

Milchsäure (engl. lactic acid)

Peter Bützer

Inhalt

1	Etwas Geschichte.....	1
2	Eigenschaften.....	2
3	Vorkommen.....	3
4	Physiologie.....	3
5	Toxizität.....	4
6	Konservierungsmittel, Säuerungsmittel.....	5
7	Mikrobiologie.....	5
8	Stoffwechsel, Lactat.....	6
8.1	Simulation (Typ 5).....	7
8.2	Dokumentation (Gleichungen, Parameter).....	7
8.3	Vergleich von Messwerten mit der Simulation.....	9
9	Weitere Verwendungen.....	9
10	Polymilchsäure.....	10
10.1	Aufbau.....	10
10.2	Eigenschaften.....	10
10.3	Charakteristiken.....	12

1 Etwas Geschichte

Milchsäure ist ein Stoffwechselprodukt im tierischen und pflanzlichen Organismus sowie bei Mikroorganismen. Die Salze der Milchsäure heissen Lactate. Milchsäure wurde von Carl Wilhelm Scheele (1742 -1786) 1780 in saurer Milch entdeckt. 1806 isolierte Jöns Jakob Berzelius (1779-1848) Milchsäure aus Muskeln¹. Durch das unterschiedliche Verhalten von Gärungs- und Fleischmilchsäure kam Johannes Wislicenius (1835-1902) im Jahre 1873 zum Schluss²: „dass die Verschiedenheit ihren Grund nur in einer verschiedenen räumlichen Lagerung der Atome habe.“ Auf der Grundlage dieser Untersuchungen konnte Joseph Achille Le Bel (1847-1930) die Stereochemie mit dem asymmetrischen Verbindungen und ihren Spiegelbildern aufbauen³. Milchsäure ist die einfachste Hydroxysäure mit einem chiralen Kohlenstoffatom. Gustav Embden (1874-1933) entdeckte die Bildung von Milchsäure aus Glucose und wies die Bedeutung der Milch- und Phosphorsäure bei der Muskelkontraktion nach. 1919 erkannte Otto Fritz Meyerhof (1884-1951) die Umstellung der Energiegewinnung im Muskel bei Sauerstoffmangel auf die anaerobe Umwandlung von Glykogen in Milchsäure. 1934 bestimmte Werner Kuhn (1899-1963) die absolute Konfiguration von Milchsäure und löste damit die Zuordnung eines C-Atoms als optisch aktives, chirales Zentrum⁴.

¹ Berzelius, Jöns Jakob, S. 1. Digitale Bibliothek Band 85: Lexikon der Naturwissenschaftler, S. 344

² Lockemann Georg, Geschichte der Chemie, Sammlung Göschen, Band 265/265a, Walter de Gruyter und Co., Berlin, 1955, S.70

³ Böhm Walter, Die Naturwissenschaftler und ihre Philosophie, Herder & Co Wien, 1961, S.290

⁴ Prijs Bernhard, Chymia Basiliensis, S.Karger AG, Basel, 1983, S.109

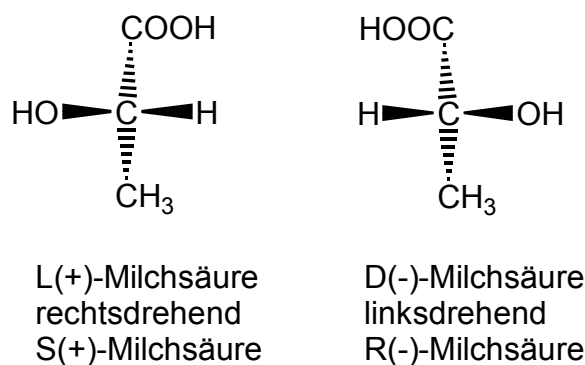


Abbildung 1: Stereoisomerie (Fischer-Projektion), optische Aktivität (+: rechtsdrehend, -: linksdrehend), von Milchsäure (R,S-Nomenklatur)

2 Eigenschaften

(2-Hydroxypropansäure, 2-Hydroxypropionsäure, 2-Hydroxypropanoic acid).
 $\text{H}_3\text{C}-\text{CH}(\text{OH})-\text{COOH}$, $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$

Smiles: OC([C@@H](O)C)=O

InChI=1/C3H6O3/c1-2(4)3(5)6/h2,4H,1H3,(H,5,6)/t2-/m0/s1

CAS-Nummer: 10326-41-7, D(-)-Milchsäure, 79-33-4, L(+)-Milchsäure, 598-82-3, DL(±)-Milchsäure.

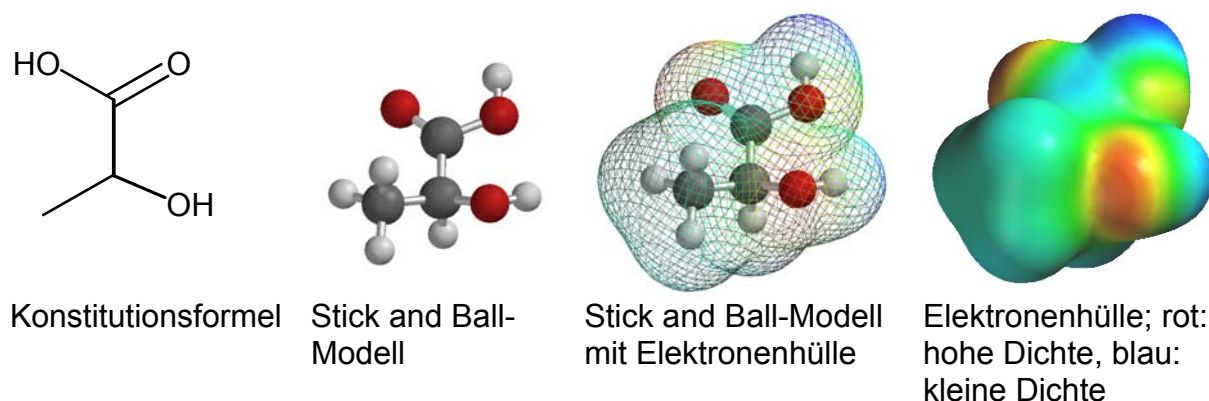
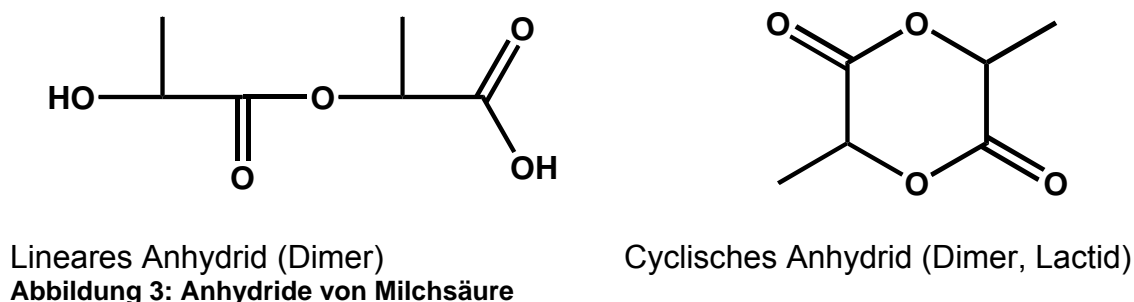


Abbildung 2: L(+)-Milchsäure mit Formel und Modellen

Milchsäure neigt, wie Glycolsäure zur Bildung von Anhydriden⁵:



⁵ Karrer Paul, Lehrbuch der organischen Chemie, Georg Thieme Verlag, Leipzig, 1937, S.266

Tabelle 1: Unterschiedliche Eigenschaften von Milchsäuren

Eigenschaft ⁶	D(-)-Milchsäure	L(+)-Milchsäure Fleischmilchsäure ⁷	DL(±)-Milchsäure (Racemat) Gärungsmilchsäure
Schmelzpkt. °C	53	53	18
Siedepunkt °C (19–20 hPa)	103	103	122
Aussehen	farblose Kristalle	farblose Kristalle	farbloses, viskoses Öl

Relative Dichte (Wasser = 1): 1.206, pKs: 3.86, Flammpunkt: 110 °C. Vollkommen mischbar mit Wasser, löslich in Ethanol und Aceton, wenig löslich in Ether, unlöslich in Chloroform. Verteilungskoeffizient log Pow: -0.6, Schwach wassergefährdend (WGK 1).

Spezifische Drehung [L(+)-Milchsäure]⁸: +3.8° (c = 10.5, H₂O, 15 °C).

Geschmack: sauer, Geruch: Schweiß?

Gefahrensymbol: Xi, R/S-Sätze: R 36/38, 41 S 26, 36



3 Vorkommen

DL(±)-Milchsäure findet sich z. B. in Sauerkraut, sauren Gurken, Oliven und andere Sauergeräten sowie in Sauermilchprodukten, Käse, Butter, Sauerteig, Wein und Silage.

Milchsäure (lactic acid) im Wein wird nicht direkt von den Reben produziert. Sie bildet sich im Wein in sehr geringfügiger Menge erst während der Vergärung von Zucker zu Alkohol durch die Hefen.

Milchsäure geht beim längeren Stehen oder beim Erhitzen unter Wasserabspaltung über die Lactoylmilchsäure in Polymilchsäure über.

Wichtig: Neue und alte Milchsäure kann auf Grund der Veresterung unterschiedlich sein!

4 Physiologie

Lactat: Blutkonzentration (venös)⁹: 0.75-1 mmol/l

Lactat kann mit dem Urin mit einer Rate von 40 mg/kg KG/Tag (normal 100-600 mg/24 Std.) direkt ausgeschieden werden, mit dem Schweiß mit 45-452 mg/100 ml^{10,11}.

⁶ Aylward G.H., Findlay T.J.V., Datensammlung Chemie, Verlag Chemie GmbH, Weinheim, 1975, S.66

⁷ abc-Chemie, Fachlexikon, Verlag Harri Deutsch, Thun, 1979, S.882

⁸ CRC Handbook of Chemistry and Physics, CRC Press, Boca Raton, 1980, 61st Edition, C-394

⁹ Ciba-Geigy, Wissenschaftliche Tabellen, Blut, Achte Auflage, Basel, 1979, S.106

¹⁰ Verschueren K; Handbook of Environmental Data on Organic Chemicals, Vol 1-2, 4th ed. John Wiley and Sons; New York, NY (2001)

¹¹ Kunsch Konrad, Kunsch Steffen, Der Mensch in Zahlen, area verlag gmbh, Erfstadt, 2005, S. 137

Im menschlichen Organismus ist nur L-Lactatdehydrogenase vorhanden¹². Der menschliche Stoffwechsel kann die D(-)-Milchsäure, die nur von Bakterien gebildet wird, nur langsam verwerten, weil sie zuerst durch eine Racemase¹³ in die L(+)-Form übergeführt werden muss. In Säuglingsnahrung ist nur die *rechtsdrehende* L(+)-Form erlaubt. Die Absorption von Natrium-DL-Lactat vom Darm hat gezeigt, dass sie proportional zur Menge Lactat im Verdauungstrakt verläuft¹⁴. Nach oralen Gaben von 1-3000 mg Lactat an Erwachsene, konnten 20-30% in 14 Stunden im Urin gefunden werden. L(+)-Lactate wurde 3-5-mal rascher oxidiert als D(-)-Lactate (Enten- und Rattenherz, Leberpräparate) und 10-20-mal rascher von Gehirnpräparaten.

5 Toxizität¹⁵

Milchsäure ist beim Menschen ein natürliches Stoffwechselprodukt – und trotzdem nicht immer harmlos. Auch hier gilt der Ausspruch von Paracelsus¹⁶:

sola dosis facit venenum

Allein die Dosis macht, dass etwas ein Gift ist.

Schwere Reizungen:

500 mg/24h, Haut/Kaninchen

750 µg/24h, Auge/Kaninchen

Auf Haut und Schleimhäute wirkt Milchsäure ätzend.

Eine 10%ige Lösung ist Grundlage vieler Keratolytika (Warzen- und Hühneraugenmittel).

Letalität:

LD50 (oral, Ratte): 3730 mg/kg

LD50 (oral, Maus): 4875 mg/kg

LD50 (oral, Meerschweinchen): 1840 mg/kg

LDLo (oral, Kaninchen): 500 mg/kg



Abbildung 4:
Warzenmittel mit
Milchsäure

Ein tragisches Beispiel:

Eine Frau, bei der irrtümlich eine Sondierung des Zwölffingerdarms mit 335iger Milchsäurelösung, statt mit Magnesiumsulfat durchgeführt wurde, starb an diesem Fehler¹⁷. Für Säuglinge kann sogar Milch mit einem hohen Säuregehalt kritisch werden¹⁸.

¹² Baltus Werner, Lebensmittelchemie, Springer-Verlag, Berlin, 1995, S.333

¹³ Schwedt Georg, Taschenatlas der Lebensmittelchemie, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1999, S.81

¹⁴ FAO Nutrition Meetings, Report Series No. 40A,B,C, WHO/Food,Add./67.29

<http://www.inchem.org/documents/jecfa/jecmono/40abcj44.htm>, 2008-05-02

¹⁵ Sax Irving N., Dangerous Properties of Industrial Materials, 6th edition, benzoic acid, 1984, Van Nostrand Reinhold Company, New York, p.1681

¹⁶ Philippus Aureolus Theophrastus Bombast von Hohenheim, (1493-1541). Genannt Paracelsus, 1537/38, in „7 Defensiones“

¹⁷ Moeschlin Sven, Klinik und Therapie der Vergiftungen, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1980, S. 278

¹⁸ Velvart Josef, Toxikologie der Haushaltprodukte, Verlag Hans Huber, Bern, 1981, S. 291

6 Konservierungsmittel, Säuerungsmittel

Milchsäure E-Nummer: 270, Natriumlactat E 325, Kaliumlactat E 326, Calciumlactat E 327¹⁹ werden zu Nahrungsmitteln als Konservierungsmittel zugesetzt^{20,21}. Die antimikrobielle Wirkung der Milchsäure ist relativ gering; sie konserviert erst ab einer Konzentration von 0.5%. Sie wirkt vorwiegend gegen Bakterien, vor allem gegen solche, die sich ohne Sauerstoff vermehren (Anaerobier). Der Konservierungseffekt ist gering gegenüber Hefen und Schimmelpilzen; diese können Milchsäure häufig sogar verwerten.

Milchsäure wird oft in Kombination mit Sorbinsäure E 200 oder Benzoesäure E 210 eingesetzt.

Milchsäure ist in starker Verdünnung ein Moskito-Lockstoff²². Auch die Gelbfiebermücke erkennt den Menschen an seinem Milchsäureduft im Schweiß.

7 Mikrobiologie

Je nach Stamm und Kulturbedingungen können Mikroorganismen D-, L- und DL-Milchsäure bilden. Vorwiegend D(-)-Milchsäure entsteht beim Vergären von Glucose durch *Lactobacillus leichmannii*, *Lactobacillus bulgaris* oder *Lactobacillus lactis*. Vorwiegend L(+)-Milchsäure wird von *Streptococcus lactis* oder *Streptococcus thermophilus* gebildet. L(+)-Milchsäure wird wegen ihres Vorkommens im Blut, im Muskelserum, der Galle, den Nieren und anderen Organen von Säugetieren auch Fleisch- Milchsäure genannt.

Auch Karies wird durch Bakterien verursacht, die sogenannten Mundbakterien (*Streptococcus mutans*). Diese kommen stets in unserem Mundraum vor und verwandeln Zucker zu Milchsäure: $C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2 H_3C-CH(OH)-COOH$.

Diese Milchsäure greift die Zähne an und entmineralisiert diese, wodurch Karies entsteht.

Der menschliche Organismus kann D(-)-Milchsäure, die ausschliesslich von Bakterien gebildet wird, nur langsam verwerten; sie muss zunächst durch eine Racemase in die L(+)-Form übergeführt werden. Daher sollten nach FAO/ WHO-Empfehlung nicht mehr als 100 mg D(-)-Milchsäure /kg Körpermasse und Tag aufgenommen werden; Kleinkindernahrung sollte frei von D(-)-Milchsäure sein.

DL(±)-Milchsäure findet sich natürlicherweise in z. B. in Sauerkraut, sauren Gurken, Oliven und andere Sauergemüsen sowie in Sauermilchprodukten, Käse, Butter, Sauerteig, Wein und Silage. Der Prozess der Milchsäuregärung wird auch zur Haltbarmachung der Lebensmittel genutzt. Sie erniedrigt den pH-Wert des Mediums auf Werte unter fünf und hemmt dadurch das Wachstum von anaeroben Bakterien.

Zulassung: Milchsäure ist für Lebensmittel allgemein zugelassen ohne Höchstmengenangaben (quantum satis).

¹⁹ E 327 Calciumlactat gilt als unbedenklich und ist auch für „Bio“-Produkte zugelassen.

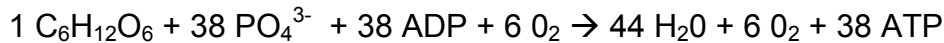
²⁰ Lindner Ernst, Toxikologie der Nahrungsmittel, Georg Thieme Verlag Stuttgart, 1979, S.139

²¹ Lück Erich, Der Mensch is(s)t misstrauisch, Humboldt Verlags GmbH, Baden-Baden, 2003, S.102

²² Acree F., Turner R.B., Gouck H.K., Beroza M., L-Lactid Acid, A mosquito attractant isolated from humans, Science, Vol. 161,1968, pp. 1346-1347

8 Stoffwechsel, Lactat

Im aeroben Bereich, wenn genügend Sauerstoff zur Verfügung steht, läuft bei der Verbrennung von Kohlehydraten (Glucose) folgende Reaktion ab:



Erst wenn kein Sauerstoff vorhanden ist, im anaeroben Bereich, „schaltet“ der Muskel auf die Milchsäureproduktion und damit auf eine wenig effiziente Energiegewinnung um²³:



Die Milchsäure verliert dabei in der Zellflüssigkeit sofort das saure Proton und wird zum Salz, dem Lactat.

Tabelle 2: Lactatgehalte im Blut

Tätigkeit	Gehalt an L(+)-Milchsäure (Blut)
Ruhe	0.5 bis 1.5 mmol/l Referenzbereich bis 1,3 mmol/l
Aerobe Belastungen, geringe bis mässige Belastungsintensitäten, Fettstoffwechsel	<2 mmol/l
Kohlenhydrat-Fettmischstoffwechsel	2-4 mmol/l
hohe Belastungsintensitäten	4 mmol/l, Maximale-Lactat-Staedy-State (MaxLASS)
Hyperlactazidämie, Kohlenhydratstoffwechsel mit partiell anaerober Energiebereitstellung	> 4 mmol/l
grosse anaerobe Belastungen	bis über 20 mmol/l

Der Effekt des Trainings und ein Mass für die Leistungsfähigkeit der Muskeln ist die Lactatbildung. Je rascher die Lactatbildung bei einer Leistungssteigerung einsetzt, desto geringer ist die Leistungsfähigkeit.

²³ Silbernagl Stefan, Despopoulos Agamemnon, dtv-Atlas der Physiologie, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1983, S.46

8.1 Simulation (Typ 5)²⁴

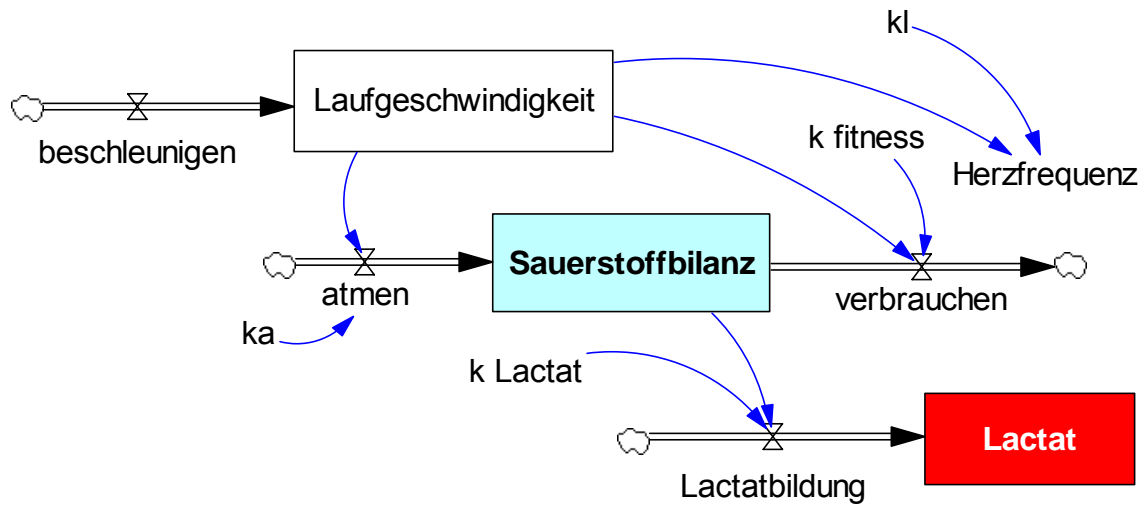


Abbildung 5: Zeitdiagramm der Lactatbildung

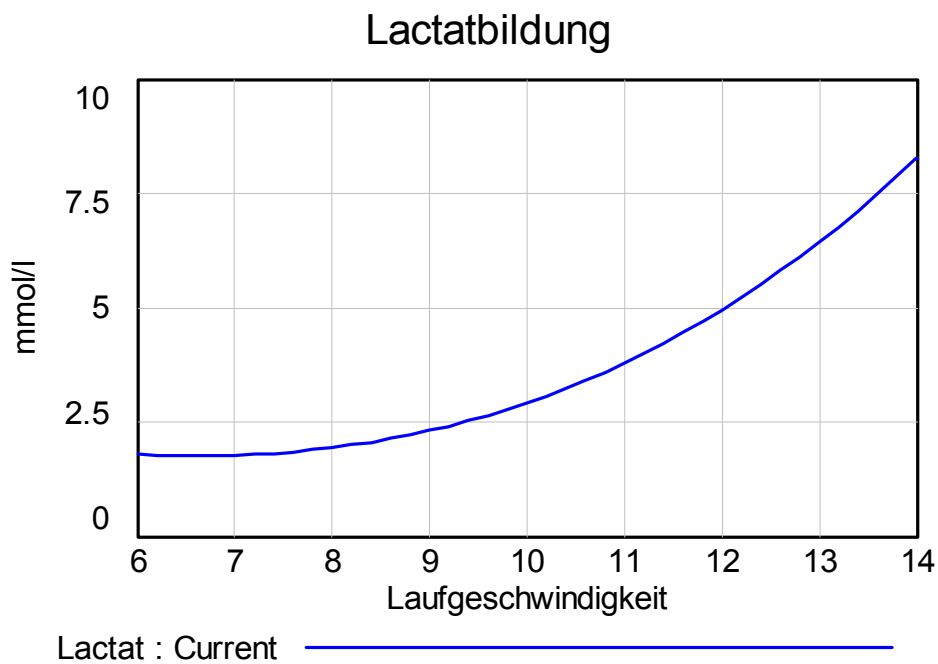


Abbildung 6: Zeitdiagramm der Lactatbildung in Funktion der Laufgeschwindigkeit

8.2 Dokumentation (Gleichungen, Parameter)

- (01) $atmen = ka \cdot \text{Laufgeschwindigkeit}$
 Units: $mmol \cdot 1 / (Minute \cdot l)$ [0, ?]
 Sauerstoffaufnahme in mmol/l pro Minute in Funktion der Laufgeschwindigkeit, wie viel Sauerstoff kann aufgenommen werden.
- (02) $ausatmen = k \text{ fitness} \cdot \text{Laufgeschwindigkeit}$
 Units: $mmol \cdot 1 / (Minute \cdot l)$ [0, ?]
 Sauerstoffverbrauch in mmol/l pro Minute

²⁴ Bützer Peter, Roth Markus, Die Zeit im Griff, Systemdynamik in Chemie und Biochemie, verlag pestalozzianum, Zürich 2006, S. 63

- (03) $\text{beschleunigen} = 1$
Units: km/Minute/Minute [0,2]
Beschleunigung beim Laufen
- (04) $\text{FINAL TIME} = 90$
Units: Minute
The final time for the simulation.
- (05) $\text{Herzfrequenz} = 110 + k_l * \text{Laufgeschwindigkeit}$
Units: 1/Minute [0,?]
- (06) $\text{INITIAL TIME} = 0$
Units: Minute
The initial time for the simulation.
- (07) $k \text{ fitness} = 1.018$
Units: mmol/l/km [1.01, 1.12]
Bei einem Trainierten ca. 1.01, bei Untrainierten ca. 1.018, ein grosser Wert bedeutet, dass viel Sauerstoff ausgeatmet wird, also rascher anaerob wird
- (08) $k \text{ Lactat} = 0.06$
Units: 1/Minute [0, 0.1]
Reaktionsgeschwindigkeitskonstante, ist bei Untrainierten gross (z.B. 0.06), bei Trainierten klein (z.B. 0.0012); ein grosser Wert bedeutet, dass auch bei viel Sauerstoff rasch Lactat gebildet wird (schlechte Sauerstoffverwertung)
- (09) $k_a = 1$
Units: Minute/km*(mmol/l)/Minute [0.9, 1.2]
Reaktionsgeschwindigkeitskonstante: mmol/l pro Minute bezogen auf die Laufgeschwindigkeit (pro km/Minute), ein grosser Wert bedeutet, dass viel Luft mit Sauerstoff geschöpft werden kann.
- (10) $k_l = 3$
Units: 1/km [1, 4]
Umrechnung der Laufgeschwindigkeit in Herzfrequenz
- (11) $\text{Lactat} = \text{INTEG}(\text{Lactatbildung}, 0.8)$
Units: mmol/l [0, 2]
Lactatkonzentration im Blut, mit den experimentellen Daten für Untrainierten: 1.8, beim Trainierten 0.8 mmol/l
- (12) $\text{Lactatbildung} = -k \text{ Lactat} * \text{Sauerstoffbilanz}$
Units: 1/Minute*(mmol/l) [0, ?]
Lactatbildung in mmol/l pro Minute
- (13) $\text{Laufgeschwindigkeit} = \text{INTEG}(12 * \text{beschleunigen}/60, 6)$
Units: km/Minute [0, 30]
Laufgeschwindigkeit in km/h und Umrechnung auf km/Min daher die Division mit 60; Bezugswert ist 12 km/h
- (14) $\text{Sauerstoffbilanz} = \text{INTEG}(\text{atmen-ausatmen}, 0.3)$
Units: mmol/l [0, ?]
- (15) $\text{SAVEPER} = \text{TIME STEP}$
Units: Minute [0, ?]
The frequency with which output is stored.
- (16) $\text{TIME STEP} = 1$
Units: Minute [0, ?]
The time step for the simulation.

8.3 Vergleich von Messwerten mit der Simulation

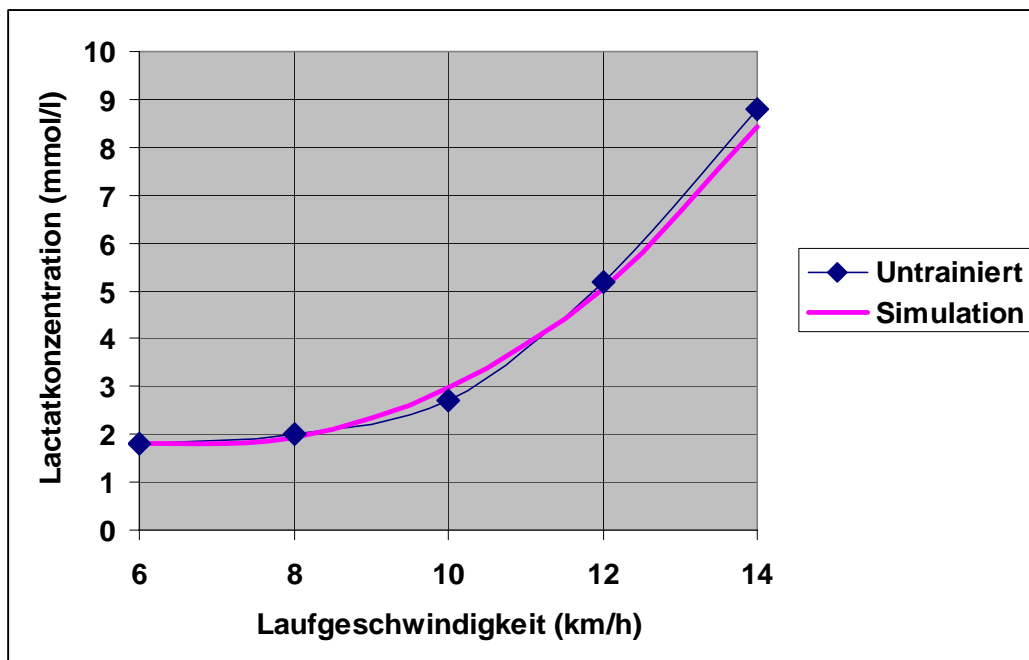


Abbildung 7: Lactatbildung bei einem untrainierten Läufer und einem professionellen Langstreckenläufer²⁵

Die Messungen und die Simulation zeigen, dass die Lactatbildung oberhalb einer gewissen Laufgeschwindigkeit sehr rasch ansteigt.

Für trainierte Langstreckenläufer ist diese Simulation nicht korrekt, da die aerobe Phase zu wenig lange wird – es ist hier eine kontinuierliche „Umschaltung“ des Stoffwechsels modelliert – da müsste das Modell angepasst werden.

9 Weitere Verwendungen

Für die Haut ist Milchsäure ein Wirkstoff mit gesuchten kosmetischen Eigenschaften. Milchsäure oder Lactat (INCI Name Lactic Acid) speichert als Bestandteil des natürlichen Feuchthaltefaktors (engl. Natural Moisturizing Factor= NMF) Wasser in der Haut, hält sie geschmeidig und bildet zusammen mit anderen Bestandteilen des Hydrolipidfilms einen Säureschutzmantel.

Milchsäure konserviert die Silage.

Milchsäure wird für die Varroa-Bekämpfung bei Bienen eingesetzt.

²⁵ Österreichisches Institut für Sportmedizin, Grundlagen der Laktatleistungskurve, <http://www.sportmedizin.or.at/laktat1.htm>, 2008-05-03

10 Polymilchsäure, PLA

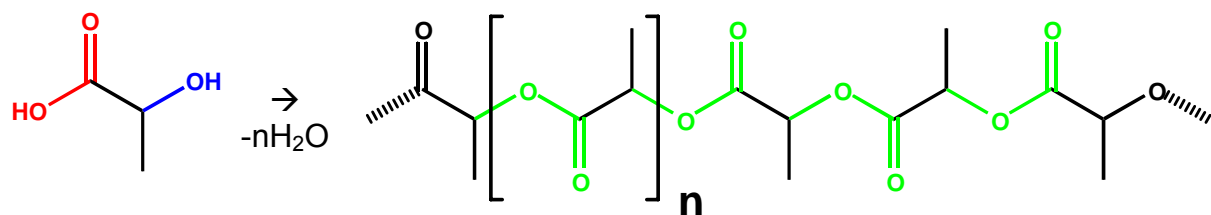
(polylactic acid, PLA, polylactid)

PLA ist ein Makromolekül, aufgebaut aus Milchsäuremolekülen als Bausteine.

10.1 Aufbau

Jedes Milchsäuremolekül enthält eine Säure- und eine Alkoholgruppe. Damit ist eine Esterbildung möglich. Polymere Milchsäure ist somit ein Polyester.

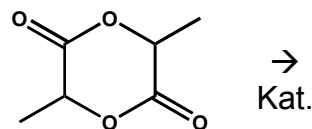
Polymilchsäure ist ein Thermoplast, das DL-Copolymer (PDLLA), sie ist durchsichtig und hat einen leicht gelblichen Ton.



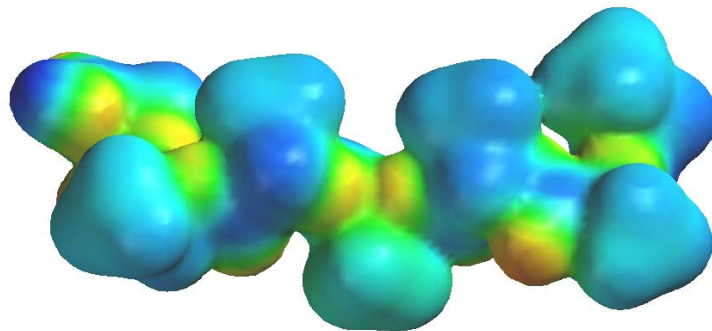
Milchsäure
Säure: rot
Alkohol: blau

Polymilchsäure, Polylactid, PLA
Estergruppe: grün

Polykondensation



→
Kat.



Lactid

Ausschnitt aus PLA
Elektronenoberfläche; rot: hohe Dichte, blau: kleine Dichte

Polyaddition

Abbildung 8: Formeln und Reaktionen zu Polymilchsäure

10.2 Eigenschaften

PLA ist neutral und hydrophob. Die Methylgruppe macht das Material ziemlich wasserabweisend (hydrophob), wodurch die Wasseraufnahme und somit auch die Hydrolyserate der Esterbindung gesenkt wird. Polylactid-Kunststoffe sind biokompatibel, erzeugen keine allergischen Reaktionen und sind biologisch abbaubar. Sie sind fett- und ölbeständig, sind unkritisch bei Kontakt mit Nahrungsmitteln, sind sehr transparent, schweißbar und maschinenbearbeitbar.

In der Medizin kennt man PLA bei Nahtmaterial²⁶, Implantaten^{27,28}, Wirkstoffträgern und Antiadhäsionsfolien²⁹ (Adhäsions-Barrieren), die im Körper zu Milchsäure abgebaut und resorbiert werden.

Mit Antiadhäsionsfolien können Folgemassnahmen durch Anwachsen der Wunden an anderem Gewebe stark unterdrückt werden. Verwachsungen sind jedoch häufig eine unausweichliche Folge chirurgischer Eingriffe. Weshalb in der Chirurgie die Antiadhäsionsfolien noch immer so selten verwenden ist aus Patientensicht unverständlich – sie bedingen kleine Kosten und bringen einen grossen Nutzen. Schmerzen, Komplikationen und Zweitoperationen können wesentlich vermindert werden – aber die „Wertschöpfung“ für Chirurgen und Spitäler sinkt.

Knochenplatten oder Schrauben aus PLA werden im Körper mit fortschreitender Heilung z. B. eines Knochenbruchs abgebaut, muss also nicht mehr in einer Zweitoperation entfernt werden. Bis das Implantat an Festigkeit verliert, vergehen fast acht Monate. So haben die Knochenbruchstücke genug Zeit, aneinander zu wachsen. Und sobald das Implantat zerfallen ist, füllt der Knochen das entstehende Loch wieder mit Knochensubstanz auf. Nicht in allen Fällen ist ein resorbierbares Implantat geeignet. Bei sehr stark beanspruchten Knochen reicht deren Steifigkeit nicht aus, so dass hier die bekannten Metallimplantate eingesetzt werden müssen. Trotz der für die Patienten überzeugenden Eigenschaften sind Titanbeziehungsweise Stahlimplantate die am meisten benutzten Werkstoffe bei der Frakturversorgung – unter anderem aus finanziellen Gründen. Im Zeitalter von Fallpauschalen zahlen die meisten Krankenkassen für Operationen einen Festbetrag. Daher sind die im Vergleich zu Metallen teureren resorbierbaren Implantate für den Operateur beziehungsweise das Krankenhaus oft nicht interessant. Ein billigeres Stahlimplantat ist ökonomisch vorteilhafter, weil auch die zweite Operation zur Entfernung des Stahls von der Krankenkasse bezahlt wird.



Abbildung 9: Selbstabbauende Antiadhäsionsfolie aus PLA für die Chirurgie (SurgiWrap); Dicke 0.02 mm

Polymilchsäure ist auch ein kosmetisches Implantat, welches Hohlwangen und Nasolabialfalten auffüllt, sowie alternde Hautpartien strafft (Faltenunterspritzung)³⁰. Die Resorptionsdauer kann durch das Mischungsverhältnis aus L- und D-Anteilen sowie der Kettenlänge des eingesetzten Polymers eingestellt werden.

²⁶ DeJong L., DeBerardino L., Brooks D., Judson K., In vivo comparison of a metal versus a biodegradable suture anchor1. *Arthroscopy, The Journal of Arthroscopic & Related Surgery*, Vol. 20, Issue 5, 2004, pp. 511 - 516

²⁷ Z.B.: Prokop A., Jubel A., Helling H. J., Udomkaewkanjana C., Brochhagen H. G., Rehm K. E., Neue biodegradable Polylactid-Implantate (Polypin®-C) zur Therapie von Radiuskopffrakturen, *Der Chirurg*, Volume 73, Number 10, 2002, S. 997-1004

²⁸ Driemel Oliver, Histopathologische Untersuchungen auf organische Veränderungen nach intraossärer Implantation von Poly(L-Lactid), Polymethyl-Methacrylat und kommerziell reinem Titan bei der Ratte, Dissertation, Medizinischen Fakultät der Bayerischen Julius-Maximilians-Universität zu Würzburg, Oktober 2002, S. 5-7

²⁹ MAST Biosurgery, OrthoWrap, <http://www.mastbio.com/usa/orthowrap.shtml>, 2008-05-05

³⁰ Hönig J., Fricke M., Allgemeine Übersicht der gebräuchlichsten injizierbaren Weichgewebsfüller zur initialen Faltenbehandlung des Gesichts, *Zentralbl Chir*, 130, 2005, S.1–12

Ebenso kann polymere Milchsäure eingelagerte Wirkstoffe lokal in einer vorbestimmten Zeit dosiert abgeben.

Für kurzlebige Verpackungsfolien oder Tiefziehprodukte (z. B. Getränke- oder Joghurtbecher, Obst-, Gemüse- und Fleischschalen) weckt der Rohstoff grosse Erwartungen.

2002 wurde in den USA eine grosse PLA-Produktionsanlage mit 140'000 t Jahreskapazität in Betrieb genommen.

10.3 Charakteristiken³¹

PLLA (poly-L-lactide) hat eine Kristallinität von ca. 37%, eine Glasübergangstemperatur von 50-80 ° und eine Schmelztemperatur von 173-178 °C. Durch mischen mit PDLA-Polymer (poly-D-lactide) kann die Schmelztemperatur von PLLA kann von ca. 60 °C auf etwa 190 °C erhöht werden

Dichte (g/cm ³):	1.24 to 1.26
Schmelzflussrate ³² (g/10 min):	9.9 to 20
Elastizitätsmodul (MPa):	2300 to 3830
Reissfestigkeit (MPa):	48.2 to 145
Zugdehnung, Bruchdehnung (%):	2.5 to 6.9
Rockwell Härte ³³ :	84 to 115
Notched Izod Impact ³⁴ (J/m)	12.8 to 29.0
DTUL ³⁵ at 0.45 MPa (°C):	50.0 to 55.0
DTUL at 1.8 MPa (°C):	48.0

³¹ Ides, The Plastic Web, PLA, http://www.ides.com/generics/PLA/PLA_typical_properties.htm, 2008-05-04

³² Extrusion rate of a resin through an orifice of defined dimensions at a specified temperature and load.

³³ Die Rockwell-Härte wird mit der Eindringtiefe eines Prüfkörpers in den Werkstoff gemessen.

³⁴ Notched Izod Impact is a single point test that measures a materials resistance to impact from a swinging pendulum. Izod impact is defined as the kinetic energy needed to initiate fracture and continue the fracture until the specimen is broken.

³⁵ Deflection Temperature Under Load (DTUL)