

**Wissenschaftliche Zusammenfassung
Blutdiagnostik bei Eisenmangel im Sport
– Was gehört dazu?**

Abstract

Für Sportler ist Eisen ein Schlüsselfaktor für Leistung und Ausdauer. Eisen ist essenziell für unzählige Stoffwechsel- und andere Prozesse im Körper, darunter Sauerstofftransport (Hämoglobin) und Energiestoffwechsel in Muskelzellen. Selbst ein Eisenmangel ohne Anämie („Iron Deficiency Non-Anemia“) kann Müdigkeit und Leistungsabfall verursachen. Die Symptome sind meist unspezifisch, daher ist die gezielte Laborabklärung beim Verdacht wichtig. Im folgenden Beitrag besprechen wir die relevanten Eisenstoffwechsel-Parameter und ihre Interpretation speziell bei Sportlern – jenseits der bereits bekannten Ursachen des Eisenverlusts im Training [1,2].

Wichtige Laborparameter im Eisenstoffwechsel Ferritin

Ferritin spiegelt die Eisenspeicher im Blut wider. Normal liegen die Werte bei Männern etwa bei 30–300 µg/L, bei Frauen bei 15–150 µg/L. Unterhalb von etwa 30 µg/L gelten die Speicher als erschöpft (sicherer Mangel, 30-50 gilt als Graubereich). Bei Sportlern wird empfohlen, einen Wert von mindestens 50 µg/L anzustreben, zum Beispiel vor einem Höhengaufenthalt.

Achtung: Ferritin ist auch ein Akut-Phase-Protein. Entzündungen oder kürzliches Training können den Ferritinwert hochsetzen, während ein akuter Wassermangel ihn senken kann. Daher sollte Ferritin immer gemeinsam mit Entzündungsmarkern (z.B. CRP) bewertet werden um einen entzündlich überdecken Mangel auszuschließen [2,3,5].

Serumeisen

Das Serumeisen misst die zirkulierende Eisenmenge im Blut. Der Normalbereich bei Männern beträgt: ca. 75–150 µg/dL, bei Frauen: 60–140 µg/dL (1 µg/dL = 0,179 µmol/L). Es unterliegt ausgeprägten Schwankungen (tageszeitabhängig, nach der letzten Mahlzeit etc.). Ein erniedrigter Wert kann auf Eisenmangel hindeuten, ist aber allein wenig verlässlich. Oft wird stattdessen (oder zusätzlich) die Transferrinsättigung ermittelt. Ein abfallendes Serumeisen nach intensivem Training oder Hämolyse (z.B. durch Footstrike-Hämolyse bei Läufern) ist typisch, aber meist nur kurzfristig [3]

		Serum Ferritin		Serum Iron		Interleukin-6	
		Baseline	Post-Exercise	Baseline	Post-Exercise	Baseline	Post-Exercise
Serum Ferritin	mean	19.0	20.1	16.2	18.1 [†]	1.3	3.8 [†]
<30	SD	5.5	5.0	7.0	7.0	2.4	6.1
Serum Ferritin	mean	43.1	45.9 [†]	19.3	20.5	1.1	3.5 [†]
30-50	SD	5.6	6.8	9.9	9.4	0.3	2.6
Serum Ferritin	mean	69.9	75.5 [†]	17.8	20.1 [†]	1.7	4.3 [†]
50-100	SD	13.5	17.7	8.4	8.2	2.1	2.8
Serum Ferritin	mean	152.5	165.3 [†]	18.0	21.3 [†]	1.1	5.6 [†]
>100	SD	56.6	62.1	4.9	5.9	1.0	6.7

Quelle: https://www.researchgate.net/figure/Mean-SD-baseline-and-post-exercise-serum-ferritin-serum-iron-and-Interleukin-6_fig3_261102729

Transferrinsättigung („TSAT“)

Die TSAT berechnet sich aus dem Verhältnis von Serumeisen zu Gesamt-Eisenbindungskapazität (TIBC). Sie zeigt, wie stark der Eisen-Transporter Transferrin mit Eisen beladen ist. Normal sind ca. 20–50 % (bzw. 15–50 % bei Frauen). Sinkt die TSAT dauerhaft unter ~20 %, gilt dies als sicheres Zeichen eines Eisenmangels. Bei Eisenüberladung würde die Sättigung dagegen deutlich über 50 % steigen. Für Sportler ist die TSAT besonders wichtig, weil sie relativ unabhängig von Entzündungen ist. Typisch ist eine niedrige TSAT (<20 %), wenn trotz normalem Ferritin nur wenig Eisen im Blut verfügbar ist (funktioneller Mangel) [3,4].

Löslicher Transferrinrezeptor (sTfR)

Der lösliche Transferrinrezeptor (sTfR) korreliert mit der Menge an eisenfordernden Zellen (z.B. jungen Erythrozyten). Typischerweise liegt er bei Gesunden unter 2,0 mg/L. Ein erhöhter sTfR-Wert zeigt einen gesteigerten Eisenbedarf des Körpers an (z.B. bei Eisenmangel oder gesteigerter Erythropoese).

Vorteil: Anders als Ferritin wird sTfR kaum durch akute Entzündung verfälscht. Ein **hoher sTfR bei normalem Ferritin** deutet daher auf einen verdeckten Mangel hin. Oft wird auch der sTfR/Ferritin-Index (Log Ratio) berechnet, um frühe Mangelphasen besser zu erkennen [5].

Hepcidin

Hepcidin ist das zentrale Regelhormon des Eisenstoffwechsels. Es wird in der Leber gebildet und blockiert den Eisentransport (hemmt das Protein Ferroportin). Normalwerte liegen bei wenigen ng/mL (laborabhängig).

Bedeutung: Ein Anstieg von Hepcidin (etwa bei Entzündungen oder nach intensivem Training) hemmt die Eisenaufnahme aus dem Darm und die Freisetzung aus Speicherzellen. Bei Sportlern steigt Hepcidin typischerweise einige Stunden nach intensivem Training an (bedingt durch IL-6 und Entzündungsreaktion). Ein dauerhaft hoher Hepcidin-Wert kann einen funktionellen Mangel verursachen, obwohl die Eisenspeicher noch gut gefüllt sind. Umgekehrt signalisiert ein sehr niedriger Hepcidinwert (bei gleichzeitigem Mangel an Eisenparametern) eine ausgereizte Speicherlage und maximalen Eisenbedarf [1].

MCV

Der **MCV-Wert (Mean Corpuscular Volume)** ist ein weiterer Parameter in der Blutdiagnostik, wenn ein **Eisenmangel** vermutet wird. Er beschreibt die mittlere Größe der roten Blutkörperchen und liefert Hinweise auf die Art einer möglichen Anämie. Bei einem Eisenmangel sind die Erythrozyten typischerweise **mikrozytär**, was sich in einem erniedrigten MCV-Wert (< 80 fl) widerspiegelt. Diese Veränderung tritt jedoch meist erst bei fortgeschrittenem Eisenmangel auf. Deshalb wird der MCV immer im Zusammenhang mit weiteren Laborwerten wie **Hämoglobin, Ferritin, Transferrin und MCH** beurteilt, um eine sichere Abgrenzung zu anderen Anämieformen – etwa durch Vitamin-B12- oder Folsäuremangel – zu ermöglichen. [8]

C-reaktives Protein (CRP)

CRP ist kein Eisenparameter, aber essenziell zur Interpretation. Es ist ein allgemeiner Entzündungsmarker: Werte <5 mg/L gelten als normal. Steigt das CRP an (z.B. durch Krankheit, intensive Belastung, Zellschäden oder andere Ursachen), so kann auch Ferritin deutlich ansteigen, selbst bei Eisenmangel. Deswegen sollte bei erhöhtem CRP eher auf sTfR und TSAT geachtet werden anstelle von ausschließlich Ferritin oder Serum Eisen. In einer

Wissenschaftliche Zusammenfassung zu Eisenmangel und Blutdiagnostik

Blutuntersuchung für Sportler empfiehlt sich generell, CRP (oder hs-CRP) mitzubestimmen, um Entzündungsverfälschungen zu erkennen [5].

Typische Befundkonstellationen bei Sportlern

- **Früher Eisenmangel (eisenmangel ohne Anämie):** Ferritin ist niedrig ($<30 \mu\text{g/L}$), TSAT $<20\%$, sTfR erhöht, aber Hb und Hk noch normal. CRP unauffällig. Dieses Profil zeigt mangelnde Speicher bei intakter Hämoglobinproduktion.
- **Eisenmangelanämie:** Wie oben, aber zusätzlich erniedrigtes Hämoglobin/Hämatokrit. Hinzu kommen oft Mikrozytose (niedriges MCV) und geringes MCH.
- **Funktioneller Mangel:** Ferritin ist normal oder sogar erhöht (aufgrund von Entzündungen oder Training), TSAT aber niedrig ($<20\%$), sTfR erhöht und Hepcidin hoch. CRP mäßig erhöht. Dieses Muster findet sich z.B. nach exzessivem Training: Der Körper blockiert Eisen durch Entzündungsreaktionen, obwohl Speicher vorhanden sind.
- **Sportanämie / Verdünnungsanämie:** Typisch bei Ausdauersportlern mit großen Blutvolumina. Hier sind Hämoglobin und Hämatokrit niedrig-normal, Ferritin Werte normal, TSAT normal. Kein echter Mangel: Der Körper hat mehr Plasmavolumen, was die Konzentration von Blutparametern verdünnt. Wichtig ist hier, nicht vorschnell zu substituieren, sondern eher Eisenparameter (Ferritin, TSAT) zu prüfen.
- **Akuter Trainingseffekt:** Unmittelbar nach intensivem Training können Serumeisen und TSAT vorübergehend abfallen, während Ferritin leicht ansteigt (Stichwort „Acute Phase“). Ein Blutbild sollte daher idealerweise erst 24–48 Stunden nach einer harten Einheit erfolgen, um Fehldeutungen zu vermeiden [1,2,3,4,5].

Einfluss von Entzündung, Training und Volumenverschiebung

Körperliche Belastung wirkt kurzfristig entzündungsähnlich.

IL-6-Anstieg: Nach anstrengender Einheit schüttet der Körper Interleukin-6 aus, was innert 3–6 Stunden zu einem Peak des Hepcidins führt. Hochreguliertes Hepcidin blockiert kurzfristig die Eisenaufnahme. Deshalb sollte man Eisenpräparate (oder eisenreiche Mahlzeiten) möglichst nicht direkt nach dem Training einnehmen.

Entzündungen: Jede Infektion oder Gewebsverletzung erhöht CRP, was Ferritin stark ansteigen lässt. Bei hohem CRP sind Ferritin und auch Transferrin unzuverlässig, dafür sind sTfR und HB-Bestimmung stabiler.

Plasmavolumen: Intensive Ausdauerbelastung erweitert das Blutvolumen. Ein besser hydratisierter Sportler kann messbar niedrigere Hb/Hk- und auch leicht niedrigere Ferritin-Konzentrationen zeigen. Darum empfehlen Experten, vor der Blutabnahme auf einen ausgeglichenen Flüssigkeitshaushalt zu achten und keine starke Dehydrierung zu haben.

Moderne Labormethoden im Überblick

Zur Messung der Eisenparameter werden meist immunologische Verfahren eingesetzt. **ELISA (Enzyme-linked Immunosorbent Assay):** Hier bindet ein Antikörper spezifisch an den Zielstoff (z.B. Ferritin) auf einer festen Phase, und ein Enzymsignal (Farb- oder Lichtproduktion) zeigt die Menge an. Dieses Prinzip findet z.B. bei speziellen Ferritin- oder sTfR-Kits Anwendung. **Nephelometrie /**

Immunoturbidimetrie: Diese Methoden messen die Trübung (Lichtstreuung) von Antigen-Antikörper-Komplexen in der Probe. Sie werden häufig für Proteine wie CRP oder Transferrin genutzt. Ein Lichtstrahl trifft auf die Probe und wird am Komplex gestreut; die Streuintensität ist proportional zur Stoffmenge. Moderne Labors arbeiten mit automatisierten Immunoassays (meist chemilumineszente oder fluoreszenzbasierte ELISA-Varianten) und hochsensitiven Nephelometern. Dadurch lassen sich alle besprochenen Marker (Ferritin, Transferrin, TSAT, sTfR, CRP, teilweise Hepcidin) in diagnostischer Genauigkeit messen [6,7].

Empfehlungen zur Blutabnahme

Die Aussagekraft der Eisenwerte hängt stark von standardisierten Bedingungen ab. Sportmediziner empfehlen daher:

- **Morgens entnehmen:** Ideal ist eine morgendliche Blutabnahme (ggf. nüchtern), da dann die Serumeisenwerte am höchsten sind.
- **12–24 h Pause nach Training:** Mindestens einen Tag Trainingspause vor der Abnahme einlegen, um akute Effekte zu vermeiden.
- **Gute Hydration:** Vor dem Blutabnehmen ausreichend trinken (Harn-spezifisches Gewicht $<1,025$), damit Konzentrationsverzerrungen durch Dehydrierung gering sind.
- **Keine akute Erkrankung oder Muskelkater:** Bei Infekten, ausgeprägtem Muskelschmerz oder anderen Stresssituationen können vorübergehend CRP und Ferritin steigen – solche Termine sollten verschoben werden.
- **Bei Frauen zyklisch planen:** Bei weiblichen Athletinnen möglichst standardisiert in der Zyklusphase (nicht während der Menstruation) messen, da sowohl Hepcidin als auch Ferritin zyklisch schwanken können.
- **Mehrere Parameter erfassen:** Kombiniere mindestens Hämoglobin, Ferritin und TSAT. Zusätzlich helfen CRP (zum Entzündungsstatus) und sTfR (zur Kontrolle) bei der korrekten Interpretation. Idealerweise wird zweimal jährlich im Rahmen der Vorsorge ein Eisenstatus kontrolliert, oder bei bekannten Problemen auch öfter [5].

Übersichtstabelle der Eisenparameter im Blut

Parameter	Normbereich (Männer/Frauen)	Hinweis / Diagnostik
Ferritin	30–300 $\mu\text{g/L}$ / 15–150 $\mu\text{g/L}$	$<30 \mu\text{g/L}$ → Eisenmangel (bei Elite-Athleten bis 50 empfohlen); starkes Ansteigen bei Entzündung
Serum-Eisen	75–150 $\mu\text{g/dL}$ / 60–140 $\mu\text{g/dL}$	Niedrig bei Mangel; steigt nach Hämolyse; tageszeitabhängig (morgens hoch)
Transferrin (TIBC)	250–450 $\mu\text{g/dL}$	Steigt bei Eisenmangel, sinkt bei Entzündung

Wissenschaftliche Zusammenfassung zu Eisenmangel und Blutdiagnostik

Parameter	Normbereich (Männer/Frauen)	Hinweis / Diagnostik
Transferrin-Sättigung (TSAT)	20–50 %	<20 % → Eisenmangel; <15 % stark Mangelverdacht
sTfR (löslicher TfR)	~1–2,5 mg/L	Erhöht (ab ~2 mg/L) bei Mangel; unabhängig vom Entzündungsstatus
Hepcidin	~0–20 ng/mL (laborabhängig)	↑ bei Entzündung/Training (Blockade); ↓ bei reinen Speichermangel
CRP	<5 mg/L	Entzündungsmarker: → Kontrolle von Ferritin- und Transferrinwerten

Insgesamt erfordert die Interpretation der Eisenwerte bei Sportlern den Abgleich mehrerer Parameter. Nur so kann funktioneller Mangel erkannt werden, oder der Unterschied zur reinen Volumendilution abgeschätzt werden. Eine standardisierte Blutentnahme und sorgfältige Beurteilung durch Experten im Zusammenhang mit Training und Entzündungsstatus sind deshalb entscheidend [3,4].

Quellen

1. S. Abugrain & H.R. van der Vliet (2023) „Iron Status and Physical Performance in Athletes“. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10608302/#:~:text=Iron%20is%20an%20essential%20mineral%3B,for%20different%20enzymes%20and%20proteins> (Letzter Zugriff: 02.09.2025).
2. Mb et al. (2023) „The IRONy in Athletic Performance“. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10708480/#:~:text=including%20poor%20dietary%20choices%2C%20increased,19> (Letzter Zugriff: 02.09.2025).
3. MSD Manuals. (o. J.). *Typische Serumwerte für Eisen, Ferritin und Transferrinsättigung*. Abgerufen von <https://www.msdmanuals.com/de/profi/multimedia/able/typische-normale-serumwerte-f%C3%BCr-eisen-eisenbindungskapazit%C3%A4t-ferritin-und-transferrins%C3%A4ttigung> (Letzter Zugriff: 02.09.2025).
4. Medscape. (o. J.). *Transferrin Saturation: Reference Range, Interpretation, Collection and Panels*. Abgerufen von <https://emedicine.medscape.com/article/2087960-overview> (Letzter Zugriff: 02.09.2025).
5. German Journal of Sports Medicine. (2024). *Approaches to Prevent Iron Deficiency in Athletes*. Abgerufen von <https://www.germanjournalsportsmedicine.com/archive/archive-2024/issue-5/approaches-to-prevent-iron-deficiency-in-athletes/> (Letzter Zugriff: 02.09.2025).
6. BMG Labtech. (o. J.). *Nephelometrie / Immunoturbidimetrie – moderne Labormethoden zur Proteinbestimmung*. Abgerufen von <https://www.bmglabtech.com/en/nephelometry/#:~:text=Nephelometry%20was%20first%20applied%20in,are%20mainly%20used%20to%20analyze> (Letzter Zugriff: 02.09.2025).
7. National Center for Biotechnology Information. (o. J.). *ELISA-Technik zur Bestimmung von Ferritin und sTfR*. Abgerufen von <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK555922/#:~:text=Enzyme%20immunoassays%20,labeled%20reactants.%2017> (Letzter Zugriff: 02.09.2025).
8. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK545275/>