

Experimentalvortrag

Chemie im Sport

Anna-Lena Eicke

Donnerstag, 10.06.2010, 9 ¹⁵ Uhr
Marburg

Was hat Sport mit Chemie zu tun?

- Stoffwechselfvorgänge im Körper
 - Nahrungsergänzung/Supplemente
 - Dopinganalytik
- Moderne Kunststoffe

Gliederung

Der Energiestoffwechsel

→ Versuch 1

Lactat

→ Demonstration 1

Bedeutung der Nährstoffe

→ Versuch 2

Nahrungsmittelergänzung oder Doping

→ Demonstration 2

→ Versuch 3

→ Versuch 4

Ausblick auf sportartspezifische Versuche

→ Versuch 5

Schulrelevanz

Leistungsfähigkeit

- motorische Faktoren
 - Koordination
 - Beweglichkeit
 - Schnelligkeit
- konditionelle Faktoren
 - Kraft
 - Ausdauer

Leistungsfähigkeit

Ausdauer

- **Lunge** z.B. Atemminutenvolumen
- **Herz** z.B. Herzfrequenz
- **Blut** z.B. Hämoglobingehalt, Pufferkapazität
- **Muskelzelle: (aerobe/anaerobe)**
Energiebereitstellung

Der Energiestoffwechsel

Kohlenhydrate: Physiologische Bedeutung

- wichtigster Energielieferant für den Menschen
- 52 % des Energiebedarfs sollte durch Kohlenhydrate gedeckt werden
- Europäer verzehren ca. 300 – 400 g/d (\triangleq 5100 – 6800 kJ)
Grundumsatz eines Mannes: \approx 7100 kJ/d (\triangleq 1700 kcal)
einer Frau: \approx 6300 kJ/d (\triangleq 1500 kcal)

Der Energiestoffwechsel

Kohlenhydrate: Chemische Aspekte

- allgemeine Summenformel: $C_m H_{2n} O_n$
- Monosaccharide z.B. Glucose und Fructose
- Oligosaccharide z.B. Saccharose und Maltose
- Polysaccharide z.B. Stärke und Cellulose
- enthalten Hydroxidgruppen und Aldehydgruppen/Ketogruppen

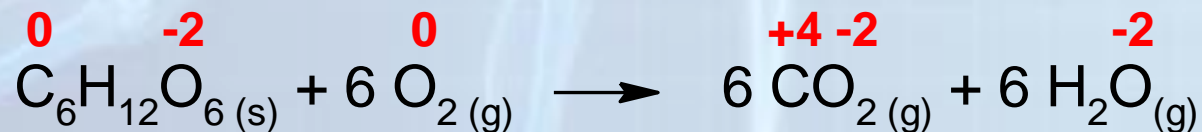
Der Energiestoffwechsel

Versuch 1: Verbrennung von Glucose

Zersetzung des Kaliumchlorats



Verbrennung der Glucose



$$\Delta H = -5644 \text{ kJ/mol}$$

Der Energiestoffwechsel

Energiegehalt von Glucose

Versuch:

5644 kJ \triangleq 1348 kcal pro 180 g Glucose

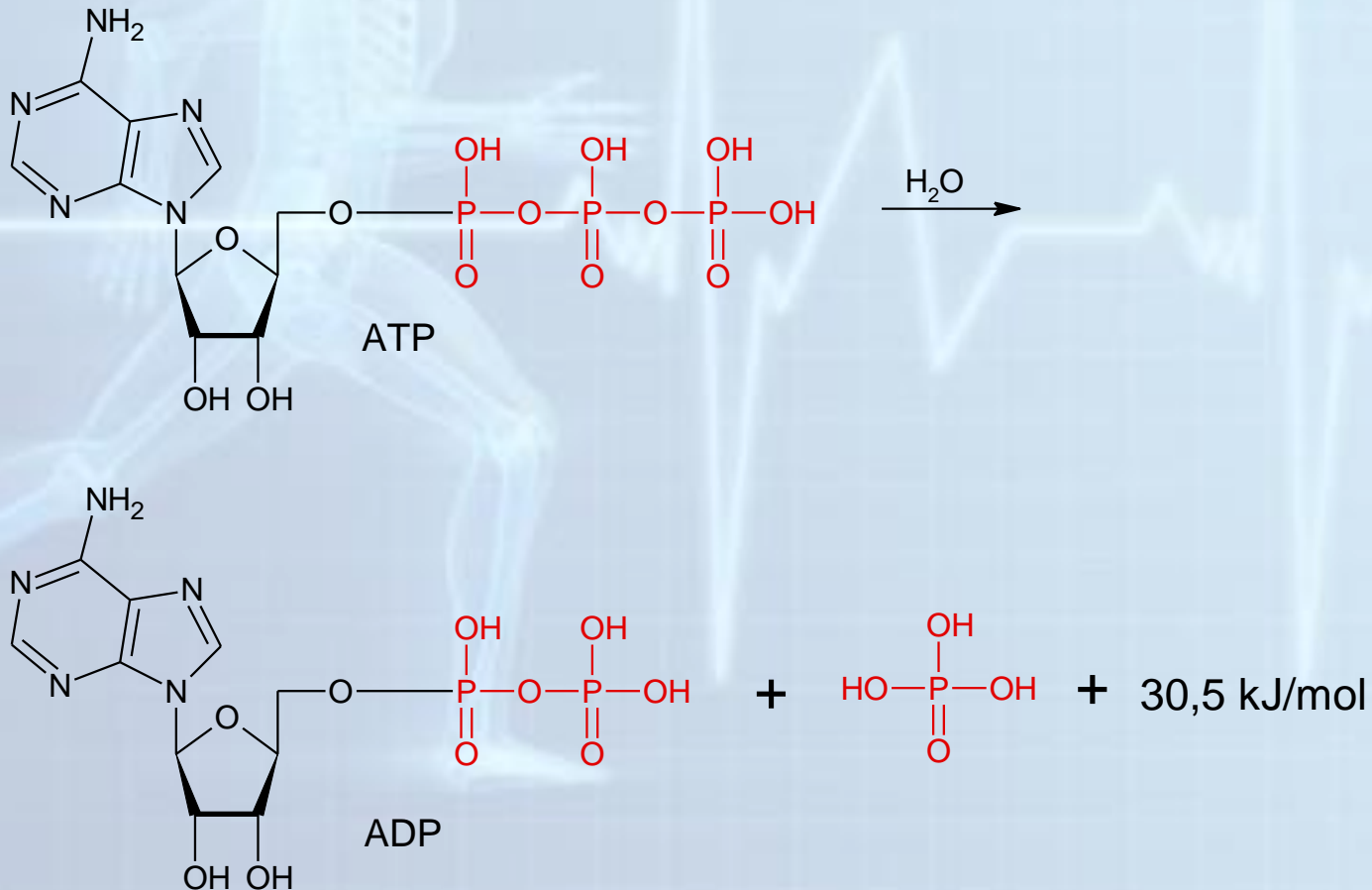
ein Zuckerwürfel

ca. 3 g Glucose \triangleq 22,5 kcal

Der Energiestoffwechsel

Energiebereitstellung im menschlichen Körper

- ATP ist der Hauptenergieträger des menschlichen Organismus und wird bei Energiefreisetzung zu ADP + P



Der Energiestoffwechsel

Energiebereitstellung im menschlichen Körper

- vier Stoffwechselfvorgänge arbeiten daran, ständig ATP nachzuliefern
 - Hydrolyse von Kreatinphosphat
 - Glykolyse
 - Zitronensäurezyklus und Atmungskette
 - Oxidation von Fettsäuren im Zitronensäurezyklus
- } Zellatmung

Der Energiestoffwechsel

Aerobe Energiebereitstellung

- **Glykolyse:** Abbau von Glucose zu Pyruvat
→ + 2 ATP
- **Zitronensäurezyklus:** Abbau von Pyruvat zu Kohlenstoffdioxid und Wasser
→ + 2 ATP
- **Atmungskette:** Oxidation von Wasserstoff zu Wasser
→ + ca. 34 Moleküle ATP

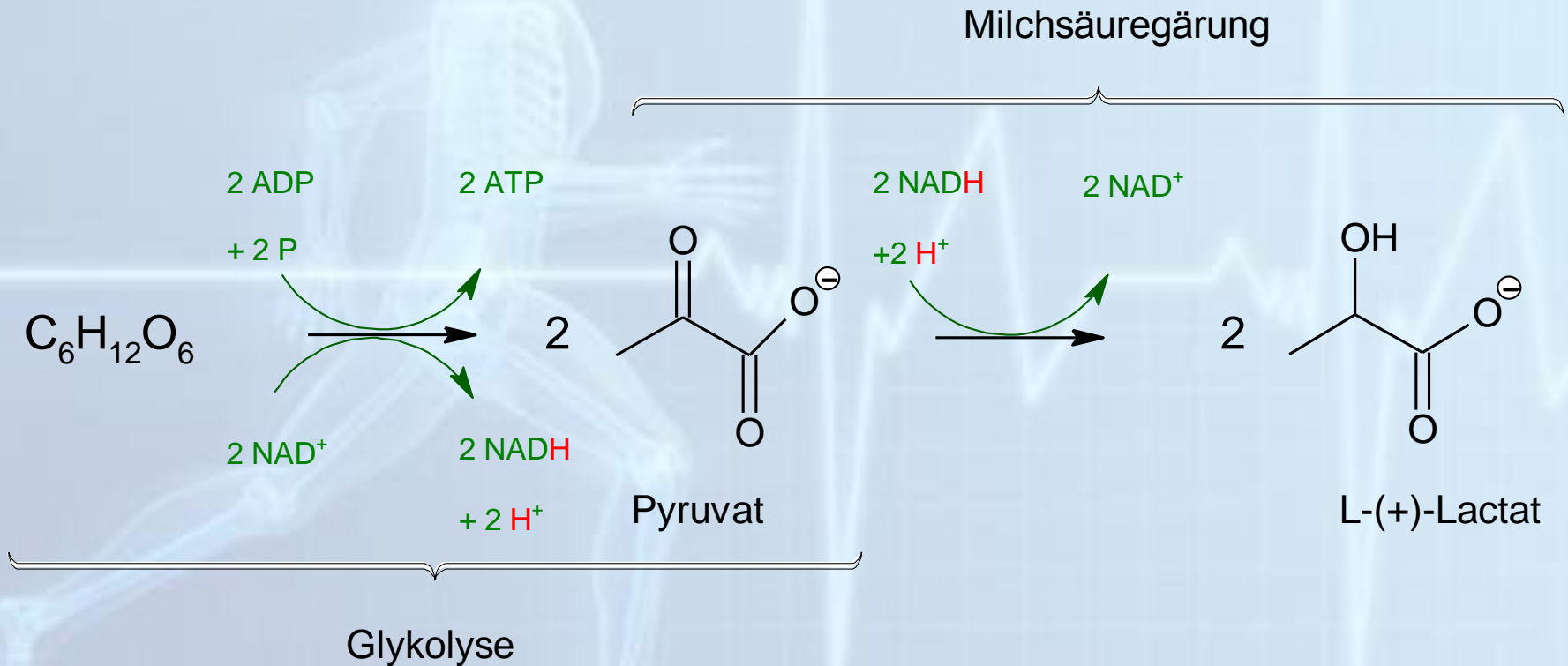
Der Energiestoffwechsel

Anaerobe Energiebereitstellung

- Gärungen
 - Alkoholische Gärung
 - Essigsäuregärung
 - Buttersäuregärung
 - Milchsäuregärung
 - findet direkt in den Muskelzellen statt
 - Bildung des Lactats (Ermüdung des Muskels, „Muskelkater“)
 - Lactat wird vom Blut abtransportiert, um in der Leber wieder zu Pyruvat umgesetzt zu werden

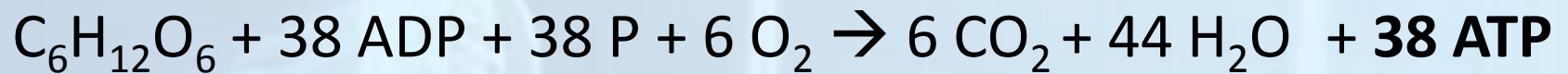
Der Energiestoffwechsel

Die Milchsäuregärung



Der Energiestoffwechsel

- Bilanz der aeroben Zellatmung



- Bilanz der Glykolyse mit anschließender Milchsäuregärung



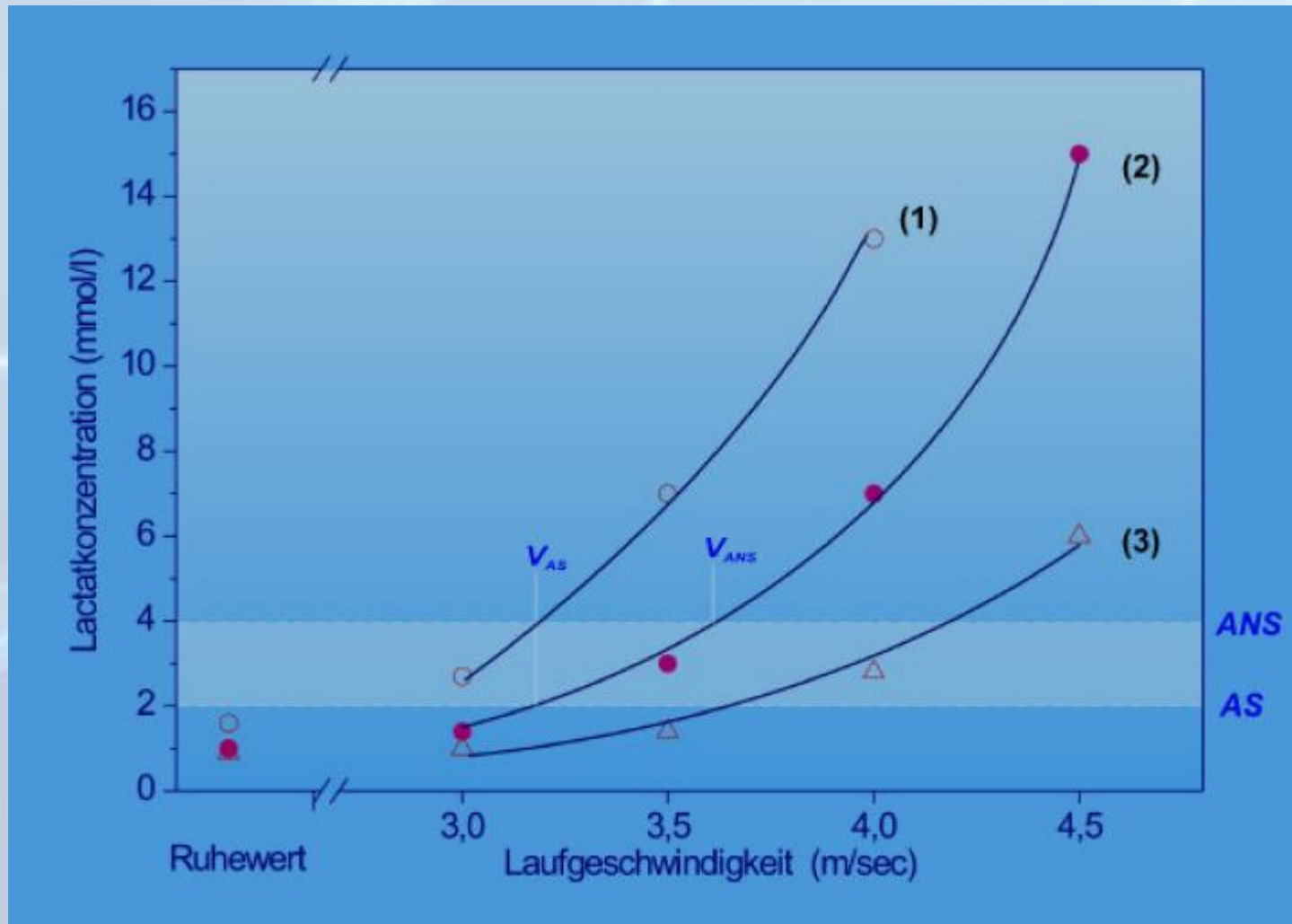
Der Energiestoffwechsel

„Fazit“

- schnellkräftige Sportarten
 - schnelle anaerobe Energiebereitstellung
 - ausdauernde Sportarten
 - aeroben Energiebereitstellung
- Adaptation mit zunehmendem Trainingszustand**

Lactatbildung

Blutlactatkonzentration in Abhängigkeit von der Laufgeschwindigkeit



Lactatbildung

Physiologische Bedeutung des Blutpuffers

- Regulation des pH-Wertes (7,37 – 7,43)
- Abfangen von sauren und basischen Ionen, die durch Stoffwechselprozesse entstehen
 - hier: Milchsäure

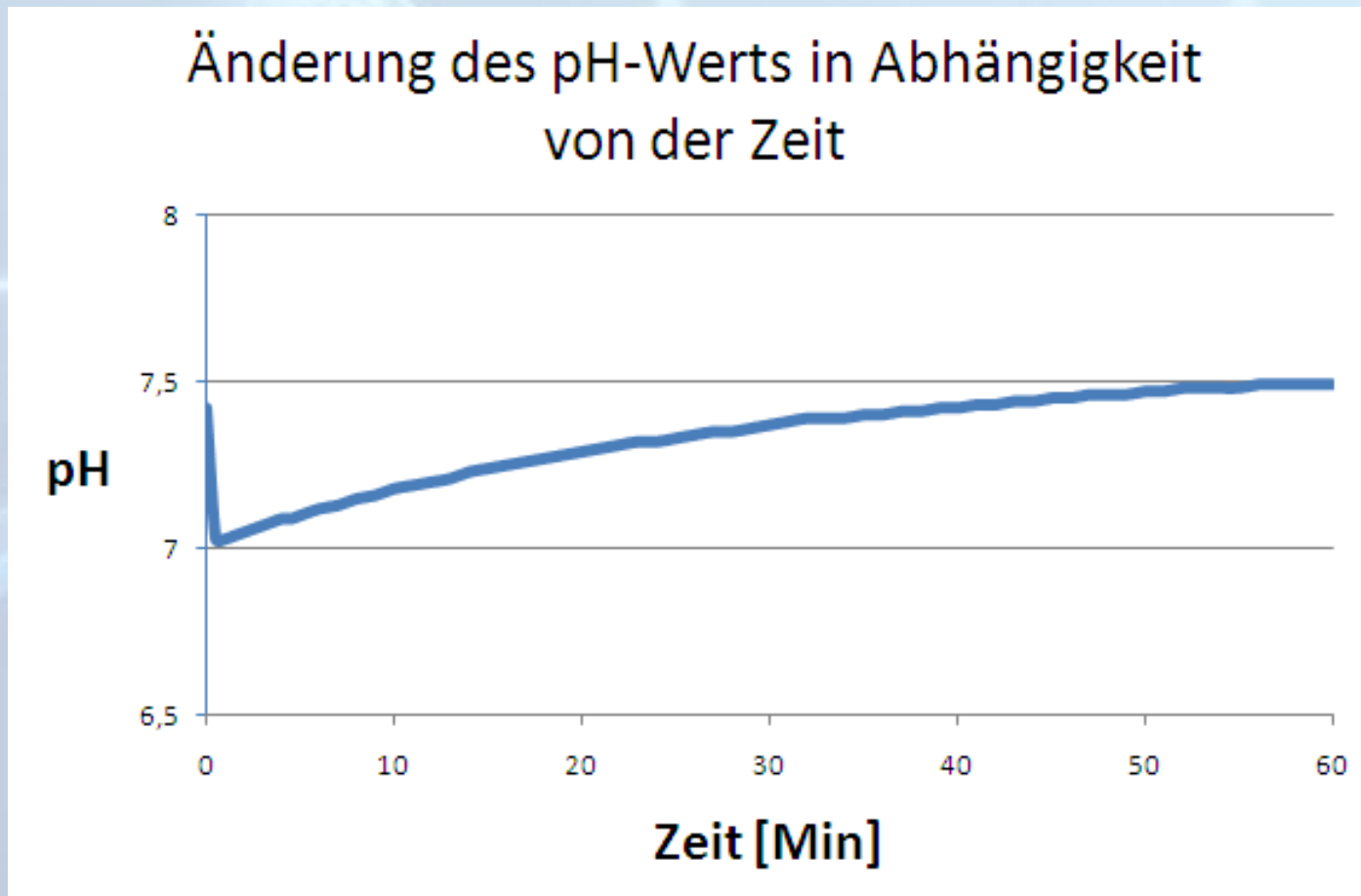
Lactatbildung

Demonstration 1: Respiratorische Kompensation einer metabolischen Acidose



Lactatbildung

Demonstration 1: Respiratorische Kompensation einer metabolischen Acidose

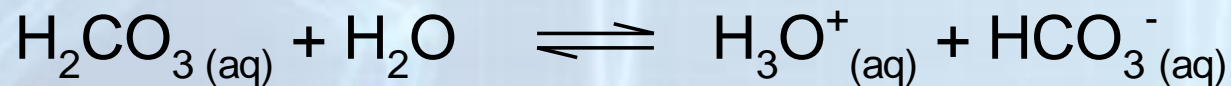


Lactatbildung

Demonstration 1: Respiratorische Kompensation einer metabolischen Acidose

Puffersystem des Blutes:

Kohlensäure/Hydrogencarbonat-Puffer



Nährstoffe

„Nährstoffe sind Substrate, die dem Organismus als Brenn- und Funktionsstoffe zum Betrieb der Zell- und Gewebespezifischen Aufgaben dienen“

(Schmidt, Thews, Physiologie des Menschen mit Pathophysiologie, S. 826)

- Kohlenhydrate
- Proteine (20 %)
- Lipide (15 %)
- Vitamine
- Mineralstoffe (5 %)
- Wasser (60 – 70 %)

Nährstoffe

Proteine

- Grundbausteine der menschlichen Zellen
- verleihen den Zellen ihre Struktur
- transportieren Stoffe durch die Zellmembran
- Katalysatoren
- die vier wichtigsten Proteine sind Aktin, Myosin, Kollagen und Hämoglobin

Nährstoffe

Lipide

- Energielieferant und Energiereserven
- schützen den Körper vor Verletzungen
- bewahren vor zu schneller Auskühlung
- sind z.B. am Vitaminstoffwechsel beteiligt, weil einige Vitamine (A, D und E) fett- aber nicht wasserlöslich sind
- unterschieden werden gesättigte und ungesättigte Fettsäuren

Nährstoffe

Mineralstoffe

- Mengenelemente

- Tagesbedarf > 50 mg/kg Körpergewicht
- z.B. Ca, Mg, P, Na, K, Cl
 - Aufbau, Erhaltung und Erneuerung von Knochen, Erregungsleitung im Nervensystem, Regulation des Wasserhaushaltes und des Blut-pH-Wertes

- Spurenelemente

- Tagesbedarf < 50 mg/kg Körpergewicht
- z.B. Fe, I, Cu
 - Eisen ist Bestandteil des Hämoglobins
 - Iod ist am Aufbau des Hormons Tyroxin in der Schilddrüse beteiligt

Nährstoffe

Wasser

- der Mensch besteht zu mehr als 60 % aus Wasser
- Regulation des Wasserhaushaltes
- Entsorgung von „Abfallprodukten“
- Abkühlung des Körpers durch Ausscheidung von Schweiß
 - Verlust von Mineralstoffen und Vitaminen

Nährstoffe – Vitamin C

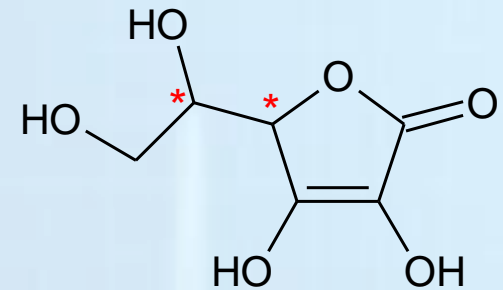
Physiologische Bedeutung

- Tagesbedarf: 100 mg
- wasserlöslich
- Radikalfänger
 - Sauerstoffradikale (vor allem auch beim Höhentraining)
- Reduktionsmittel
 - Verhindert in einigen Reaktionen als Cofaktor die Oxidation von Fe^{2+} zu Fe^{3+} im Zentrum des jeweiligen Enzyms
 - Hydroxylierung des Strukturproteins Kollagen

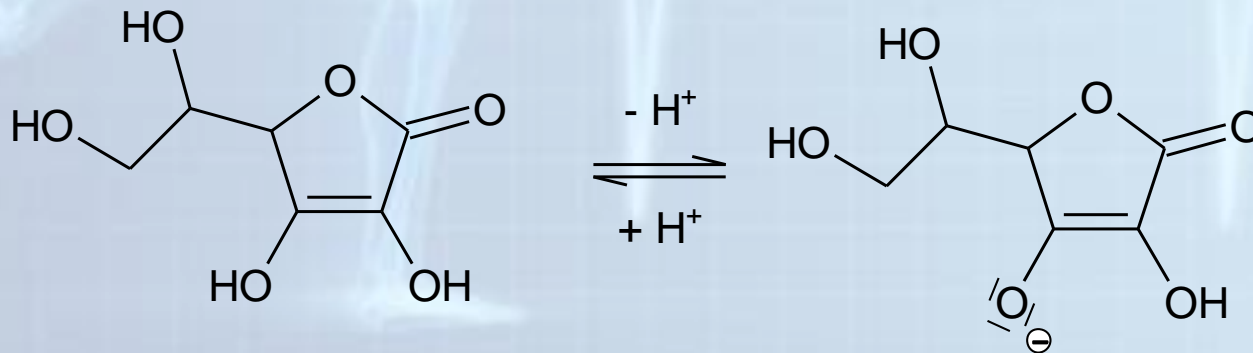
Nährstoffe – Vitamin C

Chemische Aspekte

- L-Ascorbinsäure, wasserlöslich
- ein Lacton mit zwei stereogenen Kohlenstoffatomen
- Radikalfänger
- Reduktionsmittel
- zersetzt sich unter Sauerstoffeinfluss und Hitze
- mittelstarke vinyloge Säure



L-Ascorbinsäure



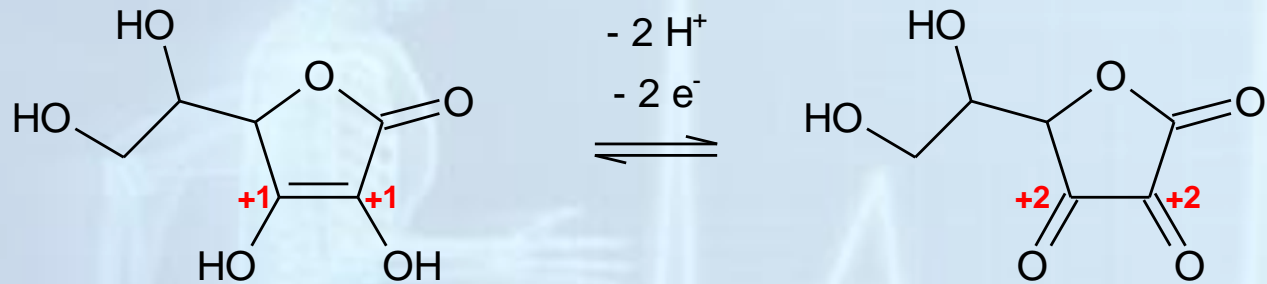
Ascorbinsäure

Ascorbat

Nährstoffe – Vitamin C

Modellversuch 2: Reduzierende Wirkung von Vitamin C

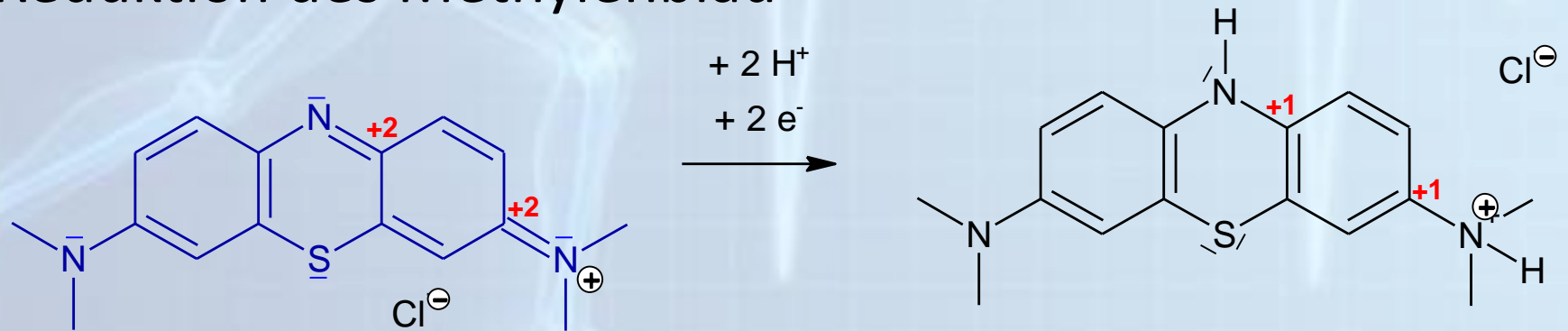
Oxidation der Ascorbinsäure



Ascorbinsäure

Dehydroascorbinsäure

Reduktion des Methylenblau



Methylenblau

Leukoform

Nahrungsergänzung

Allgemeines

- Sportler haben einen erhöhten Energiebedarf
→ erhöhten Nährstoffbedarf
eine leichte Unterversorgung schränkt neben der Leistungsfähigkeit auch die Gesundheit ein
- Hoffnung auf Leistungssteigerung, verbesserte Regeneration, bessere Immunabwehr
- beliebteste Präparate: Glutamin, Kreatin, Vitamine

Nahrungsergänzung

Nahrungsmittelergänzung oder Doping?

Nahrungsmittelsubstitution

- Auffüllen der verbrauchten Nährstoffreserven

Nahrungsmittelsupplementierung

- Zufuhr größerer Mengen an Nährstoffen



Doping

Aber: Einnahme ist legal, weil nicht nachgewiesen werden kann, ob natürliche Aufnahme oder Supplementierung

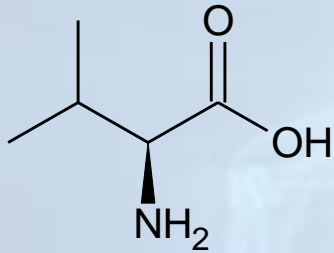
Nahrungsergänzung

Glutamin

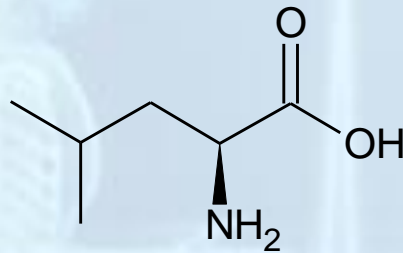
- proteinogene, nicht essentielle Aminosäure
- Vorkommen: im Blutplasma und in den Muskelzellen
- fördert die Synthese von neuem Muskelgewebe
→ verbesserte Regeneration
- verhindert den Abbau von Proteinen und damit von Muskeln

Nahrungsergänzung

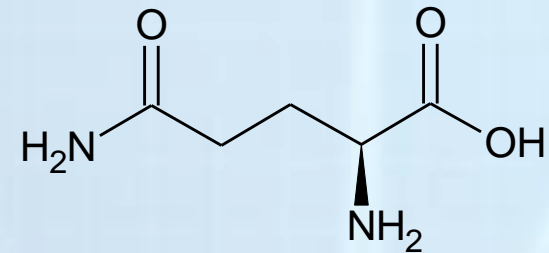
Demonstration 2: Nachweis von Glutamin in Sportgetränken



L-Valin



L-Leucin



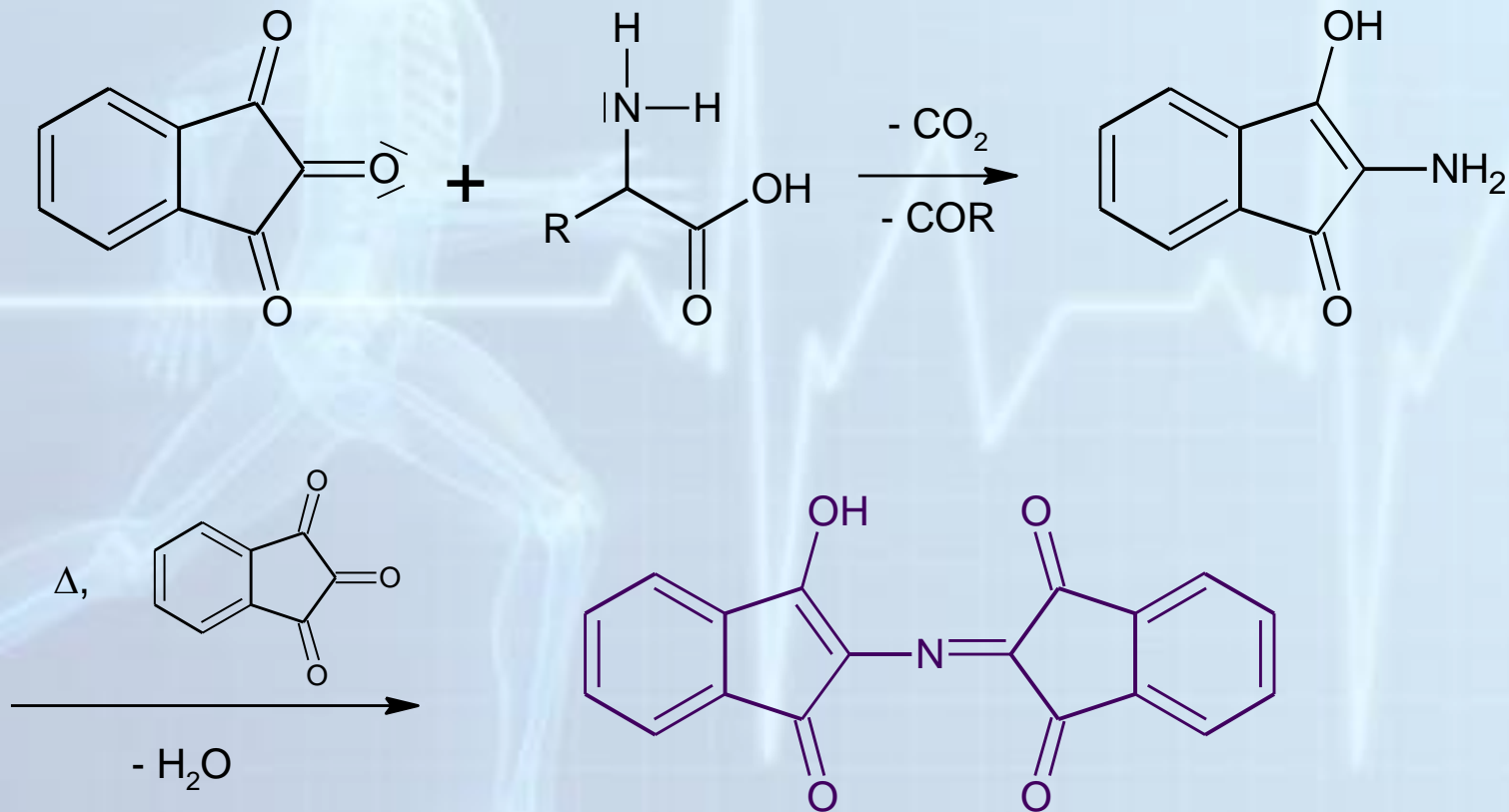
L-Glutamin

- Leucin ist unpolarer als Valin und wird am wenigsten mit dem Laufmittel mittransportiert
- Glutamin ist eine polare Aminosäure und wandert am schlechtesten mit dem unpolaren Laufmittel mit

Nahrungsergänzung

Demonstration 2: Nachweis von Glutamin in Sportgetränken

Anfärben der Aminosäuren mit Ninhydrin



Ruhemanns-Purpur

Nahrungsergänzung

Kreatin

- Synthese in der Leber und in der Bauchspeicheldrüse aus Arginin und Glycin
- exogene Zufuhr durch Fleisch
- ca. 120 g Kreatin im Körper → 95 % im Muskelgewebe → 80 % davon als Kreatinphosphat

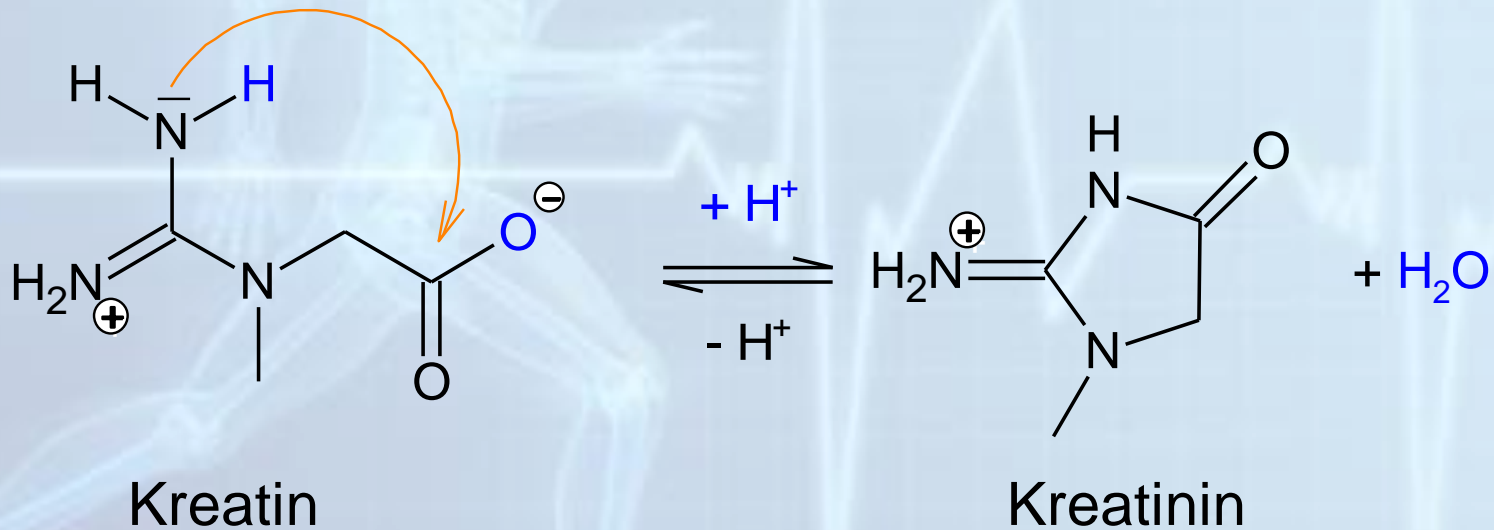


- Steigerung der Maximalkraft und Regenerationsfähigkeit

Nahrungsergänzung

Versuch 3: Nachweis von Kreatin in Sportgetränken

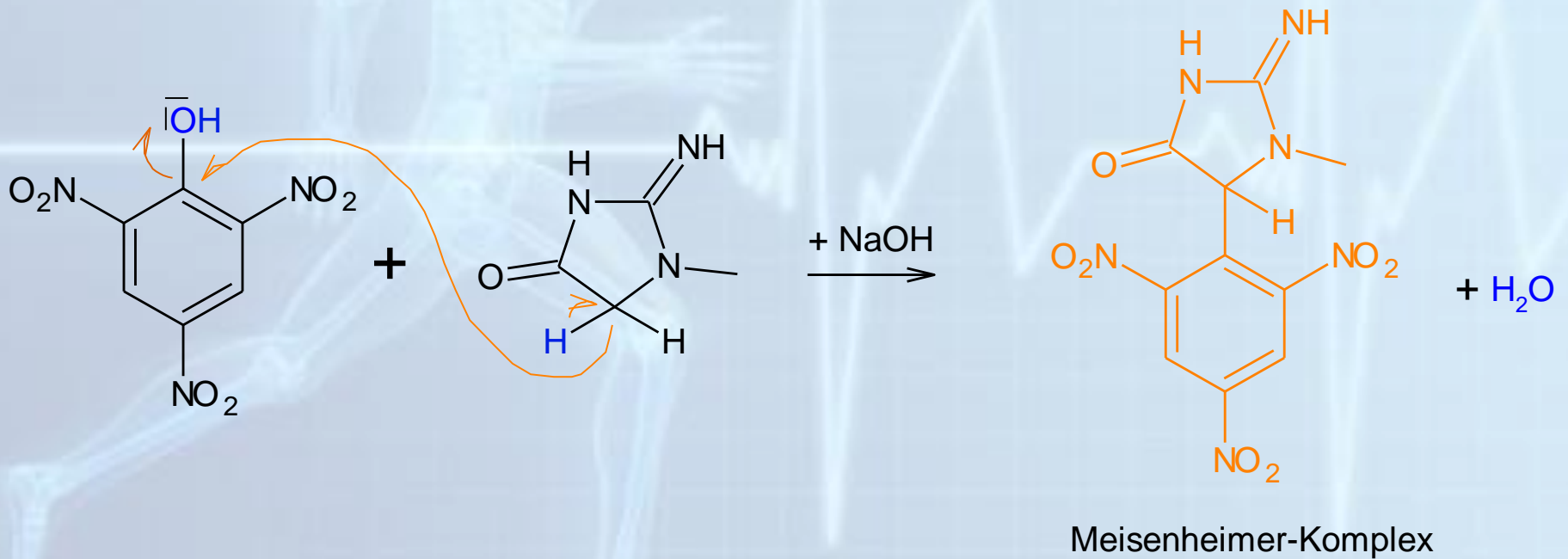
Protonierung zum Kreatinin:



Nahrungsergänzung

Versuch 3: Nachweis von Kreatin in Sportgetränken

- Bildung des Meisenheimer-Komplexes



Nahrungsergänzung - Doping

- ab wann sind leistungssteigernde Nahrungsergänzungsmittel Doping?
- Verunreinigung von Nahrungsergänzungsmittel

SPIEGEL ONLINE

10. November 2000, 10:55 Uhr

Doping

Leipold verklagt das IOC

Nachdem ihm die Goldmedaille von Sydney wegen Dopings aberkannt worden ist, will sie Alexander Leipold nun mit juristischen Mitteln zurückgewinnen. So wie es aussieht, wird dies ein zäher Ringkampf.

Doping

- Dopingkontrollen seit den 60er Jahren:
mehrere Todesfälle im Radsport
- Die vom IOC aufgestellte Definition von Doping lautet:
*„Doping ist verboten. Doping ist die Anwendung von
verbotenen Wirkstoffen bzw. verbotenen Methoden. Eine
Dopingliste führt die verbotenen Wirkstoffgruppen und
verbotenen Methoden auf“*

Dopingliste der WADA

SUBSTANZEN UND METHODEN, DIE ZU ALLEN ZEITEN (IN UND AUSSERHALB VON WETTKÄMPFEN) VERBOTEN SIND

S1. ANABOLE SUBSTANZEN

Anabol-androgene Steroide (AAS)

a. Exogene* AAS z.B. Nandrolon

b. Endogene** AAS z.B. Testosteron

andere anabole Substanzen z.B. Tibolon

S2. PEPTIDHORMONE, WACHSTUMSFAKTOREN UND VERWANDTE SUBSTANZEN

z.B. Insuline, Wachstumshormone, Blutplättchenpräparate

S3. B-2-AGONISTEN

S4. HORMON-ANTAGONISTEN UND –MODULATOREN

S5. DIURETIKA UND ANDERE MASKIERUNGSMITTEL z.B. Albumin

Dopingliste der WADA

VERBOTENE METHODEN

M1. ERHÖHUNG DES SAUERSTOFFTRANSFERS z.B.

Blutdoping

M2. CHEMISCHE UND PHYSIKALISCHE MANIPULATION z.B.

Austausch von Urin

M3. GENDOPING

Dopingliste der WADA

IM WETTKAMPF VERBOTENE SUBSTANZEN UND METHODEN

S6. STIMULANZIEN

a: Nicht-spezifische Stimulanzien z.B. Amphetamin

b: Spezifische Stimulanzien z.B. Ephedrin

S7. NARKOTIKA z.B. Morphin

S8. CANNABINOIDE z.B. Haschisch

S9. GLUCOCORTICOSTEROIDE

Dopingliste der WADA

BEI BESTIMMTEN SPORTARTEN VERBOTENE SUBSTANZEN

P1. ALKOHOL z.B. im Motorsport, Schießsport

P2. BETABLOCKER z.B. im Motorsport, Schießsport

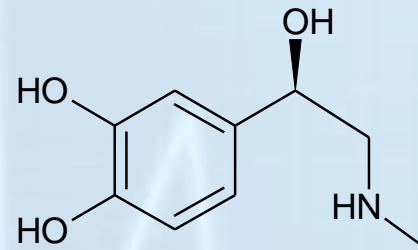
Dopinganalytik

- **Urin- oder Bluttest**
 - Amphetamin beispielsweise wird unverändert über den Urin ausgeschieden
 - Nandrolon wird im Körper verstoffwechselt und ist durch verschiedene Abbauprodukte im Blut nachzuweisen
- Identifizierung verbotener Substanzen muss durch anerkannte wissenschaftliche Methoden erfolgen

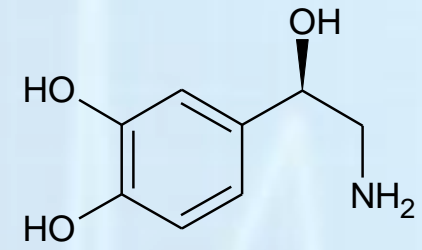
Doping

Ephedrin

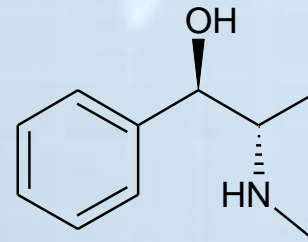
- gehört zur Gruppe des Stimulanzien
 - wirken auf das zentrale Nervensystem und erhöhen die motorische Aktivität
- pflanzlicher Wirkstoff
 - z.B. in Wick®-MediNait
- blutdrucksteigernd, herzstimulierend und bronchien-erweiternd
- Steigerung der Proteinbiosynthese



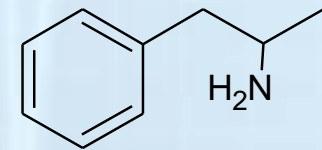
Adrenalin



Noradrenalin



Ephedrin

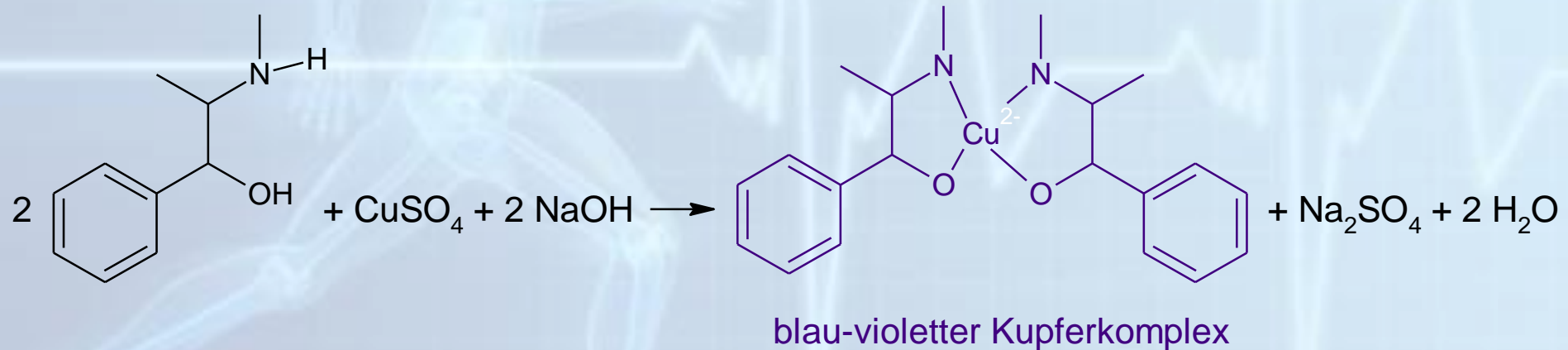


Amphetamin

Doping

Versuch 4: Qualitativer Nachweis von Ephedrin in Wick[®]-MediNait

- Bildung eines blau-violetten Kupferkomplexes

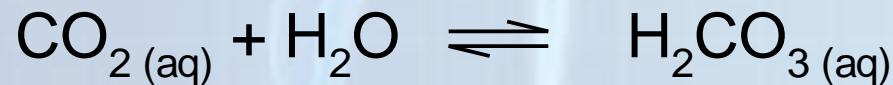
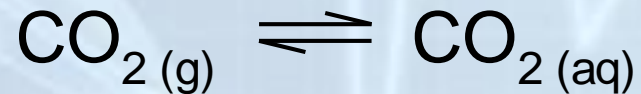


Ausblick auf sportartspezifische Versuche

Versuch 5:

Druckabhängigkeit der Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid

- zwei Gleichgewichte spielen eine Rolle



Ausblick auf sportartspezifische Versuche

Versuch 5:

Druckabhängigkeit der Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid

- Sauerstoffpartialdruck p_{O_2} in den Alveolen (Lungenbläschen) beträgt unter Normalbedingungen ca. 13,3 kPa, der Kohlenstoffdioxidpartialdruck p_{CO_2} 5,3 kPa
→ abhängig von der alveolären Ventilation
- beim Hyperventilieren sinkt p_{CO_2} , p_{O_2} steigt
→ beim Tauchen kann der Atemreiz zu spät eintreten
Kohlenstoffdioxidkonzentration zu gering, Sauerstoff verbraucht („Schwimmbad-Blackout“)

Schulrelevanz

Versuch	Jahrgangsstufe	Lehrplanthema
Verbrennung von Glucose	Qualifikationsphase 2	Naturstoffe: Kohlenhydrate
Respiratorische Kompensation einer metabolischen Acidose	Qualifikationsphase 3	Massenwirkungsgesetz - Puffersysteme
Reduzierende Wirkung von Vitamin C	Qualifikationsphase 2	Naturstoffe
Nachweis von Glutamin	Qualifikationsphase 2	Naturstoffe: Aminosäuren
Nachweis von Kreatin	Qualifikationsphase 2	Naturstoffe: Proteine
Nachweis von Ephedrin	Qualifikationsphase 2	Naturstoffe (Abschluss des Themas Aminosäuren)
Druckabhängigkeit der Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid	Klasse 7	Qualitative Zusammensetzung der Luft

Literaturverzeichnis

- Asselborn, W., Jäckel, M., Risch, K. T., *Chemie heute – Sekundarbereich II*, Baden-Württemberg, Bildungshaus Schulbuchverlage Westermann Schroedel Diesterweg, Braunschweig, 2007
- Campbell, N. A., *Biologie*, 2. Korrigierter Nachdruck, Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg, 2000, S. 311f
- Fachinformationszentrum Chemie, <http://www.chemgapedia.de> (letzter Zugriff: 5.5.2010, 15:09 Uhr)
- Faller, A., Schünke, M., *Der Körper des Menschen, Einführung in Bau und Funktion*, 14., aktualisierte und erweiterte Auflage, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 2004
- Geuther, A. Barth, H., Luch, S., *Übungen zur Didaktik II*, Justus-Liebig-Universität Gießen, Institut für Didaktik der Chemie, Internes Arbeitsmaterial, 1998
- Hessisches Kultusministerium, *Entwürfe der Lehrpläne für die gymnasiale Oberstufe G 8, Aufgabenbeite III, Chemie*, http://www.kultusministerium.hessen.de/irj/HKM_Internet?uid=9e215f56-8111-221a-eb6d-f191921321b2 (letzter Zugriff: 18.4.2010, 10:09 Uhr)
- Hessisches Kultusministerium, *Lehrpläne Gymnasium G 8 für die Jahrgangsstufen 5 bis 9, Aufgabengebiet III, Chemie*, http://www.kultusministerium.hessen.de/irj/HKM_Internet?uid=3b43019a-8cc6-1811-f3ef-ef91921321b2 (letzter Zugriff: 18.4.2010, 10:11 Uhr)
- Hoffmann, I., Ralle, B., *Atmen unter Extrembedingungen*, in: Praxis der Naturwissenschaften-Chemie in der Schule, 1/50, 2001, Aulis Verlag Deubner GmbH & Co KG, Köln/Leipzig
- Holfeld, M., *Chemie und Sport*, in: Praxis der Naturwissenschaften-Chemie in der Schule, 5/51, 2002, Aulis Verlag Deubner GmbH & Co KG, Köln/Leipzig
- Holfeld, M., *Chemie und Sport, Didaktische Aufarbeitung chemischer Inhalte aus dem Sport für den fachübergreifenden Chemie-Sport-Unterricht*, Inaugural-Dissertation Zur Erlangung des Doktorgrades der Naturwissenschaftlichen Fachbereiche der Justus-Liebig-Universität Gießen, Fachgebiet Chemie, 2005, <http://geb.uni-giessen.de/geb/volltexte/2005/2222/pdf/HolfeldMartin-2005-06-06.pdf> (letzter Zugriff: 28.5.2010, 12:51 Uhr)
- Hollemann, A. F., Wiberg, E., Wiberg, N., *Lehrbuch der Anorganischen Chemie*, 102., stark umgearbeitete und verbesserte Auflage, Walter de Gruyter & Co. Berlin, 2007
- Hülsmann, O., Hahn, A., *Nahrungsergänzungsmittel im Sport*, in: Praxis der Naturwissenschaften-Chemie in der Schule, 2/55, 2006, Aulis Verlag Deubner GmbH & Co KG, Köln/Leipzig
- Institut für Biochemie der DSHS Köln, *Ephedrin und analoge Verbindungen*, http://www.dshs-koeln.de/biochemie/rubriken/00_home/00_eph.html (letzter Zugriff: 28.5.2010, 14:08 Uhr)

Literaturverzeichnis

- Lego, Cristian, Verbrennung eines Gummibärchens in der Kaliumchlorat-Schmelze, Organisch-Chemisches Grundpraktikum für das Lehramt, Philipps- Universität Marburg, Fachbereich Chemie, 2009, http://www.chids.de/dachs/praktikumsprotokolle/PP0211Verbrennung_eines_Gummibaerchens.pdf (letzter Zugriff: 28.5.2010, 13:13 Uhr)
- Schänzer, W., Thevis, M., *Doping-Analytik*, in: Praxis der Naturwissenschaften-Chemie in der Schule, 2/55, 2006, Aulis Verlag Deubner GmbH & Co KG, Köln/Leipzig
- Schmidt, C., Übungen im Experimentalvortrag zum Thema Vitamine, Philipps-Universität Marburg, Fachbereich Chemie, 2005, http://www.chids.de/dachs/expvotr/701Vitamine_Schmidt_Ausarbeitung.pdf (letzter Zugriff: 28.5.2010, 12:54 Uhr)
- Schmidt, R. F., Lang, F., Thews, G., *Physiologie des Menschen mit Pathophysiologie*, 29., vollständig neu bearbeitet und aktualisierte Auflage, Springer Medizin Verlag, Heidelberg, 2005
- Warnecke, A., *Puffersysteme*, http://www.anja-warnecke.de/cms/component/option,com_docman/task,doc_download/gid,19/Itemid,34/ (letzter Zugriff: 28.5.2010, 13:51 Uhr)
- Weisser, B., *Energiegewinnung im Muskel, Biochemische Grundlagen*, in: Praxis der Naturwissenschaften-Chemie in der Schule, 2/55, 2006, Aulis Verlag Deubner GmbH & Co KG, Köln/Leipzig
- Wikimedia Foundation Inc., <http://de.wikipedia.org> (letzter Zugriff: 2.5.2010, 17:44 Uhr)
- Wiskamp, V., Holfeld, M., Ungewollt gedopt? in: Praxis der Naturwissenschaften-Chemie in der Schule, 2/55, 2006, Aulis Verlag Deubner GmbH & Co KG, Köln/Leipzig

Abbildungsverzeichnis

- **Hintergrundbild:** Müller, H., Bildungsserver Hessen, Sport, <http://lakk.bildung.hessen.de/stsem/oSport/index.html> (letzter Zugriff: 7.6.2010, 14:22 Uhr)
- **Folie 17:** Mesics GmbH, Wissenschaftlicher Hintergrund und Nutzen der Laktatmessung, http://www.mesics.de/ims/_lib/phpproxy/opendocserver.php?imIID=99 (letzter Zugriff: 28.9.2010, 13:41 Uhr)
- **Folie 35:** Snowden, J., *Alistair Overeem to Escape Urinalysis? Missouri Coy About Drug Tests*, SB Nation, <http://www.bloodyelbow.com/2010/5/11/1467594/alistair-overeem-to-escape> (letzter Zugriff: 7.6.2010, 14:46 Uhr)
- **Folie 38:** Spiegelnet GmbH, Spiegel Online, Sport, Doping – Leipold verklagt das IOC, November 2000, <http://www.spiegel.de/sport/sonst/0,1518,102087,00.html> (letzter Zugriff: 7.6.2010, 14:20 Uhr)
- **Folie 54 und 55:** Feldmann, H., *Abbau von Glucose in der Glykolyse und die Substratketten-Phosphorylierung*, http://biochemie.web.med.uni-muenchen.de/biotutor_2004/glykolyse.htm (letzter Zugriff: 28.5.2010, 13:35 Uhr)



**Vielen Dank für die
Aufmerksamkeit!**