



# Intelligente Folie auf der Basis molekularer Schalter

Kostengünstige Experimente  
mit hohem didaktischen Potenzial

Dr. Simone Krees

VSN Zentralkurs Chemie  
MNG Rämibühl, Zürich  
9. Oktober 2012

1. Intelligente Materialien auf der Basis molekularer Schalter (Einleitung)
2. Herstellung einer intelligenten Folie (Schritt-für-Schritt-Anweisungen im Plenum)
3. Optische Datenspeicher auf der Basis molekularer Schalter (Vortrag mit Experimenten)
4. Curriculare Einbindung im Chemieunterricht (Vortrag und Austausch)
5. Fertigstellung und Testen der intelligenten Folie

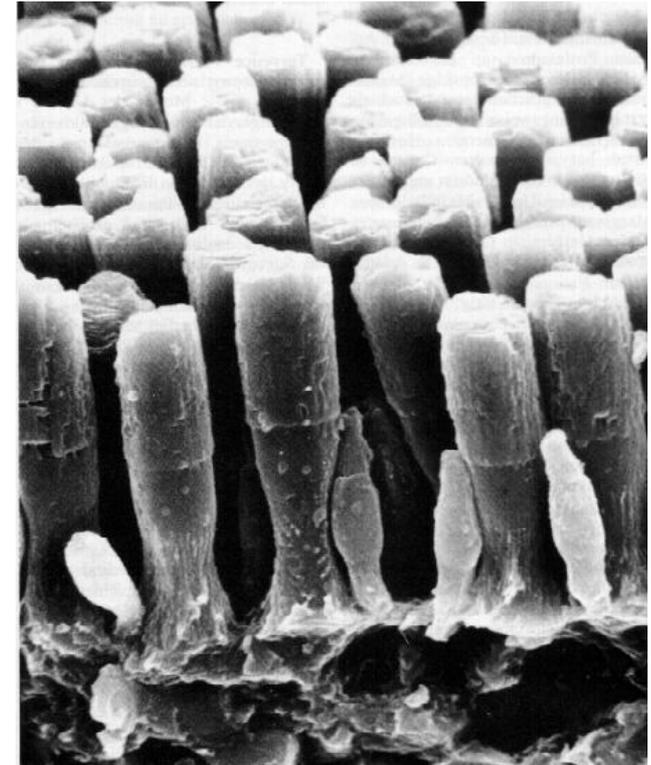
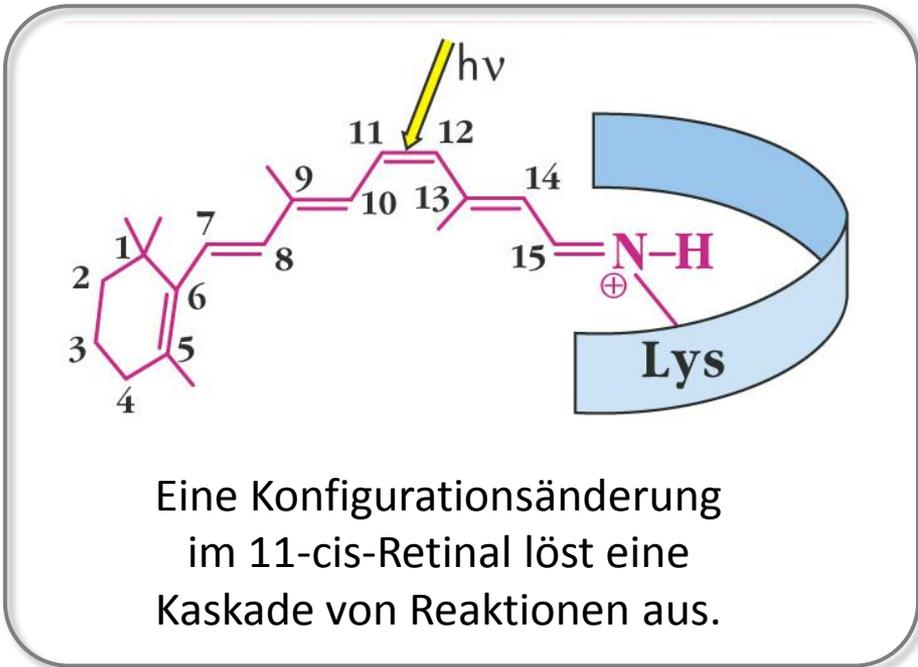


Bergische Universität  
Wuppertal  
Chemie und ihre Didaktik  
AK Prof. Dr. M. Tausch

[1] Homepage:  
[www.chemiedidaktik.uni-wuppertal.de](http://www.chemiedidaktik.uni-wuppertal.de)

## Smart Materials

„Materialien, die auf äußere Reize reagieren können und je nach Bedingung die gewünschten Eigenschaften aufweisen“  
Stefan Hecht



**sensorisch – aktorisch**  
**adaptiv – multifunktional**

[2] S. Hecht: Interview in *Forschung & Lehre*, 1, 2011, 59

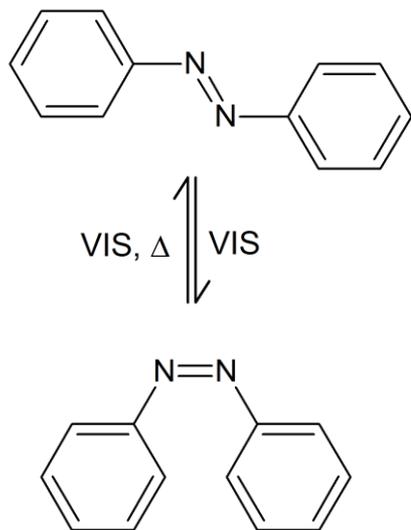
[3] M. Tausch, M. von Wachtendonk: *Chemie 2000+ SII*, C.C. Buchner, Bamberg 2007

[4] M. W. Tausch, M. Woock, A. Grolmuss: „Vom Lichtquant zum Sehreiz“, *PdN (Physik)*, 47, 26, 1998

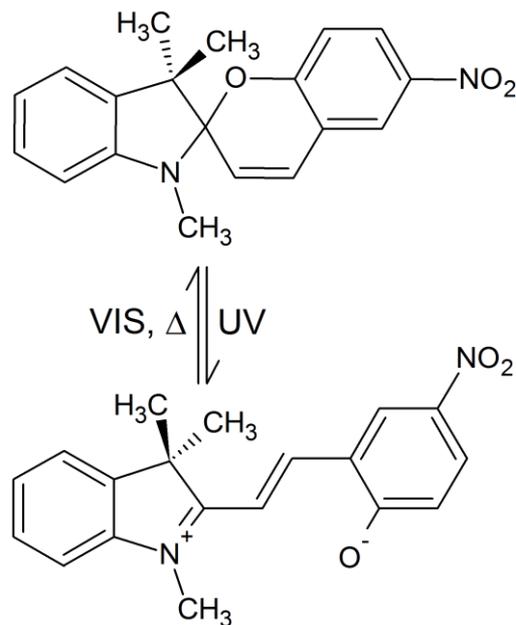
## Begriffsdefinition:

„... photochromism is defined as a reversible change of a single chemical species between two states having distinguishably different absorption spectra, such change being induced in at least one direction by the action of electromagnetic radiation“ , G. Brown

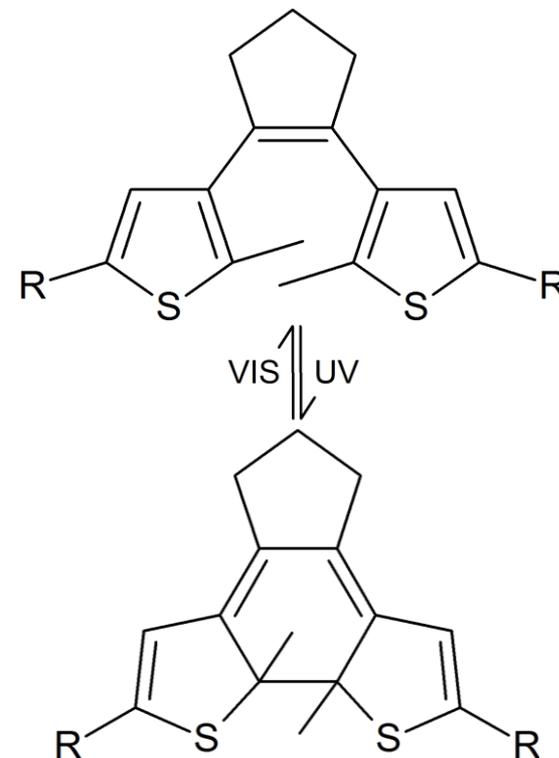
### Z-E-Isomerie von Azobenzol



### Ringöffnungsreaktion in Spiropyranen



### Ringschlussreaktion in Diarylethenen



[5] G. Brown: Photochromism, Wiley, New York **1971**

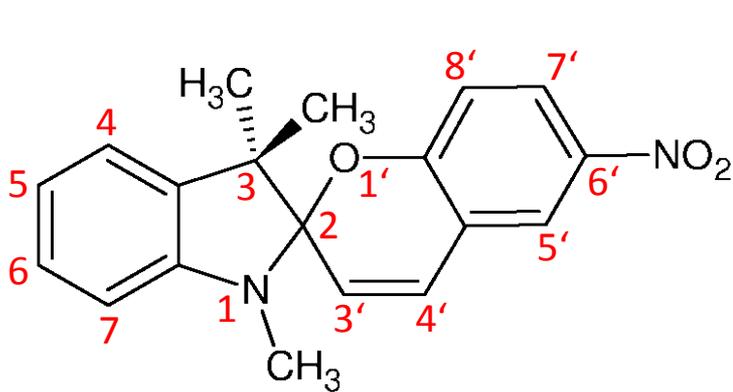
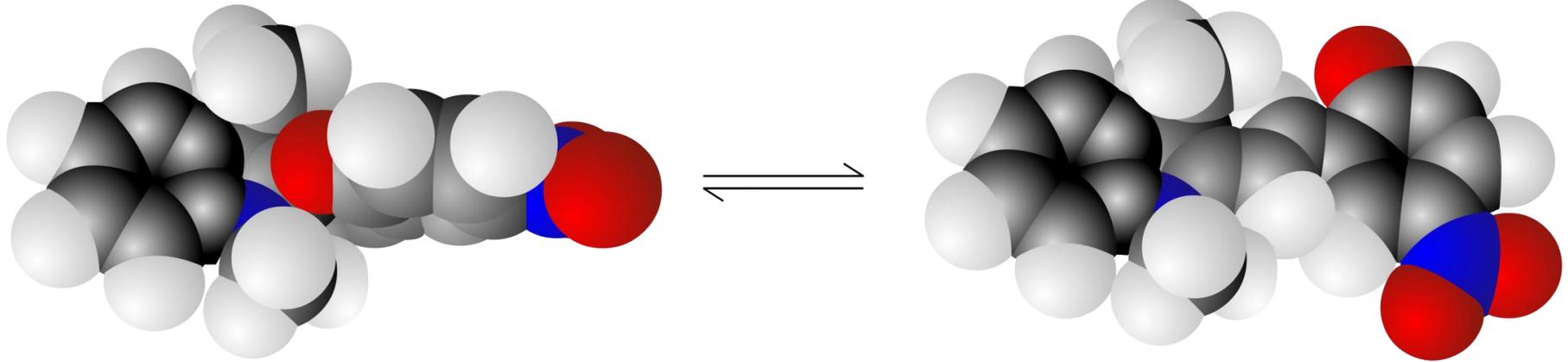
[6] E.D. Bergmann, A. Weizmann, E. Fischer, *JACS*, **1950**, 72, 5009

[7] M. Irie, *Chemical Reviews*, **2000**, 100, 1685-1716

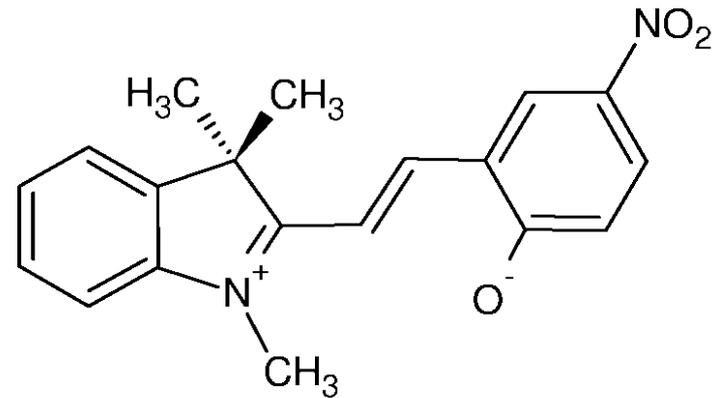
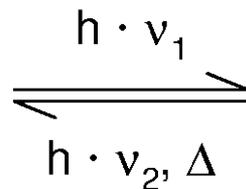
# Molekularer Schalter Spiropyran-Merocyanin



Dr. Simone Krees



Spiropyran



Merocyanin

(6'-Nitro-1,3,3-trimethyl-indolino-spiro-benzopyran)

[8] S. Krees: Animation „Photostationarität“, [www.chemiedidaktik.uni-wuppertal.de](http://www.chemiedidaktik.uni-wuppertal.de) > Flash-Animationen

[9] M. Tausch: Ungleiche Gleichgewichte, *Chemkon*, 3, 1996, 3, 123-127



## Materialien und Chemikalien:

- ✓ hitzebeständige Kopierfolie (DIN A5)
- ✓ Gewebeklebeband
- ✓ Schere
- ✓ Spatel
- ✓ Glasstäbe
- ✓ Becherglas oder Plastikbecher
- ✓ Laminierfolie
- ✓ Laminiergerät
  
- ✓ Spiropyran
- ✓ Toluol
- ✓ Styropor (Polystyrol)

Preis für  
1 DIN A5 Folie  
ca. 4 €

[www.chemiedidaktik.uni-wuppertal.de](http://www.chemiedidaktik.uni-wuppertal.de)

- **Anleitung zur Herstellung der Folie** : HP > Mitarbeiter > Krees > Arbeitsgebiete
- **Chemikalienbestellung**: HP > Chemikalien für unsere Partnerschulen

[10] M. Driessen: Photometrische Untersuchungen an schulrelevanten photochromen und solvatochromen Systemen, Thesis, Wuppertal, 2010

[11] S. Krees: Chemisches Gleichgewicht und photostationäres Gleichgewicht, *Praxis der Naturwissenschaften – ChiS*, 2, 2012, 61, 18-24

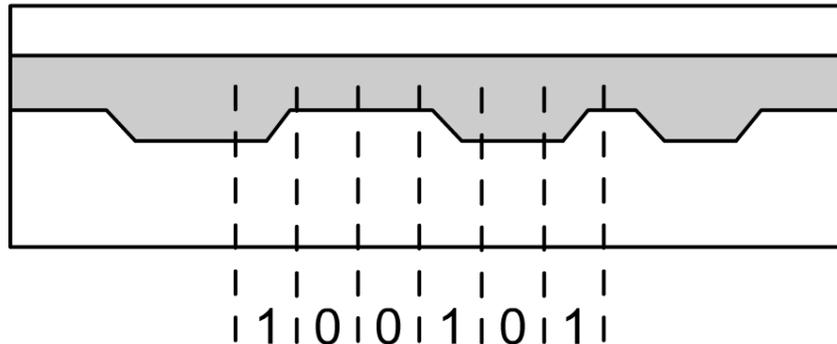
## Optische Datenspeicher

CD-ROM	650 MB	$1,49 \cdot 10^8$ bit/cm <sup>2</sup>
DVD	4,7 GB	$3,41 \cdot 10^8$ bit/cm <sup>2</sup>
Blu-ray Disc	23,3 GB	$19,30 \cdot 10^8$ bit/cm <sup>2</sup>



## Magnetischer Datenspeicher

Festplatte	bis zu TB	$6 \cdot 10^{10}$ bit/cm <sup>2</sup>
------------	-----------	---------------------------------------



Polyacrylat

Aluminium

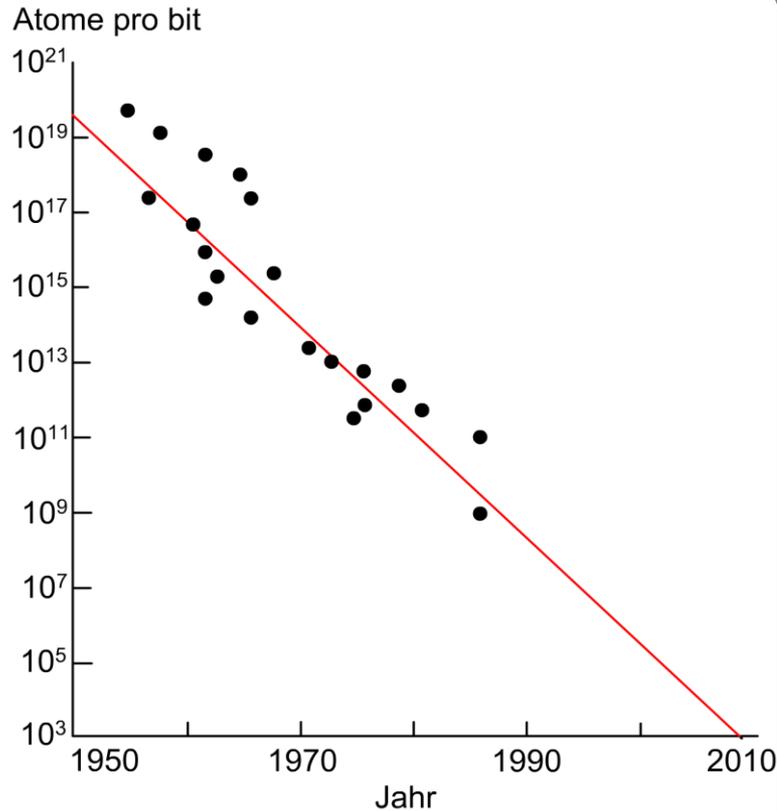
Polycarbonat



[12] D. A. Parthenopoulos, P. M. Rentzepis, *Science*, 4920, **1989**, 245, 834-845

[13] S. Kawata, Y. Kawata, *Chemical Reviews*, **2000**, 100, 1777-1788

[14] M. Tomasulo, S. Giordani, F. M. Raymo, *Advanced Functional Material*, 5, **2005**, 15, 787-794



[15] in Anlehnung an R.W. Keyes:  
Miniaturization of electronics and its limits, *IBM Journal R&D*, 1-2, **2000**, 44, 84-88

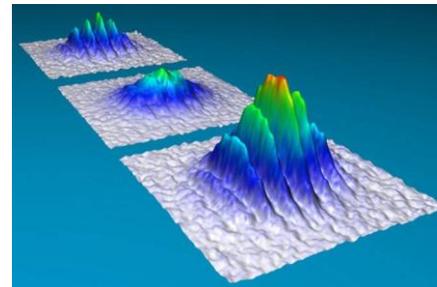
## Magnetischer Speicher mit zwölf Atomen pro Bit

Nachricht aus  
„Welt der Physik“  
am 12.01.2012

[16] [http://www.weltderphysik.de/typo3temp/pics/20120112\\_12\\_AtomeDatenspeicher\\_Loth\\_CFEL\\_0a26d239f5.jpg](http://www.weltderphysik.de/typo3temp/pics/20120112_12_AtomeDatenspeicher_Loth_CFEL_0a26d239f5.jpg)



## Einzelnes Atom als Datenspeicher



Nachricht aus  
„Welt der Physik“  
am 02.05.2011

[17] [http://www.weltderphysik.de/typo3temp/pics/2003\\_Messsignal-Quantengatter\\_MPG\\_fa24ce9dfa.jpg](http://www.weltderphysik.de/typo3temp/pics/2003_Messsignal-Quantengatter_MPG_fa24ce9dfa.jpg)



0	1	0	1	0	0	1	1
---	---	---	---	---	---	---	---

1 Byte = 8 bits

	0000	0001	0010	0011	0100	0101	0110	0111
0100	@	A	B	C	D	E	F	G
0101	P	Q	R	S	T	U	V	W
0110	`	a	b	c	d	e	f	g
0111	p	q	r	s	t	u	v	w

	1000	1001	1010	1011	1100	1101	1110	1111
0100	H	I	J	K	L	M	N	O
0101	X	Y	Z	[	\	]	^	_
0110	h	i	j	k	l	m	n	o
0111	x	y	z	{		}	~	

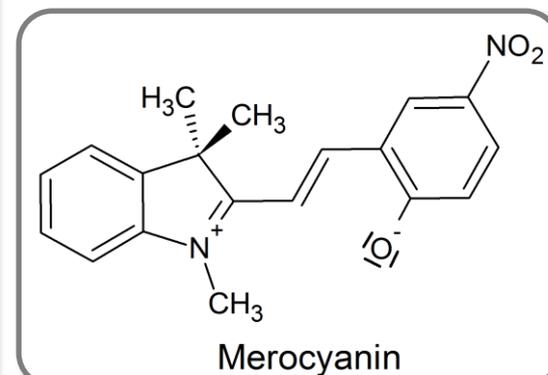
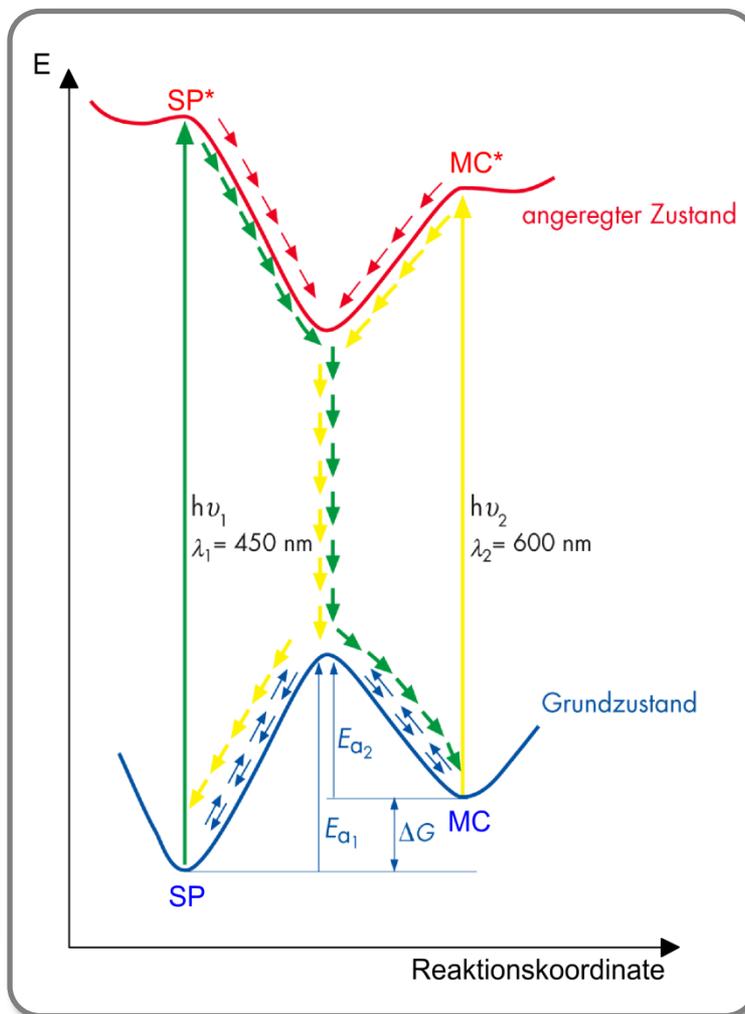
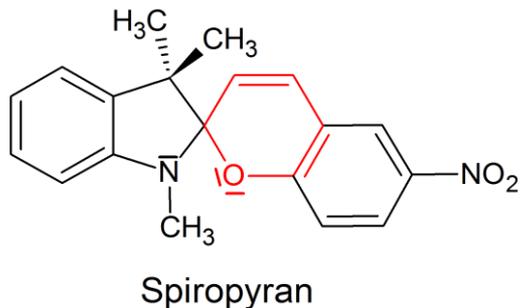
ASCII = American Standard Code for Information Interchange



# Energieprofil der Isomerisierung von Spiropyran



Dr. Simone Krees



[9] M. Tausch: Ungleiche Gleichgewichte, *Chemkon*, 3, **1996**, 3, 123-127

[19] A. S. Kholmanskii, K. M. Dyumaev, *Russian Chemical Reviews*, 2, **1987**, 56, 136-151

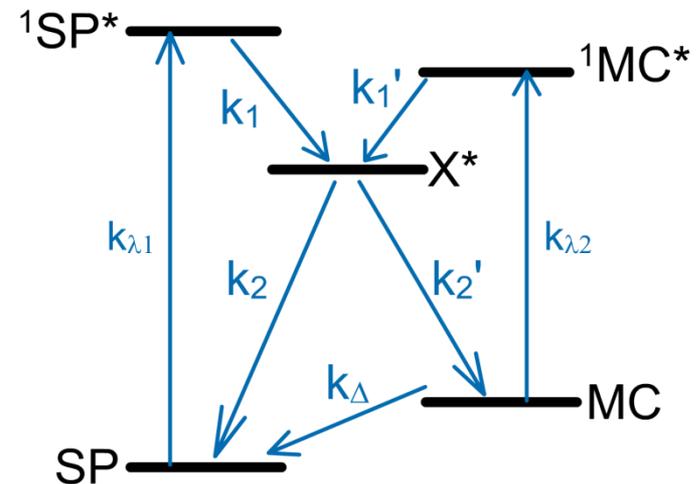
[20] V. I. Minkin, *Chemical Reviews*, **2004**, 104, 2751-2776

## Definition des thermodynamischen Gleichgewichts:

Zustand, in dem alle Reaktionsteilnehmer (Edukte und Produkte) in einem geschlossenen System und bei einer gewissen Temperatur in bestimmten zeitlich konstanten Anteilen vorliegen.

## Definition des photostationären Gleichgewichts:

Zustand, der durch Lichteinstrahlung erzeugt und aufrechterhalten wird und in dem alle Reaktionsteilnehmer (Edukte und Produkte) ... in bestimmten zeitlich konstanten Anteilen vorliegen.

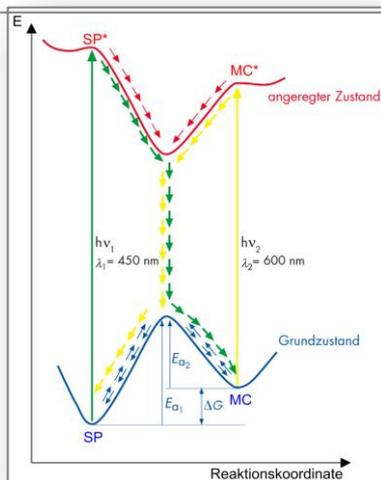


[9] M. Tausch: Ungleiche Gleichgewichte, *Chemkon*, 3, **1996**, 3, 123-127

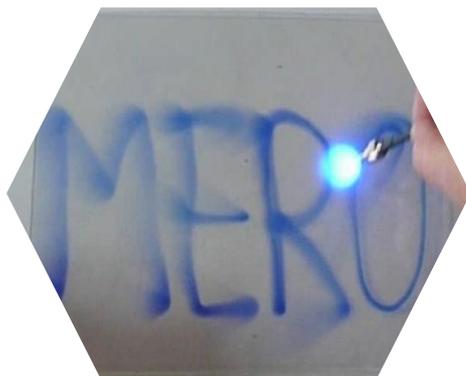
[11] S. Krees: Chemisches Gleichgewicht und photostationäres Gleichgewicht, *Praxis der Naturwissenschaften – ChiS*, 2, **2012**, 61, 18-24

[21] L. M. Peter: Absorption and Emission of Light by Molecules and Photophysical Kinetics, Skript, University of Bath, 2003

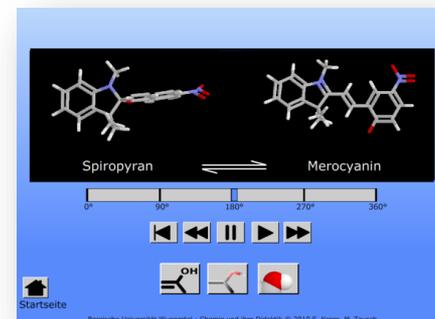
## Energieprofile



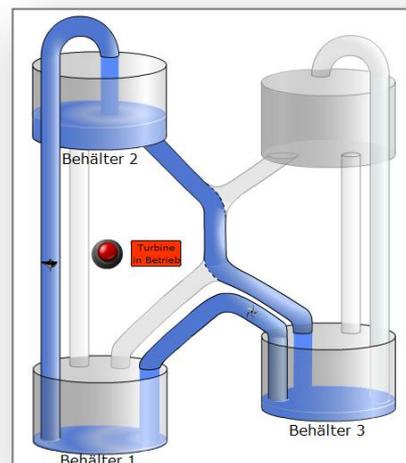
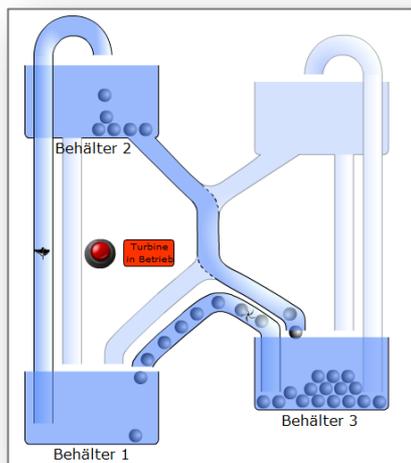
## Experimente



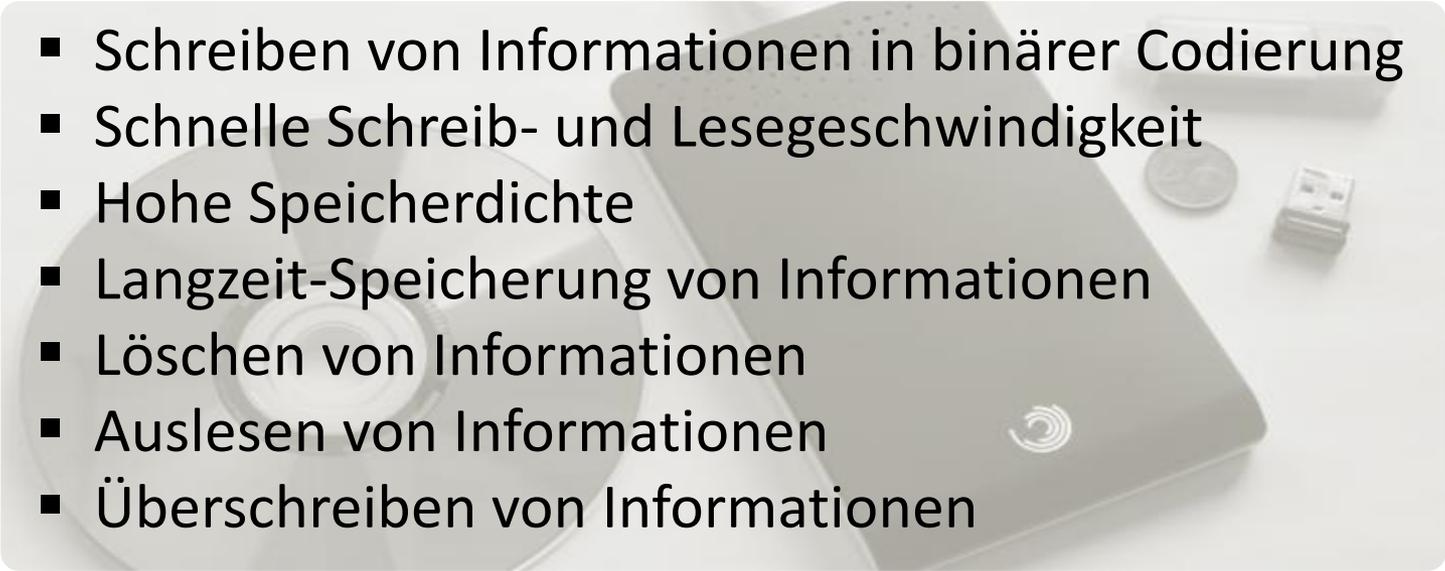
## Molekülmodelle

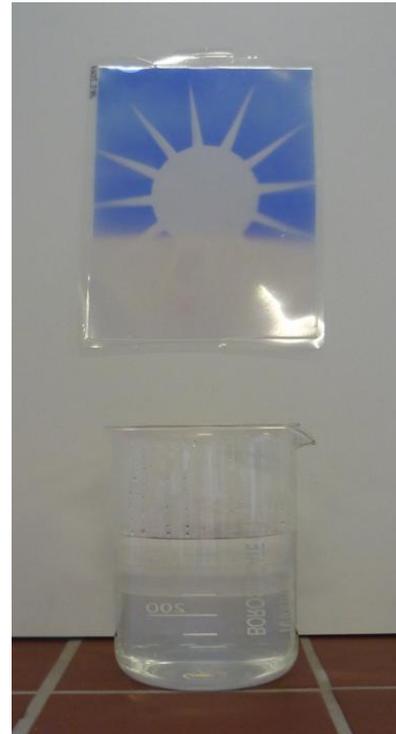
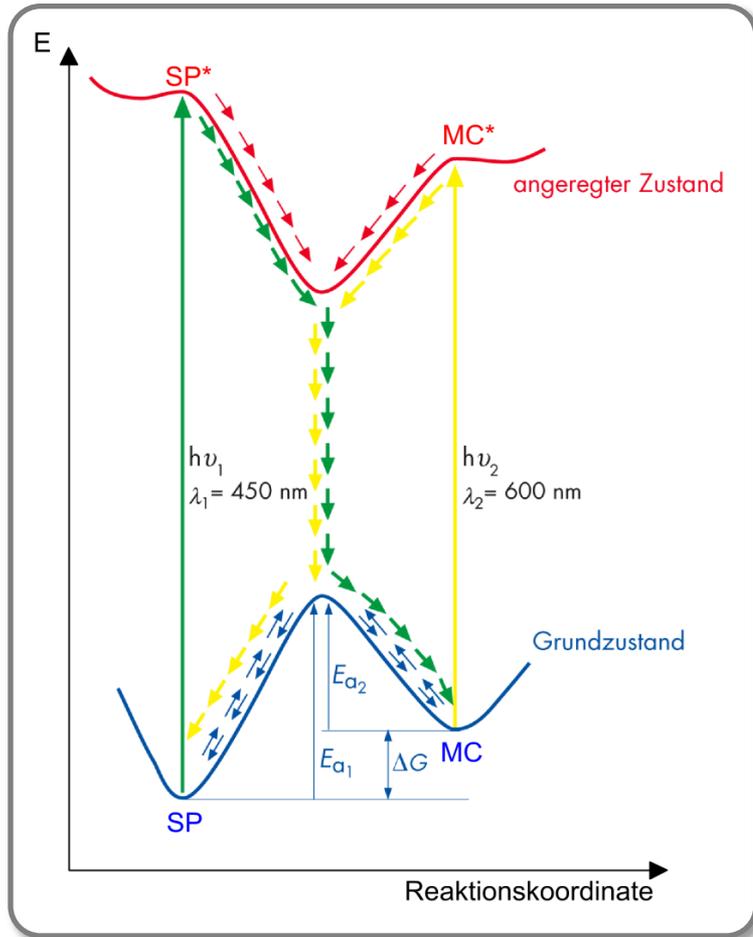


Simulation  
auf der  
Teilchen-Ebene



Simulation  
auf der  
Kontinuum-Ebene

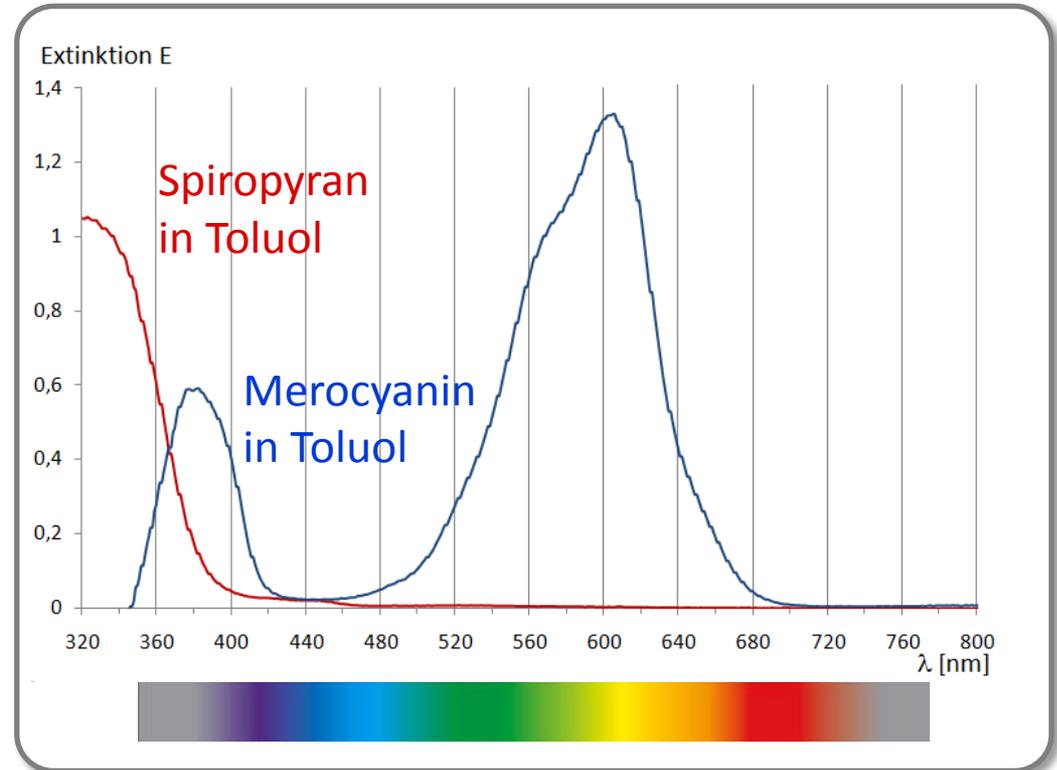
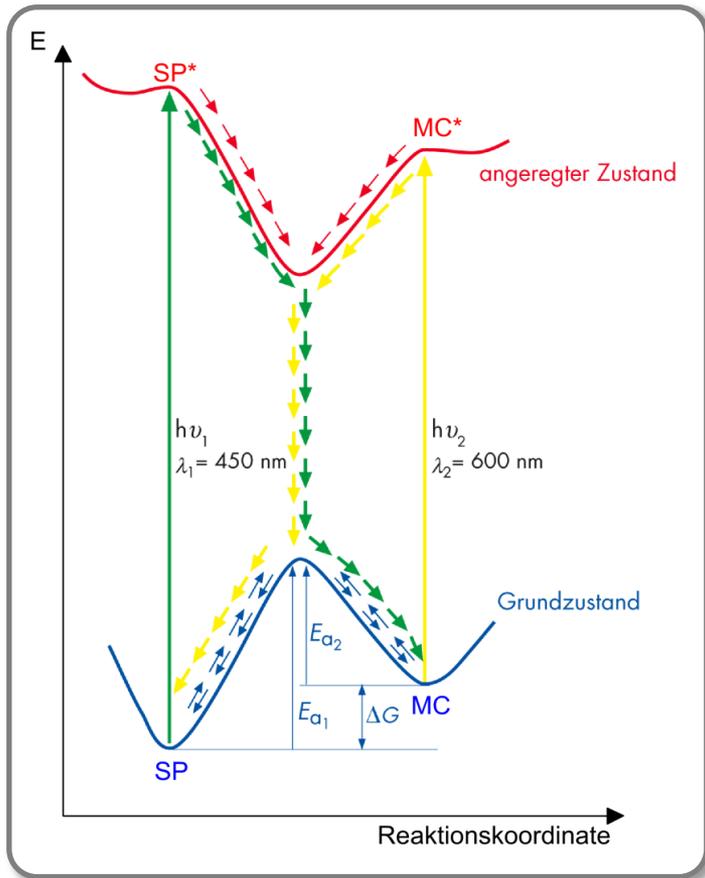
- Schreiben von Informationen in binärer Codierung
  - Schnelle Schreib- und Lesegeschwindigkeit
  - Hohe Speicherdichte
  - Langzeit-Speicherung von Informationen
  - Löschen von Informationen
  - Auslesen von Informationen
  - Überschreiben von Informationen
- 

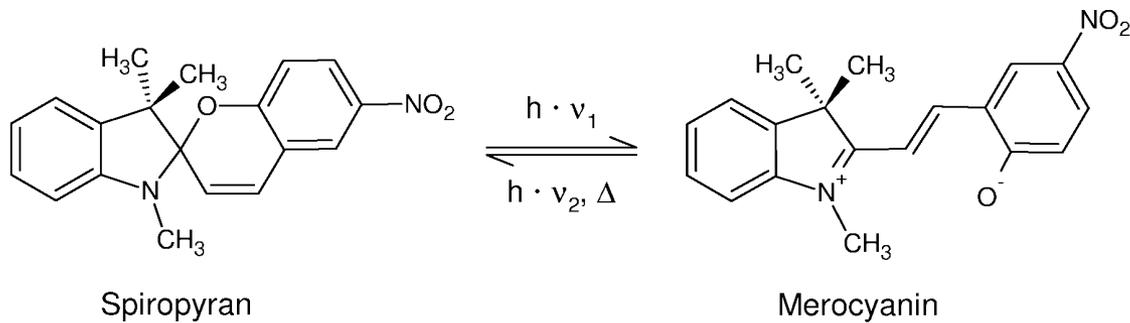
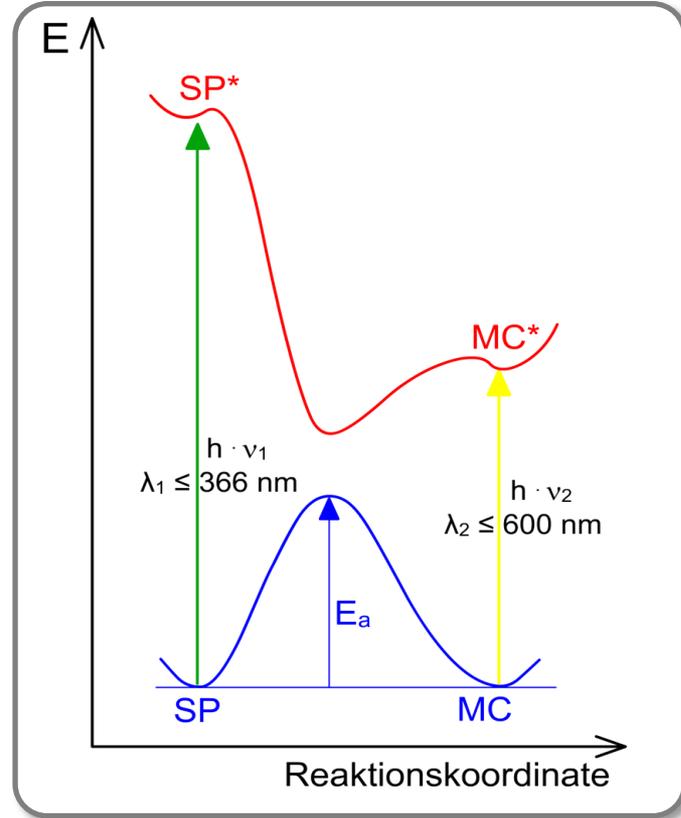
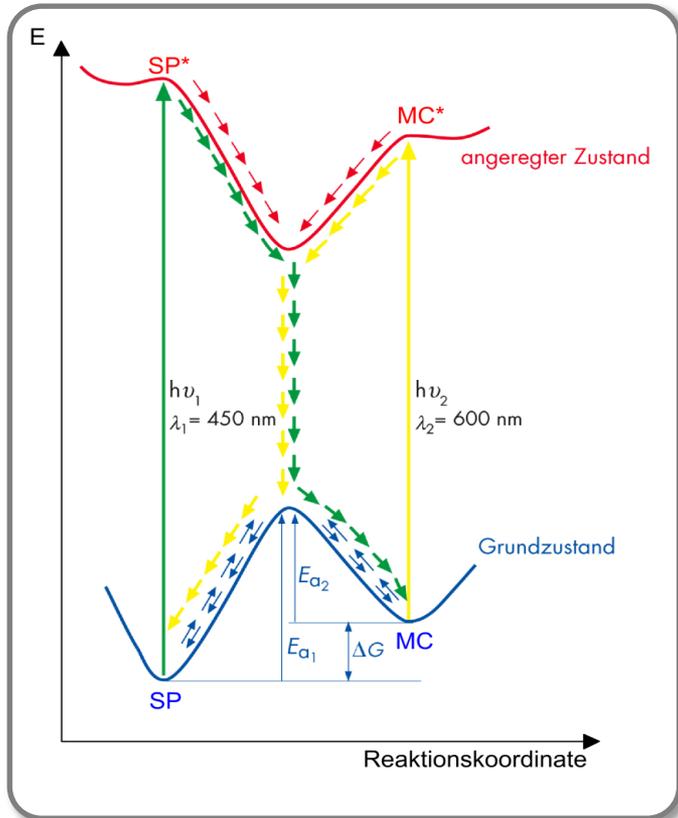


Wasserbad  
 $T = 60^\circ \text{ C}$

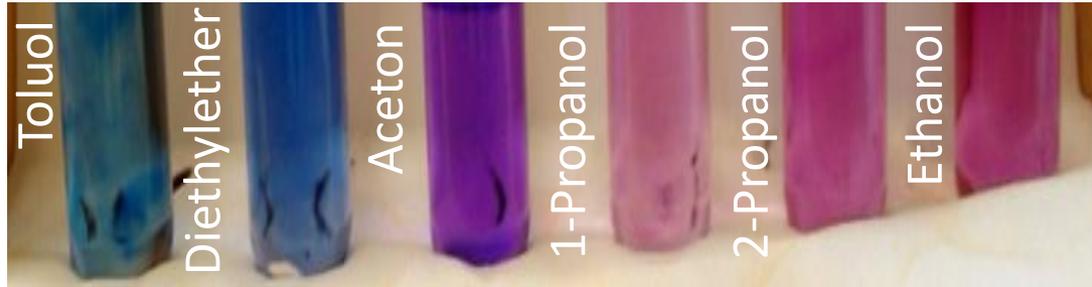


Eis-Wasserbad  
 $T = 0^\circ \text{ C}$

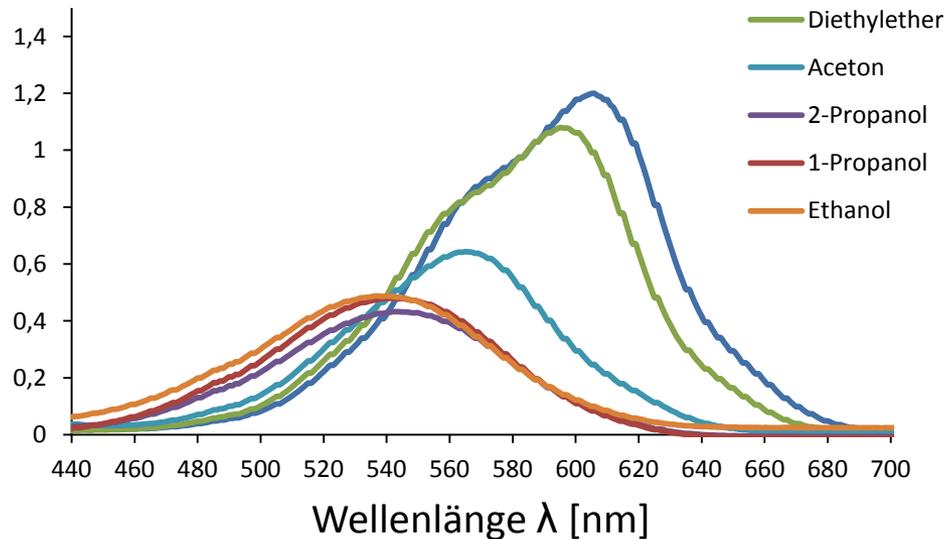




## Spiropyran-Lösungen nach UV-Bestrahlung



Extinktion E



## Photochromes Verhalten von Spiropyran in PMMA

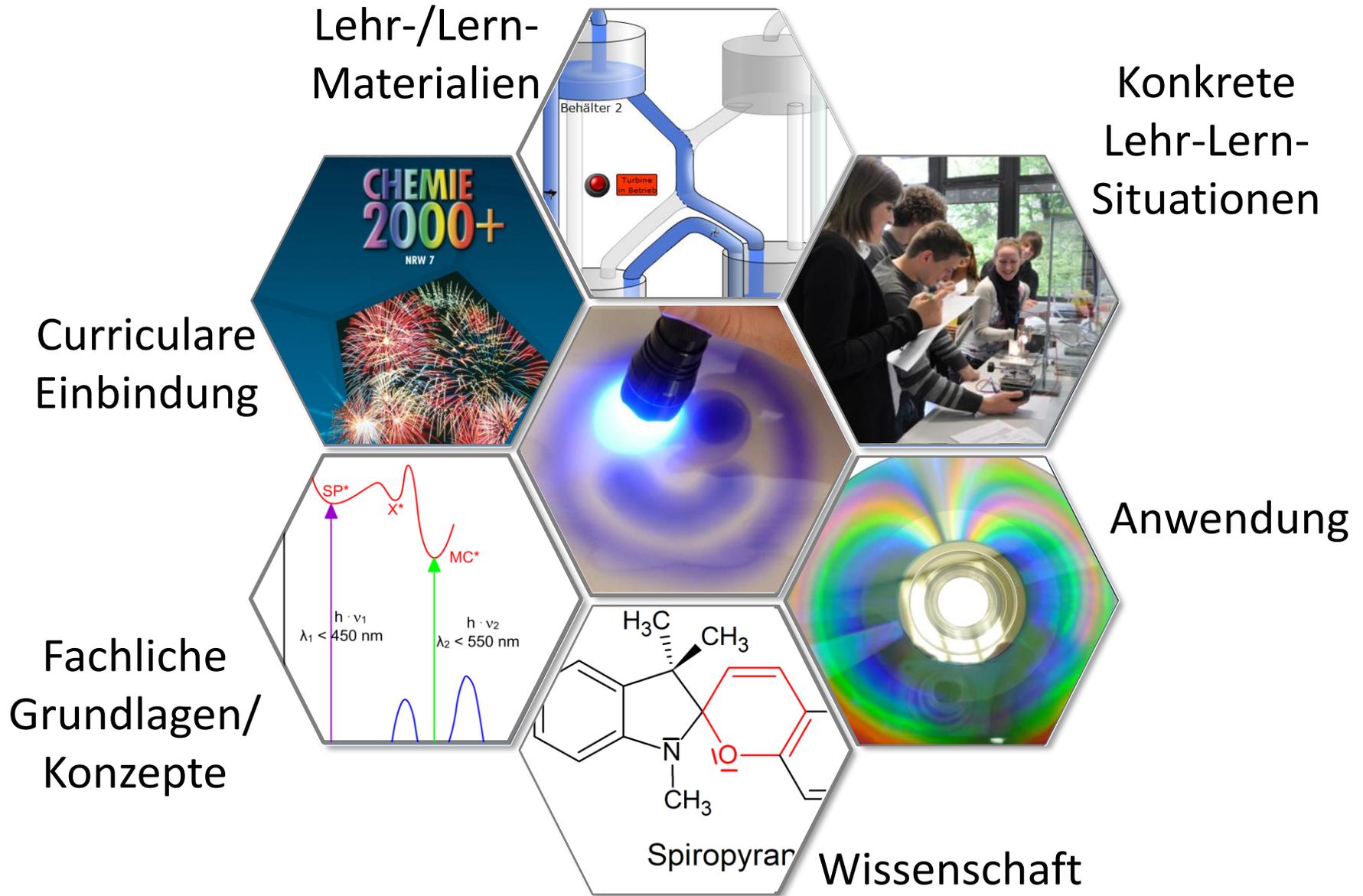


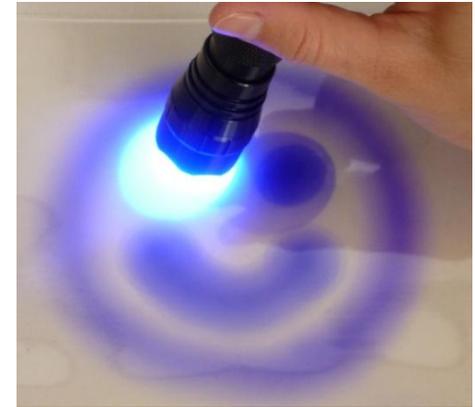
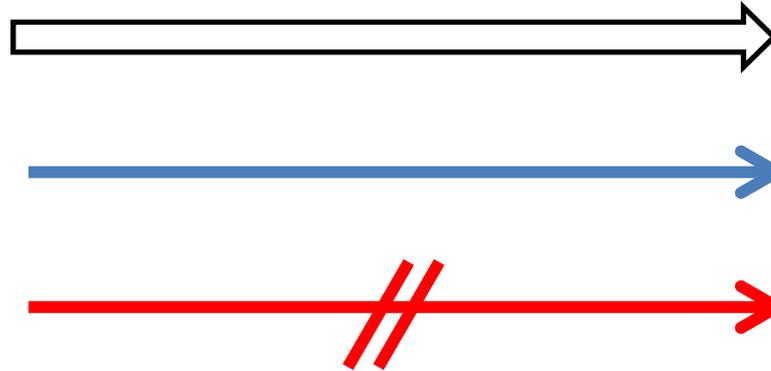
## Photochromes Verhalten von Spiropyran in Nagellack



[10] M. Driessen: Photometrische Untersuchungen an schulrelevanten photochromen und solvatochromen Systemen, Bachelor-Thesis, Wuppertal, **2010**

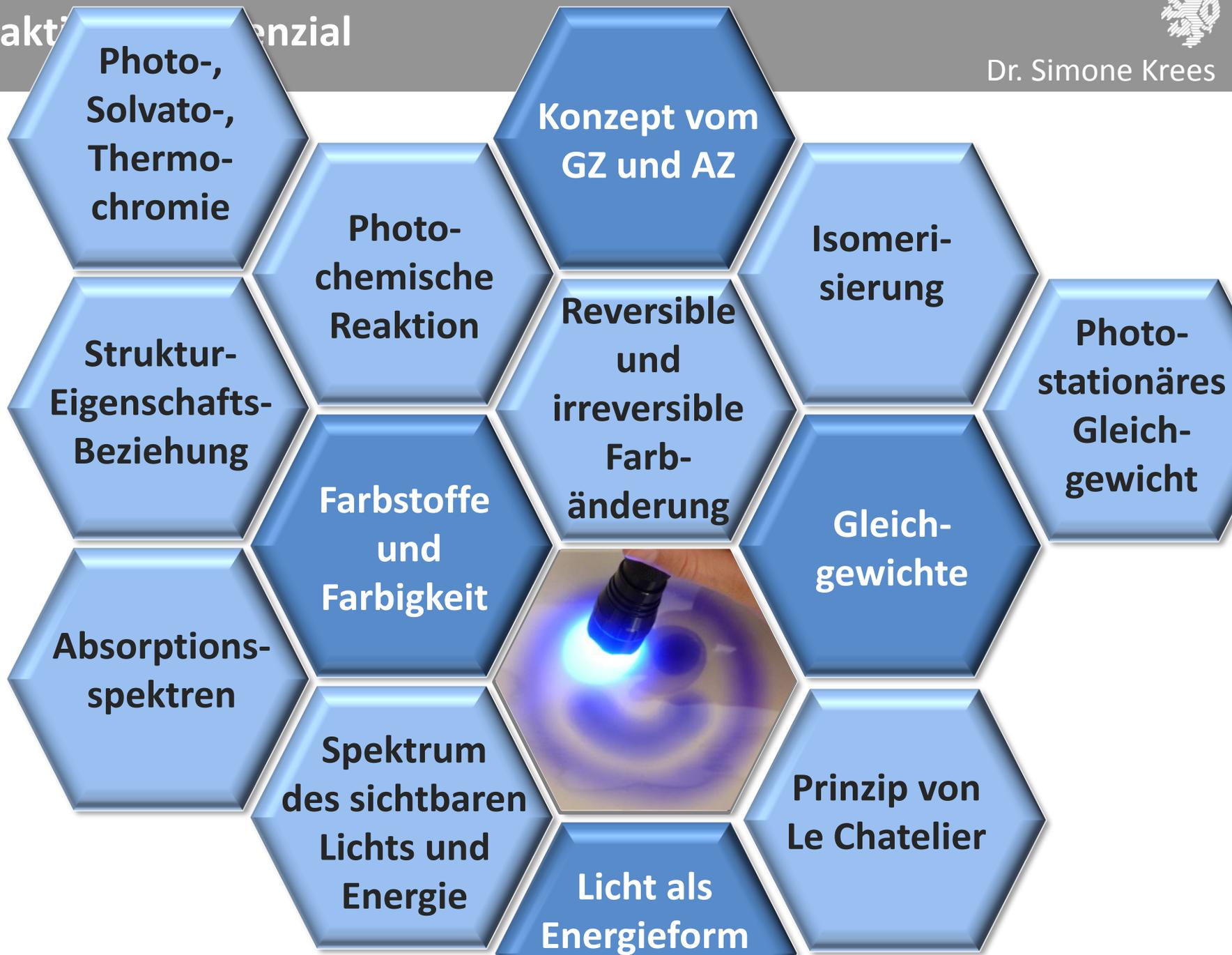
[3] M. Tausch, M. von Wachtendonk (Hrsg.): Chemie 2000+ Gesamtband, C.C. Buchner, Bamberg, **2007**

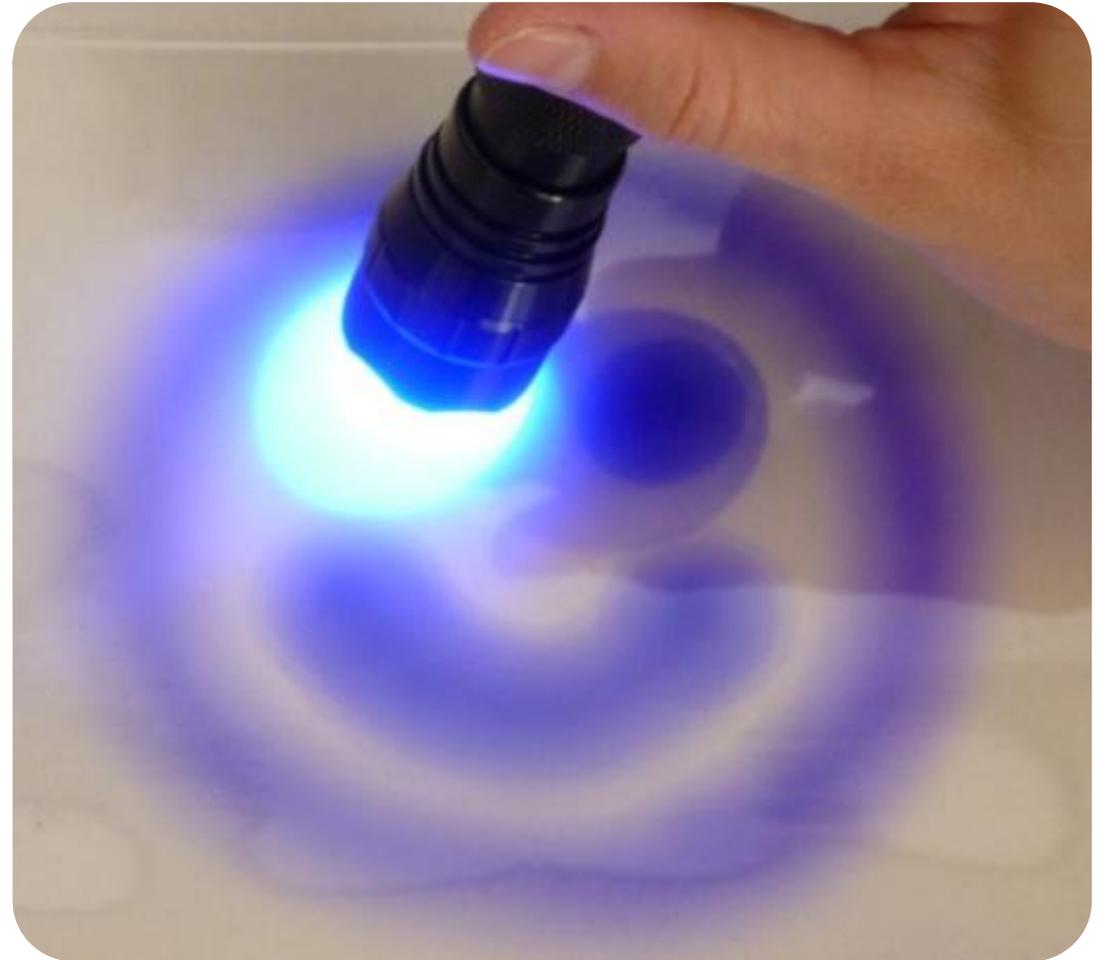




Licht macht  
Chemie!

Licht ist nicht  
gleich Licht!





Danke für  
Ihre Aufmerksamkeit!