

MNU Bundeskongress Saarbrücken 2026

Chemie des Dopings

Wolfgang Proske

Martin Holfeld

www.chemie-und-sport.de



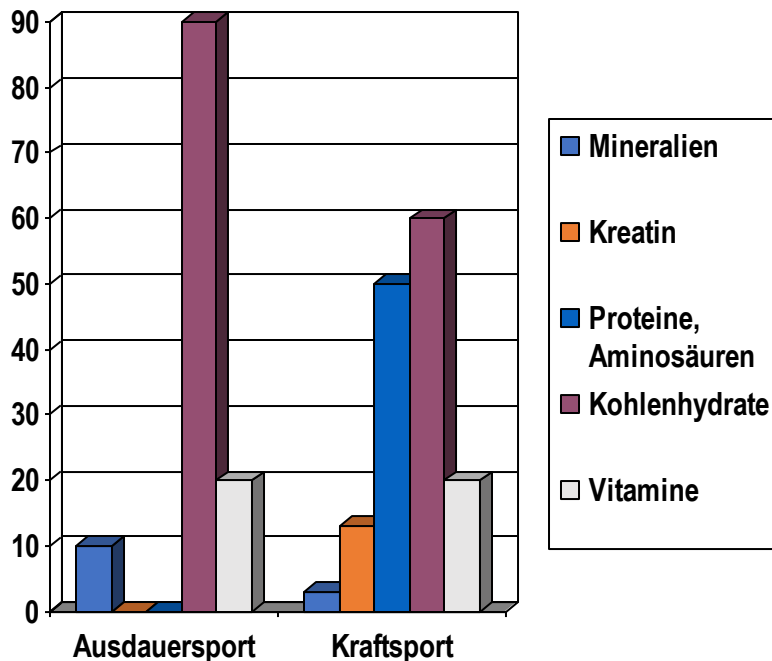
Erfahrungen

- Hohe Akzeptanz auch bei komplexen Fragestellungen, weil ein aktueller Bezug vorhanden ist
- Große Motivation der Schüler an Vorgängen im eigenen Körper
- Sowohl bei Kollegen als auch bei Schülern ist ein großes Interesse an fächerverbindenden und fachübergreifenden Unterrichtsinhalten aus „Chemie und Sport“ vorhanden

Nahrungsergänzung

- **Substitution** ist der Ersatz von für den Körper unbedingt notwendigen Substanzen, die für den Energie- und Baustoffwechsel benötigt werden und vom Organismus nicht selbst synthetisiert werden können.
- Bei der **Supplementierung** wird bewusst eine Überkonzentration einer Substanz, die leistungssteigernd wirken soll, im Körper aufgebaut.

Zusammensetzung von Nahrungsergänzungsmitteln



- **Ausdauersport:**

- **Kohlenhydrate**

- Vitamine

- Mineralien

Kraftsport

- Kohlenhydrate

- Vitamine

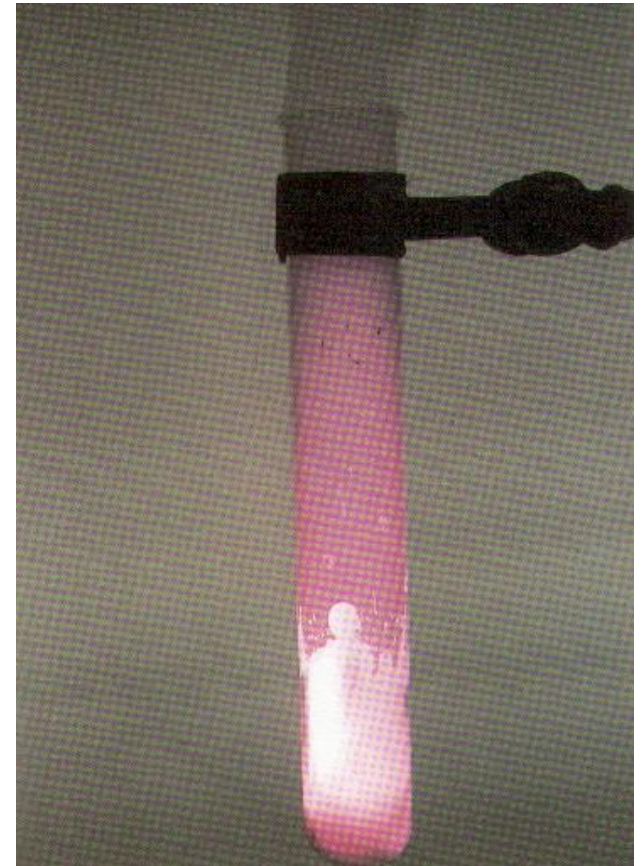
- **Proteine und Aminosäuren**

- **Kreatin**

Zucker als Energielieferant

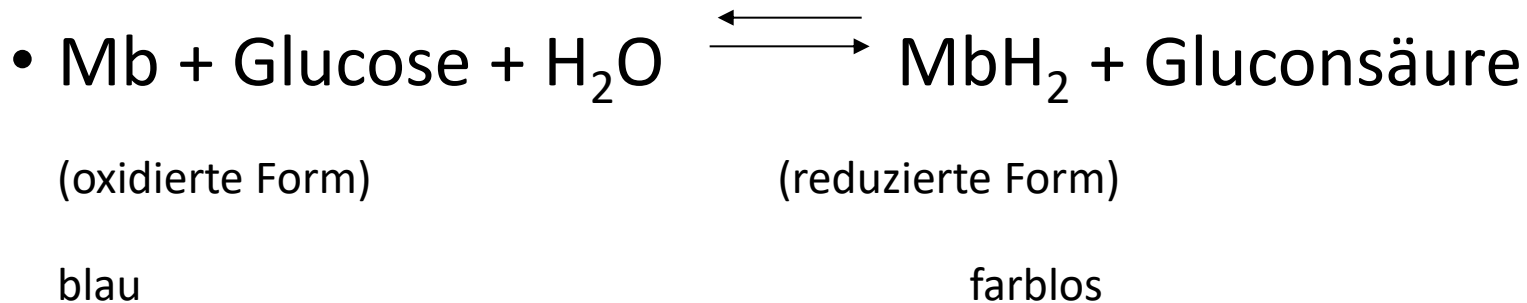
Ein kleines Stück Würfelzucker wird mit Kaliumchlorat in heftiger exothermer Reaktion oxidiert. Im Energiestoffwechsel des Organismus werden die Kohlenhydrate schrittweise verbrannt.

Bei diesem Versuch wird die gesamte Energie auf einen Schlag freigesetzt.

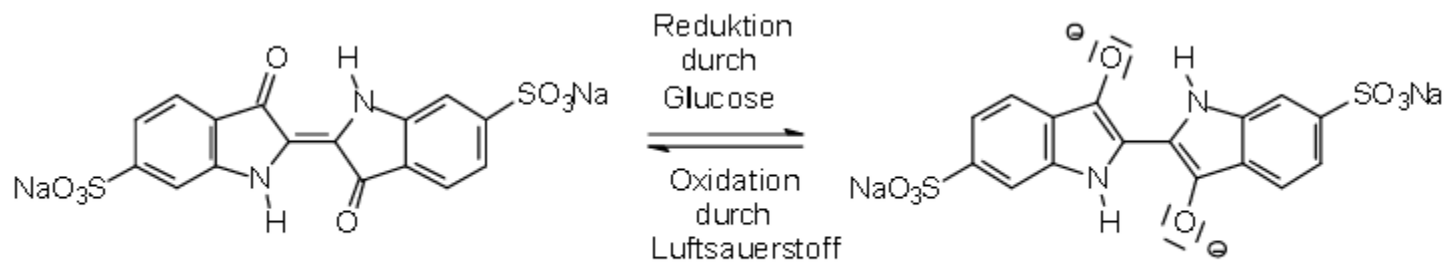


Bottle - Experimente mit Isostar

- Sportgetränke enthalten einen beachtlichen Anteil an Zucker. Die Glucose kann direkt nachgewiesen werden, aber auch indirekt als Reduktionsmittel im Blue-Bottle Experiment.



Die Ampel-Bottle mit Indigocarmin

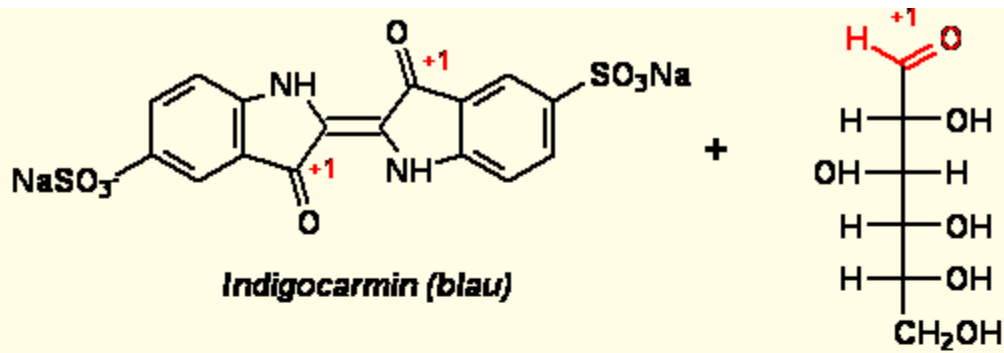


Indigocarmin (blau)

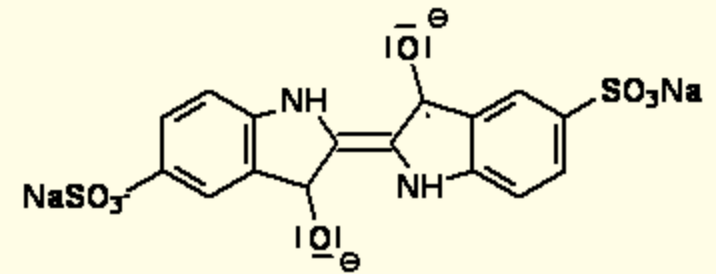
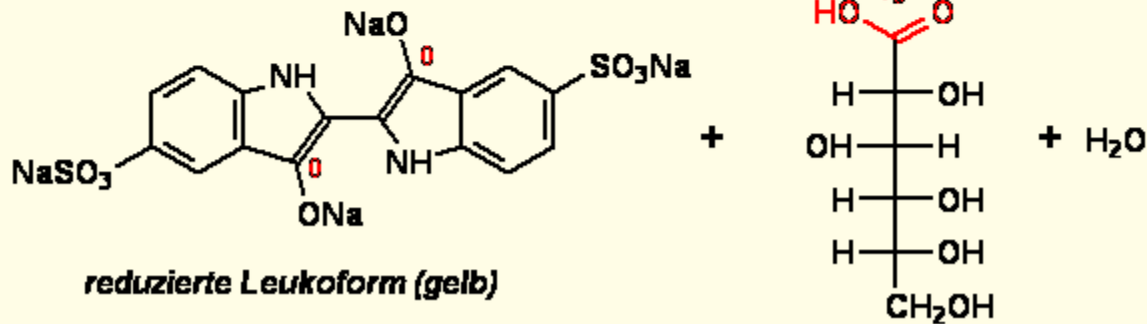
"Leuko"-Indigo carmin (goldgelb)



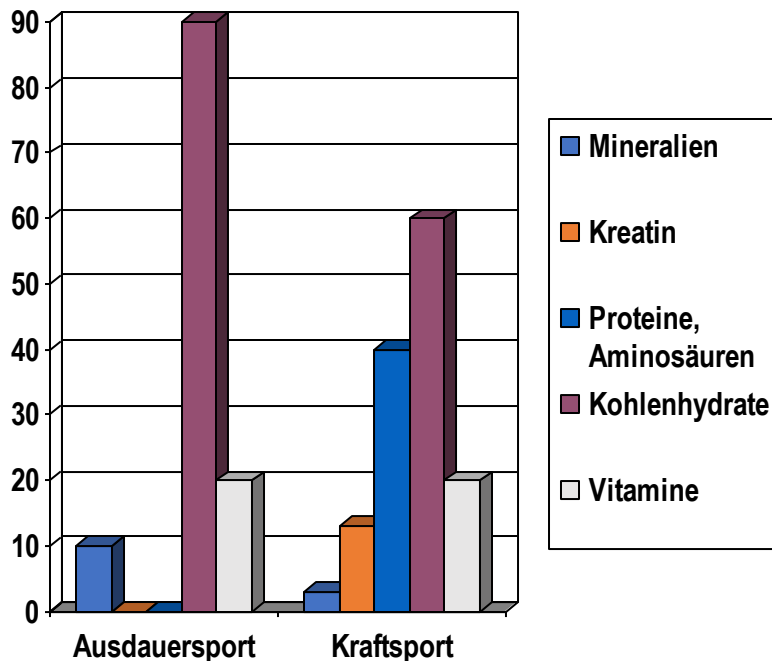
Reduktion von Indigo-Carmin



+ 2 NaOH



Zusammensetzung von Nahrungsergänzungsmitteln



- **Ausdauersport:**

- **Kohlenhydrate**

- Vitamine

- Mineralien

Kraftsport

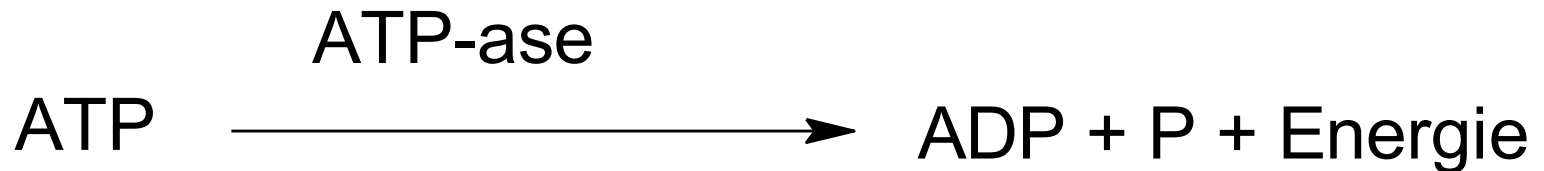
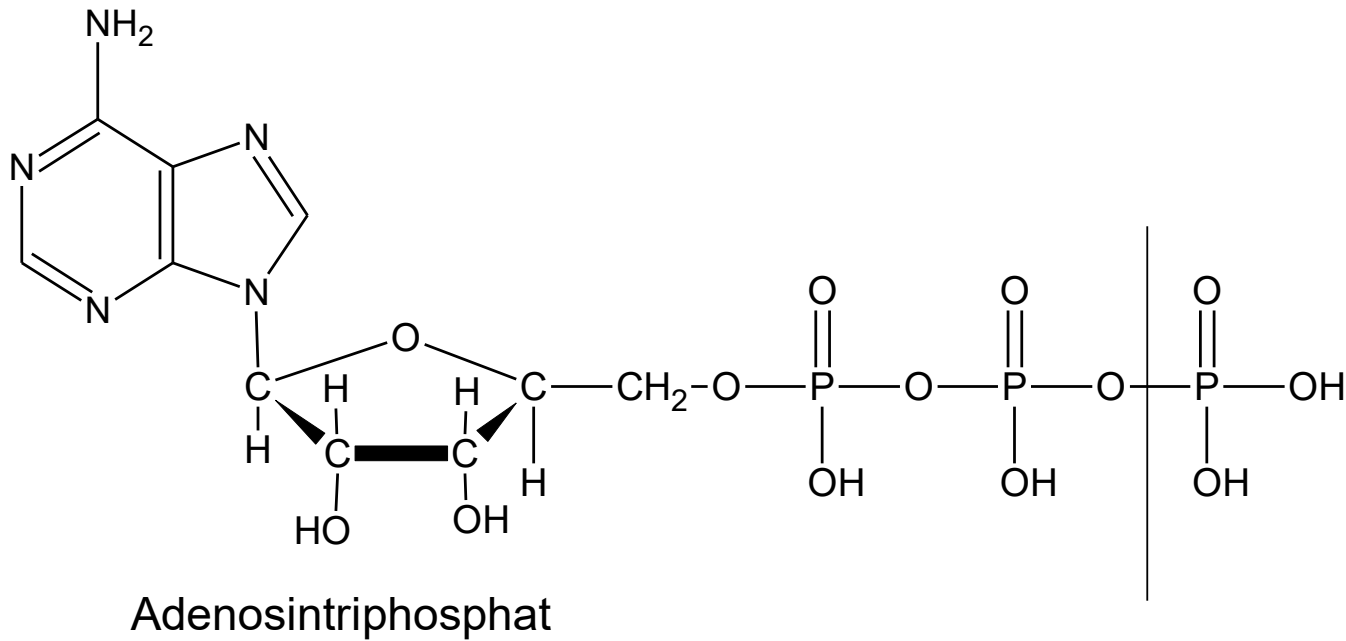
- Kohlenhydrate

- Vitamine

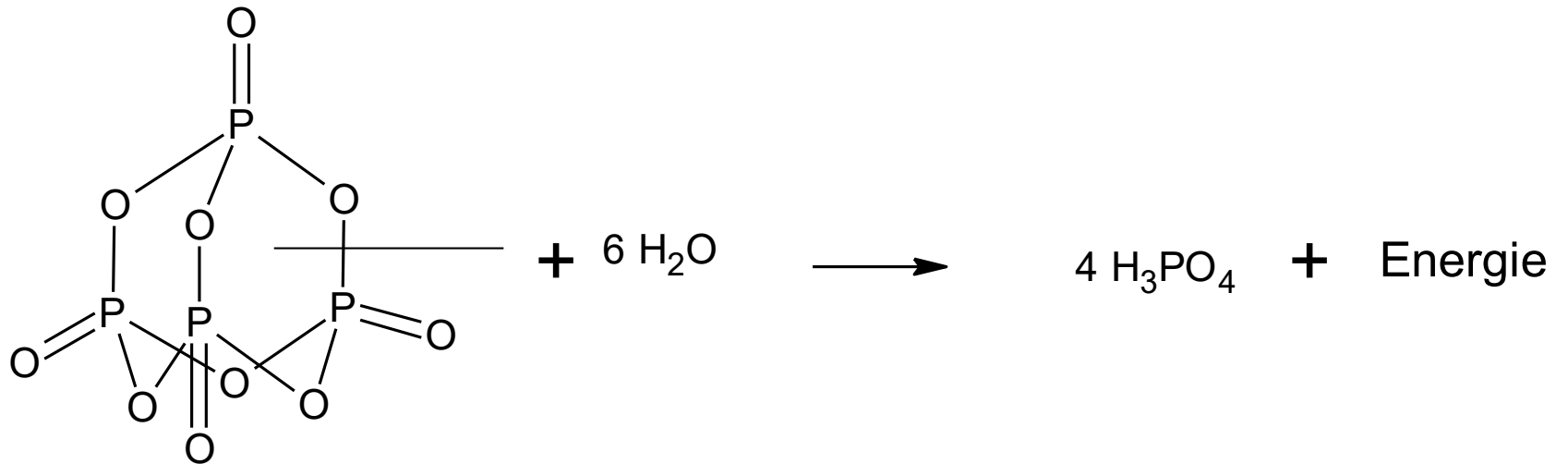
- **Kreatin**

- **Proteine und Aminosäuren**

ATP-Energiewährung der Zelle

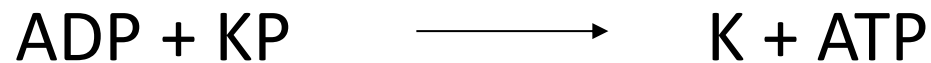


Hydrolyse von Phosphorpentoxid

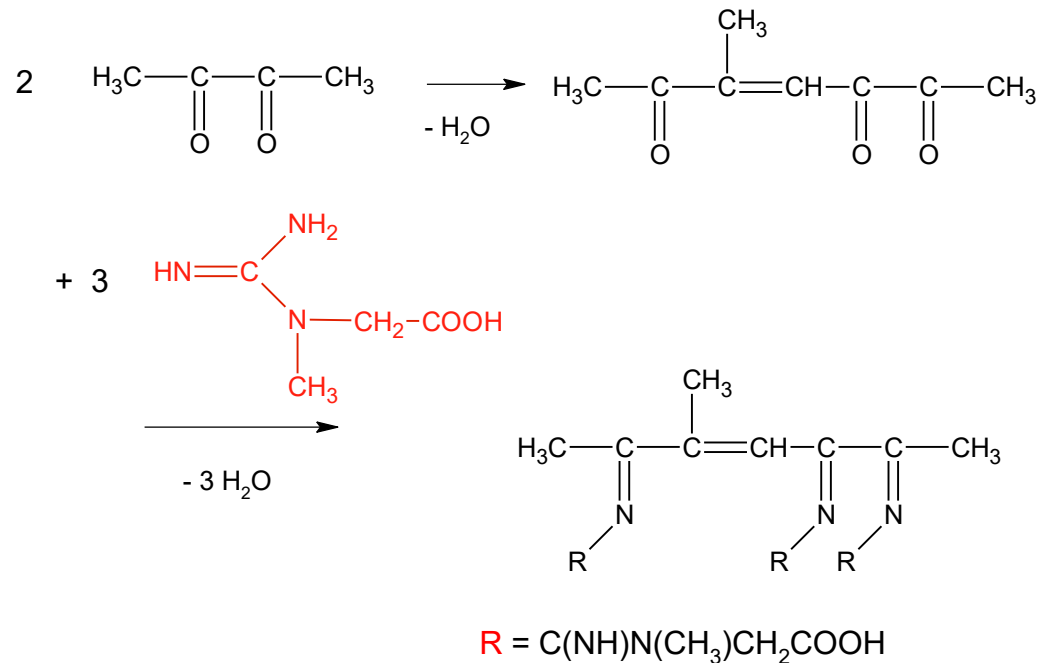


Kreatin - das Wundermittel

- Kreatinphosphat bildet zusammen mit Adenosin-triphosphat (ATP) und ADP die energiereichen Phosphate. Das Kreatinphosphat (KP) stabilisiert im Wesentlichen eine hohe ATP-Konzentration in der Muskelzelle. Bei der Resynthese des ATP gibt das Kreatinphosphat seinen Phosphatrest an das ADP ab. ATP wird nachgebildet:



Reaktionsgleichung zum Kreatinnachweis



Was tun, wenn Nahrungsmittelergänzung
nicht mehr hilft????????



Doping in der Antike



- Das Herz eines Löwen verleiht Ausdauer.
 - Stierhoden steigern die Kraft vor dem Wettkampf.
 - Athleten mussten 30 Tage vor den Spielen in Elis sein (60 km vor Athen).
-
- Aussonderung ungeeigneter Athleten.
 - vegetarische Kost zur Vermeidung von geheimen Rezepturen zur Steigerung der Leistungsfähigkeit.

Dopingdefinition des Europarats (1963)

- Doping ist die Einnahme oder der Gebrauch körperfremder Substanzen in jeder Form und physiologischer Substanzen in abnormaler Form mit dem Ziel einer unfairen Leistungssteigerung für den Wettkampf.
- Außerdem müssen verschiedene physiologische Maßnahmen des Sportlers als Doping angesehen werden.

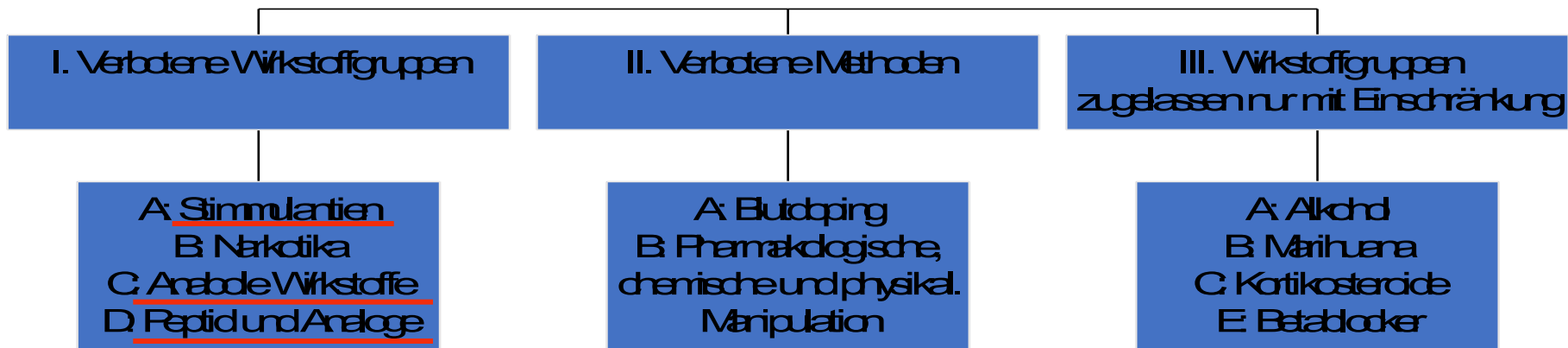


Nahrungsmittelergänzung oder Doping?

- Ein 70kg schwerer Mann verfügt über 120g Kreatin (95% liegen als Kreatinphosphat vor) in der Muskulatur.
- Die Umsatzrate (Ausscheidung über Urin /Aufnahme durch die Nahrung und Eigensynthese) liegt bei 2g/Tag.
- Die endogene Biosynthese produziert täglich 1g in Leber und Bauchspeicheldrüse und 1g in der Nahrung (Fisch/Fleisch).
- Bei der Olympiade in Sydney hat der Ringer Alexander Leypold täglich **über 100g Kreatin** zu sich genommen!

Dopingdefinition des IOC von 1996

Dopingdefinition der medizinischen Kommission des internationalen Olympischen Komitees von (IOC) 1996



WADA-Liste ab 1.1.2004

WADA- Reglement

Verbotene Substanzen und Methoden während des Wettkampfes

Stimulanzien

Narkotika

Cannabinoide

Anabole Wirkstoffe

Anabole Steroide

Clenbuterol, Salbutamol

Peptidhormone

β2-Agonisten

Substanzen mit anti-estrogener Wirkung

Maskierende Substanzen (u.a. Diuretika)

Glucocorticosteroide

Verbesserung des Sauerstofftransports

Manipulationen

Gendoping

Verbotene Substanzen und Methoden außerhalb des Wettkampf

Anabole Wirkstoffe

Anabole Steroide

Clenbuterol, Salbutamol

Peptidhormone

β2-Agonisten, nur Clenbuterol und Salbutamol

Substanzen mit anti-estrogener Wirkung

Maskierende Substanzen (u.a. Diuretika)

Verbesserung des Sauerstofftransports

Manipulationen

Gendoping

Verbotene Substanzen in bestimmten Sportarten

Alkohol

Beta-Blocker

(Diuretika)

Spezifizierte Substanzen

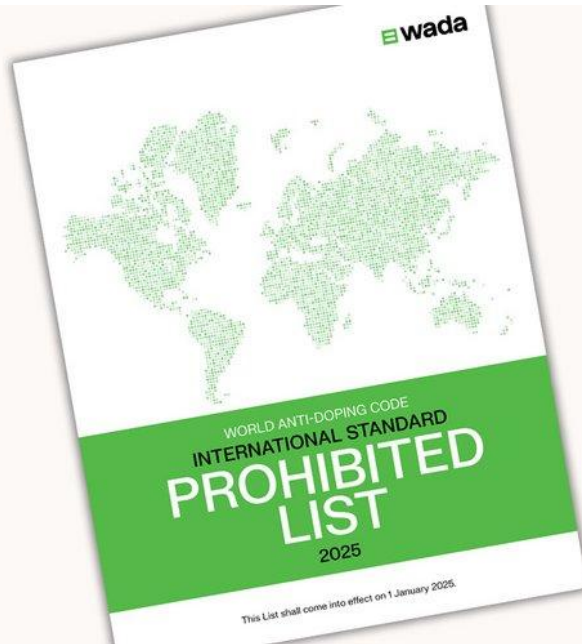
Substanzen, die aufgrund der leichten Verfügbarkeit zu verminderten Strafen führen

Welt Anti-Doping Code

INTERNATIONALER STANDARD

VERBOTSLISTE 2020

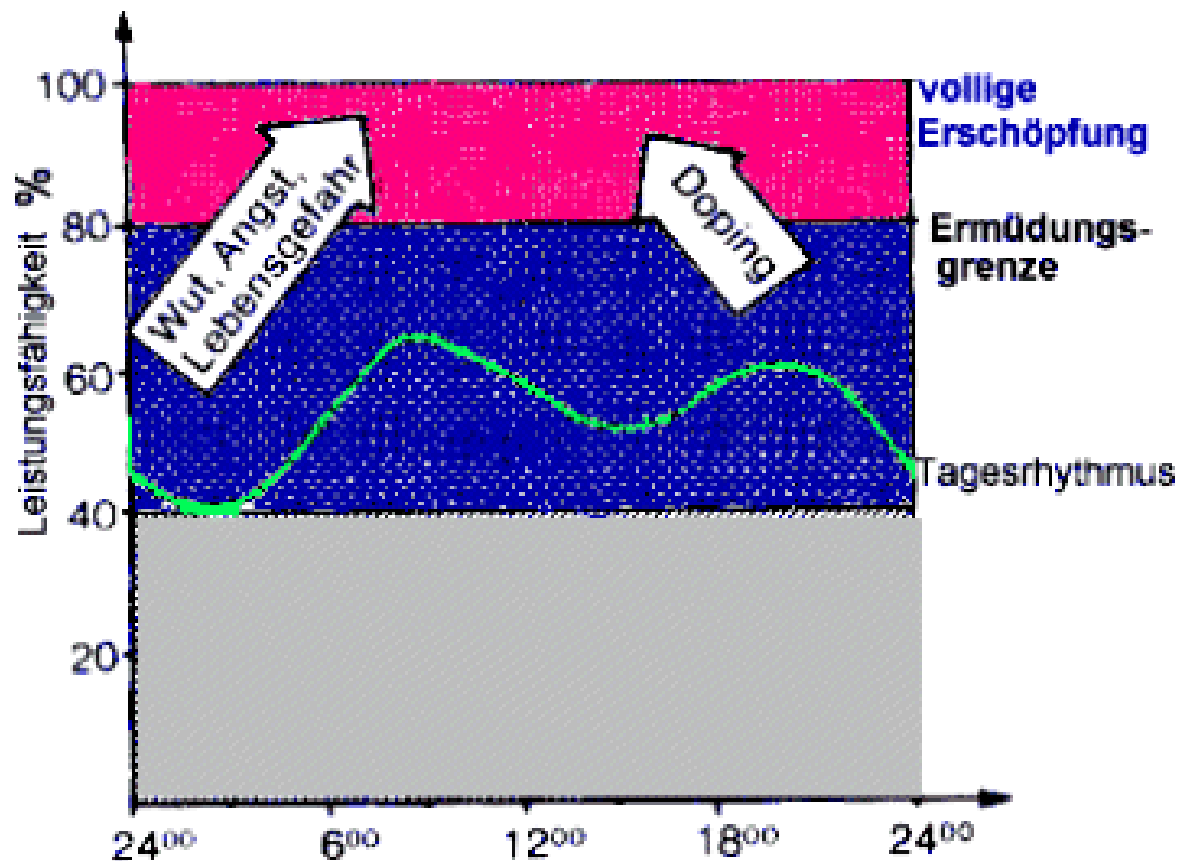
Die Wada Antidopingliste 2026



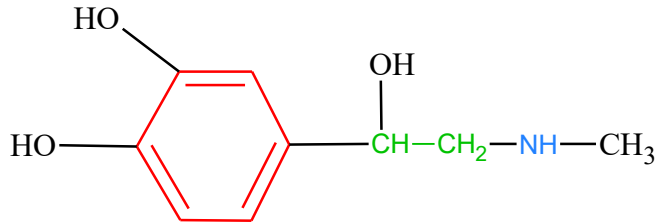
WICHTIGE ÄNDERUNGEN DER VERBOTSLISTE 2026

Im Folgenden werden die Änderungen in den einzelnen Klassen verbotener Substanzen und Methoden der Verbotsliste 2026 (*World Anti-Doping Code, International Standard, Prohibited List 2026*) vorgestellt. Klassen der Verbotsliste, die im Jahr 2026 keine Änderungen gegenüber 2025 beinhalten, sind im Folgenden nicht erwähnt.

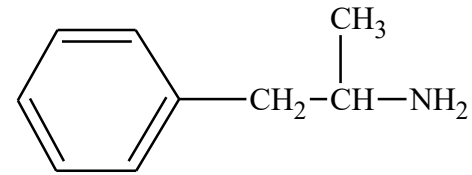
Wirkung von Stimulanzien



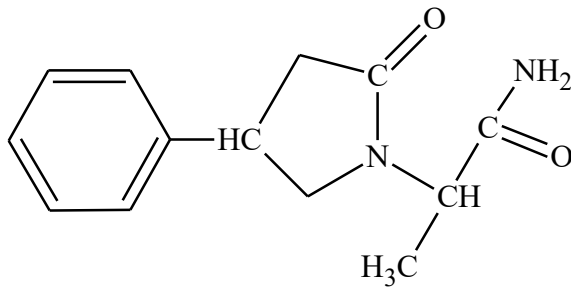
Adrenalin und synthetische Stimulantien



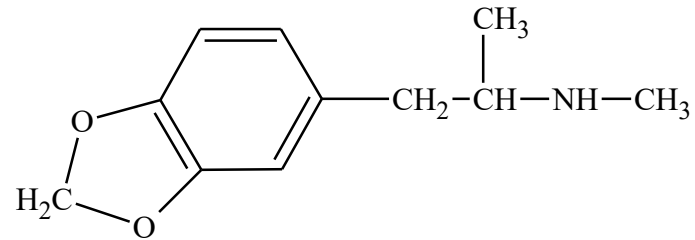
Adrenalin



Amphetamin



Carphedon



Ecstasy

Versuchsdurchführung zum Ephedrin-Nachweis (Biuretreaktion)

Chemikalien:

2% ige Kupfersulfatlösung; Natronlauge ($c = 3 \text{ mol/L}$), ätzend, C; Wick®

MediNait (oder anderer ephedrinhaltiger Erkältungssaft)

Durchführung:

In einem Reagenzglas werden zu 3 mL Wick®-MediNait 1mL Kupfersulfatlösung und 2mL Natronlauge gegeben.

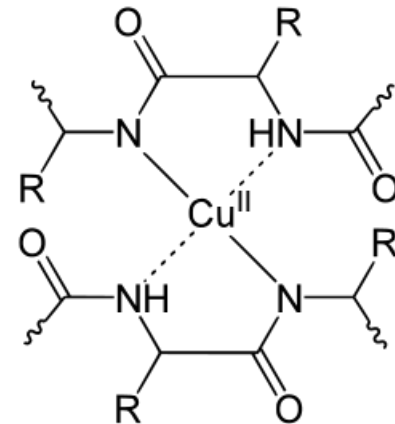
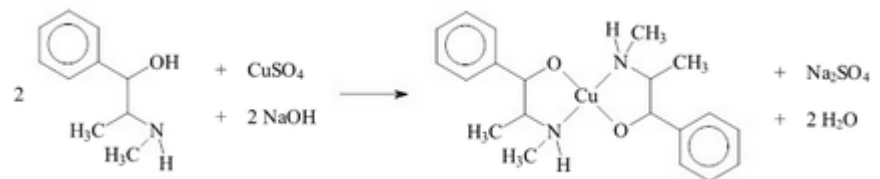
Beobachtung:

Das ursprünglich dunkelgrüne Wick®-MediNait ändert die Farbe nach blau violett.

Deutung und Erklärung:

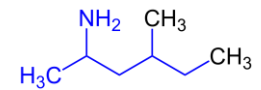
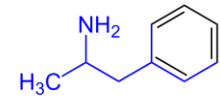
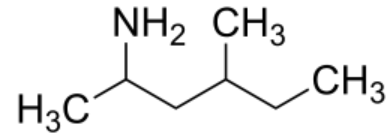
Die Biuretsreaktion ist eine Farbreaktion zum Nachweis von Proteinen.

In alkalischer Lösung bilden sich violette Cu (II)-Komplexe:



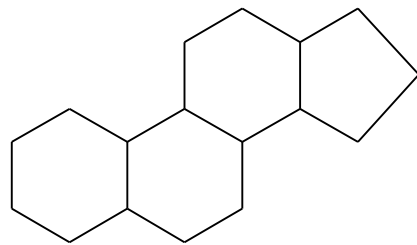
Bob-Dopingfall Wulff

Methylhexanamin

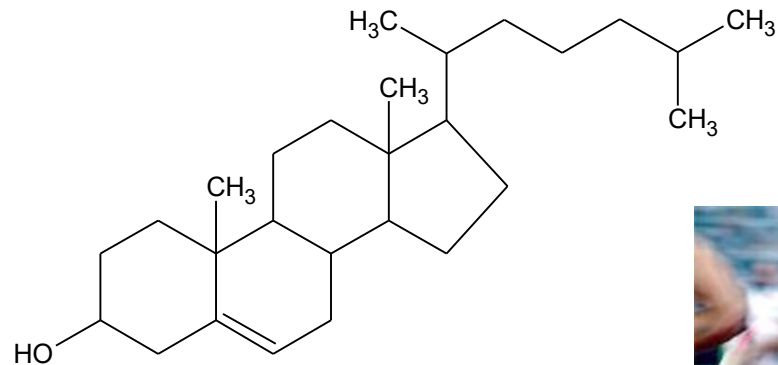


Siemon Wulff und Francesco Friedrich, 18.11.2025

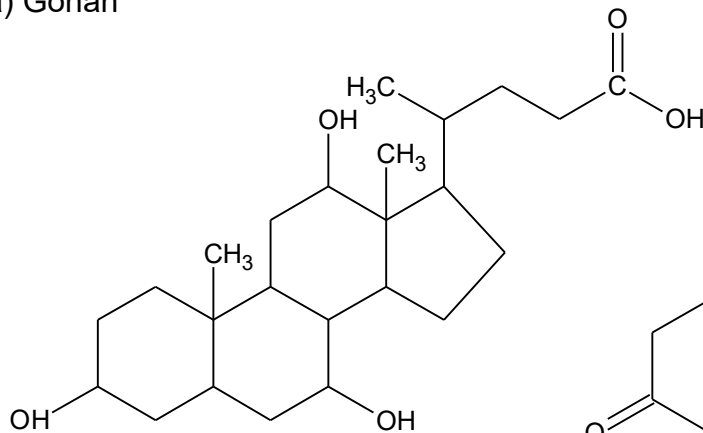
Steroide – chemischer Aufbau



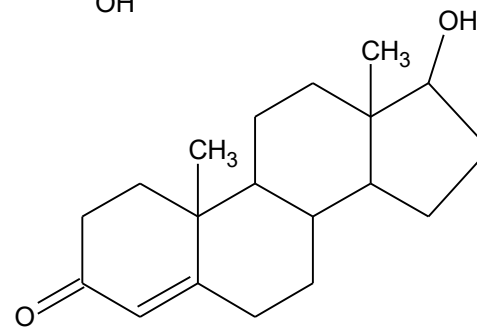
a) Gonan



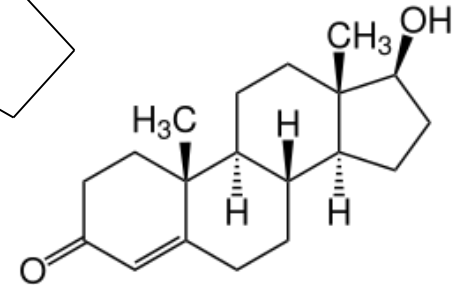
b) Cholesterin



c) Cholsäure



d) Testosteron

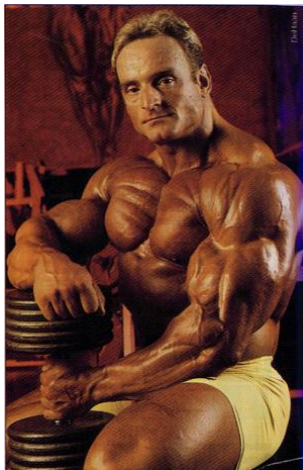


Nebenwirkungen von Anabolika

- **Allgemeine Nebenwirkungen:** Ausbildung von Akne und Wassereinlagerungen im Gewebe.
- **Schädigung des Herzkreislaufsystems:** Unter Anabolikaaanwendung wird die Konzentration der HDL-Fetteiweiße im Blutplasma erniedrigt und gleichzeitig die Konzentration der LDL-Fetteiweiße erhöht. Damit erhöht sich der Quotient LDL/HDL, was als Risikofaktor zu sehen ist.
- **Herzhypertrophie ohne Kapillarisation:** Bei Hypertrophie der Herzmuskelzelle fehlt die notwendige Kapillarisation, wodurch es zu einem Sauerstoffmangel und zu Schädigungen kommt.

- **Leberschäden:** Anabolika über eine längere Zeit genommen, können zu irreversiblen Leberschäden führen. Besonders 17-methylierte Steroide wie Stanazolol sollen besonders gefährlich sein. Darin liegt wohl auch der Grund, weshalb Stanazolol heute so gut wie nicht mehr verwendet wird.
- **Virilisierung (Vermännlichung bei Frauen):** Alle Anabolika verursachen bei Frauen eine Zunahme der Körperbehaarung, eine Veränderung der Stimme, Störungen des Menstruationszyklus und eine irreversible Klitorishypertrophie.
- **Gynäkomastie beim Mann (Verweiblichung):** Dies können sein: Eine abnormale Brustvergrößerung, Abnahme der Potenz bis zur Impotenz.
- **Allgemeine Gefahren durch Schwarzmarktpreparate:** Neben der Beschaffungskriminalität sind hier die Gefahr der Verwendung von nicht sterilen Spritzen (Infektionsgefahr) und die Gefahr der falschen Dosierung zu nennen.

Andreas Münzer

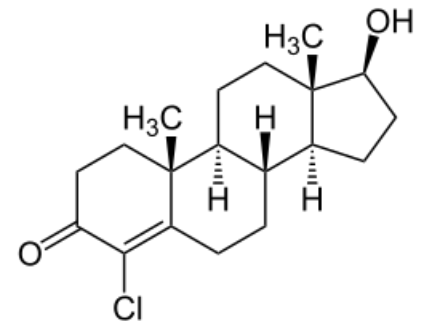


- Top Bodybuilder aus Österreich
- Starb 1996 an multiplen Organversagen
- Nachgewiesene Dopingsubstanzen:
[Clenbuterol](#), [Halotestin](#), [Testosteron](#), [Valium](#),
[Stanozolol](#), die anabolen Steroide [Masteron](#)
und [Parabolan](#), das Wachstumshormon [STH](#),
[Insulin](#), [Aspirin](#), die Aufputschmittel [Ephedrin](#),
[AN 1](#) und [Captagon](#). Vor Wettkämpfen nahm
Münzer [Aldactone](#) und [Lasix](#), um [subcutanes](#)
Wasser zu reduzieren.

Jannik Sinner



Clostebol im März 2024

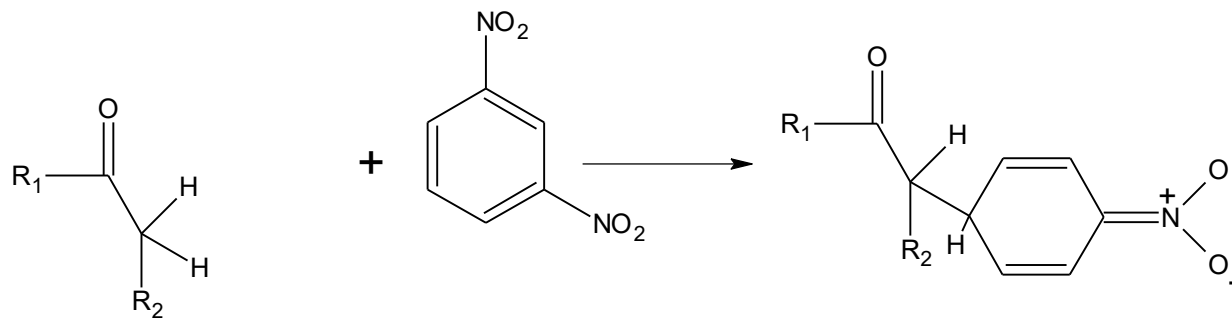
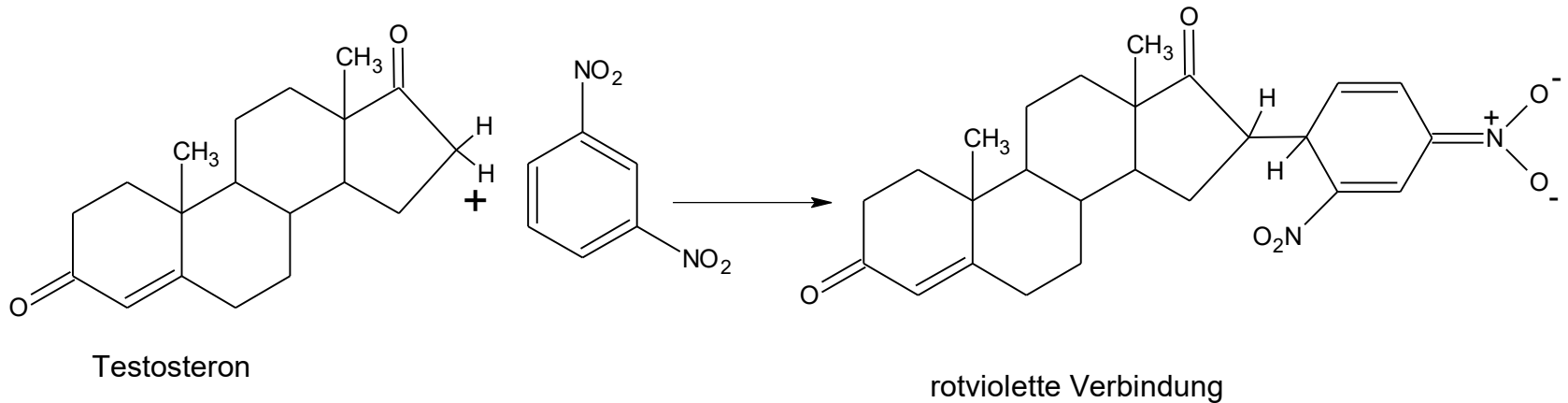


Deal mit WADA Dreimonatige Dopingsperre für Sinner

18.02.2025 — Tennis-Weltranglistenerster *Jannik Sinner*: Kein Wettbewerbsvorteil, aber *Dopingsperre* · Substanz über eine Massage in seinen Körper gelangt.

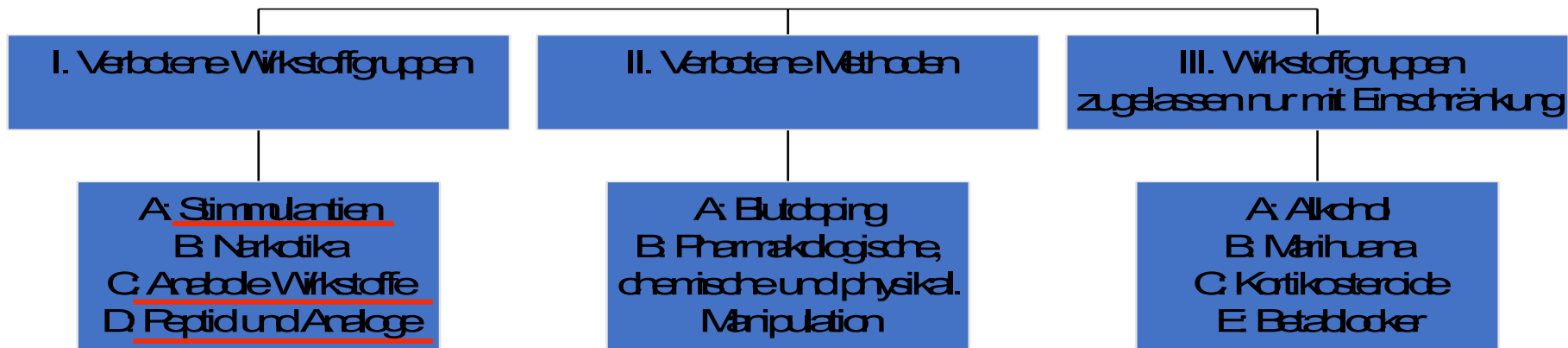
Kein Grand-Slam-Turnier verpasst

Dopingnachweis für C17 Ketosteroide nach Zimmermann

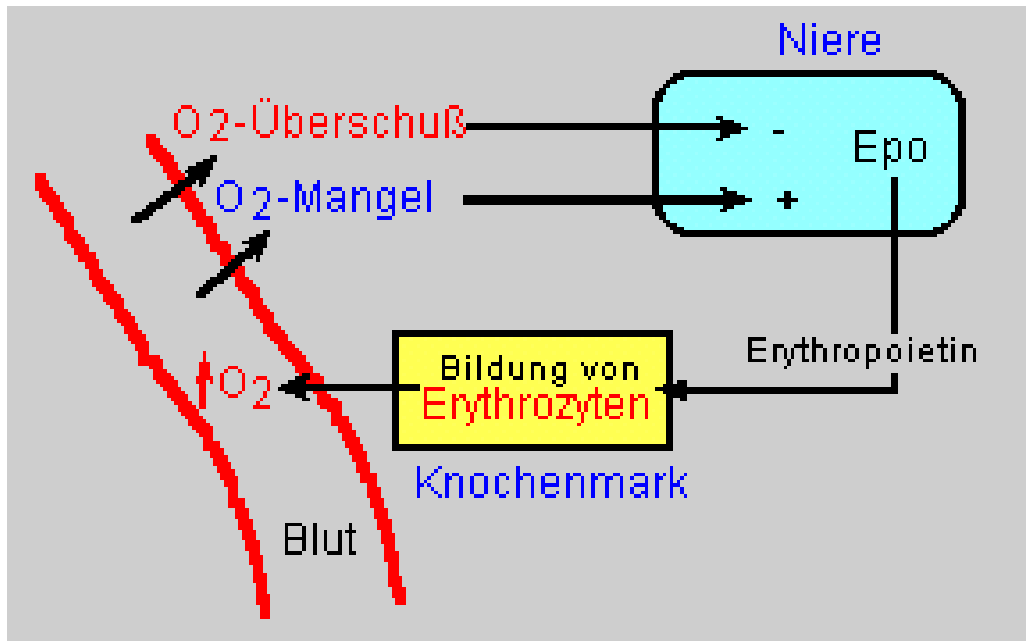


Dopingdefinition des IOC von 1996

Dopingdefinition der medizinischen Kommission des internationalen Olympischen Komitees von (IOC) 1996

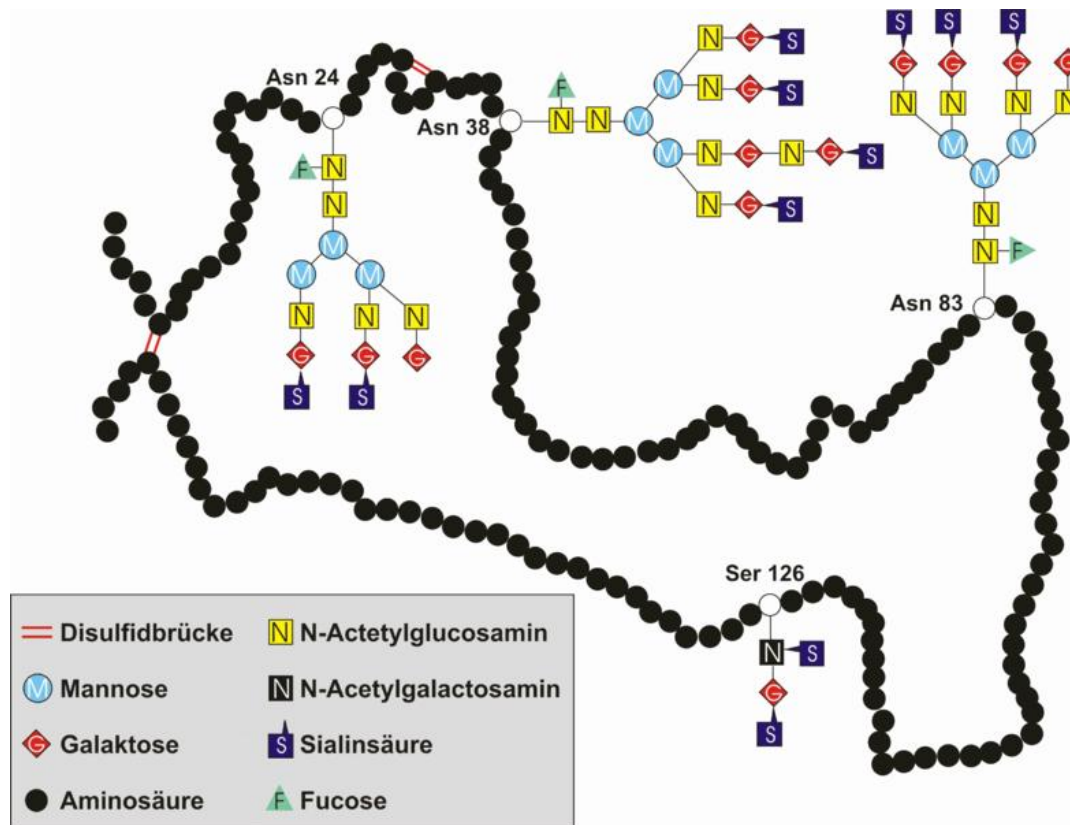


Erythropoietin (EPO)



- Wirkung wie Höhenttraining
- oder wie Blutdoping
- Bildung roter Blutkörperchen

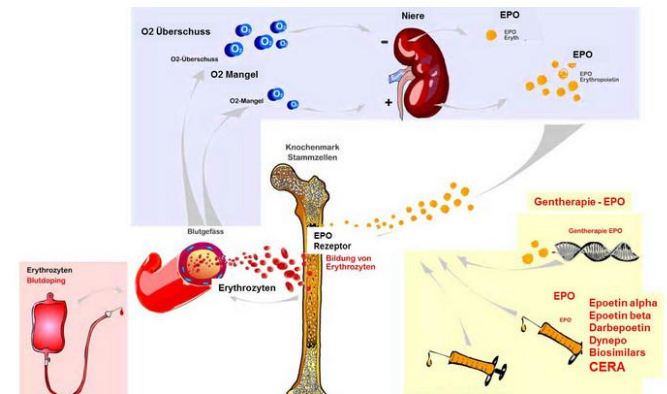
Erythropoietin Epo



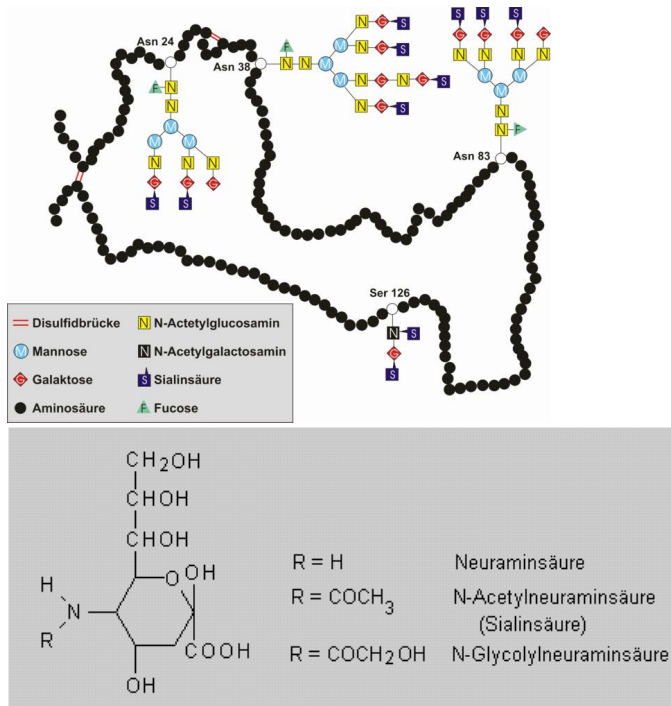
- Glykoprotein
- 34 kDa
- 165 Aminosäuren
- 4 Zuckerreste

rEPO (künstlich hergestellt)

- Seit 1988 wird EPO **gentechnisch** hergestellt, wobei gentechnisch veränderte Säugetierzellen (Ovarienzellen chinesischer Hamster) verwendet werden. Das so produzierte EPO ist **fast** 100%ig identisch mit dem menschlichen EPO bezüglich der Aminosäuresequenz der Eiweißkette.

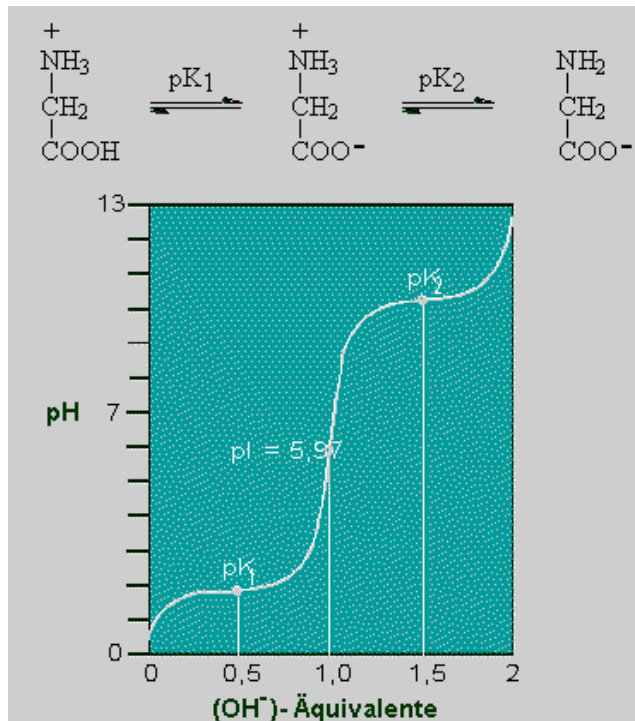


Vergleich von EPO und rEPO

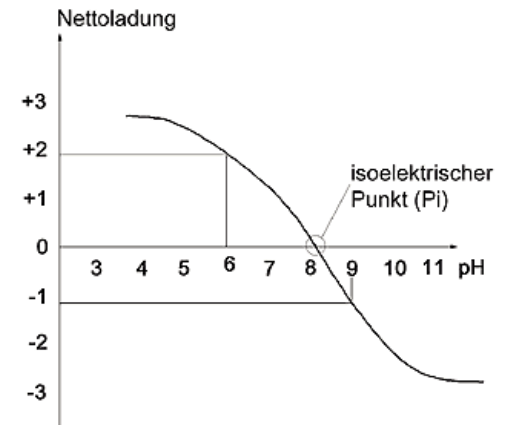


- EPO - Neuraminsäure liegt vor
- rEPO - 95% Neuraminsäure am Stickstoff actyliert => Sialinsäure

EPO-Nachweis – IP 2000



- Isoelektrischer Punkt (IP) von Aminosäuren

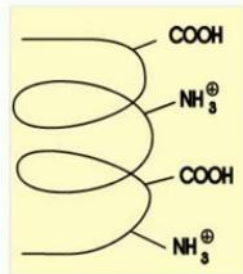


Der direkte Nachweis von rekombinantem EPO **basiert auf der isoelektrischen Fokussierung in einer Polyacrylamid-Gelmatrix mit pH-Gradient.** Dabei werden humane und rekombinante EPO- Moleküle in einem elektrischen Feld voneinander getrennt.

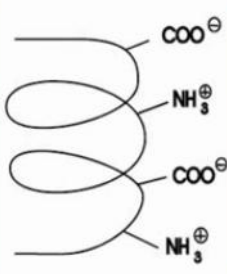
Isoelectric Focusing:

Electrophoretic separation of amphoteric substances in a pH gradient according to their isoelectric points

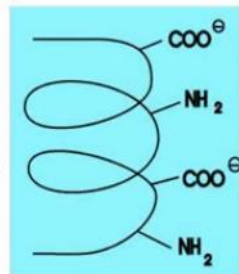
Net charges on proteins



Acidic pH



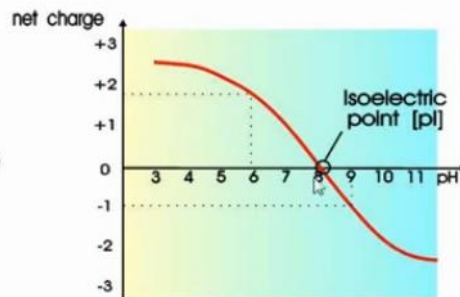
pH = pI



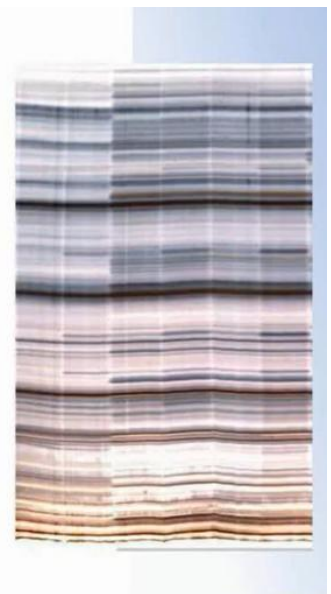
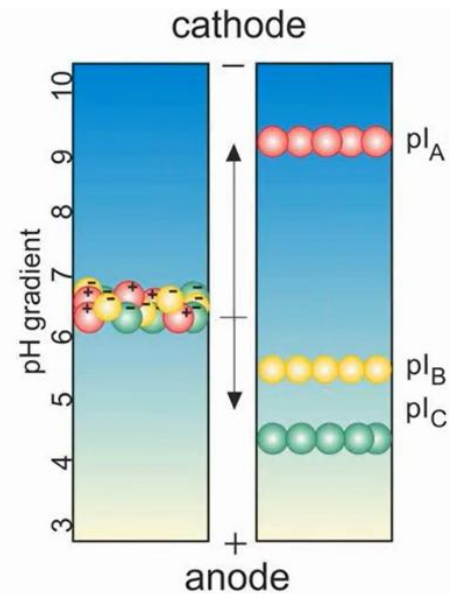
Basic pH



amphoteric
sample
components

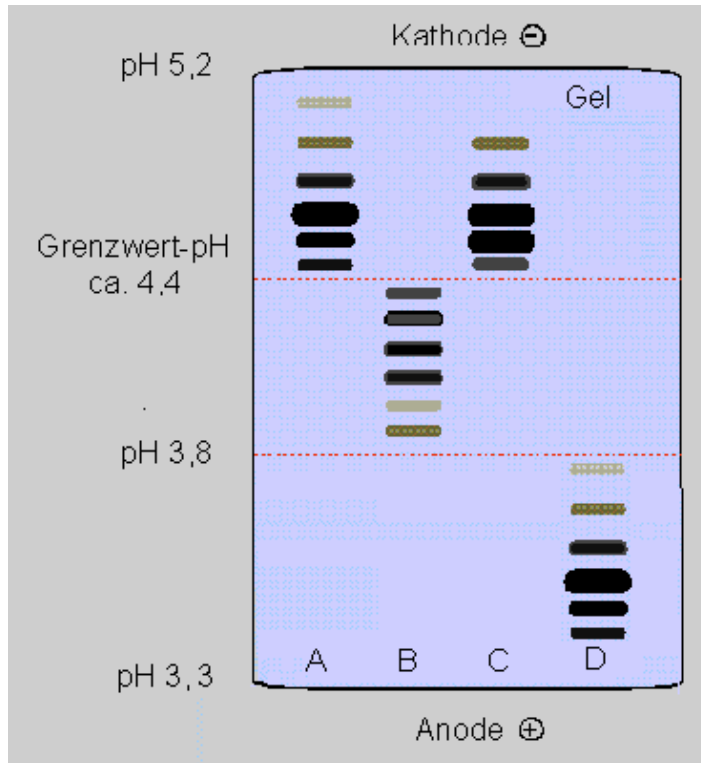


Isoelectric Focusing – The Basics



Darbepoetin alfa (2002)

Aransp[®]



A und C = rekombinantes EPO
B = humanes EPO
D = Darbepoetin

- Darbepoetin
- Austausch von 5 AS
- Zusätzliche Zuckerketten
- 38,5 kDa
- $t/2_{(DEPO)} = 21h$
- $t/2_{(EPO)} = 8,5h$
- $t/2_{(cera)} = 133h$

Lance Armstrong



- Gewann die Tour von 1999 bis 2005 siebenmal in Folge
- 2005 Dopingvorwürfe der Zeitschrift *L'Équipe* wegen EPO-Proben aus dem Jahr 1999.
- Im Zusammenhang mit seinem geplanten Comeback 2009 lehnt er eine Untersuchung der Proben von 1999 durch die (AFLD) ab, weil sie falsch gelagert seien.....

Fall Ullrich / Spanischer Dopinskandal (Fuentes)

- 2002 sechsmonatige Sperre wegen Ecstasy-Einnahme (Amphetamin).
- Juli 2006 Spanische Behörden übergeben Dokumente an T-mobile.
- Ullrich und Sevilla bestreiten gedopt zu haben.
- Ein Treffen von Ullrich mit Fuentes wird nachgewiesen.
- 20. Juli 2006 T-mobile kündigt Ullrich.



Mario Vuskovic



30.03.2023

Trotz Zweifeln an den Testverfahren ist HSV-Profi Mario Vuskovic vom DFB-Sportgericht wegen Epo-Dopings für zwei Jahre gesperrt worden. Das junge Talent war im vergangenen Jahr positiv getestet worden.

Mario Vuskovic verdächtigte HSV-Ärzte, ihm EPO gespritzt zu haben

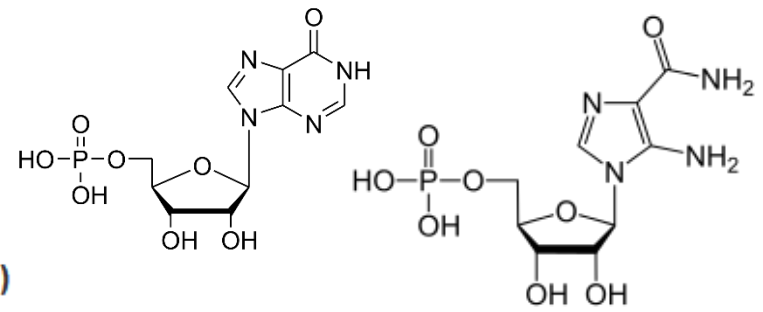
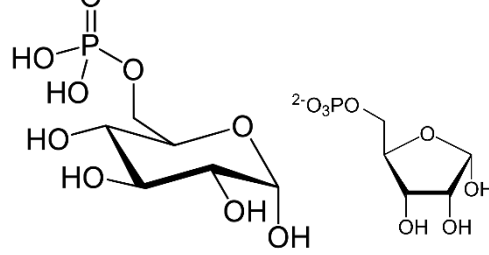
Stand: 15.12.2025

Von der Epo-Epoche zur Aicar-Ära?

Aicar, GW 1516



AICAR



Chemisch: Aminoimidazol-Carboxamid-Ribonukleotid (C₉H₁₅N₄O₈P)

Bei AICAR bzw. AICA-Ribonukleotiden handelt es sich um Zwischenprodukte des *Purinstoffwechsels*. Ribonukleotide sind Bausteine der Ribonukleinsäure (RNA) und damit für die Umsetzung von genetischen Informationen in Proteine verantwortlich.

Extrem teures Mittel

Das Gendopingmittel, das aus unsportlichen Nagern offenbar "Mucki-Mäuse" macht, wurde nach bisherigen Erkenntnissen noch nicht an Menschen getestet und soll laut Schänzer "extrem teuer" sein. Neben AICAR (Aminoimidazol-Carboxamid-Ribonukleosid) fanden Forscher noch ein weiteres Präparat namens GW1516, das reales Training dramatisch verstärken soll: Um bis zu 70 Prozent mehr Leistung als unbehandelte Mäuse zeigten mit GW1516 gefütterte Tiere auf dem Laufband.

Auswirkungen auf Herz und Lunge

Die Forscher um Evans glauben, AICAR lasse die Muskeln "denken, sie hätten täglich trainiert". Mit einer Pille ließen sich dieselben Effekte erzielen wie mit Konditionstraining. Die Substanzen vermehrten mit der Zahl der Mitochondrien die Kraftwerke in den Zellen und beeinflussten die Fettverbrennung sowie die Nährstoffzufuhr über die Blutgefäße. Evans warnte zugleich vor noch unerforschten Nebenwirkungen - die Forscher hätten nur die Wirkung auf die Muskulatur untersucht. Es sei wahrscheinlich, dass AICAR und GW1516 auch Auswirkungen auf Herz und Lunge hätten.



Vielen Dank für ihre Aufmerksamkeit



Martin Holfeld
www.chemie-und-sport.de

Kreatinnachweis

Kreatin-Nachweis in Sportgetränken

Geräte:

Großes Reagenzglas, Stopfen

Chemikalien:

5 g Butan-2,3-dion, β -Naphthol (Xn, gesundheitsschädlich), Natronlauge (w = 3 %; C, ätzend), Zell-Tech[®]

Durchführung:

Eine Zell-Tech[®]-Lösung wird im Reagenzglas mit 0,5 g Diacetyl-Lösung (0,5 g Butan-2,3-dion in 1 l dest. Wasser) und 1 ml alkalischer β -Naphthol-Lösung (1 g in 100 ml 3%iger Natronlauge) versetzt. Der Ansatz wird umgeschüttelt und dann 10 Minuten stehen gelassen.

Beobachtung:

Durch Kondensationsreaktionen entsteht eine rot gefärbte Verbindung.

Hinweis:

Die Zell-Tech-Lösung ist leicht gelb gefärbt. Sie kann durch Schütteln mit Aktivkohle und anschließender Filtration entfärbt werden.

Versuchsdurchführung zum Ephedrin-Nachweis (Biuretreaktion)

Chemikalien:

2% ige Kupfersulfatlösung; Natronlauge ($c = 3 \text{ mol/L}$), ätzend, C; Wick®

MediNait (oder anderer ephedrinhaltiger Erkältungssaft)

Durchführung:

In einem Reagenzglas werden zu 3 mL Wick®-MediNait 1mL Kupfersulfatlösung und 2mL Natronlauge gegeben.

Beobachtung:

Das ursprünglich dunkelgrüne Wick®-MediNait ändert die Farbe nach blau violett.

Deutung und Erklärung:

Die Biurestreaktion ist eine Farbreaktion zum Nachweis von Proteinen.

In alkalischer Lösung bilden sich violette Cu (II)-Komplexe:

Versuchsbeschreibung zum Steroidnachweis (n. Zimmermann)

- Von jeder Probe wird 1 ml in einem Reagenzglas mit 1 ml 2%iger ethanolischer Dinitrobenzen- und 1 ml 3 mol/l Kaliumhydroxid-Lösung versetzt, gemischt und 15 Minuten im Dunkeln stehen gelassen. Dann ist der „Übeltäter“, dessen Probe sich rot verfärbt hat, erwischt.