



Klaus Günther

Ernährung bei Eisenmangel

Stoffwechsel – Bioverfügbarkeit –
Diagnostik

 Springer

Ernährung bei Eisenmangel

Klaus Günther

Ernährung bei Eisenmangel

Stoffwechsel – Bioverfügbarkeit –
Diagnostik

Klaus Günther
Institut für Bio- und Geowissenschaften
und Institut für Ernährungs- und
Lebensmittelwissenschaften
Forschungszentrum Jülich
und Universität Bonn
Jülich und Bonn, Nordrhein-Westfalen
Deutschland

ISBN 978-3-662-61345-0 ISBN 978-3-662-61346-7 (eBook)
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-61346-7>

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© Springer-Verlag GmbH Deutschland, ein Teil von Springer Nature 2021

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jedermann benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des jeweiligen Zeicheninhabers sind zu beachten.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Umschlagfoto: © fotomantello/[stock.adobe.com](https://www.stock.adobe.com)

Planung/Lektorat: Renate Eichhorn

Springer ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer-Verlag GmbH, DE und ist ein Teil von Springer Nature.

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Heidelberger Platz 3, 14197 Berlin, Germany

*Für meine 3 lieben Sterne
und alle Weggefährten
auf dieser phantastischen Reise,
die man Leben nennt*

Vorwort

Ein Eisendefizit ist die häufigste Mangelkrankheit weltweit, obwohl das Element zu satten 5 % in über 100 verschiedenen Mineralien in der kontinentalen Erdkruste vorhanden ist, meistens als Oxid, Oxidhydroxid, Sulfid oder Carbonat. Dies hat mich immer in ein starkes Erstaunen versetzt, und ich habe mich gefragt, welche Gründe wohl dafür verantwortlich sein könnten. Innerhalb der primären Ernährungsziele der World Health Organization (WHO) steht seit der World Health Assembly (WHA) 2012 in Genf die globale Reduzierung der Anämie, die zum größten Anteil durch Eisenmangel verursacht wird, in der nahen Zukunft mit an erster Stelle. Grund genug also, sich als Chemiker, Biochemiker und Lebensmittelwissenschaftler intensiv mit diesem Ziel und der Thematik zu beschäftigen.

In der letzten Zeit hat sich viel getan in der Eisenbiochemie, und vor etwa 20 Jahren betrat Hepcidin die Bühne, ein zentraler Regulator des Eisenhaushalts, dessen Funktion vorher unbekannt war. Zahlreiche Eisenenzyme konnten inzwischen genau charakterisiert werden und ihre Funktion auch im Hirnstoffwechsel im Detail verstanden werden. Die Mechanismen der Eisenhomöostase im Organismus wurden genauer beschrieben, und die Eigenschaften von Ferritin in Lebensmitteln und dessen Resorption im Organismus erscheinen heute in einem neuen Licht.

In diesem Fachbuch möchte ich mich dem komplexen Thema von der lebensmittelchemischen und biochemischen Seite aus nähern, auf der ich selber langjährige Forschungserfahrung habe, aber natürlich das Gesamtbild nicht aus den Augen verlieren. Deshalb werden hier auch neue ernährungsmedizinische Aspekte und diagnostische Themen aus der Klinischen Chemie und Laboratoriumsmedizin besprochen werden.

Seit meiner Promotionsarbeit an der Universität Münster und der Habilitationszeit an der Universität Bonn in den 1990er-Jahren beschäftige ich mich mit Fragen der Bioverfügbarkeit von toxischen und essentiellen Elementen in Lebensmitteln und deren Bedeutung für den Menschen. Innerhalb meiner verschiedenen Forschungsgruppen war dabei insbesondere die Aufklärung der Bindungsformen der Elemente im Fokus des Interesses. Dabei stand immer auch das ganze Periodensystem im Blickpunkt, da die einzelnen Elemente und natürlich auch deren Spezies sich gegenseitig bei der Resorption im menschlichen Organismus beeinflussen. Erklärtes Ziel war dabei eine Multielement-Speziesanalytik, um einen möglichst vollständigen Einblick in die Bindungsverhältnisse in Lebensmitteln zu erhalten.

Zur Bearbeitung dieser interdisziplinären Thematik war die Beherrschung eines umfangreichen Methodenspektrums erforderlich, das von der selektiven Bestimmung der verschiedenen Elemente im Spurenbereich über leistungsfähige Trennmethode bis zur modernen Strukturaufklärung von Komplexbildnern und Proteinen durch hochauflösende Massenspektrometrie reichte.

Weiterhin kommt hinzu, dass ich seit vielen Jahren am Forschungszentrum Jülich tätig bin. Die hervorragenden und zukunftsorientierten Wissenschaftsmanager des Zentrums haben es sehr gut verstanden, dieses große Forschungsinstitut mit über 6000 Mitarbeitern weiter auf die drängenden Zukunftsthemen auszurichten, wozu natürlich auch die Verbesserung der weltweiten Ernährungssituation gehört.

Inzwischen bildet dort die Bioökonomie einen der drei Schwerpunktbereiche, neben den Forschungsaktivitäten auf den Feldern Energie und Information. Innerhalb der Bioökonomie spielt die Sicherung der Welternährung mit hochwertigen Lebensmitteln eine zentrale Rolle, und insbesondere die pflanzlichen Lebensmittel rücken immer weiter in den Fokus, da ihre Produktion weitaus klimaschonender erfolgen kann, als dies bei tierischen Produkten möglich ist. Rohstoffwende, Ernährungswende, Klimaschutz und Energiewende sind globale Herausforderungen, die alle Lebensbereiche betreffen.

Diese Themen finden auch in meinen Vorlesungen an der Universität Bonn eine immer größere Berücksichtigung und treffen dort auf einen hervorragenden Resonanzboden. Aufgrund kluger und nachhaltiger Strategien der Leitungsgremien, einer motivierenden Aufbruchstimmung in vielen Bereichen der Alma Mater und auch durch Berücksichtigung dieser neuen interdisziplinären, globalen Zusammenhänge konnte die Universität Bonn in der Exzellenzstrategie des Bundes sechs Exzellenzcluster für sich entscheiden, mehr als jede andere Universität in Deutschland, und ist seit 2019 Exzellenzuniversität.

So werden zum Beispiel in dem gemeinsamen Exzellenzcluster „PhenoRob“ der Landwirtschaftlichen Fakultät der Universität Bonn und des Forschungszentrums Jülich die Einsatzmöglichkeiten der Robotik zur nachhaltigen Nutzpflanzenproduktion untersucht. Eine wichtige neue Forschungseinheit, die auch die Produktion hochwertiger pflanzlicher Lebensmittel mit einem großen Anteil an essentiellen Mineralstoffen, Spurenelementen und anderen Mikronährstoffen in der Zukunft verbessern wird. Diese können dann gegen den „versteckten Hunger“ in der Welt eingesetzt werden, auch gegen den „versteckten Eisenhunger“.

Denn durch clever zusammengestellte, hochwertige Nahrungsmittel kann man einem Eisenmangel kräftig entgegenreten und ihn vermeiden. Dies möchte ich Ihnen in diesem Buch zeigen. Auch ausschließlich mit pflanzlichen Lebensmitteln. Hier gibt es neue und spannende wissenschaftliche Erkenntnisse, auf die ich ausführlich eingehen werde.

Weiterhin ist wichtig, dass man nicht in die Eisenfalle tappt. Durch den überwiegenden Verzehr von durchaus gesunden Lebensmitteln, die aber leider sehr wenig Eisen enthalten, kann dies schnell geschehen. Das kommt öfter vor, als man denkt, gerade bei ernährungsbewussten Menschen. Ein bisher unterschätzter

Gesichtspunkt, den ich in dem Buch mit Beispielen beschreibe und der mich selbst ziemlich überrascht hat.

Garniert habe ich diese zentralen Botschaften mit vielen neuen wissenschaftlichen Erkenntnissen aus der Eisenbiochemie und der Bioverfügbarkeit des Elements aus Lebensmitteln, die natürlich nicht vollständig sein können, da sie den Rahmen des Buches sprengen würden. Weiterhin finden sich viele Hinweise auf neue Publikationen zum Thema, die zur professionellen Vertiefung des Stoffs einladen.

Einfache Regeln zur Eisenversorgung mit natürlichen Lebensmitteln dürfen auch in einem Fachbuch nicht fehlen. Deshalb sind die wichtigsten Fakten in prägnanten Faustregeln am Ende des Buches zusammengefasst.

Bei einem Verdacht auf Eisenmangel und bei Krankheiten ersetzt dieses Buch natürlich nicht den Arztbesuch, und an keiner Stelle werden Therapieempfehlungen ausgesprochen. Es zeigt aber einfache Wege auf, wie man durch die gezielte Auswahl von natürlichen Lebensmitteln seinen Eisenstatus wesentlich verbessern kann.

Das Cover zum Buch ist bewusst gewählt. Es zeigt einen Ausschnitt aus einem Werk von Giuseppe Arcimboldo (1526–1593), einem italienischen Maler der Spätrenaissance, speziell des Manierismus, aus Mailand. Berühmt sind seine Porträts, die er aus Früchten und Gemüse komponierte und damit überraschende Wirkungen erzielt.

Pflanzliches Eisen ist viel wertvoller, als man bisher dachte. Dies ist eine zentrale Botschaft des vorliegenden Buches. Ist das nicht auch überraschend?

Bonn
im April 2021

Prof. Dr. Klaus Günther

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird in diesem Buch überwiegend das generische Maskulinum verwendet. Dies impliziert immer beide Formen, schließt also die weibliche Form mit ein.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
	Literatur	5
2	Biochemie des Eisens	7
2.1	Die Häm-Gruppe	8
2.2	Myoglobin und Hämoglobin	10
2.3	Ferritin und Hämosiderin	13
2.4	Transferrin	14
2.5	Eisenzyme	15
2.6	Eisen im Hirnstoffwechsel	18
2.7	Eisen im Immunsystem	23
	Literatur	27
3	Systemische Eisenhomöostase	29
3.1	Eisenabsorption und Eisenrecycling	29
3.2	Molekularer Mechanismus der Eisenreduktion	32
3.3	Regulation durch Hepcidin	35
	Literatur	40
4	Anämie und Eisenmangel	43
4.1	Weltweite Problematik	44
4.2	Weitere Ursachen	47
	Literatur	49
5	Diagnostik von Eisenmangelzuständen	51
5.1	Grunddiagnostik	51
5.2	Weiterführende Diagnostik	54
	Literatur	61
6	Der Eisenbedarf	63
6.1	Internationale Referenzwerte	63
6.2	Nährstoffbezugswert für die tägliche Zufuhr von Eisen	73
6.3	Obergrenze der Eisenzufuhr	74
	Literatur	79

7	Bioverfügbarkeit	81
7.1	Speziesanalytik von Eisen in Lebensmitteln	85
7.2	Nahrungsbestandteile und Homöostase	91
7.3	Eigenschaften und Aufnahme von Ferritin	93
	Literatur	102
8	Ernährung bei Eisenmangel	105
8.1	Eisengehalte in Lebensmitteln	105
8.2	Die Eisen-Negativ-Liste	120
8.3	Beispiele für eisenhaltige Gerichte	124
8.4	Faustregeln für eine optimale Eisenversorgung	127
	Literatur	129
9	Eisen und besondere Ernährungsformen	131
9.1	Vegetarische und vegane Ernährung	131
9.2	Kindheit, Jugend und Alter	141
9.3	Schwangerschaft und Stillperiode	143
9.4	Sportliche Aktivitäten	144
	Literatur	146
10	Eisensupplementierung	149
10.1	Arzneimittel	149
10.2	Nahrungsergänzungsmittel	151
	Literatur	155
	Stichwortverzeichnis	157

Über den Autor



Professor Dr. Klaus Günther arbeitet am Forschungszentrum Jülich, einem Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft, der größten Wissenschaftsorganisation Deutschlands, und lehrt als Professor am Institut für Ernährungs- und Lebensmittelwissenschaften der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn. In seiner Forschungstätigkeit befasst sich der Biochemiker und Lebensmittelwissenschaftler seit vielen Jahren mit der Bioverfügbarkeit von Mineralstoffen und Spurenelementen in Lebensmitteln und deren Bedeutung für den Menschen. Er ist Autor von zahlreichen wissenschaftlichen Publikationen in internationalen Journalen und war als Mitglied verschiedener Sachverständigenausschüsse u. a. bei Bundesbehörden tätig. Professor Günther leitete viele Jahre C4/W3-Lehrstühle an den Universitäten Duisburg-Essen und Bonn. An die Technische Erzherzog-Johann-Universität Graz, Österreich und an das State Key Laboratory of Food Science and Technology der Nanchang University, V.R. China, wurde er als Honorarprofessor berufen.



Innerhalb der Weltbevölkerung sind 25 % von starkem Eisenmangel betroffen, der in den meisten Fällen die Ursache für eine Anämie (Blutarmut) darstellt. Dies sind über 1,5 Mrd. Menschen. Zählt man nun noch die Personen hinzu, die ohne Anämie eine leichtere Form des Eisenmangels besitzen und bei denen damit schon wichtige Körperfunktionen und Enzymtätigkeiten beeinträchtigt sind, so erhöht sich die Anzahl der Betroffenen noch einmal beträchtlich. Damit ist ein Eisendefizit die bedeutendste Mangelversorgung weltweit. Diese Tatsache zeigt die Tragweite auf, mit der man es hier zu tun hat, und das große Interesse an dieser Thematik spiegelt sich in aktuellen Übersichtsartikeln wider, in denen der derzeitige Stand der Ätiologie, Pathophysiologie, Epidemiologie, Diagnostik und Therapie behandelt wird (Cappellini et al. 2020; Lopez et al. 2016).

Die Beseitigung von Eisenmangel ist eine sehr wichtige Aufgabe im Rahmen der Aktivitäten zur Verbesserung der Welternährung, wie auch die weltweite Versorgung mit Mikronährstoffen (versteckter Hunger) insgesamt (Willett et al. 2019; Haddad et al. 2016). So ist eines der globalen Ziele der World Health Organization (WHO) die Reduzierung der Anämie bei Frauen im reproduktiven Alter um 50 % bis 2025 (WHA 2012; WHO 2014). Ein großes Thema also, natürlich auch mit politischen Dimensionen. Interessant ist auch in diesem Zusammenhang, dass der Eisengehalt wichtiger Nahrungsmittelpflanzen mit dem zu erwartenden CO₂-Anstieg in der Atmosphäre in den nächsten Jahren deutlich abnehmen wird und sich damit das Problem noch verstärken wird (Myers et al. 2014).

In diesem Kontext steht auch die globale Diskussion zur Erhöhung des Eisengehalts in pflanzenbasierten Lebensmitteln, die dann zur Vermeidung von Eisenmangel in der Ernährung der Weltbevölkerung eingesetzt werden können (Vasconcelos et al. 2017). Diese sogenannte Biofortifikation bedeutet insgesamt die Anreicherung von wichtigen Nährstoffen (z. B. auch Zink, Calcium, essentielle Fett- und Aminosäuren, Antioxidantien und Vitamine) in pflanzlichen Lebensmitteln durch klassische züchterische Maßnahmen oder auch grüne Gentechnik. So wurde 2016 der Welternährungspreis (World Food Prize) für die Thematik

Biofortifikation (Anreicherung von Eisen, Zink und beta-Carotin in Gemüse oder Getreide) verliehen.

Ein Eisenmangel ist zu 80 % die Ursache einer Anämie. Durch gezielt ausgewählte Lebensmittelkombinationen kann man einem Eisenmangel stark entgegenwirken, auch bei vegetarischer und veganer Lebensweise oder anderen besonderen Ernährungsformen. Dies möchte ich Ihnen in diesem Buch zeigen und Ihnen einfache Lösungsvorschläge vorstellen. Weiterhin werde ich Ihnen neue Erkenntnisse über die Biochemie und die Bioverfügbarkeiten von Eisen präsentieren und aktuelle Entwicklungen in der Diagnose von Eisenmangel skizzieren.

Blut besteht etwa zur Hälfte aus flüssigem Blutplasma und zur anderen Hälfte aus verschiedenen Zellen. Einen Großteil dieser Zellen machen die Erythrozyten aus (Abb. 1.1). Diese transportieren Sauerstoff aus der Lunge zu den Organen und Geweben. Die roten Blutkörperchen entwickeln sich aus Stammzellen des Knochenmarks. Diesen Vorgang nennt man Erythropoese. Dabei ist auch die Verfügbarkeit von Eisen sehr wichtig.

Die Erythrozyten wurden erstmals 1658 von dem Mediziner Jan Swammerdam (1637–1680) aus Amsterdam beschrieben. Er gehörte zu den ersten Forschern, die das Mikroskop verwendeten, das von dem Niederländer Antoni van Leeuwenhoek (1632–1723) maßgeblich entwickelt wurde und das eine wichtige Voraussetzung für den Beginn der wissenschaftlichen Hämatologie war (Abb. 1.2).

Die Geschichte vom Eisen im Blut ist nach der mikroskopischen Entdeckung der roten Blutzellen sehr wechselhaft verlaufen und erforderte wieder

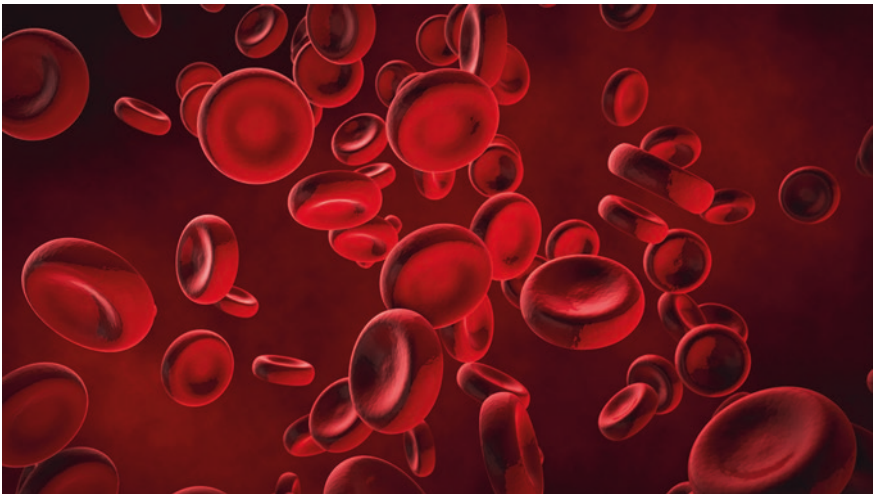


Abb. 1.1 Darstellung von Erythrozyten. Sie bestehen zu 90 % der Trockenmasse aus Hämoglobin und haben die Form von bikonkaven Scheiben mit mittleren Durchmessern von 7,5 μm . Die Dicke beträgt 2 μm am Rand und 1 μm in der Mitte beim Menschen. Durchschnittliche Lebensdauer 4 Monate, Entwicklungszeit 7 Tage, Neuproduktion etwa 1 %/Tag = etwa 200 Mrd./Tag oder 2 Mio./Sekunde. (© flashmovie/stock.adobe.com)

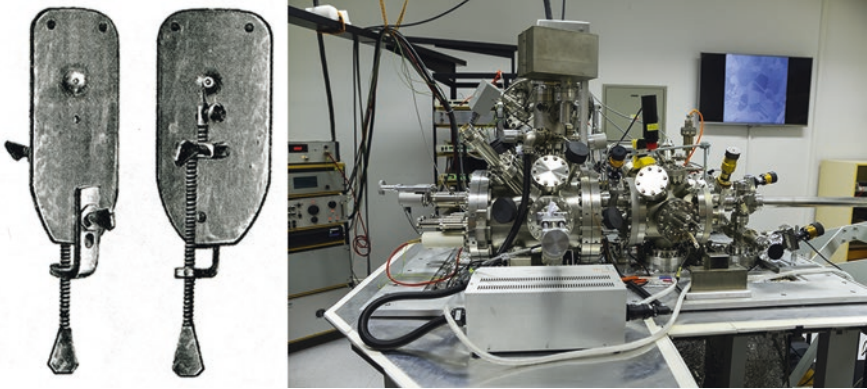


Abb. 1.2 Model eines Leeuwenhoek-Mikroskops (links, wesentlicher Teil ist eine kleine Glasperle in der runden Aussparung) und modernes Elektronenmikroskop (rechts). Die Entwicklung der mikroskopischen Techniken ist noch nicht zu Ende. So wurde 2017 der Nobelpreis für Chemie für die Entwicklung der Kryoelektronenmikroskopie verliehen, mit der die Auflösung bei der Untersuchung von Biomolekülen wesentlich gesteigert werden kann. Am Forschungszentrum Jülich wird das Hochleistungs-Elektronenmikroskop „Pico“ betrieben, mit einem Auflösungsvermögen von 50 pm, also wesentlich geringer als der Atomabstand in chemischen Bindungen (C–C-Einfachbindungslänge: 154 pm). Der pm-Bereich ist 1 Mio. Mal kleiner, als der μm -Bereich der Erythrozyten (Abb. 1.1). (links: © Juulijis/stock.adobe.com, rechts: © Martina/stock.adobe.com)

das Zusammenspiel zahlreicher wissenschaftlicher Disziplinen (Coley 2001; Beutler 2002; Poskitt 2003). Im Jahre 1713 – also gute 50 Jahre nach der ersten Beschreibung der Erythrozyten – wurde erstmals Eisen im Blut durch die französischen Chemiker und Mediziner Nicolas Lemery (1645–1715) und Francois Geoffroy (1672–1731) entdeckt (vgl. Abb. 1.3). Das Blut wurde von ihnen verkohlt. Durch diesen Prozess entstanden magnetische Eisenpartikel, die sie mithilfe eines Magneten nachweisen konnten.

Dann dauerte es weitere 100 Jahre, bis diese Befunde in der Allgemeinheit anerkannt wurden und bis zur endgültigen Bestätigung durch den schwedischen Biochemiker Jöns Jakob Berzelius, da man erst Anfang des 19. Jahrhunderts erstmals das Wissen zur Durchführung von genauen Analysen besaß. Diese Kunst wurde insbesondere in der berühmten Experimentalschule von Justus von Liebig in Gießen entwickelt (Abb. 1.4).

Weitere 100 Jahre später begannen dann die genauen Untersuchungen der Eisenanteile im Blut mit der Entdeckung des Elements in den roten Blutkörperchen und die Beschreibung der verschiedenen Eisenbindungsformen Hämoglobin, Myoglobin, Eisenenzyme, Ferritin, Hämosiderin und Transferrin, deren Struktur und Funktion in dem folgenden Kap. 2 beschrieben werden. Die wesentlichen Arbeiten dazu fanden im 20. Jahrhundert statt.

Zu Beginn des 21. Jahrhunderts wurde dann die Sicht auf die Biochemie und Physiologie des Eisens abermals erweitert. Zusammenfassende Buchpublikationen



Abb. 1.3 Das Collège de France in Paris, die Wirkungsstätte von Francois Geoffroy, der auch für seine Tafeln zur Aufstellung von chemischen Affinitäten sehr bekannt war, in denen auch Eisen (Fer, franz.) schon seinen Platz hatte. (© David Bostock/[stock.adobe.com](https://www.stock.adobe.com))

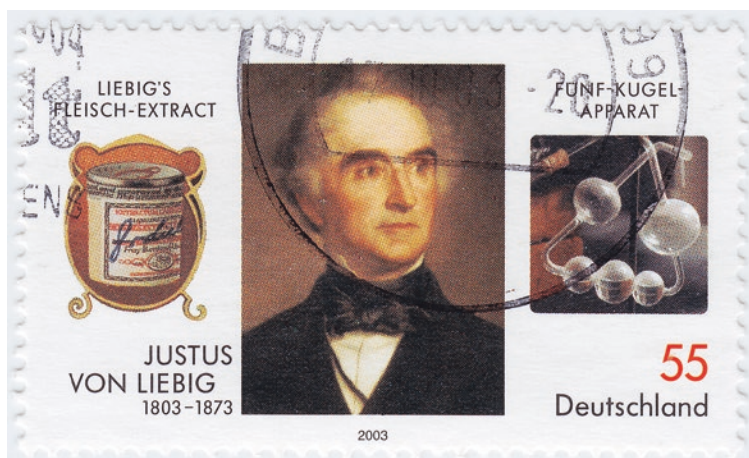


Abb. 1.4 Briefmarke mit dem Portrait von Justus von Liebig (1803–1873). Er arbeitete als Chemieprofessor in Gießen und München und war wesentlich an der wissenschaftlichen Entwicklung der Analytischen Chemie und Lebensmittelchemie beteiligt. Auf der rechten Seite sieht man seine Fünf-Kugel-Apparatur zur Bestimmung von Kohlenstoff, ein Symbol für den Beginn der exakten, quantitativen Chemie. Sein Fleischextrakt, ein Nährstoffkonzentrat, das im 19. Jahrhundert sehr bekannt war, ist auf der linken Seite abgebildet. (© konstantant/[stock.adobe.com](https://www.stock.adobe.com))

zur Wirkung des Elements auf psychische Prozesse, Hirnfunktion und zur Pathologie von Eisenmangel und Überschuss, Diagnose und klinische Aspekte von Krankheiten des zentralen Nervensystems und Fragen zur öffentlichen Gesundheit

spiegeln diese nun noch mehr vernetzte Sichtweise wider (Yehuda und Mostofsky 2010).

Auch die Entdeckung der zentralen Rolle von Hepcidin für die Steuerung des Eisenhaushalts (Nicolas et al. 2001) und die Aufklärung der molekularen Vorgänge bei der Regulation der Erythropoese und der Sauerstoffaufnahme von Zellen durch den Hypoxie-induzierten Faktor HIF gaben der Forschung zur Eisenbiochemie neue und wichtige Impulse. Für die Entdeckungen im Zusammenhang mit HIF wurde im Jahre 2019 der Nobelpreis für Medizin an den Briten Ratcliffe und die beiden US-Amerikaner Kaelin und Semenza verliehen (vgl. Abschn. 3.1).

Wie man sieht, befindet sich die Forschung zum Thema seit der Entdeckung von Eisen im Blut im Jahre 1713 noch immer in einem stetigen Fluss, und auch heute sind viele Fragen rund um die Eisenbiochemie im Körper noch offen, und man beginnt gerade erst richtig zu begreifen, welche umfassenden Funktionen dieses Element im menschlichen Körper, neben den bekannten Aufgaben im Sauerstofftransport, zu erfüllen hat.

Auch in den Ernährungs- und Lebensmittelwissenschaften stehen aktuell alt-hergebrachte Einschätzungen auf dem Prüfstand. So ist pflanzliches Eisen viel wertvoller, als man bisher dachte, und es werden neue Aufnahmewege für Ferritin-Eisen in Darmzellen diskutiert, die die Bioverfügbarkeit von Phyto-Eisen in einem neuen Licht erscheinen lassen. Die Referenzwerte für die tägliche Zufuhr von Eisen der internationalen Fachgesellschaften werden zurzeit intensiv diskutiert, da sie sich zum Teil erheblich unterscheiden, und wissenschaftliche Untersuchungen zu den Bindungsformen von Eisen in den unterschiedlichen Lebensmitteln sind aktueller denn je, da sie die Resorption im Organismus wesentlich beeinflussen.

Zusammenfassend ergibt sich also für das Thema Ernährung und Eisen ein hochinteressantes und spannendes Betätigungsfeld der verschiedenen wissenschaftlichen Disziplinen, wo gerade an deren Grenzflächen immer wieder überraschende Erkenntnisse gewonnen werden können.

Literatur

- Beutler E (2002) History of iron in medicine. *Blood Cells Mol Dis* 29:297–308
- Cappellini MD, Musallam KM, Taher AT (2020) Iron deficiency anaemia revisited. *J Intern Med* 287:153–170
- Coley NG (2001) Early blood chemistry in Britain and France. *Clin Chem* 47:2166–2178
- Haddad L, Hawkes C, Waage J, Webb P, Godfray C, Toulmin C (2016) Food systems and diets: Facing the challenges of the 21st century. Global Panel on Agriculture and Food Systems for Nutrition, University of London Institutional Repository
- Lopez A, Cacoub P, Macdougall IC, Peyrin-Biroulet L (2016) Iron deficiency anaemia. *The Lancet* 387:907–916
- Myers S, Zanobetti A, Kloog I, Huybers P, Leakey A, Bloom A, Carlisle E, Dieterich L, Fitzgerald G, Hasegawa T, Holbrook N, Nelson R, Ottman M, Raboy V, Sakai H, Sartor K, Schwartz J, Seneweera S, Tausz M, Usui Y (2014) Rising CO₂ threatens human nutrition. *Nature* 510:139–142
- Nicolas G, Bennoun M, Devaux L, Beaumont C, Grandchamp B, Kahn A, Vaulont S (2001) Lack of hepcidin gene expression and severe tissue iron overload in upstream stimulatory factor 2 (USF2) knockout mice. *Proc Natl Acad Sci USA* 98:8780–8785

- Poskitt EME (2003) Early history of iron deficiency. *Br J Haematol* 122:554–562
- Vasconcelos MW, Gruissem W, Bhullar NK (2017) Iron biofortification in the 21st century: setting realistic targets, overcoming obstacles, and new strategies for healthy nutrition. *Curr Opin Biotechnol* 44:8–15
- Willett W, Rockström J, Loken B, Springmann M, Lang T, Vermeulen S, Garnett T, Tilman D, DeClerck F, Wood A, Jonell M, Clark M, Gordon L, Fanzo J, Hawkes C, Zurayk R, Rivera J, De Vries W, Sibanda L, Afshin A, Chaudhary A, Herrero M, Agustina R, Branca F, Lartey A, Fan S, Crona B, Fox E, Bignet V, Troell M, Lindahl T, Singh S, Cornell S, Reddy S, Narain S, Nishtar S, Murray C (2019) Food in the anthropocene: the EAT-Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. *The Lancet* 393:447–492
- World Health Assembly HA65.6. Comprehensive implementation plan on maternal, infant and young child nutrition. In: Sixty-fifth World Health Assembly Geneva, 21–26 May 2012. Resolutions and decisions, annexes. Geneva: World Health Organization; 2012:12–13. Accessed: 6 Oct. 2014
- World Health Organization. Global targets 2025. To improve maternal, infant and young child nutrition. Accessed: 6. Oct. 2014
- Yehuda, S. & Mostofsky, D. (eds) (2010) Iron deficiency and overload: from basic biology to clinical medicine. Humana Press, Springer Science+Business Media LLC New York.