Stoffwechselreaktionen beteiligt sind (Kohlenhydrate, Fette und Aminosäuren)

- Schlüsselfunktion im Energieumsatz

Mangelercheinungen

- Störung der Funktion des Nervensystems
- Hautveränderungen (»Pellagra«)
- Erhöhte Peristaltik im Bereich des Magen-Darm-Kanals
- Wachstumsverzögerung
- Entzündungs- und Geschwürbildung auf den Schleimhäuten
- Beim Geflügel: Störung in der Federentwicklung, verminderte Legetätigkeit und Brutfähigkeit
- Beim Hund: Schwarzzungkrankheit

Zusatzeffekte

- 6-12 g Niacin täglich können bei hochleistenden Milchkühen leistungssteigernd wirken und das Ketoserisiko senken. Dem Körpergewicht entsprechende geringere Dosierungen werden bei kleinen Wiederkäuern eingesetzt

2.2.8 Pantothersäure

Natürliche Quellen und deren Verwertung

Pantothersäure ist in fast allen Futtermitteln enthalten.

Reich an Pantothersäure sind: Milchprodukte, Fischpresssaft, Hefen, Mühlennachprodukte, Grünmehle, Extraktionsschrote.

Arm an Pantothersäure sind: Ackerbohnen, Trockenschnitzel, Fleischmehl.

Die in Futtermitteln vorkommende Pantothersäure ist gut verwertbar.

Physiologische Bedeutung

- Als Bestandteil des Coenzym A beteiligt an Synthese und Abbauprozessen im Protein-, Kohlenhydrat- und Fettstoffwechsel
- Bildung von Acetylcholin für die Funktion der Nervenzellen
- Funktion der Haut und der Schleimhäute
- Pigmentierung der Haare

Mangelscheinungen

- Veränderungen an Haut und Schleimhäuten
- Pigmentverlust
- Rauhes Haarkleid
- Ausfall von Haaren und Federn
- Verminderte Synthese von Steroidhormonen
- Appetitmangel und Durchfälle durch Störungen im Magen-Darm-Kanal
- Beim Geflügel: Schorfbildung an Zehen und Schnabel, Sekretbildung am Auge, schlechter Schlupf und erhöhte Embryonensterblichkeit, mangelhafte Befiederung
- Beim Schwein: braunes Exsudat um die Augen, ruckartiger Gang (»Paradegang«) infolge einer Störung der Funktion des Nervensystems

2.2.9 Vitamin C

Natürliche Quellen und deren Verwertung

Vitamin C (Ascorbinsäure) kommt nur in wenigen Futtermitteln vor und baut sich bei der Lagerung und in der Verarbeitung schnell ab.

Reich an Vitamin C sind: Grünfutter, Kartoffeln.

Das in Futtermitteln vorkommende Vitamin C ist gut verwertbar.

Primaten, Meerschweinchen und bestimmte Fischarten (Forellen, Lachse u.a.) können Vitamin C aufgrund eines fehlenden Enzyms (L-Gluconolacton-Oxidase) nicht selbst synthetisieren. Sonstige Säugetiere und Fischarten bilden Vitamin C in der Leber; Vögel in der Niere.

Physiologische Bedeutung

- Beseitigung von Radikalen und Lipid-Peroxyverbindungen im Zellstoffwechsel zusammen mit weiteren antioxidativen Vitaminen wie Vitamin E und β -Carotin
- Kollagensynthese in Knochen, Knorpel, Muskel, Haut, Eischale
- Regulation des Calciumstoffwechsels über die Aktivierung von Vitamin D₃-Metaboliten

- Funktion der Makrophagen, Granulozyten und Lymphozyten im Immunsystem
- Hemmung der Stressreaktion durch verminderte Hormonausschüttung (Cortisol)
- Verbesserung der Fruchtbarkeitseigenschaften wie Spermaqualität, Follikelreifung und Synthese von Progesteron
- Förderung der Eisenresorption
- Verminderung toxischer Wirkung von Schwermetallen wie Blei, Cadmium und Nickel

Mangelercheinungen

- Erhöhte Anfälligkeit gegen Infektionskrankheiten und Parasitosen
- Verzögertes Wachstum
- Knochenerkrankungen
- Verlangsamte Wundheilung, Nabelbluten bei Ferkeln
- Verminderte Eischalenstabilität
- Erhöhte Stressanfälligkeit (Hitze, Transport, Umstallung)
- Geringere Immunreaktion allgemein und nach Impfungen
- Verschlechterte Fruchtbarkeit der weiblichen und männlichen Tiere

Zusatzeffekte

- Steigerung der Antikörperbildung
- Resistenzsteigerung bei Jungtieren durch erhöhten Gehalt im Kolostrum (unspezifische Immunität)

2.2.10 Cholin

Natürliche Quellen und deren Verwertung

Cholin kommt in allen Futtermitteln vor. Reich an Cholin sind: Eiweißfuttermittel tierischer Herkunft, Hefen, einige Ölsaattextraktionsschrote.

Arm an Cholin sind: Tapioka, Mais.

In Futtermitteln vorkommendes Cholin wird aus Sojaschrot zu 60-70 %, aus Getreide zu einem geringeren Anteil und aus Rapsextraktionsschrot nur zu ca. 25 % verwertet.

Cholin kann in der Leber bei ausreichender Versorgung mit Methionin, Serin, Folsäure und Vitamin B₁₂ gebildet werden. Die Eigensynthese ist bei Jungtieren und Broilern zur Deckung des Bedarfs nicht ausreichend.

Physiologische Bedeutung

- Bildung von Phospholipiden (z. B. Lecithin) und Lipoproteinen
- Transport und Stoffwechsel der Fette

- Elektrische Signalbildung in Nervenzellen (beteiligt am Aufbau des Acetylcholins)
- In Form von Phospholipiden Bestandteil der meisten Zelltypen
- Methylgruppendonator im Stoffwechsel (weitere Methylgruppendonatoren im Stoffwechsel sind u.a. Methionin und Betain)

Mangelscheinungen

- Gestörter Fettstoffwechsel mit Leberverfettung
- Störung der Funktion von Gelenken und Knochen (Perosis beim Geflügel, Spreizbeinigkeit beim Ferkel, Hundesitzigkeit beim Schwein)
- Wachstumshemmung insbesondere bei jungen Tieren
- Erhöhte Sterblichkeit bei Küken

Zusatzeffekte

- Erhöhte Cholingaben können das Wachstum und die Futtermittelverwertung bei fettreichen Futtermitteln insbesondere beim Mastgeflügel verbessern

2.3 Sonstige Stoffe mit Vitamincharakter

2.3.1 *p*-Amino-benzoesäure (PABA)

Sie ist ein Bestandteil des Folsäuremoleküls und kann von grünen Pflanzen sowie verschiedenen Mikroorganismen gebildet werden. Für einige Bakterienarten ist PABA ein Wachstumsstoff. Aber auch im Stoffwechsel höherer Organismen scheint sie Aufgaben zu erfüllen. So konnten bei mit Folsäure marginal versorgten Küken durch Zulage von PABA positive Effekte (Wachstum und Befiederung) erzielt werden.

PABA ist in zahlreichen Futtermitteln enthalten, so dass die Versorgung der Tiere über die natürlichen Gehalte gedeckt sein dürfte. Insbesondere Fische haben einen hohen Anspruch an die Versorgung mit PABA; für Forellen wird der Bedarf mit 100-200 mg/kg Futter angegeben.

2.3.2 *Betain*

Betain fungiert im Stoffwechsel als Methylgruppendonator und gehört neben Cholin und Methionin zu den lipotropen Faktoren (Schutz vor Leberverfettung). Die sonstigen spezifischen Funktionen von Cholin und Methionin kann es nicht

ersetzen. Eine Beteiligung an der Regulation der Osmose unter bestimmten Bedingungen wird diskutiert.

2.3.3 *Inosit*

Über die physiologischen Wirkungen des sechswertigen Alkohols Inosit ist bisher wenig bekannt. Nachgewiesen ist seine lipotrope Wirkung, durch die einer Leberverfettung vorgebeugt werden kann. Von landwirtschaftlichen Nutztieren wird Inosit in ausreichendem Umfang gebildet und zur Synthese von Phospholipiden und Lipoproteinen verwendet.

Zur Behebung des Fettlebersyndroms bei Legehennen werden Zulagen von etwa 1000 mg/kg Futter eingesetzt. Bei Forellen sind vorbeugend gegen Leberdegeneration 350-500 mg/kg Futter empfehlenswert.

2.3.4 *Essentielle Fettsäuren (EFA)*

Hierzu gehören die Omega-3-Fettsäuren Eicosapentaensäure (EPA, 20:5), Docosahexaensäure (DHA, 22:6) und α -Linolensäure (18:3) sowie die Omega-6-Fettsäuren Linolsäure (18:2), γ -Linolensäure (18:3) und Arachidonsäure (20:4). Eine de-novo-Synthese dieser Verbindungen ist im Säugetierorganismus nicht möglich. Diese Fettsäuren

sind als Bestandteile von Membranlipiden und als Vorstufen der Prostaglandine von großer Bedeutung.

Besondere Bedeutung haben EFAs beim modernen Fischfarming. Linolsäure wird heute in der kommerziellen Mischfütterformulierung insbesondere bei Legehennen routinemäßig berücksichtigt.

Ein Mangel an essentiellen Fettsäuren äußert sich in Hautveränderungen, Störungen im Wasserhaushalt und Fortpflanzungsstörungen. Wichtig ist das richtige Verhältnis von Omega-3- zu Omega-6-Fettsäuren in der Ration, wobei letztere normalerweise weit im Überschuss sind.

Im Stoffwechsel bestehen enge Beziehungen zwischen den ungesättigten Fettsäuren und Vitamin E. So muss die Versorgung von Vitamin E auf das Angebot der in der Ration enthaltenen ungesättigten Fettsäuren abgestimmt sein.

2.3.5 Carnitin

L-Carnitin kommt vor allem im Säugertiermuskel, aber auch in Hefe, in Weizenkeimen, im Fisch und in der Milch vor. Etwa 85 % des L-Carnitins im Körper befinden sich in der Muskulatur und weniger als 1 % im Blutplasma. Hauptsyntheseort ist die Leber.

L-Carnitin besitzt im Stoffwechsel vielfältige Funktionen; am wichtigsten sind die Funktionen im Fettstoffwechsel: Hier fungiert es als Carrier beim Transport von aktivierten Fettsäuren in die Mitochondrien zwecks Energiegewinnung sowie als Speicher für aktivierte Acetylreste. Letztere Funktion ist bei extremer Muskelarbeit, ketotischen Stoffwechsellagen sowie in Hungersituationen von Bedeutung und stellt mengenmäßig den weitaus größten Anteil am Bedarf dar.

Ein erhöhter Bedarf an L-Carnitin kann bei Tieren während der Reproduktion, bei Jungtieren, bei hohen Wachstumsraten sowie bei einer Überlastung des Leberstoffwechsels auftreten.

2.3.6 Taurin

Taurin ist in allen Futtermitteln tierischer Herkunft enthalten. In Futtermitteln pflanzlicher Herkunft kommt es nicht vor. Im Gegensatz zu landwirtschaftlichen Nutztieren sind Katzen nur in sehr beschränktem Umfang zur Eigensynthese aus Cystein in der Lage.

Taurin ist im Organismus hauptsächlich an Cholsäure gebunden (Taurocholsäure). Die Taurocholsäure liegt in der Galle als Gallensalz vor und ist an der Emulgierung der Fette beteiligt, wo-

durch die Fettspaltung beschleunigt wird. Darüber hinaus wirkt Taurin wahrscheinlich als inhibierender Neurotransmitter, spielt eine wichtige Rolle bei der Entwicklung des Zentralnervensystems und beeinflusst die Transportvorgänge von 2-wertigen Metallionen.

Ein Mangel löst bei Katzen eine Degeneration der Photorezeptoren des Auges

aus, die bis zum Erblinden der Tiere führen kann. Darüber hinaus ist ein Taurinmangel an der Ausbildung von Cardiomyopathien bei Katzen beteiligt. Katzen sollten daher 400 bis 500 mg Taurin / kg Alleinfutter erhalten.

3. Versorgung mit Vitaminen

3.1 Grundlagen

Heute werden höhere Anforderungen an eine gesunde und umweltgerechte Ernährung der Tiere gestellt. Diesen veränderten Anforderungen muß eine moderne Tierfütterung entsprechen. Dabei spielt die optimale Versorgung mit Vitaminen eine wichtige Rolle. Die Erkenntnisse zur Vitaminversorgung der Haustiere haben sich in den letzten Jahrzehnten grundlegend weiterentwickelt. Während in den 50-er Jahren mit den ersten Zusätzen von Vitaminen im Futter zunächst nur Mangelzustände bei den Tieren verhindert werden sollten, haben heute darüber hinausgehend gesundheitsfördernde, ökologische und wirtschaftliche Aspekte an Bedeutung beim Vitamineinsatz im Futter gewonnen. Das Hauptziel einer optimalen Vitaminversorgung ist die Gesundheit der Tiere unter Praxisbedingungen sicherzustellen.

3.1.1 Einflussfaktoren auf die Vitaminversorgung

Die Vitaminversorgung ist der Anteil an Vitaminen, der dem Tier entsprechend des Bedarfs über das Futter zur Verfügung steht. Nachfolgend sind die wichtigsten Faktoren aufgeführt, die auf die Vitaminversorgung Einfluss nehmen können:

- Tier
 - Tierart (z.B. Rind, Schwein, Geflügel, Pferd, Fisch, Heimtiere)
 - Alter des Tieres (z.B. Küken, älterer Hund)
 - Nutzungsrichtung (z.B. Reproduktion, Mast, Sport und Freizeit)
 - Art der Leistung (z.B. Fleisch, Milch, Eier, Wolle, Leder, Ausdauer, Langlebigkeit)
 - Züchterische Weiterentwicklung
 - Gesundheit (z.B. im Allgemeinen, antioxidativer Schutz, Immunitätssteigerung)
 - Belastung (z.B. Tiergruppen, Transport)
 - Tierschutz (z.B. Verhütung von Vitaminmangelkrankheiten, Wohlbefinden)
- Umwelt
 - Haltungsbedingungen (z.B. artgerechte Aufstallung)
 - Hygiene (z.B. Keimbelastungen, Mycotoxine)
 - Klima und Witterung
- Qualität der Produkte
 - Verbesserung der oxidativen Stabilität (Fleisch, Milch, Eier) und der Verarbeitungsqualität (z.B. Wolle, Leder)
- Futter
 - Natürliche Schwankungen der Grundfuttermittel durch Wachstum, Ernte, Trocknung und Lagerung

- Bioverfügbarkeit (Vitamin E im Getreide nur 50% (-Tocopherol, Biotin im Weizen für Geflügel und Schwein nur zu 10% verfügbar)
- Vitaminantagonisten (Cumarine, Thiaminasen, Avidin)
- Lagerungsbedingungen und -dauer
- Zusammensetzung der Futtermittel (Gehalt an Energie, Eiweiß, Fett, Mineralstoffe, Spurenelemente, Säuren)
- Wirtschaftlichkeit
- Kosten - Nutzen Verhältnis

3.1.2 Vitaminbedarf als Grundlage für eine optimale Vitaminversorgung

Grundlage für eine optimale Vitaminversorgung ist der Bedarf an Vitaminen für Tiere, der sich grundsätzlich in Minimalbedarf, Optimalbedarf und Bedarf für spezielle Zusatzeffekte (Immunitätssteigerung, Fleischqualität u.a.) einteilen lässt. Eine faktorielle Bedarfsableitung wie für den Energie- oder Eiweißbedarf ist für Vitamine aufgrund der bereits beschriebenen vielen Einflussfaktoren und einer bisher unbefriedigenden Datenerfassung nicht möglich. So ist der Einfluss der Vitamine auf bestimmte Stoffwechselaktivitäten schwer zu messen, häufig nicht exakt definiert oder manchmal auch noch gar nicht bekannt.

Minimalbedarf: Darunter ist die Menge an Vitaminen zu verstehen, die beim Tier unter optimalen Haltungs- und Hygienebedingungen sicher Mangelsymptome vermeidet. Der Minimalbedarf wird im allgemeinen in wissenschaftlichen Versuchen unter Institutsbedingungen mit speziellen Futterdiäten ermittelt.

Optimalbedarf: Darunter ist die Menge an Vitaminen zu verstehen, die neben der Deckung des Minimalbedarfs auch den Bedarf für eine bestmögliche Ausschöpfung des Leistungspotentials der Tiere bei guter Gesundheit und Widerstandskraft abdeckt.

Zusatzeffekte: Neuere Forschungsergebnisse zeigen, dass viele Vitamine über ihre Hauptfunktionen hinaus zusätzliche Wirkungen im Stoffwechsel hervorrufen, die einen positiven Einfluss auf Gesundheit, Fruchtbarkeit der Tiere sowie Qualität der tierischen Produkte haben können (Tabelle 5).

Optimalversorgung: Darunter versteht man die Zufuhr an Vitaminen, die dem Tier mit dem Futter tatsächlich zur Verfügung steht. Sie richtet sich nach dem optimalen Vitaminbedarf des Tieres. Darüber hinaus können noch zusätzliche Vitamingaben sinnvoll sein, wenn eine über den Optimalbedarf hinausgehende spezielle Wirkung erreicht werden soll (siehe Abbildung 2).

Vitamin	Hauptwirkung	Zusatzeffekte
A	Epithelschutz	Fruchtbarkeit, Zellstoffwechsel, Immunität
β-Carotin	Vitamin A-Vorstufe	Gesundheit, Fruchtbarkeit
D	Ca- und P-Stoffwechsel	Immunität
E	Antioxidans	Gesundheit, Immunität, Qualität von Fleisch, Milch, Eiern
K	Blutgerinnung	Proteincarboxylierung
B ₁	Kohlenhydratstoffwechsel	Erregungsübertragung, Nervensystem
B ₂	Energieumsatz	
B ₆	Eiweißstoffwechsel	Immunität
B ₁₂	Blutbildung und Eiweißstoffwechsel	
Biotin	Kohlenhydrat- und Fettstoffwechsel	Qualität von Haut, Haar, Horn
Folsäure	Eiweiß- und Nucleinsäurenstoffwechsel	Fruchtbarkeit
Niacin	Energieumsatz	Stoffwechselaktivität, Ketoseprophylaxe
Pantothensäure	Energieumsatz	
C	Antioxidans	Stressabbau, Gesundheit, Immunität
Cholin	Fettstoffwechsel, Methylgruppendonator	Erregungsübertragung, Nervensystem

Tabelle 5
Vitamine und ihre Wirkungen

3.1.3 Empfehlungen zur Vitaminversorgung

Zur Vitaminversorgung gibt es sehr unterschiedliche Empfehlungen von wissenschaftlichen Instituten, Behörden, Verbänden und Firmen. Dabei werden die verschiedensten Grundlagen für die Berechnung von Vitaminempfehlungen herangezogen.

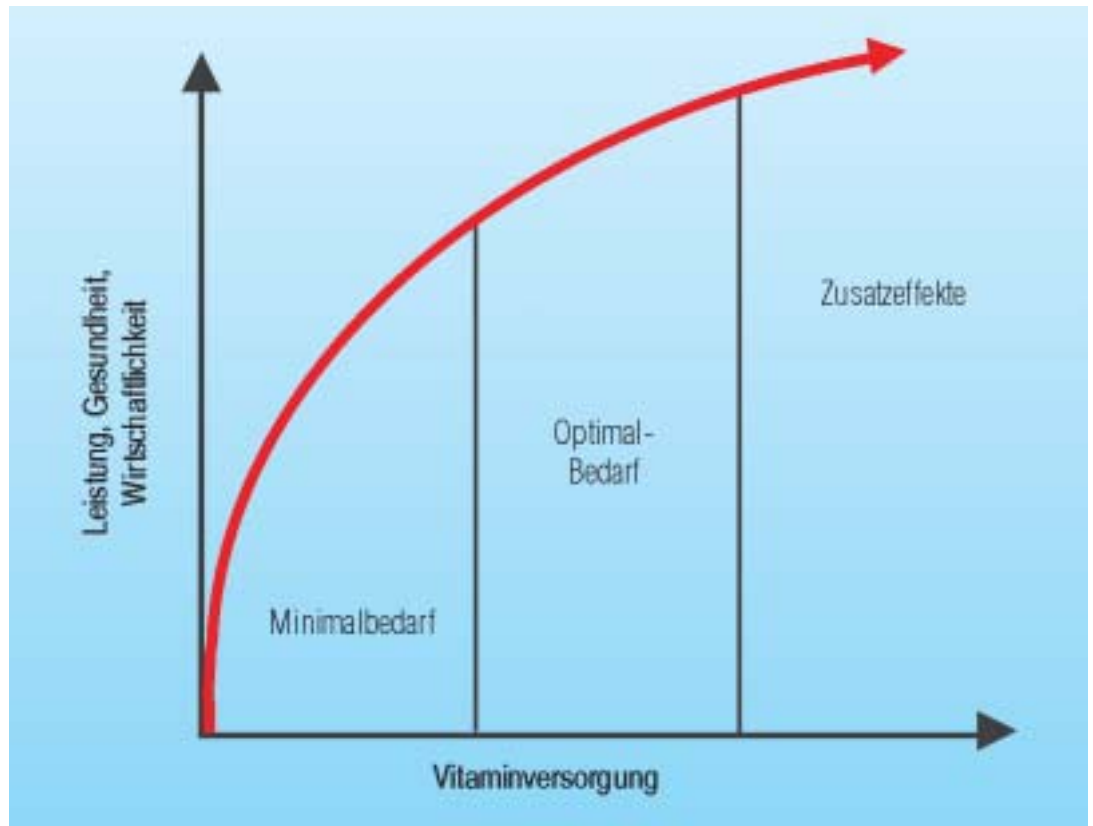
Viele der offiziellen Empfehlungen (z.B. NRC, DLG) sind mehr auf die Deckung des Minimalbedarfs gerichtet.

Unter praktischen Bedingungen reicht der Minimalbedarf für die Tiere nicht aus. Haltung, Hygiene, Fütterungseinflüsse sowie übliche Belastungen in der Praxis können den Vitaminbedarf der Tiere erheblich erhöhen. Deshalb liegt den meisten Vitamindosierungsempfehlungen von Firmen (z.B. Zuchtorganisa-

3. Versorgung mit Vitaminen

Abbildung 2

Vitaminversorgung
= Optimalbedarf
(+Zusatzeffekte)

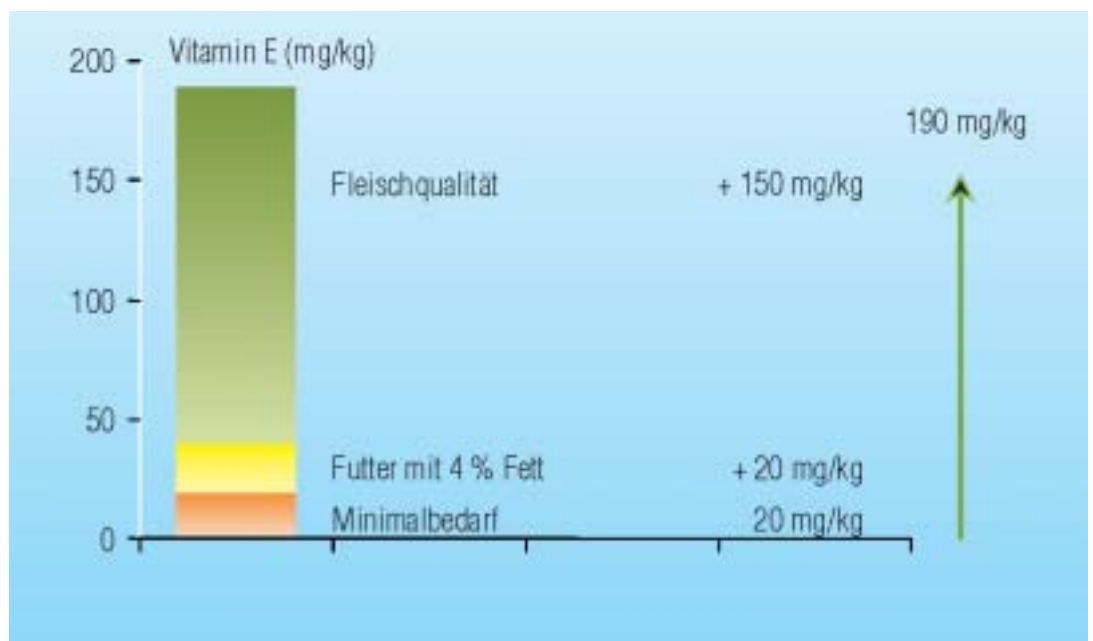


tionen, Futter- und Zusatzstoffhersteller) der Optimalbedarf der Tiere zugrunde. Abbildung 3 zeigt an einem Beispiel, wie hoch die optimale Versorgung mit Vitamin E für Schweine in der Endmast mit

dem zusätzlichen Ziel einer besseren Fleischqualität (oxidative Stabilität) sowie einer fettreichen Futterration sein sollte.

Abbildung 3

Beispiel für die Optimalversorgung mit Vitamin E beim Schwein in der Endmast zur Verbesserung der Fleischqualität und 4% Fettzuzugabe im Futter



Die Empfehlung für Schweine in der Endmast mit einer Futtermischung mit 4% Fett und dem Ziel, eine bessere Fleischqualität zu produzieren, sind 190 mg Vitamin E je kg Futter.

Die Futterzusammensetzung und der Herstellungsprozess des Futters haben ebenfalls Einfluss auf die Vitaminzulage. Die natürlichen Vitamingehalte weisen auch innerhalb bestimmter Futtermittel sehr hohe Schwankungen auf. Beim Wiederkäuer können bei hoher Grundfuturaufnahme die natürlichen Vitamingehalte mit berücksichtigt werden wie z.B. β -Carotin und Vitamin E in Gras und Grassilagen. Für Geflügel und Schwein sind in der Mischfuturaufnahme die nativen Vitamingehalte meist sehr schwankend und können für eine berechenbare und gleichmäßige Versorgung der Tiere kaum berücksichtigt werden. Daneben enthalten einige Futtermittel antinutritive oder antagonistische Faktoren, die die Wirksamkeit bestimmter Vitamine einschränken oder gar aufheben können. Des Weiteren sind Wechselwirkungen aus der Zusammensetzung der Futtermischung mit zu berücksichtigen. So steigt bei einem höheren Fettgehalt bzw. Anteil ungesättigter Fettsäuren (Pufas) in der Futtermischung auch der Bedarf an Vitamin E. Der Herstellungsprozess von Mischfuttermitteln wirkt sich ebenfalls auf den Vitamingehalt aus. Dieser Zusammenhang zwischen Futtermitteltechnologie

(Pelletieren, Expandieren, Extrudieren) und Vitaminen wird in dem folgenden Kapitel 4 ausführlich dargestellt.

3.1.4 Nutzen und Kosten der Vitamine

Die Vitaminierung von Futtermitteln wird in den letzten Jahren auch stark unter dem Gesichtspunkt der Wirtschaftlichkeit betrachtet. Für solch eine ökonomische Beurteilung der Vitaminierung gibt es zwei verschiedene Modelle. Das eine berücksichtigt den Optimalbedarf und das andere die Zusatzeffekte:

a) Für die Wirtschaftlichkeit auf Basis des Optimalbedarfs werden die Kosten der gesamten Vitaminzulage in Relation zum Gewinn durch die Leistung (Milch, Eier, Fleisch) berechnet. Dabei haben wissenschaftliche und praktische Erfahrungen ergeben, dass bei zunehmendem Leistungsniveau und unter Belastungseinflüssen eine höhere Vitaminversorgung zu einer deutlich verbesserten Wirtschaftlichkeit führt.

Als Beispiel dafür soll eine umfangreiche Untersuchung aus den USA mit Mastschweinen dargestellt werden (Coelho und Cousins, 1997):

424 Mastschweine in 5 Gruppen erhielten ein Futter mit 5 verschiedenen Vitamingehalten (Tabelle 6). Die niedrigste Vitamindosierung der Gruppe A entspricht den amerikanischen NRC Emp-

3. Versorgung mit Vitaminen

Tabelle 6
Vitaminergänzung je
kg Futter in der
Schweinemast
(50-100 kg)

		Ration				
Vitamin		A	B	C	D	E
Vitamin A	IE	418	3.300	5.500	8.470	10.560
Vitamin D	IE	176	550	1.100	1.760	2.200
Vitamin E	mg	1,3	11,0	21,3	38,0	47,4
Vitamin K ₃ (Menadion)	mg	0,6	0,8	1,9	4,3	5,4
Vitamin B ₁	mg	-	-	0,6	1,6	1,9
Vitamin B ₂	mg	-	2,6	4,2	6,1	7,7
Vitamin B ₆	mg	-	-	1,0	2,3	2,9
Vitamin B ₁₂	mcg	5	13	21	29	36
Biotin	mcg	-	-	70	190	240
Folsäure	mg	-	-	0,3	1,2	1,5
Niacin	mg	-	17,5	26,1	38,5	48,1
D-Pantothensäure	mg	2,0	11,9	16,3	22,3	27,8

Coelho und Cousins, 1997

fehlungen (Vitaminzulage unter Berücksichtigung der Nativgehalte), die zunehmenden Vitamingehalte der Rationen B bis E sind nach Umfragen bei Futtermittelherstellern den Praxisgegebenheiten angepasst.

Die Gruppen A bis E wurden drei verschiedenen Belastungen (gering - mittel - hoch) ausgesetzt (Tabelle 7).

Tabelle 7
Belastungsfaktoren
in einem Schweine-
mastversuch

Kriterien	Gering	Mittel	Hoch
Besatzdichte, m ² /Tier	2,75	2,05	1,65
Tiere/Bucht	3	4	5
E. Coli-Infekt. ¹⁾ , Keime/Tiere	0	500.000	1.000.000
Samonellen-Infekt. ¹⁾ , Keime/Tiere	0	100.000	200.000
Mycotoxine ²⁾ , ppm	0	50	100
Nährstoffgehalt im Futter	Gering ⁴⁾	Mittel ⁵⁾	Hoch ⁶⁾

1)E. Coli - und Samonelleninfektion-Feld Stämme der lokalen Farm oral gegeben am 7. Tag des Versuchs

2)Mycotoxine-Fusariumstämme B1,B2 und B3

4)13,4 ME, 12,4 % Protein

5)14,3 ME, 13,0 % Protein

6)15,2 ME, 13,8 % Protein

Coelho und Cousins, 1997

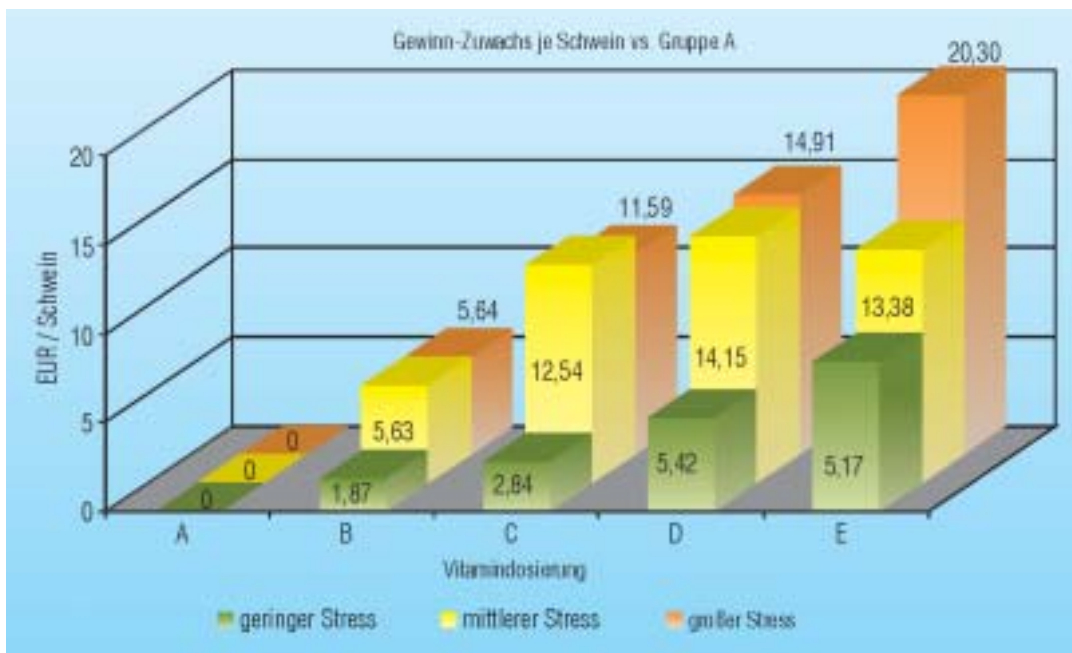


Abbildung 4
Wirtschaftlichkeit der Vitaminergänzung in einem Schweinemastversuch bei unterschiedlichen Belastungen der Tiere

Coelho und Cousins, 1997

Für die wirtschaftliche Auswertung sind die Mastergebnisse (tägliche Zunahme, Futtermittelverwertung) und die Verkaufserlöse entsprechend der Schlachtkörperbewertung herangezogen worden (Abbildung 4)

Wie diese Untersuchung verdeutlicht, ist eine höhere Vitaminversorgung besonders unter steigenden Belastungen der Tiere von wirtschaftlichem Vorteil. Ähnliche Versuchsergebnisse liegen auch für Broiler und Puten vor.

b) Zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit der Zusatzeffekte wird ein einzelnes Vitamin oder ein Vitaminkomplex (z.B. Vitamin E, C und β -Carotin für antioxidative Wirkung) für eine bestimmte Leistung bewertet. Dies erfordert eine

genaue Datenerfassung mit möglichst vielen Tieren und hoher Wiederholbarkeit. Einige dieser bewährten Anwendungen sind z.B. β -Carotin und Fruchtbarkeit beim Rind, Vitamin E und Fleischqualität, Biotin und Klauengesundheit beim Rind, Vitamin E und Mastitis bei der Milchkuh oder Vitamin E und Steigerung der Widerstandskraft. Als Beispiel für β -Carotin und Fruchtbarkeit beim Rind hat die Auswertung von Praxisergebnissen ergeben, dass der Nutzen die Kosten um ein vielfaches übersteigen kann, wenn bei geringem β -Carotin-Gehalt im Grundfutter zusätzliches β -Carotin an Milchkühe verabreicht wird. Der wirtschaftliche Vorteil ergibt sich durch weniger Besamungen, kürzere Zwischenkalbezeiten, längere Nut-

zungsdauer, weniger Tierarztkosten und gesündere Kälber.

3.2. Nativgehalte in Grund- und Handelsfuttermitteln

Die natürlichen Vitamingehalte in Futtermitteln weisen große Schwankungen auf. Neben Klima, Sorte, Standort und Düngung haben vor allem Lagerung und Aufbereitung einen großen Einfluss. Letzteres gilt ganz besonders für das Grundfutter. Die in Tabelle 8 aufgeführten Zahlen zum Vitamingehalt einiger Futtermittel sind daher nur als Richtwerte zu verstehen. Zu beachten ist außerdem, dass Biotin, Niacin und Cholin in Futtermitteln nur zum Teil biologisch verfügbar sind. Die Vitamine A, D₃ und C kommen in Futtermitteln praktisch nicht vor und sind daher nicht in der Tabelle enthalten. Für das Grundfutter sind aus praktischen Überlegungen nur für β -Carotin und Vitamin E Mittelwerte einschließlich des gefundenen Schwankungsbereiches angegeben.

Für Handelsfutter beziehen sich die Angaben auf lufttrockene Substanz, für Grundfutter auf 100 % Trockensubstanz.

Quellen für Vitamingehalte:

BASF AG, eigene Analysenwerte
Becker, M., K. Nehring, 1965, 1967, 1969: Handbuch der Futtermittel, Verlag Paul Parey, Hamburg

Fonnesbeck, P. V., H. Lloyd, R. Obray, S. Romesburg, 1984: Tables of Feed Composition, International Feedstuffs Institute, Utah State University, Logan, Utah

Hennig, A., 1972: Mineralstoffe, Vitamine, Ergotropika, VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin

Hoffmann La-Roche AG, eigene Analysenwerte

INRA, 1989: L'alimentation des animaux monogastriques, 2e édition, Editions INRA, Paris

Kirchgeßner, M., 1997: Tierernährung, 10., neubearbeitete Auflage, DLG-Verlag, Frankfurt/Main

Menke, K. H., W. Huss, 1980: Tierernährung und Futtermittelkunde, 2., neubearbeitete Auflage, Ulmer-Verlag, Stuttgart

NRC, 1998: Nutrient Requirements of Swine, Tenth Revised Edition, National Academy Press, Washington D.C.

Souci, S. W., W. Fachmann, H. Kraut, 1989, 1990: Die Zusammensetzung der Lebensmittel - Nährwerttabellen, 4. Ausgabe, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, Stuttgart

Williams, P. E. V., N. Ballet, J. C. Robert, 1998: A Review of the Provision of Vitamins for Ruminants, Proceedings of the Pre-Conference Symposium to the Cornell Nutrition Conference, 7-37

Tabelle 8

Durchschnittliche Reichweite zum Vitamingehalt einiger Futtermittel

	β-Carotin	Vit. E	Vit. K	Vit. B₁	Vit. B₂	Vit. B₆	Vit. B₁₂	Biotin	Folsäure	Niacin	Pantothen-säure	Cholin
	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mcg	mcg	mcg	mg	mg	mg
Handelsfuttermittel	je kg lufttrockene Substanz											
Ackerbohnen		5		6	2	3		90		25	3	2310
Bierhefe, getr.		2		100	38	45		1050	15,5	445	110	3800
Erbsen	<1	5		7	2	2		200	0,4	30	24	1550
Futterhefe, getr.	<1			7	49	27		1170	17,4	495	80	3070
Gerste	<5	8	<1	10	2	4		150	0,5	55	8	1050
Grasmehl	100	75	<1	4	14	9		220	3,5	59	18	1020
Hafer	<1	9		6	2	2		210	0,4	15	12	1060
Luzernegrünmehl	120	100	16	4	15	7		320	4,2	40	29	1440
Mais	<5	9	<1	4	1	5		70	0,3	20	6	500
Maiskleberfutter	8	14		2	2	14		270	0,3	75	16	1870
Melasse, Rüben	<1	4		<1	2	7		50	0,2	50	5	990
Rapsschrot	<1	15		3	4	10		940	2,4	150	10	6850
Roggen	<1	15			2	3		60	0,6	15	9	450
Sojaschrot	<1	3		4	3	5		330	2,5	30	15	2800
Sonnenblumenschrot	<1	11		3	4	13		1040	1,5	205	29	3310

Tabelle 8 (Fortsetzung)

Durchschnittliche Reichweite zum Vitamingehalt einiger Futtermittel

	β-Carotin	Vit. E	Vit. K	Vit. B₁	Vit. B₂	Vit. B₆	Vit. B₁₂	Biotin	Folsäure	Niacin	Pantothensäure	Cholin
	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mcg	mcg	mcg	mg	mg	mg
Sorghum	<1	8	<1	4	1	4		260	0,2	40	11	700
Tapioka	<1			<1	<1	1		30	0,2	10	6	
Triticale	<1	9			<1							
Trockenschnitzel	<1			<1	<1	1				20	1	520
Weizen	<1	12	<1	5	2	4		100	0,4	55	11	840
Weizenkleie	<5	17	<1	8	4	10		280	2,0	210	29	1200
Fischmehl		10	2,4	<1	8	8	280	300	0,8	75	13	4010
Magermilchpulver		5		4	20	4	40	290	0,5	10	34	1440
Molkenpulver		0		4	9	3	20	380	0,8	10	54	1910
Tiermehl		1		<1	4	2	100	150	0,9	50	4	2050

Tabelle 8 (Fortsetzung)

Durchschnittliche Reichweite zum Vitamingehalt einiger Futtermittel

		β-Carotin	Vit. E	Vit. K	Vit. B₁	Vit. B₂	Vit. B₆	Vit. B₁₂	Biotin	Folsäure	Niacin	Panto- then- säure	Cholin
		mg	mg	mg	mg	mg	mg	mcg	mcg	mcg	mg	mg	mg
Grundfuttermittel		je kg Trockensubstanz											
Gras	Mittel	200	200										
	von-bis	100-400	100-400										
Grassilage	Mittel	100	60										
	von-bis	20-250	10-200										
Heu	Mittel	20	30										
	von-bis	0-100	5-80										
Luzerne	Mittel	50	20										
	von-bis	100-500	50-300										
Luzerneheu	Mittel	50	20										
	von-bis	10-150	5-60										
Maissilage	Mittel	20	15										
	von-bis	0-50	5-40										

3.3 AWT Vitamin-Empfehlungen für Haustiere

Die in Tabelle 9 aufgeführten AWT Vitamin-Empfehlungen sind auf den Optimalbedarf ausgerichtet. Darüber hinausgehende Zulagen für spezielle Zusatzeffekte sind gesondert gekennzeichnet und in Fußnoten erläutert.

Die Dosierungsempfehlungen werden je kg lufttrockenes Futter angegeben, wenn die Tiere vornehmlich ein Alleinfutter aufnehmen (z.B. Geflügel, Schweine). Wird zu einem Grundfutter ein Ergänzungsfutter verabreicht (z.B. Wiederkäuer, Pferde), dann gelten die Empfehlungen je Tier und Tag.

Bei den Empfehlungen sind folgende Annahmen zugrunde gelegt. Die Angaben zu Vitamin E erfolgen als Vitamin E-Acetat. Bei Vitamin B1 wird von Vitamin B1-Mononitrat bzw. Vitamin B1-Hydrochlorid als Basis ausgegangen. Ebenso erfolgen die Angaben zu Vitamin B6 als Vitamin B6-Hydrochlorid. Weiterführende Informationen gibt Kapitel 6.

3.4 Interaktionen von Vitaminen

Vitamine haben im Stoffwechsel sehr vielseitige Funktionen, so dass sie auch mit vielen anderen Nährstoffen in Wechselbeziehung stehen. Dazu zählen die Vitamine selbst, Mineralstoffe und Spurenelemente, Aminosäuren und Proteine,

Fette und Fettsäuren, bestimmte pflanzliche Inhaltsstoffe mit antagonistischer Wirkung sowie einige oral verabreichte Medikamente zur Behandlung von Krankheiten (z.B. Sulphonamide).

Für die Vitamine selbst sind besonders die Interaktionen zwischen den fettlöslichen Vitaminen A und E in wissenschaftlichen Versuchen untersucht worden. Dabei kann eine gegenseitige Beeinflussung erfolgen:

1. durch die Verdauung im Zusammenhang mit anderen Fettkomponenten aus dem Futter,
2. durch die Absorption von fettlöslichen Bestandteilen im Darm und
3. durch die intermediäre Konkurrenzsituation im Stoffwechsel des Plasma-transportes, der intrazellulären Aufnahme sowie des intrazellulären Transportes.

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass nur bei extrem hohen Zulagen von Vitamin A oder E die gegenseitige Verwertung negativ beeinflusst wird. So reduziert eine sehr hohe Vitamin A-Zulage im Futter den Vitamin E-Gehalt im Plasma und in der Leber. Bei praxisrelevanten Vitamindosierungen im Futter entsprechend den AWT-Empfehlungen bestehen keine Interaktionen der Vitamine A und E.

Tabelle 9

AWT Empfehlungen für Vitamin-Zusätze je kg Alleinfutter

Geflügel

	A	D₃	E	K₃ (Mena- dion)	B₁	B₂	B₆	B₁₂	Biotin	Fol- säure	Niacin	D-Pan- tothen- säure	C	Cholin
	IE	IE	mg	mg	mg	mg	mg	mcg	mcg	mg	mg	mg	mg	mg
Küken, Starter	12.000 -15.000	2.500 -3.000	40-60 150-200 ¹⁾	2-4	2-3	8-10	4-6	20-40	100-150	1-2	40-60	10-15	100-200 ²⁾	400-700
Jung- hennen	8.000 -10.000	1.500 -2.500	20-30	1-3	2-3	4-6	3-5	10-20	80-120	1	30-50	8-10	100-150 ²⁾	250-400
Lege- hennen	8.000 -12.000	2.000 -3.000	20-30	2-3	2-3	5-8	3-5	15-25	50-80	1	25-40	8-10	100-150 ²⁾	300-500
Zucht- hennen	12.000 -15.000	2.500 -3.500	40-60	2-3	2-3	8-10	4-6	20-30	100-200	1-2	40-60	10-15	150-200 ²⁾	400-600
Broiler	8.000 -12.000	2.500 -4.000	30-50 150-200 ³⁾	2-3	2-3	5-7	3-5	15-25	100-150	1	30-50	10-12	100-150 ²⁾	300-600
Puten, Starter	10.000 -14.000	3.500 -5.000	40-60 150-200 ¹⁾	2-3	3-4	10 -14	5-7	30-40	250-300	2-3	70-100	15-20	100-200 ²⁾	800 - 1.200
Puten, Grower	8.000 -12.000	3.000 4.000	30-50	2-3	2-3	6-8	3-5	20-30	200-250	2	60-80	10-15	100-150 ²⁾	600-800

Tabelle 9 (Fortsetzung)

AWT Empfehlungen für Vitamin-Zusätze je kg Alleinfutter

Geflügel

	A	D ₃	E	K ₃ (Mena- dion)	B ₁	B ₂	B ₆	B ₁₂	Biotin	Fol- säure	Niacin	D-Pan- tothen- säure	C	Cholin
	IE	IE	mg	mg	mg	mg	mg	mcg	mcg	mg	mg	mg	mg	mg
Puten, Finisher	8.000- 12.000	2.500 -3.500	30-40 ³⁾ 150-200 ³⁾	2-3	2-3	4-6	3-5	15-25	150-200	1	40-60	8-12	100-150 ²⁾	500-700
Puten, Zucht- tiere	12.000- 15.000	3.000- 4.000	40-60	2-3	2-3	8-10	4-6	25-35	300-400	2-3	60-80	10-15	100-200 ²⁾	500-700
Enten/ Gänse	10.000 -13.500	2.500 -3.500	40-60	2-4	2-3	6-8	4-6	25-35	100-150	1	40-60	8-12	100-150 ²⁾	400-600

1) zur verbesserung der Immunität

2) unter Stressbedingungen und zur Steigerung der Reproduktionsleistung bei Zuchttieren

3) zur Verbesserung der Fleischqualität

Tabelle 9

AWT Empfehlungen für Vitamin-Zusätze je kg Alleinfutter

Schweine

	A	D ₃	E	K ₃ (Mena- dion)	B ₁	B ₂	B ₆	B ₁₂	Biotin	Fol- säure	Niacin	D-Pan- tothen- säure	c	Cholin	β- Ca- rotin
	IE	IE	mg	mg	mg	mg	mg	mcg	mcg	mg	mg	mg	mg	mg	mg
Ferkel, Prä- starter	15.000 -20.000	1.800 -2.000	80-120 200 ¹⁾ -250	2-4	3-4	6-8	5-7	40-60	250- 350	2	40-50	15-20	150- 200	400- 600	
Ferkel, Auf- zucht	12.000 -20.000	1.500 -2.000	70-100	2-3	2-3	5-7	4-6	30-50	150- 250	2	30-40	12-16	100- 150 ³⁾	300- 500	
Vor- mast	10.000 -12.000	1.500 -2.000	60-80	2-3	2	4-6	3-5	20-30	100- 150	1	20-30	10-14	50- 100 ³⁾	250- 400	
End- mast	8.000 -10.000	1.000 -1.500	40-60 150-200 ²⁾	2	1	3-5	2-4	15-25	50-80	1	15-25	8-12	50- 100 ³⁾	200- 350	
Zucht- tiere	12.000 -20.000	1.500 -2.000	60-80	2	2	5-7	4-6	20-30	200- 300	2-3	30-40	12-16	150- 200 ³⁾	300- 500	300 ⁴⁾

1) zur Verbesserung der Immunität

2) zur verbesserung der Fleischqualität

3) unter Stressbedingungen und zur Steigerung der Reproduktionsleistung

4) zur Verbesserung der Fruchtbarkeit vom Absetzen bis zum erfolgreichen Wiederholen (mg/Tier/Tag)

Tabelle 9

AWT Empfehlung für Vitamin-Zusätze je Tier und Tag oder je 100 kg Lebensmasse und Tag

Wiederkäuer und Pferde

	A	D3	E	K ₃ (Mena- dion)	B ₁	B ₂	B ₆	B ₁₂	Biotin	Fol- säure	Niacin	D-Pan- tothen- säure	C	Cholin	β-Caro- tin
	IE	IE	mg	mg	mg	mg	mg	mcg	mcg	mg	mg	mg	mg	mg	mg
Kälber, Milch- austau- scher ¹⁾	20.000 -25.000	2.500 -3.000	80-120 150 -200 ²⁾	2	8-10	4-6	3-4	20-30	100 -200	1	30-40	10-20	200 -300	150 -250	100 ³⁾
Jung- rinder, Aufzucht	30.000 -50.000	3.000 -5.000	100 -150		10-20										
Mast- rinder	40.000 -70.000	4.000 -7.000	200 -300 1.000 ⁴⁾ -1.500		30-50						1000- 2000				
Milch- kühe	80.000- 120.000	8.000- 12.000	200 -400 1.000- ⁵⁾ 1.500								4.000- ⁶⁾ 6.000				200 -300 ⁷⁾

Tabelle 9 (Fortsetzung)

AWT Empfehlung für Vitamin-Zusätze je Tier und Tag oder je 100kg Lebensmasse und Tag

Wiederkäuer und Pferde

	A	D3	E	K ₃ (Menadion)	B ₁	B ₂	B ₆	B ₁₂	Biotin	Folsäure	Niacin	D-Pantothensäure	C	Cholin	β-Carotin
	IE	IE	mg	mg	mg	mg	mg	mcg	mcg	mg	mg	mg	mg	mg	mg
Schafe/ Ziegen ⁸⁾	4.000 -8.000	400 -800	50-80												
Fohlen ⁹⁾	10.000 -12.000	1.000 -1.200	100 -120	3	8-10	8-12	6	60-80	200 -300	6	10-20	8-10	200	150-250	
Freizeit- pferde ⁹⁾	6.000 -8.000	600 -800	60-80	2	6-8	6-8	4	50-70	200 ⁹⁾	4	10-15	6-8	100	150-250	
Renn- und Zucht- pferde ⁹⁾	12.000 -15.000	1.200 -1.500	200- 300	3	8-12	8-12	6	60-80	200 ⁹⁾ -300	8	15-25	10-12	200 -300	300-400	400 ¹⁰⁾ -500

- 1) Angaben je kg Futter
- 2) zur Verbesserung der Immunität
- 3) die ersten 14 Tage im Anschluss an die Kolostralmilchphase
- 4) zur Verbesserung der Fleischqualität ab 100 Tage vor der Schlachtung
- 5) zur Verbesserung der Eutergesundheit während der Trockenstehzeit und den ersten 10 Laktationswochen
- 6) zwei Wochen vor dem Kalben bis zur Laktationsspitze
- 7) zwei Wochen vor dem Kalben bis zur erfolgreichen Besamung bei geringem Frischfutteranteil
- 8) je Tier und Tag
- 9) je 100 kg Lebendmasse und Tag
- 10) zur Verbesserung der Klauen- und Hufqualität 15.000-20.000 mcg/Tier/Tag über mind. 6 Monate
- 11) Angabe je Tier und Tag, 4 Wochen vor der Geburt bis 10 Wochen danach

Tabelle 9

AWT Empfehlungen für Vitamin-Zusätze je kg Alleinfutter

Heimtiere und Fische

	A	D3	E	K3 (Mena- dion)	B1	B2	B6	B12	Biotin	Fol- säure	Niacin	D-Pan- tothen- säure	C	Cholin	β- Carotin
	IE	IE	mg	mg	mg	mg	mg	mcg	mcg	mg	mg	mg	mg	mg	mg
Hunde	8.000 -12.000	800 -1.200	80-120	1	2-4	4-6	3-5	30-40	150-250	1	20-25	8-10	80-120	1.000 -1.200	
Katzen	15.000 -25.000	1.000 -1.800	100-150	1	6-10	5-8	3-5	30-40	150-250	1	45-60	10-14	80-120	1.200 -1.400	
Kanin- chen	8.000 -12.000	800 -1.200	30-50	1	1-2	3-6	2-3	10-20	50-100	1	40-60	10-14		600 -800	20
Nerze	8.000 -12.000	800 -1.200	80-120	1	6-10	6-10	6-10	30-40	300-400	1	20-40	10-14	80-120	600 -800	
Forelle, Lachs	7.000 -9.000	1.500 -2.000	180-250	6-8	10-15	20-30	10-15	30-40	800-1.000	5-7	140-160	40-50	150- 250	800 -1.000	
Karpfen	8.000 -10.000	1.500 -2.000	150-200	4-6	8-12	10-20	8-12	20-30	600-800	3-5	60-80	30-40	150 -250	600 -800	

3.5 Sicherheit von Vitaminen

Nur bei ständiger Verfügbarkeit von Vitaminen im Stoffwechsel können viele lebensnotwendige Funktionen im Organismus der Tiere aufrecht erhalten werden. Seit mehreren Jahrzehnten sind Vitamine bewährte Substanzen zur Futtermittelergänzung. In ihrem Aufbau sind die Vitamine organische Substanzen, die mit Ausnahme von Vitamin B12 eine eher "einfache" Molekülstruktur aufweisen. Das niedrige Molekulargewicht der Vitamine lässt nur eine geringe Allergenität erwarten. Insgesamt sind die Vitamine Substanzen, die bei der Verarbeitung und Anwendung ein hohes Maß an Sicherheit aufweisen.

Nach europäischem Futtermittelrecht sind für die Vitamine A und D Höchstgehalte im Futter festgelegt. Die festgesetzten Höchstgehalte von Vitamin A bei Masttieren beruhen auf der physiologisch hohen Speicherkapazität von über

90% in der Leber und einer daraus entsprechend der Aufnahme folgenden Konzentration von Vitamin A in der Leber. Dies kann beim Menschen in der Nahrungskette durch Leberverzehr zu einer überhöhten Aufnahme an Vitamin A führen. Die Begrenzung von Vitamin D leitet sich aus der calciummobilisierenden und -ablagernenden Wirkung in den Gefäßen der Tiere her. Alle anderen Vitamine werden von den Tieren auch bei Dosierungen weit über den AWT Empfehlungen ohne Schädigung vertragen. Besonders die kurzfristige Verabreichung höherer Mengen an Vitaminen wird von den Tieren toleriert.

4.1 Herstellung von Vitaminen

Vitamine können prinzipiell nach drei Methoden gewonnen werden:

- durch eine chemische Synthese
- durch fermentative Verfahren
- durch Isolierung aus pflanzlichem bzw. tierischem Material

Die in der Tierernährung eingesetzten Vitamine werden fast ausschließlich nach den beiden zuerst genannten Verfahren hergestellt. Aus Pflanzen oder pflanzlichen Produkten extrahierte Vitamine finden aus Kostengründen hauptsächlich beim Menschen Anwendung.

Heute wird zur Vitaminherstellung überwiegend die chemische Synthese genutzt, wobei davon auszugehen ist, dass Fermentationsverfahren an Bedeutung gewinnen werden. Einige Vitamine, wie z. B. das Vitamin B₂, werden durch beide Verfahren produziert, jedoch wird der größere Teil bereits durch Fermentation erzeugt. Noch vor 10 Jahren wurde das gesamte Vitamin B₂ durch eine chemische Synthese hergestellt. Vitamin B₁₂ dagegen wird ausschließlich durch Fermentation gewonnen, da die Vitamin B₁₂-Struktur für eine chemische Synthese zu aufwendig ist.

Bei Fermentationsverfahren werden durch Selektion geeignete Mikroorganis-

men herausgefunden, die das gewünschte Vitamin produzieren können. Diese Vitamine werden dann aus dem Fermentationsansatz separiert.

Durch gentechnologische Verfahren ist es zudem möglich, die Produktionsfähigkeit von Mikroorganismen zu steigern, bei gleichzeitiger Schonung von Umwelt und Ressourcen.

Die Abbildung 5 gibt einen Überblick über die Herstellungsmöglichkeiten für die verschiedenen Vitamine.

Ausgangsbasis für die chemische Vitaminsynthese ist meistens Rohöl oder Gas. Diese Stoffe werden in kleine Bausteine zerlegt und anschließend durch mehrstufige Verfahren zu dem gewünschten Vitamin zusammengesetzt. Für die Synthese von Vitamin A sind z. B. über 15 Verfahrensstufen notwendig.

Die mittels Fermentation bzw. chemischer Synthese gewonnenen Vitamine sind mit den in der Natur vorkommenden Vitaminen vollkommen identisch und können somit auch die gleiche biologische Wirkung ausüben. Hinsichtlich ihrer biologischen Wertigkeit sind sie den natürlich vorkommenden Vitaminen manchmal sogar überlegen, da einige Vitamine wie z.B. Biotin, Niacin und Cholin durch ihre chemischen

	Synthese	Fermentation	Isolierung
Vitamin A	genutzt		möglich
β-Carotin	genutzt		möglich
Vitamin B ₁	genutzt	möglich	
Vitamin B ₂	genutzt	genutzt	
Vitamin B ₆	genutzt	möglich	
Vitamin B ₁₂	möglich	genutzt	
Vitamin C	genutzt	genutzt	
Vitamin D ₃	genutzt		möglich
Vitamin E	genutzt		genutzt
Vitamin K	genutzt		möglich
Biotin	genutzt	möglich	
Folsäure	genutzt	möglich	
Niacin	genutzt		
Pantothensäure	genutzt	möglich	
Cholin	genutzt		

genutzt
 möglich

Abbildung 5: Technische Verfahren zur Gewinnung von Vitaminen

Bindungsformen in den Futtermitteln nur teilweise verfügbar sind.

Die chemische Synthese der Vitamine ist jedoch nur ein Teil des Produktionsprozesses. Für die Anwendung muss in der Regel noch eine Formulierung vorgenommen werden, um gute Anwendungseigenschaften und einen problemlosen Einsatz der Produkte sicherzustellen. Ein wichtiger Aspekt ist dabei unter anderem die Stabilität der Vitamine bei den verschiedenen Verarbeitungsverfahren und

Zusammensetzungen von Prämixen und Futtermischungen. Die Vitamine A, D₃ und E sind nach der Vitaminsynthese ölige Produkte, die für den Einsatz in der Mischfutterindustrie zu Pulvern umgeformt werden. Im Rahmen dieser Verfahren, bei denen es sich bei modernen Methoden meistens um Sprühtrocknungsverfahren handelt, werden gleichzeitig Maßnahmen zur Verbesserung der Stabilität vorgenommen. Teilweise geschieht das auch im Nach-hinein, wie es z.B. bei einigen Vitamin A-Produkten

durch das Crosslinking (Vernetzen) der Fall ist.

Bei der Formulierung von Vitaminprodukten sind vom Hersteller einige Anforderungen zu erfüllen, von denen die wichtigsten in Tabelle 10 zusammengestellt sind.

4.2 Handelsformen und ihre Qualitätskriterien

Beim Einsatz von Vitaminen ist in Abhängigkeit vom Produktpreis, von der Verwendung bzw. Verarbeitung und der voraussichtlichen Lagerungsdauer der Mischung das für den jeweiligen Einsatzbereich am besten geeignete Produkt auszuwählen. Von fast allen Vitaminen gibt es mehrere Handelsprodukte, die sich zum Teil deutlich in ihren Anwendungseigenschaften unterscheiden. Wichtigste Unterscheidungsmerkmale

bzw. Auswahlkriterien sind unter praktischen Bedingungen häufig die folgenden:

- Wasserlöslichkeit bzw. Wasserdispergierbarkeit des Produktes für verschiedene Anwendungsgebiete (Milchaustauscher, Verabreichung über das Trinkwasser)
- Stabilität bei besonderen Verarbeitungsverfahren (Expansion, Extrusion)
- Produktbeschaffenheit im Hinblick auf anlagenspezifische Besonderheiten bei der Verarbeitung (Teilchengröße, Hygroskopizität, elektrostatisches Verhalten u. a.)

Die Einteilung der Vitamine in fettlösliche und wasserlösliche Vitamine ist nur für die reinen Vitamine anwendbar und sagt nichts über die Löslichkeit der handelsüblichen Vitaminpräparate aus.

Tabelle 10:
Anforderungen an
Vitaminprodukte für
die Futtermittelindustrie

Kriterium	Anforderung
Gehalt	mindestens wie deklariert
Stabilität	keine bzw. geringe Verluste bei der Verarbeitung und Lagerung
Bioverfügbarkeit	gute Bioverfügbarkeit ist notwendig
Fließfähigkeit	keine Klumpenbildung, gute Fließfähigkeit
Aussehen	produkttypische Farbe und Korngröße
Staub	nicht bzw. wenig staubend
Partikelgröße	enges Kornspektrum, keine zu feinen bzw. grobkörnigen Partikel
Mischungsverhalten	gutes Mischungsverhalten, keine Neigung zum Entmischen

So sind die Formulierungen von fettlöslichen Vitaminen durch die Formulierungshilfsstoffe nicht unbedingt fettlöslich, ebenso sind nicht immer alle Bestandteile (z.B. Trägerstoffe) der wasserlöslichen Vitamine in Wasser löslich.

Bei den Vitaminen der B-Gruppe überwiegen Produkte, bei denen es sich um Reinsubstanzen handelt; d. h. der Vitamingehalt des Produktes beträgt mindestens 95 % und es besteht hauptsächlich aus der chemischen Verbindung, in der das Vitamin angeboten wird. Für Vitamin B₂, das überwiegend fermentativ hergestellt wird, ist ein Produkt mit 80 % Vitamin B₂-Gehalt handelsüblich. Biotin und Vitamin B₁₂ werden aufgrund ihrer geringen Dosierung als 1- bzw. 2%ige Präparate verkauft.

Bei den fettlöslichen Vitaminen A, D₃ und E handelt es sich generell um formulierte Produkte, da diese Vitamine bei der Herstellung in öliger (fettlöslicher) Form anfallen und somit für den praktischen Einsatz in Futtermischungen erst zu Pulvern verarbeitet werden müssen. Für spezielle Einsatzbereiche, wie z. B. Veterinärprodukte, werden allerdings auch die öligen Formen eingesetzt.

Die Formulierung der Produkte kann mittels verschiedener Verfahren durchgeführt werden und ist notwendig, um z. B. Flüssigkeiten in Pulverform zu über-

führen, um gewünschte Konzentrationen einzustellen und um das Produkt durch Zusätze und auch durch das Verfahren selbst in der Stabilität zu verbessern.

Von den Formulierungsmethoden sind, neben der chemischen Modifizierung des Wirkstoffes (z.B. Vitamin-E-Acetat anstatt Vitamin-E-Alkohol) und Einstellung einer geeigneten Kristallgröße, Granulier- und Sprühverfahren von überragender Bedeutung.

Bei den Sprühverfahren wird generell zwischen Sprühtrocknungsverfahren und Sprühformulierungsverfahren unterschieden, wobei Ersteres zu feinen Pulvern mit einer Teilchenzahl von über einer Million pro Gramm führt, während bei der Sprühformulierung größere Partikel entstehen -die sogenannten Beadlets.

Die Sprühformulierung hat für die Herstellung von Vitamin A-Produkten große Bedeutung, es entstehen Produkte mit einer Teilchengröße von 0,1-0,5 mm Durchmesser und etwa 100.000-200.000 Teilchen pro Gramm.

Ein wichtiger Verfahrensschritt bei der Formulierung von Vitamin A-Produkten ist ein anschließendes Crosslinking (Vernetzung, Härtung) der Matrix. Diese Vorgehensweise stabilisiert das Produkt für die Anwendung in Prämixen

und Mineralfuttern sowie bei Verarbeitungsverfahren wie Pelletieren und Extrudieren. Im wesentlichen findet bei dieser Maßnahme eine Maillardreaktion statt, die eine Verbindung bzw. Vernetzung zwischen Proteinen und Zuckern bewirkt, so dass das Produkt auch in Wasser unlöslich ist.

Verfahren, in denen das Wirkmolekül mit Hilfsstoffen umhüllt bzw. darin eingebettet wird und somit vor äußeren Einflüssen geschützt ist, werden als Coatingverfahren bezeichnet. Bei den Produkten handelt es sich dann um sogenannte »gecoatete Produkte«.

Sofern wasserlösliche Vitamine als Reinstoffen angeboten werden, ist die Gehaltsangabe generell auf die Trockenmasse bezogen. Eine entsprechende Umrechnung auf den Wert in der Originalsubstanz ist demnach notwendig. Für die meisten Vitamine ergibt sich durch den niedrigen Wassergehalt der Produkte jedoch keine große Gehaltsänderung. Allerdings errechnet sich für Folsäure ein deutlich niedrigerer Wert, da sie einen Gehalt an chemisch gebundenem Wasser von ca. 8 % hat.

Bei den B-Vitaminen, die einen deklarierten Wirkstoffgehalt von 80 % und kleiner haben, sind die Angaben auf die Originalsubstanz bezogen.

4.2.1 Handelsprodukte von fettlöslichen Vitaminen

4.2.1.1 Vitamin A

Für Vitamin A werden grundsätzlich drei unterschiedliche Produktformen hinsichtlich ihres Verhaltens in wässrigen Lösungen angeboten:

1. Beadlets, die durch Crosslinking in Wasser unlöslich sind. Die Produkte haben eine sehr gute Stabilität in allen Mischungen und Einsatzbereichen.
2. Gecoatete Produkte, die nicht cross-linked sind und in Wasser dispergiert werden können. Diese Produkte haben eine verminderte Stabilität.
3. Sprühgetrocknete, feine Pulver, die sehr gut wasserdispergierbar sind und speziell für die Verwendung in flüssigen Mischungen formuliert sind.

In den Produkten ist als Wirksubstanz Vitamin A-Acetat enthalten. Weltweit, mit der Ausnahme der Vereinigten Staaten von Amerika, ist ein Standard-Vitamin A-Gehalt der Produkte von 500.000 IE pro Gramm üblich, in den USA sind 650.000 IE/g die Norm. Daneben sind vereinzelt auch Produkte mit anders eingestellten Gehalten zu finden.

Neben den reinen Vitamin A-Präparaten gibt es Kombinationsprodukte von Vitamin A und Vitamin D₃; in Europa üblicherweise mit Vitamin A-Gehalten von 500.000 IE/g und Vitamin D₃-Gehalten von 100.000 IE/g. Zwei qualitativ unterschiedliche Produktvarianten sind vorhanden:

1. Produkte, die auf der Grundlage eines Gemisches aus Vitamin A-Öl und Vitamin D₃-Öl hergestellt werden und folglich in jedem Partikel gleiche Mengen an Vitamin A und Vitamin D₃ enthalten. Diese Produkte sind cross-linked und bringen somit Stabilitätsvorteile -auch für das Vitamin D₃- mit sich.
2. Produkte, bei denen es sich um eine Mischung aus einem Vitamin A-Produkt und einem Vitamin D₃-Produkt handelt. Überwiegend werden bei diesen Abmischungen nicht cross-linked Vitamin A-Formulierungen eingesetzt, ebenso für das Vitamin D₃, da hierfür keine vernetzten Produktvarianten existieren.

Da Vitamin A sehr oxidationsempfindlich ist, ist dem Formulierungs-Know-how des Herstellers große Bedeutung beizumessen. Nur mit gut stabilisierten Produkten ist es oftmals möglich, in Mischungen (Mischfutter, Prämixe, Mineralfutter) die Stabilitätsgarantien zu erfüllen.

4.2.1.2 β -Carotin

Die handelsüblichen Produkte haben einen β -Carotingehalt von mindestens 10 % (100.000 mg/kg) und liegen als Beadlets vor. Die Produkte sind nicht vernetzt und somit in Wasser dispergierbar.

4.2.1.3 Vitamin D₃

Vitamin D₃-Formulierungen haben üblicherweise einen Vitamin D₃-Gehalt von 500.000 IE/g; andere Einstellungen sind von untergeordneter Bedeutung. Sämtliche Produkte sind wasserdispergierbar, sofern es sich nicht um die schon erwähnten Kombinationspräparate mit Vitamin A handelt.

Die meisten Vitamin D₃-Formulierungen sind feine Pulver. Daneben gibt es jedoch auch Produkte, die in Beadlet-Form vorliegen und eine etwas gröbere Struktur haben. Zwar ist die Wasserdispergierbarkeit dieser Formulierungen etwas vermindert, dafür liegt in der Regel aber eine bessere Vitaminstabilität vor.

4.2.1.4 Vitamin E

Vitamin E-Produkte haben bis auf einige Ausnahmen einen Vitamin E-Gehalt von 50 %. Man unterscheidet zwei Produkttypen:

1. Vitamin E-Adsorbate
2. Sprühgetrocknete Vitamin E-Formulierungen

Bei den Vitamin E-Adsorbaten wird Vitamin E-Acetat (dl- α -Tocopherylacetat), das in ölicher Form vorliegt, an gefällte Kieselsäure gebunden. Die gefällte Kieselsäure ist ein Mineral mit zahlreichen kleinen Hohlräumen, in die das Vitamin E-Öl eindringen kann und dort adsorbiert wird. Diese »einfache« Produktionsmethode ist möglich, weil es sich beim Vitamin E-Acetat um eine relativ stabile Verbindung handelt (im Gegensatz zum Vitamin E-Alkohol).

Die sprühgetrockneten Vitamin E-Produkte sind wasserdispergierbar. Daneben weisen diese Formulierungen unter speziellen Bedingungen, z. B. bei hohen MgO-Gehalten in Prämixen und Mineralfuttern, eine verbesserte Stabilität auf.

4.2.1.5 Vitamin K₃

Für Vitamin K₃ werden drei unterschiedliche Produktformen angeboten:

1. Menadion Natrium Bisulfit (MSB) mit einem Gehalt von min. 50 % Menadion
2. Menadion Pyrimidinol Bisulfit (MPB) mit Gehalten von ca. 23 % bzw. 43 % Menadion
3. Menadion Nicotinamid Bisulfit (MNB) mit Gehalten von 23 % bzw. 43 % Menadion und 16 % bzw. 31 % Nicotinamid

Wichtigstes Unterscheidungsmerkmal der drei Produktformen ist deren Stabilität. MSB weist in der Regel in allen Mischungstypen die höchsten Vitaminverluste auf. Zudem ist es das einzige der Vitamin K₃-Handelsprodukte, das vollständig in Wasser löslich ist. MPB dagegen ist in den meisten Mischungen deutlich stabiler. Am stabilsten jedoch ist MNB, insbesondere in Prämixen und Mineralfuttern kommt seine Überlegenheit zum Tragen.

Allerdings gibt es beim Extrudieren und Expandieren von Futtermischungen zwischen allen drei Produkttypen kaum Unterschiede in der Stabilität - im Gegensatz zu den Produktvarianten bei anderen Vitaminen (z.B.: Vitamin A, Vitamin C).

Beim Vitamin K₃ wird in der Praxis nicht immer klar unterschieden, ob der Wirkstoff Vitamin K₃ (Menadion) gemeint ist oder eines der Handelsprodukte. Grundsätzlich sollte eine Gehaltsangabe auf den Wirkstoff bezogen sein. Es ist davon auszugehen, dass die biologische Wertigkeit von den verschiedenen Vitamin K₃-Produkten, bezogen auf den Gehalt an Menadion, als gleichwertig anzusehen ist.

4.2.2 Handelsprodukte von wasserlöslichen Vitaminen

4.2.2.1 Vitamin B₁

Vitamin B₁-Produkte werden in zwei Handelsformen angeboten:

1. Vitamin B₁-Mononitrat
2. Vitamin B₁-Hydrochlorid

Beide Handelsformen haben Vitamin B₁-Gehalte von mindestens 98 %.

Vitamin B₁-Hydrochlorid ist sehr viel besser in Wasser löslich als Vitamin B₁-Mononitrat. Sofern eine gute Wasserlöslichkeit des Produktes bei der Anwendung nicht notwendig ist, empfiehlt es sich in Futtermischungen Vitamin B₁-Mononitrat einzusetzen, da dieses Produkt eine bessere Stabilität aufweist.

4.2.2.2 Vitamin B₂

Heute werden überwiegend durch Fermentation hergestellte Vitamin B₂-Produkte mit Gehalten von mindestens 80 % Vitamin B₂ eingesetzt. Bei den restlichen 20 % handelt es sich um den Trägerstoff bzw. Fermentationsrückstand.

Neben dieser fermentativ hergestellten Ware gibt es Vitamin B₂-Produkte, die mittels chemischer Synthese produziert und teilweise von einem 96%igem Vitamin B₂-Gehalt auf eine 80 %ige Ware heruntergemischt sind.

Die fermentativ erzeugten Produkte haben aufgrund ihrer speziellen Formulierungen deutlich bessere Verarbeitungseigenschaften als die durch chemische Synthese gewonnenen. So zeichnet sich die fermentativ hergestellte Ware z.B. durch ihre antistatische Eigenschaft aus. Ein »Kleben« an den Aggregaten ist somit ausgeschlossen.

4.2.2.3 Vitamin B₆

Das übliche Handelsprodukt ist ein Reinprodukt mit einem Gehalt von mindestens 98 % Vitamin B₆-Hydrochlorid.

4.2.2.4 Vitamin B₁₂

Vitamin B₁₂ wird überwiegend als 0,1 bzw. 1 %ige Abmischung mit dem Trägerstoff Calciumcarbonat angeboten. Neben der eigentlichen Vitamin B₁₂-Wirksubstanz, dem Cyanocobalamin, gibt es in den Vitamin B₁₂-Präparaten von verschiedenen Herstellern unterschiedlich hohe Gehalte an Verbindungen, die eine Vitamin B₁₂-Aktivität aufweisen.

4.2.2.5 Biotin

Biotin wird überwiegend als 2 %iges Präparat verkauft. Es handelt sich in der Regel um sprühgetrocknete Produkte, die gut wasserlöslich sind und eine sehr hohe Partikelzahl aufweisen. Dadurch wird in Mischfuttermitteln trotz der geringen Biotindosierung eine gute Verteilung erreicht. Neben den sprüh-

getrockneten Produkten gibt es auch Abmischungen von Biotin mit einem Trägerstoff. Beim Einsatz dieser Produkte kann aufgrund von größeren Biotinpartikeln nicht immer von einer gleichmäßigen Wirkstoffverteilung in den Futtermischungen ausgegangen werden.

4.2.2.6 Folsäure

Es werden sowohl Folsäure-Reinsubstanzen mit mindestens 95 % Wirksubstanz als auch 80 %ige Präparate angeboten. Folsäureprodukte mit einem Wirkstoffgehalt von 80 % haben bessere Verarbeitungseigenschaften wie z.B. bessere Fließfähigkeit und geringere Staubbildung.

4.2.2.7 Niacin

(Nicotinsäure/Nicotinsäureamid)

Die Handelsprodukte haben einen Vitamingehalt von mindestens 99 %. Nicotinsäureamid hat in Wasser eine höhere Löslichkeit als Nicotinsäure.

4.2.2.8 Pantothenensäure

Als Produkte werden Calcium-D-Pantothenat mit 98 % Wirksubstanz und Calcium-DL-Pantothenat mit ca. 45 % Wirksubstanz (Calcium-D-Pantothenat) angeboten. Da für den tierischen Organismus nur die D-Form biologisch verwertbar ist, kann für die Versorgung der Tiere auch nur der D-Anteil berücksichtigt werden.

Calcium-D-Pantothenat-Produkte sind

auch aus Gründen einer problemloseren Verarbeitung (geringere Hygroskopizität) sowie einer besseren biologischen Wertigkeit den DL-Produkten vorzuziehen.

4.2.2.9 Vitamin C

Prinzipiell sind heute drei Vitamin C-Produktvarianten im Einsatz:

1. Kristallines Vitamin C (reine Ascorbinsäure) mit einem Vitamin C-Gehalt von mind. 99 %
2. Gecoatete (formulierte) Vitamin C-Produkte mit Vitamin C-Gehalten zwischen 50 und 97,5 %
3. Vitamin C-Phosphate mit Vitamin C-Gehalten von 25 – 45%

Reines Vitamin C ist in hitzebehandelten Futtermischungen und in Prämixen oder Mineralfuttern sehr instabil. Deshalb sollten bevorzugt – in Abhängigkeit von der Verarbeitungsmethode und der Lagerungsdauer des Futters oder der Prämixe - gecoatete Produkte oder besser noch Vitamin C-Phosphat eingesetzt werden. Noch vor einigen Jahren wurde als hitzestabiles Produkt auch Vitamin C-Sulfat empfohlen, aufgrund der sehr geringen biologischen Wertigkeit wird diese Vitamin C-Verbindung heute nicht mehr verwendet.

Gecoatete Produkte weisen in Prämixen generell eine bessere Stabilität als Vit-

amin C kristallin auf, wobei es deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Produkten in Abhängigkeit von der Stabilisierungsmatrix gibt. Gleiches trifft auch für die Stabilität im pelletierten Futter zu.

Für extrudierte und expandierte Futter ist generell der Einsatz von Vitamin C-Phosphat zu empfehlen. Verluste können so –auch bei längeren Lagerungszeiten des Futters– auf ein Minimum reduziert werden.

4.2.2.10 Cholinchlorid

Zur Cholinversorgung wird Cholinchlorid als 75 %ige wässrige Lösung oder als Adsorbat auf organischen oder anorganischen Trägern mit Gehalten von 50 %, 60 % oder höher eingesetzt.

Cholinchlorid flüssig (75 %) ist für die Verwendung in Mischfuttermitteln bestimmt und sollte in trockenen Mischungen auch auf diesen Einsatzbereich begrenzt werden.

Die pulverförmigen Produkte sind insbesondere für den Einsatz in Prämixen und Mineralfuttern bestimmt. Sie können aber auch ohne weiteres in Mischfuttern eingesetzt werden. Die Auswahl des Trägerstoffes – organisch (Corncobs oder Trockenschnitzel) oder anorganisch (Kieselsäure) – wird hauptsächlich durch betriebsspezifische Verarbeitungsbedingungen vorgegeben. In Milchaustausch-

futtermitteln ist generell die Ware mit Kieselsäure als Trägerstoff zu bevorzugen, da dieses Produkt feiner und weiß ist.

4.3 Stabilität in Futtermischungen

Bei der Herstellung von Mischfuttermitteln werden aus verschiedenen Gründen (Verbesserung der Verdaulichkeit und des Hygienestatus, bessere Futteraufnahme usw.) vermehrt Produktionsmethoden verwendet, die einen negativen Einfluss auf die Stabilität von Zusatzstoffen ausüben können. Weiterhin werden aus technischen Gründen sehr häufig Vormischungen von Zusatzstoffen (Prämixe) hergestellt, in denen hochkonzentrierte Wirkstoffe enthalten sind, die miteinander reagieren können.

Es ist eine Aufgabe der Vitaminhersteller, durch geeignete Verfahren dafür Sorge zu tragen, dass die Vitamine eine gute Stabilität unter den verschiedenen Verarbeitungs- und Lagerungsbedingungen haben. Die wichtigsten Maßnahmen zur Stabilitätsverbesserung sind die folgenden:

- Synthese von stabilen Verbindungen, z. B. die Herstellung von α -Tocopherylacetat (Vitamin-E-Acetat) anstelle des instabilen α -Tocopherols

- Coating (Umhüllung) durch Sprühverfahren, wie z. B. bei Vitamin A- und Vitamin D₃-Trockenpulvern
- Verwendung von Antioxidantien und anderen Stabilisatoren, z.B. Ethoxyquin (EQ) und Butylhydroxytoluol (BHT) in sauerstoffempfindlichen Vitamin-Formulierungen
- Crosslinking der Matrix, um das Produkt wasserunlöslich und dadurch stabiler zu machen

Die Stabilität von Vitaminen wird bei der Verarbeitung insbesondere durch folgende Einflussfaktoren bestimmt:

1. Verarbeitungsverfahren

- Mischen
- Konditionieren
- Pelletieren
- Expandieren
- Extrudieren

2. Zusammensetzung der Mischung

- Vitaminkonzentrat
- Mischfutter
- Mineralfutter
- Prämix (Vitamine und Spurenelemente)

3. Lagerungsbedingungen und -dauer

4. Qualität der Vitaminformulierung

Eine Einteilung hinsichtlich der Stabilitätsverluste von Vitaminen kann auch nach chemisch/physikalischen Einflussgrößen erfolgen. Hierzu zählen insbesondere:

- Feuchtigkeit
- Wärme
- Druck
- Säuren-Basen-Reaktion (pH-Wert)
- Oxidations- und Reduktionsmittel (z.B. Spurenelemente)

Durch die Vielzahl von »Stressfaktoren«, die auf die Vitamine einwirken, können Angaben über Vitaminverluste bei bestimmten Produktionsverfahren bzw. bei unterschiedlicher Zusammensetzung der Mischung nur mittlere Werte sein. Dies trifft insbesondere für Prämixe aufgrund sehr unterschiedlicher Zusammensetzungen zu. Aber auch bei den Produktionsverfahren können die Verarbeitungsbedingungen sehr variabel sein, so z. B. die Konditionierzeit und die Temperatur beim Pelletieren, Expandieren und Extrudieren.

Generell kann gesagt werden, dass mit Erhöhung der Temperaturen und einer Verlängerung der Einwirkdauer die Verluste ansteigen.

Der Wassergehalt in Prämixen und Futtermitteln hat einen ungünstigen Einfluss auf die Vitaminstabilität. In Misch-

futtermitteln ist in den Ländern der Europäischen Union ein maximaler Wassergehalt von 14 % erlaubt; eine bedeutende Beeinflussung der Vitaminstabilität ist jedoch erst bei höheren Wassergehalten zu erwarten. Dagegen können in Prämiexen und Mineralfuttern schon geringe Wassermengen zu messbaren Vitaminverlusten führen. Aus diesem Grund sollten Zusätze von Melasse und anderen wasserhaltigen Komponenten zur Staubbindung auf ein Minimum reduziert werden.

In einigen Spurenelementverbindungen sind hohe Anteile an Kristallwasser vorhanden. So enthält z. B. Eisensulfat-Heptahydrat 45 % Kristallwasser. Eisensulfat-Monohydrat hat einen geringeren Anteil von nur 10 % und ist somit in Mischungen zu bevorzugen. In Vormischungen sollte ein Anteil von 3-4 % freiem Wasser die Obergrenze sein.

Das im Molekülverbund teils schwach fixierte Kristallwasser kann während der Lagerung freigesetzt werden, so zum Beispiel durch eine länger andauernde Wärmeeinwirkung oder durch hygroskopische Komponenten wie Cholinchlorid oder Betain, so dass der Gehalt an freiem Wasser in der Mischung ansteigt, das Reaktionspotential erhöht wird und ein stärkerer Vitaminabbau die Folge sein kann.

Sehr wichtige Einflussfaktoren auf die Vitaminstabilität sind zudem Lagerungsdauer und -temperatur. Je länger die Produkte gelagert werden und je höher die Lagerungstemperaturen sind, um so größer können die Verluste sein. Zu den einzelnen Mischungstypen bzw. Produktionsverfahren lassen sich für die Vitamine in etwa folgende Verluste zuordnen:

4.3.1 Einzelvitamine

Einzelvitamine haben bei kühler Lagerung eine gute Stabilität, die in der Regel mehr als ein Jahr beträgt. Die Stabilitätsgarantie wird vom Hersteller angegeben und ist für die einzelnen Vitamine unterschiedlich.

4.3.2 Vitaminvormischungen

Wenn der Trägerstoff nur einen geringen Wassergehalt hat (max. 8 %), ist mit keinen bzw. nur sehr geringen Vitaminverlusten innerhalb der häufig gegebenen sechsmonatigen Stabilitätsgarantie zu rechnen. Vitaminvormischungen sollten aus Stabilitätsgründen kein Cholinchlorid enthalten.

4.3.3 Prämixe und Mineralfutter

Als Prämixe werden im allgemeinen Vormischungen bezeichnet, die aus Vitaminen und Spurenelementen bestehen.

Darüber hinaus können noch weitere Futterzusatzstoffe enthalten sein, außerdem auch Mineralstoffe und Aminosäuren. Die Dosierung im Futter beträgt 0,2 - 1 %, manchmal auch mehr.

Mineralfutter sind Ergänzungsfuttermittel, die überwiegend aus mineralischen Einzelfuttermitteln bestehen und mit 2 - 5 % dem Futter zugemischt werden. In der Regel enthalten sie alle mineralischen Mengenelemente, Spurenelemente, Vitamine und teilweise auch andere Zusatzstoffe, die für eine ausgeglichene Ration notwendig sind. Rinder erhalten Tagesgaben von bis zu 200 g zum Grund- und Ausgleichsfutter.

Vitaminverluste werden hauptsächlich durch die Lagerungsdauer und die Zusammensetzung der Mischungen bestimmt. Prinzipiell kann davon ausgegangen werden, dass in Prämixen mit einer niedrigen Einmischrate ins Futter Vitaminverluste bedeutsamer sind, weil die Spurenelemente (katalytische Wirkung) in einer höheren Konzentration vorliegen.

Die Angaben zur Vitaminstabilität im Mineralfutter in Tabelle 11 können auch für 0,5 bis 1 %ige Prämixe zugrundegelegt werden, sofern diese kein Cholinchlorid enthalten.

Alle Vitamine haben einen pH-Bereich, in dem sie am stabilsten sind. Für die meisten Vitamine liegt der optimale pH-Wert in der Nähe des Neutralbereichs

(pH 6-8), für die Vitamine B₁ und B₆ mehr im sauren Bereich (pH 3-5). Letzteres mag mit ein Grund dafür sein, dass in Mischungen mit einem höheren pH-Wert Vitamin B₁ und Vitamin B₆ einem etwas stärkeren Abbau unterliegen.

Für Vitamin E ist in stark alkalischen Mischungen mit erhöhten Verlusten zu rechnen. Dies ist insbesondere in Mineralfuttern mit einem hohen Anteil an Magnesiumoxid der Fall, da Magnesiumoxid selbst einen pH-Wert von etwa 11 hat. In Mischungen mit mehr als 8-10 % MgO wird deshalb empfohlen, anstelle von Vitamin E-Adsorbat das in solchen Fällen stabilere, gesprühte (gecoatete) Vitamin E-Produkt einzusetzen.

Cholinchlorid ist eine hygroskopische Substanz und wirkt sich insbesondere bei höheren Anteilen (über 5 %) auf die Stabilität einiger Vitamine nachteilig aus, hierzu zählen insbesondere Vitamin K₃, B₁, B₆, C und Folsäure. Bei solchen Prämixen sollte auf eine nicht zu lange Lagerungszeit (etwa 4 Wochen) geachtet werden.

4.3.4 Mischfutter

Im mehligem Mischfutter sind für die meisten Vitamine nur geringe Verluste von bis zu 5 % nach einer zweimonatigen Lagerungsdauer festzustellen, für Vitamin K₃ (MSB) betragen diese

	Vitamin-Wiederfindung in % nach einer Lagerungsdauer von	
	2 Monaten	4 Monaten
Vitamin A (crosslinked)	95	90
Vitamin A (nicht crosslinked)	60	35
Vitamin D ₃	95	90
Vitamin E*	90	85
Vitamin K ₃ (MSB)	40	30
Vitamin K ₃ (MNB**)	80	70
Vitamin B ₁ ***	80	70
Vitamin B ₂	85	80
Vitamin B ₆	80	75
Vitamin B ₁₂	85	80
Biotin	90	85
Folsäure	80	75
Niacin	95	95
Ca-D-Pantothenat	95	95
Vitamin C gecoatet****	60	30
Vitamin C-Phosphat	95	95

Tabelle 11:

Stabilität von Vitaminen im Mineralfutter (Durchschnittswerte)

* als Vitamin E-Adsorbat

** Vitamin K₃ (MPB) hat eine etwas geringere Stabilität

*** als Vitamin B₁-Monohydrat, Vitamin B₁-Hydrochlorid ist weniger stabil

**** es gibt unterschiedlich stabile Handelsprodukte

allerdings ca. 20 % und für kristallines Vitamin C ca. 40 %.

Bei pelletierten, expandierten und extrudierten Mischfuttern können die Verluste in Abhängigkeit von der Temperatur und der Behandlungszeit deutlich höher sein. Die Wiederfindungsraten (Retention) bei verschiedenen Verfahren sind aus den nachstehenden Tabellen 12 bis 13 ersichtlich.

Tabelle 12:
Stabilität von Vitaminen im pelletierten Mischfutter

	Vitamin-Wiederfindung in % nach einer Lagerungsdauer von 2 Monaten
Vitamin A (crosslinked)	90
Vitamin A (nicht crosslinked)	65
Vitamin D ₃	90
Vitamin E	95
Vitamin K ₃ (MSB)	50
Vitamin K ₃ (MNB)	75
Vitamin B ₁	90
Vitamin B ₂	95
Vitamin B ₆	85
Vitamin B ₁₂	80
Biotin	95
Folsäure	80
Niacin	95
Ca-D-Pantothemat	95
Vitamin C (kristallin)	30
Vitamin C-Phosphat	95

Tabelle 13:
Stabilität von Vitaminen nach dem Expandieren

	Vitamin-Wiederfindung in % nach einer Lagerungsdauer von 2 Monaten
Vitamin A (crosslinked)	85
Vitamin A (nicht crosslinked)	30
Vitamin D ₃	90
Vitamin E	90
Vitamin K ₃ (MSB)	20
Vitamin B ₁	90
Vitamin B ₂	95
Vitamin B ₆	95
Vitamin B ₁₂	90
Biotin	95
Folsäure	80
Niacin	95
Ca-D-Pantothemat	90
Vitamin C (kristallin)	15
Vitamin C-Phosphat	95

Vitamin-Wiederfindung in %			
	nach dem Extrudieren	nach 1 Monat	nach 3 Monaten
Vitamin A (crosslinked)	95	90	80
Vitamin A (nicht crosslinked)	85	50	25
Vitamin D ₃	95	90	85
Vitamin E	95	90	80
Vitamin K ₃	25	20	20
Vitamin B ₁	95	90	85
Vitamin B ₂	95	90	90
Vitamin B ₆	95	90	85
Vitamin B ₁₂	80	80	80
Biotin	100	95	95
Folsäure	95	90	85
Niacin	100	95	95
Ca-D-Pantothenat	100	95	95
Vitamin C (kristallin)	10	5	0
Vitamin C-Phosphat	95	90	90

Tabelle 14:

Stabilität von Vitaminen nach dem Extrudieren (Durchschnittswerte)

4.4 Unterschiedliche Produktformen und Stabilisierungsmaßnahmen

Von einigen Vitaminen werden unterschiedliche Produktformen angeboten, die sich in Abhängigkeit von der Mischung und dem Behandlungsverfahren im Stabilitätsverhalten deutlich unterscheiden können. Bei der Extrusion treten für Vitamin C kristallin (reines Vitamin C) Verluste von 90-100 % auf, während Vitamin C-Phosphate so gut wie keine Verluste erleiden. Es ist also wichtig, auf die geeignete Produktform zu achten.

Ebenso bedeutsam ist es, bei stabilisierten Produkten auf das »Know-how« bei den Stabilisierungsmaßnahmen zu achten. So gibt es zum Beispiel bei Vitamin A-Produkten deutliche Stabilitätsunterschiede. Einige Produkte werden im Anschluss an den Sprühformulierungsprozess zusätzlich »vernetzt« (crosslinked) und sind dadurch wasserunlöslich. Hierdurch ist eine deutliche Stabilitätsverbesserung gegenüber »unvernetzten« Produkten zu verzeichnen, sowohl in Prämixen und Mineralfuttern als auch in Mischfuttermitteln. Den Ta-

bellens 11 bis 14 sind die entsprechenden Angaben über Stabilitätsunterschiede zwischen crosslinked und nicht crosslinked Produkten zu entnehmen.

4.5 Probenahme und Analytik

Zur Bestimmung der aktuellen Vitamingehalte in Vitaminpräparaten, Vormischungen, Mineral- und Mischfuttern sind folgende Arbeitsschritte erforderlich:

- Musternahme aus der zu untersuchenden Partie
- Aufbereitung von Teilproben zur Analyse
- Instrumentelle Bestimmung der Vitamingehalte in den aufbereiteten Proben

Für die Probenahme ist in Deutschland die »Futtermittel-Probenahme- und Analysenverordnung« verbindlich. Die Vorschriften sind im Anhang zum geltenden Futtermittelrecht enthalten, so dass in den nachstehenden Ausführungen nur einige grundlegende Sachverhalte erläutert werden.

4.5.1 Probenahme

Da es nicht möglich ist, die Gesamtmenge einer Partie zu untersuchen, müssen Muster zur Analyse gezogen werden. Sachgemäßes Vorgehen ist bei der Probenahme erforderlich. Dies umfasst:

- Einsatz von Probestechern wie sie z. B. für Getreideprobenahmen eingesetzt werden, um repräsentative Muster zu erhalten.
- Probenahme aus der gesamten Partie. Das heißt: Probenahme an verschiedenen Stellen im Behälter oder Probenahme aus mehreren Säcken, falls die Probenahme bei gesackter Ware erfolgen soll (aus dem ersten und letzten Sack einer Partie keine Muster entnehmen).
- Entnahme einer ausreichenden Anzahl von Proben. Um die Durchschnittsgehalte an Vitaminen in einer Mischung genau und repräsentativ aufzeigen zu können, sind nach der amtlichen Probenahmenvorschrift Einzelproben zu ziehen (siehe Tabelle »Einzelproben«).

Einzelproben		Mindestzahl der Proben
Säcke	bis 4	1 pro Sack
	5-16	4
	>16	$\sqrt{\text{Anzahl der Säcke, max. 20}}$
lose	bis 2,5 t	7
	>2,5 t	$\sqrt{\text{Tonnen} \times 20, \text{ max. } 40}$

Die Einzelproben werden anschließend zu einer Sammelprobe vereinigt. Für eine amtliche Untersuchung werden durch einen Probenteiler dann 3 Endproben hergestellt.

- Entnahme ausreichend großer Proben. Für die Vitaminbestimmung sind Muster von 200–500 g erforderlich, je nach Beschaffenheit der Mischung. Bei grobstrukturierten Mischungen ist aufgrund einer sachgerechten Probenteilung die größere Menge erforderlich. Für die Untersuchung von Vitaminpräparaten sind 50 g Proben ausreichend. Auf eine zweifelsfreie Kennzeichnung der Muster muss geachtet werden.

Selbst wenn die Muster sorgfältig aus dem Prämix gezogen werden, treten unvermeidlich Fehler oder Ungenauigkeiten im System auf. Wenn die Probenahme korrekt und sorgfältig durchgeführt wurde, wird aber das Ausmaß solcher durch die Musternahme verursachter zusätzlicher Fehler minimiert.

4.5.2 Aufbereitung der Muster und instrumentelle Analytik

Durch moderne Laborausrüstungen wie den Hochdruck-Flüssigkeitschromatographen (HPLC) und den Gas-Chromatographen (GC) hat die Vitaminanalytik durch eine verbesserte Genauigkeit erheblich an Bedeutung gewonnen. Die hohe Präzision dieser Geräte kann die meisten Vitamine bis in den ppm-Bereich bestimmen. Eventuelle Fehler, die durch das Messinstrument eingebracht werden, können beinahe vernachlässigt werden.

Die Analysen der Muster sollten durch ein Laboratorium erfolgen, das die Verfahren zur Vitaminanalyse genau kennt. Die angewendeten Analyseverfahren müssen für das jeweilige Vitamin geeignet und auf die in der Mischung erwartete Konzentration abgestimmt sein.

4.5.3 Toleranzen

Für die mit der Verarbeitung von Vitaminen unvermeidlichen technischen Streuungen (Arbeitsgenauigkeit), die sich in einer gewissen Inhomogenität oder in prozessbedingten Aktivitätsverlusten niederschlagen können, sowie für die Unsicherheiten in der Probenahme gibt es im deutschen Futtermittelrecht spezielle Toleranzen. Diese werden auch als technische Latitüde bezeichnet und geben an, um wie viel

die ermittelten Gehalte von den deklarierten Werten maximal abweichen dürfen, um noch als richtig anerkannt werden zu können. Nach § 19 der Futtermittelverordnung sind folgende Toleranzen zu berücksichtigen:

1. bis 0,5 Einheiten um 40 v. H.
2. über 0,5 bis 1,0 Einheiten um 0,2 Einheiten
3. über 1,0 bis 50 Einheiten um 20 v. H.
4. über 50 bis 100 Einheiten um 10 Einheiten
5. über 100 bis 500 Einheiten um 10 v. H.
6. über 500 bis 1000 Einheiten um 50 Einheiten
7. über 1000 Einheiten um 5 v. H.

1 Einheit = 1 mg, 1.000 mcg, 1.000 IE

4.5.4 Analysenspielräume

Die Bestimmung der Vitamingehalte ist am genauesten in Reinsubstanzen und Vitaminpräparaten durchzuführen. Mit abnehmender Vitaminkonzentration und durch den störenden Einfluss von Futterbestandteilen wird die Bestimmung schwieriger und weniger genau, was in einem größeren Analysenspielraum zum Ausdruck kommt.

Die nachstehend wiedergegebenen Analysenspielräume (=Vergleichbarkeiten zwischen verschiedenen Anstalten bzw. Untersuchern) für die Vitamine A, D₃, E

und β -Carotin basieren auf amtlich verabschiedeten oder vorläufigen amtlichen Methoden des VDLUFA, die durch Ringuntersuchungen ermittelt wurden. Für die anderen Vitamine existieren solche Analysenspielräume noch nicht.

In Vormischungen (Prämixen) und Mineralfuttern, in denen höhere Vitaminkonzentrationen vorliegen, werden für die Vitaminanalysen heute überwiegend HPLC-Methoden angewendet. Bei allen in Tabelle 15 nicht aufgeführten Vitaminen ist von einem Analysenspielraum von mindestens $\pm 10\%$ auszugehen. In Mischfuttermitteln wird die Analyse der wasserlöslichen Vitamine u.a. aufgrund der geringen Gehalte mittels mikrobiologischer Methoden durchgeführt (außer für Vitamin C). Prinzipiell können diese Methoden auch für Vormischungen und Mineralfutter verwendet werden. Analysenspielräume für mikrobiologische Methoden wurden bisher noch nicht festgelegt. In Abhängigkeit von der Wirkstoffkonzentration dürften sie zwischen 10 und 40 % liegen, wobei der größere Analysenspielraum für niedrige Gehalte wie in Mischfuttermitteln gilt.

Berechnungsbeispiel

In einem Mineralfutter wird ein Vitamin A-Gehalt von 800.000 IE/kg deklariert. Die Analyse ergibt einen Gehalt von nur 720.000 IE/kg. Liegt ein Beanstandungsgrund vor?

Vitamin	Bereich		Analysenspielraum*
A	2.000 bis	4.000 IE/kg	± 1.000 IE/kg
	> 4.000 bis	100.000 IE/kg	± 25 %
	> 100.000 bis	125.000 IE/kg	± 25.000 IE/kg
	> 125.000 bis	375.000 IE/kg	± 20 %
	> 375.000 bis	600.000 IE/kg	± 75.000 IE/kg
	> 600.000 bis	800.000 IE/kg	± 12,5 %
	> 800.000 bis	1.000.000 IE/kg	± 100.000 IE/kg
	> 1.000.000 IE/kg		± 10 %
	β-Carotin		± 15 %
	D	1.000 bis	3.000 IE/kg
3.000 bis		6.000 IE/kg	± 1.500 IE/kg
6.000 bis		40.000 IE/kg	± 25 %
40.000 bis		100.000 IE/kg	± 10.000 IE/kg
100.000 IE/kg			± 10 %
E	25 mg/kg		± 40 %
	25 bis	50 mg/kg	± 10 mg/kg
	50 bis	150 mg/kg	± 20 %
	150 bis	200 mg/kg	± 30 mg/kg
	200 bis	500 mg/kg	± 15 %
	500 bis	750 mg/kg	± 75 mg/kg
	>750 mg/kg		± 10 %

Tabelle 15:
Analysenspielräume (Vergleichbarkeiten) bei der Bestimmung von Vitaminen in Futtermitteln und Vormischungen

* jeweils bezogen auf den analytisch ermittelten Gehalt

Die Toleranz beträgt in diesem Fall 50.000 IE (Nr. 6 unter Toleranzen). Das heißt, der gefundene Wert muss mindestens 750.000 IE/kg betragen. Auf den analysierten Gehalt von 720.000 IE ist ein Analysenspielraum von ±12,5 % (= 90.000 IE) anzurechnen; das heißt, dass der »wahre« Wert im Bereich von 630.000 IE bis 810.000 IE/kg liegen sollte.

Der analysierte Wert von 720.000 IE liegt in dem vorgegebenen Bereich. Somit wird die Deklaration erfüllt.

4.6 Synonyma

4.6.1 Wissenschaftliche Bezeichnungen

Neben den allgemein üblichen Bezeichnungen gibt es für die meisten Vitamine auch einen wissenschaftlichen Namen, der häufig in der Literatur verwendet wird. Für nicht in der Aufstellung enthaltene Namen ist die Bezeichnung gleich.

Tabelle 16
Übersicht

- Vitamin A - Retinol
- Vitamin D₃ - Cholecalciferol
- Vitamin E - Tocopherole
- Vitamin K₃ - Menadion
- Vitamin B₁ - Thiamin
- Vitamin B₂ - Riboflavin
- Vitamin B₆ - Pyridoxin
- Vitamin B₁₂ - Cobalamine
- Vitamin C - Ascorbinsäure

4.6.2 Nicht mehr gebräuchliche Vitamin-Bezeichnungen

Die in dieser Broschüre bislang aufgeführten Bezeichnungen für die Vitamine sind die heute üblichen. Daneben gibt es noch eine Vielzahl von veralteten Namen, die nur noch selten gebraucht werden.

Da bei diesen Bezeichnungen oft nicht zweifelsfrei ist, welches Vitamin gemeint ist, sollte von ihrer Verwendung abgesehen werden.

Die nachstehende Übersicht wurde weitgehend dem Vitamin-Lexikon von Bässler et al. (1997) entnommen.

Tabelle 16
Übersicht

Veraltete Nomenklatur	Zugrundeliegender Wirkstoff
Antiinfektiöses Vitamin	Vitamin A
Antixerophthalmisches Vitamin	Vitamin A
Antirachitisches Vitamin	Vitamin D
Antisterilitätsvitamin	Vitamin E
Antihämorrhagisches Vitamin	Vitamin K
Aneurin	Vitamin B ₁
Antiberiberi Vitamin	Vitamin B ₁
Antidermatitisfaktor	Vitamin B ₆
Antiperniziosafaktor	Vitamin B ₁₂
Antianämisches Vitamin	Vitamin B ₁₂
Antiseborrhoisches Vitamin	Biotin
Antiskorbutisches Vitamin	Vitamin C

Veraltete Nomenklatur	Zugrundeliegender Wirkstoff
Epithelschutzvitamin	Vitamin A
Extrinsic Factor	Vitamin B ₁₂
Filtratfaktor	Pantothensäure
Fruchtbarkeitsvitamin	Vitamin E
Koagulationsvitamin	Vitamin K
Küken-Antidermatitisfaktor	Pantothensäure
Lactoflavin	Vitamin B ₂
Lactobacillus casei-Faktor	Folsäure
Pteroyl-Glutaminsäure	Folsäure
Wachstumsvitamin	Vitamin A
Vitamin A ₂	Dehydroretinol
Vitamin B ₃	Niacin und Pantothensäure
Vitamin B ₄	Mischung von Arginin, Glycin und Cystin
Vitamin B ₅	Niacin und Pantothensäure
Vitamin B ₉	Folsäure
Vitamin B ₁₃	Orotsäure
Vitamin B ₁₄	stickstoffhaltiges Substanzgemisch aus humanem Harn
Vitamin B ₁₅	Pangamsäure
Vitamin B _c	Folsäure
Vitamin B _p	Antiperosis-Faktor bei Hühnern, kann ersetzt werden durch Mangan und Cholin
Vitamin B _T	Carnitin
Vitamin B _w	wahrscheinlich identisch mit Biotin
Vitamin F	essentielle Fettsäuren
Vitamin G	Vitamin B ₂
Vitamin H	Biotin
Vitamin L	Vitamin L ₁ und L ₂ : Faktoren in Hefe, essentiell zur Milchbildung
Vitamin M	Folsäure
Vitamin P (Permeabilitätsvitamin)	Bioflavonoide

Tabelle 16
(Fortsetzung)
Übersicht

Nach geltendem EU-Futtermittelrecht gehören die Vitamine zu den Zusatzstoffen. Geregelt sind im Anhang der EU-Zusatzstoffrichtlinie (Dir. 70/524/EG, Kapitel H) allerdings nur die Höchstgehalte von Vitamin A und D im Alleinfutter. Eine der deutschen Futtermittelverordnung (FMV) entsprechende Positivliste der zugelassenen Vitamine und deren Formen gibt es auf EU-Ebene bisher noch nicht. Für die Abgabe, die Verarbeitung, die Kennzeichnung und die Anwendung von Vitaminen gelten besondere Vorschriften:

5.1 Abgabe

Nach deutschem Recht (Stand März 1999) unterliegen Vitamine mit Ausnahme von Vitamin A und D nicht mehr der Vormischungspflicht; d.h. sie dürfen auch direkt ins Futter gemischt bzw. direkt an den Tierhalter abgegeben werden. Für die Vitamine A und D gilt, dass sie an

- anerkannte Hersteller,
- anerkannte Händler von Zusatzstoffen,
- registrierte Hersteller von Mischfutter für Heimtiere sowie
- registrierte Hersteller von Mischfutter, die eine besondere Genehmigung nach § 31a Abs. 1 haben,

abgegeben werden dürfen.

5.2 Verarbeitung

Die Vitamine A und D dürfen Mischfuttermitteln nur in Form von Vormischungen mit Trägerstoffen zugesetzt werden, die einen Anteil der Vormischung von 0,2 % in der Gesamtmasse des Mischfuttermittels nicht unterschreiten. Abweichend hiervon dürfen die Vitamine A und D dem Mischfutter direkt zugesetzt werden, wenn es sich um Futter für Heimtiere handelt und der Herstellerbetrieb nach § 31 Abs. 1 registriert ist. Für alle anderen Mischfuttermittel muss eine besondere Genehmigung nach § 31a Abs. 1 vorliegen.

Weiterhin darf abweichend von der Regel der Anteil der Vormischungen bis zu einem Anteil von 0,05 % der Gesamtmasse des Mischfutters vermindert werden, soweit die Zusammensetzung der Vormischung es erlaubt und der Hersteller eine besondere Genehmigung nach § 31a Abs. 2 besitzt.

5.3 Kennzeichnung

Die Kennzeichnung von Vitaminen ist in § 21 FMV geregelt. Neben der Bezeichnung ist vor allem der Gehalt an wirksamer Substanz, bei Vitamin E ausgedrückt in Äquivalenten von α -Tocopherolacetat, und der Endtermin der Garantie des Gehaltes oder die Haltbarkeitsdauer vom Herstellungsdatum an von Bedeutung. Die Angabe der Anerkennungs-Kennnummer oder der Registrierungs-Kennnummer des Herstellerbetriebes ist ab 01.04.2001 Pflicht.

5.4 Anwendung

Für die Vitamine A und D bestehen Höchstgehalte im Alleinfutter (bezogen auf die Gesamtration). In Vormischungen und Ergänzungsfuttern, die nur einen Teil der Gesamtration darstellen, sind diese Werte auf der Basis eines Alleinfutters mit 88 % Trockensubstanz entsprechend zu berücksichtigen.

6. Umrechnungsfaktoren

Tabelle 17 Vitamine liegen in vielen verschiedenen Verbindungen mit unterschiedlichen Gehalten an aktiver Substanz vor. Tabelle 17 informiert über die international üblichen Umrechnungsfaktoren der verschiedenen Vitaminverbindungen bezogen auf die Masseinheit der aktiven Substanz.

Vitamin (aktive Substanz)	Mass- einheit	Umrechnungsfaktoren (Vitaminverbindung zu aktiver Substanz)
A (Retinol)	IE	0,3 µg Vitamin A-Alkohol (Retinol) = 1 IE
		0,344 µg Vitamin A-Acetat = 1 IE
		0,359 µg Vitamin A-Propionat = 1 IE
		0,55 µg Vitamin A-Palmitat = 1 IE
D ₃ (Cholecalciferol)	IE	0,025µg Vitamin D ₃ = 1 IE
E (Tocopherol)	mg	1 mg dl-α-Tocopherylacetat = 1,00 IE
		Bioäquivalenz verschiedener Tocopherole
		1 mg d-α-Tocopherol = 1,49 IE
		1 mg dl-α-Tocopherol = 1,10 IE
		1 mg dl-α-Tocopherylacetat = 1,00 IE
		1 mg d-β-Tocopherol = 0,33 IE
		1 mg d-δ-Tocopherol = 0,25 IE
1 mg d-γ-Tocopherol = 0,01 IE		
K ₃ (Menadion)	mg	1 mg Menadionsodiumbisulfit (MSB) = 0,51 mg Menadion
		1 mg Menadionpyrimidinolbisulfit (MPB) = 0,45 mg Menadion
		1 mg Menadionnicotinamidbisulfit (MNB) = 0,46 mg Menadion
B ₁ (Thiamin)	mg	1 mg Thiamin-Mononitrat = 0,92 mg Thiamin
		1 mg Thiamin-Hydrochlorid = 0,89 mg Thiamin
B ₆ (Pyridoxin)	mg	1 mg Pyridoxin-Hydrochlorid = 0,82 mg Pyridoxin
Niacin	mg	1 mg Nicotinsäure = 1 mg Niacin
		1 mg Nicotinsäureamid = 1 mg Niacin
D-Pantothensäure	mg	1 mg Ca-D-Pantothenat = 0,92 mg Pantothensäure
		1 mg Ca-DL-Pantothenat = 0,41-0,52 mg Pantothensäure
Cholin (Cholin)	mg	1 mg Cholinchlorid (von Basis Cholinilol) = 0,75 mg Cholin
		1 mg Cholinchlorid (von Basis Cholin-Hydroxyanalog) = 0,87 mg Cholin

Abbildungen:

1. Gehalte an β -Carotin je kg Trockenmasse in pflanzlichen Futtermitteln 11
2. Vitaminversorgung = Optimalbedarf (+ Zusatzeffekte). 36
3. Beispiel für die Optimalversorgung mit Vitamin E beim Schwein in der Endmast zur Verbesserung der Fleischqualität bei 4 % Fettzulage im Futter 36
4. Wirtschaftlichkeit der Vitaminergänzung in einem Schweinemastversuch bei unterschiedlichen Belastungen der Tiere 39
5. Technische Verfahren zur Gewinnung von Vitaminen 53

Tabellen:

1. Zeitpunkte von erstem Nachweis, Strukturaufklärung und erster Synthese der Vitamine 8
2. Hauptfunktionen der fettlöslichen Vitamine. 9
3. Tierartspezifisches Umwandlungsverhältnis von β -Carotin zu Vitamin A. 10
4. Die wichtigsten Coenzyme der wasserlöslichen Vitamine und deren Hauptfunktion im Stoffwechsel 18
5. Vitamine und ihre Wirkungen 35
6. Vitaminergänzung je kg Futter in der Schweinemast (50-100 kg) 38
7. Belastungsfaktoren in einem Schweinemastversuch 38
8. Durchschnittliche Richtwerte zum Vitamingehalt einiger Futtermittel 41-43
9. AWT-Empfehlungen für Vitamin-Zusätze je kg Alleinfutter
 - 1) Geflügel 45-46
 - 2) Schweine 47
 - 3) Wiederkäuer und Pferde 48-49
 - 4) Heimtiere und Fische 50
10. Anforderungen an Vitaminprodukte für die Futtermittelindustrie 54
11. Stabilität von Vitaminen im Mineralfutter (Durchschnittswerte) 65
12. Stabilität von Vitaminen im pelletierten Mischfutter 66

13.	Stabilität von Vitaminen nach dem Expandieren	66
14.	Stabilität von Vitaminen nachdem Extrudieren (Durchschnittswerte).	67
15.	Analysenspielräume (Vergleichbarkeiten) bei der Bestimmung von Vitaminen in Futtermitteln und Vormischungen	71
16.	Übersicht.	72-73
17.	Aktive Vitaminsubstanz in verschiedenen Verbindungen	76



In der AWT-Schriftenreihe ebenfalls erschienen:

Enzyme in der Tierernährung
Aminosäuren in der Tierernährung
Amino Acids in Animal Nutrition
Probiotika in der Tierernährung
Vitamins in animal nutrition

Weitere Titel in Vorbereitung
Bitte fordern Sie unser kostenloses
Gesamtverzeichnis an.

ISBN 3-86037-155-X
www.agrimedia.com

AGRIMEDIA