

Hinweis

Bei dieser Datei handelt es sich um ein Protokoll, das einen Vortrag im Rahmen des Chemielehramtsstudiums an der Uni Marburg referiert. Zur besseren Durchsuchbarkeit wurde zudem eine Texterkennung durchgeführt und hinter das eingescannte Bild gelegt, so dass Copy & Paste möglich ist – aber Vorsicht, die Texterkennung wurde nicht korrigiert und ist gerade bei schlecht leserlichen Dateien mit Fehlern behaftet.

Alle mehr als 700 Protokolle (Anfang 2007) können auf der Seite http://www.chids.de/veranstaltungen/uebungen_experimentalvortrag.html eingesehen und heruntergeladen werden.

Zudem stehen auf der Seite www.chids.de weitere Versuche, Lernzirkel und Staatsexamensarbeiten bereit.

Dr. Ph. Reiß, im Juli 2007

434

PROTOKOLL
ZUM
EXPERIMENTALVORTRAG

„ASCORBINSÄURE“

23.04.92

Thomas Antzen

Gliederung:

1. Biochemie
2. Struktur
3. Synthese
4. Eigenschaften
 - 4.1. Reduzierende Eigenschaften
 - 4.2. Saure Eigenschaften
5. Neuere Aspekte der Ascorbinsäurechemie

1. Biochemie der Ascorbinsäure

Zitrusfrüchte, Sauerkraut und grüne Gemüse galten schon seit Jahrhunderten als Vorbeugungs- und Heilmittel gegen die gefährliche Seefahrerkrankheit Skorbut („Scharbock“, vgl. (1) S. 150, Zitat von J. Lind 1753). 1912 konnte Axel Holst an Meerschweinchen zeigen, daß Skorbut eine Avitaminose ist. Der Stoff selbst wurde erstmalig vom Scientist Györgyi im Jahre 1928 kristallisiert erhalten. Der Name leitet sich ab von „Ascorbutin“, d.h. „das Stoff der Skorbut beseitigt oder vorbeugt.“ Diese Wirkung läßt sich mit Hilfe der Reduktions-eigenschaften der Ascorbinsäure erklären.

Betrachtet man einmal die Symptome des Skorbut, so fällt auf, daß besonders das Bindegewebe betroffen ist. Eine eindrucksvolle Schilderung dieser Krankheit stammt von Jacques Cartier aus dem Jahre 1536, dessen Männer bei der Entdeckung des St. Lorenz-Stromes davon befallen wurden (vgl. (1) S. 150).

Das Zahnfleisch wie auch das Bindegewebe der Adern sind aus Kollagen aufgebaut. Als einzige Proteinsart enthält Kollagen die Aminosäure Hydroxyprolin (Folie 1). Die Hydroxylgruppen tragen durch Anlagerung von Wasserstoffbrücken erheblich zur Festigkeit und Stabilität der Kollagenfasern bei. Für Hydroxyprolin

gibt es keine t-RNA. Die Biosynthese muß daher durch Hydroxylierung von bereits im Protein (sog. Prokollagen) vorliegendem Prolin erfolgen. Das Enzym, welches diese Reaktion katalysiert ist die Prolinhydroxylase. Sie ist im Zellplasma lokalisiert und besitzt Fe^{2+} -Ionen im aktiven Zentrum. Das Enzym benötigt Ascorbat, um das Eisenion im zweiwertigen Zustand zu erhalten. Das Sauerstoffatom stammt aus molekularem Luft-Sauerstoff. Das zweite Sauerstoffatom kommt von Succinat wieder auf, welches als α -Ketoglutarat gebildet wird (Folie 1).

Ohne Ascorbinsäure synthetisiertes Kollagen ist also nur unvollständig hydroxyliert und kann nur ungenügend Wasserstoffbrücken ausbilden, was zur mangelhaften Bildung von Fasern führt.

Weitere Ascorbinsäure-abhängige Hydroxylasen katalysieren die Addition von OH-Gruppen an Steroidhormone (z.B. Synthese von Adrenalin), wirken also in der Nebenniere. Aus diesem Organ hat Szent-Györgyi die Ascorbinsäure 1928 erstmals isoliert, und nicht - wie etwa zu erwarten wäre - aus frischem Obst.

Man sieht, daß das Symptom des Skorbut nicht allein auf mangelnde Hydroxylierung des Prolin

Zurückzuführen ist. Vielmehr wird deutlich, daß es sich um ein hochkomplexes Krankheitsbild handelt. Sicherlich richtig bleibt dennoch, daß man Skorbut allgemein auf das Fehlen der Reduktionskraft der Ascorbinsäure zurückführt.

2. Struktur der Ascorbinsäure

1933 gelang die Strukturauflösung durch Michael und Miß (Folie 2). Es handelt sich dabei um das γ -Lacton einer Ketocarbonsäure, deren Keto-Gruppe jedoch in der Enolform vorliegt. Die Strukturformel läßt vier funktionelle Gruppen erkennen:

- primäre Alkohol
- sekundäre Alkohol mit asymmetrischen Kohlenstoffatom
- innere Ester (Lacton) mit asymmetrischem Kohlenstoffatom
- Endiol in cis-Konfiguration

Die Struktur läßt die Möglichkeit zur intramolekularen Ausbildung von Wasserstoffbrücken erkennen. Es ist stets darauf zu achten, daß die heterocyclische Fünfring aufgrund der drei benachbarten sp^2 -hybridisierten Kohlenstoffatome nahezu eben gebaut ist.

Die Fischerprojektion zeigt die L-Form der Ascorbinsäure. Dies ist die biochemisch einzig wirksame Form.

3. Synthese der Ascorbinsäure

Die Synthese der Ascorbinsäure soll hier nur kurz geschildert werden (vgl. Folie 3).

Als Ausgangssubstanz dient D-Glucose. Diese wird durch katalytische Hydrierung zu D-Sorbit reduziert. Ein Vergleich zwischen D-Sorbit und L-Ascorbinsäure zeigt, daß das C₂-Atom des D-Sorbit bereits die gewünschte Konfiguration aufweist. Bei den folgenden Reaktionsschritten wird diese nicht mehr verändert. Somit muß nun spezifisch am C₅-Atom reduziert werden. Bei dieser Reaktion vollzieht sich der Übergang von der D- zur L-Form. Um diese Oxidation spezifisch durchzuführen, bedient man sich Mikroorganismen (*Acetobacter suboxydans*), deren Enzyme die Oxidation quantitativ und stereospezifisch vollziehen.

Durch Oxidation am Platinkontakt entsteht mittels molekularem Sauerstoff 2-Keto-L-Gulonsäure. Unter Erwärmung in wässrigen Säuren tritt β -Lactonisierung zur L-Ascorbinsäure ein.

4. Eigenschaften

4.1. Reduzierende Eigenschaften

Die herausragendste Eigenschaft der Ascorbinsäure ist ihr stark ausgeprägtes Reduktionsvermögen.

Dies kann durch vier Reaktionen gezeigt werden.

V₁₋₄: Reduktion von Ag^+ , Se^{4+} , Fe^{3+} , CrO_4^-

Geräte: 4 Reagenzgläser (groß) mit Ständer

Reagenzien: Ascorbinsäurelösung ($w = 0,05$), AgNO_3 -Lösung (verdünnt), sodalkalische SeO_2 -Lösung ($w = 0,05$), FeCl_3 -Lösung (verdünnt), NH_4SCN -Lösung (verdünnt), K_2CrO_4 -Lösung (verdünnt)

Durchführung:

Zu je ca. 30 ml Ascorbinsäure-Lösung gibt man verdünnte Silbernitrat-Lösung, SeO_2 -Lösung, FeCl_3 -Lösung, die zuvor etwas NH_4SCN -Lösung zugesetzt worden war sowie Kaliumchromat-Lösung.

Grüner Niederschlag von Silber, roter Niederschlag von Selen (Se_2) sowie die Entfärbung des roten Rhodano-Eisen-Komplexes und des gelben Chromat zeigen die reduzierende Eigenschaft (vgl. Folie 4).

Für die Redoxaktivität ist hauptsächlich die Endiol-Gruppe verantwortlich.

Bei der Reaktion von Ascorbinsäure zu Dehydroascorbinsäure entstehen zwei Elektronen und zwei Protonen. Die Reaktion läuft in zwei Ein-Elektronenschritten ab, wobei als Zwischenprodukt die radikalische Semidehydroascorbinsäure entsteht.

Wendet man die Nernst-Gleichung auf das Redoxsystem an (vgl. Folie 5), so sieht man, daß das Redoxpotential vom pH-Wert abhängen sollte. Demnach sollte das Redoxpotential bei zunehmendem pH-Wert sinken (d.h. steigende Reduktionskraft der reduzierten Form). Dies wird auch bei Betrachtung der Reaktionsgleichung unmittelbar ersichtlich, denn hier bewirkt eine Erhöhung des pH-Wertes Abfangen der Protonen und somit Verschiebung des Gleichgewichts auf die Seite der Dehydroascorbinsäure.

V_5 : pH-abhängiges Redoxpotential

Geräte: 3-Mals-Büchsenkolben, Tropftrichter, Pt-Elektrode, Ag/AgCl-Elektrode, Magnetrührer, hochohmisches Voltmeter

Reagenzien: Natrioumlauge ($w = 0,1$), Ascorbinsäurelösung ($w = 0,05$)

Durchführung:

Unter Rühren gibt man in Ascorbinsäurelösung langsam Natronlauge aus dem Tropftrichter und misst dabei ständig das Redoxpotential.

Dieses sinkt mit zunehmender Hydroxid-Zugabe.

Neben der Argumentation mittels der Nernst- oder Nernst-Gleichung kann man diesen Effekt auch durch Betrachtung der Elektronenverteilung erklären.

Bei zunehmendem pH-Wert liegt mehr und mehr Ascorbinsäure in dissoziierte Form vor. Diese kann aus nichtbindenden Orbitalen leicht Elektronen abgeben, als ein Molekül, dessen Elektronen sich in einem bindenden Orbital zwischen Sauerstoff- und Wasserstoff-Atom befinden.

Das Verhalten der Ascorbinsäure in alkalischer Milieu erklärt die rasche Zerstörung dieser durch Autoxidation im basischen Milieu innerhalb weniger Stunden. Verderbene Ascorbinsäure bekommt man an der gelben bis braunen, später sogar schwarzen Farbe. Es handelt sich dabei um zyklische Polymerisate von Mehrfachketonen. In saurer Lösung ist sie mehrere Tage haltbar, in fester Form nahezu unbegrenzt.

Um die Struktur der Dehydroascorbinsäure zu belegen bedient man sich einer für Ketone und Aldehyde

typischen Reaktion. Diese reagieren mit Stickstoffbasen in einem Additions-Eliminierungsprozess (vgl. Folie 6).

Voraussetzung für den nucleophilen Angriff ist die Positivierung des Kohlenstoffatoms der Carbonylgruppe, welche durch den Elektronenentzug des Sauerstoffatoms verursacht wird. Durch Protonierung kann der positive Charakter des Kohlenstoffatoms erhöht werden und somit auch dessen Bereitschaft zur Reaktion mit Nucleophilen. Daher bevorzugt man bei diesen Reaktionen das saure Milieu.

Handelt es sich bei der Stickstoffbase um ein Hydroxinderivat, so bilden sich sog. Hydrozone. Liegen nun zwei Ketongruppen nebeneinander, so bildet sich unter Kondensation mit einem weiteren Hydroxinderivat ein Osazon, welches als orange-roter Niederschlag ausfällt. So sollte die Dehydroascorbinsäure die Reaktion zum Osazon eingehen.

Die Ascorbinsäure selbst hingegen sollte die Reaktion nicht eingehen, da es sich hier nicht um ein Aldehyd oder Keton, sondern vielmehr um einen Ester handelt. Hier kann der Elektronenentzug des Carbonylsauerstoffs durch das benachbarte Sauerstoffatom ausgeglichen werden.

Das soll in einem Versuch überprüft werden (Folie 7):

V₆: Reaktion mit 2,4-Dinitrophenylhydrazin

Reagenzien:

Reagenzlösung: (2 mal einsetzen)

0,4 g 2,4-Dinitrophenylhydrazin in 2 ml H₂SO₄ (konz) lösen, dann 3 ml Wasser zugeben (Vorsicht!) und in der noch warmen Lösung 10 ml Methanol.

Ascorbinsäurelösung (0,02 M), KI/I₂-Lösung (0,1 M), Thioacetat-Lösung (verdünnt), Wasser, Rührer

Geräte: 2 große Reagenzgläser, 100 ml Erlenmeyerkolben, Titrierburette (50 ml), 400 ml Becherglas, Stativmaterial.

Durchführung

Zu 10 ml Ascorbinsäurelösung gibt man 15 ml Reagenzlösung und stellt diese Lösung in ein Wasserbad von ca. 37°C. Kein Niederschlag.

Zu 10 ml Ascorbinsäurelösung gibt man KI-I₂-Lösung bis die nicht mehr verschwindende Gelbfärbung die vollständige Umsetzung zur Dehydroascorbinsäure anzeigt (Rührer, Burette). Anschließend entfernt man überschüssiges I₂ durch wenige Tropfen Natriumthioacetatlösung, überführt in ein Reagenzglas und versetzt mit Reagenzlösung. Im Wasserbad färbt nach kurzer Zeit rot-orange bis Orange aus.

4.2. Säurecharakter

Der Säurecharakter kann an drei Versuchen gezeigt werden:

V_g-g pH-Messung, Reaktion mit CaCO_3 , Reaktion mit Mg:

Geräte: 3 Reagenzgläser (groß), durchbohrte Stopfen mit Überleitungsrohr, Unterwasseruhrgefäß mit Verstärker, pH-Meter.

Reagenzien: Ascorbinsäurelösung, CaCO_3 , Mg, BaOH -Lösung gesättigt.

Durchführung

Man misst den pH-Wert von der Ascorbinsäurelösung.

Es ergibt sich ein Wert von ca. 2.

Zu CaCO_3 gibt man ca. 40 ml Ascorbinsäurelösung und leitet das entstehende Gas in eine gesättigte Bariumhydroxidlösung. Eine weiße Trübung zeigt CO_2 -Entwicklung an.

Zu ca. 40 ml Ascorbinsäurelösung gibt man Magnesiumspäne und taucht das Unterwasseruhrgefäß hinein. Man kann die Gasentwicklung deutlich akustisch wahrnehmen.

Verantwortlich für den sauren Charakter ist auch hier die Enolgruppe (Folie 8).

Es ist bekannt, daß Enole Säuren sind, daß das entstehende Enolation mesomerie stabilisiert ist.

Enole wie die Ascorbinsäure stellen somit zwei protonige Säuren dar. Der niedrige erste pK_a -Wert resultiert aus der Mesomeriestabilisierung des entstehenden Anions. Im Gegensatz zum Enolat-ion erstreckt sich diese jedoch über drei Kohlenstoffatome. Aufgrund der negativen Ladung des entstehenden Anions ist die Ablösung eines weiteren Protons erschwert. So erklärt sich der hohe zweite pK_a -Wert.

5. Neuere Aspekte der Ascorbinsäurechemie

Die Erscheinung der Periodizität ist für biologische Systeme eine lang bekannte und bereits vielfach untersuchte Eigenschaft. Grundlage rhythmischer biologischer Prozesse sind oszillierende chemische Reaktionen.

Die am besten untersuchte Reaktion dieser Art ist die Belousov-Zhabotinskii-Reaktion: Malonsäure wird mit Kaliumbromat in schwefelsaure Lösung in Gegenwart von $Ce(IV)$ -sulfat als Katalysator oxidiert bzw. bromiert. Die Reaktionen zeigen einen rhythmischen Farbwechsel zwischen gelb (Ce^{3+})

und farblos (Ce^{4+}).

Die Reaktionspartner lassen sich durch eine Vielzahl anderer Stoffe ersetzen. Dafür eignet sich z.B. auch Citronensäure und, wie wir seit Kurzem bekannt, auch Ascorbinsäure:

V_{10} : Oszillierende Reaktion der Ascorbinsäure

Geräte: Reaktionsgefäß Metrohm EA 876-20, Pt-Elektrode, Ag/AgCl-Elektrode, Kompensationschreiber, Salzbrücke, Redoxglas (50ml), Gasüberleitungsrohr, Reagenzglas (groß), Netzgerät, Potentiometer (1 k Ω), verschiedene Pipetten (Messpipetten 1ml, 5ml), Stationärematerial, Magnetmischer

Reagenzien: 1,5 M H_2SO_4 , 0,15 M $KBrO_3$, 0,75 M Ascorbinsäure, 0,2 M $Ce(SO_4)_2 \cdot 7H_2O$, Natrioungel ($w = 0,2$), Lösungsmittel für $KBrO_3$, $Ce(SO_4)_2 \cdot 7H_2O$ und Ascorbinsäure ist 1,5 M H_2SO_4

Durchführung:

Im Gegensatz zu den oben angesprochenen Reaktionen läßt sich die Reaktion der Ascorbinsäure nicht visuell verfolgen, da das entstehende Braun die Lösung braun färbt. Daher bedient man sich der üblichen Redoxmessung und verfolgt den Verlauf mittels konstanter Kompensationschreiber (Folie 9).

Als Elektroden dienen wiederum Pt-Elektrode und als Bezugselektrode eine Ag/AgCl-Elektrode. Um letztere vor dem aggressiven Brom zu schützen, wird sie über eine Salzbrücke mit dem oszillierenden System verbunden. Zum Schutz vor etw. entweichendem Brom leitet man entstehende Gase in eine Natriumhydroxidlösung.

Die Amplitude der Reaktion bewegt sich in der Größenordnung von ca. 50 mV. Das Redoxpotential des Systems Jodide liegt bei ca. 1,2 V. Um die Änderungen im mV-Bereich mit dem Schreiber registrieren zu können, muß hier eine Kompensationspannung angelegt werden.

Es werden 25 ml $KBrO_3$ -Lösung 1,5 ml Ascorbinsäurelösung zugegeben und die Reaktion durch Zugabe von 0,85 ml $Ce(SO_4)_2$ -Lösung gestartet. Nach ca. 1-2 min beginnen die Oszillationen (Abb. 1).

Den Mechanismus der oszillierenden Reaktion möchte ich an dem Beispiel Malonsäure erläutern (Folie 10):

Wir betrachten eine Lösung von Brommalonsäure, Bromsäure in verdünnter Schwefelsäure. In dieser Lösung gibt man Ce^{4+} -Ionen als Katalysator.

Nun wird Brommalonsäure durch Bromsäure oxidiert, wobei Ce^{4+} als Katalysator dient. Dabei

laufen zwei Reaktionen ab. Zunächst reagiert Ce^{4+} mit Bromalonsäure. Das entstehende Ce^{3+} kann nun umgekehrt von der Bromsäure zu Ce^{4+} oxidiert werden.

Ein stationärer Zustand wird erreicht, wenn die Bildungsgeschwindigkeit von Ce^{3+} gemäß (1) genauso groß ist, wie die Geschwindigkeit, mit der Ce^{3+} gemäß (2) verschwindet.

Nun wird die Reaktion (2) jedoch blockiert, sobald die Konzentration von Br^- , die in (1) entstehen einen kritischen Wert übersteigt. Dies hängt damit zusammen, daß die Reaktion (2) eine sehr komplexe Reaktion ist, bei der als Zwischenprodukt $HBrO_2$ entsteht. Diese reagiert gemäß (3) schnell mit Br^- . So unterscheidet man zwei Reaktionsphasen:

$$[Br^-] < C_{krit} \Rightarrow (1) \text{ und } (2) \text{ laufen ab}$$
$$[Br^-] > C_{krit} \Rightarrow \text{ nur } (1) \text{ läuft ab}$$

Eine weitere Reaktion, die für den zeitlichen Verlauf wichtig ist, ist die langsame Reaktion von Bromid mit Bromsäure, die im Überschup vorliegt gemäß (4).

So ergibt sich folgender Verlauf:

Zunächst steigt die Konzentration des Br^- an, bis C_{krit} überschritten wird. Da jetzt über (2) kein Br^- mehr verbraucht wird (da ja kein $HBrO_2$ mehr gebildet wird), steigt die Bromid-Konzentration

noch stärker an. Nach (1) sinkt dann die Ce^{4+} -Konzentration langsam ab, so daß die Bildungsgeschwindigkeit des Bromid abnimmt. Da Bromid gemäß (4) langsam abregiert, wird Schritt 2 unterbrochen und (2) setzt wieder ein. Von nun an läuft der Vorgang Ein- und Ausschalten von (2) periodisch ab.

Zur Praxis:

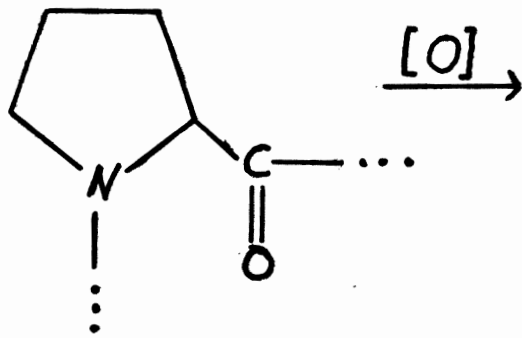
Brommalonsäure läßt man in der Lösung aus Malonsäure und Brom entstehen. Brom erhält man durch Zugabe von etwas Bromid, welches mit Bromat in Brom reagiert. Ebenso läßt man Bromsäure aus Bromat und Schwefelsäure entstehen.

Der Mechanismus der hier vorgestellten oszillierenden Reaktion unterscheidet sich erheblich von dem der Belousov-Zhabotinski-Reaktion. So kann bei dieser das entstehende Brom im Stickstoffstrom ausgeblasen werden, ohne die Reaktion zu stören. Bei der Reaktion mit Ascorbinsäure führt dies zum sofortigen Stillstand der Oszillationen. Der Mechanismus dieser Reaktion ist weitgehendst unklar.

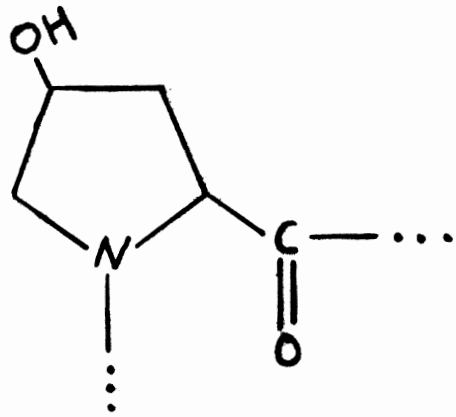
Literatur:

- (1) L. Stryer: Biochemie, Vieweg 1985
- (2) R. Plume, H. J. Bader: Z. Naturforschung 39b, 1795-1800
(1984)
- (3) R. Plume, H. J. Bader: Praxis 10, 289-298 (1982)
- (4) M. D. Försterling, H. Kuhn: Praxis d. physikal. Chemie
Verlag Chemie 1984
- (5) H. Peyer: Lehrbuch der org. Chemie, S. Hirzel Verlag
1976

1. Biochemie

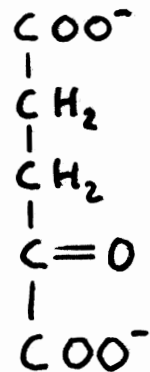
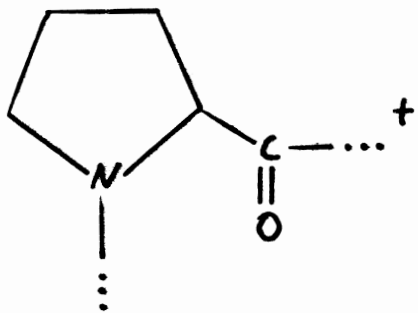


Prolyt -



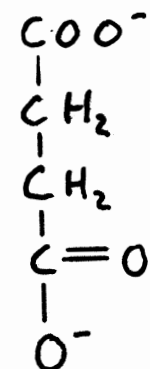
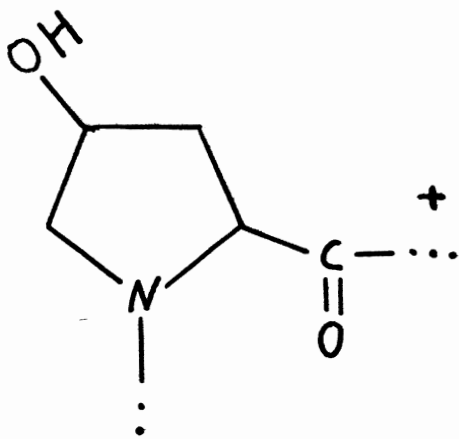
Hydroxyprolylrest

Gesamtreaktion:



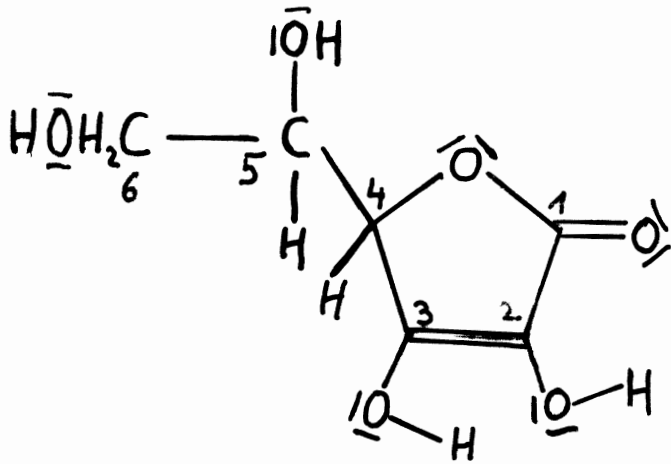
α-Keto-
glutarat

Prolylhydroxylase
+ Ascorbat



succinat

2. Struktur der Ascorbinsäure

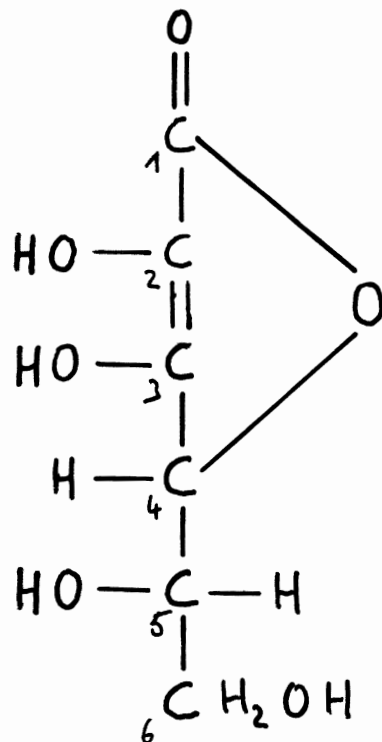


$$M = 176,1 \text{ g mol}^{-1}$$

$$T_p : 190^\circ - 192^\circ C$$

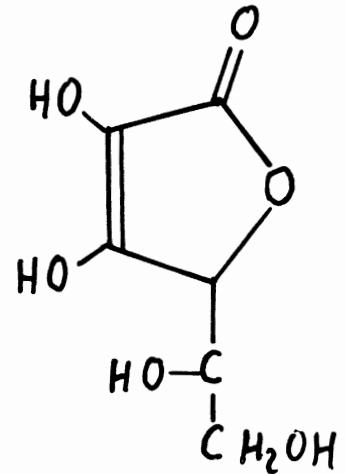
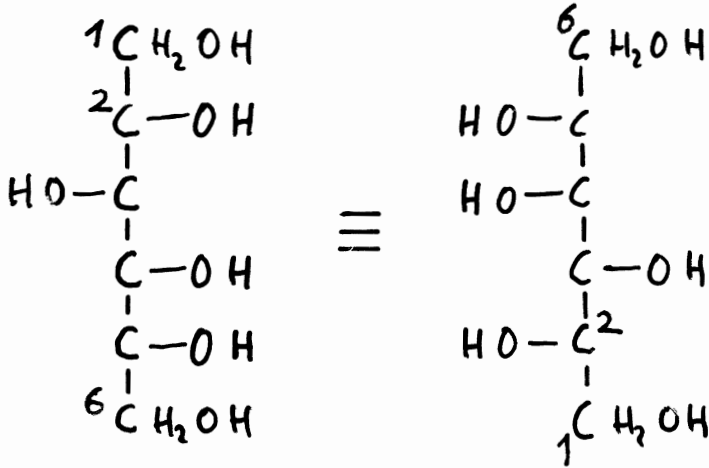
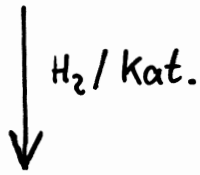
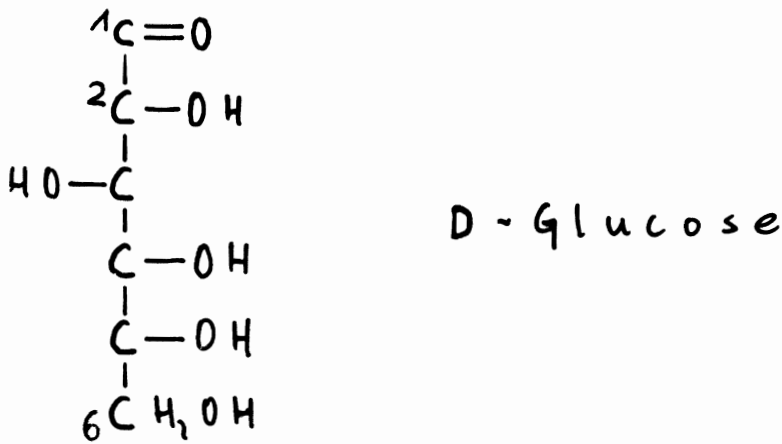
(zers)

Fischer Projektion:

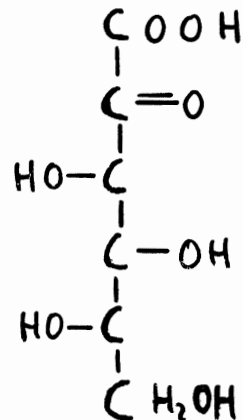
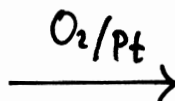
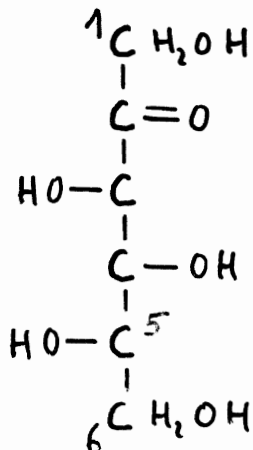
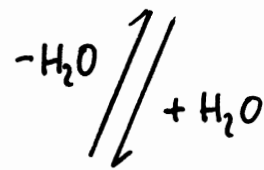
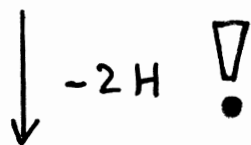


L (+) - threo - Ascorbinsäure

3. Synthese



D-Sorbit



L-Sorbose

2-Keto-L-gulonsäure

4. Eigenschaften

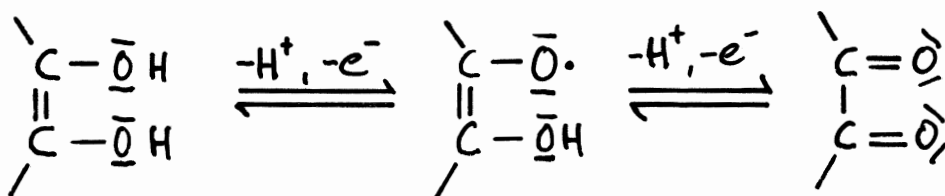
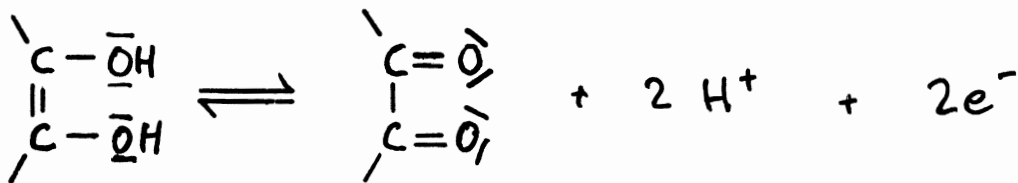
4.1. Reduzierende Eigenschaften

V_1 : Reduktion von Ag^+ zu Ag

V_2 : Reduktion von Se^{4+} zu rotem Se

V_3 : Reduktion von Fe^{3+} zu Fe^{2+}

V_4 : Reduktion von CrO_4^{2-} zu Cr^{3+}



Semi-

Dehydroascorbinsäure

Standard-Redoxpotential: $E_0 = 0,39 \text{ V}$ (d.h. $\text{pH} = 0$)

Nernst - Gleichung:

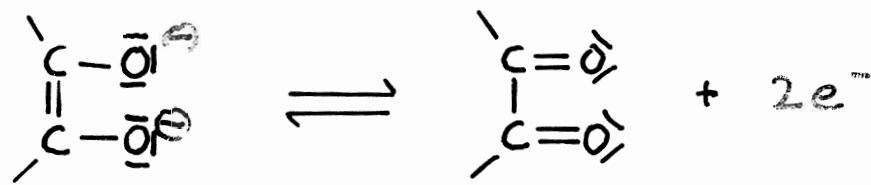
$$E = E_0 + \frac{RT}{nF} \ln \frac{[Ox]}{[Red]}$$



$$E = E_{0Asc} + \frac{0,059}{2} \cdot \log \frac{[Asc_{ox}] \cdot [H^+]^2}{[AscH_2]}$$

$$= E_{0Asc} - 0,059 \cdot pH + \frac{0,059}{2} \log \frac{[Asc_{ox}]}{[AscH_2]}$$

V_5 : pH-abhängiges Redoxpotential



Beispiele:

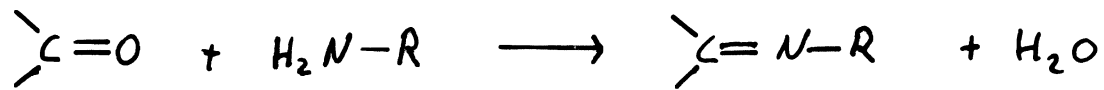
pH 0 : + 0,390 V

pH 7,0 : - 0,232 V

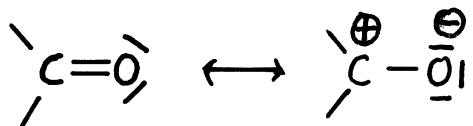
pH 4,0 : + 0,166 V

pH 9,2 : - 0,305 V

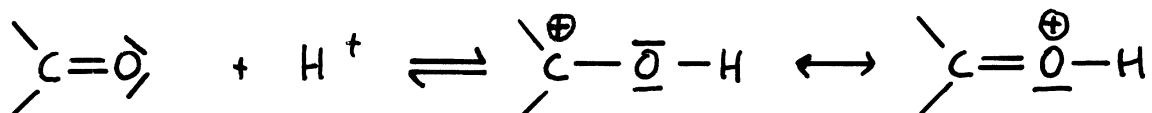
Reaktion von Ketonen mit Stickstoffbasen:



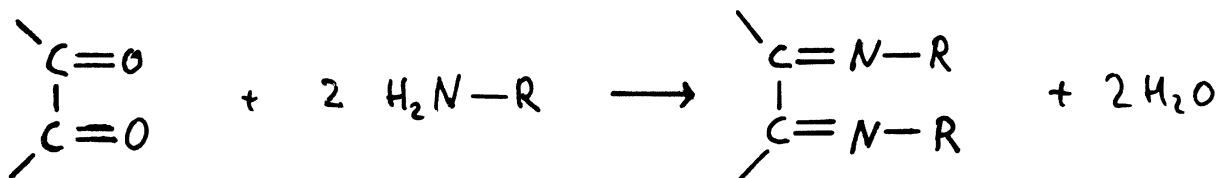
Polarisation der Carbonylbindung:



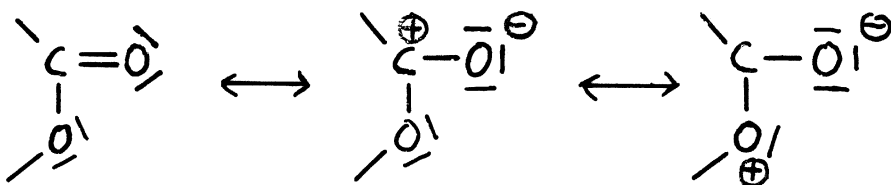
Säurekatalyse:



Diketone:

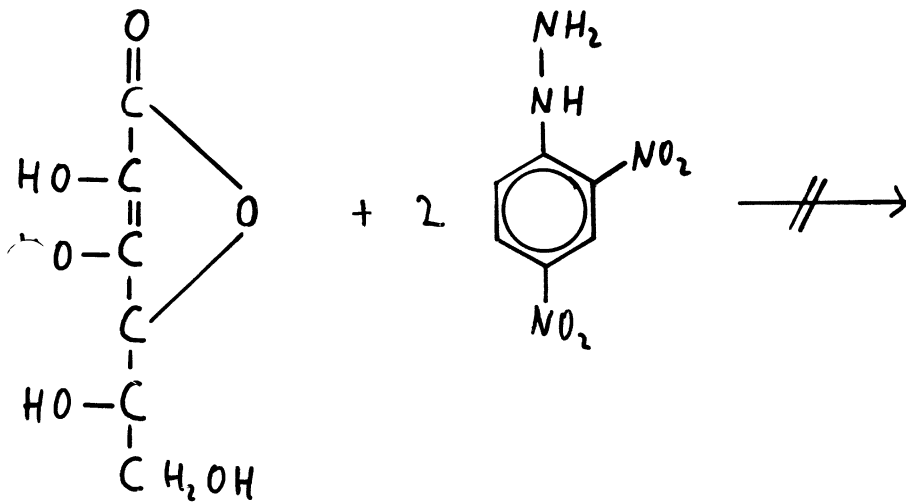


Ester:

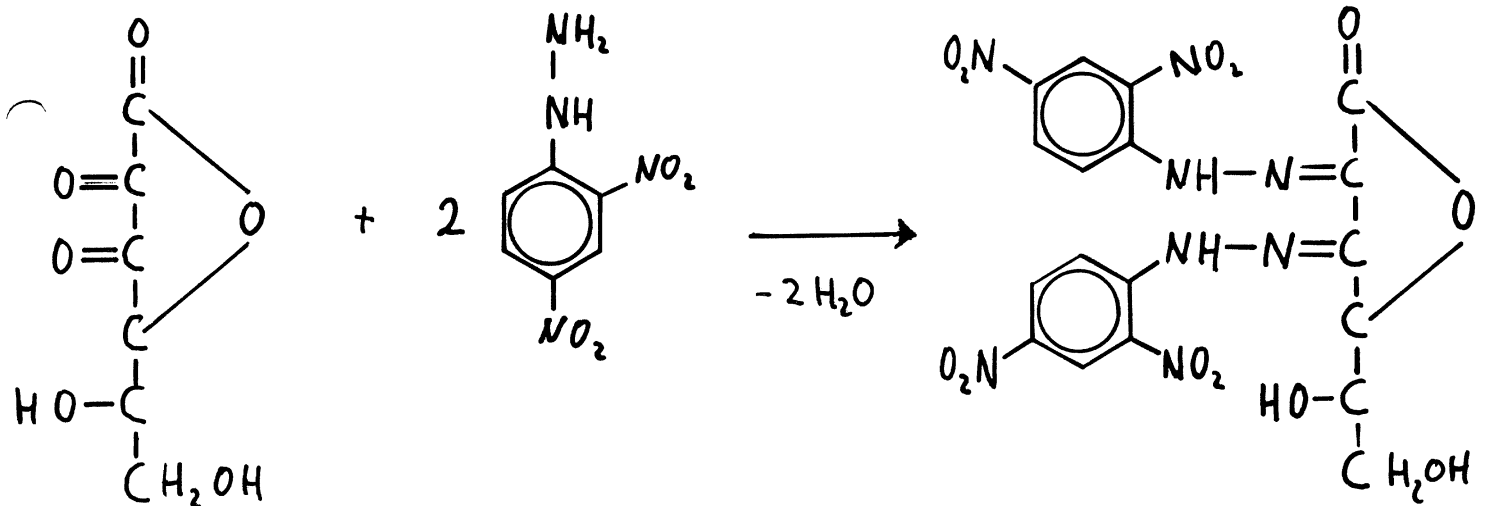


Reaktion von AscH₂ und AscOx

mit 2,4-Dinitrophenylhydrazin :



↓ -2H



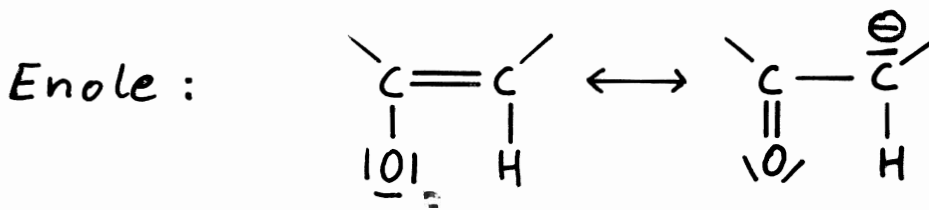
V₆: Reaktion mit 2,4-Dinitrophenylhydrazin

4.2. Säureeigenschaften

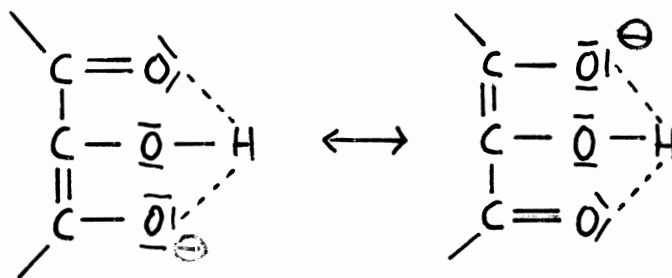
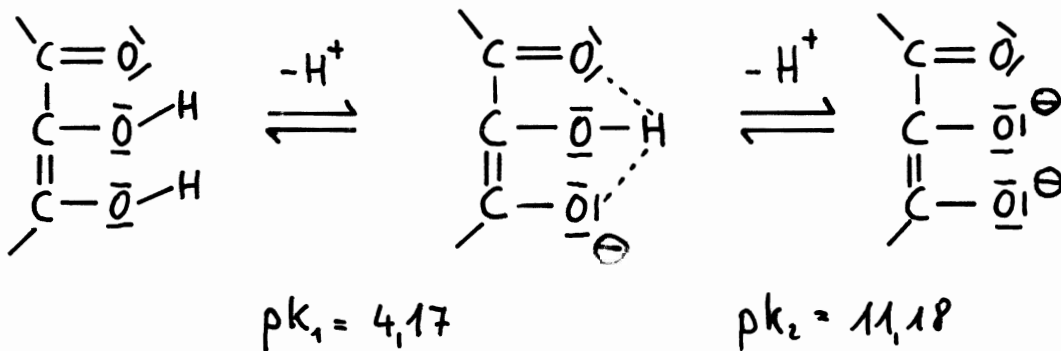
V_7 : pH - Messung

V_8 : Reaktion mit CaCO_3

V_9 : Reaktion mit Magnesium



Endiole:

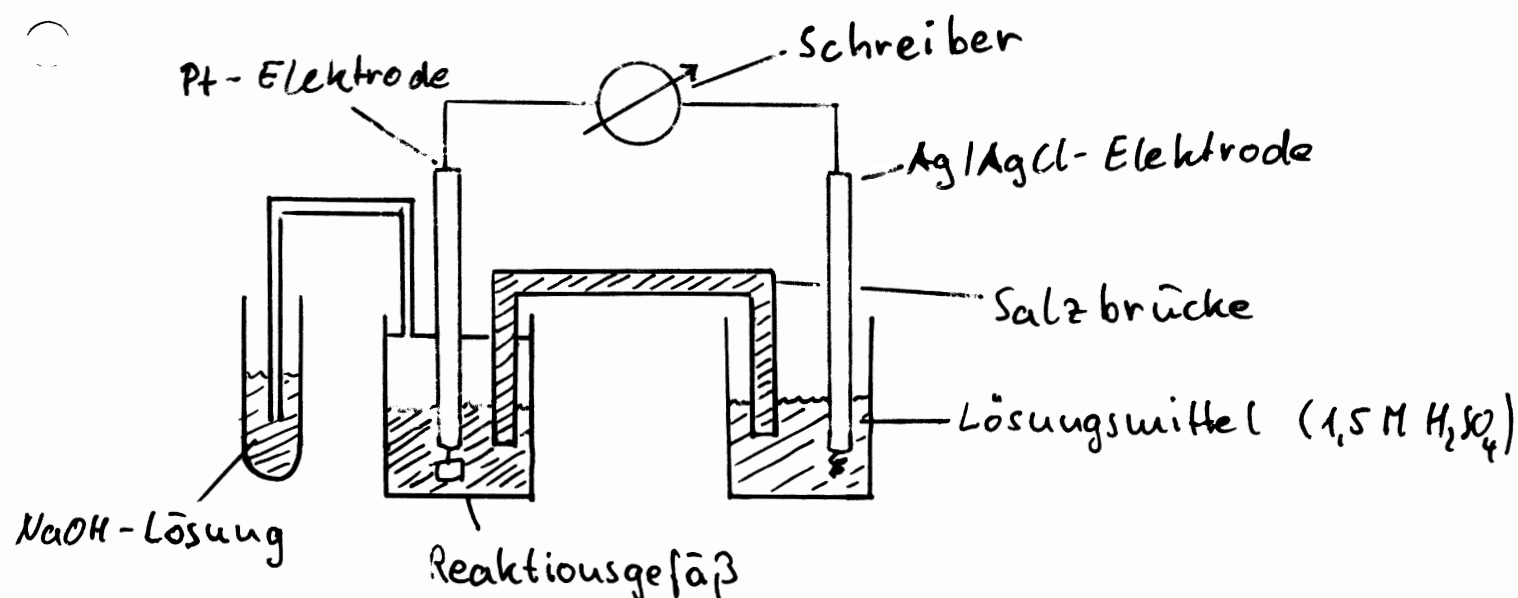


5. Neuere Aspekte der Ascorbinsäurechemie

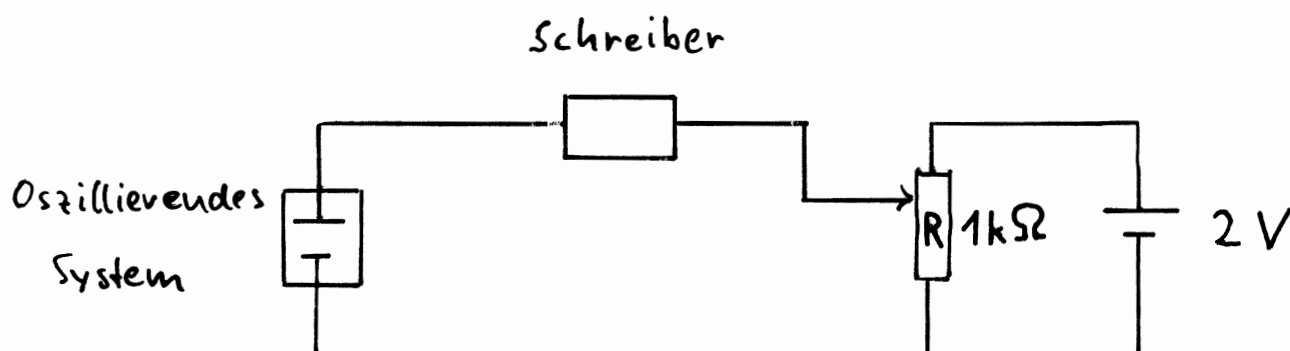
Oszillierende Reaktionen: Belousov-

Zhabotinskii

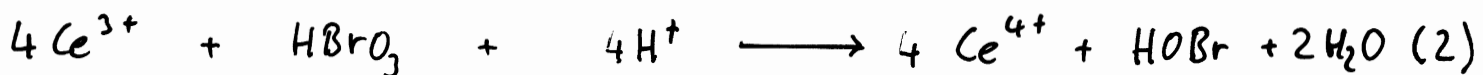
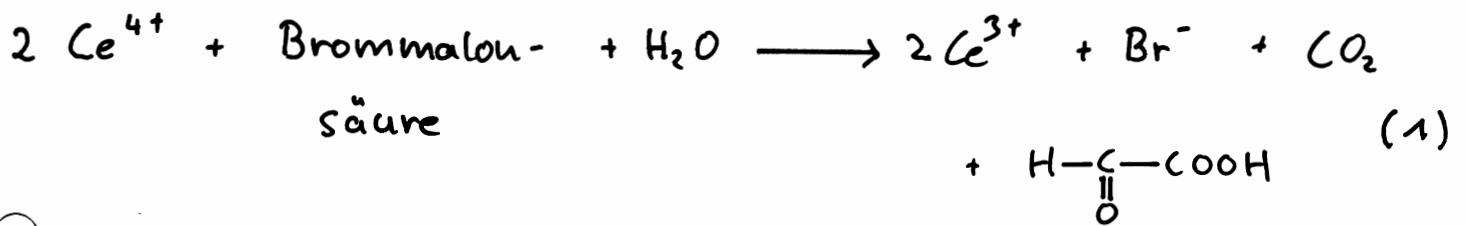
Prinzipielle Versuchsanordnung:



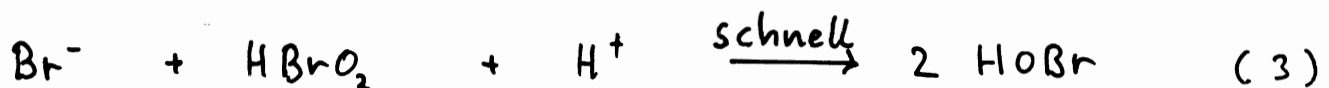
Kompensationsschaltung:



V_{10} : Oszillierende Reaktionen der Ascorbinsäure

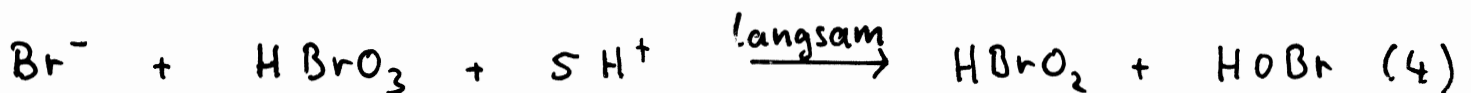
Mechanismus:

Blockade von (2):

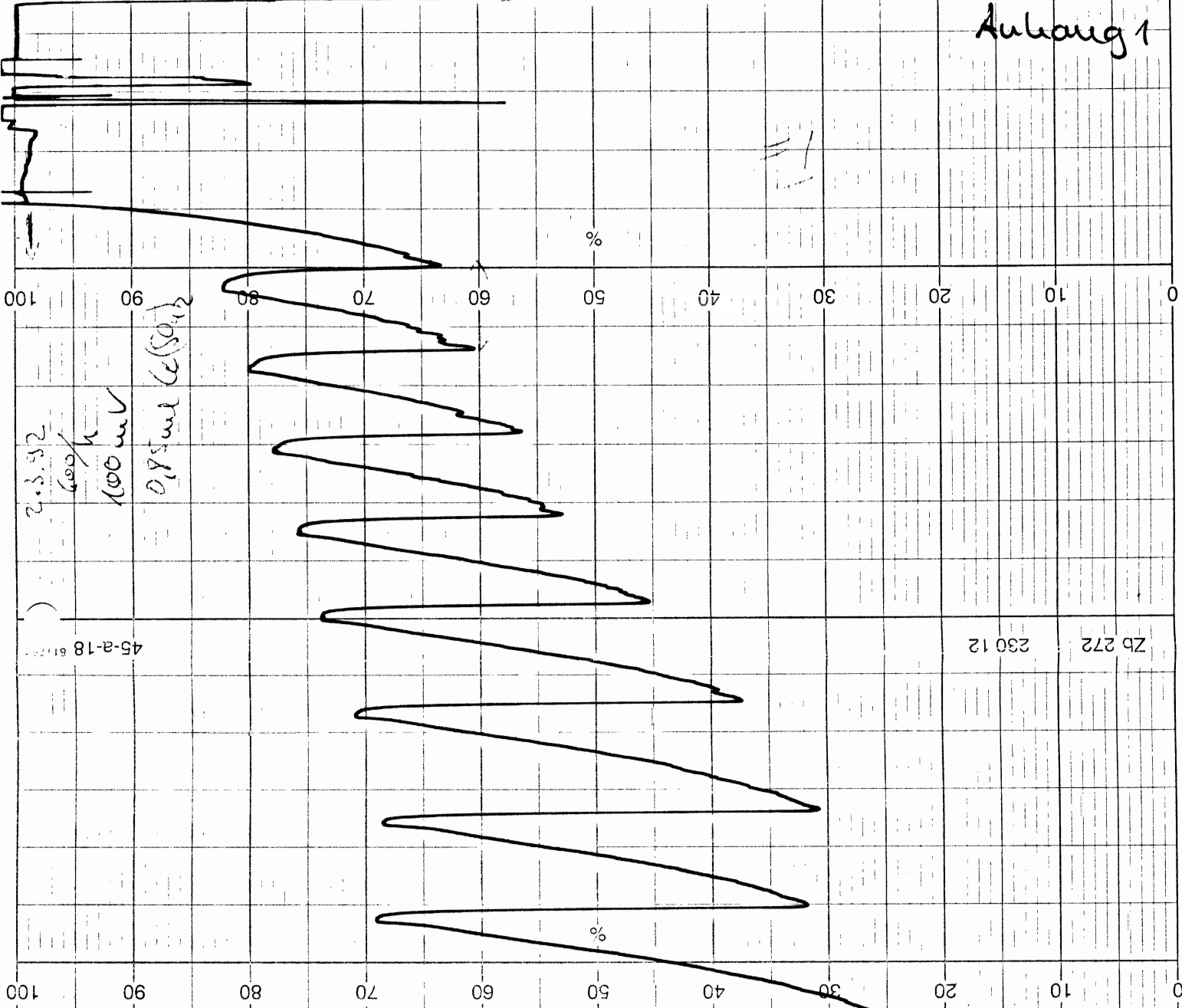


⇒ 2 Reaktionsphasen: $C_{\text{Br}^-} < C_{\text{krit}}$: (1) und (2)

$C_{\text{Br}^-} > C_{\text{krit}}$: nur (1)



Auftrag 1



Auftrag 1
Oxidierende Reaktionen
der Ascorbinsäure

