



Licht und Chemie – Eine leuchtende Verbindung

Jugend forscht

Regionalwettbewerb Münsterland

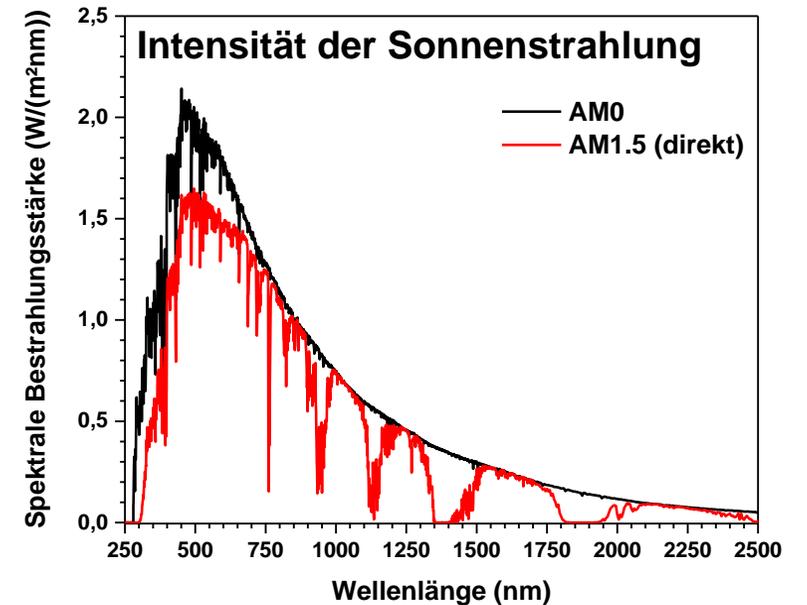
Technologie-Campus Steinfurt (TECST)

Prof. Dr. Thomas Jüstel

Fachbereich Chemieingenieurwesen

Fachhochschule Münster

22. und 23. Februar 2024



Licht ins Dunkel bringen – Themen

- Evolution: Licht und Chemie als Treiber des Fortschritts
- Licht und Strahlung
- Künstliche Lichtquellen & Beleuchtung
- Photochemie der Lichtwahrnehmung
- Photobiologie und -medizin
- Fazit



<https://www.wn.de/Muensterland/Kreis-Borken/Nienborg/3566645-Naturschauspiel-in-Nienborg-Regenbogen-spannt-sich-ueber-Felder>



https://www.trumpf.com/filestorage/TRUMPF_Master/_processed_/9/4/csm_TOM-laser_79ea5fcb47.jpg



<https://www.osram.com/os/applications/horticulture-lighting/index.jsp>



<https://de.wikipedia.org/wiki/Phototherapie>

The background of the slide is a photograph of a campfire burning brightly in the foreground, with its light reflecting on a calm lake. In the distance, dark silhouettes of mountains are visible against a twilight sky. The right side of the slide features decorative blue geometric shapes: a large triangle at the top, a diagonal line, and a pattern of parallel lines at the bottom.

Evolution: Licht als Treiber des Fortschritts

Licht als Treiber des Fortschritts

- Produktivität ist auf visuelle Wahrnehmung angewiesen
- Verlängerung der nutzbaren Zeit durch künstliche Beleuchtung
- Grundlage für kulturelle und technische Weiterentwicklung
- Licht beschleunigt Datenaustausch



https://www1.wdr.de/radio/wdr5/sendungen/neugier-genuegt/campus-galli-104-_v-ARDFotogalerie.jpg



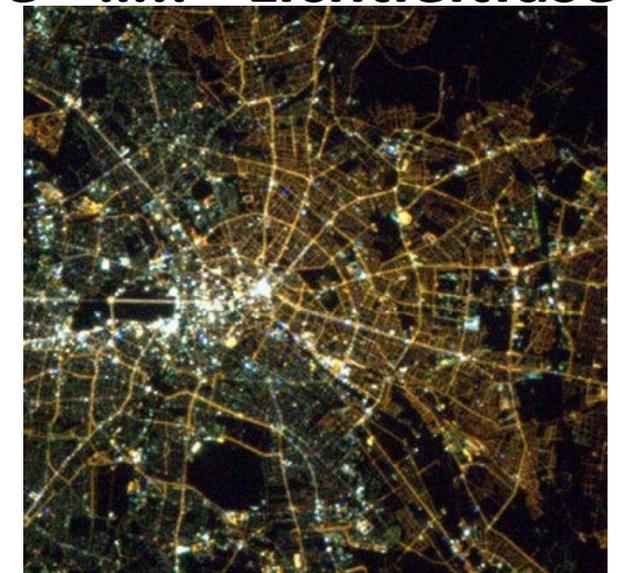
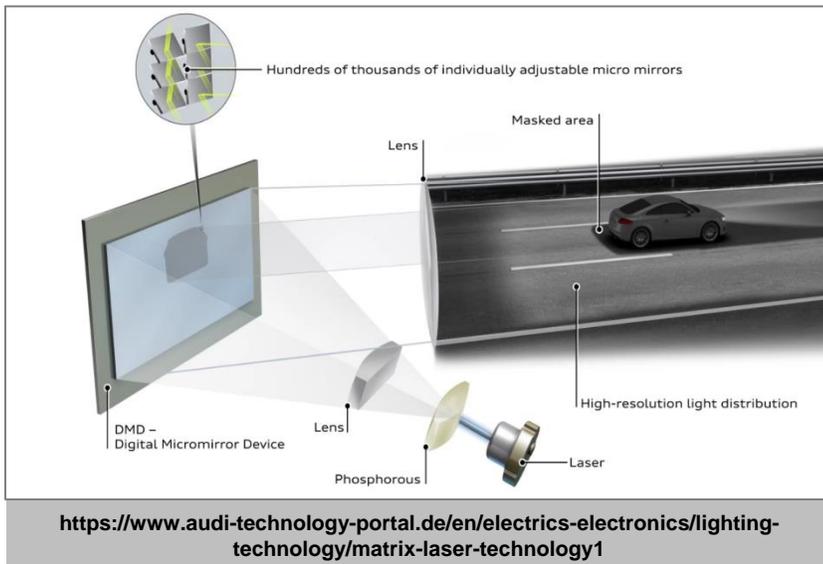
<https://www.gewerkschaftsgeschichte.de/arbeit-im-wandel.html>



https://www.lemtec.de/fileadmin/_processed_/0/9/csm_Spedition_DUA_LBLOC_590HF_08_2014_01_fca92a4bce.jpg

Licht als Treiber des Fortschritts

- **Mobilität ohne künstliches Licht nicht denkbar**
- **Beleuchtung von Fahrzeugen: Kerze - Glühlampe - - LED - Lasermatrix**
- **Beleuchtung der Verkehrswege**
- **Kommunikationsmittel: Leuchttürme - Ampeln - Signale - - Lichtleitfasern**



Licht als Treiber des Fortschritts



<http://www.infozentrum-kaltenbronn.de/wp-content/uploads/2016/12/Lagerfeuer.jpg>



<https://www.fackeln.com/wp-content/uploads/2013/06/Brennende-Fackel-300x199.png>



http://www.la-isa.de/forschung/weitere_projekte/light_kultur/sachsen_anhalts_aelteste_lampe/



<http://www.spiel.de/wissenschaft/mensch/bild-1043154-871469.html>



https://en.wikipedia.org/wiki/Fluorescent_lamp

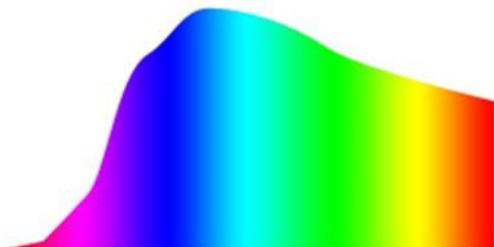


https://leapfroglighting.com/wp-content/uploads/2013/05/LED_T8_tubes.jpg



https://dammedia.ledvance.info/media/img/asset-927711/s,x,800,y,0/LEDsite_filament.jpg

Strahler im thermischen Gleichgewicht

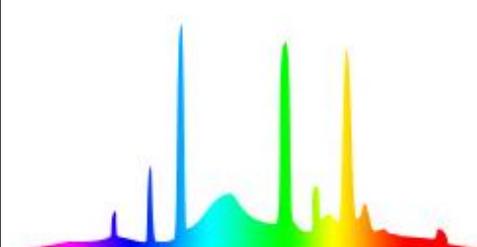


Tageslicht

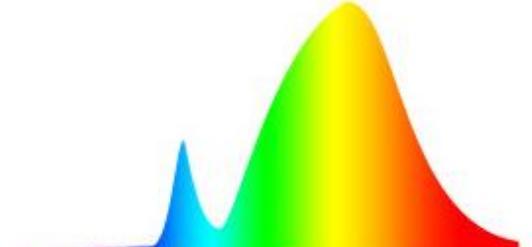


Glühlampe

Strahler im nicht-thermischen Gleichgewicht



Leuchtstofflampe



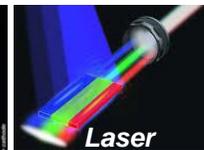
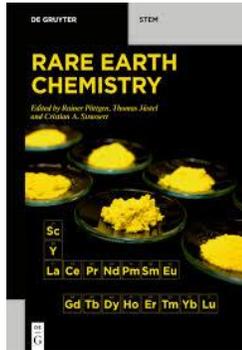
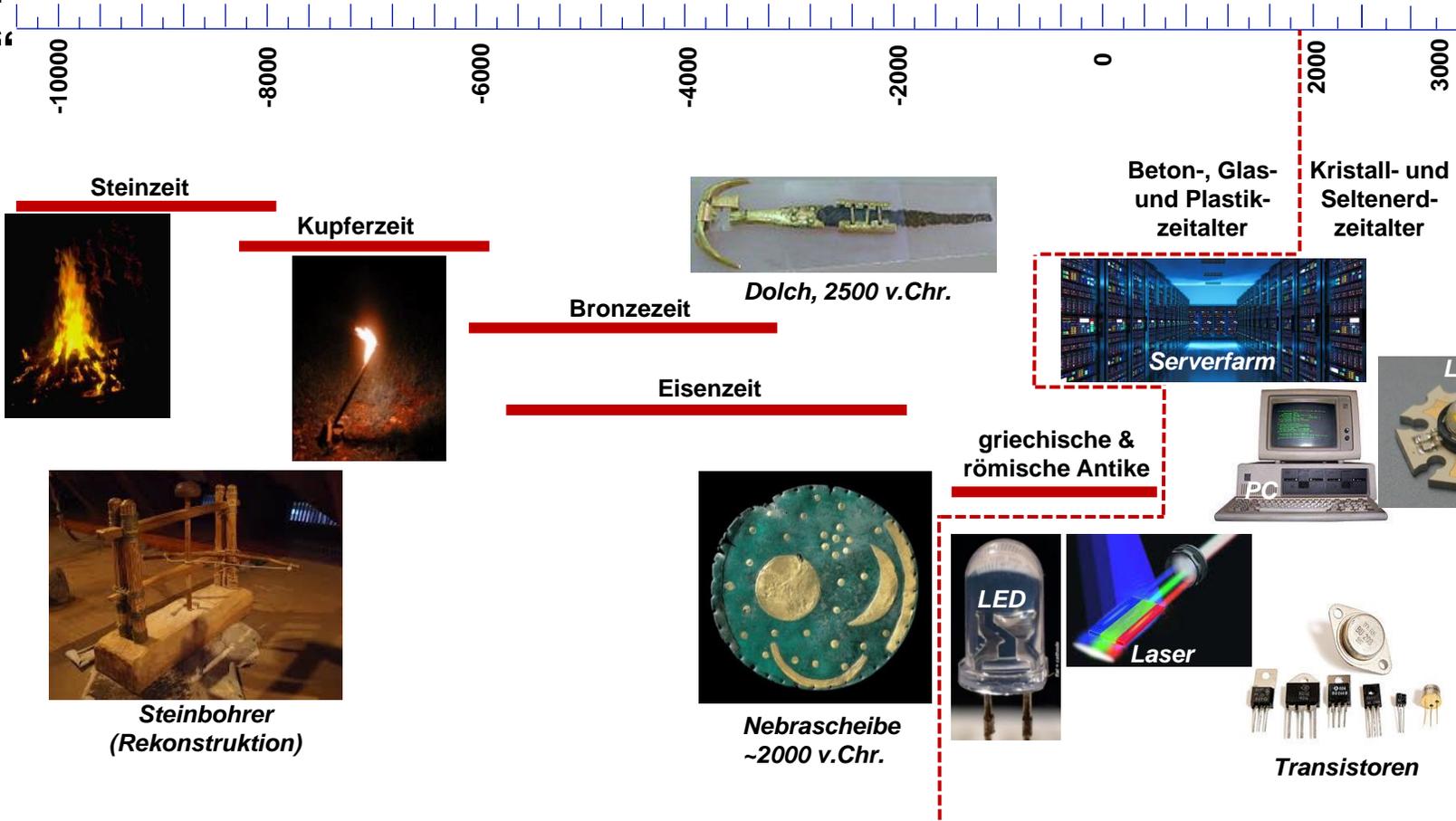
weiße LED

<https://www.alternate.lu/dynpics/274628.jpg>

Chemie (Metallurgie) als Treiber des Fortschritts



Technologiezeitalter,
Kulturen & Regionen
werden durch „neue“
Elemente und
Materialien geprägt:
Keramik-Kulturen
Zypern
El Dorado
Argentinien
Lithiumdreieck
Steel belt
Copper belt
Silicon valley
Rocky Mountains
rare earth metal belt



Licht als Treiber des Fortschritts: Umweltproblem



FH MÜNSTER
University of Applied Sciences

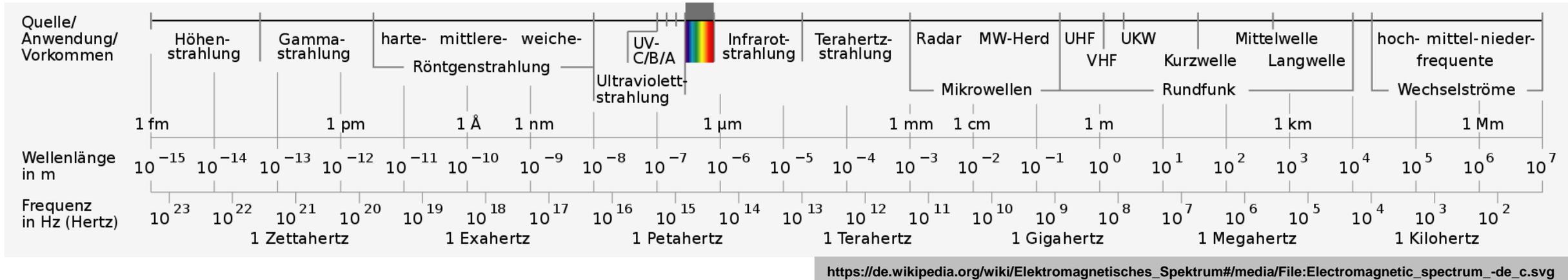


Etwa 20 % der erzeugten elektrischen Energie wird für Beleuchtung eingesetzt (Quelle: NASA)

The background of the slide features a photograph of a double rainbow arching over a green landscape. In the distance, several white wind turbines are visible against a clear blue sky. The right side of the slide is decorated with a blue and white geometric pattern of diagonal lines and a white rectangular box containing the title.

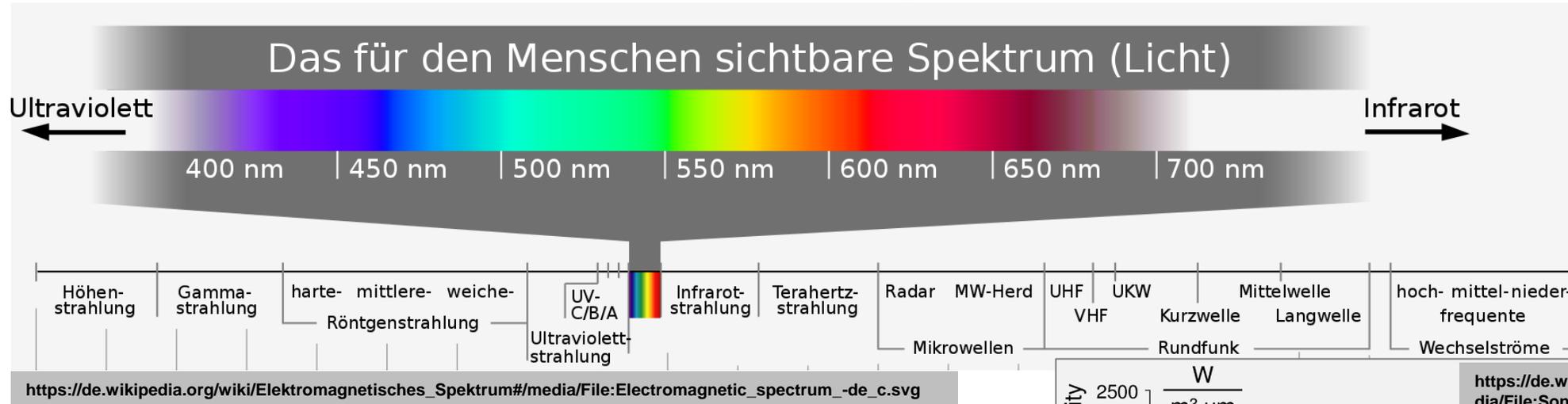
Licht und Strahlung

Das elektromagnetische Spektrum



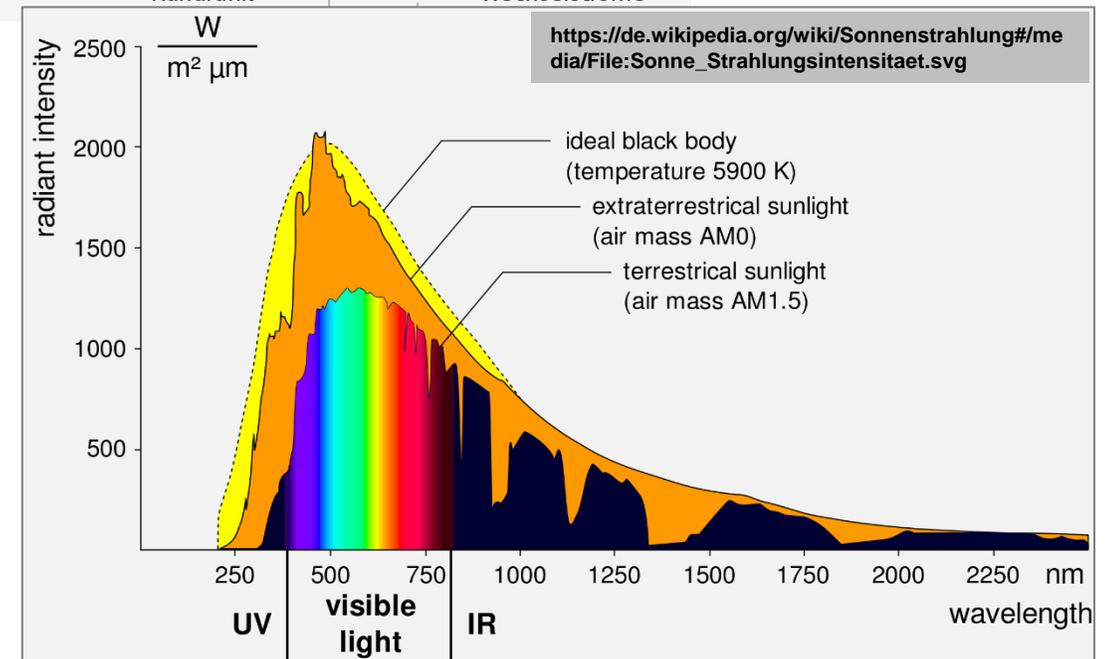
- **Strahlungsemission: Im thermischen oder nicht-thermischen Gleichgewicht**
- **Wechselwirkung von Licht mit Materie: Absorption, Brechung, Reflexion, Streuung, Transmission**
- **Strahlungskonversion: Thermische Energie Solarthermie**
 Elektrische Energie Photovoltaik
 Chemische Energie Photolyse & Photosynthese

Licht als sichtbarer Teil des Spektrums



Für Menschen ist der sichtbare Bereich in etwa deckungsgleich mit Strahlungsmaximum terrestrischer Solarstrahlung

→ Ergebnis der Evolution der Primaten



The background of the slide is a photograph of a starry night sky, likely showing a galaxy or a star cluster. The stars are bright and scattered across a dark blue and black background. A white rectangular text box is overlaid on the right side of the image. The text box contains the title in blue font. The bottom right corner of the slide features a decorative pattern of parallel blue diagonal lines.

Künstliche Lichtquellen & Beleuchtung

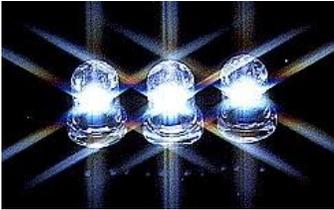
Künstliche Lichtquellen & Beleuchtung

Worum geht es eigentlich?

⇒

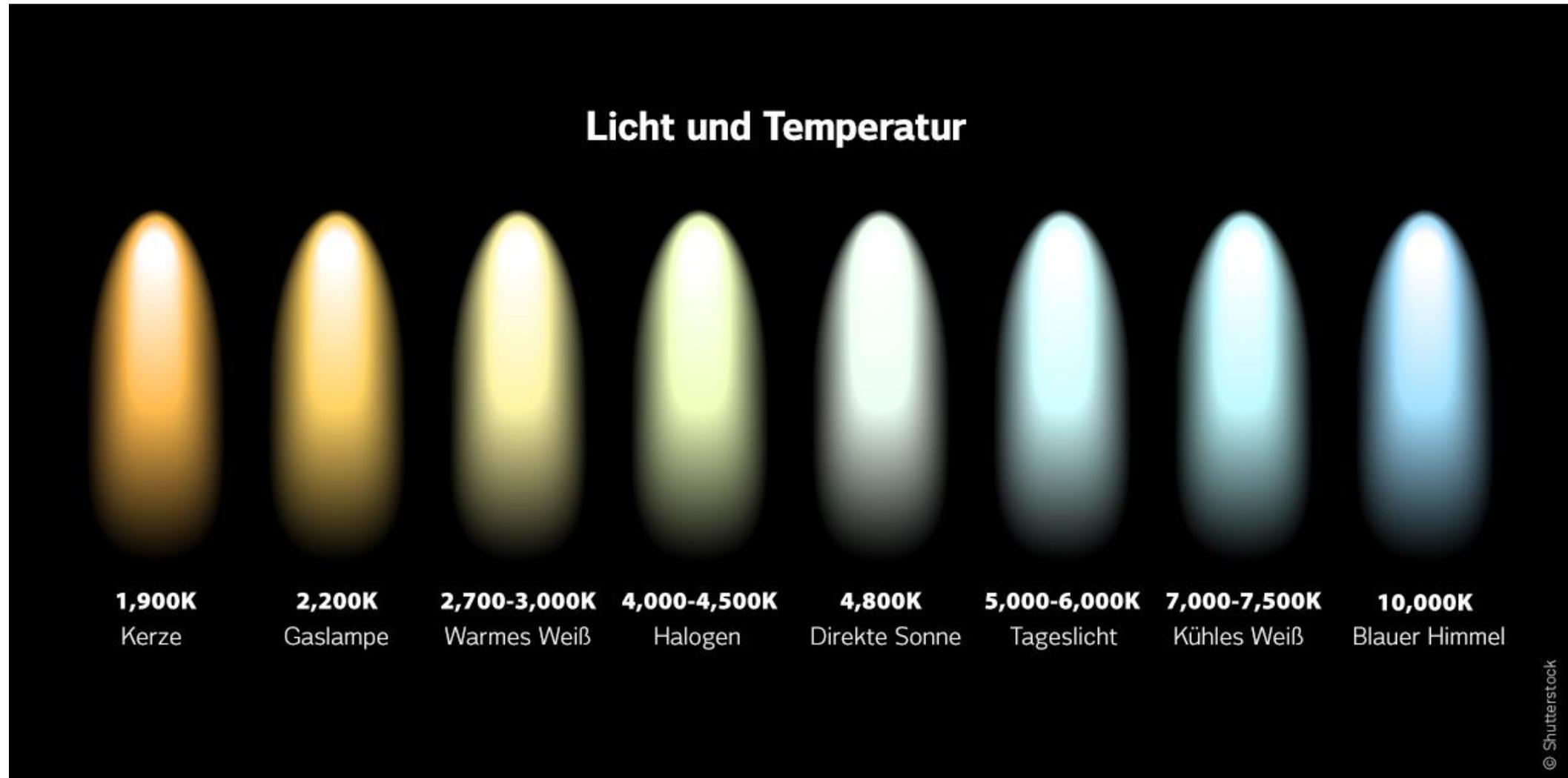
„5L“ einer Lichtquelle

- **Lebensdauer:** Abnahme des Lichtstroms auf 80% → L80
Ausfall bis zum Ende der Lebensdauer: 10% → B10
- **Lichtstrom:** 10 lm → 100 lm → 1000 lm → 10000 lm




- **Lichtausbeute:** 0 ... 683 lm/W
 - Stark abhängig von Art und Spektrum der Lichtquelle
 - Auch abhängig vom Empfänger und der Beleuchtungssituation
- **Lichtfarbe:** Farbtemperatur $T_c = 2700 - 8000$ K
- **Lichtqualität:** Farbwiedergabe $R_a = 0 \dots 100$ → physiologische Wirkung

Künstliche Lichtquellen - Farbtemperatur

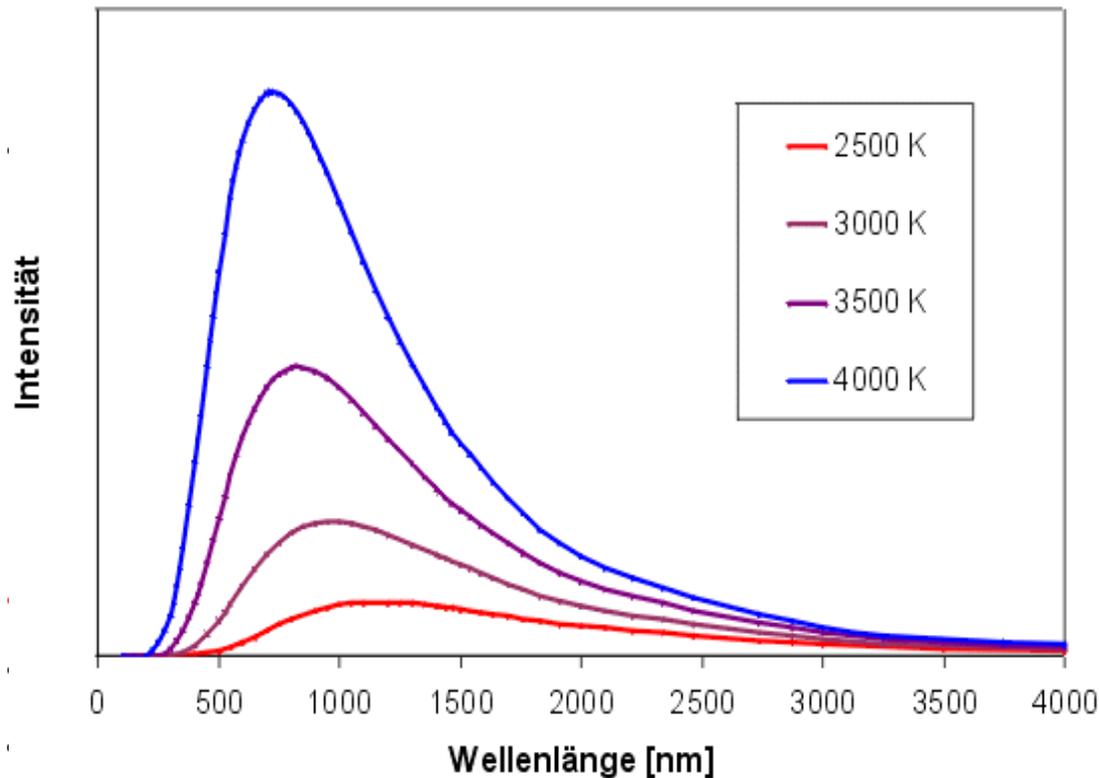


https://elife.vattenfall.de/wp-content/uploads/2016/02/150_elife_LichtUndTemperatur.png

Künstliche Lichtquellen & Technik und Chemie

1. Thermische Strahler: **Erwärmung von Materialien**

- Die Intensität und die spektrale Verteilung der emittierten Strahlung eines Körpers ist stark temperaturabhängig (→ Planck'sches Strahlungs- und Wien'sches Verschiebungsgesetz)



Erwärmung durch

**chemische Reaktion $C + O_2 \rightarrow CO_2$
(Oxidation)**

Lagerfeuer, Fackeln, Kerzen,
Öllampen, Gaslampen

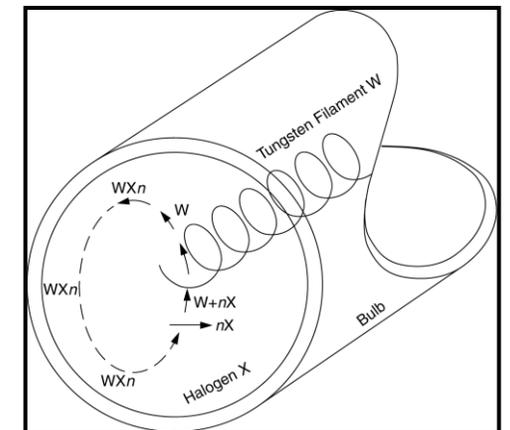
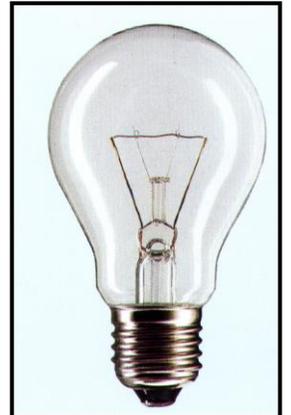
**Widerstandsverlust $P = R \cdot I^2$
(Stromfluss)**

Glühlampen (W-Wendel)

Halogenglühlampen



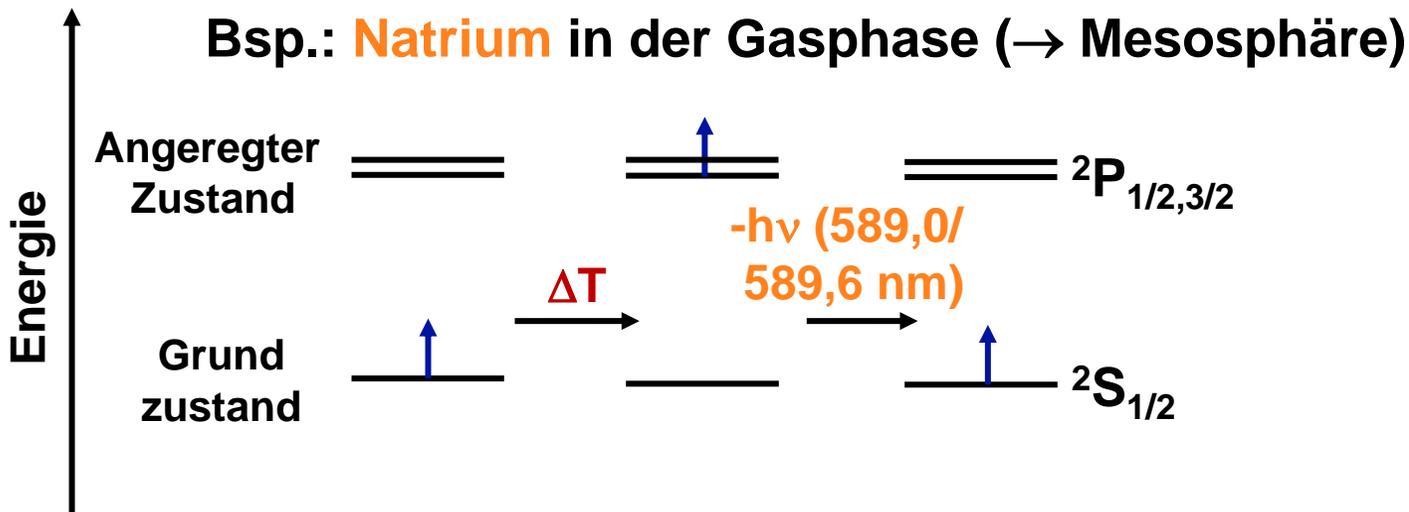
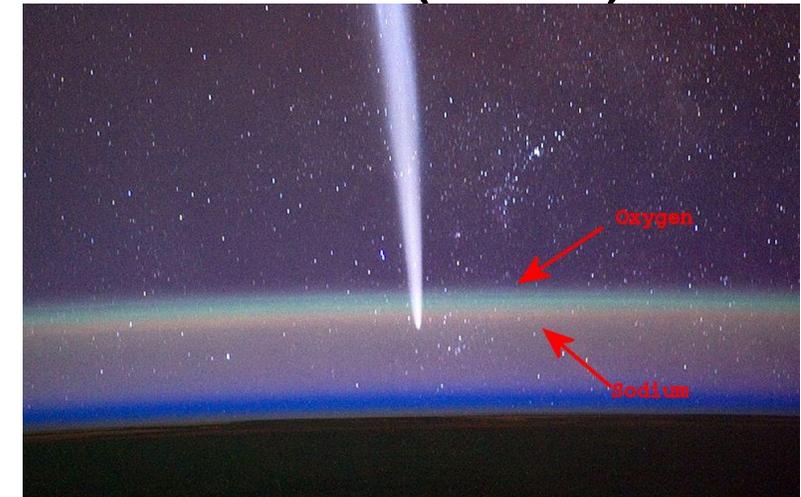
„Chemischer Transport“



Künstliche Lichtquellen & Technik und Chemie

2. Gasentladungsstrahler: **Anregung von Gasen**

- Atome, Ionen und Moleküle nehmen nur diskrete Energiezustände an, wobei höhere Energiezustände durch Strahlungsabsorption oder unelastische Stöße (Wärme) erreicht werden können
- Bei der Rückkehr in den Grundzustand wird die überschüssige Energie in Form von Licht oder Strahlung abgegeben → **Emissionsspektren**

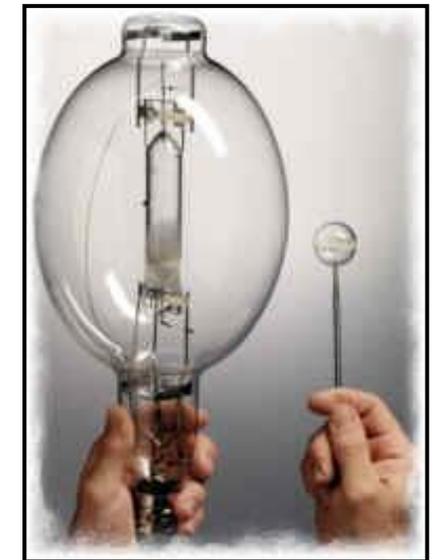
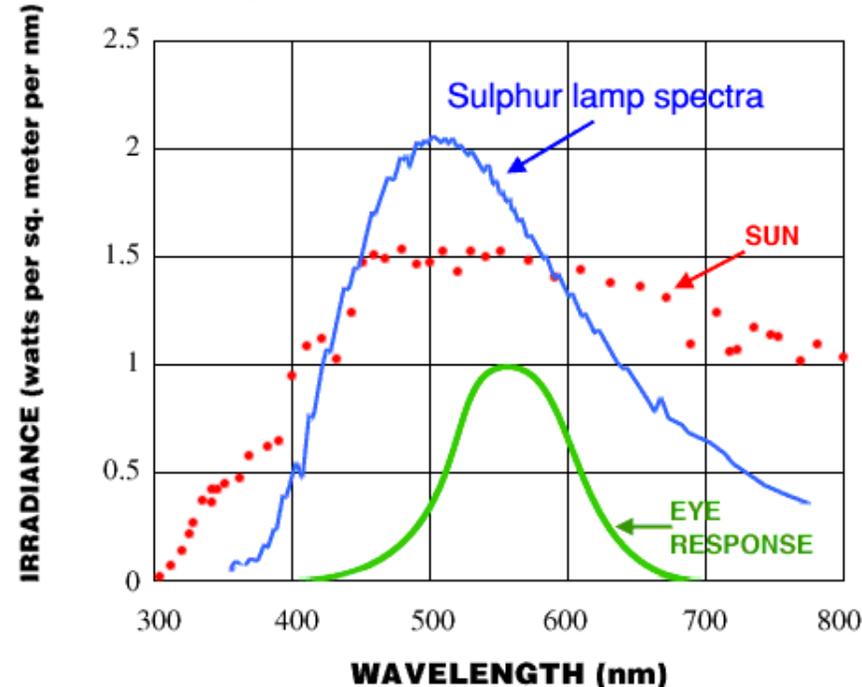
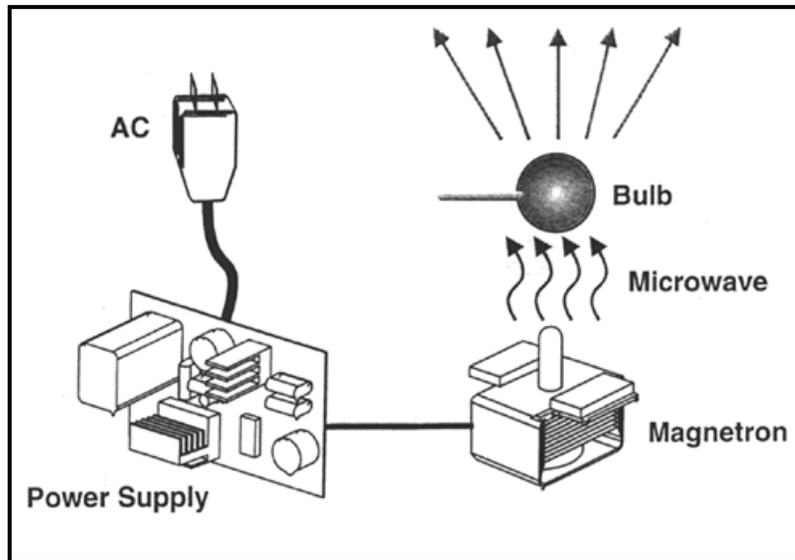


Atome	Hg	Na
Ionen	Ne ⁺	Ar ⁺
Moleküle	S ₂	O ₂

Künstliche Lichtquellen & Technik und Chemie

2. Gasentladungsstrahler: Die Schwefellampe seit etwa 1990

Gasentladung mit Ar als Puffergas und $S_2 - S_8$ als molekulare Emitter → Breitbandspektrum

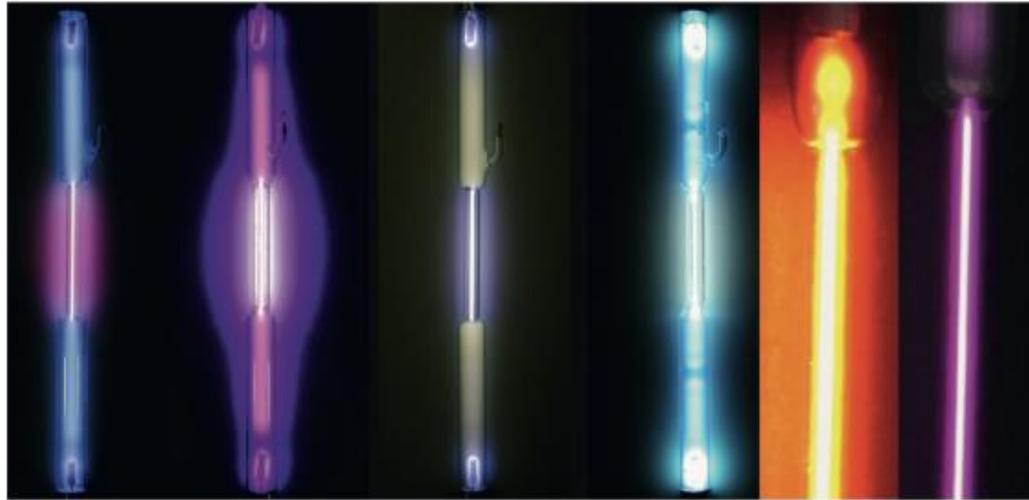


Effizienz: Vergleichbar mit Leuchtstoffröhren (also 100 lm/W)

Problem: Energieeinkopplung → Elektrodenlose Lampe → Mikrowellengenerator (2,45 GHz)

Künstliche Lichtquellen & Technik und Chemie

2. Gasentladungsstrahler: Emission von Gasen (und anorg. Leuchtstoffen)



Wasserstoff Stickstoff Sauerstoff **Quecksilber** Neon Argon



Standard: Hg-Gasentladungen (Niederdruck oder Hochdruck)



PDP: Xe/Ne-Gasentladung



Künstliche Lichtquellen & Technik und Chemie

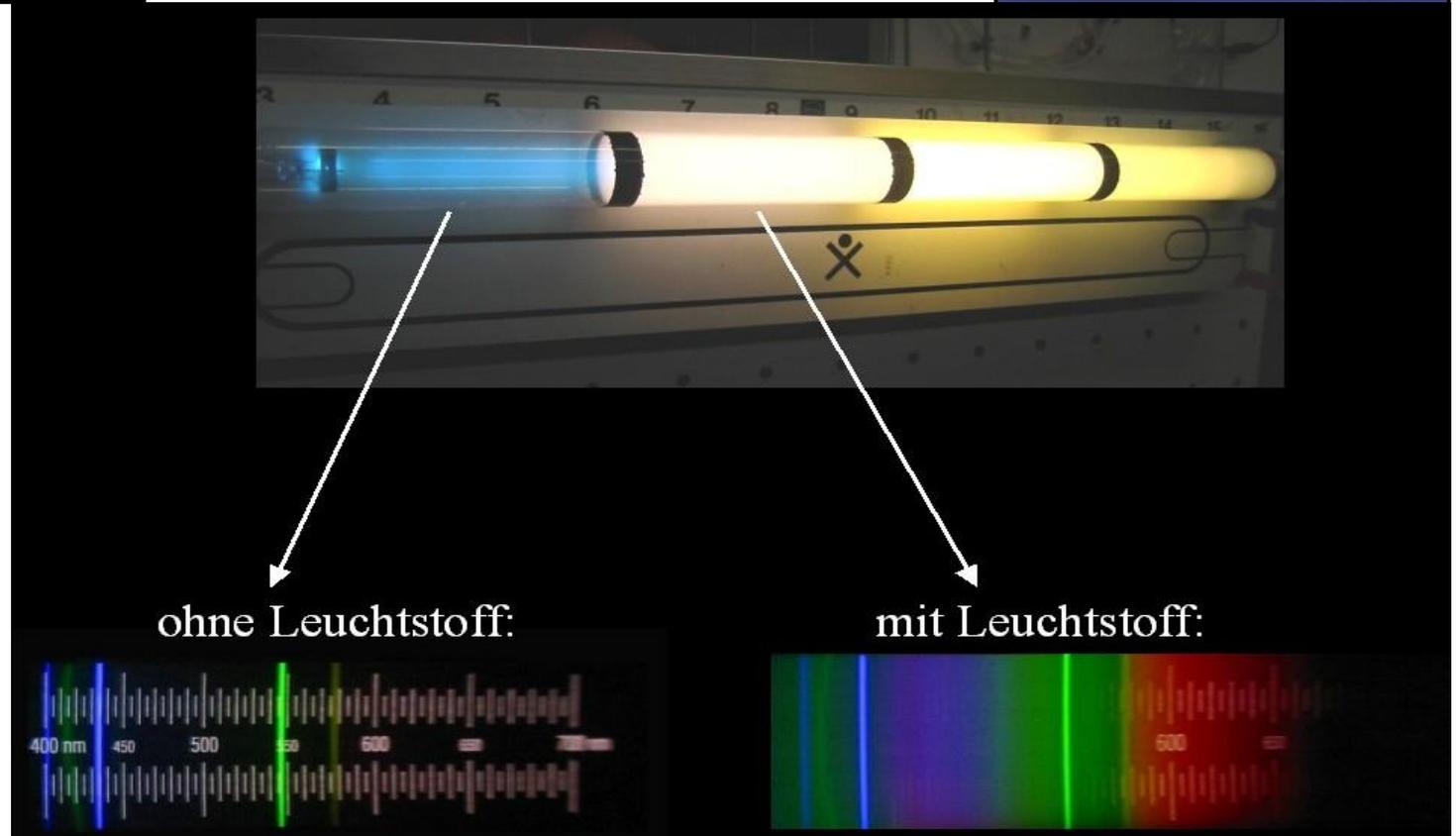
2. Gasentladungsstrahler: Leuchtstofflampen



Eu²⁺-Leuchtstoff

Emissionswellenlänge

CaS:Eu	655 nm
CaAlSiN ₃ :Eu	650 nm
Sr ₂ Si ₅ N ₈ :Eu	615 nm
SrS:Eu	610 nm
Ba ₂ Si ₅ N ₈ :Eu	580 nm
Sr ₂ SiO ₄ :Eu	575 nm
SrSi ₂ N ₂ O ₂ :Eu	540 nm
SrGa ₂ S ₄ :Eu	535 nm
SrAl ₂ O ₄ :Eu	520 nm
Ba ₂ SiO ₄ :Eu	505 nm
Sr ₄ Al ₁₄ O ₂₅ :Eu	490 nm
SrSiAl ₂ O ₃ N:Eu	480 nm
BaMgAl ₁₀ O ₁₇ :Eu	450 nm
Sr ₂ P ₂ O ₇ :Eu	420 nm
BaSO ₄ :Eu	374 nm
SrB ₄ O ₇ :Eu	368 nm

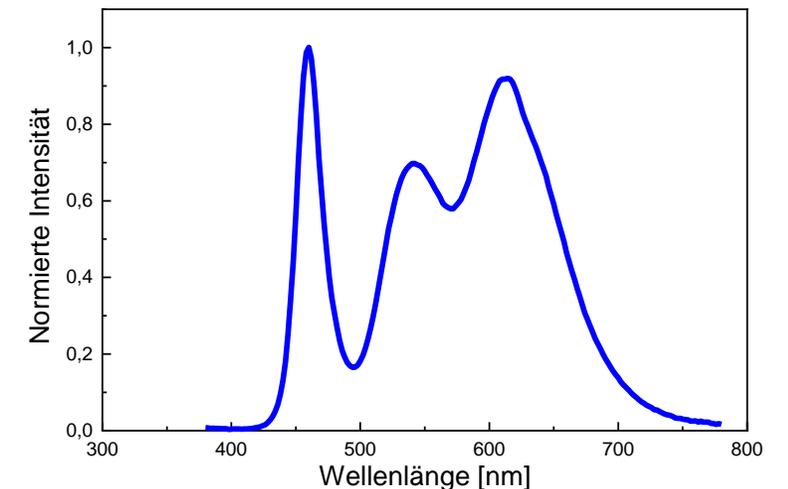
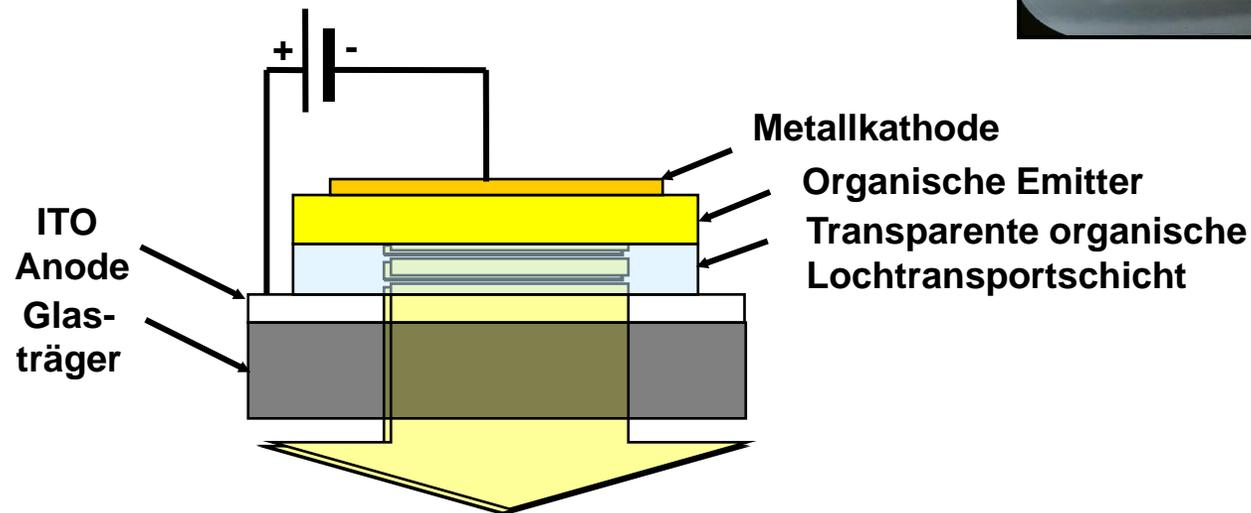
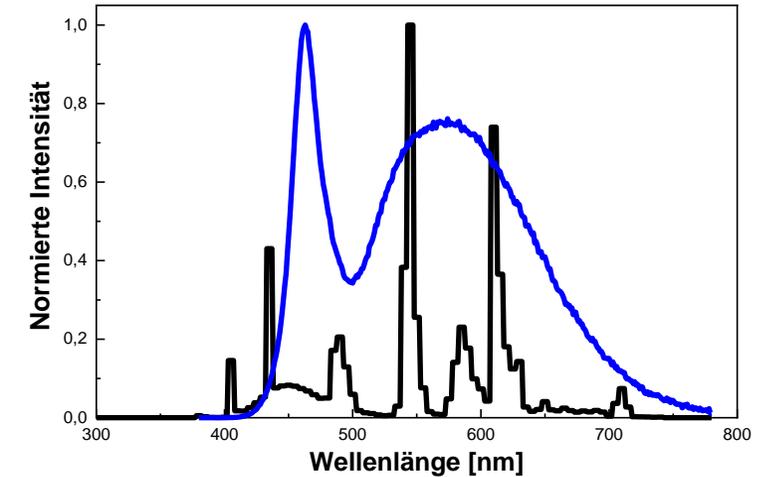
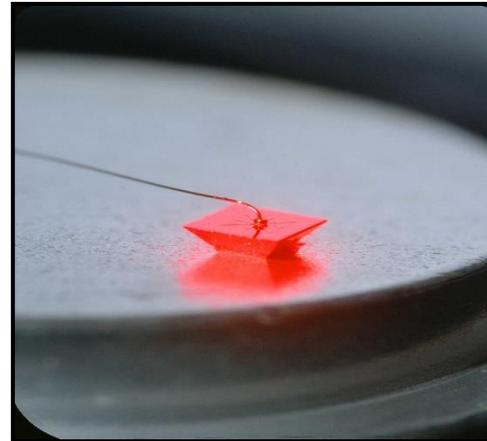


Künstliche Lichtquellen & Technik und Chemie

3. Anorganische und organische LED: Elektrolumineszenz

- Rekombination von Ladungsträgern in Festkörpern
- Breitbandige Emissionsspektren
- Materialien

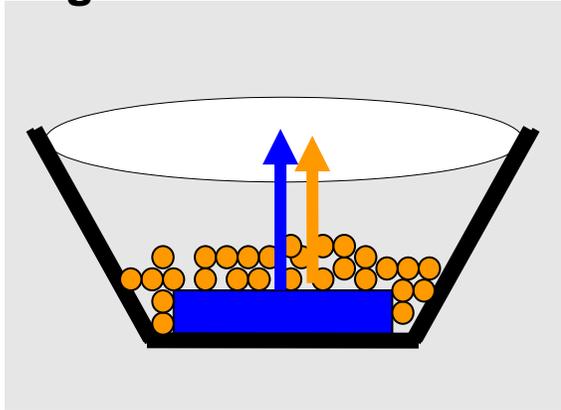
- $(Al_{1-x-y}In_xGa_y)P$, $(Al_{1-x-y}In_xGa_y)N$
→ LED-Lichtquellen
- Polymere, Metallkomplexe (Ir^{3+})
→ OLED-Bildschirme



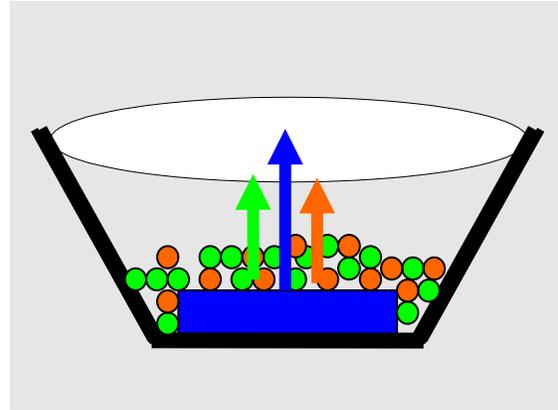
Künstliche Lichtquellen & Technik und Chemie

3. Anorganische LED: Ansätze für Weißlichtquellen

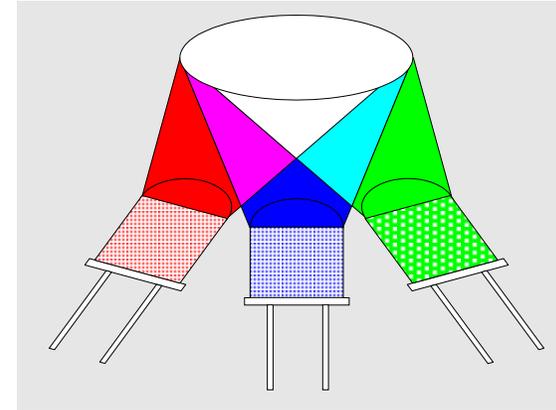
Blaue LED +
gelber Leuchtstoff



Blaue LED + grüner
+ roter Leuchtstoff

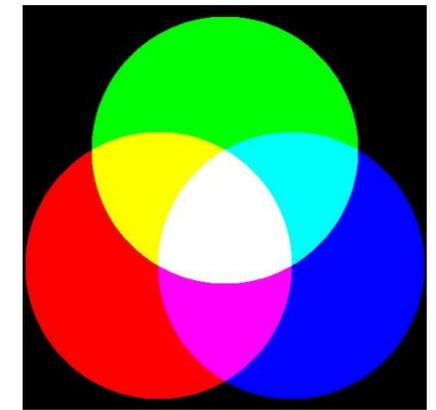
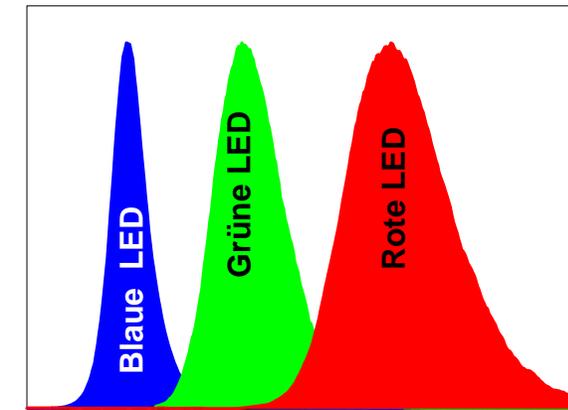
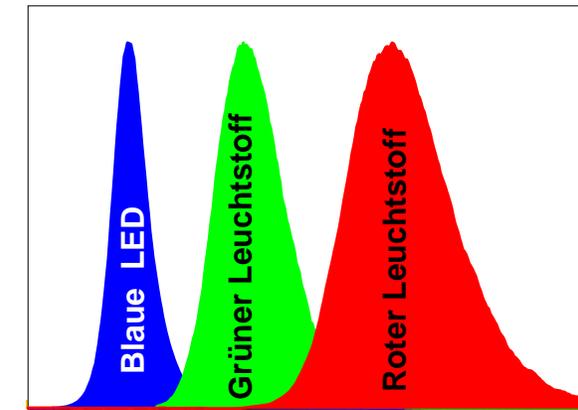
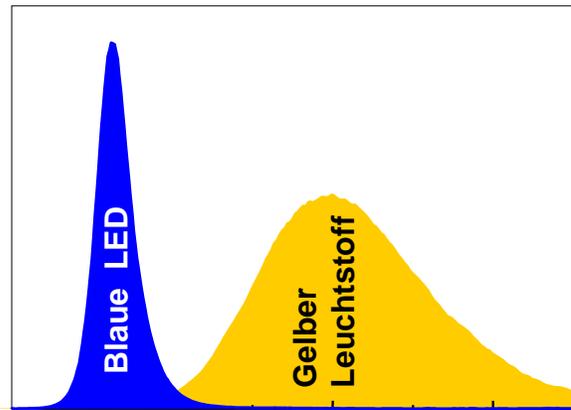


Blaue + grüne
+ rote LED



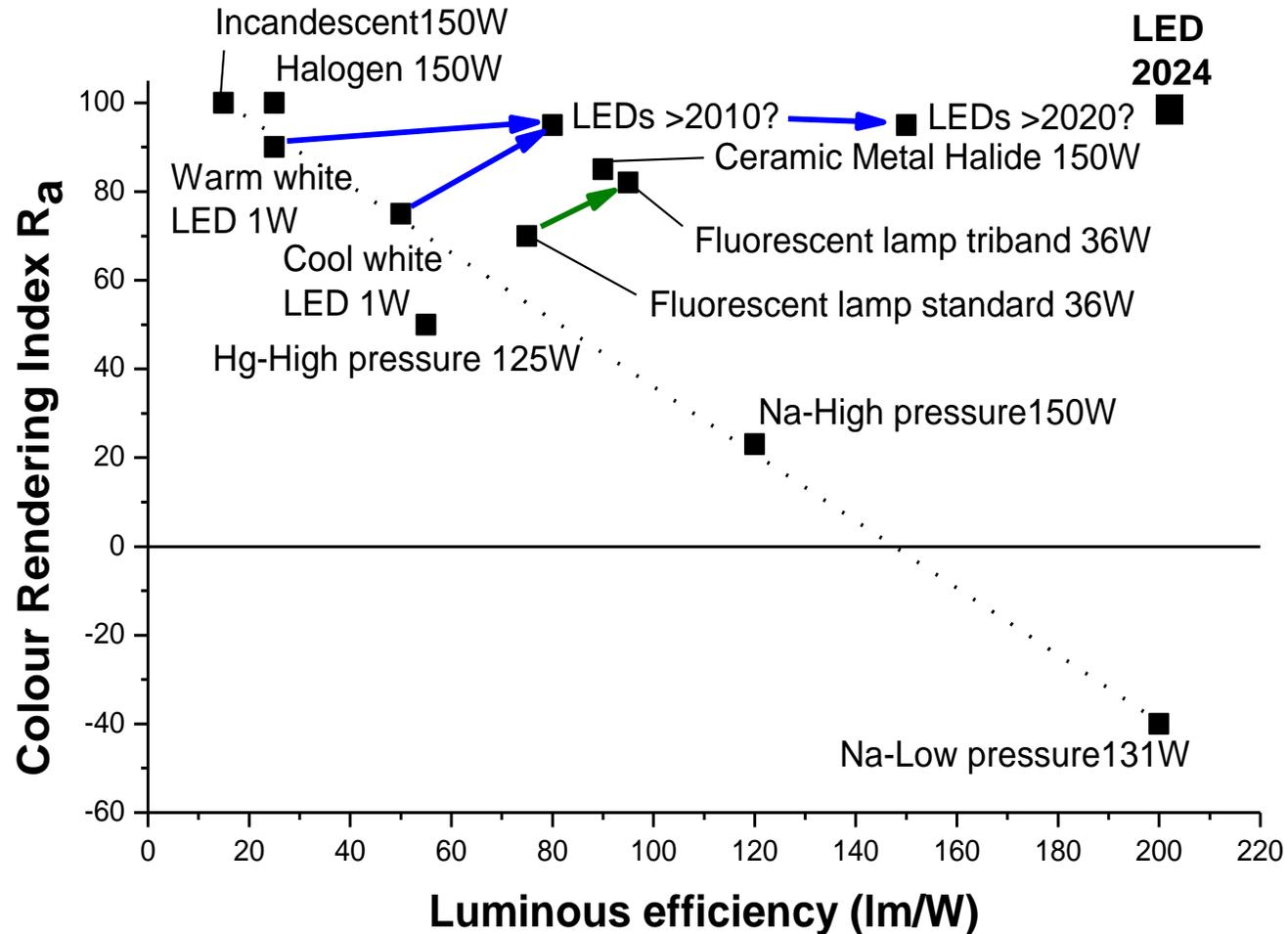
+ Sekundäroptik

= Additive
Farbmischung



Künstliche Lichtquellen & Technik und Chemie

Farbwiedergabe über Lichtausbeute: (O)LED als ultimative Lichtquelle!



Chemie der künstlichen Lichtquellen

- Chemische Transportreaktionen
- Plasmachemie
- Glas-Beschichtungstechnologie
- CVD und Plasma-CVD
- Halbleitertechnologie
- Wolframverarbeitung
- Glastechnologie
- Transparente Keramik / Glaskeramik
- Einkristallzucht
- Temperaturfeste Elektroden & Emitter
- Leuchtstoffe
- Koordinationsverbindungen: Ir^{3+} , Cu^+
- Leitfähige Polymere
- Farbfilter, z.B. Fe_2O_3 oder CoAl_2O_4

Künstliche Lichtquellen - Status 2024

Anwendungsbereiche

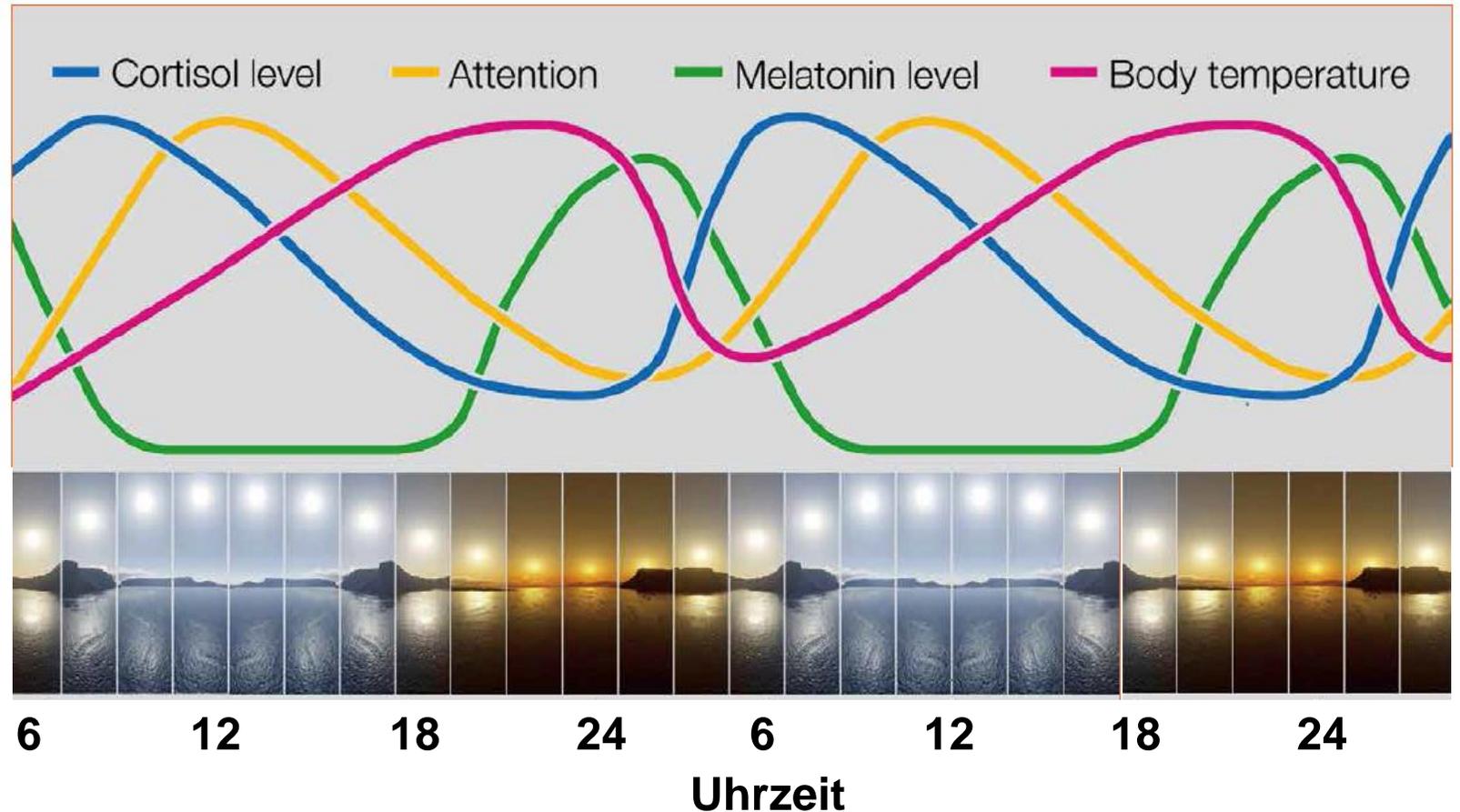
- **Hintergrundbeleuchtung (LC Displays)**
→ Hg-Niederdrucklampen → Xe-Excimerlampen → LED
- **Innenraumbelichtung**
→ Halogenglühlampen → Energiesparlampen → LED
- **KFZ-Beleuchtung**
→ Halogenlampen → Xe/Hg/Zn-Lampen → LED → Laserdioden
- **Signalbeleuchtung**
→ Glühlampen mit Farbfilter → LED → Laserdioden
- **Öffentliche Gebäude, Geschäftsräume, Fabriken**
→ Leuchtstoffröhren → LED
- **Straßenbeleuchtung**
→ Natriumlampen → Hg-Hochdrucklampen, LED
- **Werbebeleuchtung**
→ Leuchtstoffröhren → LED



Künstliche Beleuchtung - Neue Trends

Unterstützung des natürlichen Biorhythmus durch passende Modulation der Beleuchtungsszenarien

- Spektrale Modulation
- UV / VIS / NIR-Anteile
- Lichtstärke
- Zeitliche Modulation

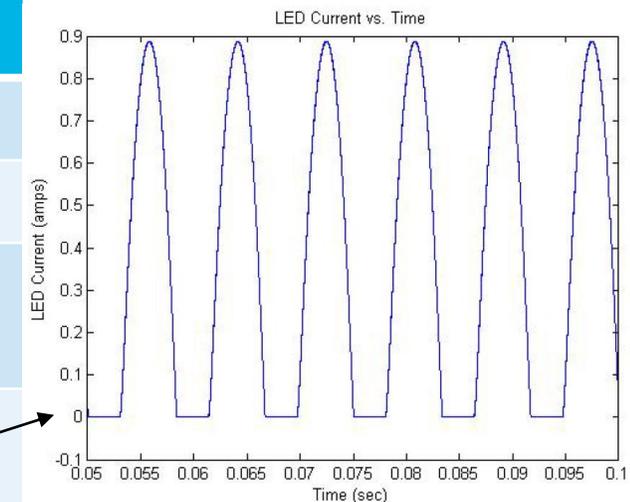


Künstliche Beleuchtung - Tageslicht vs. LED-Licht

Metabolismus adaptiert auf natürliche Beleuchtung

→ künstliche Beleuchtung nicht deckungsgleich

Lichtquelle	Tageslicht (Sonne)	LED
Spektrale Modulation	1.500 bis 10.500 K	2.000 bis 6.500 K
UV / VIS / IR	5 % / 60 % / 35 %	0 % / > 90 % / < 10 %
Lichtstärke	10.000 bis 100.000 lux (100 - 1000 W/m ²)	500 bis 1.000 lux (5 - 10 W/m ²)
Zeitliche Modulation	Minuten (Wolken) Stunden (Zenitwinkel)	Millisekunden (Netzfrequenz)



LED bei 120 Hz
(doi:10.1109/ECCE.2010.5618050)

Künstliche Beleuchtung - Neue Trends

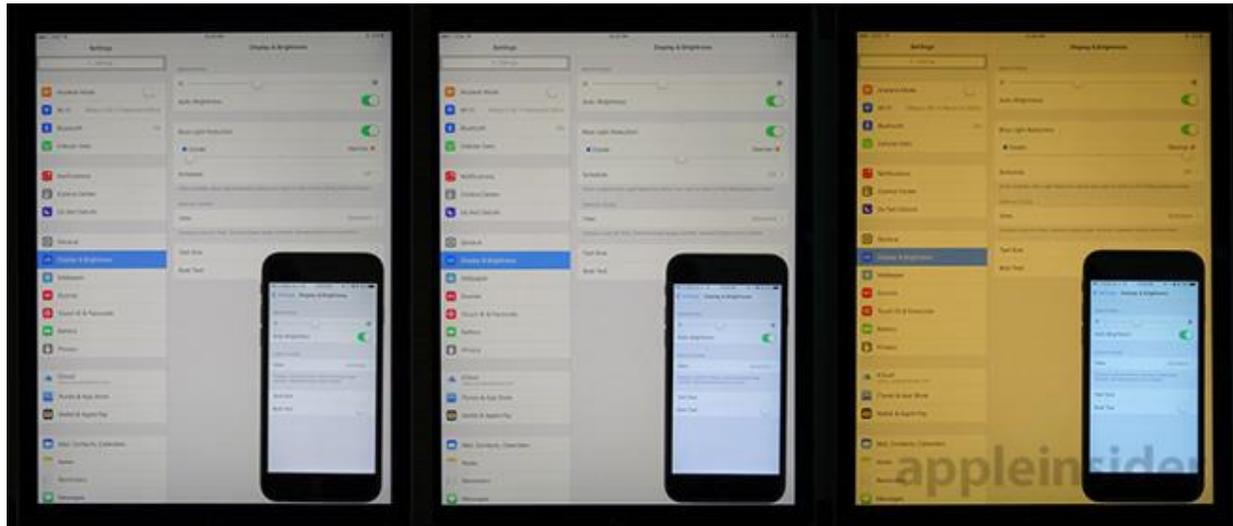
Leuchtmittel mit variabler spektraler Zusammensetzung „Human Centric Lighting“



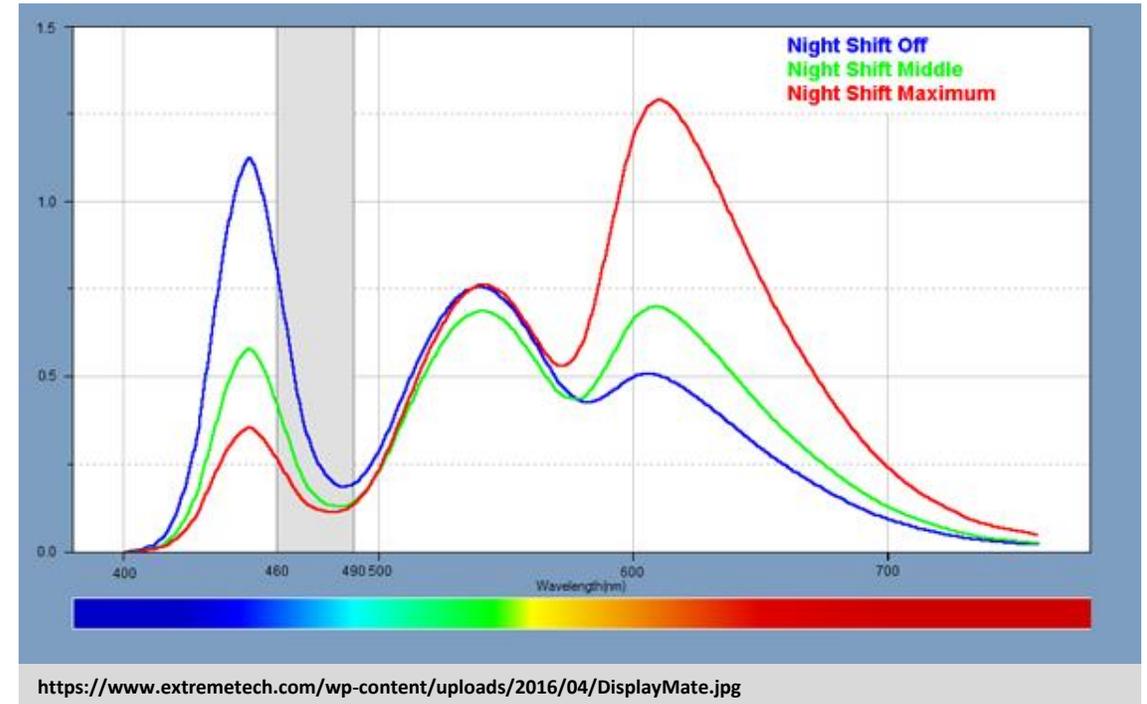
<http://lavision.ch/wp-content/uploads/2015/06/Bild4.png>

Künstliche Beleuchtung - Abendstunden

- **Lampen:** Beleuchtung mit geringem Blauanteil wählen
- **Bildschirme:** Helligkeit und Blauanteil reduzieren



https://www.extremetech.com/wp-content/uploads/2016/04/15561-11948-160112-Night_Shift-1.jpg



<https://www.extremetech.com/wp-content/uploads/2016/04/DisplayMate.jpg>

A photograph of a dirt path winding through a forest with trees showing autumn foliage. A person is sitting on a bench on the left side of the path, looking towards the distance. The scene is bathed in soft, golden light, creating a misty atmosphere. The right side of the image features a blue and white geometric pattern with diagonal lines.

Photochemie der Lichtwahr- nehmung

Licht und Mensch - Fakten, Fakten, Fakten

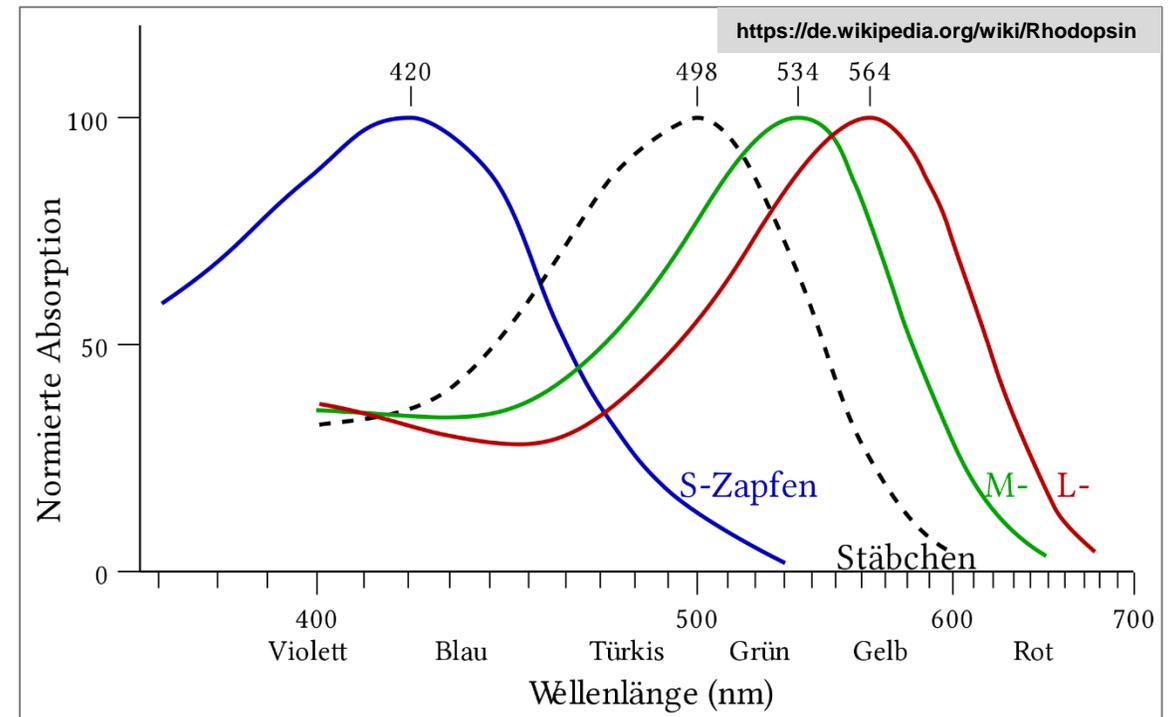
- **Solarstrahlung: Beleuchtung, Photochemie, Photobiologie & Photomedizin**
- **Voraussetzung für wichtigsten Sinn: Visuelle Wahrnehmung**
- **Orientierung im Raum, Steuerung des Tag-Nacht-Rhythmus, Kommunikation**
- **Ausgewählte Leistungsdaten des menschlichen Auges**
 - **Sehschwelle $0,000003 \text{ cd/m}^2$ (\sim Stern 6. Größenordnung)**
(sternklarer Nachthimmel: $0,001 \text{ cd/m}^2$)
 - **Blendung ab 100.000 bis $1.000.000 \text{ cd/m}^2$**
(Sonnenscheibe am Horizont $6.000.000 \text{ cd/m}^2$)
 - **Zeitliche Auflösung: bis 90 Hz (Wahrnehmung $\sim 800 \text{ Hz}$)**
(dunkeladaptiert: 22 bis 25 Hz): Kino!
 - **Augenbewegung (Sakkaden): bis $600^\circ/\text{s}$**



Licht und Mensch - Visuelle Wahrnehmung

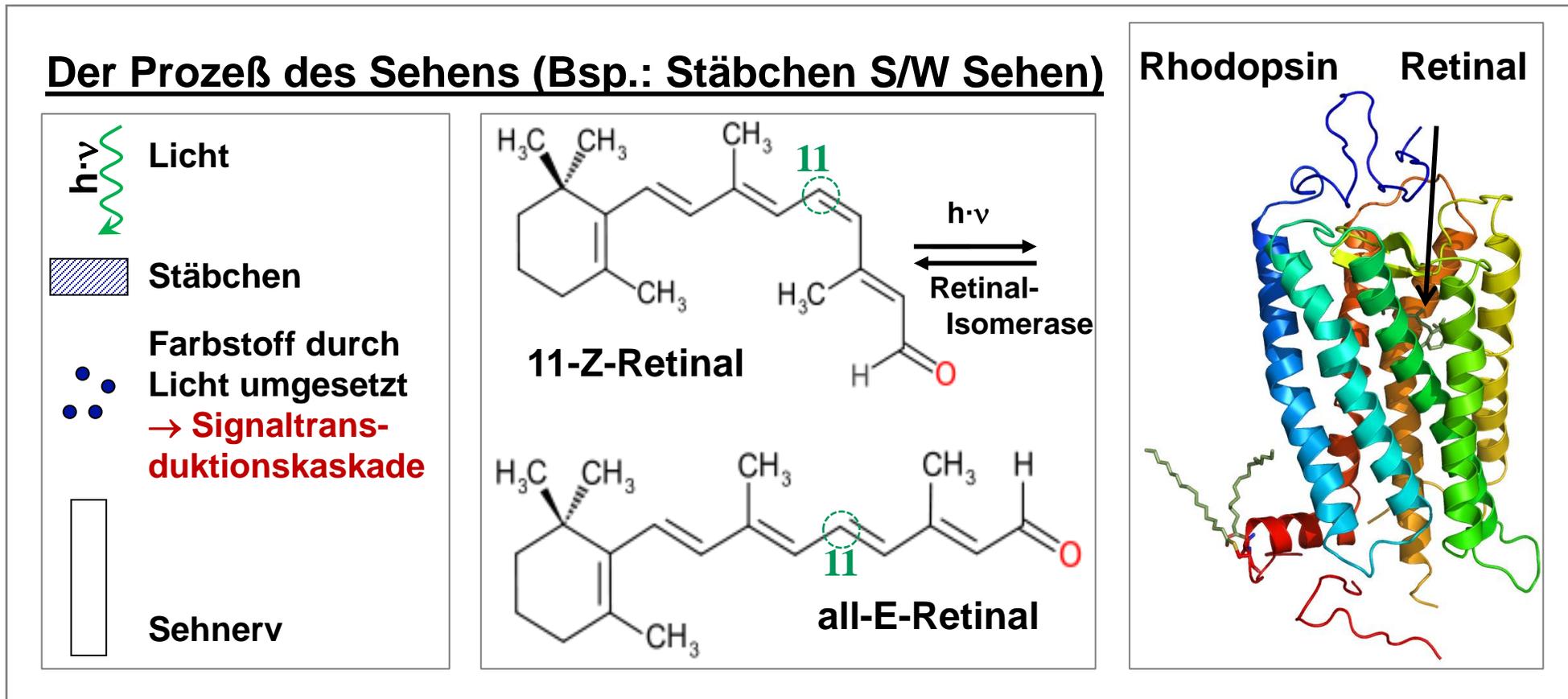
Sehprozess = komplexes Zusammenspiel von chemischen und physikalischen Prozessen unter Beteiligung von drei Rezeptortypen:

- Stäbchen (Dämmerungssehen)
- Zäpfchen (S, M, L für Farbsehen)
- Ganglienzellen (Biorhythmus)



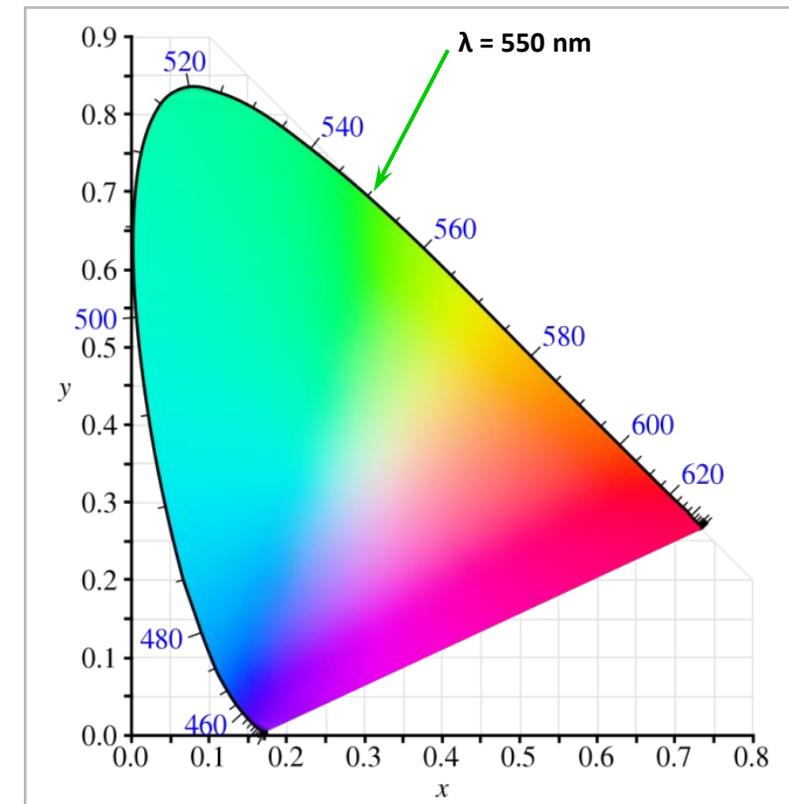
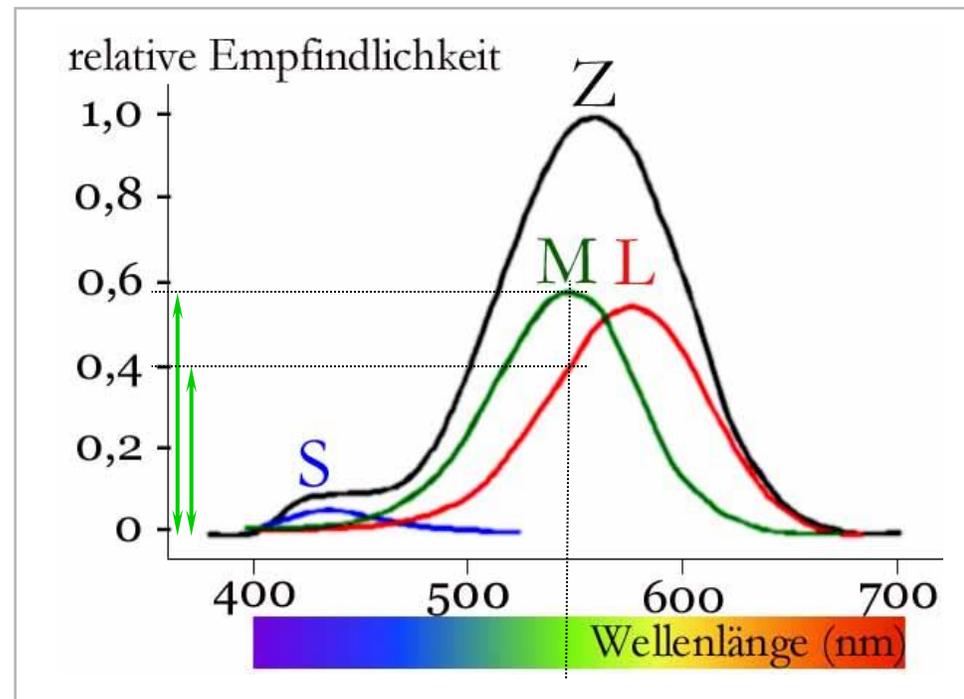
Licht und Mensch - Nachtsehen

Stäbchen – hohe Empfindlichkeit bei breiter spektraler Ansprechbarkeit



Licht und Mensch – Tagsehen (Farbe)

- Trichromat mit drei Typen von Zäpfchen: S (blau), M (grün), L (rot)
- Jede Wellenlänge des sichtbaren Spektrums erzeugt Signal in mindestens zwei Rezeptoren
- Farbeindruck entsteht aus dem Verhältnis der Impulse (Datenverarbeitung im Gehirn)



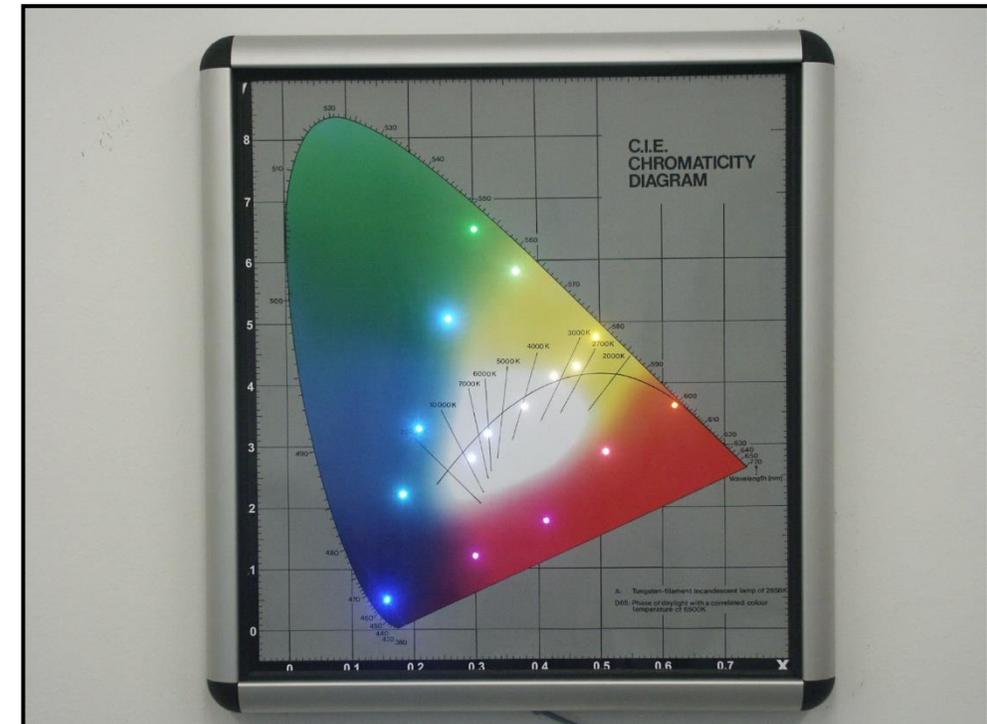
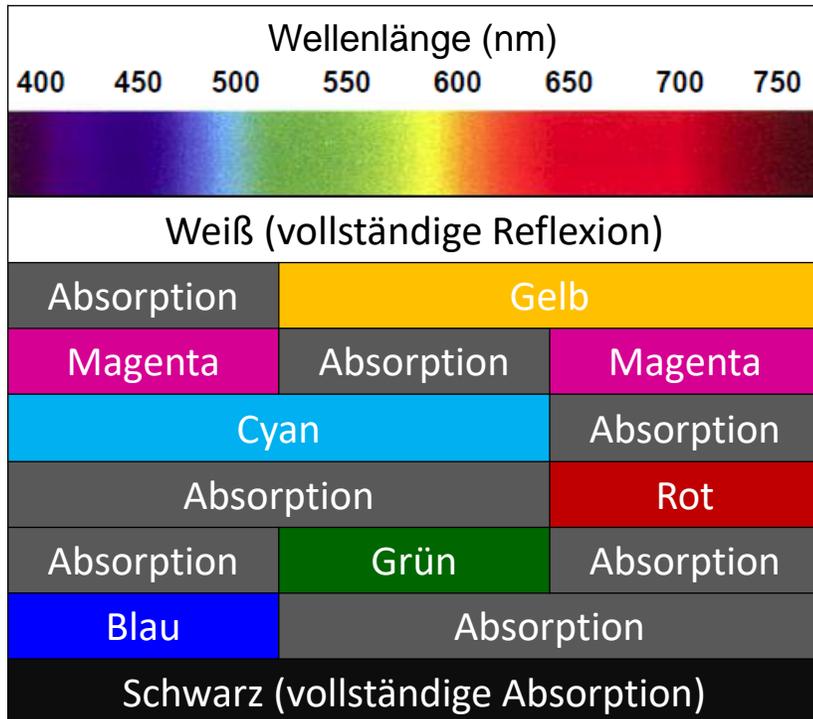
Licht und Mensch – Farbsehen

Kurzfassung: Nur Licht im Auge bestimmt den wahrgenommenen Farbeindruck

→ **Zwei Konsequenzen:**

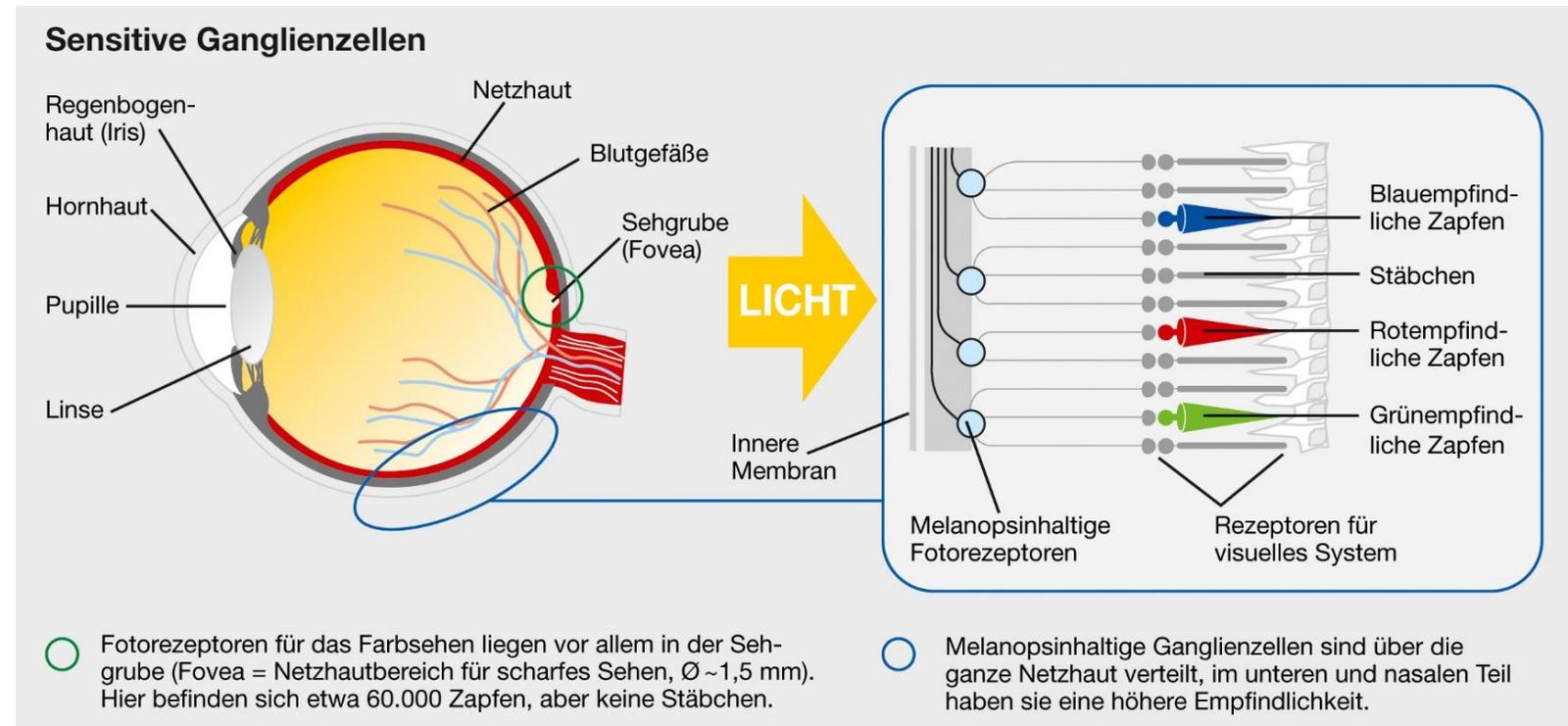
Beleuchtung: Vollspektrumlampen

Bildschirme: Großer Farbraum!



Licht und Mensch – Umgebungshelligkeit

- Photosensitive Ganglienzellen machen nur 1 bis 3% der Ganglienzellen der Netzhaut aus (Großteil der Ganglienzellen ist nicht lichtempfindlich)
- Nicht am Sehen beteiligt, da langsame Reaktion
- Wahrnehmung der Umgebungshelligkeit
- Höchste Empfindlichkeit bei 480 nm (blau)



https://de.wikipedia.org/wiki/Fotosensitive_Ganglienzelle

Licht und Mensch – Umgebungshelligkeit

- **Erste Beschreibung der photosensitiven Ganglienzellen [1] 1991 für Mäuse, Identifikation des Photopigments Melanopsin [2] erst 2007**
- **Drei Hauptfunktionen:**
 - **Synchronisation der zirkadianen Rhythmik (körpereigener Tag-Nacht-Rhythmus) mit 24-stündigem Hell-Dunkel-Zyklus (direkte Verbindung zum Taktgeber im Hypothalamus)**
 - **Steuerung des Pupillenlichtreflexes und der Anpassung der Pupillenweite an die Lichtverhältnisse**
 - **Regelung der photonischen Suppression der Ausschüttung von Melatonin aus der Zirbeldrüse**

Literatur:

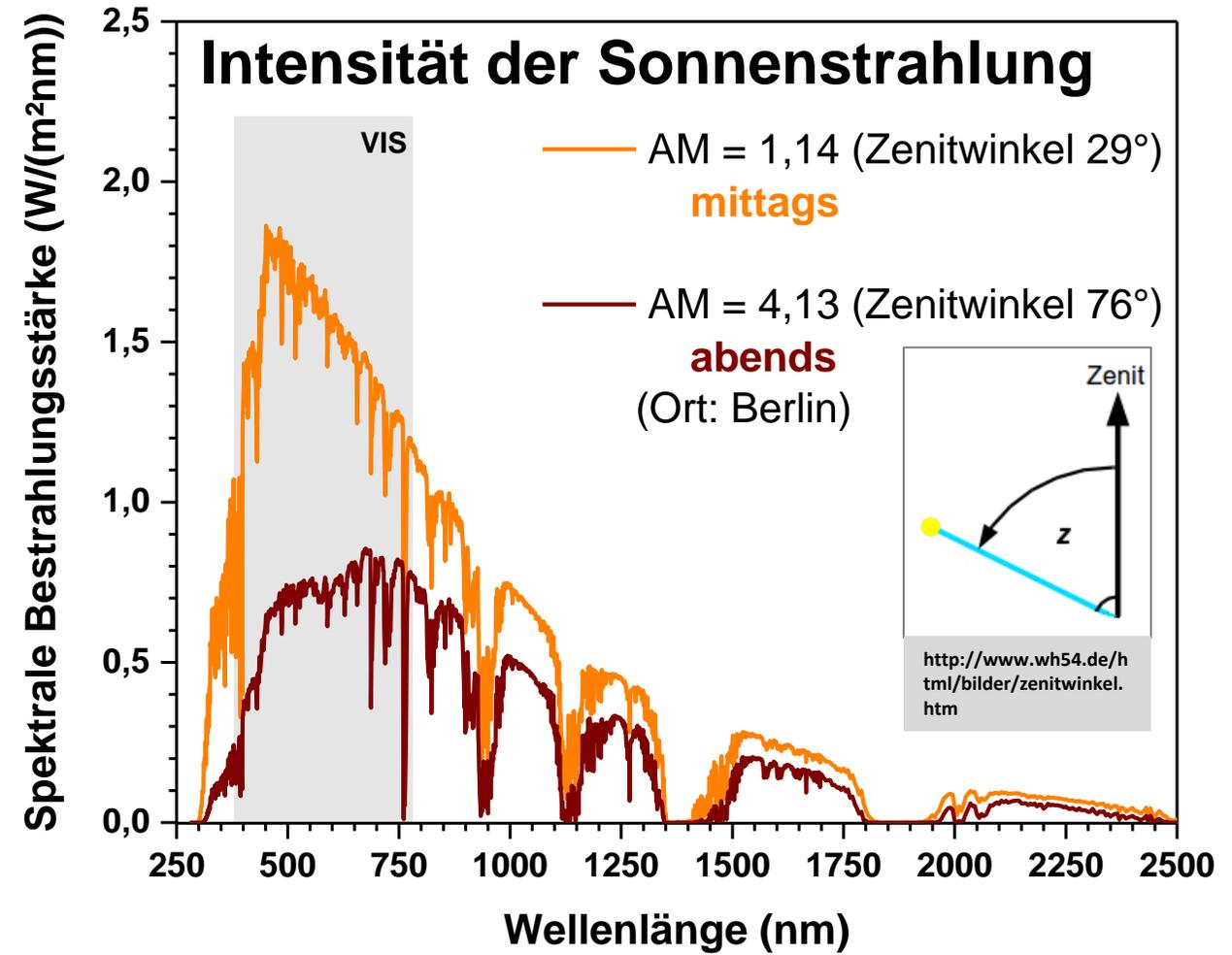
[1] doi:10.1007/BF00198171

[2] doi:10.1562/2006-07-11-RA-964

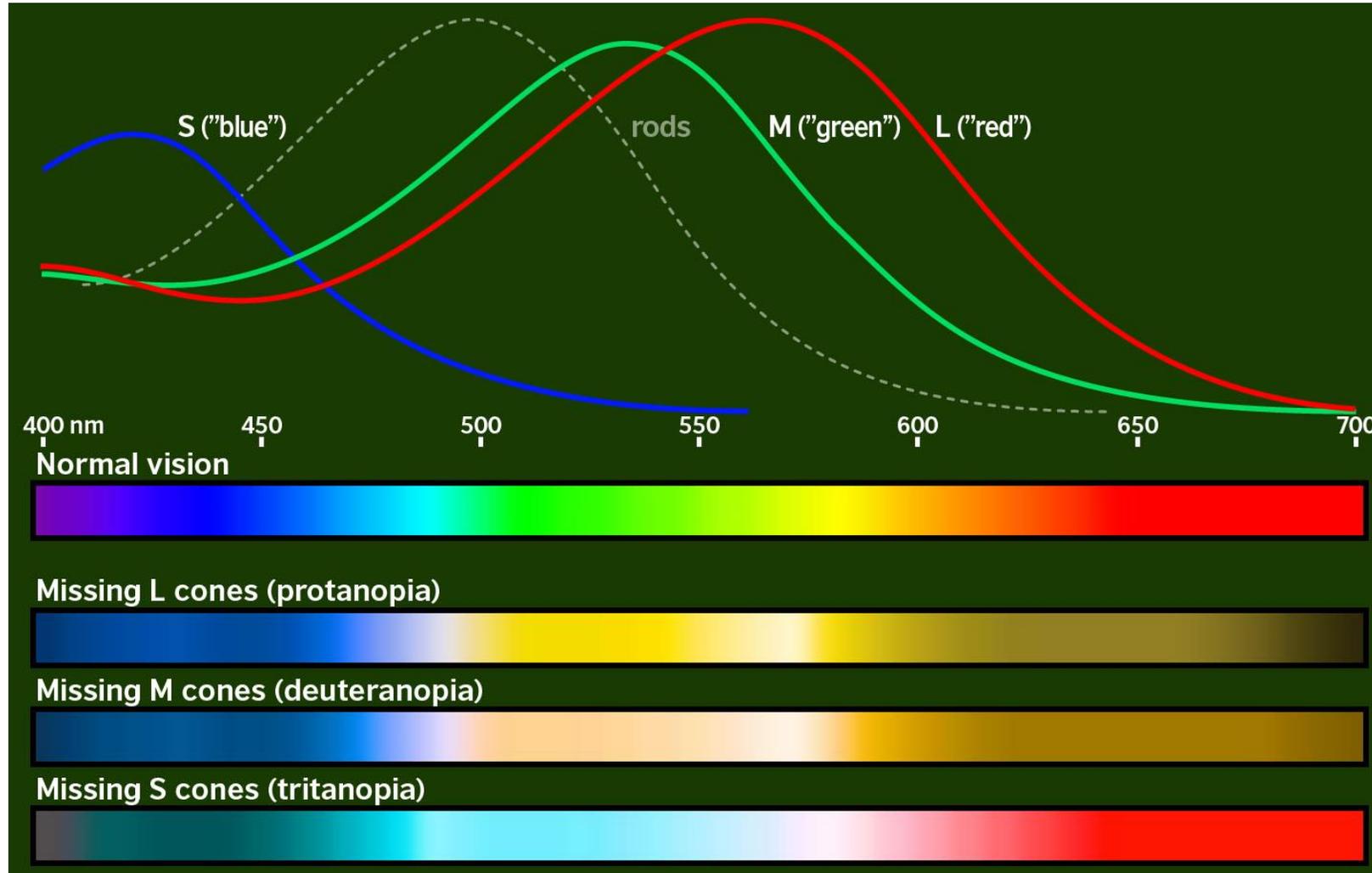
Licht und Mensch – Umgebungshelligkeit

Abnehmender kurzwelliger Anteil bei tiefstehender Sonne

- Suppression der Melatonin-ausschüttung an blaues Licht gekoppelt
- Bei spektraler Änderung hin zu geringem Blauanteil wird das Schlafhormon Melatonin ausgeschüttet



Licht und Mensch - Fehlsichtigkeit



http://www.scifun.ed.ac.uk/pages/about_us/shows/cb/cb-spectra-bars.jpg



Photobiologie und -medizin

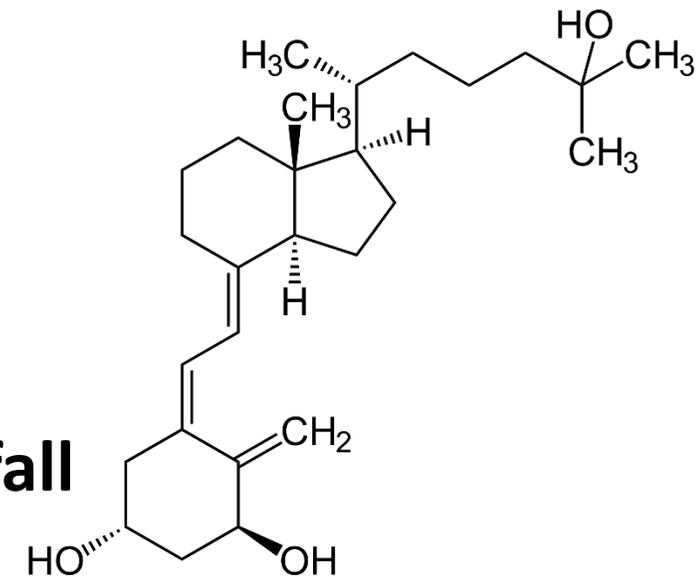
Wirkorte von Licht

- Auge
- Haut
 - Eindringtiefe hängt von Wellenlänge ab (Rot und IR-A: 4 bis 5 mm)
 - Wirkung durch Wellenlänge bestimmt

UV-C	UV-B	UV-A	Blau	Rot / IR-A
+ Reduktion der Keimzahl - Erbgutschäden	+ Bildung von Vitamin D + Bildung von Melanosomen (Bräunung) - Sonnenbrand	+ Melaninoxidation (Bräunung) - Sonnenallergie	+ Bilirubinabbau + NO-Bildung (Schmerztherapie) + Photodynamische Therapie + Wundheilung, Entzündungshemmung - Bildung freier Radikale	+ Gefäßerweiterung verbessert Stoffwechsel + Wärmebehandlung - Überhitzung

Bildung und Funktion von Vitamin D

- UV-B-Strahlung initiiert photochemische Reaktion in der Haut: 7-Dehydrocholesterol wird zum Prävitamin D₃ umgesetzt
- In weiteren Schritten dann Umsetzung zum physiologisch aktiven Calcitriol (auch 1,25(OH)₂D₃)
- Calcitriol wirkt
 - Osteoporose entgegen
 - das Immunsystem modulierend
 - protektiv gegen Krebserkrankungen
 - gegen Schuppenflechte und kreisrunden Haarausfall
 - fördernd auf die Mobilität von Spermien



Bildung von Vitamin D - Sommer

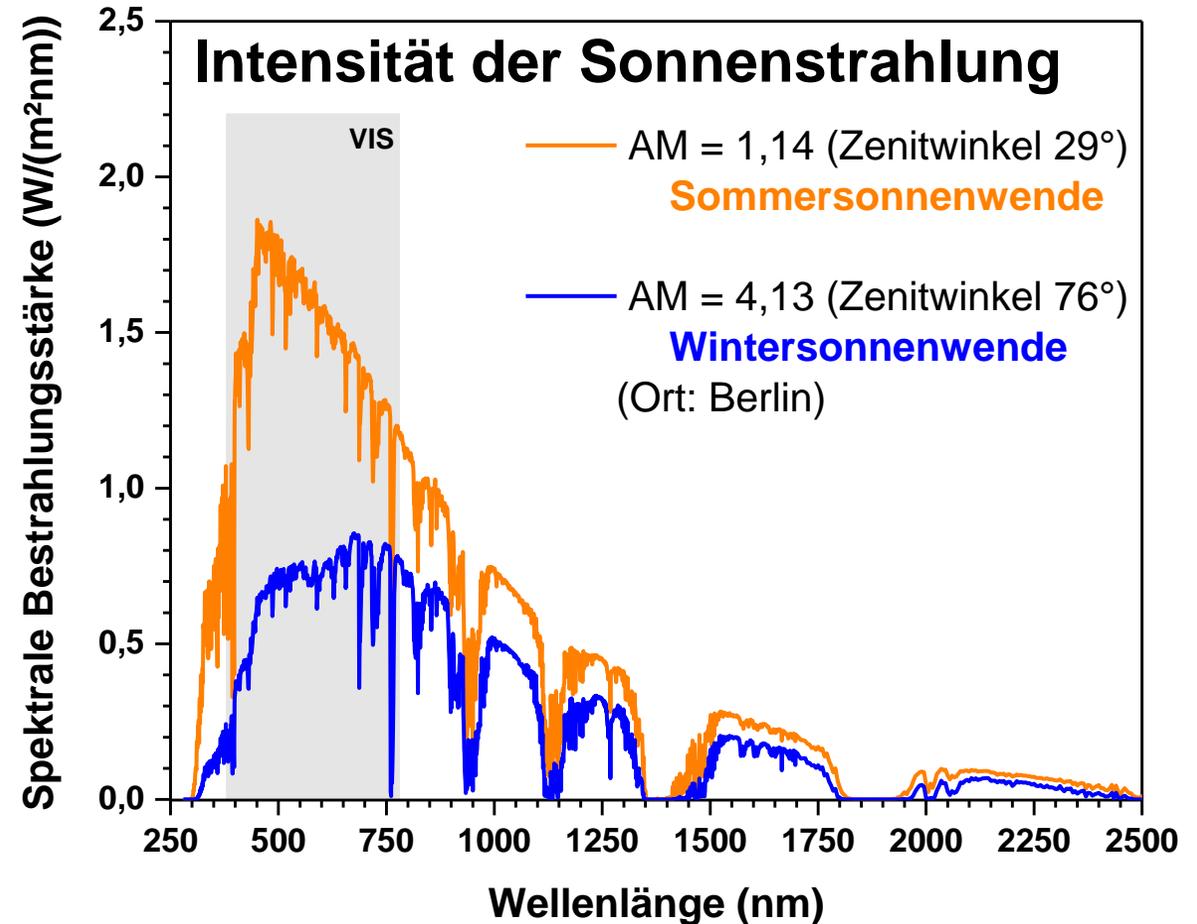
- Faustregel: Sonnenhöhe von mindestens 45° bei klarem Himmel nötig
- Nur den Mittagsstunden der Sommermonate erreicht (April - September)
- Notwendige Expositionsdauer unter folgenden Bedingungen

- Mittagszeit
- Sonniges Wetter
- Liegend
- Arme und Beine
unbekleidet
- Ohne Sonnenschutzmittel
- Mangelvermeidung,
nicht Optimum

Hauttyp	Hochsommer (Juni-August)	Frühling / Herbst (April / September)
1 (blass, rothaarig)	5 bis 10 min	10 bis 20 min
2 (nordeuropäisch)	10 bis 15 min	10 bis 25 min
3 (mitteleuropäisch)	15 bis 20 min	20 bis 30 min
4 (südeuropäisch)	10 bis 20 min	30 bis 40 min
5 (nordafrikanisch)	30 bis 40 min	40 bis 60 min
6 (zentralafrikanisch)	30 bis 40 min	40 bis 60 min

Bildung von Vitamin D - Winter

- Abnehmender kurzwelliger Anteil bei tiefstehender Sonne in den Wintermonaten
- Fehlendes UV-B hemmt Umsetzung von 7-Dehydrocholesterol zu Vitamin D₃ als Vorstufe des aktiven Calcitriol
- Abhilfe: Urlaub in der Sonne (Speicherung für mehrere Wochen), Ernährung, Solarium



Blaulicht-Therapie

Behandlung von

- Akne
- Neurodermitis
- Gelbsucht
- Schmerzen
-

**Wirkungsoptimum für Hautkrankheiten
bei 415 nm (blauviolett)**



**Spektral optimierte
Fluoreszenzlampen
mit $\alpha\text{-Ba}_3\text{Y}(\text{BO}_3)_3\text{:Eu}$**

Blaulicht-Therapie

Behandlung der Gelbsucht mit blauem Licht

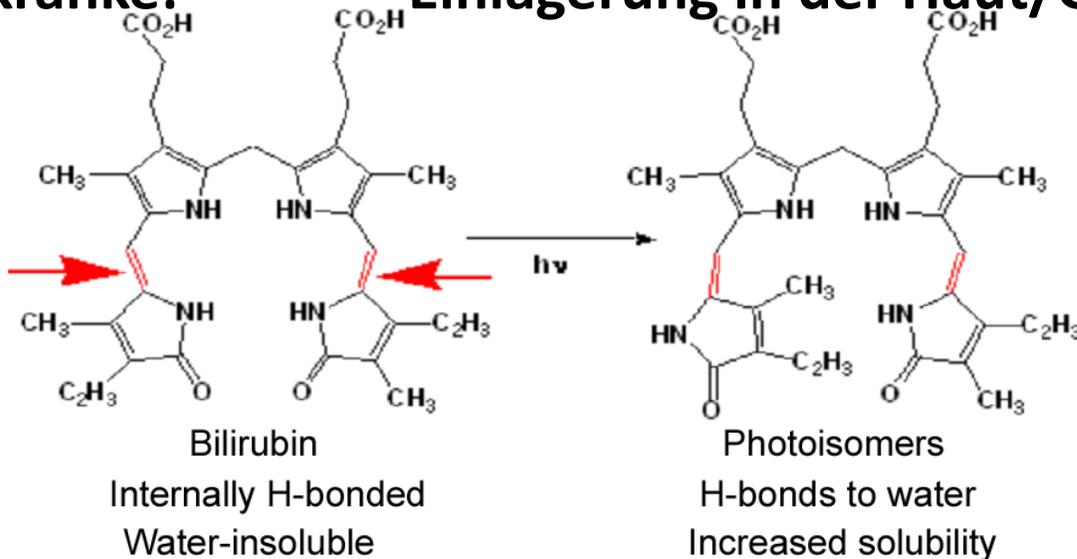
Das gelbe Bilirubin ist ein Abbauprodukt
des Hämoglobinstoffwechsels

Gesunde:

Abbau in Leber + Ausscheidung

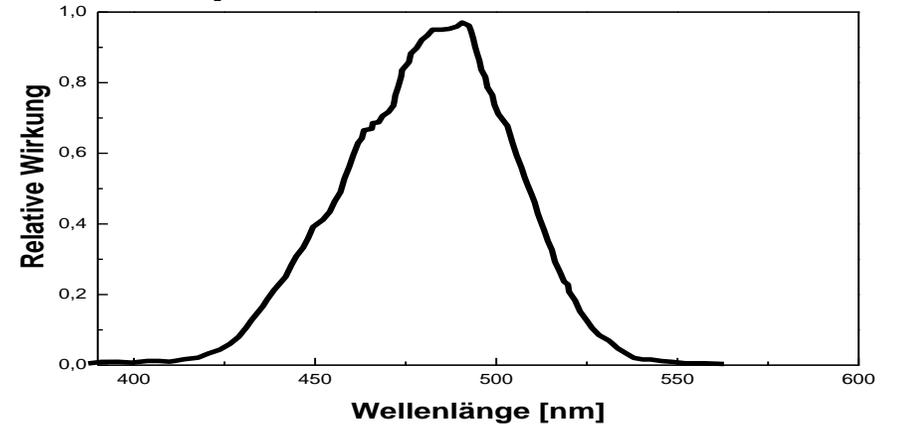
Leberkranke:

Einlagerung in der Haut/Gehirn

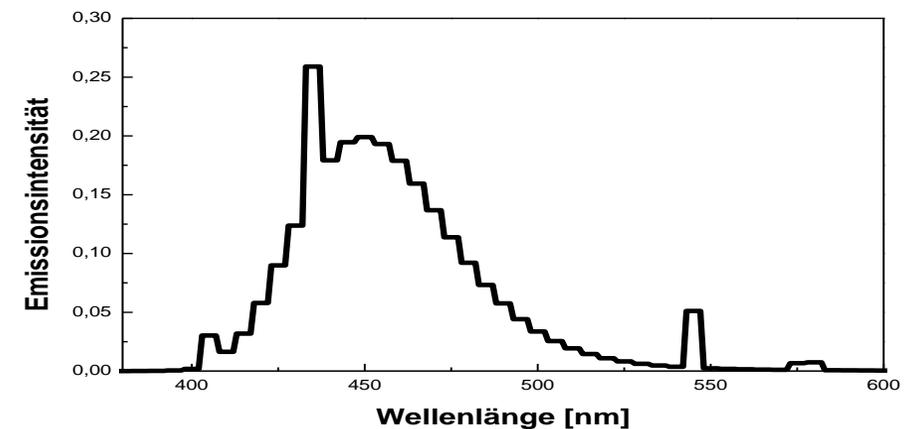


Bilirubin (wasserunlöslich) → Lumirubin (wasserlöslich)

Aktionsspektrum des Bilirubinabbaus



Emissionsspektrum einer „Bilirubinlampe“

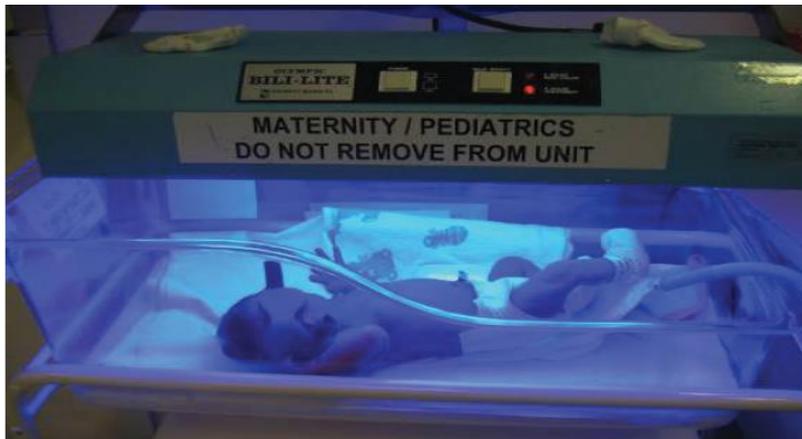


Blaulicht-Therapie

Neugeborenen-Ikterus (Gelbsucht)

Direkt nach der Geburt ist die Leber noch „unreif“:

- Unzureichender Abbau des Bilirubins
- Bestrahlung mit blauem Licht (460 nm)
- Lumirubin wird über die Nieren ausgeschieden



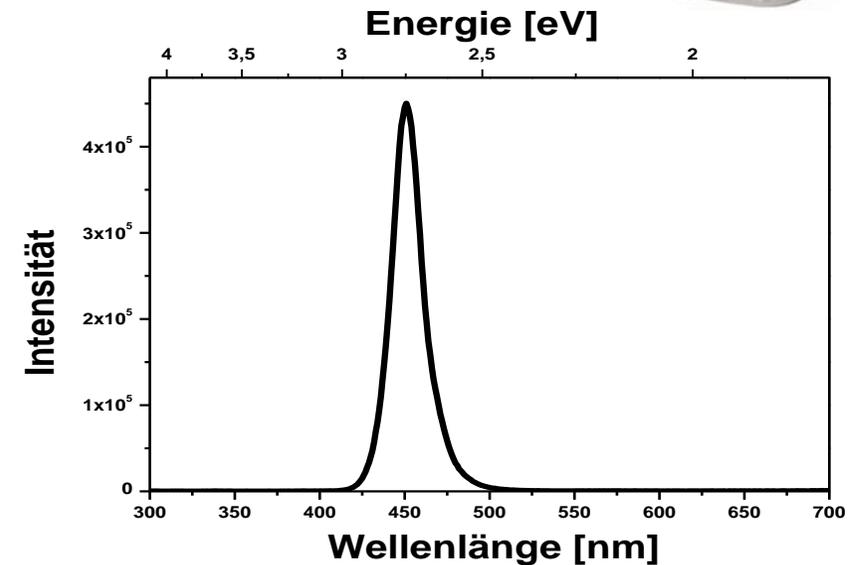
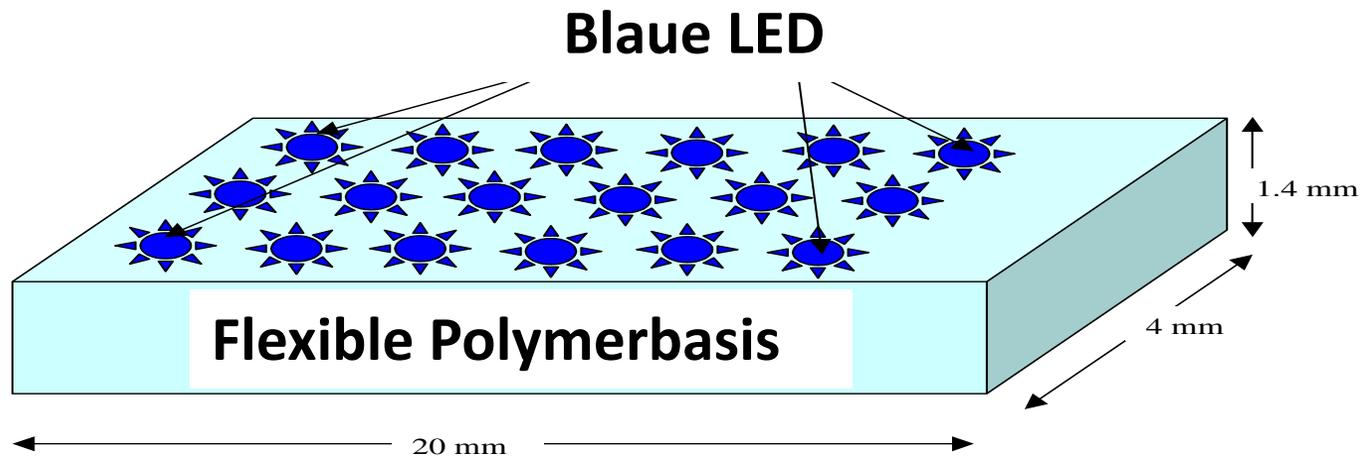
Philips Lampen F20T12/BB bzw. F40/BB



Blaulicht-Therapie

Schmerztherapie mit blauem Licht

→ Photochemische Bildung des Neurotransmitters Stickstoffmonoxid NO



The background of the slide is a landscape photograph of a field with a lake in the distance under a blue sky with white clouds. The right side of the slide is decorated with blue geometric patterns: a white rectangle containing the word 'Fazit', diagonal blue stripes, and a blue and white striped pattern at the bottom right.

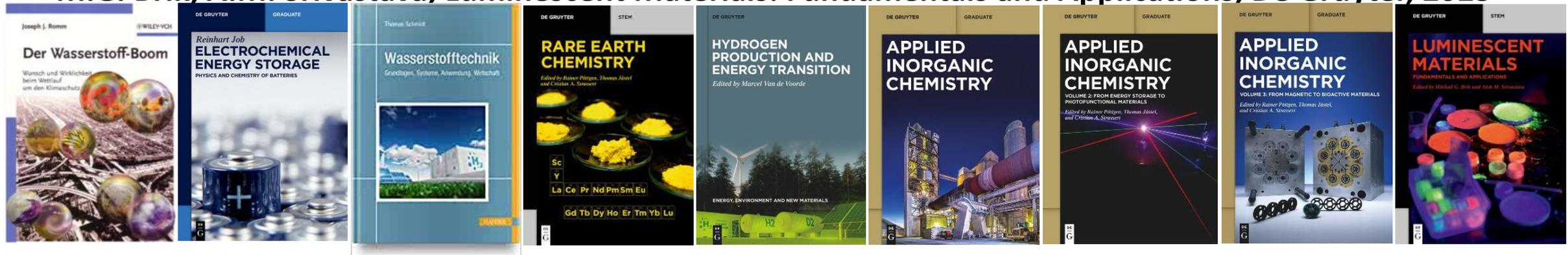
Fazit

Fazit

- **Entwicklungen in der Lichttechnik zunächst getrieben von Energieeffizienz, Lebensdauer und Kosten**
- **Entwicklung besserer künstlicher Lichtquellen wird durch das Verständnis chemischer Prozesse und neuer Materialien ermöglicht**
- **Komplexes Zusammenspiel von Licht und Organismen mit hoher Adaptation an natürliche Gegebenheiten**
- **Physiologische Konsequenzen für Mensch und Tier durch künstliche Beleuchtung erst in Ansätzen verstanden**
- **„Human Centric Lighting (HCL)“: Biologisch wirksame Beleuchtung unter Berücksichtigung der visuellen, emotionalen & physiologischen Wirkungen**

Literatur

- R. Heinz, Grundlagen der Lichterzeugung – von der Glühlampe bis zum LASER, Highlight-Verlag, 2004
- M. Born, T. Jüstel, Elektrische Lichtquellen, Chemie in unserer Zeit 40 (2006) 294
- T. Jüstel, S. Möller, H. Winkler, W. Adam, Luminescent Materials in Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Vol. A1-28, Wiley-VCH (2012)
- R. Pöttgen, T. Jüstel, C. Strassert, Rare Earth Chemistry, De Gruyter, 2020
- M van der Voorde, Hydrogen Production and Energy Transition, De Gruyter, 2021
- R. Job, Electrochemical Energy Storage, De Gruyter, 2020
- R. Pöttgen, T. Jüstel, C. Strassert, Applied Inorganic Chemistry, De Gruyter, 2022
- T. Schmidt, Wasserstofftechnik, Hanser, 2. Auflage, 2022
- M.G. Brik, A.M. Srivastava, Luminescent Materials: Fundamentals and Applications, De Gruyter, 2023





Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

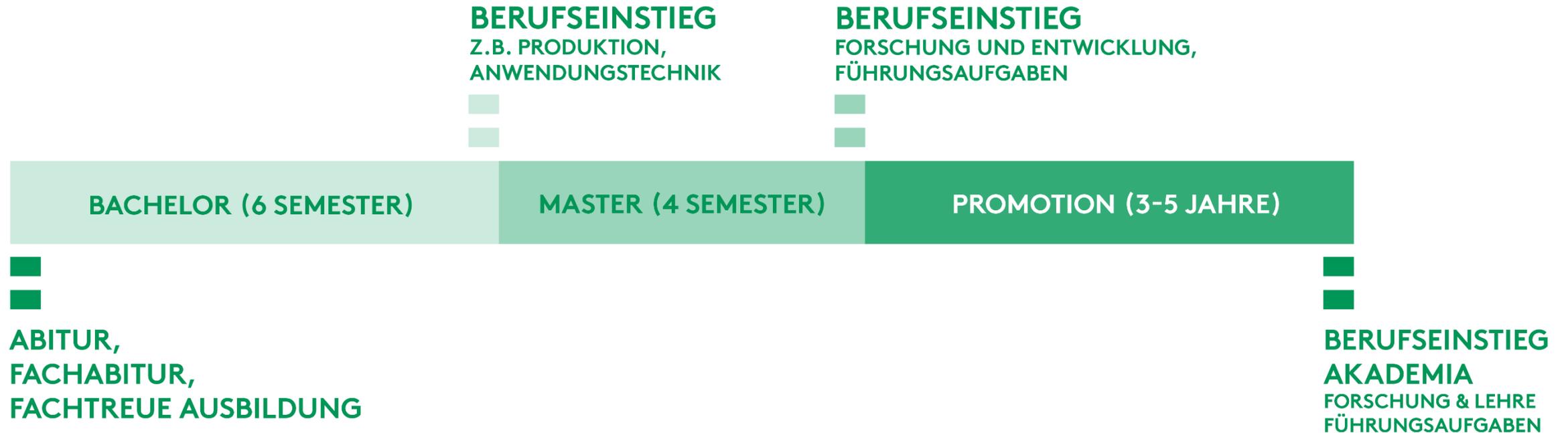


**Nebrascaplate, 2024 n. Chr.
durch 3D Druck mit Afterglow-
Leuchtstoff auf PLA-Basis**

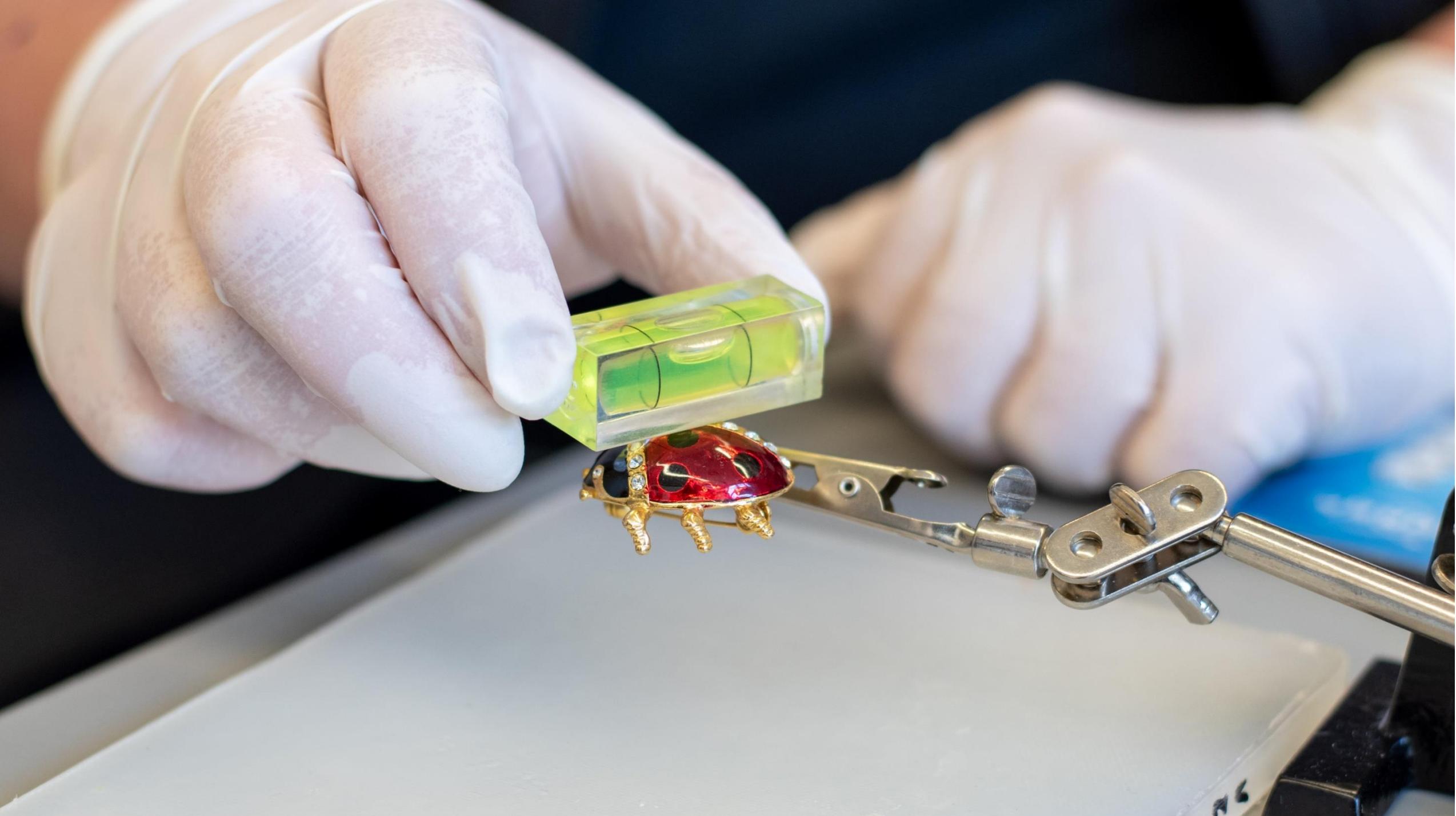
STUDIERN AM TECHNOLOGIE- CAMPUS STEINFURT



STUDIUM BACHELOR + MASTER







STUDENTISCHES LEBEN AM TECHNOLOGIE-CAMPUS STEINFURT

VORLESUNGEN UND ÜBUNGEN

Moderne Hörsäle mit Streaming-Technik
Präsenz- und Online-Lehre
Kleine Übungsgruppen & enger Kontakt zur Professorenschaft

PRAKTIKA

Analytische, chemische und technische Labore
Campus-Cluster
Laserzentrum
Maker Space

TUTORIEN + MENTOREN

Studierende „höherer Semester“ helfen den Studierenden im ersten und zweiten Semester
Möglichkeit, um nebenbei Geld zu verdienen



STUDENTISCHES LEBEN AM TECHNOLOGIE-CAMPUS STEINFURT

BIBLIOTHEK

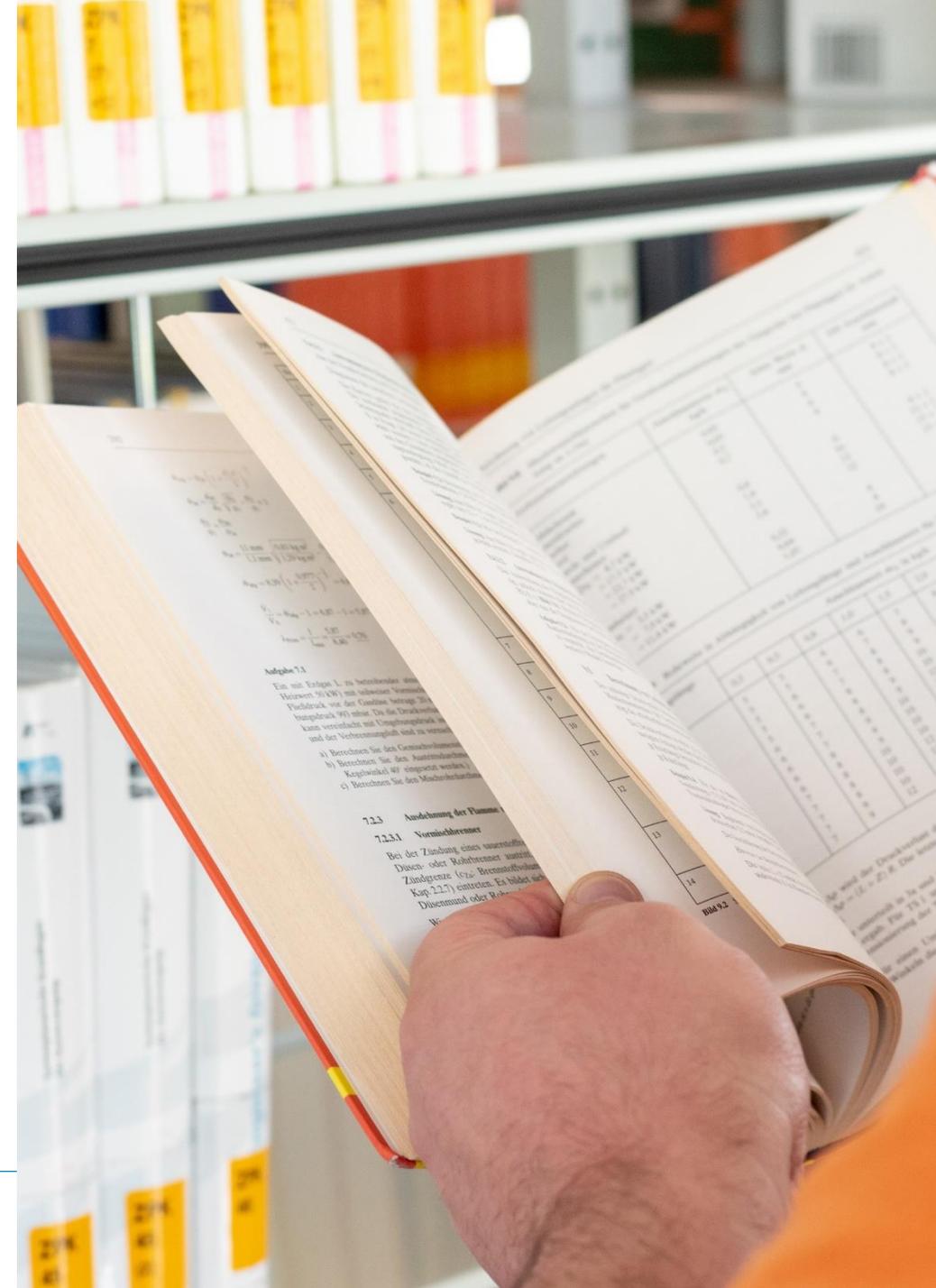
Unzählige Fachbücher
Zugang zu elektronischen Ressourcen
(Fachzeitschriften, Datenbanken)
Schulungen

MENSA

Treffpunkt mit Snacks, Getränken und Mittagessen
Außenterrasse

FACHSCHAFT / ASTA

Veranstaltungen, Kiosk, Beratung
Freizeitgestaltung, Gemeinschaftsprojekte
Student House mit Sportmöglichkeiten





FH MÜNSTER
University of Applied Sciences

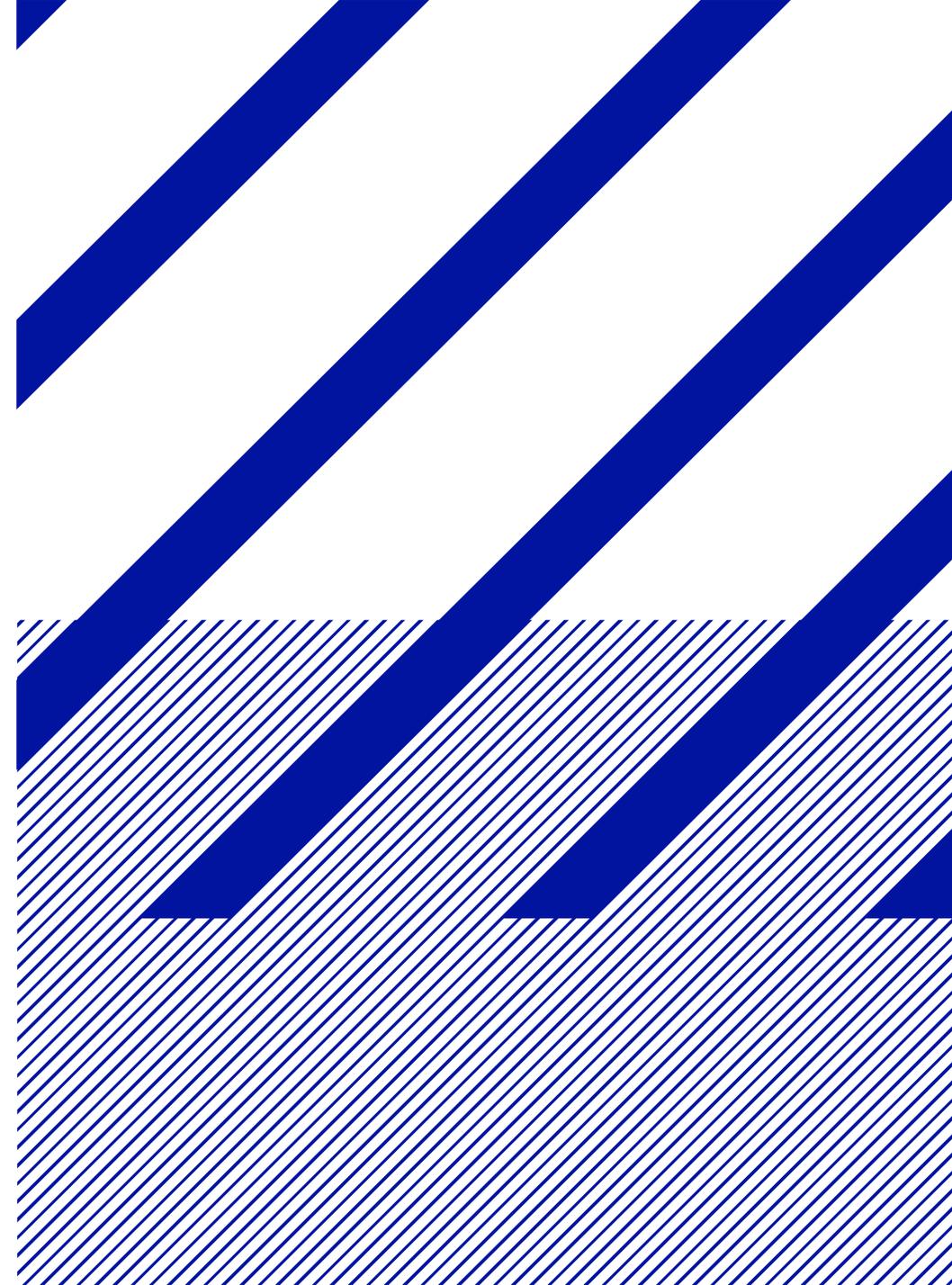
CIW

FB Chemieingenieurwesen
Department of Chemical Engineering

Orientierungsstudium

am Technologie-Campus Steinfurt

Ab Oktober 2024 (Wintersemester 2024/25)



Orientierungsstudium

am Technologie-Campus Steinfurt

Das Orientierungsstudium bietet fachliche Orientierung für angehende Studierende !

- **Erste Einblicke in die verschiedenen Studiengänge in Steinfurt**
- **Fachübergreifendes Grundlagenwissen ausbauen und vertiefen**
- **Mehr Zeit zur Studienentscheidung**
- **Realistische Einblicke ins Berufsleben**
- **Schlüsselkompetenzen**

Orientierungsstudium

am Technologie-Campus Steinfurt

1. Semester

2. Semester

Individueller Studienverlauf

→ Angleichungsmodule

→ Basismodule

→ Perspektivmodule

→ Praxismodule

**Beratung, Orientierung und
Schlüsselkompetenzen**

Orientierungsstudium

am Technologie-Campus Steinfurt

Informationen zum Orientierungsstudium finden Sie auf unsere Webseite:



**Auf dieser Seite können Sie sich in die Interessiertenliste eintragen.
Frau Stefanie Schäfer wird Sie zeitnah über die Details zum Studium informieren.**