

Verlauf von Vitamin-B₆-Gehalten wachsender Ratten bei Vitamin-B₆-freier Ernährung

Dora A. Roth-Maier und M. Kirchgeßner

Institut für Ernährungsphysiologie der Technischen Universität
München, Freising-Weihenstephan

Zusammenfassung: In vorliegender Untersuchung sollte für Vitamin B₆ an wachsenden Ratten zunächst in einem ersten Teil geprüft werden, wie sich bei steigender alimentärer Zufuhr die Verwertung für dieses Vitamin verhält. Im zweiten Teil sollte untersucht werden, wie Ratten, die ursprünglich mit dem 4fachen Vitamin-B₆-Bedarf versorgt wurden, auf eine Nullzufuhr reagieren. Die Versuchstiere waren männliche Sprague-Dawley-Ratten. Als Untersuchungskriterien dienten neben der Feststellung der Zunahmen und des Futterverbrauchs die Vitamin-B₆-Konzentrationen in Blut, Leber und Gesamtkörper. Dazu wurden für die Ermittlung des Ausgangsniveaus bei Versuchsbeginn 9 Tiere untersucht. 54 Tiere, die in 6 Gruppen eingeteilt waren, erhielten 3 Wochen lang eine Vitamin-B₆-freie halbsynthetische Diät, die mit 0, 1,5, 3, 6, 12 und 24 mg Vitamin B₆ je kg Futter angereichert war. Für den zweiten Versuchsteil erhielten weitere 54 Tiere 21 Tage lang 24 mg Vitamin B₆ je kg Futter und wurden dann sofort auf die Vitamin-B₆-freie Grunddiät umgestellt. Nach 2, 5, 8, 12, 16, 20, 25, 30 und 35 Depletionstagen wurden jeweils 6 Tiere getötet.

Die Verwertung von alimentärem Vitamin B₆ nahm mit steigender Zufuhr ab, in vorliegendem Dosierungsbereich von 38 % bei 1,5 mg Vitamin B₆ je kg Futter auf 4 % bei 24 mg Vitamin B₆ je kg Futter. Bei Vitamin-B₆-freier Ernährung nahmen die Tiere weiter zu (von 145 auf 300 g Lebendmasse), der tägliche Futterverbrauch stieg von 14 auf 19 g an, hingegen verschlechterte sich die Futterverwertung von 2,2 auf 4,3 g Futter je g Zunahme. Die Konzentration an Vitamin B₆ in den Geweben verhielt sich unterschiedlich. Im Blut konnte nach 5 Tagen Depletion kein Vitamin B₆ mehr nachgewiesen werden. In der Leber und im Gesamtkörper ging die Vitamin-B₆-Konzentration in den ersten Tagen deutlich zurück und blieb dann in der Leber nach 5 Tagen, im gesamten Körper nach 8 Tagen bis zum Versuchsende konstant auf einem Niveau von etwa 50 % der Ausgangskonzentration. Der Gesamtbestand an Vitamin B₆ in der Leber ging innerhalb von 5 Tagen signifikant von 63 µg auf 40 µg zurück und blieb dann auf gleichem Niveau, dagegen war der mittlere Vitamin-B₆-Gehalt des gesamten Körpers von 245 µg durch die Vitamin-B₆-freie Ernährung nicht wesentlich beeinflusst.

Aus diesen Ergebnissen läßt sich schlußfolgern, daß bei Ratten mit Vitamin-B₆-freier Ernährung nach etwa 10 Tagen bis zu etwa 35 Tagen für die hier untersuchten Kriterien ein Gleichgewichtszustand aufrechterhalten wird.

Summary: This experiment was designed in two parts. In the first part the vitamin B₆ efficiency in response to increasing dietary vitamin B₆ intakes was tested in growing rats; in the second part the reaction of rats, originally supplied with the fourfold requirement and then switched on the vitamin-B₆-free basal diet was examined. The experimental animals were male Sprague-Dawley rats, of which weight gains, feed intake, and vitamin-B₆-concentrations in blood, liver and whole carcass were measured. At the beginning of the trial nine animals were analyzed; 54

additional animals, divided into six groups, were given a vitamin-B₆-free semisynthetic diet for three weeks which was supplemented with 0, 1.5, 3, 6, 12, and 24 mg vitamin B₆ per kg feed. For the second part the additional 54 animals were given a diet with 24 mg vitamin B₆ for three weeks and then switched to the vitamin-B₆-free basal diet. Six animals per group were sacrificed after 2, 5, 8, 12, 16, 20, 25, 30, and 35 days of depletion.

Efficiency of dietary vitamin B₆ decreased from 38 % at 1.5 mg vitamin B₆ per kg diet to 4 % at the 24 mg dietary level. Also, without dietary vitamin B₆ the animals gained weight (from 145 to 300 g live weight), the daily feed intake increased from 14 to 19 g and feed efficiency decreased from 2.2 to 4.3 g feed per g gain. Vitamin B₆ concentration in tissues reacted differently. In blood after five days depletion no vitamin B₆ could be detected; in liver and whole carcass vitamin B₆ concentration decreased significantly in the first days and remained then at a level of 50 % of the starting concentration in the liver after five days and in the carcass after eight days of depletion. Whole liver vitamin B₆ content decreased significantly in the first five days from 60 to 43 µg and then remained constantly, whereas whole carcass content of 245 µg was not influenced significantly.

It is concluded that in rats with a vitamin-B₆-free diet from day 10 to day 35, on the average a homeostatic level is maintained for the various vitamin B₆ contents.

Schlüsselwörter: Verwertung; Depletion; Versorgungsstatus; Leber; Gesamtkörper

Key words: Efficiency, depletion; supply status; liver; whole carcass

Einleitung

In früheren Untersuchungen am Modelltier Ratte konnte gezeigt werden, daß als Beispiel für die B-Vitamine das Vitamin B₆ beim wachsenden Tier (8), beim nahezu ausgewachsenen nichtgraviden Tier und bei Tieren im Stadium der Reproduktion im maternalen Gewebe sowie im Reproduktionsprodukt bei steigender Zufuhr einer homöostatischen Regulation unterliegt (3, 5). In den einzelnen Organen und im Ganzkörper stellt sich somit bei steigender Zufuhr im Gehalt an Vitamin B₆ ein Plateau ein. Für die Vitamine des B-Komplexes wird aber andererseits allgemein für Monogastriden eine tägliche Zufuhr gefordert. Da andererseits hinsichtlich Vitamin B₆ bei Frauen gehäuft Mangelzustände beobachtet werden, sollte in vorliegender Untersuchung geprüft werden, wie ursprünglich maximal mit Vitamin B₆ versorgte Ratten auf eine Nullzufuhr hinsichtlich der Ausbildung klinischer Mangelsymptome sowie verschiedener Leistungsparameter und Vitamin-B₆-Gehalte in verschiedenen Organen reagieren. Zusätzlich sollte auch überprüft werden, wie sich beim wachsenden Tier die Verwertung bei steigender alimentärer Vitamin-B₆-Zufuhr verhält.

Material und Methoden

117 männliche entwöhnte Ratten mit einem Anfangsgewicht von etwa 30 g wurden in Dreiergruppen in Käfigen mit zwei übereinanderliegenden, insgesamt 3 cm hohen Plexiglaslaufrosten ohne Einstreu gehalten. Die Käfige wurden täglich gewaschen. Koprophagie konnte dadurch allerdings nicht völlig ausgeschaltet werden, da die Tiere aufgrund der freien Beweglichkeit teilweise den Kot aus dem

Anus entnehmen. Der Versuchsstall war vollklimatisiert mit einer Temperatur von 26–18 °C und 60 % relativer Luftfeuchte. Trinkwasser stand ad libitum aus Nippeltränken zur Verfügung.

Es wurde eine teilgereinigte, halbsynthetische Caseindiät verfüttert, die sich im wesentlichen aus 25 % Casein, 30 % Stärke, 27 % Saccharose, 9 % Kokosfett und 3 % Cellulose zusammensetzte. Sie war gut vitaminisiert (ohne Vitamin B₆) und mit Mineralstoffen und Spurenelementen optimal ergänzt. Nähere Einzelheiten hierzu siehe Roth-Maier und Kirchgeßner (1981, 8). Diese Diät enthielt 93 % Trockensubstanz, 24,7 % Rohprotein und 19,1 MJ Bruttoenergie je kg. Durch die zusätzliche Reinigung des Caseins war dieses Futter praktisch Vitamin-B₆-frei. Es wurde jeweils ad libitum vorgelegt und verbleibende Futterreste zurückgewogen.

Zu Beginn des Versuchs wurden 9 Tiere getötet und die Vitamin-B₆-Konzentration in Blut, Leber und Restkörper untersucht. Für die ersten drei Versuchswochen wurde das Futter mit 0, 1,5, 3,0, 6,0, 12,0 und 24 mg Vitamin B₆ je kg supplementiert (Gruppen 1–6 mit jeweils 9 Tieren). Nach 21 Tagen wurden weitere 54 Tiere, die 24 mg Vitamin B₆ je kg Futter erhalten hatten, depletiert, indem nur noch die Vitamin-B₆-freie Diät gefüttert wurde. Nach 2, 5, 8, 12, 16, 20, 25, 30 und 35 Tagen wurden davon jeweils 6 Tiere unter Äthernarkose dekapiert (Gruppen II–X), nachdem die Diät 12 Stunden zuvor entzogen worden war. Die Tiere wurden bei jedem Schlachtermin einzeln gewogen sowie der Futterverbrauch und die Futterverwertung festgestellt. Nach Beendigung der Versuche wurde der Vitamin-B₆-Gehalt von Blut, Leber und Restkörper bestimmt. Das Blut wurde hierzu aufgefangen und die Lebern entnommen. Der Verdauungstrakt wurde wegen vorhandener Futterreste sowie auch die Blase verworfen und der verbliebene Restkörper zur Analyse verwendet. Die Proben wurden bis zur Analyse bei –20 °C tiefgefroren. Die Rattenrestkörper wurden vor der Einwaage zur Analyse homogenisiert. Der Vitamin-B₆-Gehalt in den Gesamtkörpern wurde aus der Summe des Gehaltes in Blut, Leber und Restkörper errechnet. Die Vitamin-B₆-Bestimmung erfolgte mikrobiologisch mit *Saccharomyces carlsbergensis* 4228 (ATTC Nr. 9080) nach der Methode des AOAC (1975, 1), nachdem die Proben 5 Stunden lang bei 121 °C in 0,055 N HCl autoklaviert worden waren.

Die mathematisch-statistische Auswertung wurde durch Varianz- und Regressionsanalyse vorgenommen. Der Mittelwertsvergleich erfolgte mit dem Student-Newman-Keuls-Test. Die hochgestellten Buchstaben in den Tabellen bedeuten, daß Mittelwerte eines Merkmals mit verschiedenen Buchstaben signifikant verschieden sind ($P < 0,05$). Die angegebenen \pm -Werte stellen die Standardabweichung der Einzelwerte dar. Bei den Regressionen zum Verlauf des Vitamin-B₆-Gehaltes während der Depletion wurden aus einer Vielzahl von Regressionen jeweils die Schätzfunktionen ausgewählt, die neben statistischer Signifikanz der partiellen Regressionskoeffizienten unter Wahrung der sachlogischen Zusammenhänge die beste Approximation an das Datenmaterial ergaben.

Ergebnisse

Vitamin-B₆-Verwertung wachsender Ratten

Die Vitamin-B₆-Gehalte von Blut, Leber und Gesamtkörper der entwöhnten Kontrolltiere zu Beginn des Versuchs sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Im Durchschnitt hatten diese Tiere ein Lebendgewicht von 32 g. Alle Vitamin-B₆-Konzentrationen sind in einem günstigen Bereich. Dies läßt sich durch die gute Vitamin-B₆-Versorgung der Rattenmütter in der Zuchtanstalt mit einer Diät mit 19,3 mg Vitamin B₆ je kg erklären. Nach 21 Tagen wogen die wachsenden Ratten in Gruppe 1 91 ± 8 g und in allen Zulagegruppen signifikant mehr, nämlich 144 ± 9 g. Zwischen den

Tab. 1. Vitamin-B₆-Gehalte frisch entwöhnter Ratten (Versuchsbeginn).

Lebend- gewicht	Blut µg je ml	Leber µg/g	Leber gesamt, µg	Gesamtkörper µg/g	Gesamtkörper µg
31,9 ± 1,3	0,34 ± 0,05	11,4 ± 1,5	11,1 ± 1,3	1,47 ± 0,30	40,3 ± 7,9

Zulagegruppen traten keine Unterschiede auf. Ähnlich verhielten sich Futterverbrauch und Futterverwertung. Der tägliche Futterverbrauch lag bei $7,8 \pm 0,01$ g (Gruppe 1) bzw. $10,6 \pm 0,01$ g (Gruppen 2–6). Die Futterverwertung rangierte bei $2,8 \pm 0,4$ g Futter je g Zunahmen (Gruppe 1) bzw. deutlich günstiger bei $1,99 \pm 0,1$ g (Gruppen 2–6).

Die Daten der Verwertung in diesem Versuchsabschnitt zeigt Tabelle 2. Bezüglich der Aufnahme an Vitamin B₆ der Gruppe 1 ist zu ergänzen, daß die durch die mikrobiologische Analyse ermittelten 0,1 mg Vitamin B₆ je kg Futter für die Tiere keine Vitamin-B₆-Wirksamkeit aufweisen dürften. Bei Versuchsbeginn hatten die Tiere insgesamt einen Gehalt von 40 µg. Nach drei Wochen war der Vitamin-B₆-Gehalt in Gruppe 1, die praktisch kein Vitamin B₆ erhielt, noch in etwa derselben Höhe von 45 µg. Es ist anzunehmen, daß dieser geringe Mehrgehalt vorwiegend aus intestinal gebildetem und absorbiertem Vitamin B₆ und aus Koprophagie stammt. Der gesamte Vitamin-B₆-Bestand der Gruppen 2 bis 6 lag bei 170–280 µg Vitamin B₆, wobei sich durch die Zufuhr von 1,5 auf 3 und 6 mg Vitamin B₆ je kg Futter signifikante Steigerungen ergaben, während ab der Konzentration von 6 mg keine wesentlichen Unterschiede mehr auftraten. Damit ergaben sich ab der Gruppe 2 deutlich abnehmende Verwertungen für Vitamin B₆ von 38 bis 4 %. Die Gruppe 1 bleibt dabei aufgrund der analytischen Ungenauigkeiten unberücksichtigt.

Vitamin-B₆-freie Ernährung

Deutliche Mangelsymptome bildeten sich erst nach einer Depletionsdauer von 30–35 Tagen auf. Am augenfälligsten war der zum Teil über den ganzen Körper verteilte Haarausfall, der jedoch nur bei zwei Dritteln der Tiere auftrat. An den Zehen waren starke Keratosen zu beobachten. Auf

Tab. 2. Verwertung steigender alimentärer Vitamin-B₆-Zufuhr durch wachsende Ratten.

Gruppe	1	2	3	4	5	6
Vitamin B ₆ im Futter, mg je kg	0	1,5	3	6	12	24
Aufnahme an Vitamin B ₆ , µg	(164) ± 0	330 ^e ± 1	661 ^d ± 0	1334 ^c ± 1	2700 ^b ± 2	5354 ^a ± 33
Vitamin-B ₆ -Bestand im Gesamtkörper, µg	45 ^d ± 6	166 ^c ± 23	240 ^b ± 16	272 ^a ± 27	288 ^a ± 31	276 ^a ± 21
Verwertung der Vitamin-B ₆ -Zufuhr, %	(3) ± 5	38 ^a ± 7	30 ^b ± 2	17 ^c ± 2	9 ^d ± 1	4 ^e ± 0,4

Tab. 3. Gewichtsentwicklung, Futterverbrauch und Vitamin-B₆-Konzentrationen in Blut, Leber und Gesamtkörper von Ratten nach unterschiedlich langer Vitamin-B₆-freier Ernährung.

Gruppe	Deple- tions- dauer Tage	Gewicht g	Futter- ver- brauch g	Vitamin-B ₆ -Konzentration				
				Blut µg/ml	Leber		Gesamtkörper	
					FS	TS	FS	TS
I	0	143 ^a ± 10	—	0,49 ^a ± 0,06	10,1 ^a ± 1,4	32,8 ^a ± 4,7	2,2 ^a ± 0,2	6,7 ^a ± 0,5
II	2	157 ^{fg} ± 11	14,1 ^e ± 1,2	0,06 ^b ± 0,02	6,4 ^b ± 1,1	20,4 ^b ± 3,6	1,8 ^b ± 0,3	5,4 ^b ± 1,2
III	5	173 ^e ± 12	15,4 ^d ± 0,6	—	5,1 ^c ± 1,0	17,5 ^{bc} ± 3,4	1,5 ^c ± 0,3	4,1 ^c ± 1,1
IV	8	192 ^d ± 13	16,4 ^c ± 0,4	—	4,3 ^c ± 1,0	14,4 ^c ± 3,4	1,2 ^d ± 0,1	3,5 ^{cd} ± 0,4
V	12	217 ^c ± 15	17,3 ^b ± 0,7	—	4,4 ^c ± 1,0	15,0 ^c ± 3,5	1,1 ^d ± 0,2	3,3 ^{cd} ± 0,7
VI	16	236 ^{bc} ± 17	17,9 ^{ab} ± 0,6	—	3,8 ^c ± 0,7	11,6 ^c ± 2,0	1,1 ^d ± 0,2	3,0 ^d ± 0,6
VII	20	253 ^{ab} ± 17	18,3 ^a ± 0,6	—	3,7 ^c ± 0,8	12,0 ^c ± 2,6	1,1 ^d ± 0,2	3,0 ^d ± 0,6
VIII	25	273 ^a ± 20	18,7 ^a ± 0,5	—	4,3 ^c ± 0,3	12,8 ^c ± 1,7	1,0 ^d ± 0,1	2,8 ^d ± 0,3
IX	30	274 ^a ± 20	18,7 ^a ± 0,5	—	4,8 ^c ± 0,9	14,7 ^c ± 2,8	1,1 ^d ± 0,1	2,9 ^d ± 0,2
X	35	297 ^a ± 24	18,6 ^a ± 0,5	—	4,2 ^c ± 0,5	13,3 ^c ± 1,4	1,0 ^d ± 0,2	2,6 ^d ± 0,6

der anderen Seite nahmen die Tiere weiter zu. Sie hatten bis zu zwölf Tagen Depletionsdauer einen steigenden Futterverzehr und dann einen gleichbleibenden täglichen Futterverbrauch ab 16 Tagen Depletionsdauer bis Versuchsende (Tab. 3).

Während der gesamten Versuchsdauer von fünf Wochen nahmen die Tiere kontinuierlich zu, so daß die Ratten bei Versuchsende mit nahezu 300 g das Doppelte wogen wie zu Beginn der Vitamin-B₆-freien Ernährung. Der tägliche Zuwachs lag im Mittel bei $5,5 \pm 0,6$ g, wobei die Tiere in der ersten Woche noch 6,2 g täglich zunahmen, während der Zuwachs in den letzten fünf Tagen auf 4,4 g zurückging (Tab. 3). Da der tägliche Futterverbrauch im Verlauf des Versuchs von 14 g auf 19 g anstieg, verschlechterte sich die Futterverwertung im Verlauf des Versuchs signifikant von $2,2 \pm 0,4$ g auf $4,3 \pm 0,6$ g Futter je g Zunahme, was vor allem durch die physiologischen Veränderungen im Verlaufe des Wachstums bedingt sein dürfte.

Die Vitamin-B₆-Konzentrationen in Blut, Leber und gesamtem Körper nach unterschiedlich langer Vitamin-B₆-freier Ernährung zeigt ebenfalls

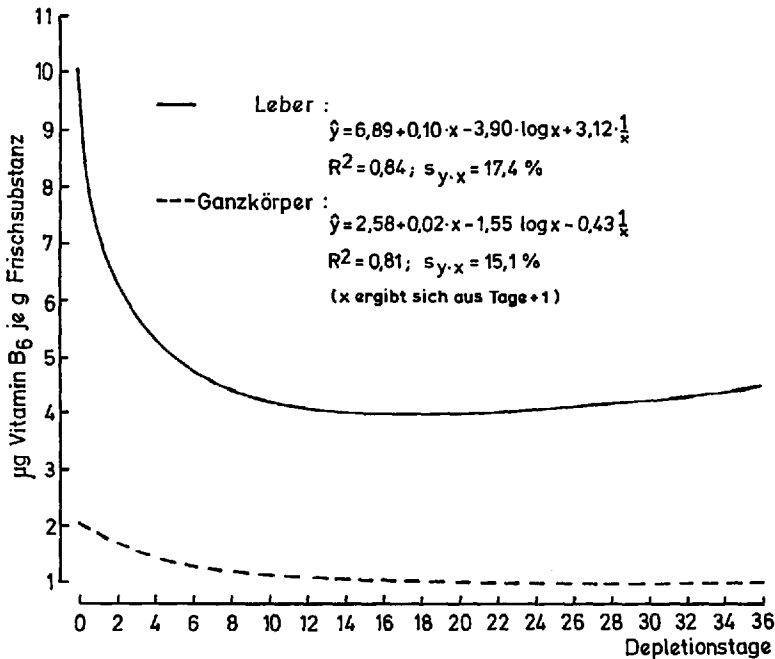


Abb. 1. Verlauf der Vitamin-B₆-Konzentration bei Vitamin-B₆-freier Ernährung.

Tabelle 3. Die Vitamin-B₆-Konzentration des Blutes sank innerhalb von zwei Tagen sehr stark ab, am fünften Tag nach Beginn der Depletion war bereits kein Vitamin B₆ mehr im Blut nachzuweisen (< 0,1 µg/ml). Auch in den anderen untersuchten Geweben verringerten sich die Vitamin-B₆-Konzentrationen.

Die Vitamin-B₆-Konzentrationen in der Leber, bezogen auf Frisch- wie auch auf Trockenmasse, betrugen bereits nach zwei Tagen Vitamin-B₆-freier Ernährung nur noch etwa 63 % der Ausgangskonzentration. Nach fünf Tagen Mangel sank die Konzentration noch einmal signifikant um etwa 17 %, um dann auf diesem Niveau von ungefähr 50 % der Ausgangskonzentration oder etwa 4 bzw. 14 µg Vitamin B₆ je g Leberfrisch- bzw. -trockenmasse zu bleiben.

Die Konzentrationen im Gesamtkörper verhielten sich in Abhängigkeit von der Depletionsdauer ähnlich wie in der Leber. Nach zwei Tagen waren sie signifikant auf nahezu 80 % der Ausgangskonzentration gesunken, nach fünf Tagen Depletionsdauer ebenfalls deutlich auf 70 bzw. 61 %, um dann bis zum Depletionstag 8 noch einmal signifikant zurückzugehen, so daß noch 55 bzw. 53 % der ursprünglichen Konzentration im Gesamtkörper vorhanden waren. Bei noch längerer Depletionsdauer von bis zu fünf Wochen waren dann keine wesentlichen Veränderungen mehr in den Vitamin-B₆-Konzentrationen zu beobachten.

Der Gesamtbestand an Vitamin B₆ in der Leber ergibt sich aus der Konzentration multipliziert mit dem Gewicht an Frisch- bzw. Trockenmasse. Vor der Depletion waren in der Leber insgesamt 62 µg Vitamin B₆

enthalten. Nach zwei Tagen Vitamin-B₆-freier Ernährung nahm dieser Gehalt signifikant um 21 % auf 49 µg ab. Nach fünf Tagen war noch einmal eine Reduktion des Leber-Vitamin-B₆-Gehaltes um 20 % auf 40 µg zu verzeichnen, jede weitere Mangelernährung verursachte dann aber keine Änderung mehr. Der Gesamtbestand des ganzen Körpers war dagegen durch die Vitamin-B₆-freie Ernährung nicht wesentlich beeinflusst. Dadurch lag bei den Tieren im Bereich von 140–300 g Lebendmasse der mittlere Vitamin-B₆-Gehalt bei 245 µg.

Diskussion

Die Bedeutung des Vitamin-B₆-Versorgungsstatus spielt für die Ernährung und für die Diagnostik in der Medizin wegen der zentralen physiologischen Bedeutung des Vitamin B₆ in den letzten Jahren eine bedeutende Rolle. Dabei werden bevorzugt als Kriterien die Messung der Aktivitäten der Aspartat-Aminotransferase (ASAT, früher GOT) und der Alanin-Aminotransferase (ALAT, früher GPT) in Plasma oder Erythrozyten bzw. ihrer Aktivierungskoeffizienten, die Plasma-Pyridoxal-Phosphat-Konzentration, die Pyridoxinsäure- und Vitamin-B₆-Ausscheidung im Harn nach einer Tryptophanbelastung diskutiert und zur Anwendung empfohlen (siehe u. a. 2, 4, 7, 11, 12). Dabei wurde meist von einer bekannten alimentären Versorgung ausgegangen. Wie sich jedoch vom Mangel bis über den Bedarf hinausgehende Versorgungen auf das Reservoir an Vitamin B₆ im Körper verhalten, wurde weniger systematisch untersucht. In einer vorangehenden Arbeit mit Ratten wurde deshalb dieser Frage bei steigender Versorgung nachgegangen (8) und der Vitamin-B₆-Gehalt in Blut, Leber und Ganzkörper in Abhängigkeit von der Vitamin-B₆-Versorgung bei wachsenden Tieren im Anschluß an die Entwöhnung untersucht. Dabei hatte sich ergeben, daß sich ab einer Zufuhr von 3–6 mg Vitamin B₆ je kg Futter bis zu einer Zufuhr von 24 mg in Leber und Gesamtkörper ein Plateau in Konzentration und Gehalt von Vitamin B₆ ausbildet. Dadurch tritt, wie die Ergebnisse aus vorliegender Arbeit zeigen, eine Verschlechterung der Vitamin-B₆-Verwertung auf, die im vorliegenden Versorgungsbereich bei einem Futter mit 1–24 mg Vitamin B₆ je kg von nahezu 40 % auf 4 % Verwertung abfällt. Diese Verwertungsraten wachsender Tiere von 30–140 g Lebendmasse im Vergleich zur jeweils entsprechenden Versorgung sind den Daten von Reithmayer et al. (1985, 5) bei graviden Ratten und nichtgraviden Tieren im Gewichtsbereich von 240 g sehr ähnlich. In der Vitamin-B₆-Konzentration entsprechen die verschiedenen Gewebe der gerade entwöhnten Ratten in etwa bereits den Konzentrationen bedarfsgerecht versorgter älterer Tiere.

Auch ohne alimentäre Zufuhr von Vitamin B₆ zeigten die Tiere ein weiteres Wachstum. Dies ergibt sich u. a. auch aus den früheren Untersuchungen mit jüngeren Tieren von 90–140 g (8, 9) sowie aus der Arbeit von Russel et al. (1985, 10) mit Jungsauen. Das Blut reagiert hinsichtlich der Vitamin-B₆-Konzentration sehr schnell, so daß nach fünf Tagen bereits kein Vitamin B₆ mehr nachzuweisen war. Daraus kann geschlossen werden, daß Blut im wesentlichen Transportfunktionen für Vitamin B₆ hat und damit der Vitamin-B₆-Gehalt im Blut ein wenig geeignetes Kriterium

für eine Einschätzung der Vitamin-B₆-Versorgung ist. Die Vitamin-B₆-Konzentrationen von Leber und Gesamtkörper vor der Depletion entsprechen den früher gefundenen Konzentrationen bei bedarfsgerechter und höherer Versorgung (5, 8). Bereits nach zwei Tagen lag die Vitamin-B₆-Konzentration der Leber auf einem etwa ähnlichen Niveau wie bei Tieren, die über längere Zeit unter dem Bedarf (1–1,5 mg Vitamin B₆ je kg Futter) versorgt worden waren. Hinsichtlich der Konzentration im Gesamtkörper war dies erst nach etwa acht Tagen zu beobachten. Diese Verzögerung könnte analog der Vorstellungen von Russel et al. (1985, 10) darauf beruhen, daß Muskel-Pyridoxalphosphat (PLP) wegen der starken Affinität von PLP für Phosphorylase nur schwer mobilisiert wird und außerdem die Phosphorylase einen so hohen Prozentsatz des gesamten Muskel-PLP bindet.

Der Verlauf der Konzentrationen in Leber und Gesamtkörper bei Vitamin-B₆-freier Ernährung ist in Abbildung 1 graphisch aufgezeigt. Dabei zeigt sich, daß umgekehrt zur über den Bedarf hinausgehenden Versorgung und der Ausbildung eines Plateaus (5, 8) bei Vitamin-B₆-freier Ernährung die Ausbildung eines Niveaus in der Vitamin-B₆-Konzentration auftritt. Somit dürfte auch in diesem Versorgungsbereich ein homöostatischer Regulationseffekt einsetzen. Vergleichsweise dazu war auf den gesamten Vitamin-B₆-Gehalt im Körper wenig Einfluß zu beobachten. Dies stimmt mit Ergebnissen von Russel et al. (1985, 10) bei Jungsaunen überein, wobei ein Vitamin-B₆-Mangel auch wenig Einfluß auf den gesamten Muskel-PLP- und Phosphorylase-Gehalt hatte. Insgesamt kann damit in Übereinstimmung mit den Ergebnissen von Russel et al. (1985, 10) gefolgert werden, daß auch nach vorheriger Überversorgung mit Vitamin B₆ die Ausbildung eines Mangels wohl kaum verzögert werden kann, wenn die Vitamin-B₆-Zufuhr eingeschränkt oder eingestellt wird.

Geht man von einem optimalen Bruttobedarf der Tiere von 6 mg Vitamin B₆ je kg Futter (8) aus, so liegt die tägliche optimale Vitamin-B₆-Zufuhr bei einer Futteraufnahme von 14 g pro Tag zu Beginn der Depletionsperiode bei etwa 84 µg. Berücksichtigt man in diesem Versorgungsbereich, wie in vorliegender Untersuchung festgestellt, eine Verwertung von 17 %, dann werden etwa netto 14 µg pro Tag benötigt. Vergleichsweise nimmt bei Vitamin-B₆-freier Ernährung in den ersten zwei Tagen der Gesamtbestand je Tag im Körper um 11,5 µg ab, d. h. etwa im Bedarfsbereich. Bis zu den beiden darauffolgenden Meßpunkten ergeben sich als Abbau geringere Raten, also 7 bzw. 9 µg täglich, während ab zwölf Tagen der Gesamtbestand wieder eher anstieg. Dies resultiert daraus, daß parallel ab 8–16 Tagen die Vitamin-B₆-Konzentration im Gesamtkörper konstant bleibt. Dabei könnte dieses Phänomen durch zwei Vorgänge bewirkt werden, nämlich einmal durch stärkere Synthese und Absorption von Vitamin B₆ im unteren Darmbereich, zum anderen dadurch, daß die Tiere verstärkt koprophagieren.

Daraus läßt sich schlußfolgern, daß bei Ratten mit einem totalen Mangel ab etwa zehn Tagen bis zu 35 Tagen für vorliegende Kriterien im Mittel ein Gleichgewichtszustand aufrechterhalten wird. Dabei reagieren die einzelnen Tiere in der Ausbildung von Mangelsymptomen unterschiedlich stark, wie dies bereits z. B. auch für Pantothensäure bei Schweinen (6) beobachtet worden ist.

Literatur

1. AOAC-Official methods of analyses of the Association of Official Analytical Chemists (1975) Association of Official Analytical Chemists, 12th ed. Washington DC 20044, p 849
2. Driskell Judy A (1984) Vitamin B₆. In: Machlin LJ (ed) Handbook of vitamins. Marcel Dekker, Inc, New York Basel, pp 379–402
3. Kirchgeßner M, Reithmayer Friederike, Roth-Maier Dora A (1985) Zum Einfluß einer variierten Vitamin-B₆-Versorgung auf den Vitamin-B₆-Status in Feten und Reproduktionsorganen. *Ann Nutr Metab* 29:138–146
4. Li TK, Lumeng L (1981) Plasma PLP as indicator of nutrition status: relationship to tissue vitamin B₆-content and hepatic metabolism. In: Leklem JE, Reynolds RD (eds) *Methods in vitamin B₆-nutrition*. Plenum Press, New York London, pp 289–296
5. Reithmayer Friederike, Roth-Maier Dora A, Kirchgeßner M (1985) Vergleichende Untersuchungen zum Vitamin-B₆-Status gravider und nicht-gravider Ratten bei unterschiedlicher Vitamin-B₆-Versorgung. *Z Ernährungswiss* 24:30–43
6. Roth-Maier Dora A, Kirchgeßner M (1977) Untersuchungen zum optimalen Pantothen säurebedarf von Mastschweinen. *Z Tierphysiol, Tierernährg Futtermittelkde* 38:121–131
7. Roth-Maier Dora A, Kirchgeßner M (1977) Selected problems of B-vitamins in animal nutrition. *Livestock Production Science* 4:177–189
8. Roth-Maier Dora A, Kirchgeßner M (1981) Zur Homöostase und zum Bedarf von Vitamin B₆ bei wachsenden Ratten. *Z Tierphysiol Tierernährg Futtermittelkde* 46:247–254
9. Roth-Maier Dora A, Zinner PM, Kirchgeßner M (1982) Effect of varying dietary vitamin B₆ supply on intestinal absorption of vitamin B₆. *Internat J Vit Nutr Res* 52:272–279
10. Russel LE, Bechtel PJ, Easter RA (1985) Effect of deficient and excess dietary vitamin B₆ on amino transaminase and glycogen phosphorylase activity and pyridoxal phosphate content in two muscles from post pubertal gilts. *J Nutr* 115:1124–1135
11. Shultz TD, Leklem JE (1981) Urinary-4-pyridoxic acid, urinary vitamin B₆ and plasma pyridoxal phosphate as measures of vitamin B₆ status and dietary intake of adults. In: Leklem JE, Reynolds RD (eds) *Methods in vitamin B₆ nutrition*. Plenum Press, New York London, pp 297–320
12. Simon I, Leinert J, Hötzel D (1982) Methoden und deren Wertung zur Bestimmung des Vitamin-B₆-Versorgungszustandes beim Menschen. 4. Mitt. *Internat J Vit Nutr Res* 52:287–297

Eingegangen 24. November 1988

Für die Verfasser:

Prof. Dr. Dora A. Roth-Maier und Prof. Dr. M. Kirchgeßner, Institut für Ernährungsphysiologie der Technischen Universität München, 8050 Freising-Weihenstephan