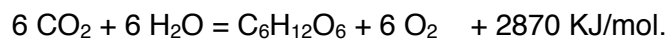
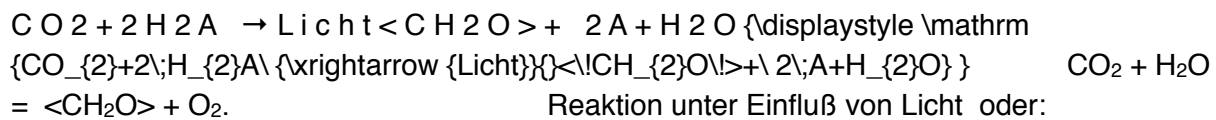


Dr.Ludwig Lindner Nützliches CO₂ für Gewächshäuser und die Chemische Industrie

Vortrag bei der Tagung des Vereins Bürger für Technik am 30.10.2016 in Mannheim

1. Nutzung des CO₂ durch Photosynthese

Die **Photosynthese** ist die natürliche Erzeugung von energiereichen Biomolekülen aus energieärmeren Stoffen mithilfe von Lichtenergie. Sie wird von [Pflanzen](#), [Algen](#) und einigen [Bakterien](#) betrieben. Bei diesem [biochemischen](#) Vorgang wird zunächst mit Hilfe von dem [lichtabsorbierenden](#) Farbstoff ([Chlorophyll](#)) [Lichtenergie](#) in [chemische Energie](#) umgewandelt. Diese wird dann unter anderem zum Aufbau energiereicher [organischer Verbindungen](#) – sehr oft [Kohlenhydrate](#) (Summenformel CH₂O) genutzt. Die Gesamtreaktion der Photosynthese mit Wasser als Reduktans kann durch die folgende allgemeine, vereinfachte Summengleichung formuliert werden:



Wortgleichung für die oxygene Photosynthese:

Aus [Kohlenstoffdioxid](#) und [Wasser](#) entsteht – durch Energiezufuhr ([Licht](#); [Chlorophyll](#)) – [Traubenzucker \(Glucose\)](#) und [Sauerstoff](#). ³⁾

Alle Algen und grünen Landpflanzen verwenden ausschließlich Wasser (H₂O) als Reduktionsmittel. Der im Wasser gebundenen Sauerstoff wird als Oxidationsprodukt des Wassers bei der sogenannten oxygenen Photosynthese als elementarer, molekularer Sauerstoff (O₂) freigesetzt. Der gesamte in der [Erdatmosphäre](#) und [Hydrosphäre](#) vorkommende Sauerstoff wird durch [oxygene Photosynthese](#) gebildet.

2. CO₂-Inventar in der Atmosphäre ²⁾

Auf der Erde gibt es etwa 75 Billionen (= Millionen Milliarden) Tonnen Kohlenstoff. 99,8 Prozent davon befindet sich im Gestein, und davon wiederum fast alles im Kalkstein. Weiterhin enthalten die fossilen Brennstoffe Kohle, Erdöl und Erdgas, etwa 4.100 Milliarden Tonnen Kohlenstoff. Weiterhin betragen die Anteile im Wasser 38.000 Milliarden Tonnen = 0,05 Prozent des gesamten Vorkommens, im Boden 1.580 Milliarden Tonnen = 0,002 Prozent des gesamten Vorkommens, in Lebewesen mit etwa 800 Milliarden Tonnen und in der Luft mit etwa 820 Milliarden Tonnen jeweils etwa 0,001 Prozent des gesamten Vorkommens.

In der Atmosphäre sind somit insgesamt etwa 3.000 Mrd. t CO₂ enthalten.

3. Wirkungsgrad und Produktivität der Photosynthese.³⁾

- Die für die Synthese von einem Mol Glucose benötigte Lichtenergie beträgt je nach Wellenlänge zwischen 14300 kJ (Blau) und 8064 kJ (Rot)
- Die Freie Reaktionsenthalpie für die Bildung von Glucose aus CO₂ und H₂O beträgt unter Standardbedingungen 2862 kJ/mol.

- Das ergibt einen **Wirkungsgrad von 20,0 Prozent für blaues und 35,5 Prozent für rotes Licht.**

Die **jährliche Photosynthese-Nettoprimärproduktion**, das ist die Primärproduktion abzüglich der Verluste durch Veratmung, angegeben als **Kohlenstoff-Masse** in der gebildeten Biomasse, beträgt

gesamte Erde	Fläche $0,51 \times 10^{15} \text{ m}^2$		
	$80 \times 10^9 \text{ t pro Jahr (100 \%)}$		
davon Ozeane	Fläche $0,36 \times 10^{15} \text{ m}^2$		
	$28 \times 10^9 \text{ t pro Jahr (35,4 \%)}$		

davon Land Fläche $0,15 \times 10^{15} \text{ m}^2$ **$52 \times 10^9 \text{ t pro Jahr (64,6 \%)}$**

4. Anwendung von CO₂ in Gewächshäusern ⁴⁾

Der normale CO₂-Gehalt der Luft von 320 bis 360 vpm CO₂ stellt für viele Pflanzen keinen optimalen Wert für die Photosynthese dar. Als für die Pflanzen optimale Werte werden CO₂-Konzentrationen zwischen 600 bis 1600 vpm CO₂ angegeben. Gemüsepflanzen verlangen tendenziell etwas höherer Werte als Zierpflanzen [†]

Sofern für die jeweilige Kultur keine Angaben zu optimalen CO₂-Konzentrationen vorhanden sind, wird als Faustzahl ein Wert von 600 vpm CO₂ angegeben, mit dem der Gärtner zunächst beginnen sollte. Begrenzt wird die maximal einstellbare CO₂-Konzentration auch durch die maximale Konzentration am Arbeitsplatz, die zum Schutz der Arbeitskräfte eingehalten werden muss. Diese liegt bei 5000 vpm CO₂.

5. Großtechnische Anwendung von CO₂ in Gewächshäusern ^{5,6)}

5.1. Raffinerie-CO₂ für 550 Gewächshäuser in den Niederlanden

1.CO₂ iCO₂ ist nicht umweltschädlich , sondern notwendig und nützlich für die Pflanzen: CO₂ fürCO₂ für Gewächshäuser: 350.000 t CO₂ strömen in den Niederlanden von der Shell-ÖlraffÖlRaffinerie bei Rotterdam über eine 85 km lange Transport-Pipeline und ein 300 km langes

Verteilungsnetz an mehr als 550 Gewächshäuser. CO₂ wird für die Photosynthese der Pflanzen benötigt. Mit dem CO₂ wird das Wachstum von Tomaten, Gurken und Salaten gefördert. Siehe auch Kurzinfo472/1 und 471/7

5.2. Luther-Tomate Wittenberg

Die Luther –Tomate: Luther veränderte vor fast 500 Jahren die Welt. Noch im Jahre 2014 entsteht auf dem Boden der Reformation in Wittenberg eine einzigartige Komposition – die Luther-Tomate. Die Idee, die Gewächshäuser direkt neben die SKW Stickstoffwerke Piesteritz zu platzieren, entstammt einem effizienten Gedanken: Bei der Produktion im Werk entstehen für uns wichtige **Abfallprodukte, wie CO₂ und Wärme**, die sonst in die Umwelt abgeschieden werden würden und **jetzt genutzt** werden.. Diese werden über eine Pipeline zu den Gewächshäusern transportiert. Ende des Jahres 2013 wurden fast 600.000 Tomatenstauden gepflanzt.

<http://wittenberg-gemuese.de/unternehmen/>

6. Beispiele für die CO₂-Nutzung in der Chemischen Industrie

6.1. Harnstoffsynthese: 7)

2 Stufen – Reaktion: $2 \text{NH}_3 + \text{CO}_2 = \text{NH}_2\text{-CO-NH}_2 + \text{H}_2\text{O}$ Harnstoff + Wasser

Die industrielle Produktion von Harnstoff in einem Hochdruckverfahren geht auf [Carl Bosch](#) und Wilhelm Meiser zurück. Die [BASF](#) nahm 1922 die erste Produktionsanlage in Betrieb, bei der sich in einem Hochdruckreaktor im ersten Schritt bei 150 [bar](#) aus Ammoniak und Kohlenstoffdioxid in einer mit -117 kJ/mol [exothermen](#) Reaktion Ammoniumcarbamat ($\text{NH}_4\text{CO}_2\text{NH}_2$) bildete, das in einer endothermen Reaktion mit $+15,5 \text{ kJ/mol}$ weiter zu Harnstoff und Wasser reagiert.

Eine [industrielle](#) Verwendungsmöglichkeit von Harnstoff ist die Herstellung von [Melamin](#), das z. B. mit Formaldehyd zu Kunstharzen verarbeitet wird, und von [Harnstoff-Formaldehyd-Harzen](#) ([Harnstoffharz](#), so genannte [UF-Harze](#)), die z. B. zur Produktion von [Spanplatten](#) eingesetzt werden. Harnstoff ist ein viel genutzter [Stickstoffdünger](#) und [Ausgangsstoff](#) für die [chemische Industrie](#), etwa für die Herstellung von [Harnstoffharzen](#), die als [Klebstoff](#), zur [Imprägnierung](#) oder [Isolierung](#) eingesetzt werden. Harnstoff dient als Grundlage für die Synthese von [Barbitursäure](#), [Koffein](#), [Hydrazin](#) und weiteren Chemikalien.

Mit einem Produktionsvolumen von etwa 200 Millionen Tonnen pro Jahr ist er eine der meisthergestellten Chemikalien.

6.2. Salicylsäure und Ethlenglykol 8)9)

Durch Umsetzung von CO_2 mit Natrium-Phenolat wird mit der [Kolbe-Schmitt-Reaktion](#) [Salicylsäure](#) gewonnen.^l

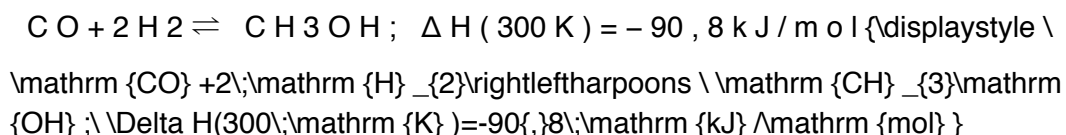
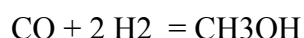
Salicylsäure

Salicylsäure dient zur Herstellung von Farb- und Riechstoffen und der Acetylsalicylsäure (ASS, besser bekannt unter dem Markennamen *Aspirin*), die als schmerzstillender, entzündungshemmender und [gerinnungshemmender Arzneistoff](#) Verwendung findet. In Form des unlöslichen Salzes [Bismutsubsalicylat](#) wird sie gegen Durchfall und Störungen des Gastrointestinaltraktes eingesetzt

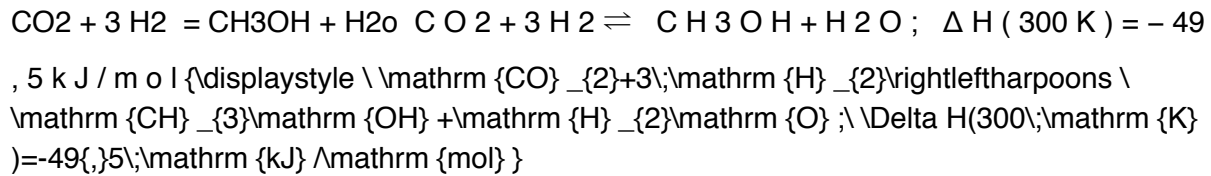
Umsetzung der Salicylsäure mit Essigsäureanhydrid ergibt Aspirin

6.3. Methanol 10)

Die [Dampfreformierung](#) von Erdgas und die partielle Oxydation sind der Hauptlieferant für Synthesegas ($\text{CO}, \text{CO}_2 + \text{H}_2$). In Nordamerika und Europa wird meist Erdgas als Rohmaterial genutzt, in [China](#) und [Südafrika](#) basiert die Synthesegasherstellung auf Kohle oder Braunkohle. 2005 hat China 5,4 Millionen Tonnen Methanol erzeugt, davon 65 % oder 3,5 Millionen Tonnen auf Kohle basierend. Für die Bildung von Methanol aus Synthesegas können die folgenden Gleichungen formuliert werden:



und



Wegen ökonomischer Vorteile bei niedrigen Synthesedrücken und niedrigen Temperaturen wird Methanol größtenteils im Niederdruck-Verfahren produziert.

6.4. Photokatalyse mit Diamant¹¹⁾

Ein vom Fraunhofer Institut für Chemische Technologie und dem Institut für Mikrotechnik Mainz koordiniertes internationales Forscherteam ist bemüht die natürliche Photosynthese in einem technischen System nachzuahmen. Im Rahmen des Projektes „Carbon Cat“ soll ein Mikroreaktor entwickelt werden, der das CO₂ auf Basis von Fiamant als Photokatasylator-mund mit Hilfe von LEDs in chemische C1-Bausteine wie Methanol umwandeln kann.

6.5. Carbon2Chem von Evonik¹²⁾

Evonik zusammen mit mit 7 Partnern aus Industrie , Wissenschaft und Forschung wollen 20 Mill. T CO₂ aus der Stahlbranche wirtschaftlich nutzbar machen für Dünger , Kraft- und KunststoffeEvonik bringt seine Katalysekompetenz in das Projekt ein, das vom Bundeswirtschaftsministerium mit über 60 Mio € gefördert wird.

6.6. Klimagas CO₂ wird zu Weichschaum¹³⁾¹⁴⁾

In Dormagen wurde eine Anlage der Firma Covestro in Betrieb genommen, die rund 20 Gew.% CO₂ aus Abgasen des Chemiepark in ein Vorprodukt von Polyurethan-Weichschaum einbaut. Die 15 Mio € teure Prototyp-Anlage ist für 5000t Polyöl pro Jahr ausgelegt. Bereits 2010 hat das Bundesforschungsministerium ein Projekt mit 4,5 Mio€ gefördert für die Nutzung von CO₂ aus dem Rauchgas der Braunkohlekraftwerk.. Im Innovationszentrum beim Braunkohlekraftwerk Niederaußem betreibt RWE eine Pilotanlage zur CO₂-Wäsche ,die das Kohlendioxid aus dem Rauchgas abtrennt.

1. <https://de.wikipedia.org/wiki/Photosynthese>

2. <http://www.oekosystem-erde.de/html/kohlenstoffkreislauf.html>

3. http://www.chemie.de/lexikon/Photosynthese.html#Wirkungsgrad_und_Effektivit.C3.A4t

4. www.hortipendium.de/CO2-Düngung Nov.2013

5. <http://www.the-linde->

[group.com/de/clean_technology/clean_technology_portfolio/co2_applications/greenhouse_supply/index.html](http://www.the-linde-group.com/de/clean_technology/clean_technology_portfolio/co2_applications/greenhouse_supply/index.html)

6. <http://wittenberg-gemuese.de/unternehmen/>

7. <https://de.wikipedia.org/wiki/Harnstoff#Herstellung>

8. <https://de.wikipedia.org/wiki/Kohlenstoffdioxid#Verwendung>

9. https://de.wikipedia.org/wiki/Salicyls%C3%A4ure#Eigenschaften_und_Verwendung

10.. <https://de.wikipedia.org/wiki/Methanol>

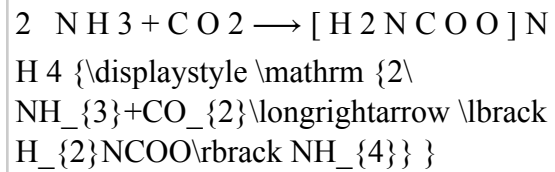
11. VAA-Magazin Oktober 2016 S.25
12. Zeitschrift Folio (Evonik) Sept. 2016, S.7
13. Klimagas CO2 wird zu Weichschaum VDI-Nachr. 17.6.2016, S.16
14. www.rwe.com Pressemitteilung 15.9.2010..

13.
1

1. <https://de.wikipedia.org/wiki/Photosynthese>
2. <http://www.oekosystem-erde.de/html/kohlenstoffkreislauf.html>
3. http://www.chemie.de/lexikon/Photosynthese.html#Wirkungsgrad_und_Effektivit.C3.A4t
4. www.hortipendium.de/CO2-Duengung Nov.2013
5. http://www.the-linde-group.com/de/clean_technology/clean_technology_portfolio/co2_applications/greenhouse_supply/index.html
6. <http://wittenberg-gemuese.de/unternehmen/>
7. <https://de.wikipedia.org/wiki/Harnstoff#Herstellung>
8. <https://de.wikipedia.org/wiki/Kohlenstoffdioxid#Verwendung>
9. https://de.wikipedia.org/wiki/Salicyls%C3%A4ure#Eigenschaften_und_Verwendung

10

10



1. <https://de.wikipedia.org/wiki/Photosynthese>
2. <http://www.oekosystem-erde.de/html/kohlenstoffkreislauf.html>
3. http://www.chemie.de/lexikon/Photosynthese.html#Wirkungsgrad_und_Effektivit.C3.A4t
4. www.hortipendium.de/CO2-Duengung Nov.2013
5. http://www.the-linde-group.com/de/clean_technology/clean_technology_portfolio/co2_applications/greenhouse_supply/index.html
6. <http://wittenberg-gemuese.de/unternehmen/>
7. <https://de.wikipedia.org/wiki/Harnstoff#Herstellung>
8. <https://de.wikipedia.org/wiki/Kohlenstoffdioxid#Verwendung>
9. https://de.wikipedia.org/wiki/Salicyls%C3%A4ure#Eigenschaften_und_Verwendung
10. .
11. Zeitschrift Folio (Evonik) Sept.2016, S.7
12. Klimagas CO2 wird zu Weichschaum VDI-Nachr. 17.6.2016, S.16