Bergische Universität Wuppertal

Chemie und ihre Didaktik

Forschungsschwerpunkt Curriculare Innovation

Ein Fall für 2

Chlorophyll und β-Carotin bei der Photosynthese

M. W. Tausch

Wien

21. Oktober 2008

Akzente:

1. Argumente & Ansprüche
2. Funktionen & Beispiele
3. Kompetenzen & Kontexte

Die 3 Hauptfunktionenen des Experiments in der Lehre

E³

Wow-Effekt
Für ein Problem motivieren

Vorsicht: Motivationsfalle!

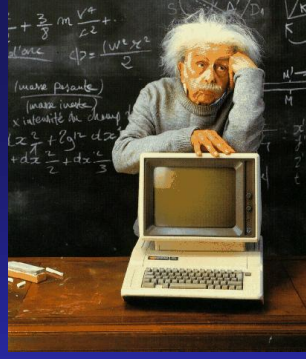
Dialog mit der Natur
Hypothesen entwerfen und prüfen
Quantitative Zusammenhänge messen

Vorsicht: Abstraktionsfalle!

Praxisfertigkeiten
zu einem Problem (Kontext)
Geräte, Chemikalien etc. handhaben
und Experimente planen und durchführen

Vorsicht: Kontextfalle!

Das "hübsche" Experiment



attraktiv & schön

innovativ

schnell

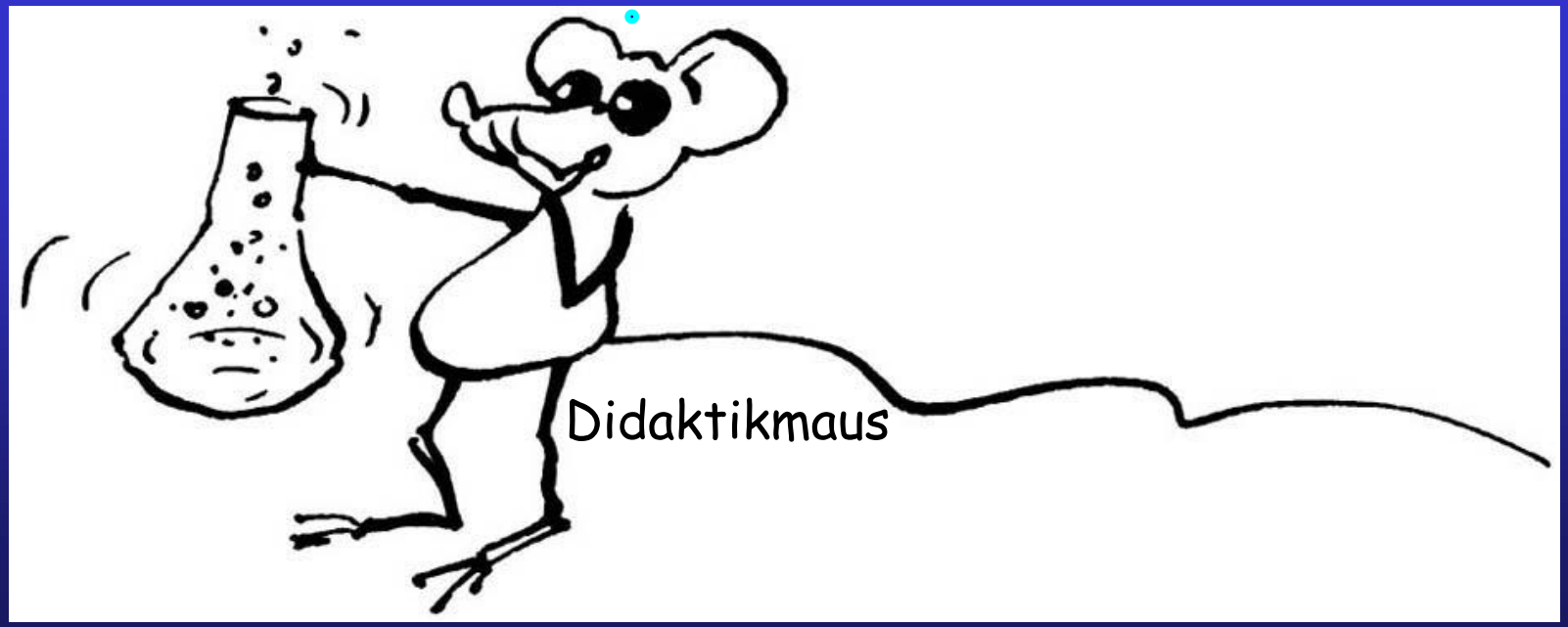
Was ist das?

didaktisch prägnant

sicher

wissenschaftlich konsistent

kostengünstig



Das "hübsche" Experiment

Didaktische Prägnanz
Wissenschaftliche Konsistenz

1 Enthält (oder suggeriert) dieses Experiment Zusammenhänge zu den **Alltagserfahrungen** der Schülerinnen und Schüler?

2 Ist dieses Experiment als **Schulexperiment** geeignet?
(.. als Lehrer-Demonstrationsexperiment?)
(.. as Schülerexperiment? … in der Gruppe, als Demo-Experiment?)

3 Welche **allgemeinen Prinzipien (Basiskonzepte)** der Chemie können wir auf der Grundlage dieses Experiments lehren bzw. lernen?
Welche **Kompetenzen** können wir damit trainieren?

4 Wie beeinflussen die Phänomene und Erkenntnisse aus diesem Experiment die **zukünftige Weiterentwicklung** von
- chemischen Konzepten im Unterricht,
- Interesse an wissenschaftlich-technischen Innovationen,
- individueller Motivation für Chemie und Naturwissenschaften ?

Experimentorientierte Erschließung eines Problems (eines "Falls")

Der Fall:

Wie kann das Sonnenlicht bei der Photosynthese optimal genutzt werden?

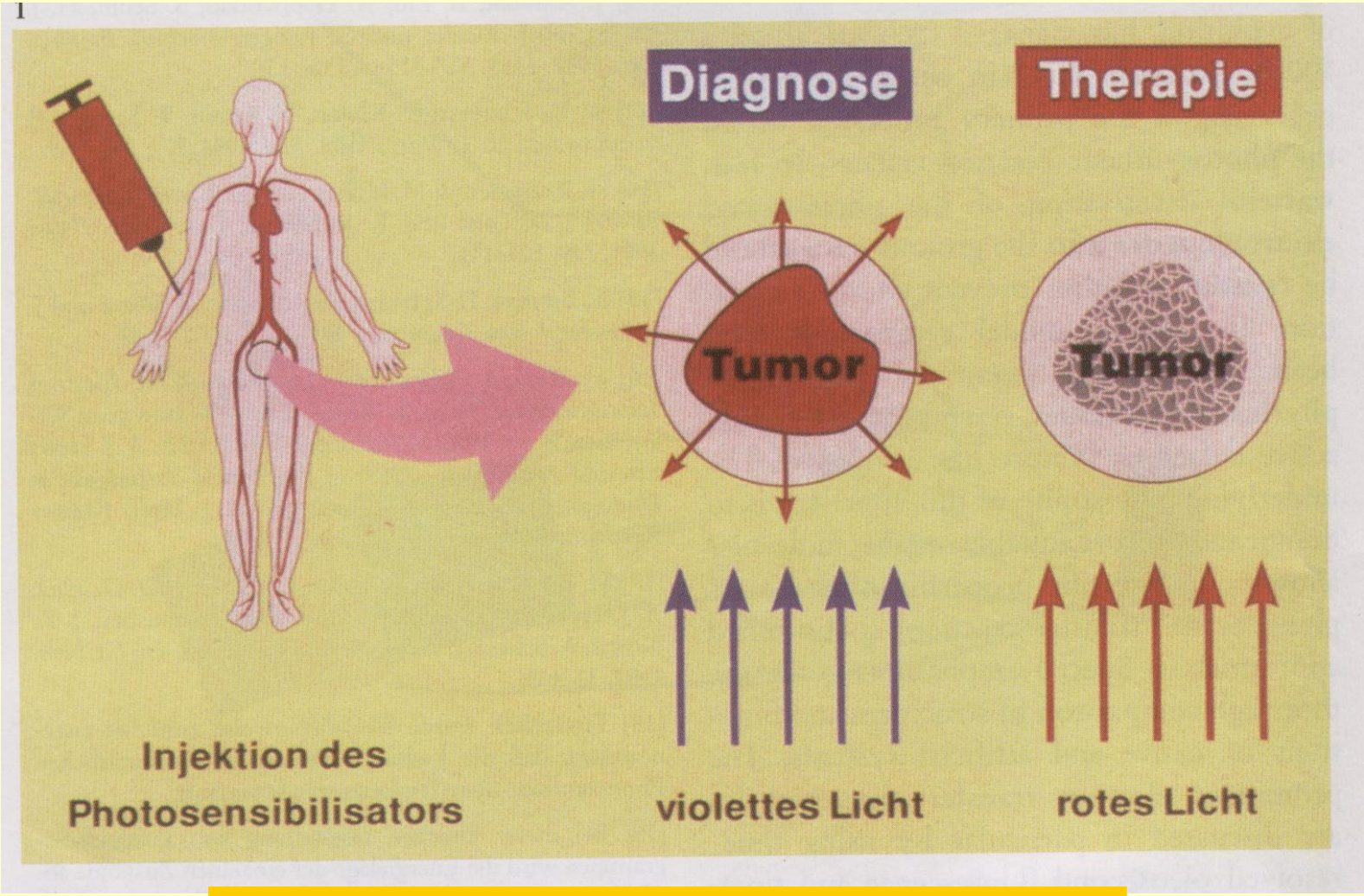
- **maximale Energiekonversion und –speicherung**
- **minimale Schädigung von lebendem Gewebe**

Innovative Technologien

***Green Chemistry* mit Solarlicht**
Photokatalytischer Reaktor für Dekontaminierung von Abwässern

Dye Sensitized Solar Cell
Als Alternative zu Solarzellen aus anorg. Halbleitern

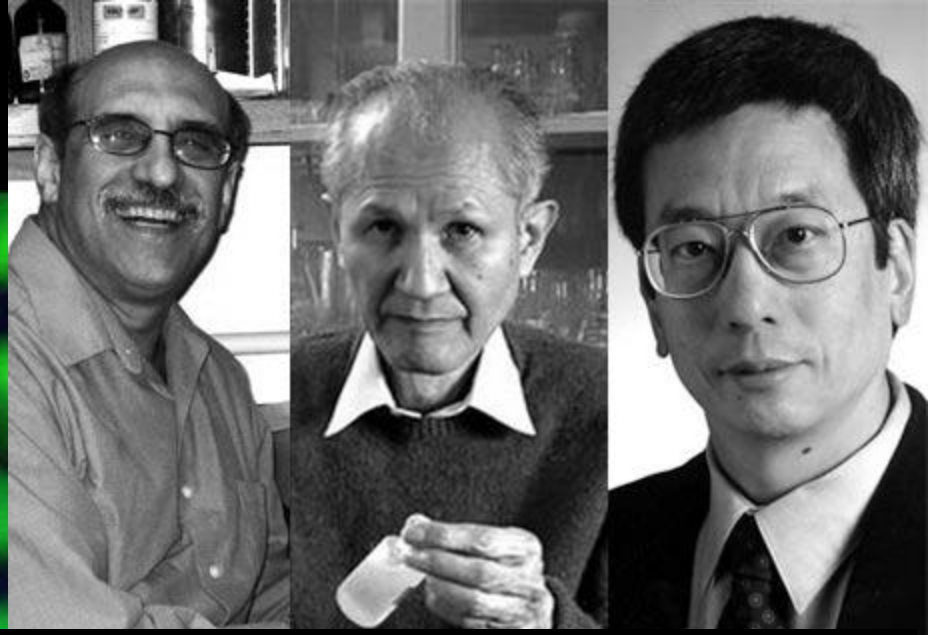
Innovationen in der Medizin



Photodynamische Diagnostik und Therapie

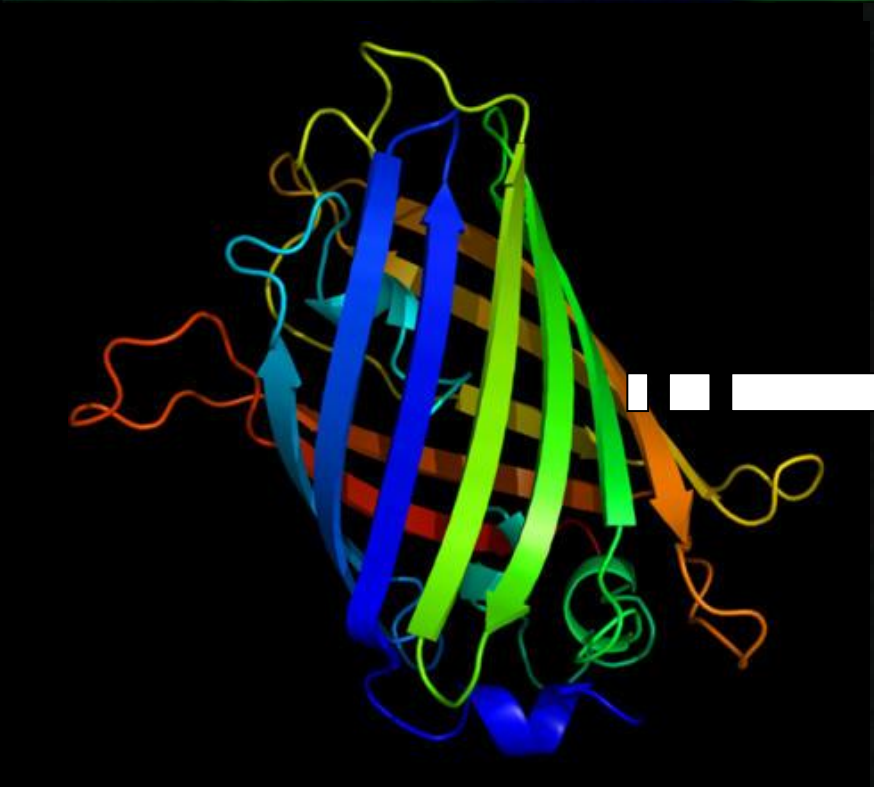
Lichtinduzierte Methoden in zur Früherkennung und Heilung von Krebs

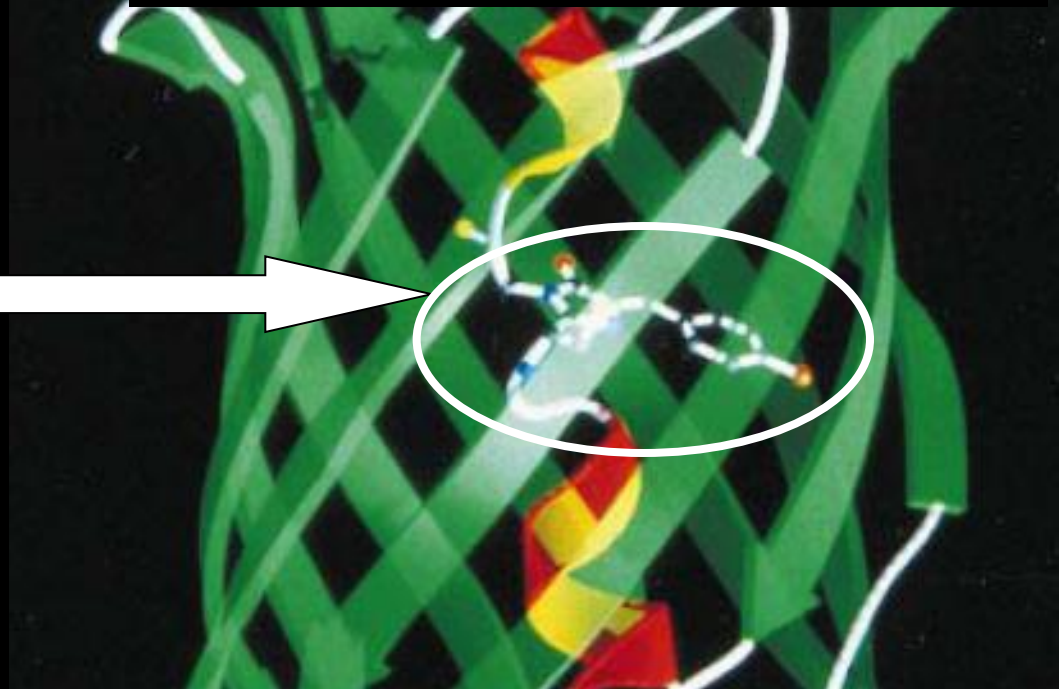
Green Fluorescent Protein GFP



M. Chalfie O. Shimormura R. Tsien

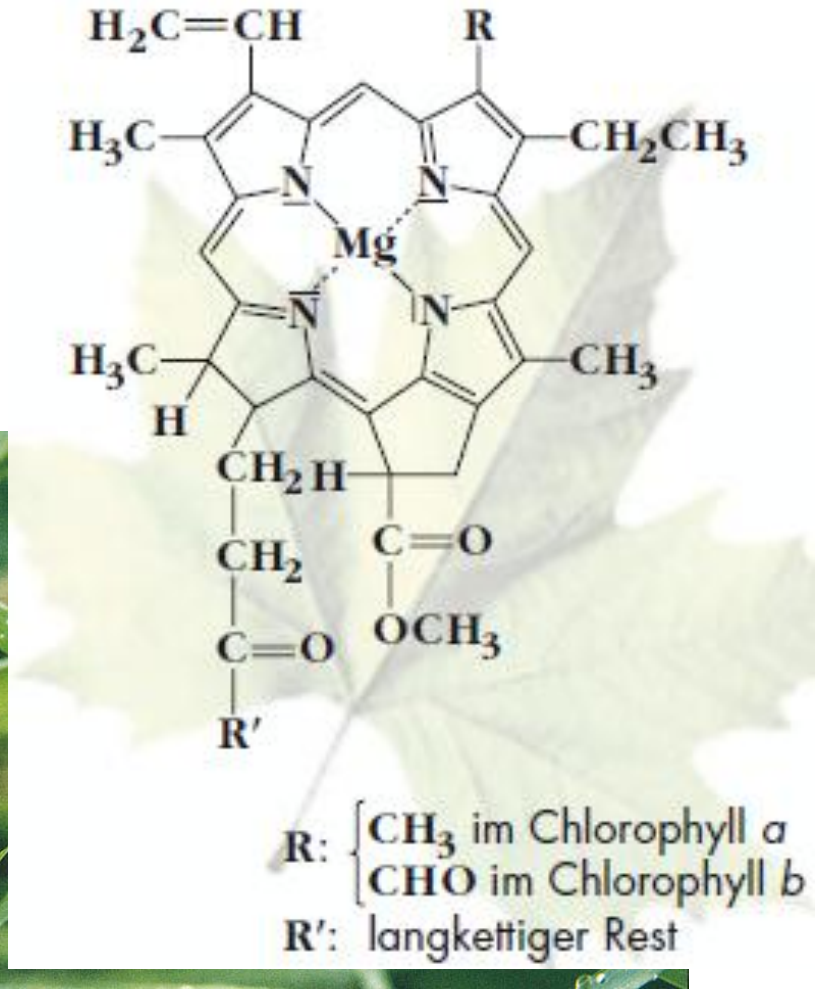
Nobelpreis für Chemie 2008

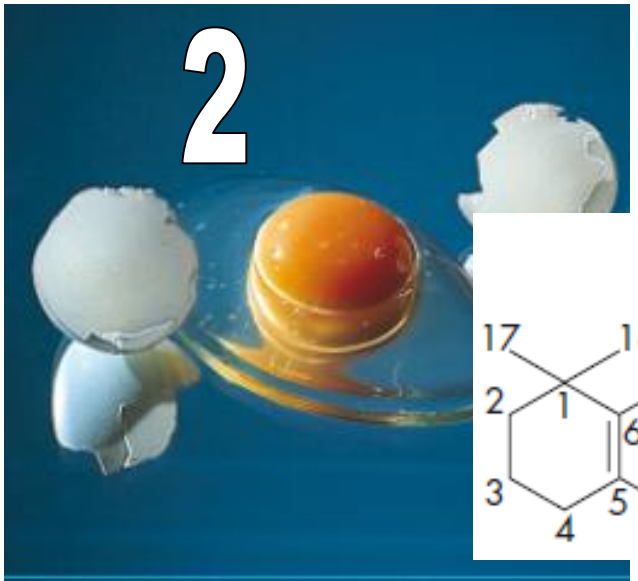


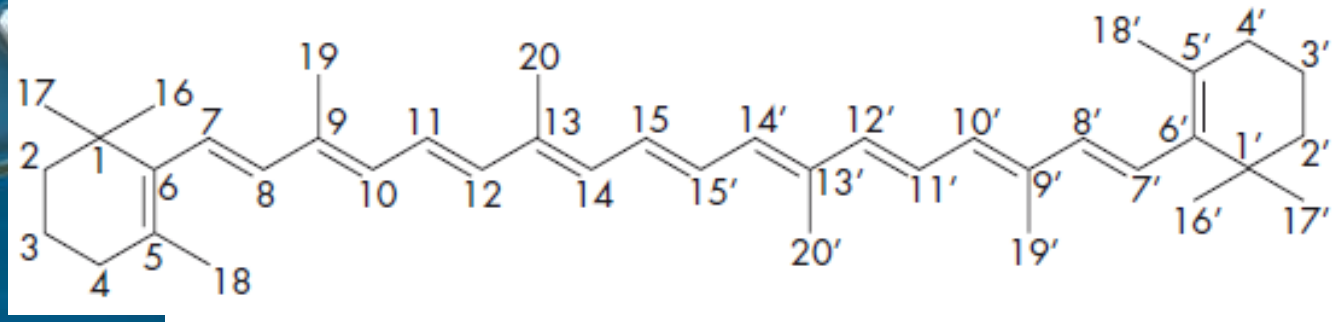


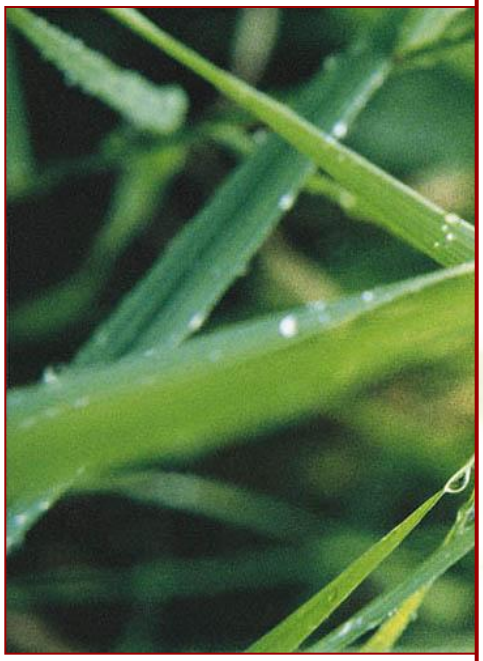
Die Akteure:

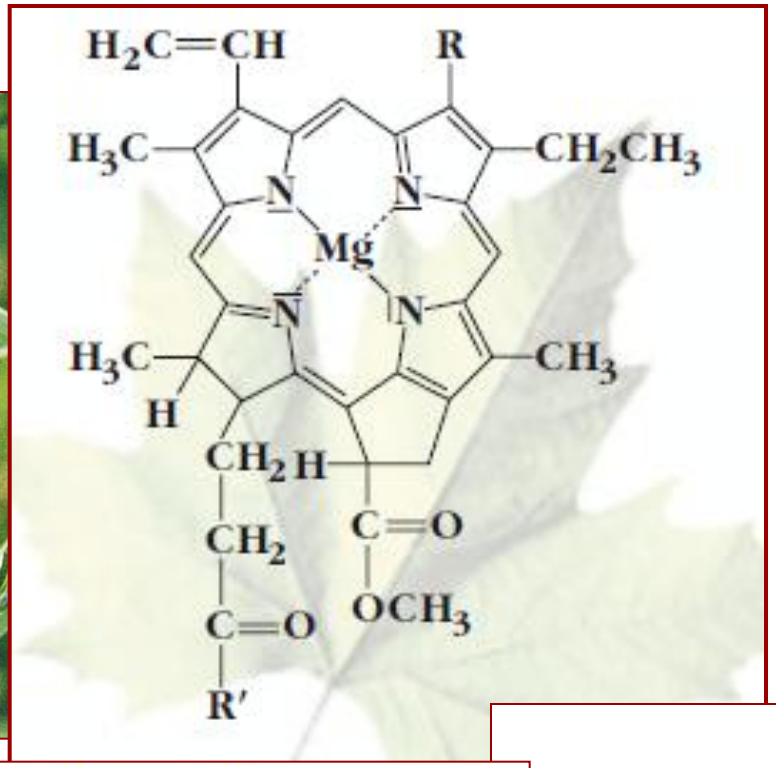
1. Das „Grüne“ vom Blatt
2. Das „Gelbe“ vom Ei





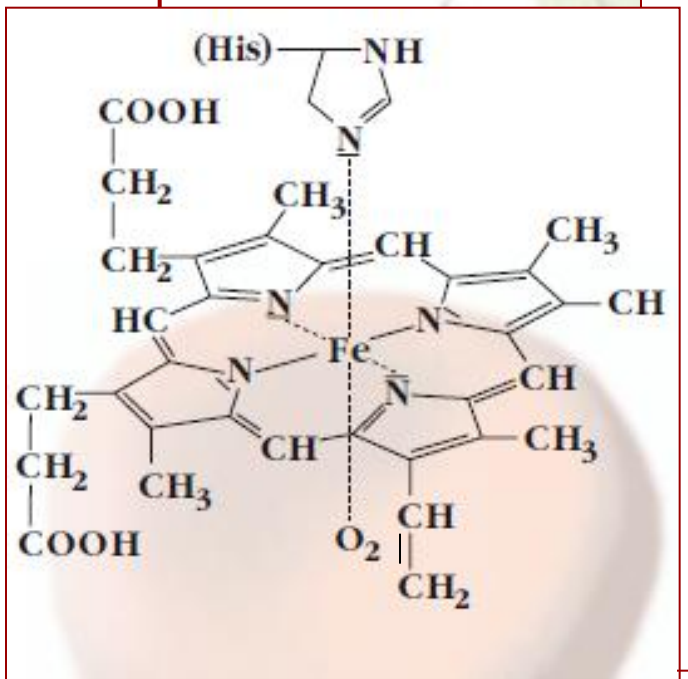


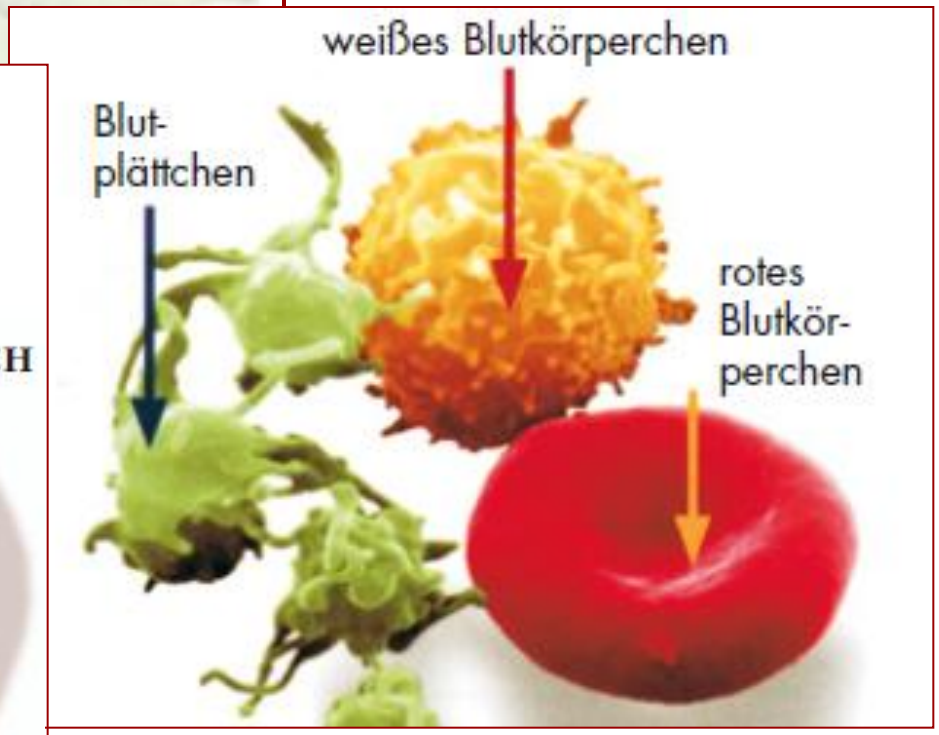


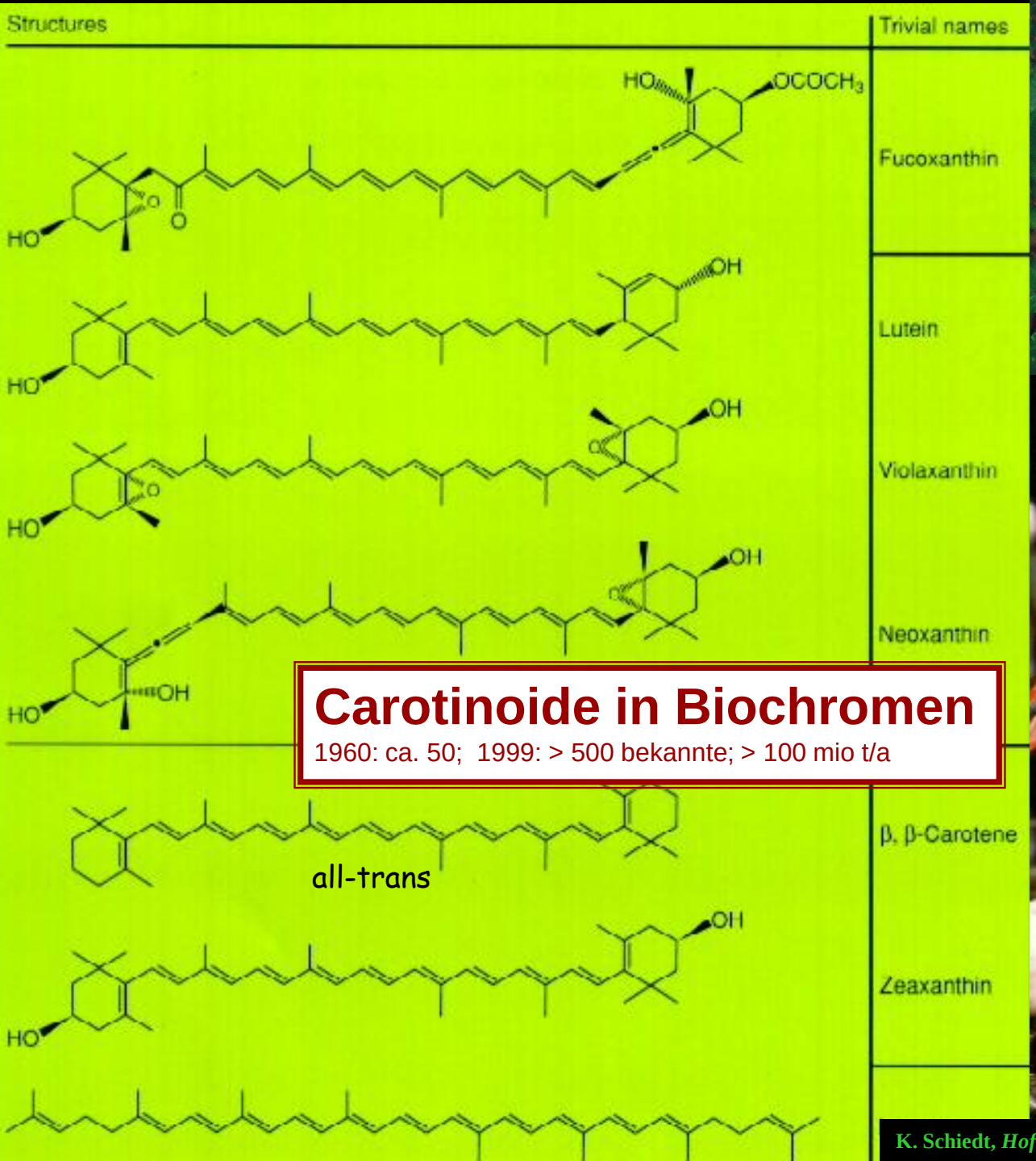


Porphin-Gerüst in Biochromen

- Chlorphyll – im Blattgrün
- Hämoglobin – im Blut
- Myoglobin – in Muskeln
- Cytochrom c – ein Enzym







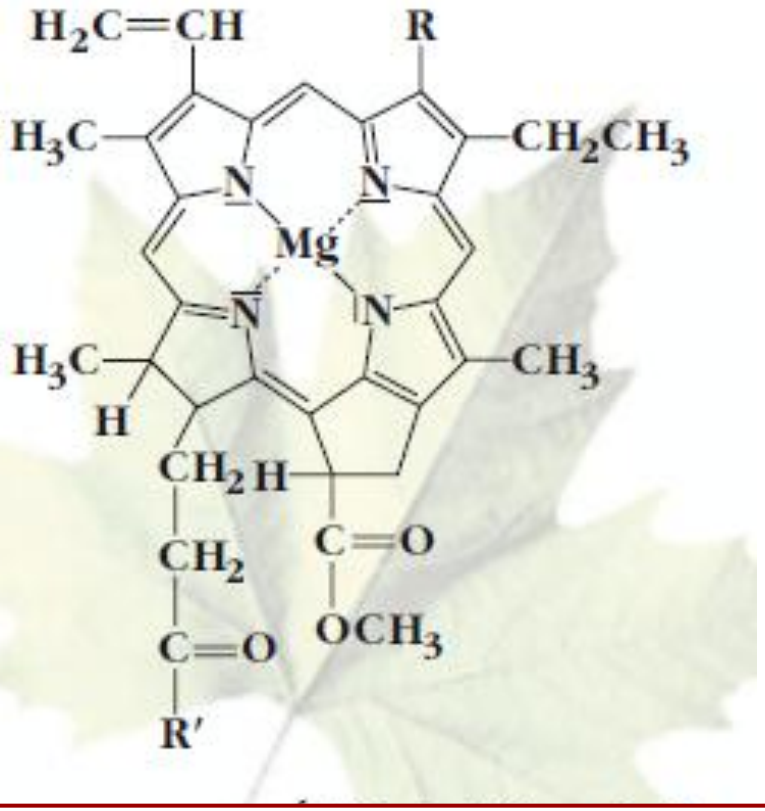
Carotinoide in Biochromen

1960: ca. 50; 1999: > 500 bekannte; > 100 mio t/a

K. Schiedt, *Hoffmann-La Roche*, Animal Nutrition Events, Basel **(1988)**

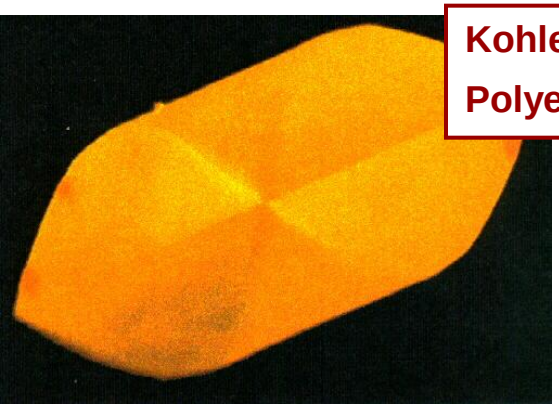
Chlorophyll und β-Carotin
im Vergleich

Relation:
Eigenschaften - Struktur



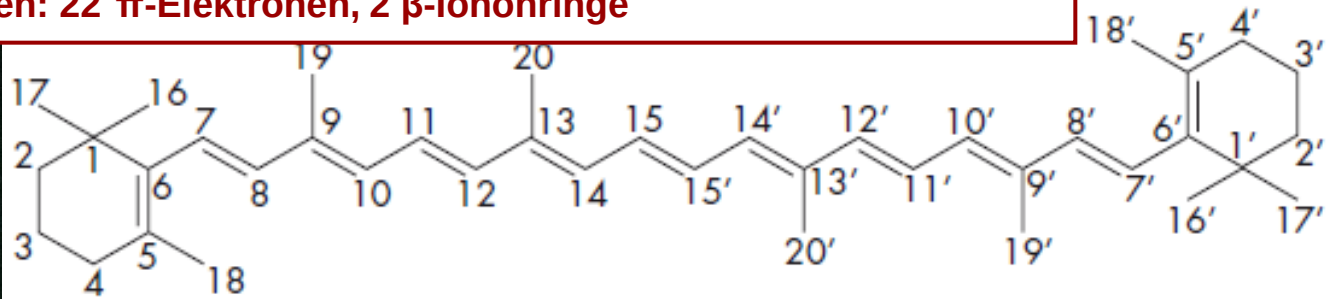
Farbe
Löslichkeit

Macro-Heterocyclus: 4 methinverbrückte Pyrrolringe
18 π-Elektronen: aromatisches Dianion
4 zähniger Chelatkomplex

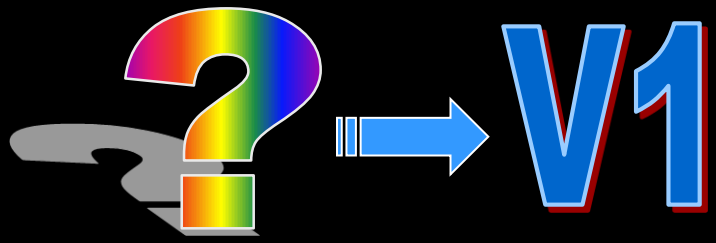


Kohlenwasserstoff $C_{40}H_{56}$, Tetraterpen (aus 8 Isopren-Einheiten)

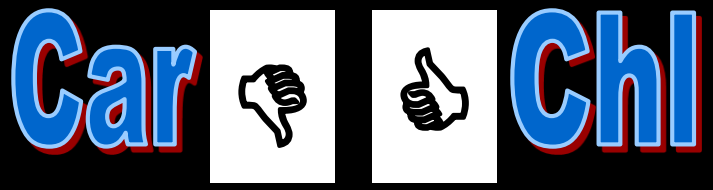
Polyen: 22 π-Elektronen, 2 β-Iononringe

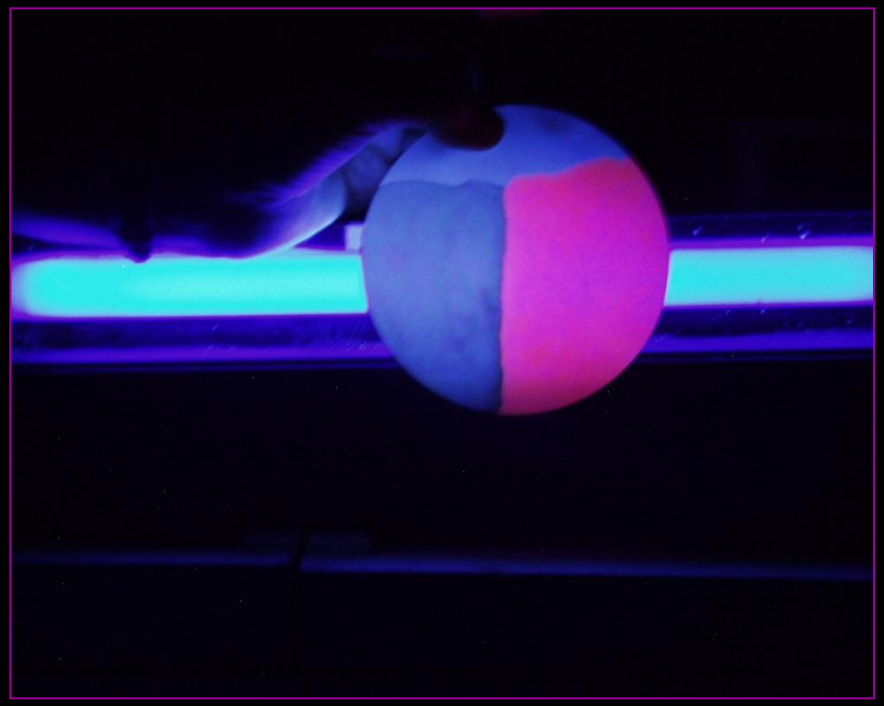


Fluoreszenz von Blattpigmenten

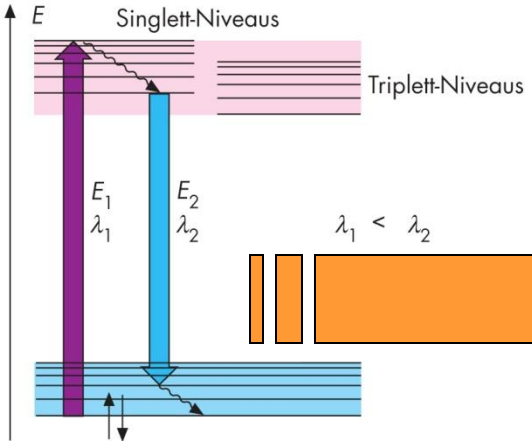


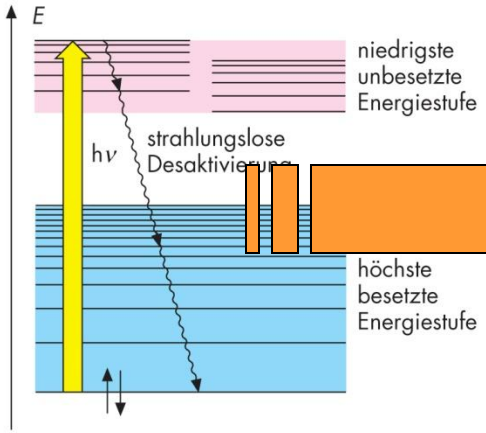
„Das Experiment unterscheidet sich von der reinen **Beobachtung** dadurch, dass zunächst eine genau definierte Situation **präpariert** wird.“[1]

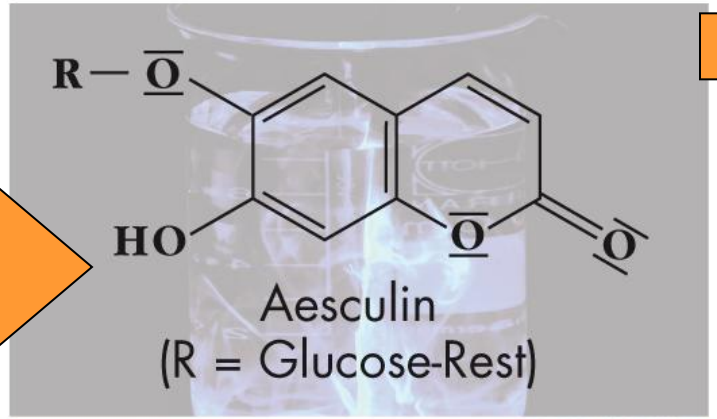




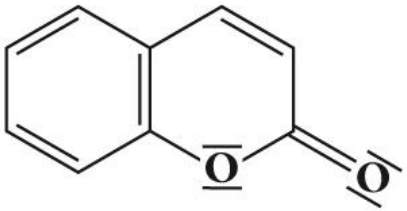
Das Energiestufen-Modell



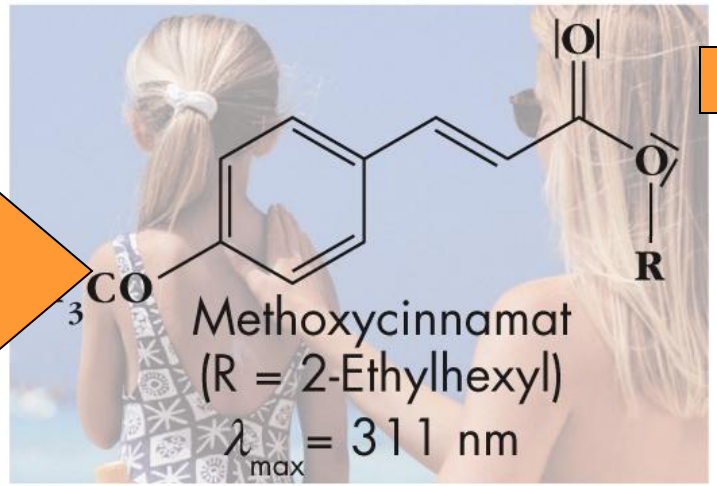




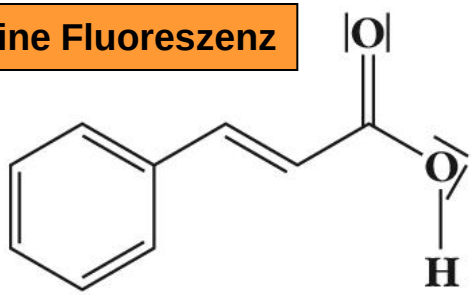
Fluoreszenz



Cumarin
(Benzopyranon)



Keine Fluoreszenz



trans-Zimtsäure
(engl. cinnamic acid)

www.chemiedidaktik.uni-wuppertal.de > Flash Anim

Die Photosynthese

Eine endergonische Photoredoxreaktion

Reduktion

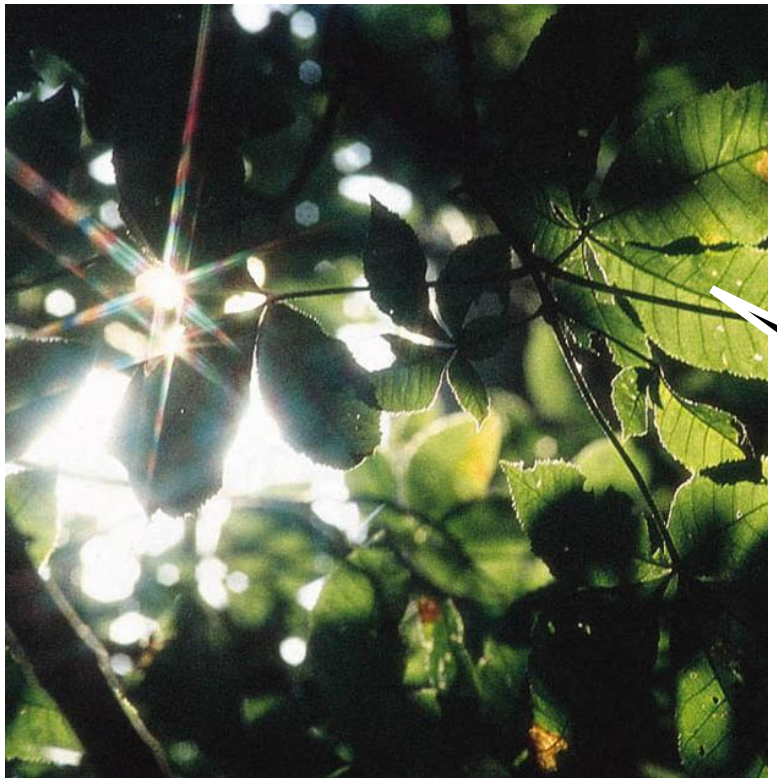
IV 0

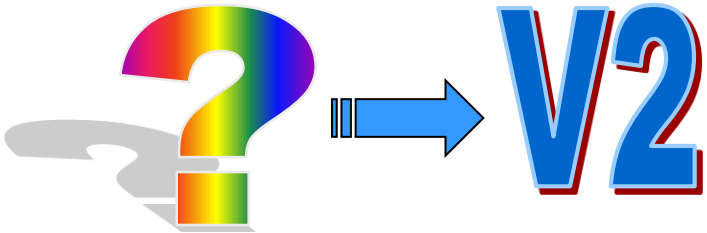
Licht

$$6\ CO_2(g) + 6\ H_2O(l) \longrightarrow C_6H_{12}O_6(s) + 6\ O_2(g);$$

Chlorophylle

$$\Delta G^\circ = +\ 2880\ kJ$$



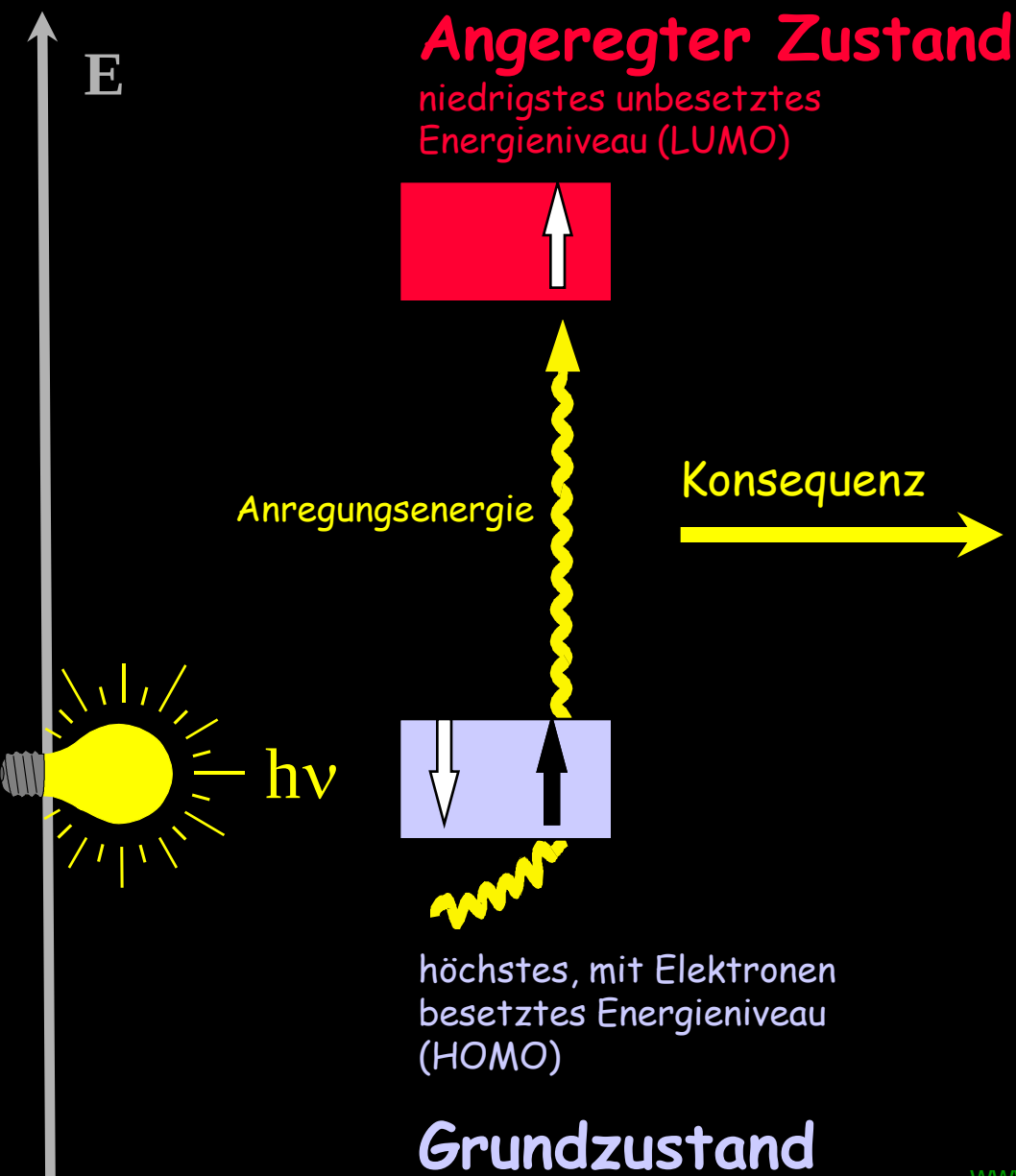


Ein Modell-Experiment muss **Analogien** zwischen dem realen Objekt der Untersuchung und einer künstlich geschaffenen Situation erzeugen.

Wie funktioniert „Photoredox“?

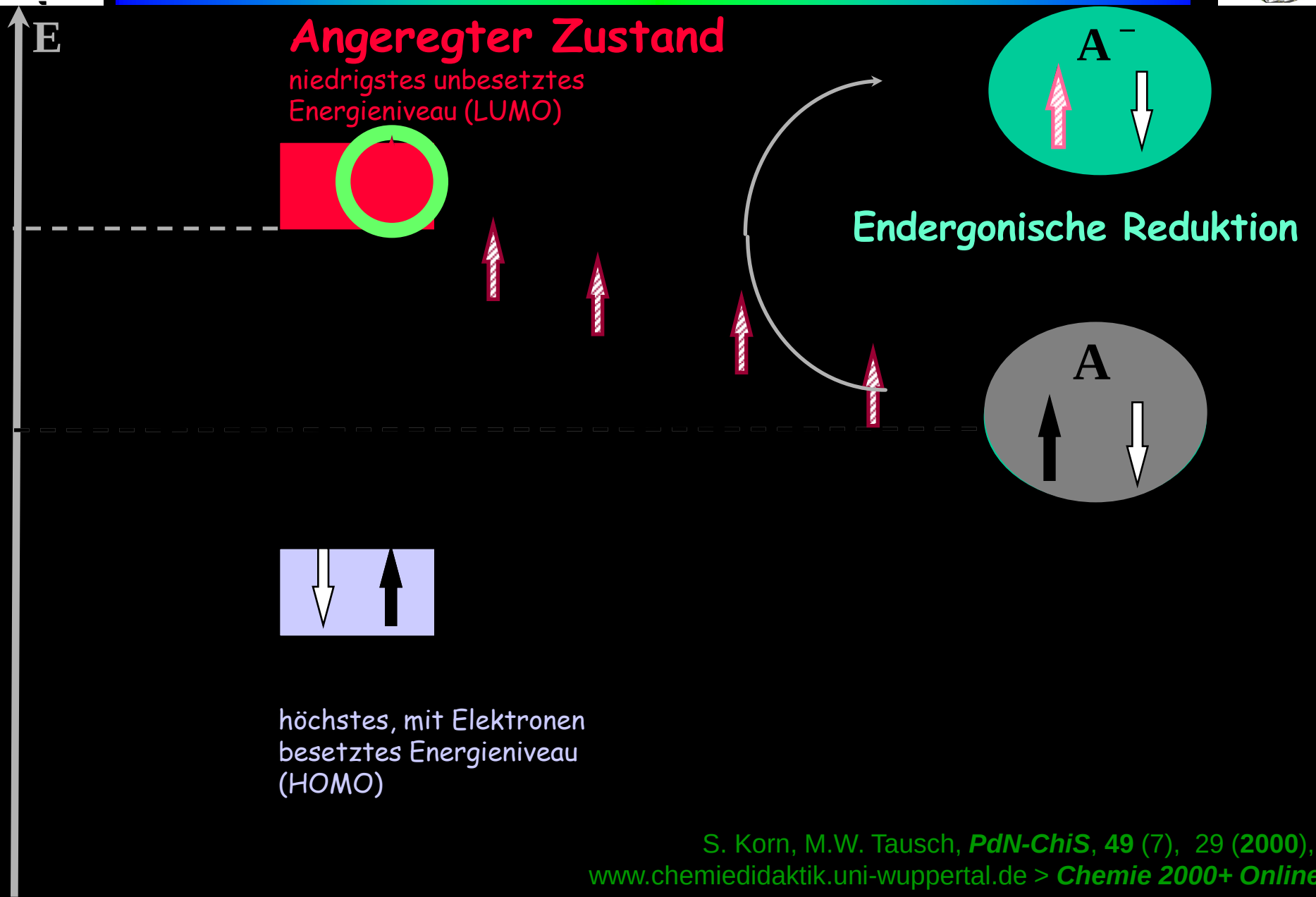
M.W. Tausch, ***PdN-Chemie***, **42** (3), 13, (1994) … (2008)

Photoelektronentransfer PET



S. Korn, M.W. Tausch, ***PdN-ChiS***, **49** (7), 29 (**2000**),
www.chemiedidaktik.uni-wuppertal.de > ***Chemie 2000+ Online***

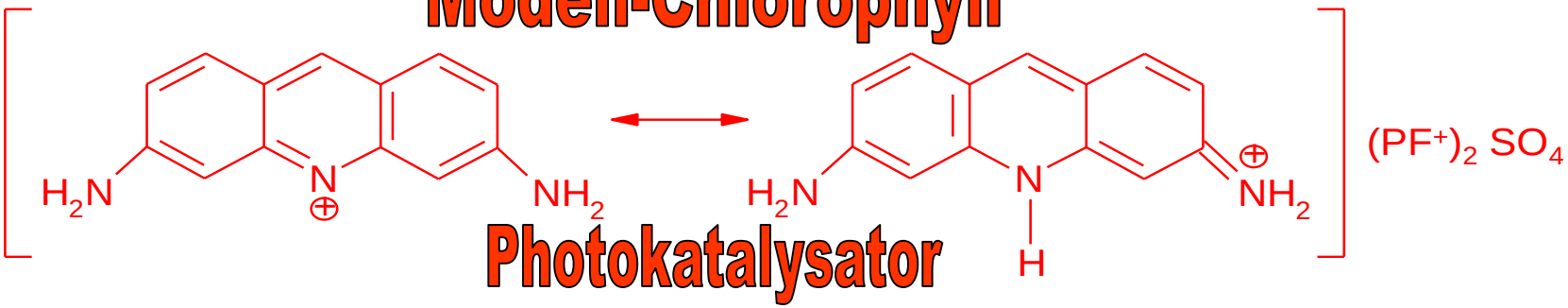
Photoelektronentransfer PET



S. Korn, M.W. Tausch, ***PdN-ChiS***, **49** (7), 29 (**2000**),
www.chemiedidaktik.uni-wuppertal.de > ***Chemie 2000+ Online***

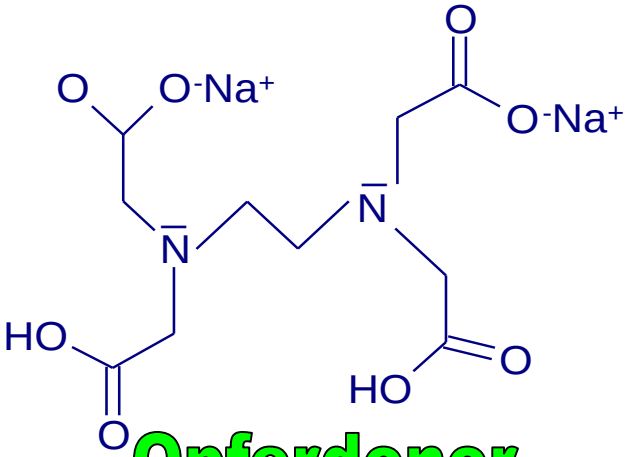
Photo-Blue-Bottle Chemikalien

Modell-Chlorophyll



Photokatalysator

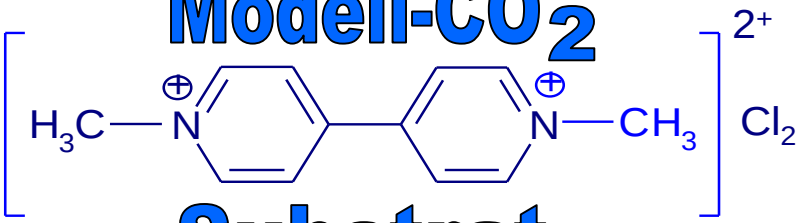
Proflavin PV^+ (Diaminoacridinhemisulfat), Aldrich, 19, 822-6



Opferdonor

Ethylendiaminotetraessig-
säure-dinatriumsalz
EDTA (Triplex III)
Merck, 12029

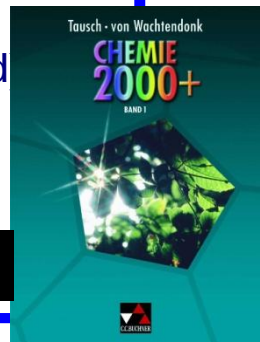
Modell-CO_2



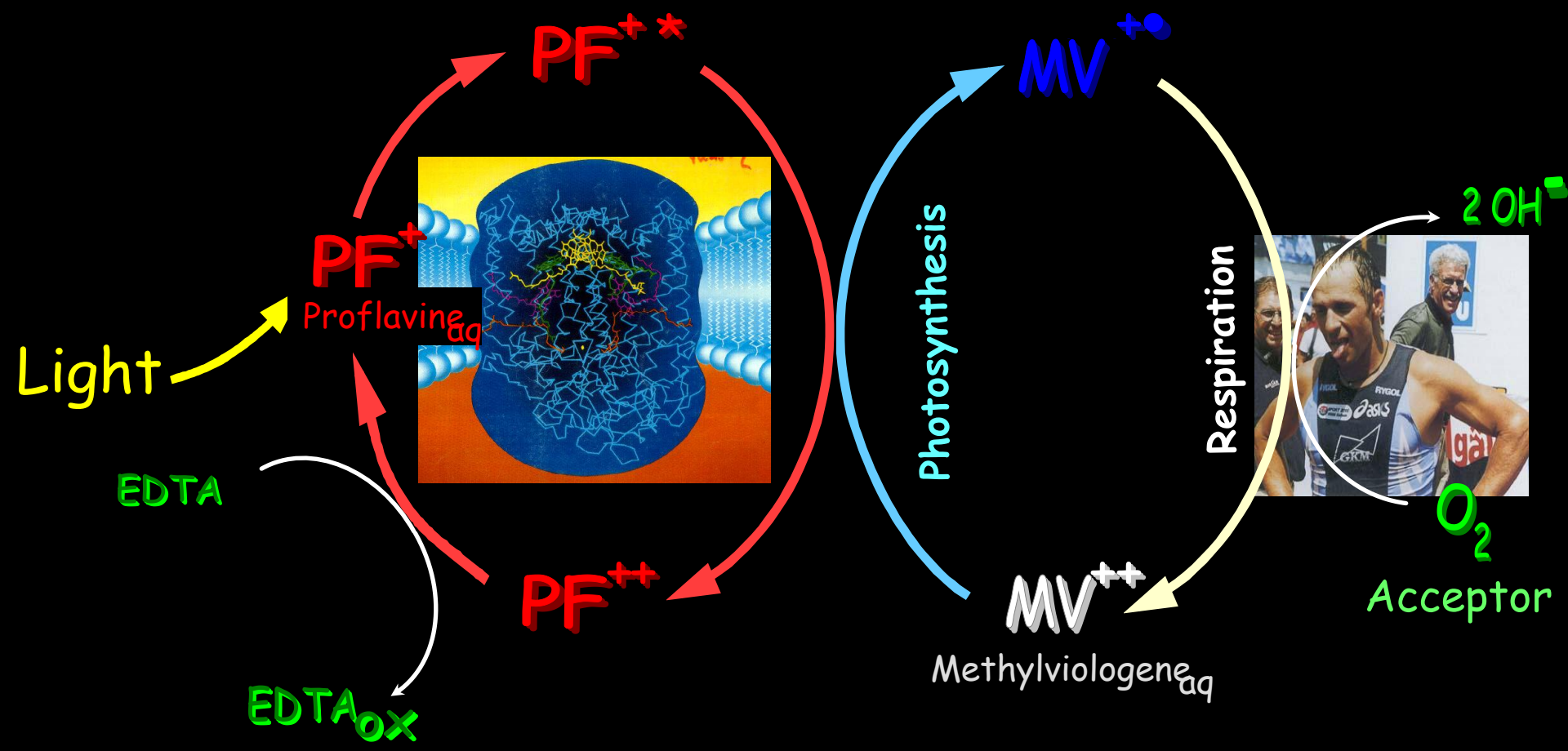
Substrat

Methylviologen MV2+
(1,1'-Dimethyl-1,1'-bipyridiniumdichlorid
Aldrich, 85,617,-7

M. W. Tausch, *PdN-ChiS* **43** (3), 13 (1994)



Reaktionszyklen beim PBB-Experiment



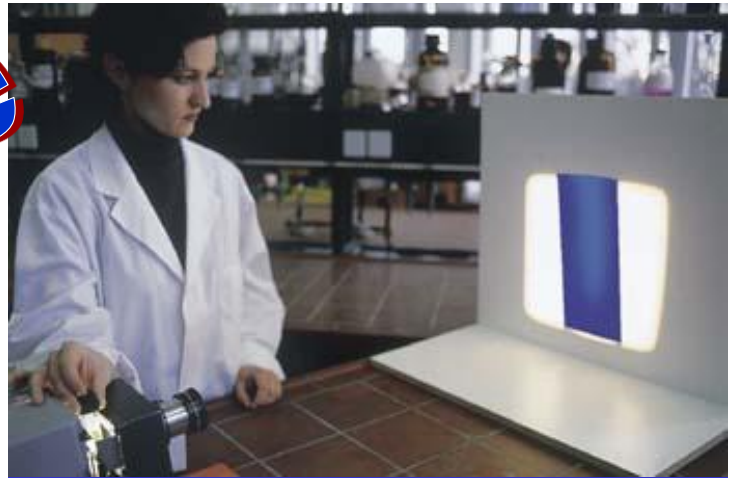
Sacrificial-Donor	Photocatalyst	Substrate	Ox.agent
Excess	$c \approx 5.10^{-5}$ mol/L	$c \approx 5.10^{-3}$ mol/L	Supply

S. Korn, M.W. Tausch, ***PdN-ChiS***, **49** (7), 29 (**2000**),
www.chemiedidaktik.uni-wuppertal.de > ***Chemie 2000+ Online***

Modell-Photosynthese/Atmung

V2

Photo-Blue-Bottle
mini-version



E

blaue Lösung
Photokatalysator+
reduziertes Substrat

$+O_2$

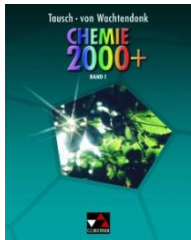
Grüne Lösung
Photokatalysator +
Substrat

$+h\nu$
PET

farbig
fluoreszent
redoxaktiv
Chl 👍

farbig

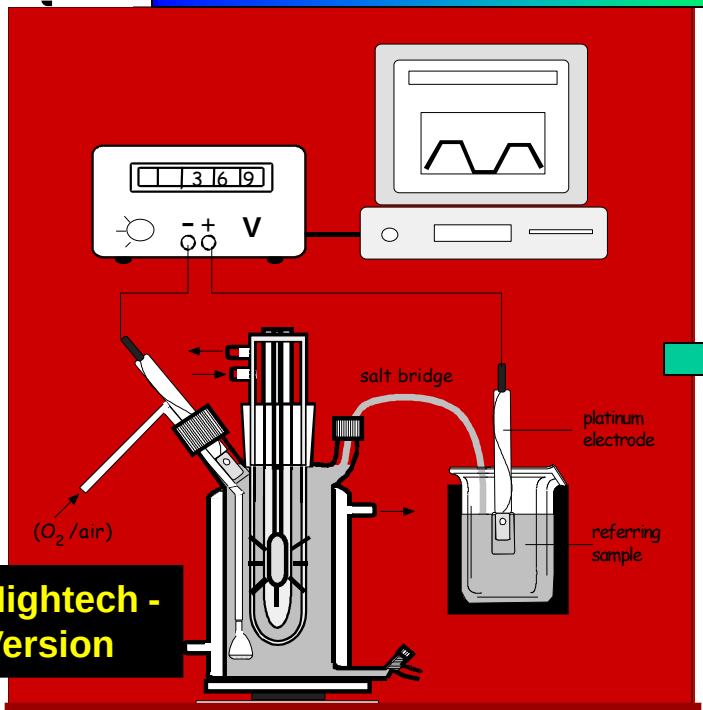
Car 👎



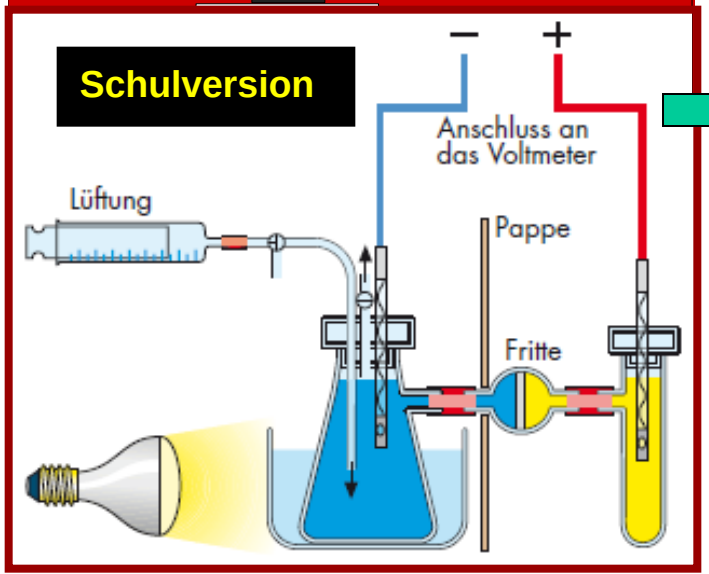
Kohlenstoff-Kreislauf in der Biosphäre

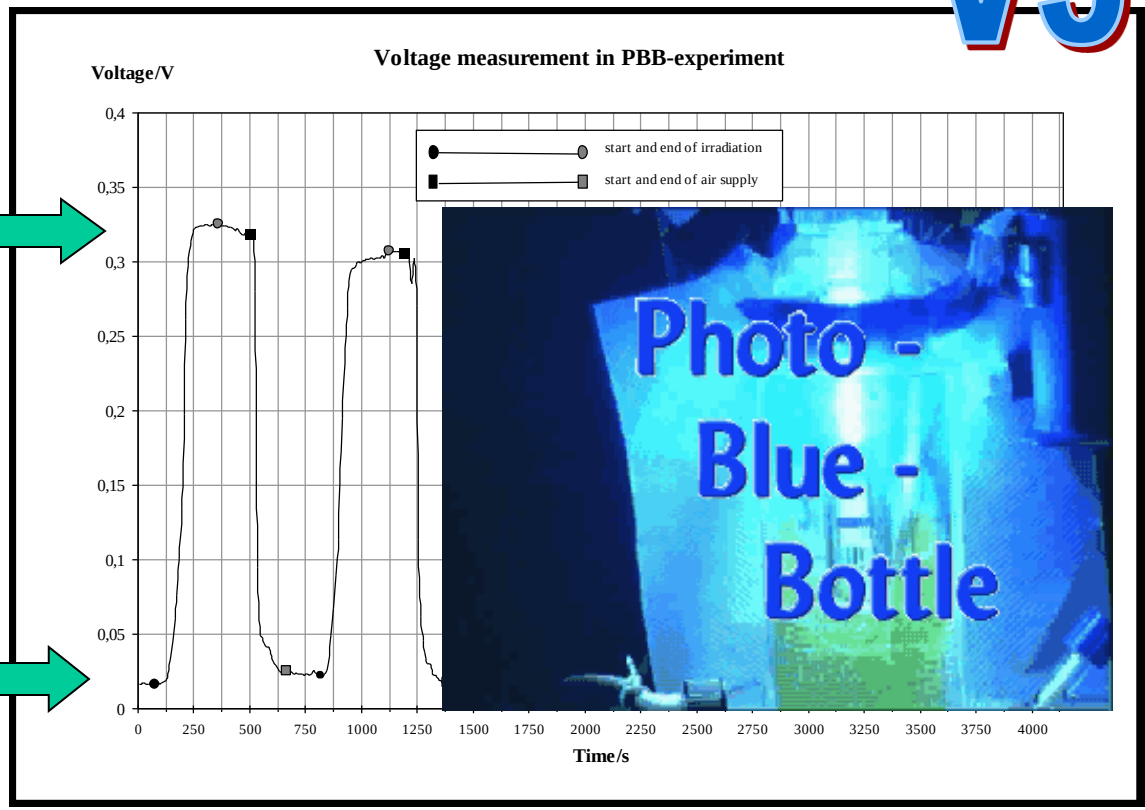
V3

Die Entwicklung didaktischer Experimente erfordert **wissenschaftliches** *know-how* und Intuition.



Hightech - Version





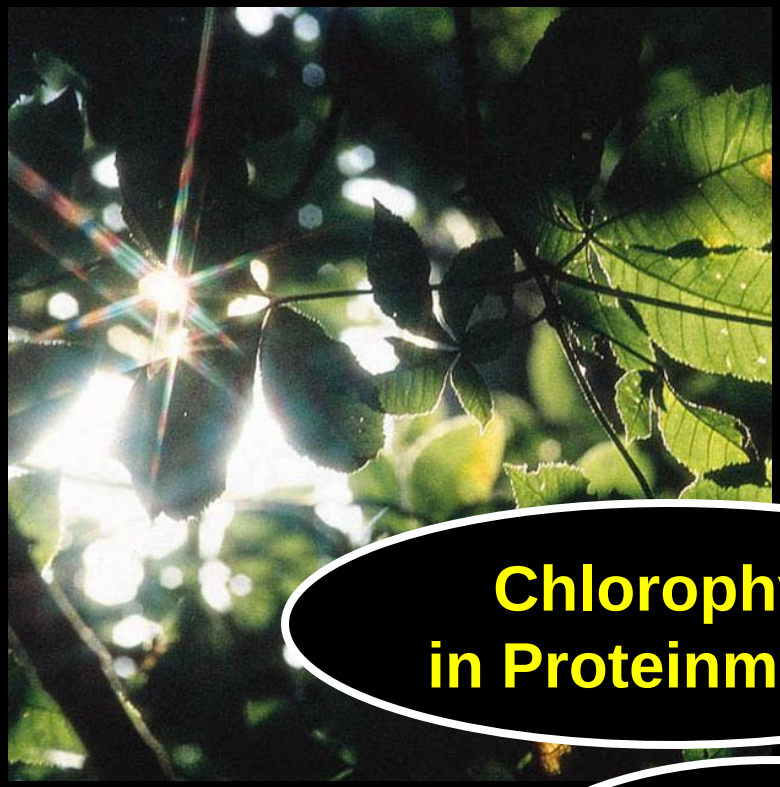
✱ Licht an ● Licht aus ■ Lüftung an ☐ Lüftung aus

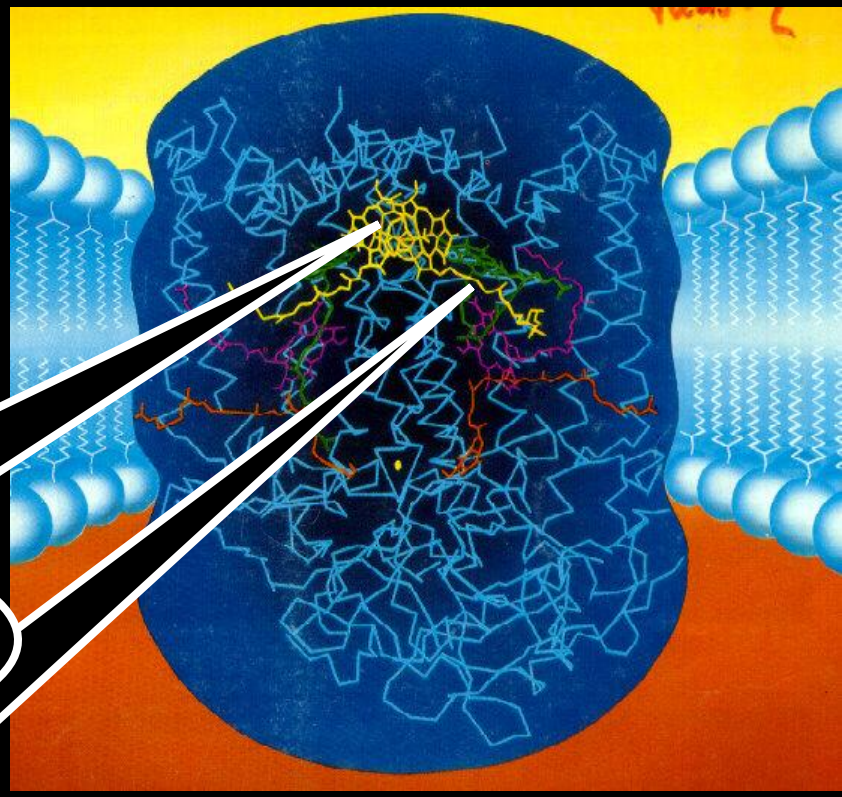
Fazit:

Licht wird in elektrochemische Energie konvertiert und als solche im reduzierten Substrat gespeichert

M. Tausch, Silke Korn, ***J. Chem. Educ.* 78** (9), 1238 **(2001)**

Das Zentrum der Lichtmaschine





Chlorophyll in Proteinmatrix

Wozu β–Carotin?

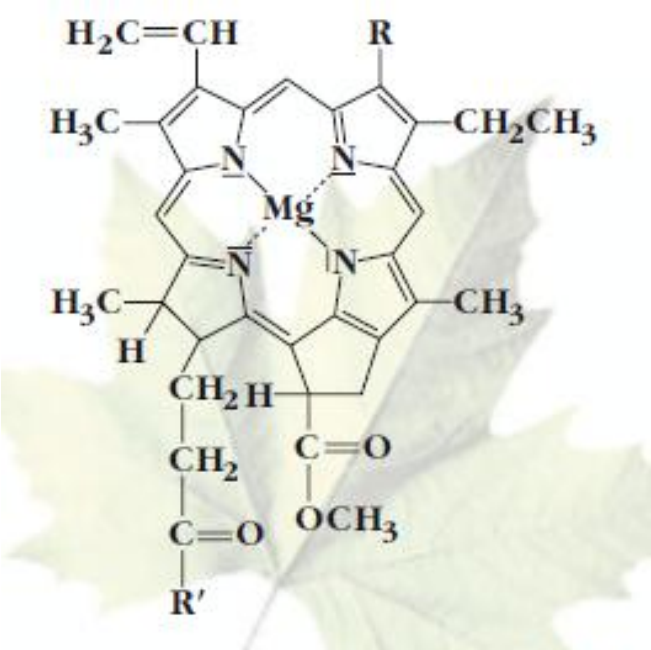
Photosynthetisches Zentrum

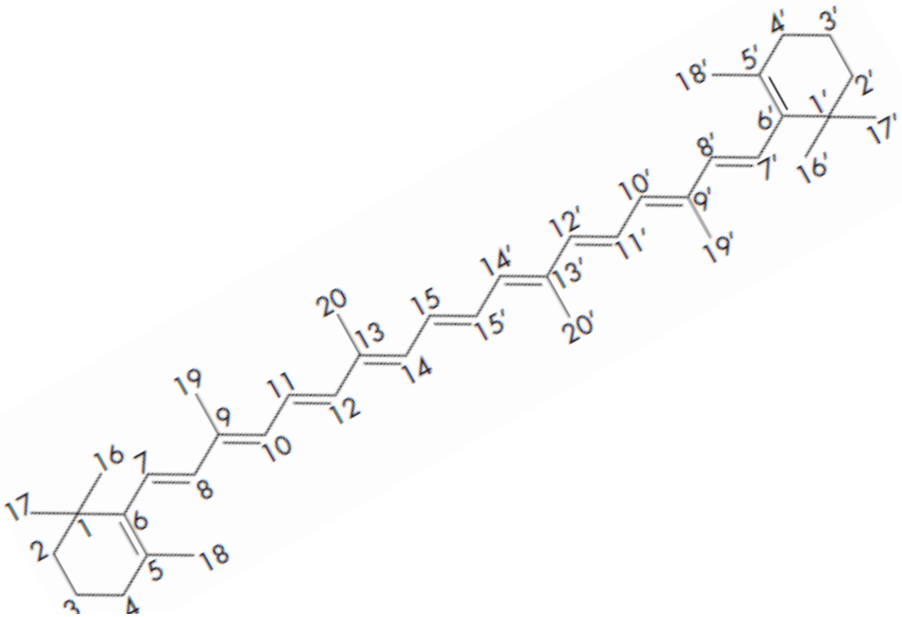
Nobelpreis für Chemie 1988:

H.Michel, R.Huber, J.Deisenhofer

M. Huber, ***Angew. Chem.*** **107**, *929 (1995)*

Ein Fall für zwei





Die Lösung:

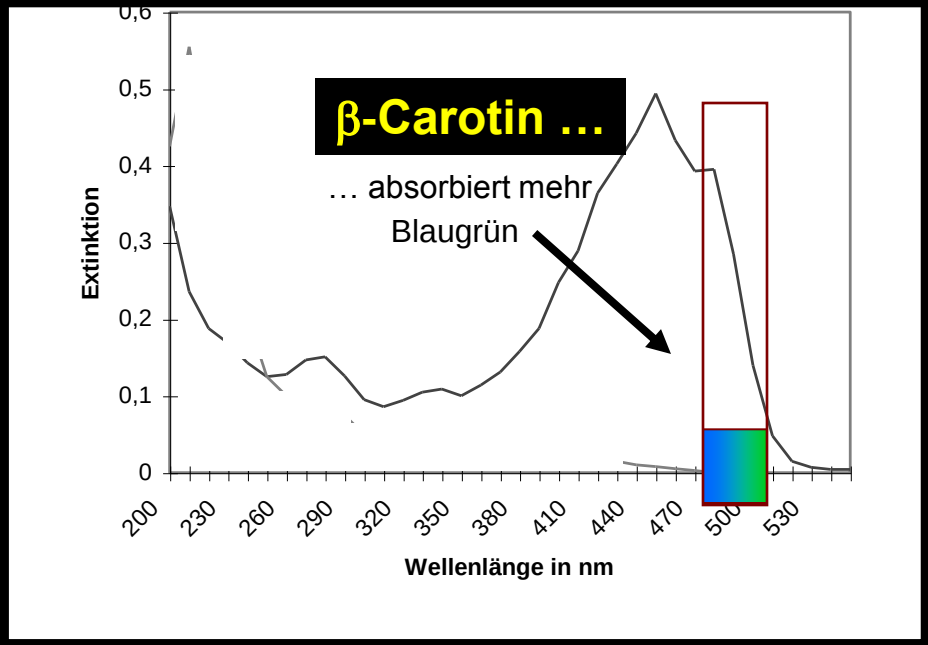
1. Die beiden Akteure *kooperieren* bei der Lösung des Falles.

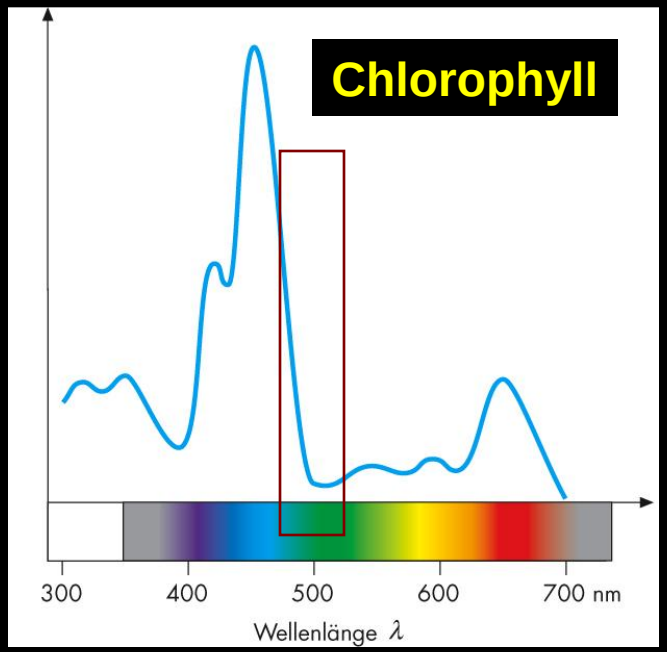
2. Jeder übernimmt dabei *die Aufgaben*, für die der andere nicht (oder nicht so gut) geeignet ist.

3. Dabei handelt es sich teilweise um *komplementäre* Aufgaben…

Ein Fall für zwei

Absorptionsspektren





M. Tausch, M. v. Wachtendonk, ***Chemie 2000+*** (2007)

Ein Fall für zwei

β-Carotin - ein akzessorisches Pigment

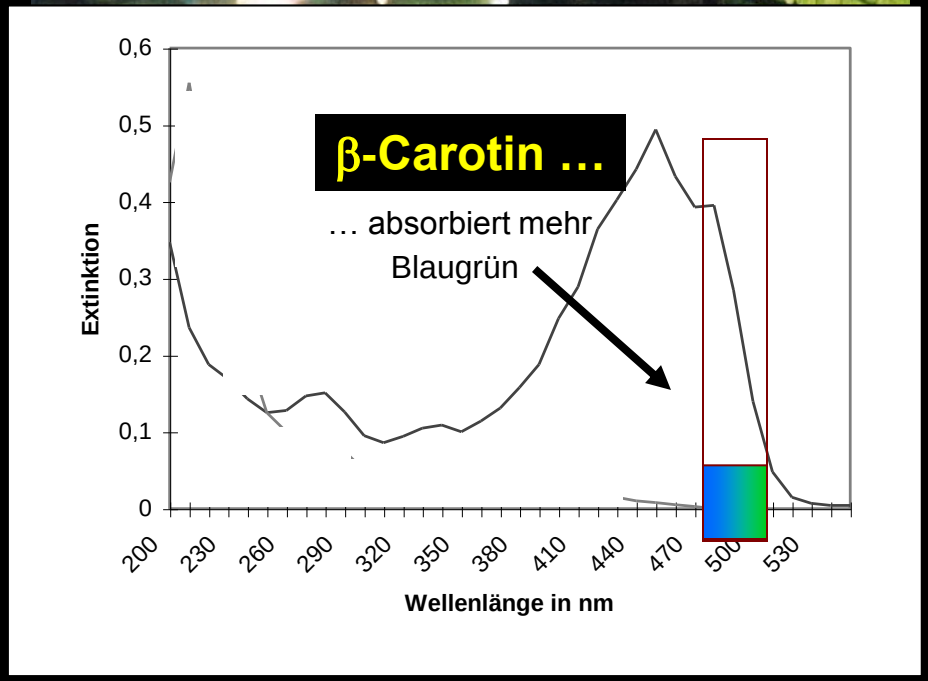
β-Carotin als Photosensibilisator

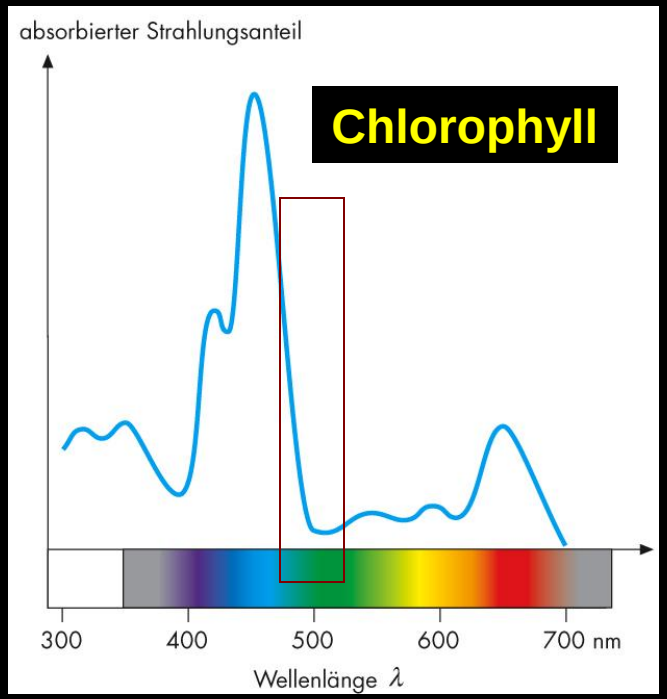
$$^1\text{Car} + h\nu \rightarrow {}^1\text{Car}^* \quad (1)$$

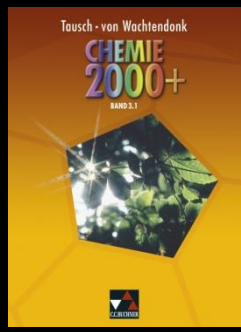
$$^1\text{Car}^* + {}^1\text{Chl} \rightarrow {}^1\text{Chl}^* + {}^1\text{Car} \quad (2)$$

$$^1\text{Chl}^* \rightarrow {}^1\text{Chl} + \text{Photochemie} \quad (3)$$

$$^1\text{Chl}^* \rightarrow {}^1\text{Chl} + h\nu(\text{Fluoreszenz}) \quad (4)$$



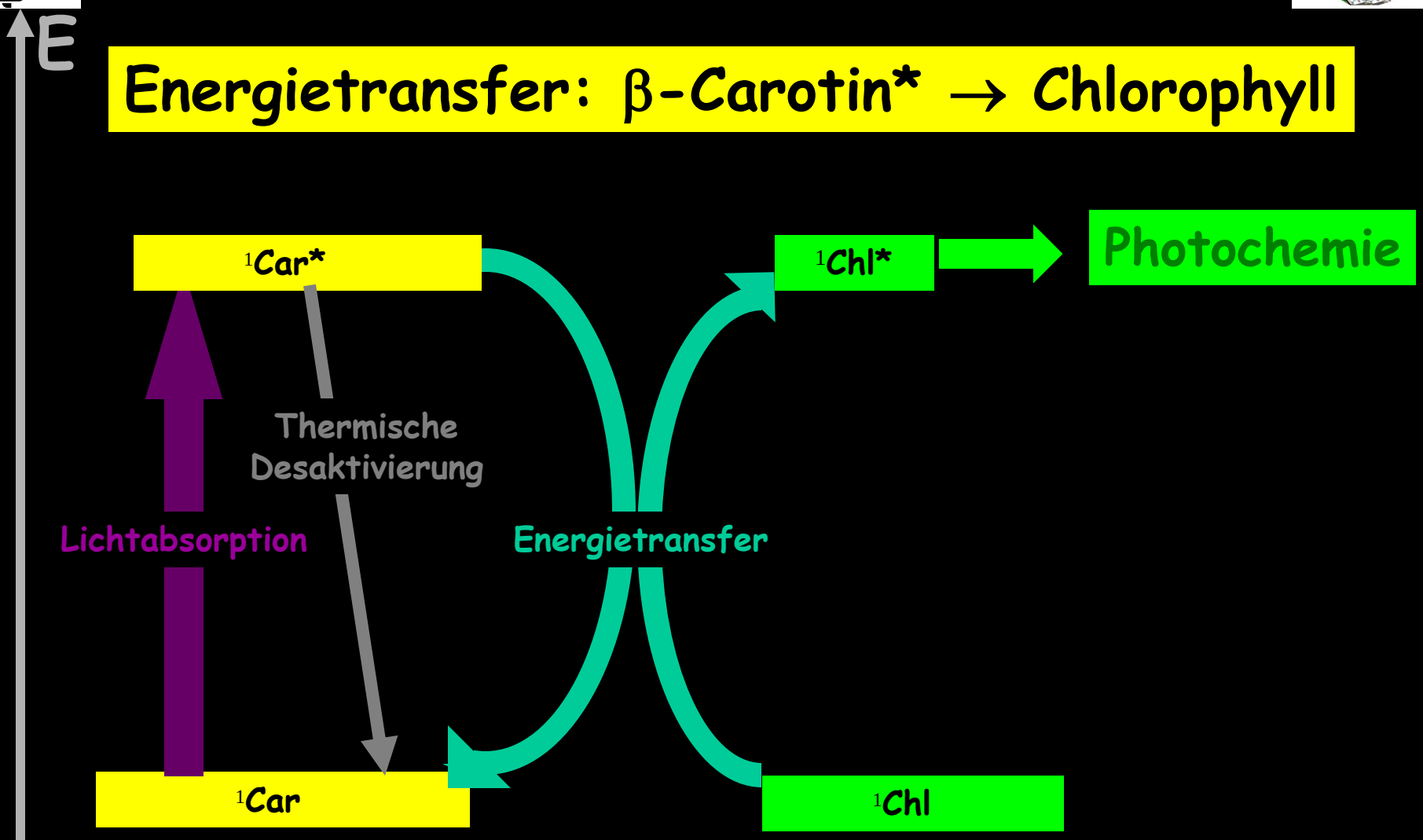




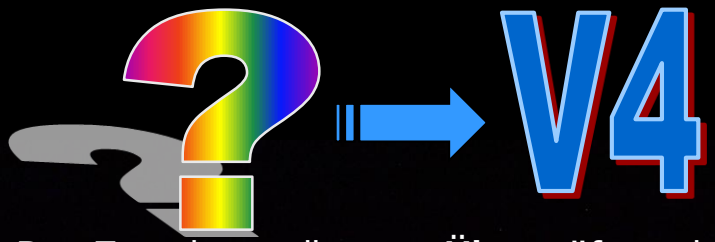
M. Tausch, M. v. Wachtendonk, ***Chemie 2000+*** (2007)

Ein Fall für zwei

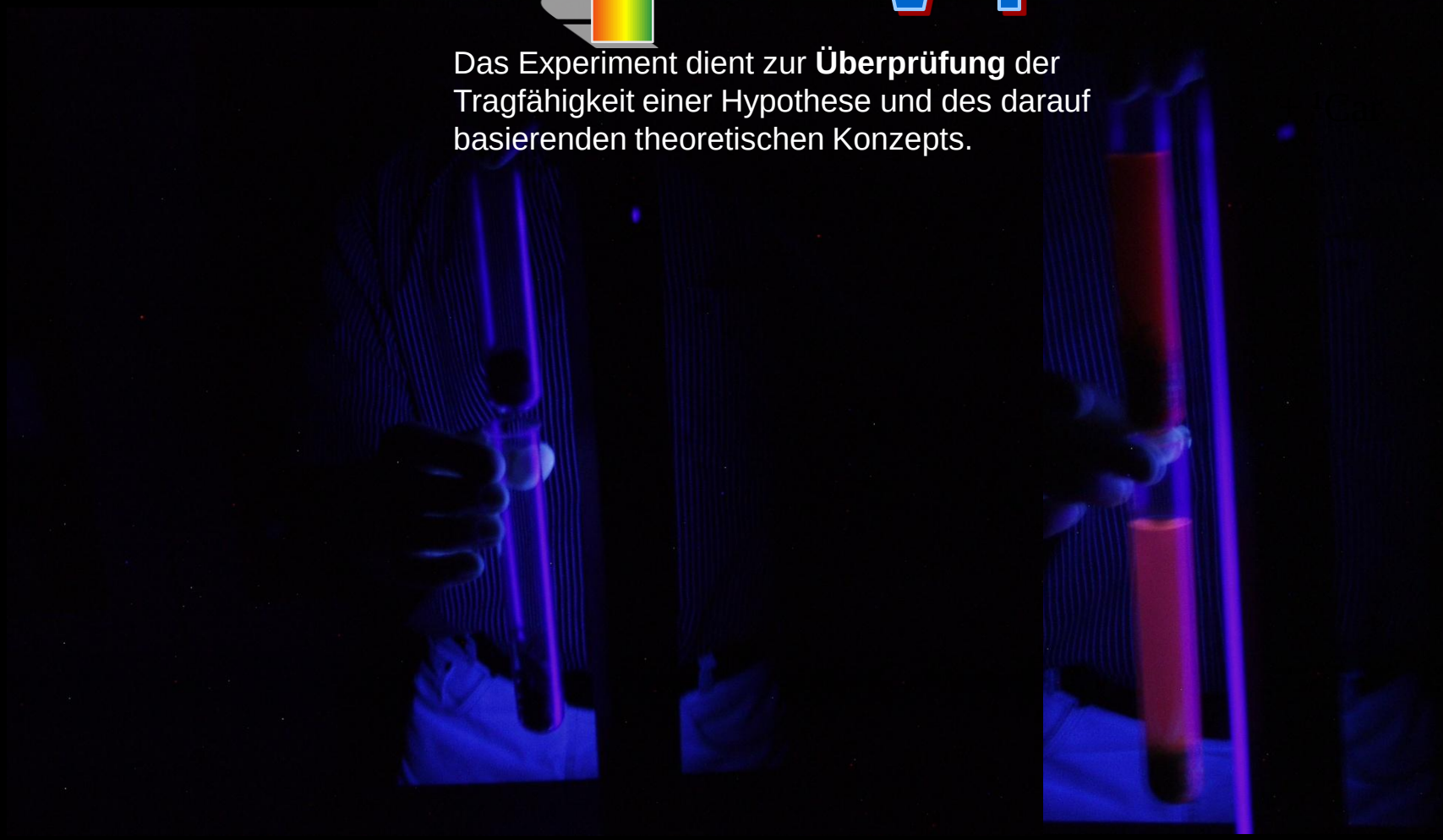
Energietransfer: β-Carotin* → Chlorophyll



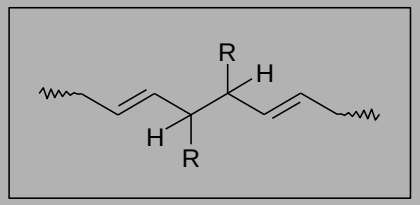
Chlorophyll im Blatt und in der Lösung

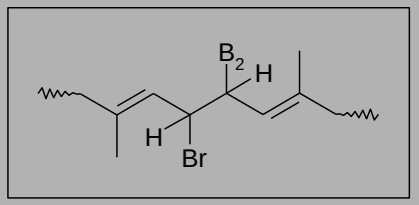


Das Experiment dient zur **Überprüfung** der Tragfähigkeit einer Hypothese und des darauf basierenden theoretischen Konzepts.



Lichtinduzierte Reaktionen

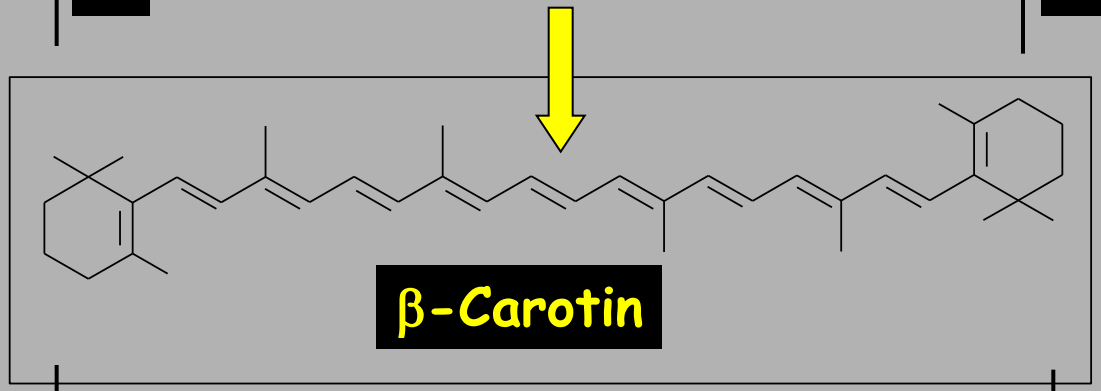




R·

„Schwachstelle“

Br_2

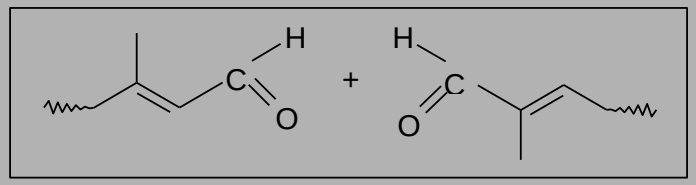


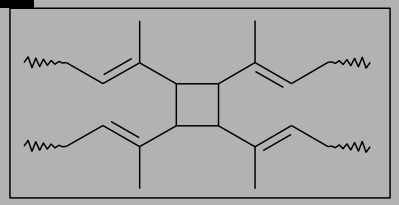
β-Carotin

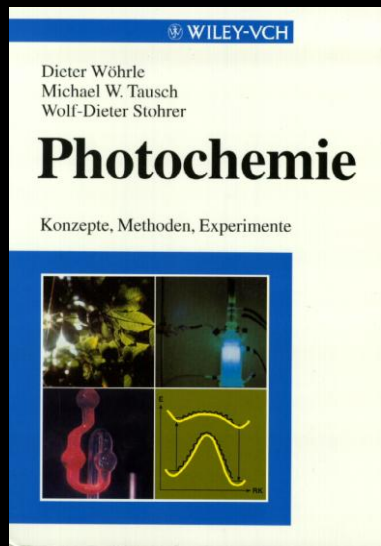
$^1O_2$, O_3

Weitere mögliche Reaktionen:
- *trans-cis* Isomerisierungen
- H-Abstraktion u.a.

UV-Licht



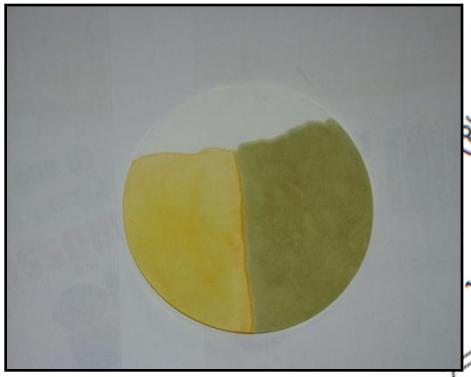




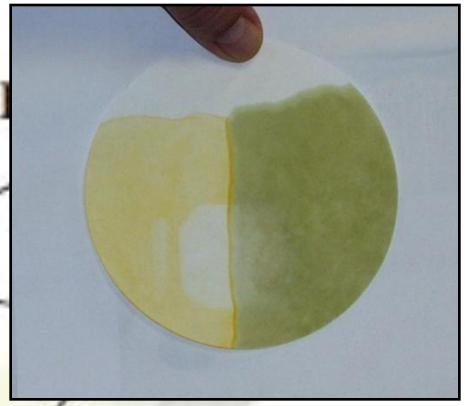
Wie photostabil sind Car und Chl?

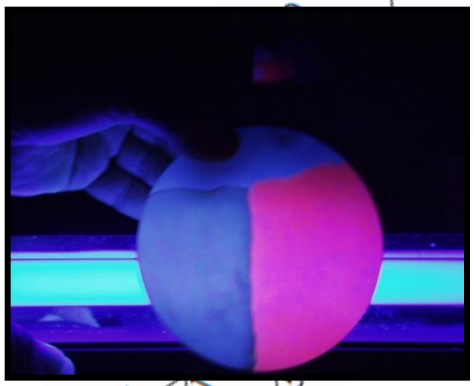
V5

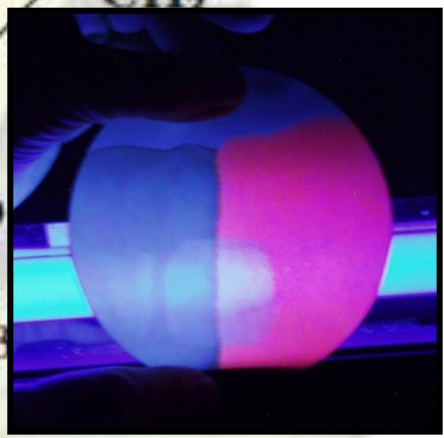
„Situation präparieren“ = „Experiment designen“ = „ …“



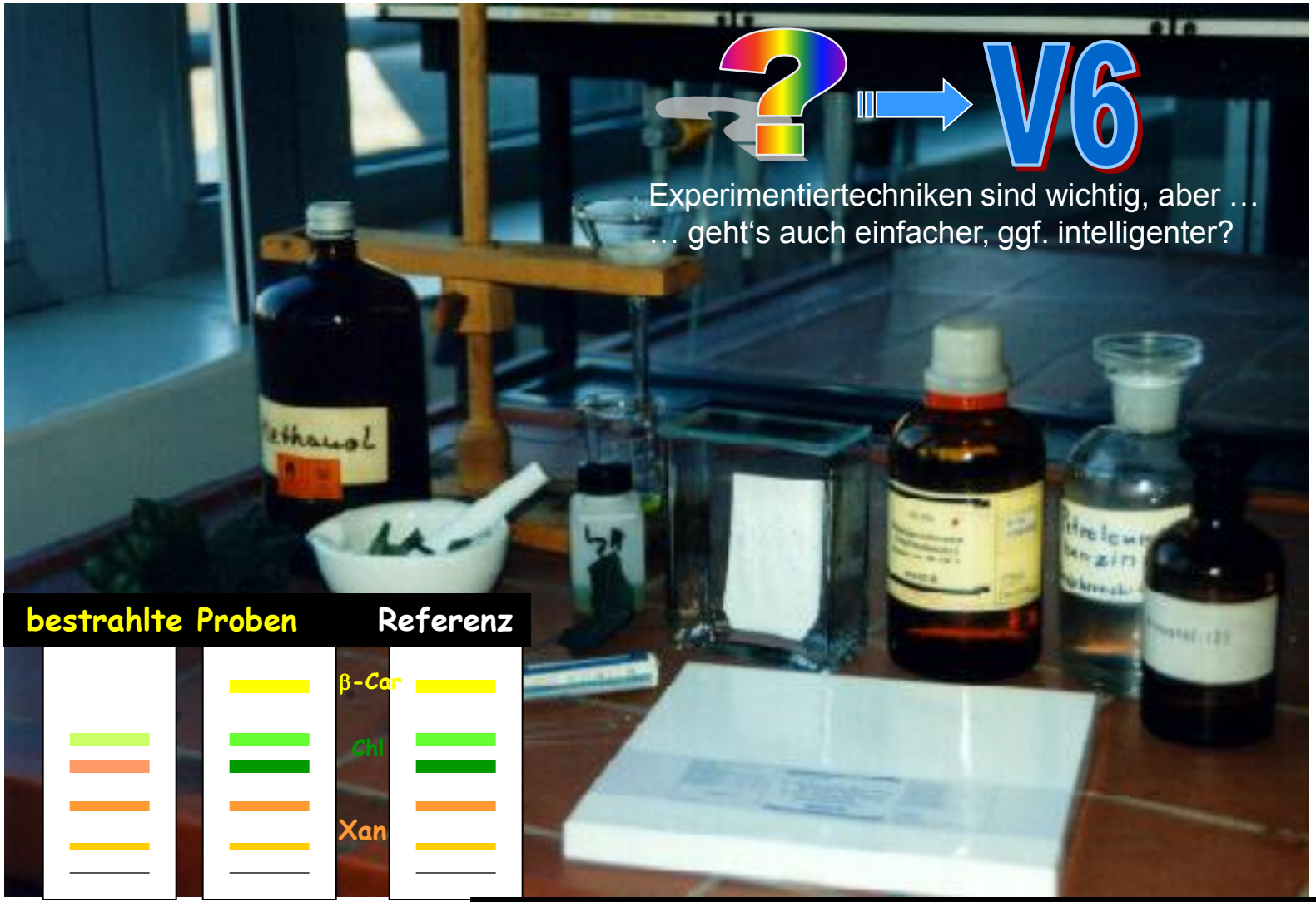
2 min, 250 Watt Halogenlampe







Ist Car Photoprotektor für Chl?



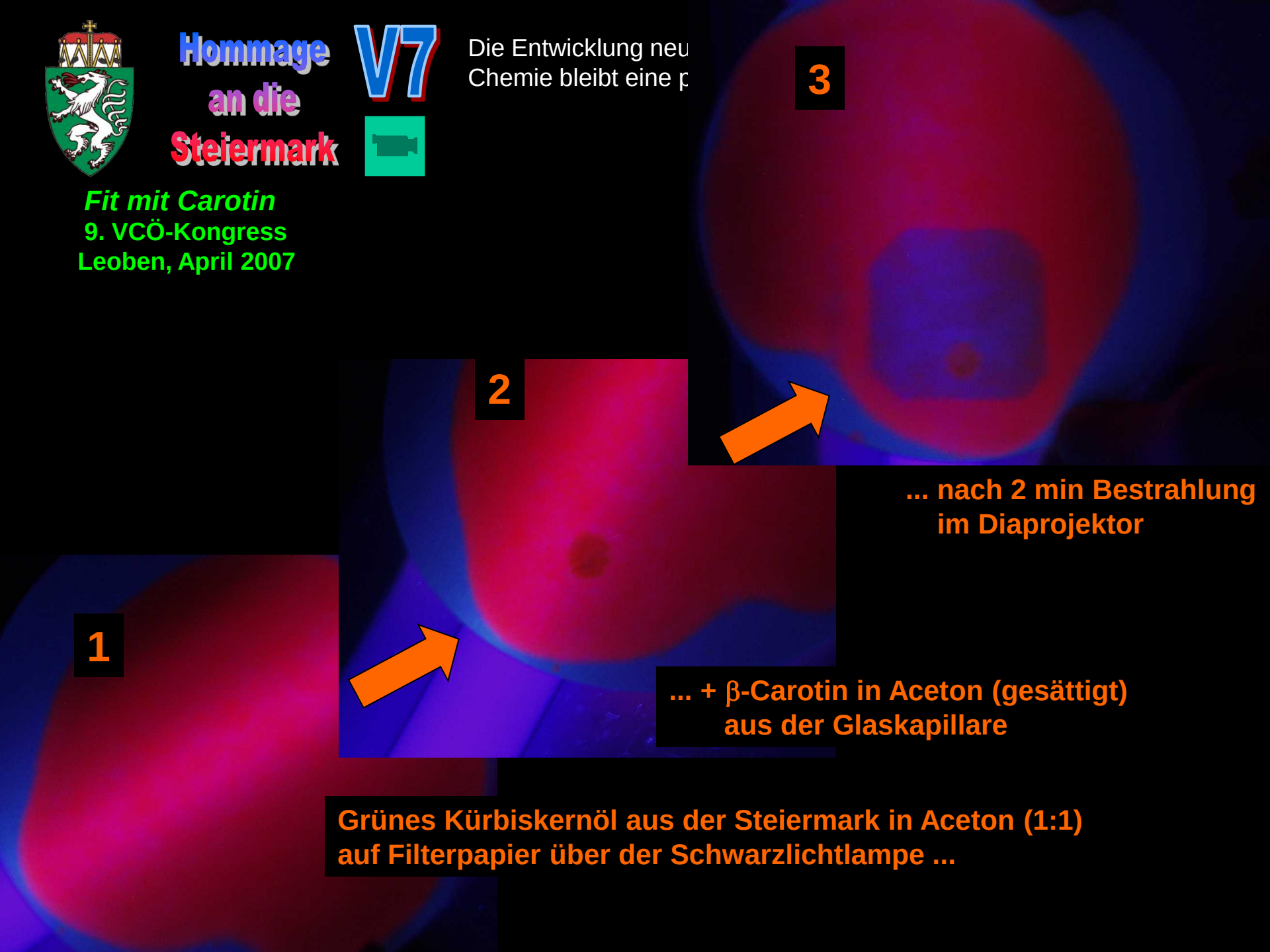
M. Tausch, M. v. Wachtendonk (Hrsg.) ***Chemie 2000+,*** Bd. 3 (2005)
www.chemiedidaktik.uni-wuppertal.de > *Chemie 2000+ Online* > Experimente

Hommage an die Steiermark

V7

Die Entwicklung neu
Chemie bleibt eine p

Fit mit Carotin
9. VCÖ-Kongress
Leoben, April 2007



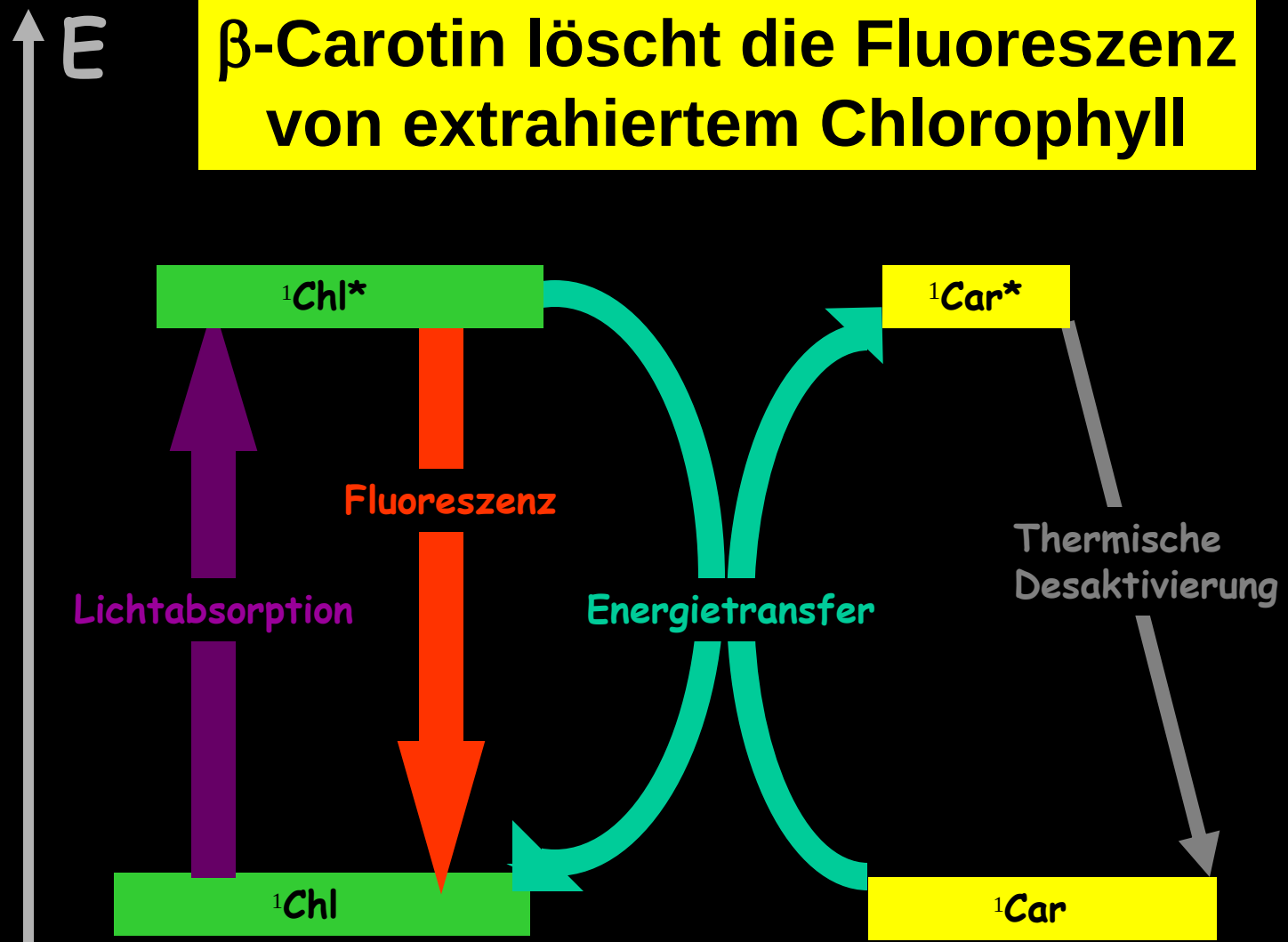
... nach 2 min Bestrahlung im Diaprojektor

... + β-Carotin in Aceton (gesättigt) aus der Glaskapillare

Grünes Kürbiskernöl aus der Steiermark in Aceton (1:1) auf Filterpapier über der Schwarzlichtlampe ...

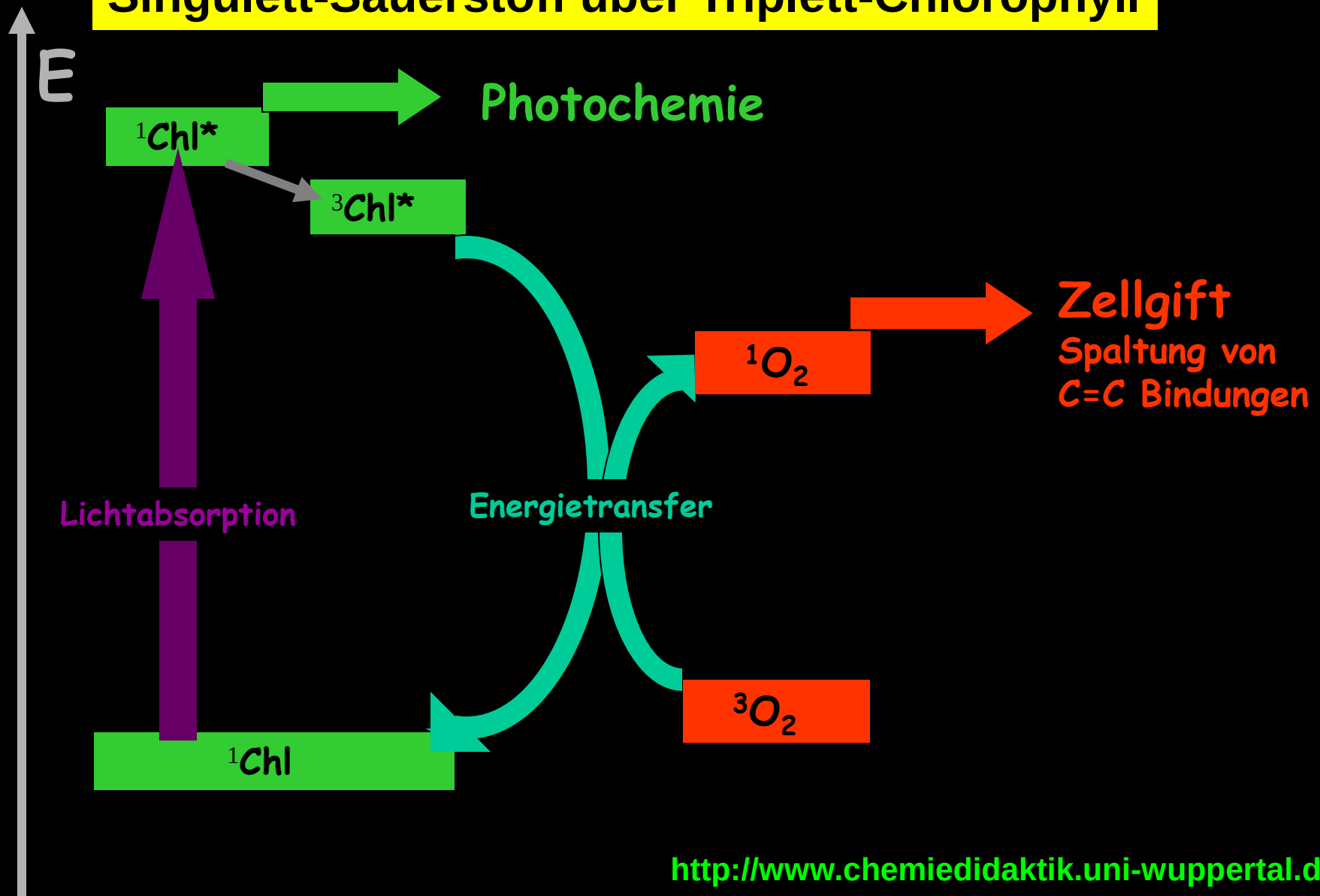
Ein Fall für zwei

β-Carotin löscht die Fluoreszenz von extrahiertem Chlorophyll



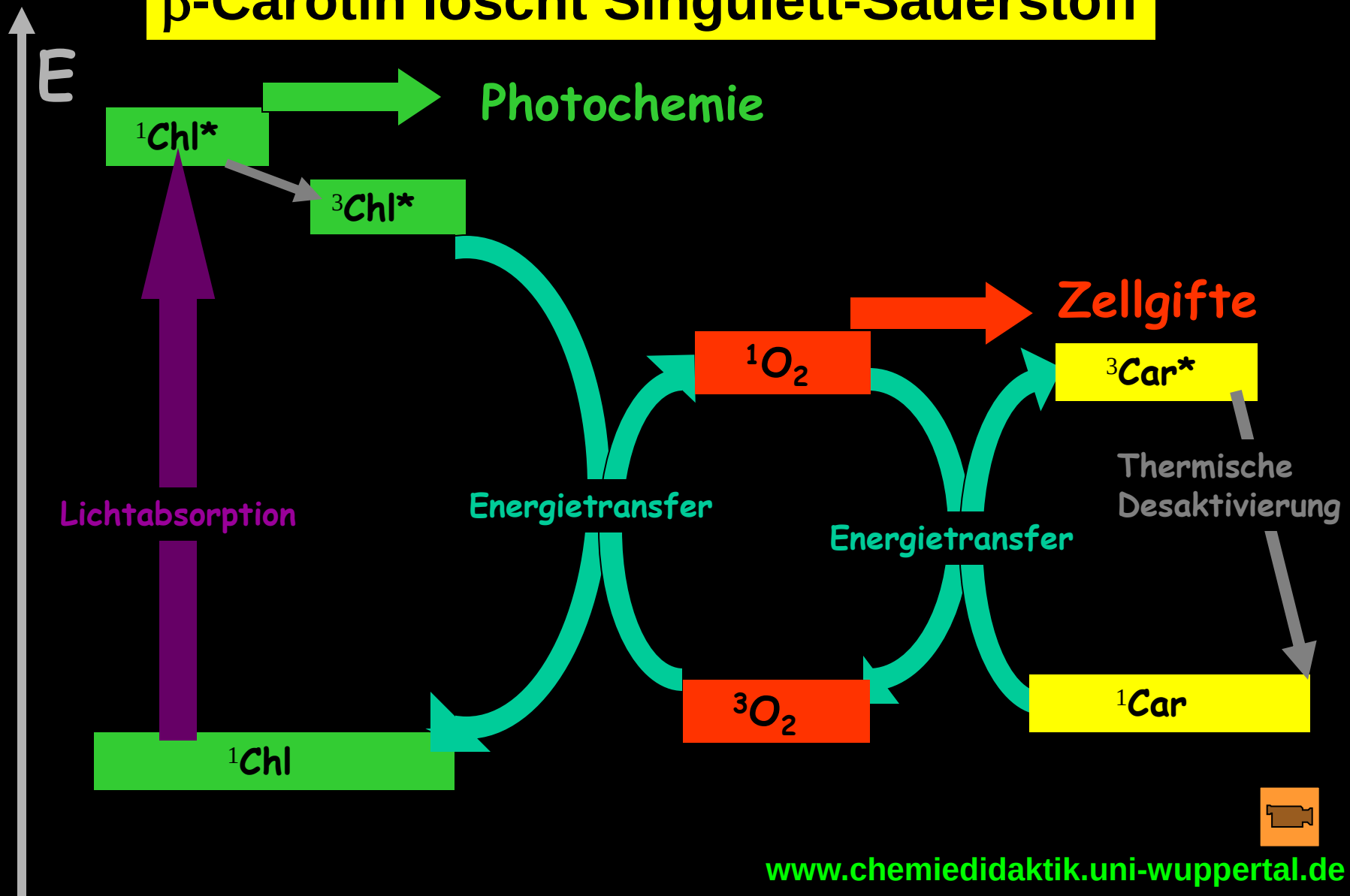
Photoabbau von Biomaterial

Singulett-Sauerstoff über Triplett-Chlorophyll



Ein Fall für zwei

β-Carotin löscht Singulett-Sauerstoff



Ein Fall für zwei

Zusammenfassung

β-Carotin als Photosensibilisator

$^1Car + h\nu \rightarrow {}^1Car^*$ (1)

$^1Car^* + {}^1Chl \rightarrow {}^1Chl^* + {}^1Car$ (2)

$^1Chl^* \rightarrow {}^1Chl$ + Photochemie (3)

$^1Chl^* \rightarrow {}^1Chl + h\nu$(Fluoreszenz) (4)

Phototoxizität von Sauerstoff

$^1Chl^* \rightarrow {}^3Chl^*$ (5)

$^3Chl^* + {}^3O_2 \rightarrow {}^1Chl + {}^1O_2^*$ (6)

$^1O_2^*$ + Zellsubst. → Produkte (7)

β-Carotin als Photoprotektor

$^1Chl^* + {}^1Car \rightarrow {}^1Chl + {}^1Car^*$ (11)

$^3Chl^* + {}^1Car \rightarrow {}^3Car^* + {}^1Chl$ (8)

$^1O_2^* + {}^1Car \rightarrow {}^3Car^* + {}^3O_2$ (9)

$^3Car^* \rightarrow {}^1Car$; (SR) (10)

M. Tausch, M. v. Wachtendonk (Hrsg.), ***Chemie 2000+***

Ein Fall für zwei

Chemiedidaktisches Fazit

Fachinhalte für den Chemieunterricht

Farbe durch Lichtabsorption und Lichtemission:

- **Elektronischer Grundzustand und angeregter Zustand (Basiskonzept!)**
- **Chromophor, aromatische Systeme, Chelatkomplexe, Polyene**
- **Relation: Struktur- Farbe (auch bei der Fluoreszenz)**
- **Absorptionsspektrum, Emissionsspektrum**
- **Relation: Energie - Wellenlänge (Energie - Frequenz)**
- **Energiediagramme**

Energie- und Elektronentransfer aus dem elektronisch angeregten Zustand:

- **Photosensibilisator (Energietransfer)**
- **Photokatalysator (Elektronentransfer)**
- **Photoabbaureaktionen; z.B. von C=C Bindungen mit Singulett-Sauerstoff**

Curriculare Innovation

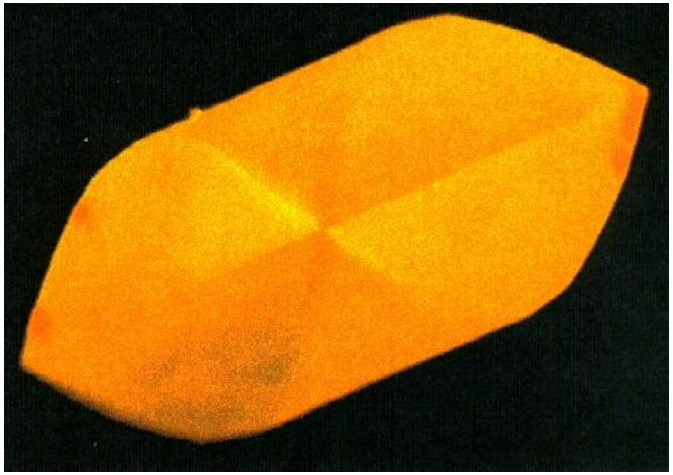
Didaktische Integration: Die Facetten eines großen Kontextes (z. B. „Vom Blattgrün zum Flatscreen“) werden im Sinne der aufbauend-vernetzten Fachsystematik funktionalisiert.

Curriculare Innovation

PdN-ChiS, **52** (1), (2003) Titelbild mit Standardmatrix

Curriculare Innovation

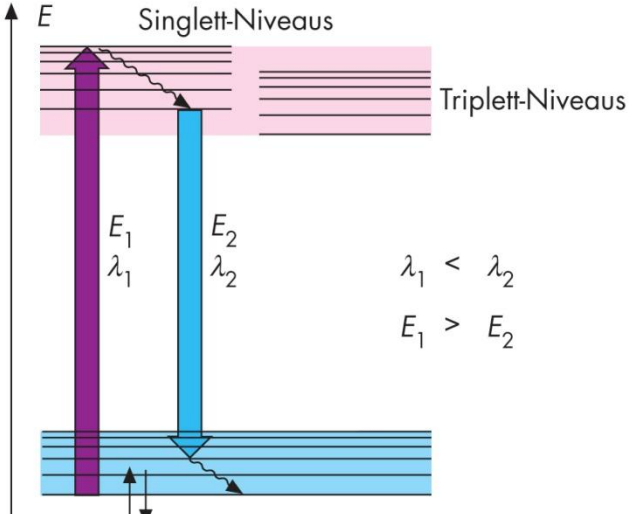
K&K: Kompetenzen und Kontexte

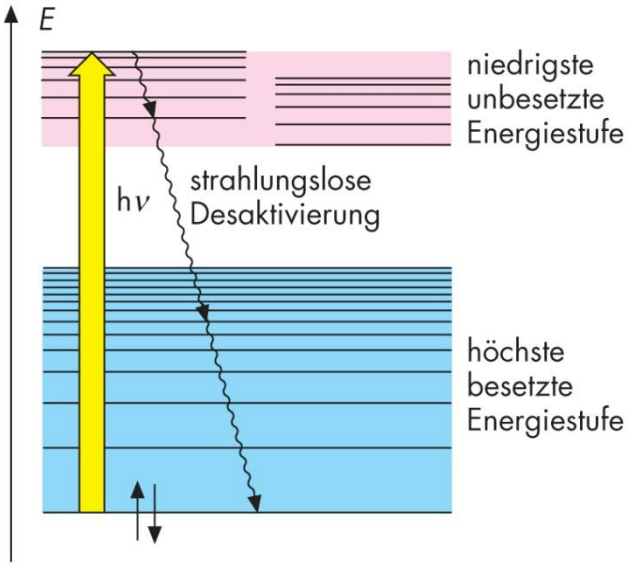


1. **Informiere** dich über die Molekülstruktur von β-Carotin, **begründe** seine Farbigkeit.
2. **Stelle Hypothesen** über die Lichtbeständigkeit von β-Carotin an der Luft **auf** und **begründe** sie.
3. **Plane** Versuche zur Überprüfung der Hypothesen und **führe** sie **durch**. **Bewerte** die Ergebnisse und **entscheide** über die Richtigkeit der Hypothesen.

Curriculare Innovation

K&K: Kompetenzen und Kontexte

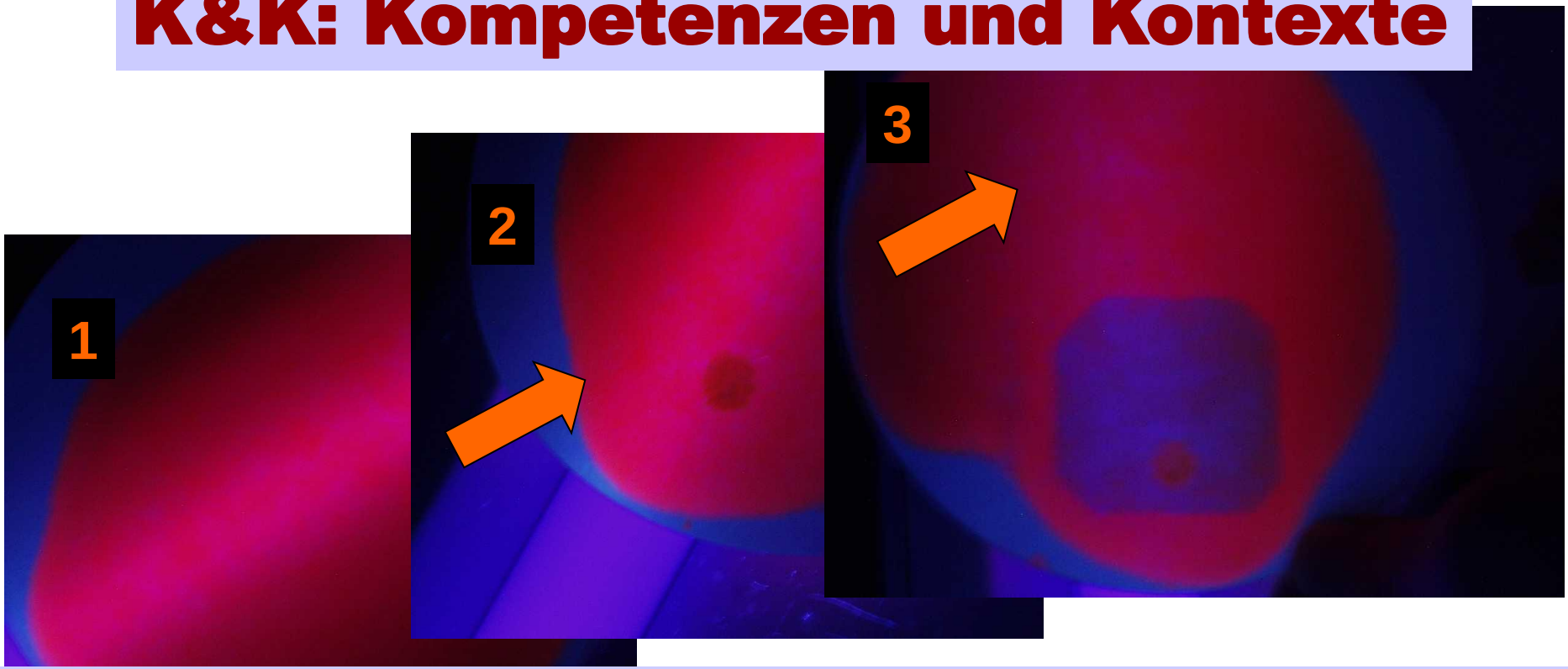




1. **Vergleiche** die beiden Energieschemata, **stelle** die Gemeinsamkieten und Unterschiede **fest** und ordne sie dem β-Carotin und dem Chlorophyll **zu.**
2. **Begründe** die Zuordnung anhand der experimentellen Befunde bei den Fluoreszenzversuchen von β-Carotin und Chlorophyll.

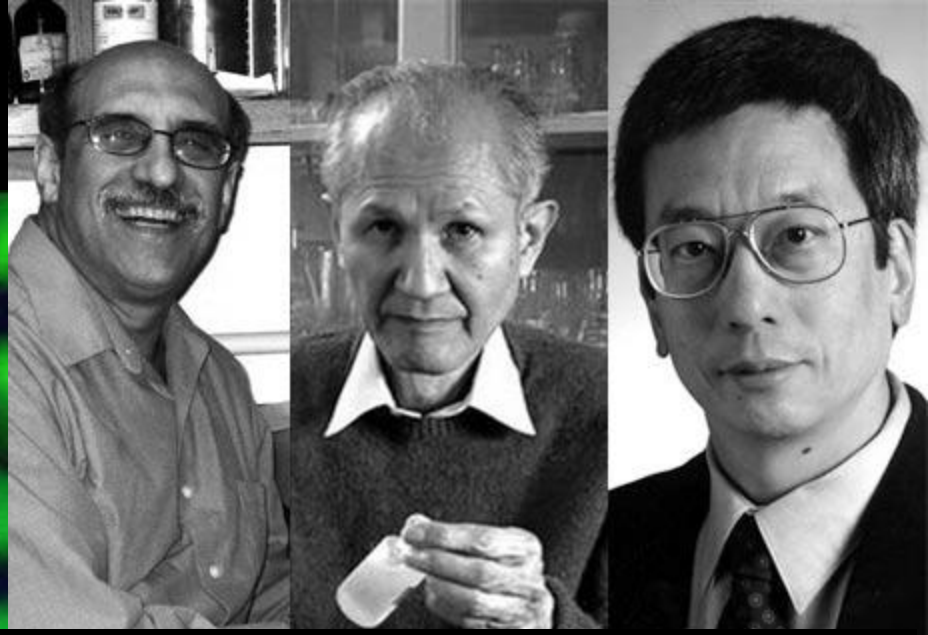
Curriculare Innovation

K&K: Kompetenzen und Kontexte



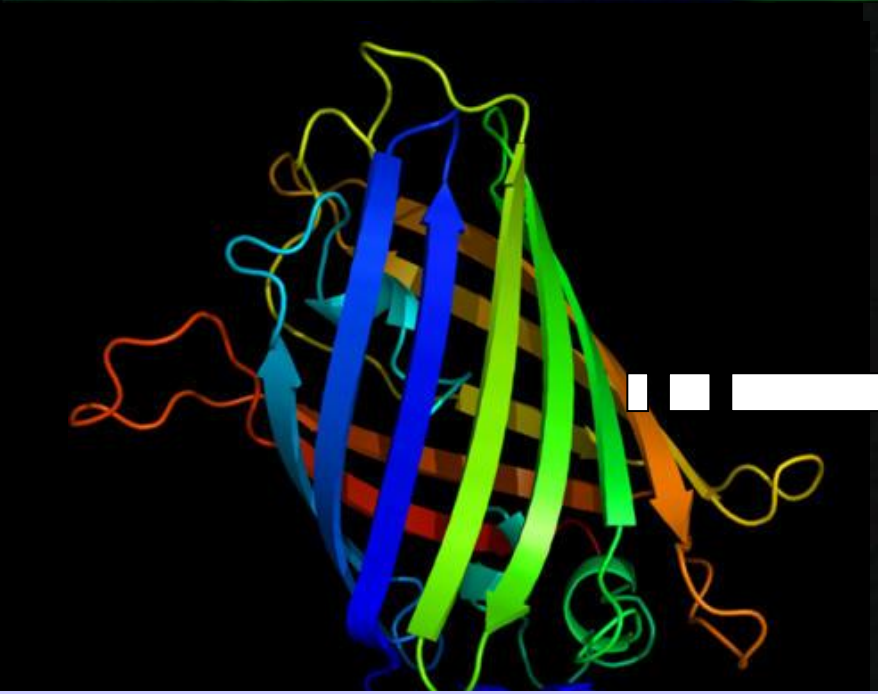
Präsentiere die in den drei Bildern erkennbaren Phänomene und **erkläre** sie mit Hilfe geeigneter Fachbegriffe und Modelle. **Bewerte** die Aussagekraft des zugrunde liegenden Experiments hinsichtlich der Wirkung von β–Carotin als Photoprotektor für Chlorophylle.

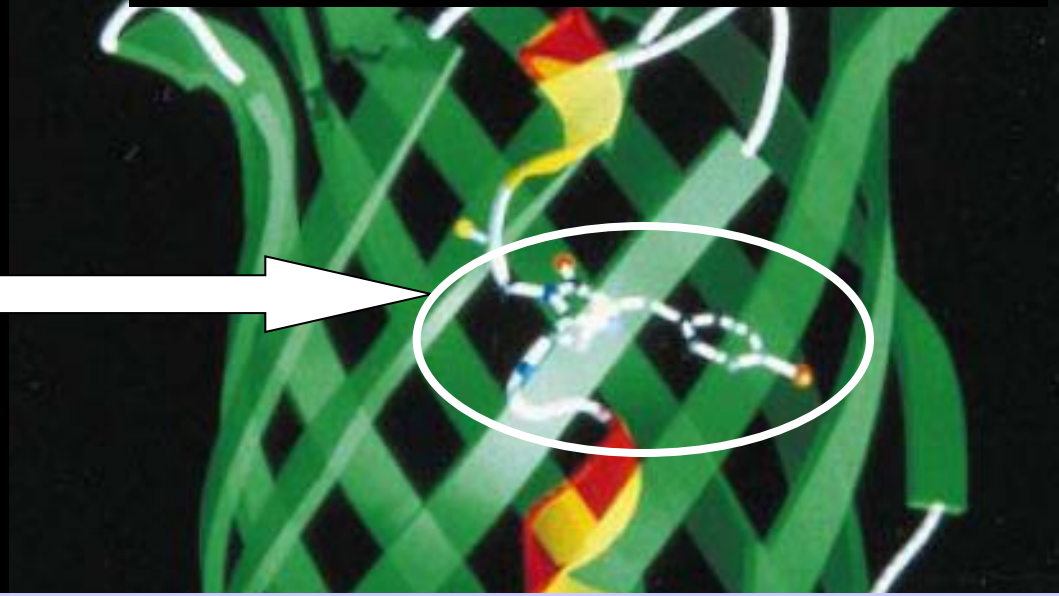
Green Fluorescent Protein GFP



M. Chalfie O. Shimormura R. Tsien

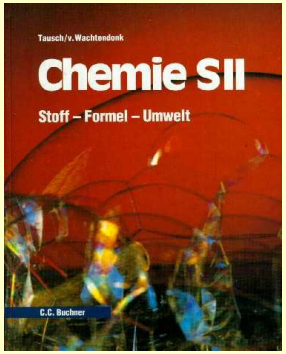
Nobelpreis für Chemie 2008

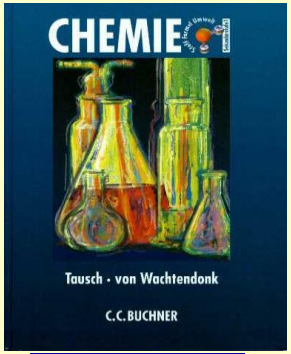


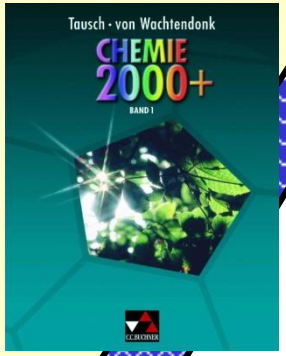


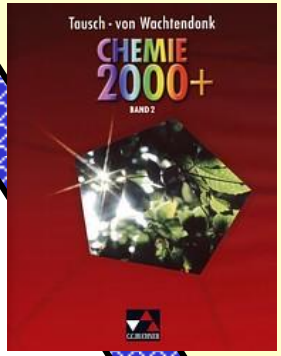
Informiere …, vergleiche …, präsentiere …, bewerte …

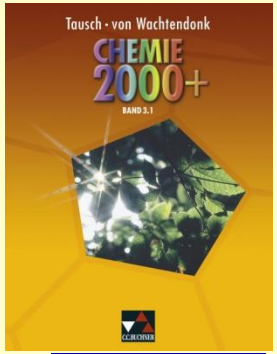
Curriculare Innovation

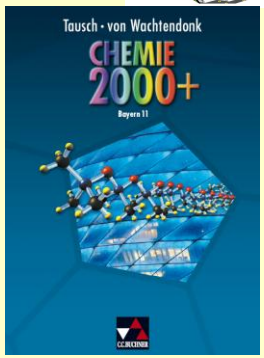






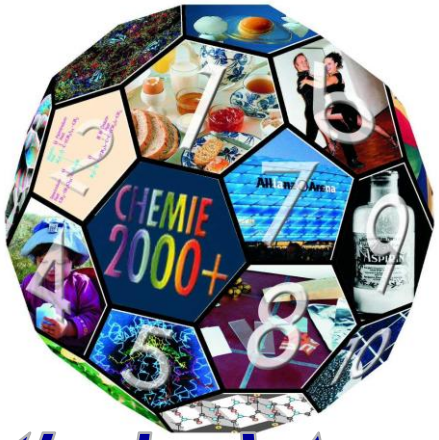






Lehrbücher

Lehrbücher



Didaktische Integration

002_b2.jpg

CD-ROM's zu den Lehrbüchern

www.
chemiedidaktik.
uni-wuppertal.de

Chemie 2000+ Online

Danke

Mitarbeiter

Dr. Claudia Bohrmann-Linde
Simone Krees
Ralf-Peter Schmitz
Michael Seesing
Michael Woock,
Melda Pirincci
Bernd Rohe

Ingrid Reisewitz-Swertz
Renate Gärtig

Nico Meuter
Joachim Liss
Dennis König
Frederic Posalla
Andrea Schmidt
Alexander Grolmuss
Matteo Totaro
Markus Schmidt
Michael Twellmann
Uwe Knauf
Uta Wessels
Florian Gärtner

Lehrer & Schüler
Studierende

€€€€€€

GDCh
Gesellschaft Deutscher Chemiker

FCI
Fonds der Chemischen Industrie

Bayer HealthCare

WACKER

BASF
Degussa-Hüls
Sachtleben-Chemie

C. C. Buchner
Artbox
Aulis