

Fe-Konzentration in verschiedenen Organen von Ratten nach unterschiedlicher Fe- und Proteinversorgung

E. Graßmann, A. M. Reichlmayr-Lais, M. Kirchgeßner und J. J. Kim

Institut für Ernährungsphysiologie der Technischen Universität München
in Freising-Weihenstephan

Zusammenfassung

In einem 2×3faktoriellen Versuch mit wachsenden Ratten variierte der Fe-Gehalt der Diät in drei Stufen (5, 25, 625 ppm) und der Proteingehalt ebenfalls in drei Stufen (5, 25, 45 %). Die Diäten wurden den Versuchstieren 35 Tage ad libitum verfüttert und nach Versuchsende der Fe-Gehalt in verschiedenen Organen bestimmt. Die beiden Versuchsfaktoren und deren Wechselwirkungen beeinflussten die Fe-Konzentration sowie Frischgewicht und Trockensubstanzgehalt je nach Organ. Besonders starken Einfluß übten sowohl eine mangelhafte Proteinzufuhr als auch eine nicht bedarfsgerechte Fe-Versorgung aus. In Abhängigkeit von der Fe-Versorgung zeigten sich zwischen Speicherverbindungen und funktionellen Verbindungen für Eisen unterschiedliche Reaktionen.

Summary

In a 2×3factorial experiment with growing rats the diet varied for the iron content (5, 25, 625 ppm) and for the protein content (5, 25, 45 %). The diets were fed ad libitum for 35 days. At the end of the experiment the iron content of different organs was determined. Both experimental factors and their interactions influenced the iron concentration as well as fresh weight and dry matter dependent on organ. Especially the influence of deficient protein supply and of insufficient iron supply was very marked. Dependent on the iron supply there are different responses between storage and functional compounds of iron.

Schlüsselwörter: Fe-Versorgung, Proteinversorgung, Fe-Protein-Wechselwirkung, Fe-Konzentration in verschiedenen Organen

Einleitung

Aus Untersuchungen zum Einfluß einer unterschiedlichen Protein- und Fe-Versorgung auf den Fe-Stoffwechsel wurden in vorausgehenden Mitteilungen Einflüsse auf Lebendmasse und hämatologische Kriterien (Reichlmayr-Lais et al., 1983) sowie auf Fe-Konzentrationen in Serum und Blutkoagulat und Aktivität der Katalase (Kim et al., 1983) von Ratten beschrieben. Die vorliegende Arbeit berichtet über den entsprechenden Einfluß der unterschiedlichen Protein- und Fe-Versorgung auf den Fe-Gehalt verschiedener Organe.

Material und Methoden

72 männliche Sprague-Dawley-Ratten mit einem Anfangsgewicht von 32 g wurden nach einem 2faktoriell angelegten Versuchsplan in 9 Gruppen zu je 8 Tieren eingeteilt. Als Faktoren variierten die Proteinversorgung in drei Stufen (5, 25, 45 % Protein-Gehalt der Diät) und die Fe-Versorgung in drei Stufen (5, 25, 625 ppm Fe in der Diät). Die Diät war halbsynthetisch, zusammengesetzt aus Stärke, Saccharose, Casein und Fett und ergänzt durch Methionin sowie durch Mineralstoffe und Vitamine. Versuchsdiät und 0,014 % NaCl-haltiges dest. Wasser wurden ad libitum angeboten. Die exakte Zusammensetzung der Diät sowie Versuchsdurchführung und -bedingungen sind ausführlich bei Reichlmayr-Lais et al. (1983) beschrieben.

Nach 35 Versuchstagen wurden die Ratten unter Ethernarkose dekapitiert, die Organe und Gewebe entnommen und diese sofort bis zur Aufarbeitung tiefgefroren. Der Schlachtkörper nach Blut- und Organentnahme wird als Restkörper bezeichnet. Nach trockener Veraschung der Organe und der Restkörper bei 500 °C wurde die Asche mehrfach mit Hilfe von verdünnter HCl abgeraucht und anschließend in 0,6 N HCl aufgenommen. Die Bestimmung des Fe-Gehaltes in diesen Proben erfolgte mit der Atomabsorptionsspektrometrie. Zur Berechnung des Eisens im Hämoglobin wurde ein Fe-Gehalt des Hämoglobins von 0,34 % eingesetzt.

Die statistische Auswertung des Datenmaterials erfolgte durch eine 2faktorielle Varianzanalyse. Die Gruppenmittelwerte wurden mit dem multiplen t-Test auf ihre Signifikanz überprüft. Die Ergebnisse sind als Mittelwerte zusammen mit den Standardabweichungen der Einzelwerte angegeben. Mittelwerte eines Organes, die keinen gemeinsamen hochgestellten Buchstaben aufweisen, sind signifikant verschieden ($p \leq 0,05$).

Ergebnisse

Frischgewicht, Trockensubstanz und Fe-Gehalt der verschiedenen Organe von Ratten nach unterschiedlicher Protein- und Fe-Versorgung sind in den Tabellen 1 bis 3 aufgeführt. Tabelle 1 zeigt, daß das Frischgewicht der einzelnen Organe unterschiedlich von den Faktoren Fe- und Proteinversorgung sowie von ihren Wechselbeziehungen beeinflußt wurden. Mit Ausnahme des Frischgewichtes des Herzens, das nicht von der Höhe der Fe-Versorgung tangiert wurde, war das Frischgewicht aller übrigen Organe von allen Faktoren und ihren Wechselbeziehungen abhängig, wobei der Einfluß der Interaktionen bei Milz und Herz relativ gering war. Am stärksten wirkte sich auf das Frischgewicht die Proteinversorgung aus. Dies traf vor allem bei niedriger Proteinzufuhr (5 % der Diät) zu, die generell zu einer Verringerung des Frischgewichtes führte, und zwar unabhängig von der Höhe der Fe-Versorgung. Ein hoher Proteingehalt der Diät (45 %) bewirkte bei dem Frischgewicht der Leber keine Veränderung im Vergleich zu einer normalen Proteinversorgung (25 %), während das Frischgewicht der Milz und der Nieren erhöht und das von Herz und Femur erniedrigt war. Eine mangelhafte Fe-Versorgung (5 ppm) reduzierte bei normaler bzw. erhöhter Proteinversorgung vor allem das Frischgewicht der Leber, aber auch das von Milz, Niere und Femur, während dies bei dem Frischgewicht des Herzens nicht zutraf. Eine überhöhte Fe-Versorgung (625 ppm) hatte keinen Einfluß auf die Frischmasse der untersuchten Organe.

Auch der relative Trockensubstanzgehalt (Tab. 2) wurde bei den untersuchten Organen unterschiedlich durch die Protein- und Fe-Versorgung

Tab. 1. Frischgewicht (g) verschiedener Organe von Ratten bei unterschiedlichen Protein- und Eisen-Gehalten in der Diät.

Protein [%]		5		25		45		F-Werte (* = nicht signifikant, p > 0,05)				
Fe [ppm]	5	25	625	5	25	625	5	25	625	Fe	Protein	Wechsel- wirkungen
Leber	2,1 ^a ±0,3	2,5 ^a ±0,4	2,3 ^a ±0,5	3,9 ^b ±0,4	7,3 ^c ±0,9	7,4 ^c ±0,5	3,7 ^b ±0,4	7,2 ^c ±0,6	7,4 ^c ±0,4	185	433	35
Milz	0,09 ^a ±0,02	0,10 ^a ±0,01	0,10 ^a ±0,01	0,52 ^{bc} ±0,10	0,58 ^d ±0,07	0,55 ^{cd} ±0,06	0,47 ^b ±0,09	0,61 ^e ±0,08	0,61 ^e ±0,04	9	441	3
Nieren	0,34 ^a ±0,05	0,38 ^a ±0,03	0,34 ^a ±0,03	1,11 ^b ±0,08	1,44 ^c ±0,17	1,56 ^d ±0,10	1,11 ^b ±0,11	1,51 ^d ±0,05	1,54 ^d ±0,11	69	997	18
Herz	0,21 ^a ±0,03	0,24 ^a ±0,02	0,22 ^a ±0,02	0,82 ^d ±0,03	0,80 ^c ±0,06	0,80 ^c ±0,04	0,77 ^{bc} ±0,10	0,73 ^b ±0,03	0,74 ^b ±0,03	0*	1518	3
Femur	0,10 ^a ±0,01	0,11 ^a ±0,01	0,10 ^a ±0,01	0,26 ^c ±0,03	0,37 ^e ±0,03	0,35 ^{de} ±0,02	0,23 ^b ±0,02	0,34 ^d ±0,02	0,34 ^d ±0,02	117	978	24

Tab. 2. Trockensubstanz (%) verschiedener Organe und Gewebe von Ratten bei unterschiedlichem Protein- und Eisen-Gehalt in der Diät.

Protein [%]		5		25		45		F-Werte				
								(*= nicht signifikant, p > 0,05)				
Fe [ppm]	5	25	625	5	25	625	5	25	625	Fe	Protein	Wechsel- wirkungen
Leber	40,9 ^b ± 3,5	45,1 ^b ± 1,9	44,7 ^b ± 2,0	31,4 ^a ± 0,7	30,3 ^a ± 0,4	30,4 ^a ± 0,4	31,7 ^a ± 0,7	30,3 ^a ± 1,0	31,1 ^a ± 1,0	1,5*	523	10
Milz	24,3 ^e ± 0,6	23,5 ^{cd} ± 0,3	23,7 ^d ± 0,5	21,8 ^a ± 0,3	22,9 ^b ± 0,3	23,7 ^d ± 0,2	22,0 ^{ab} ± 0,2	23,2 ^c ± 0,5	23,4 ^{de} ± 0,3	35	55	32
Nieren	25,5 ^a ± 0,5	25,6 ^a ± 0,5	25,6 ^a ± 0,9	28,3 ^b ± 0,6	30,5 ^d ± 1,3	29,2 ^{cd} ± 1,2	27,6 ^b ± 1,3	27,0 ^b ± 0,6	28,6 ^c ± 3,9	1*	34	2*
Herz	23,2 ^{bc} ± 0,5	23,7 ^{cd} ± 1,8	23,4 ^{cd} ± 0,3	22,6 ^{ab} ± 0,3	23,4 ^{cd} ± 0,3	23,5 ^{cd} ± 0,3	22,1 ^a ± 1,4	24,1 ^d ± 0,7	23,9 ^d ± 0,4	11	1*	2*
Femur	63,1 ^d ± 1,9	60,7 ^c ± 1,6	61,1 ^c ± 1,9	54,5 ^a ± 1,4	59,0 ^b ± 1,5	58,5 ^b ± 0,8	54,0 ^a ± 2,1	58,9 ^b ± 1,1	59,2 ^b ± 1,0	19	62	18

und deren Wechselwirkungen beeinflusst. Auf den Trockensubstanzgehalt der Leber wirkte sich im wesentlichen die Proteinversorgung aus. Unabhängig von der Höhe der Fe-Versorgung war bei einem Proteingehalt von 5 % der Trockensubstanzgehalt erhöht im Vergleich zu einem Proteingehalt von 25 bzw. 45 %. Ebenfalls erhöht bei unzureichender Proteinversorgung war der Trockensubstanzgehalt des Femurs. Zusätzlich zeigte sich beim Femur ein starker Effekt der Fe-Versorgung. Eine unzureichende Fe-Versorgung führte nämlich bei mittlerer und hoher Proteinzufuhr zu einer Reduzierung, während bei Fe-Mangel und gleichzeitig unzureichender Proteinzufuhr der Trockensubstanzgehalt höher lag als bei den übrigen Proteinstufen. Dies erklärt die starken Wechselbeziehungen zwischen den beiden Faktoren bei der Trockenmasse des Femurs. In den Nieren überwogen ebenso die Einflüsse der Proteinversorgung, allerdings reduzierte eine unzureichende Proteinzufuhr den Trockensubstanzgehalt. Dagegen wirkte sich auf den Trockensubstanzgehalt des Herzens hauptsächlich die Fe-Versorgung aus, und zwar lag dieser bei normaler und überhöhter Protein-Versorgung bei gleichzeitiger mangelhafter Fe-Zufuhr niedriger als bei höherer Fe-Versorgung. Bei dem Trockensubstanzgehalt der Milz war der Einfluß der Versuchsfaktoren und deren Wechselwirkungen ähnlich hoch. Am höchsten war er bei gleichzeitiger niedriger Protein- und Fe-Versorgung.

Auf den Fe-Gehalt, bezogen auf Trockensubstanz der einzelnen Organe (Tab. 3), übten sowohl die Protein- als auch die Fe-Versorgung einen erheblichen Einfluß aus. Aber auch Wechselbeziehungen zwischen diesen Faktoren waren deutlich bei Leber, Milz und Herz.

Die Fe-Konzentration der Leber war bei allen Proteinstufen bei gleichzeitiger mangelhafter Fe-Versorgung am niedrigsten, wobei sich zwischen den Proteinstufen kein gesicherter Unterschied zeigte. Eine Erhöhung der Fe-Versorgung über den Bedarf (625 ppm) führte bei allen Proteinstufen zu einer Erhöhung der Fe-Konzentration in der Leber. Am höchsten war die Fe-Konzentration bei exzessiver Fe-Zufuhr, verbunden mit einer Proteinübersversorgung. Auch bei der Milz stieg die Fe-Konzentration mit zunehmender Fe-Versorgung bei allen Proteinstufen. Im Vergleich zu einer optimalen Proteinversorgung (25 %) war bei niedriger Proteinversorgung (5 %) die Fe-Konzentration der Milz erhöht, ebenso bei erhöhtem Proteingehalt der Diät (45 %). Die Fe-Konzentration in den Nieren stieg ebenso bei allen Proteinstufen mit steigender Fe-Zufuhr an. Bei Proteinunterversorgung (5 %) war in der Regel die Fe-Konzentration bei allen Fe-Stufen erhöht. Ähnlich zeigte die Gruppe mit erhöhter Proteinversorgung bei gleichzeitiger exzessiver Fe-Versorgung höhere Konzentrationen im Vergleich zu den Ratten, die eine Diät mit einem Proteingehalt von 25 % erhielten. Auch im Femur war bei allen Proteinstufen ein Anstieg der Fe-Konzentration mit steigender Fe-Zufuhr zu beobachten. Dabei war die Fe-Konzentration bei niedriger Proteinstufe im Vergleich zu einem Proteingehalt von 25 und 45 % erhöht. Zwischen den Proteingehalten von 25 % und 45 % zeigte sich bei der Femur-Fe-Konzentration kein gesicherter Unterschied. Im Unterschied zu den bisher beschriebenen Organen wies das Herz eine relativ geringe – z. T. nicht gesicherte – Steigerung bei Zunahme der Fe-Versorgung auf. Die sehr hohe Fe-Zufuhr von 625 ppm bewirkte im Vergleich zu 25 ppm bei normalem bzw. überhöhtem Pro-

Tab. 3. Fe-Konzentration ($\mu\text{g/g}$ Trockensubstanz) in verschiedenen Organen und Geweben von Ratten bei unterschiedlichem Protein- und Eisen-Gehalt in der Diät.

Protein [%]	5				25				45				F-Werte		
													(*= nicht gesichert, p > 0,05)		
Fe [ppm]	5	25	625	5	25	625	5	25	625	5	25	625	Fe	Protein	Wechsel- wirkungen
Leber	73 ^a ± 15	212 ^b ± 34	372 ^c ± 91	77 ^a ± 13	277 ^{bc} ± 49	1061 ^d ± 213	87 ^a ± 7	322 ^{bc} ± 87	1359 ^e ± 191	406	59				
Milz	551 ^b ± 61	1061 ^d ± 176	1743 ^f ± 226	292 ^a ± 35	736 ^c ± 87	1061 ^d ± 118	350 ^a ± 63	938 ^d ± 139	1469 ^e ± 130	49	13				
Nieren	121 ^b ± 19	193 ^d ± 32	235 ^e ± 19	60 ^a ± 9	146 ^c ± 19	195 ^d ± 28	76 ^a ± 17	163 ^c ± 15	241 ^e ± 22	33	3				
Herz	275 ^b ± 37	325 ^c ± 44	356 ^d ± 36	133 ^a ± 17	299 ^{bc} ± 18	326 ^c ± 28	148 ^a ± 20	283 ^b ± 20	325 ^c ± 23	43	11				
Femur	152 ^d ± 65	182 ^d ± 45	278 ^e ± 62	49 ^a ± 15	92 ^b ± 7	123 ^{bc} ± 17	50 ^a ± 10	99 ^b ± 11	153 ^{cd} ± 40	26	1,8*				

teingehalt der Diät keine Steigerungen mehr. Auch bei diesem Organ war – wie bei allen anderen – die Fe-Konzentration bei mangelhafter Proteinzufuhr erhöht.

Diskussion

Ähnlich wie die Lebendmasse (siehe Reichlmayr-Lais et al., 1983) waren auch die Organgewichte bei einem Proteingehalt von 5 % in der Diät bei allen Stufen der Fe-Zufuhr erheblich verringert, da bei dieser Proteinzufuhr der Bedarf an Aminosäuren für die Proteinsynthese wachsender Ratten nicht mehr gedeckt werden kann. Da die Syntheseleistung bei mangelhafter Proteinzufuhr ohnehin sehr reduziert ist, wirkt sich eine gleichzeitige niedrige Fe-Zufuhr nicht mehr zusätzlich negativ aus. Dies zeigt wiederum, daß der Bedarf des Organismus an Fe von der Syntheseleistung des Organismus abhängt. Die erhöhte Proteinversorgung bei einem Diät-Proteingehalt von 45 % bewirkte neben einer Verringerung des Körpergewichtes (siehe Reichlmayr-Lais et al., 1983) bei Herz und Femur verminderte und bei Milz und Niere umgekehrt eher erhöhte Gewichte. Das erhöhte Organgewicht der Nieren, das auch in anderen Untersuchungen beobachtet wurde (z. B. Lalich, 1970) ist erklärbar durch die verstärkte Harnstoffbelastung und folglich -ausscheidung bedingt durch einen energetischen Abbau von überschüssigen Aminosäuren, resultierend aus dem hohen Proteingehalt der Diät.

Protein- und Fe-Versorgung sowie ihre Interaktionen wirken sich auch auf den Trockensubstanzgehalt der Organe aus, und zwar in Abhängigkeit von der Art des Organs. Veränderungen waren vor allem bei niedriger Proteinzufuhr bzw. bei mangelnder Fe-Versorgung zu beobachten und weisen auf eine veränderte Organzusammensetzung hin, die nicht Gegenstand der vorliegenden Untersuchung war. Aus der Literatur (siehe Platt et al., 1964) ist beispielsweise bekannt, daß bei dem relativ gut untersuchten Organ Leber bei Proteinmangel nicht nur der Proteingehalt abnimmt, sondern auch Veränderungen bei anderen Komponenten auftreten. So steigt unter diesen Bedingungen der Lipid-Anteil. Im Fe-Mangel war nach Untersuchungen von Graßmann et al. (1983) im gesamten Organismus von Ratten der Lipidgehalt erhöht, während der Rohproteingehalt reduziert war. Sherman (1978) konnte im Fettgewebe und in der Leber von Fe-Mangel-Ratten *in vitro* eine erhöhte Lipid-Synthese messen.

Fe-Konzentrationen in Organen stellen ein summarisches Erfassen unterschiedlicher Fe-Verbindungen dar, die im Stoffwechsel des Spurenelements verschiedene Funktionen übernehmen. Sie können aber bei genügender Kenntnis des Stoffwechsels, wie es im Falle des Eisens zutrifft, gewisse Interpretationen zulassen. Mit Ausnahme der Leber war bei allen übrigen Organen und Geweben bei mangelhafter Proteinzufuhr die Fe-Konzentration erhöht. Die Erhöhung bei der Milz könnte durch eine im Proteinmangel verminderte Reutilisierung des katabolen Eisens aus dem Hämoglobin zu erklären sein. Bei den übrigen Organen und Geweben dürfte die Ursache in einer verminderten intermediären Verwertung des Eisens für funktionelle Verbindungen infolge einer reduzierten Proteinsynthese bei Proteinmangel liegen. Die erhöhte Fe-Konzentration

in der Niere bei mangelnder Proteinversorgung dürfte eine erhöhte Ausscheidung bzw. zumindest eine erhöhte Ablagerung von Eisen infolge der verminderten intermediären Verwertung anzeigen. Die im Gegensatz dazu reduzierte Fe-Konzentration in der Leber bei niedrigem Proteingehalt in der Diät hängt mit der Speicherkapazität dieses Organs für Eisen zusammen, die bei Proteinunterversorgung offensichtlich vermindert ist.

Ähnlich wie bei der Proteinunterversorgung stieg die Fe-Konzentration bei übermäßiger Proteinzufuhr in einigen Organen, und zwar v. a. in Milz, aber auch tendenziell in Leber, Niere und Femur. Dies könnte wiederum ein Effekt einer herabgesetzten intermediären Verwertung des Eisens, und zwar aufgrund eines Energiedefizits durch den zusätzlichen Energieaufwand für Synthese und Ausscheidung von Harnstoff bei überschüssigen Aminosäuren, sein. Dementsprechend fanden Krziwanek et al. (1978) bei exzessiver Proteinzufuhr einen erhöhten Harnstoffgehalt im Plasma.

Bei allen Proteinstufen war die Fe-Konzentration der Organe bei mangelhafter Fe-Versorgung reduziert. Das Ausmaß der Depletion war von Organ zu Organ unterschiedlich und erklärbar durch Art der Verbindungen und ihrer Turn-over-Raten. Die erniedrigte Fe-Konzentration der Niere könnte ein Hinweis sein, daß bei Fe-Mangel nicht nur weniger Eisen in der Niere abgelagert, sondern möglicherweise auch weniger über den Harn ausgeschieden wird.

Mit höherer Fe-Dosierung nahmen dann die Fe-Konzentrationen in den Organen zu. Auch eine sehr hohe Fe-Versorgung steigerte nochmals die Fe-Konzentration in Leber, Milz, Nieren und Femur. Die hohe Fe-Konzentration in der Leber bei exzessiver Fe-Zufuhr hängt mit der Leber als Speicherorgan für Eisen zusammen. Nicht nur bei übermäßiger oraler Fe-Zufuhr, sondern auch bei verminderter intermediärer Verwertung des Eisens, wie sie beispielsweise bei Mangel an Kupfer auftritt, wird Eisen vor allem in der Leber abgelagert (z. B. Graßmann und Kirchgeßner, 1973). Ähnlich sind die erhöhten Werte bei Femur und Milz zu sehen. Neben der Leber ist nämlich auch das Knochenmark und die Milz in der Lage, Eisen zu speichern (siehe z. B. Weinfeld, 1970; Lamberti, 1970). Als Speicherverbindung kommt v. a. Ferritin vor, dessen Apoferritin-Synthese durch Eisen induziert werden kann. Mit ansteigender Fe-Konzentration wird auch Hämosiderin gebildet (siehe Worwood, 1979). Das Speichereisen im retikulohistozytären System der Leber, der Milz und des Knochenmarks wird vielfach als Parameter für die Diagnose des Fe-Status herangezogen. In der Niere könnte die hohe Fe-Konzentration ein Hinweis auf eine verstärkte Ausscheidung bei hoher Zufuhr sein. Die erniedrigte Fe-Konzentration bei mangelnder, als auch die erhöhte Konzentration bei sehr hoher Fe-Versorgung, wie sie auch Graßmann et al. (1983) feststellen konnten, deuten darauf hin, daß auch die Exkretion über die Niere an der Regulation des Fe-Stoffwechsels beteiligt sein könnte. Dagegen stieg die Fe-Konzentration des Herzens bei exzessiver Fe-Zufuhr von 625 ppm im Vergleich zu einer Fe-Zufuhr von 25 ppm, die gemessen an Lebendmasse und Blutparameter (siehe Reichlmayr-Lais et al., 1983; Kim et al., 1983) den Bedarf an Fe weitgehend deckte, nicht mehr weiter bzw. nur sehr gering an. Dies wurde auch bei dem Fe-Gehalt des Muskels (Kirchgeßner et al., 1983), bei einigen Blutparametern (siehe Reichlmayr-Lais et al., 1983)

Tab. 4. Absolute (= a in µg) (gesamter Organgehalt) und relative (= r in %) Verteilung des Eisens auf Organe und Gewebe von Ratten nach unterschiedlicher Fe- und Proteinversorgung.

Protein [%]		5					25					45				
Fe [ppm]		5		25		a	625		5		a	625		5		a
		r	a	r	a		r	a	r	a		r	a	r	a	
Leber	67 ±14	7	230 ±28	16	389 ±81	22	92 ±10	613 ±95	9	101 ±15	2354 ±477	35	696 ±154	22	3088 ±390	47
Milz	12 ±1	1,3	26 ±4	1,8	40 ±7	2,3	37 ±6	97 ±20	4	36 ±6	138 ±21	2	132 ±20	4	209 ±22	3
Herz	13 ±2	1,4	18 ±2	1,2	17 ±2	1,0	26 ±3	56 ±5	3	25 ±3	61 ±6	0,9	49 ±5	1,5	57 ±5	0,8
Nieren	10 ±2	1,0	18 ±2	1,2	20 ±2	1,2	19 ±3	64 ±7	1,9	23 ±5	88 ±8	1,3	67 ±7	2	105 ±12	2
Serum	2 ±1	0,2	3 ±1	0,2	4 ±1	0,2	4 ±1	13 ±4	0,4	3 ±1	29 ±8	0,4	19 ±4	0,6	25 ±6	0,4
Hämoglobin-Fe	346 ±30	36	378 ±27	26	373 ±24	22	161 ±12	490 ±12	16	177 ±18	517 ±16	8	519 ±18	16	532 ±18	8
Restkörper	508 ±53	53	772 ±85	53	911 ±67	53	640 ±62	2461 ±531	65	628 ±79	3497 ±590	52	1747 ±182	54	2528 ±210	39
Gesamt-Gehalt	958 ±90		1445 ±138		1734 ±158		979 ±78	3794 ±555		994 ±114	6684 ±616		3229 ±528		6544 ±444	

und bei der Aktivität der Katalase (siehe Kim et al., 1983) beobachtet. Offensichtlich bewirkt bei funktionellen Verbindungen nach Erreichen von Wirkungsoptima eine weitere Steigerung der Zufuhr keine zusätzliche Wirkungssteigerung mehr, im Gegensatz zu Speicher- und Transportverbindungen, deren Konzentration in gewissen Grenzen weiterhin zunimmt. Das Eisen im Herz dürfte nämlich im wesentlichen das Eisen von Hämoglobin und Myoglobin, also funktionelle Verbindungen, repräsentieren. Auch in Untersuchungen von Graßmann et al. (1983) konnten bei steigender Fe-Versorgung diese Zusammenhänge bei der Fe-Konzentration des Herzens beobachtet werden.

Auch die absolute und relative Verteilung des Eisens im Organismus auf die verschiedenen Organe und des Blutes, wie in Tabelle 4 dargestellt, weist auf die unterschiedliche Reaktion der verschiedenen Fe-Verbindungen auf eine variierende Fe-Zufuhr hin. Sie zeigt, daß bei zunehmender Fe-Versorgung bei allen Proteinstufen der Fe-Gehalt der Leber relativ sehr stark ansteigt, während der relative Anteil von funktionell gebundenem Eisen, wie das Eisen in Hämoglobin bzw. von Organen, die zum erheblichen Teil funktionell gebundenes Eisen aufweisen, wie z. B. das Herz, bei konstantem absolutem Gehalt mit steigender Fe-Zufuhr abnimmt. Diese Zusammenhänge werden auch durch vergleichbare Untersuchungen von Siimes et al. (1978) bestätigt. Aus diesen Untersuchungen geht hervor, daß bei einer Zunahme der Fe-Zulage zur Diät von 5 bis 500 ppm Hämoglobin, Myoglobin und das Muskel-Cytochrom C bis 20–30 ppm Eisen in der Diät ansteigen und anschließend ein Plateau bilden, während das nicht an Hämoglobin gebundene Eisen der Leber weiter zunimmt.

Aus diesen Untersuchungen läßt sich insgesamt ableiten, daß eine sinnvolle Kombination von diagnostischen Parametern, die sowohl Speicher- und Transportverbindungen als auch funktionelle Fe-Verbindungen darstellen, den Fe-Status bei definierten Bedingungen relativ gut widerspiegeln.

Literatur

- Graßmann, E., M. Kirchgeßner: *Z. Tierphysiol., Tierernährg. u. Futtermittelkde.* **31**, 113 (1973).
- Graßmann, E., M. Kirchgeßner, J. J. Kim: *Z. Ernährungswiss.* Im Druck (1983).
- Graßmann, E., R. Schwarz, G. Stieß: *Proc. Symp. Health Effects and Interactions of Essential and Toxic Elements* (Lund, Sweden 1983).
- Kim, J. J., E. Graßmann, A. M. Reichlmayr-Lais, M. Kirchgeßner: *Zbl. Vet. Med. A*, im Druck (1983).
- Kirchgeßner, M., A. M. Reichlmayr-Lais, J. J. Kim, E. Graßmann: *Z. Lebensmittel-Untersuch. u. -Forsch.*, in Vorbereitung (1983).
- Krzywanek, S. V., E. Graßmann, M. Kirchgeßner: *Arch. Tierernährg.* **28**, 99 (1978).
- Lalich, J. J., G. G. Faith, G. E. Harding: *Arch. Path.* **89**, 548 (1970).
- Lamberti, G.: *Hippokrates* **41**, 483 (1970).
- Platt, B. S., C. R. C. Heard, R. J. C. Steward: In: *Mammalian Protein Metabolism* (eds. H. N. Munro, J. B. Allison). Academic Press, New York, London, Part II, p. 446 (1964).
- Reichlmayr-Lais, A. M., M. Kirchgeßner, J. J. Kim, E. Graßmann: *Z. Ernährungswiss.* **22**, 6 (1983).

Sherman, A. R.: Fed. Proc. **37**, 893A (1978).

Siimes, M. A., C. Refino, P. R. Dallman: Amer. J. Clin. Nutr. **33**, 570 (1980).

Weinfeld, A.: In: Iron Deficiency – Pathogenesis – Clinical Aspects – Therapy (eds. L. Hallberg, H.-G. Harwerth, A. Vannotti). Academic Press (London, New York 1970).

Worwood, M.: Clin. Lab. Sci. **10**, 1979 (1979).

Eingegangen 13. Juni 1983

Für die Verfasser:

Prof. Dr. E. Graßmann, Institut f. Ernährungsphysiologie d. Techn. Universität München in Freising-Weihenstephan, 8050 Freising-Weihenstephan