Erhitzerbeutel weitergedacht – Befunde auswerten

Passivierung, Lokalelement und Opferanode - Erläutern üben

LNCU.de
ID 45416
CC-BY-SA 4.0
Online abrufen



Läuft da wirklich ein Korrosionsvorgang in den Beuteln ab? – *Kocherlos*

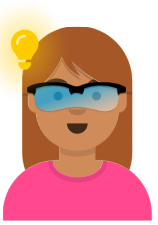
Könnte man sich das Pulver nicht einfach selbst zusammenmischen? – *Funkenflug*





Ist wirklich jedes einzelne Pulverkorn ein kleines Lokalelement? – *Waldläuferin*

Im Wald lässt sich das kaum klären, im Labor schon. Wir haben Versuche und Befunde dazu zusammengestellt. Schau sie dir an: Welcher Befund beantwortet welche Frage – und wie überzeugend?



Ihr Auftrag: Was belegen die Befunde?

M1 und M2 enthalten sechs Befunde zum Heizpulver: vier Versuche aus dem Schullabor, Messkurven aus einer Patentschrift und eine Aufnahme aus einem Forschungslabor. Sehen Sie sich die Versuche und die Beobachtungen dazu genau an.

1. **Werten** Sie jeden Befund fachsprachlich **aus**: Was wurde beobachtet, und wie lässt es sich auf der Teilchenebene und, wo möglich, mit Teilgleichungen deuten?
2. **Ordnen** Sie die Befunde, wo möglich, den drei Fragen aus dem Forum **zu** und **beurteilen** Sie, wie stark jeder Befund eine Antwort stützt (stark, teilweise, kaum). Halten Sie alles in einer Belegmatrix fest.
3. **Formulieren** Sie für Kocherlos, Funkenflug und Waldläuferin je eine kurze Antwort, die sich auf die stärksten Befunde stützt.

M1 Versuche aus dem Schullabor

Zwei Nachweise

Phenolphthalein färbt sich in alkalischer Lösung pink; es zeigt also Hydroxid-Ionen an. Die Lösung von Kaliumhexacyanoferrat(III), auch rotes Blutlaugensalz genannt, bildet mit Eisen(II)-Ionen einen blauen Niederschlag.

A · Nagel und Magnesiumband

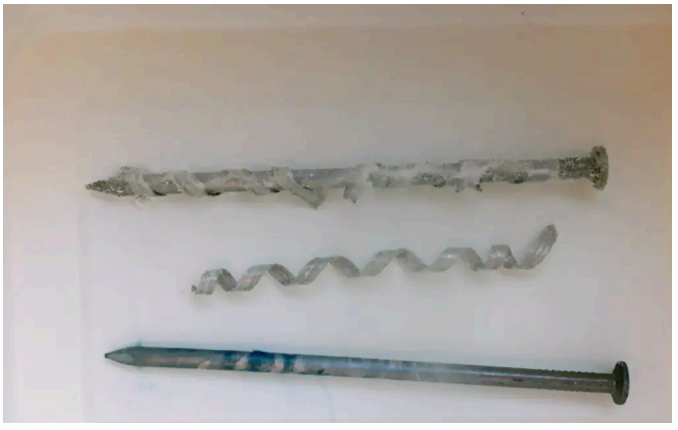


Abb. 2: Standbild aus dem Video nach etwa 3 Minuten 20 Sekunden: die drei Ansätze getrennt nebeneinander.[7]

Befund A: Nagel und Magnesiumband

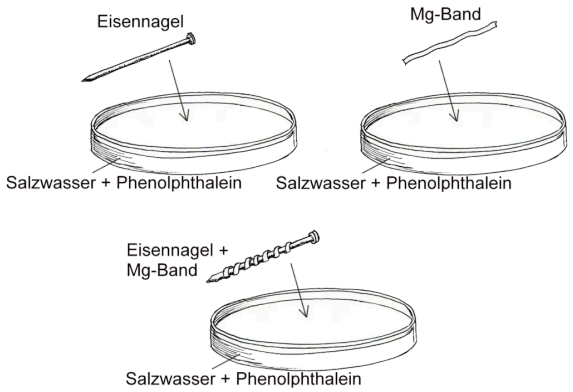
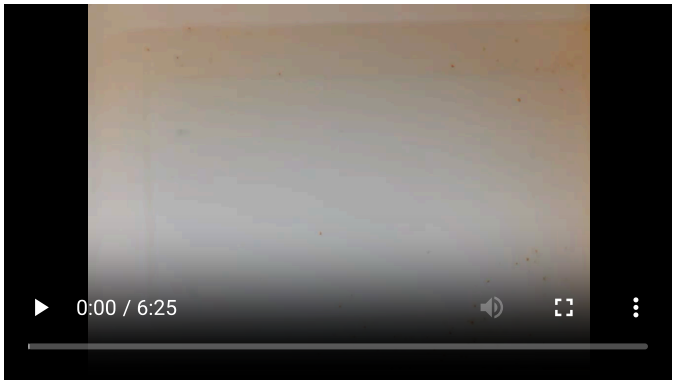


Abb. 1: Eisennagel, Magnesiumband und ein mit Magnesiumband umwickelter Eisennagel in Salzwasser mit Phenolphthalein; im Video ist der Lösung zusätzlich Kaliumhexacyanoferrat(III) zugesetzt. [6]

Was gemacht wurde: Salzwasser mit etwas Phenolphthalein- und Kaliumhexacyanoferrat(III)-Lösung vorgelegt. Darin liegen ein blank geschmirgelter Eisennagel, ein Stück Magnesiumband und ein Eisennagel, der fest mit Magnesiumband umwickelt ist. Die Zeichnung zeigt den Aufbau in drei Schalen; im Video liegen die drei Ansätze nebeneinander in einer Schale. Gegen Ende des Videos wird das lose Magnesiumband an den einzelnen Eisennagel gelegt.

Was beobachtet wurde: Das Video zeigt den Verlauf über gut sechs Minuten; das Standbild zeigt die drei Ansätze nach etwa 3 Minuten 20 Sekunden.

Woher der Befund stammt: Eigener Versuch im Schullabor, gefilmt von Gregor von Borstel; mit Material aus der Sammlung nachstellbar.



Video 1: Video des Versuchs: die drei Ansätze nebeneinander in einer Schale. [7]

B · Strom zwischen den Metallen

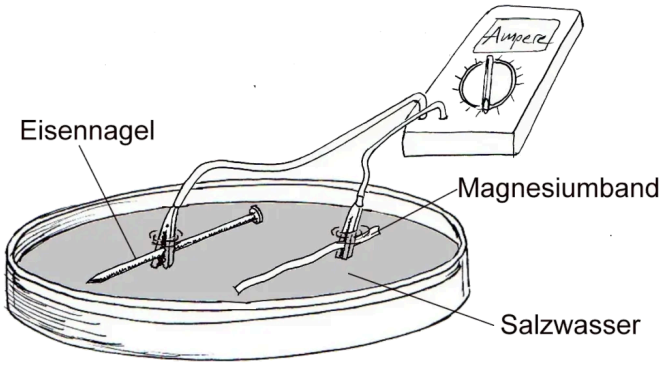


Abb. 3: Eisennagel und Magnesiumband liegen getrennt in Salzwasser und sind über ein Strommessgerät leitend verbunden. [6]

Befund B: Strom zwischen den Metallen

Was gemacht wurde: Ein Eisennagel und ein Magnesiumband liegen getrennt voneinander in einer Schale und sind über Kabel mit einem Strommessgerät verbunden. Gemessen wurde in Salzwasser und in Leitungswasser bei zwei Abständen; zum Schluss berührten sich Nagel und Band direkt.

Was beobachtet wurde:

- Salzwasser, Abstand etwa 5 cm: 1,5 mA
- Salzwasser, Abstand etwa 1 cm: 6 mA
- Leitungswasser, Abstand etwa 5 cm: 0,15 mA
- Leitungswasser, Abstand etwa 1 cm: 0,6 mA
- Nagel und Band berühren sich direkt: 0 mA
- An der Klemme am Magnesiumband kommt es zu einer Gasentwicklung

Woher der Befund stammt: Eigene Messungen im Schullabor, Andreas Böhm; [8] die Abstände sind geschätzt.

C · Pulver im Reagenzglas

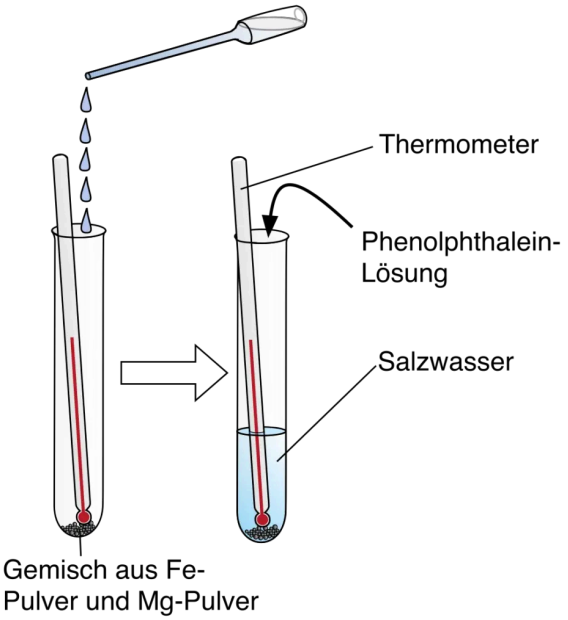


Abb. 4: Beispielhafter Aufbau mit Magnesium- und Eisenpulver. [6]

Befund C: Pulver im Reagenzglas

Was gemacht wurde: In vier Reagenzgläsern wurde je eine Spatelspitze Pulver mit Salzwasser übergossen, dem etwas Phenolphthalein-Lösung zugesetzt war; gemessen wurde die Temperatur. Verwendet wurden Magnesiumpulver, Eisenpulver, ein Gemisch aus beiden und Heizpulver aus einem Heizbeutel mit Heizpads ohne Salz.

Was beobachtet wurde:

- **Magnesiumpulver:** wenige Gasbläschen, schwache Pinkfärbung, Temperaturanstieg um nur etwa 1 °C
- **Eisenpulver:** keine sichtbare Reaktion
- **Gemisch aus Magnesium- und Eisenpulver:** kaum anders als Magnesiumpulver allein
- **Heizpulver:** heftige Gasentwicklung, kräftige Pinkfärbung, Temperaturanstieg von 21 °C auf 40 °C in 3 Minuten

Woher der Befund stammt: Eigene Messungen im Schullabor, Andreas Böhm. [8] Das Mischungsverhältnis des Gemischs, die Wassermenge und die Messdauer sind nicht dokumentiert. Der Versuch wurde auch mit Salzwasser und Wasser im Vergleich durchgeführt.

D · Nachweise in der Petrischale

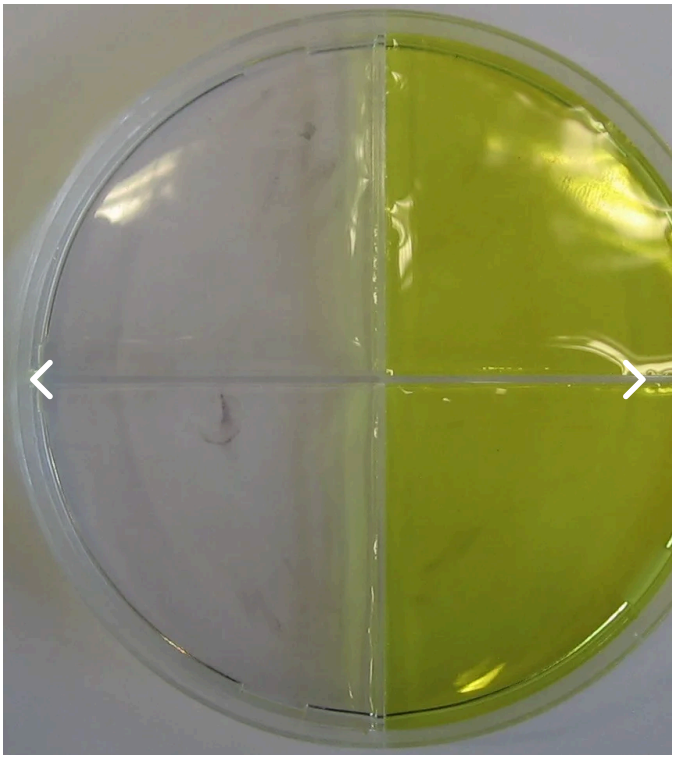
Befund D: Nachweise in der Petrischale

Was gemacht wurde: In die vier Kammern einer Petrischale mit gesättigter Kochsalzlösung werden gegeben

- **Kammer 1** (oben links): Heizpulver, mit Phenolphthalein
- **Kammer 2** (unten links): Magnesiumpulver, mit Phenolphthalein
- **Kammer 3** (oben rechts): Heizpulver, mit Kaliumhexacyanoferrat(III)
- **Kammer 4** (unten rechts): Eisenpulver, mit Kaliumhexacyanoferrat(III)

Was beobachtet wurde: Die Fotoserie zeigt die Schale zu drei Zeitpunkten.

Woher der Befund stammt: Eigener Versuch, fotografiert von Gregor von Borstel. Angelehnt an V2 aus „Lokalelementen auf der Spur“, aber mit Pulvern in Kochsalzlösung statt in Gelatine.



Galerie 1: Die Petrischale vor der Zugabe der Pulver, kurz danach und einige Minuten später. [9]

M2 Befunde aus einem Patent und einem Forschungslabor

Diese Befunde lassen sich im Schullabor kaum oder gar nicht nachstellen. Sie stammen aus Veröffentlichungen anderer.

E · Messkurven der Erfinder

Was die Erfinder beobachteten und folgerten:

Befund E: Messkurven der Erfinder

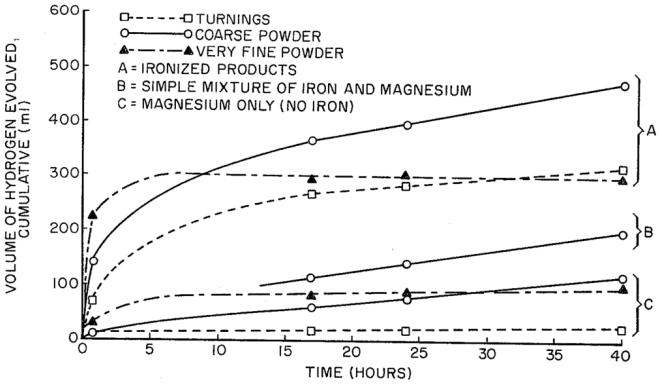


Abb. 5: Volumen des insgesamt entwickelten Wasserstoffs (in mL) bei der Reaktion verschiedener Magnesiumproben mit Seewasser bei 68 °C über 40 Stunden.[10]

Legende übersetzt:

- A = ironized products: Magnesium mit eingemahlenem Eisen
- B = simple mixture of iron and magnesium: einfache Mischung aus Eisen- und Magnesiumpulver
- C = magnesium only (no iron): nur Magnesium
- Quadrate (turnings): Magnesiumspäne; Kreise (coarse powder): grobes Magnesiumpulver; Dreiecke (very fine powder): sehr feines Magnesiumpulver

Was gemacht wurde: Für ein Patent, das sie 1974 anmeldeten, untersuchten zwei Forscher der US Navy, wie schnell Magnesium mit Seewasser Wasserstoff bildet.
So entstanden die Proben aus grobem Pulver:

- **Probe C:** 0,5 g Magnesium allein.
- **Probe B:** 0,5 g Magnesium, mit gleich viel Eisenpulver einfach gemischt.
- **Probe A:** Magnesium und Eisenpulver im Verhältnis 1 : 1 wurden 16 Stunden in einer Kugelmühle gemahlen; danach wurde das lose Eisen abgesiebt. Von Probe A wurden 0,5 g eingesetzt; sie enthielten fast nur noch eingemahlenes Eisen.[5]

Außerdem pressten die Erfinder je 1 g Magnesiumpulver mit 500 mg, mit 50 mg oder ganz ohne Eisenpulver zu Tabletten.

> „Merely mixing finely divided magnesium samples with iron powder caused them to react with seawater twice as rapidly.“[11]

> „The ironized magnesium reacted with seawater 50 times or so more rapidly than the simple mixture of iron and magnesium.“[12]

> „Hydrogen was produced most rapidly by the pellets containing the greatest amount of iron.“[13]

> „Intimate galvanic contact between the iron and magnesium was apparently achieved by the compressing process.“[14]

Woher der Befund stammt: Patentschrift US 3,942,511 der US Navy, angemeldet 1974, erteilt 1976. Gemessen wurde in Seewasser bei 68 °C, nicht in Kochsalzlösung bei Zimmertemperatur. Ein Patentamt prüft vor allem, ob eine Erfindung neu ist; die Messdaten begutachten keine anderen Fachleute wie bei einem Fachartikel. Die Erfinder berichten selbst, dass eine zweite Charge des eingemahlenen Pulvers fast 20-mal schneller reagierte als die erste.

F · Blick ins Pulverkorn

Befund F: Blick ins Pulverkorn

Was gemacht wurde: Ein Rasterelektronenmikroskop (REM) tastet die Probe mit einem Elektronenstrahl Punkt für Punkt ab. Der Detektor (im Bild: RBSD) misst die Elektronen, die von der Probe zurückgestreut werden. Je größer die mittlere Ordnungszahl der Atome an einer Stelle, desto mehr Elektronen werden zurückgestreut und desto heller erscheint sie im Bild.[16]

Was beobachtet wurde: Die Aufnahme war im Original 250-fach vergrößert; der Balken unten links entspricht 100 µm. Die Pfeile und die Beschriftungen

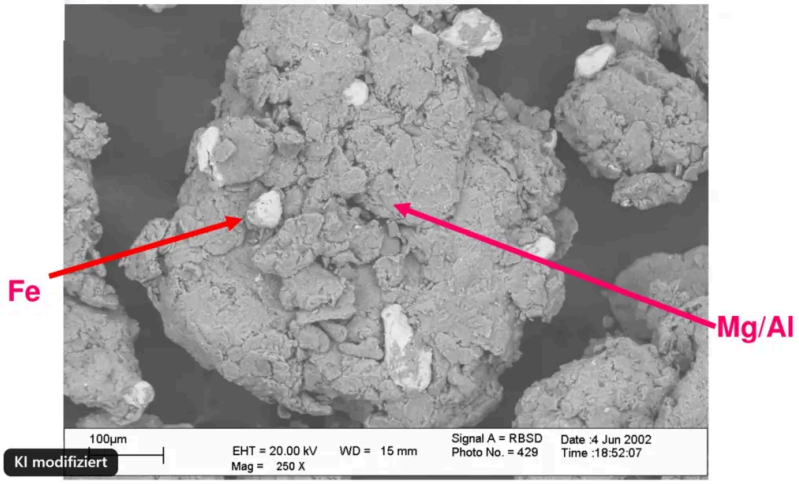


Abb. 6: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme von Pulverkörnern einer Magnesium-Aluminium-Legierung mit eingemahlenen Eisenkörnchen, im Original 250-fach vergrößert. Es handelt sich um eine indische Entwicklung, nicht um das Pulver des US-Heizbeutels. Bildzitat nach § 51 UrhG, nicht unter CC BY-SA 4.0.[15]

„Fe“ und „Mg/Al“ stammen aus der Originalaufnahme.

Woher der Befund stammt: Vortragsfolie von A. K. Shah aus dem Naval Materials Research Laboratory (NMRL) in Ambernath, das zur indischen Verteidigungsforschung (DRDO) gehört und Werkstoffe für die indische Marine entwickelt;[17] PDF-Fassung von 2007, heute nicht mehr abrufbar, ohne Peer Review.[15] Eine Elementanalyse ist nicht angegeben.

Weitergedacht

4 Legt man Magnesiumband in Kupfersulfat-Lösung, scheidet sich auf dem Magnesium Kupfer ab, und nach kurzer Zeit entsteht deutlich mehr Wasserstoff als in reinem Wasser. **Erklären** Sie diese Beobachtung.

5 In Befund E liefert das sehr feine Pulver (Dreiecke) zunächst am schnellsten Wasserstoff, nach 40 Stunden aber weniger als das grobe Pulver. Laut Patentschrift enthielt das feine Pulver nur etwa 66 % freies Magnesium.[5] **Stellen** Sie begründete Vermutungen **auf**, warum gerade feines Pulver weniger freies Magnesium enthält.

M3 Noch einmal Weitergedacht



Die Blaufärbung in Kammer 4 beweist gar nichts. Das rote Blutlaugensalz greift das Eisen doch selbst an! – *Funkenflug*

Überprüfen Sie diesen Einwand mithilfe der Redoxpotentiale $[Fe(CN)_6]^{3-}/[Fe(CN)_6]^{4-}$ ($E° = +0{,}36$ V) und Fe^{2+}/Fe ($E° = -0{,}44$ V).

Beurteilen Sie, ob er die Deutung von Befund D entkräftet.

Einzelnachweise

1 Böhm, A.; von Borstel, G. (2014): Heater Meals – eine experimentelle Lernaufgabe zur Korrosion für die Sekundarstufe II. CHEMKON 21 (2), 79–84, https://doi.org/10.1002/ckon.201410221 (Volltext kostenpflichtig).

2 Strem Chemicals: Sicherheitsdatenblatt Magnesium powder (99%), nicht stabilisiert, Nr. 93-1298 (20.07.2021): H250, H261, https://www.strem.com/uploads/sds/sd93-1298_DE.pdf (letzter Zugriff 20.10.2026).

3 Esmaily, M. u. a. (2017): Fundamentals and advances in magnesium alloy corrosion. Progress in Materials Science 89, 92–193, Open Access (CC BY 4.0), https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2017.04.011.

4 Brady, M. P. u. a. (2015): Film breakdown and nano-porous $Mg(OH)_2$ formation from corrosion of magnesium alloys in salt solutions. Journal of The Electrochemical Society 162 (4), C140–C149, https://doi.org/10.1149/2.0171504jes.

5 Black, S. A.; Jenkins, J. F. (US Navy): US-Patent 3,942,511 „Sandwiched structure for production of heat and hydrogen gas“, angemeldet 19.09.1974, erteilt 09.03.1976, Google Patents: https://patents.google.com/patent/US3942511A/en, auch bei Espacenet: https://worldwide.espacenet.com/patent/search?q=pn%3DUS3942511A (letzter Zugriff 20.10.2026).

6 Zeichnung: Andreas Böhm.

7 Video: Gregor von Borstel.

8 Messungen: Andreas Böhm, 2020.

9 Fotos: Gregor von Borstel, 26.04.2012.

10 Black, S. A.; Jenkins, J. F. (US Navy): US-Patent 3,942,511 „Sandwiched structure for production of heat and hydrogen gas“, angemeldet 19.09.1974, erteilt 09.03.1976, Fig. 3, Google Patents: https://patents.google.com/patent/US3942511A/en, auch bei Espacenet: https://worldwide.espacenet.com/patent/search?q=pn%3DUS3942511A (letzter Zugriff 20.10.2026). Ausschnitt, gemeinfrei.

11 Übersetzt: Allein das Mischen fein verteilter Magnesiumproben mit Eisenpulver ließ sie doppelt so schnell mit Seewasser reagieren. Black, S. A.; Jenkins, J. F. (US Navy): US-Patent 3,942,511 „Sandwiched structure for production of heat and hydrogen gas“, angemeldet 19.09.1974, erteilt 09.03.1976, Google Patents: https://patents.google.com/patent/US3942511A/en, auch bei Espacenet: https://worldwide.espacenet.com/patent/search?q=pn%3DUS3942511A (letzter Zugriff 20.10.2026).

12 Übersetzt: Das eingemahlene Magnesium („ironized magnesium“) reagierte etwa 50-mal schneller mit Seewasser als die einfache Mischung. Black, S. A.; Jenkins, a. a. O.

13 Übersetzt: Am schnellsten entstand Wasserstoff bei den Tabletten mit dem meisten Eisen. Black, S. A.; Jenkins, J. F. a. a. O.

14 Übersetzt: Der enge galvanische Kontakt zwischen Eisen und Magnesium entstand offenbar durch das Pressen. Black, S. A.; Jenkins, J. F. (US Navy)a. a. O.

15 Shah, A. K. (Naval Materials Research Laboratory, Ambernath, Indien): „Low Cost, High Capacity, Field Ration Heater (FRH)“, Vortragsfolien, Folie 14, PDF-Fassung von 2007; ehemals unter www.on-line-foods.com/tech_paper/akshah.pdf veröffentlicht, heute nicht mehr abrufbar; ohne Peer Review. Ausschnitt ohne Folientitel, Aufnahme und Beschriftung unverändert.

16 Goodge, J. (2007): „Back-scattered Electron Detector (BSE)“. Geochemical Instrumentation and Analysis, Science Education Resource Center (SERC), Carleton College, https://serc.carleton.edu/research_education/geochemsheets/bse.html (letzter Zugriff 19.10.2026).

17 Defence Research and Development Organisation (DRDO), Indien: „Naval Materials Research Laboratory (NMRL)“, https://drdo.gov.in/labs-establishment/historical-background/naval-materials-research-laboratory-nmrl (letzter Zugriff 19.10.2026).