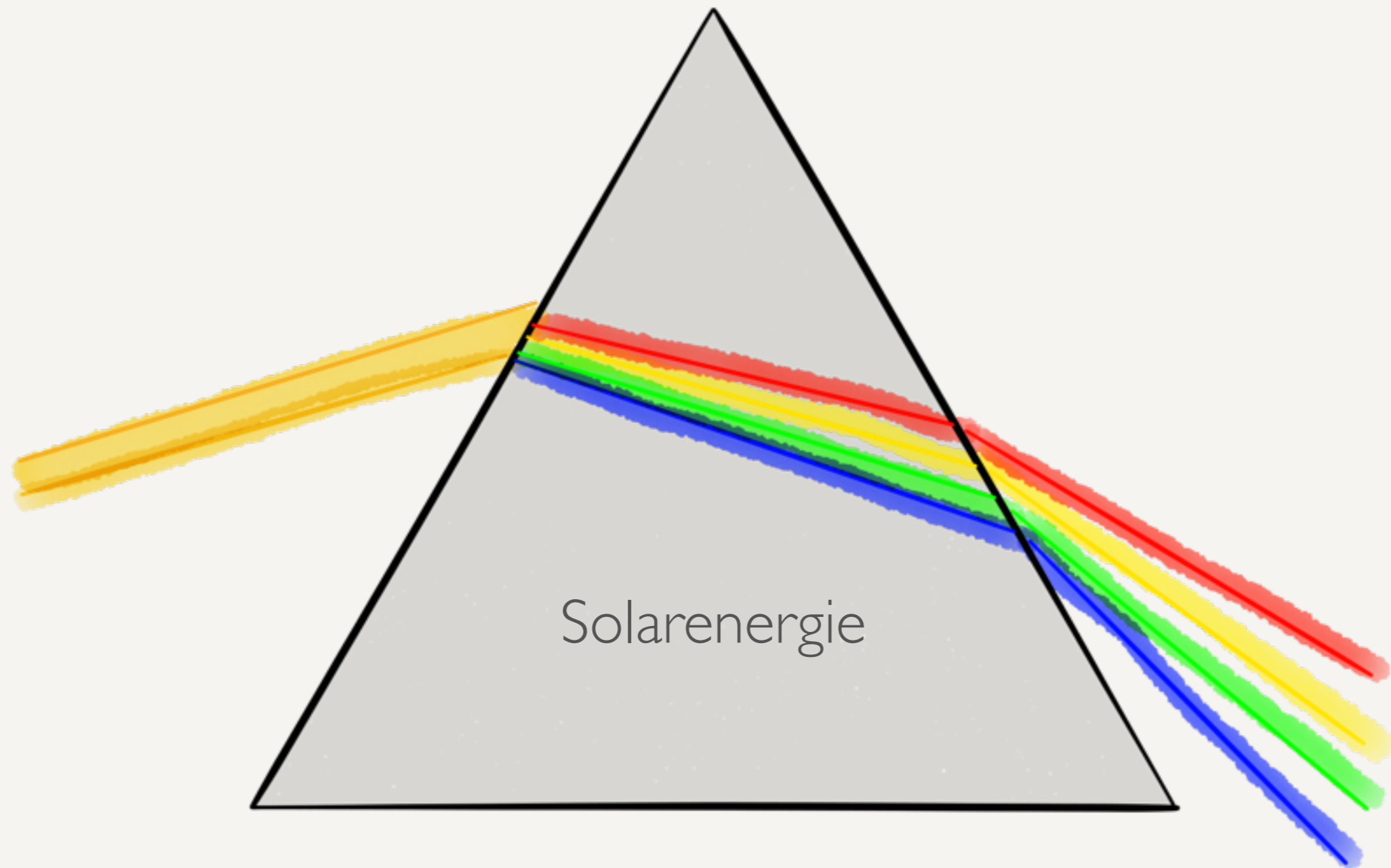


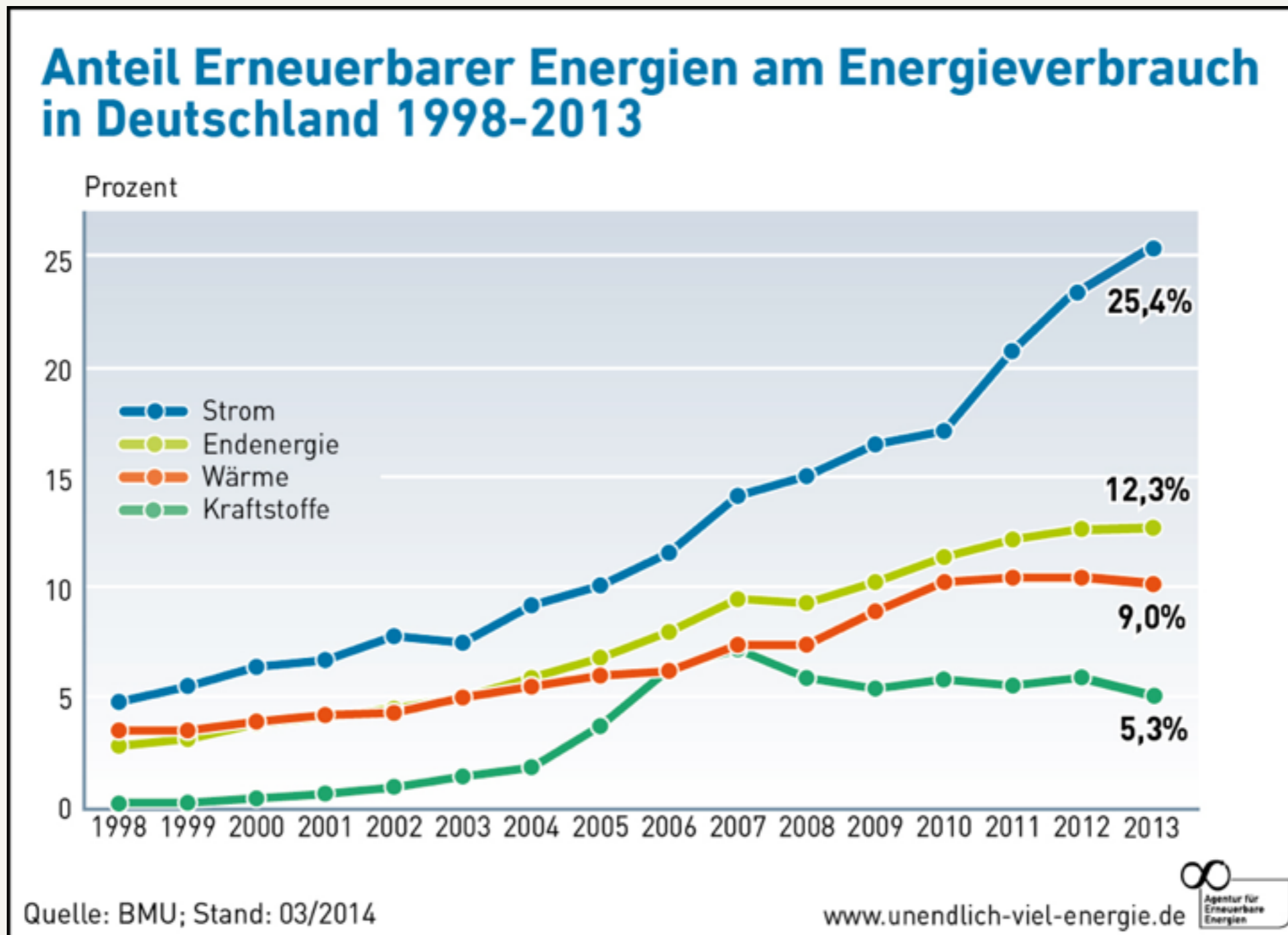
# Photonik

## Technische Nutzung von Licht

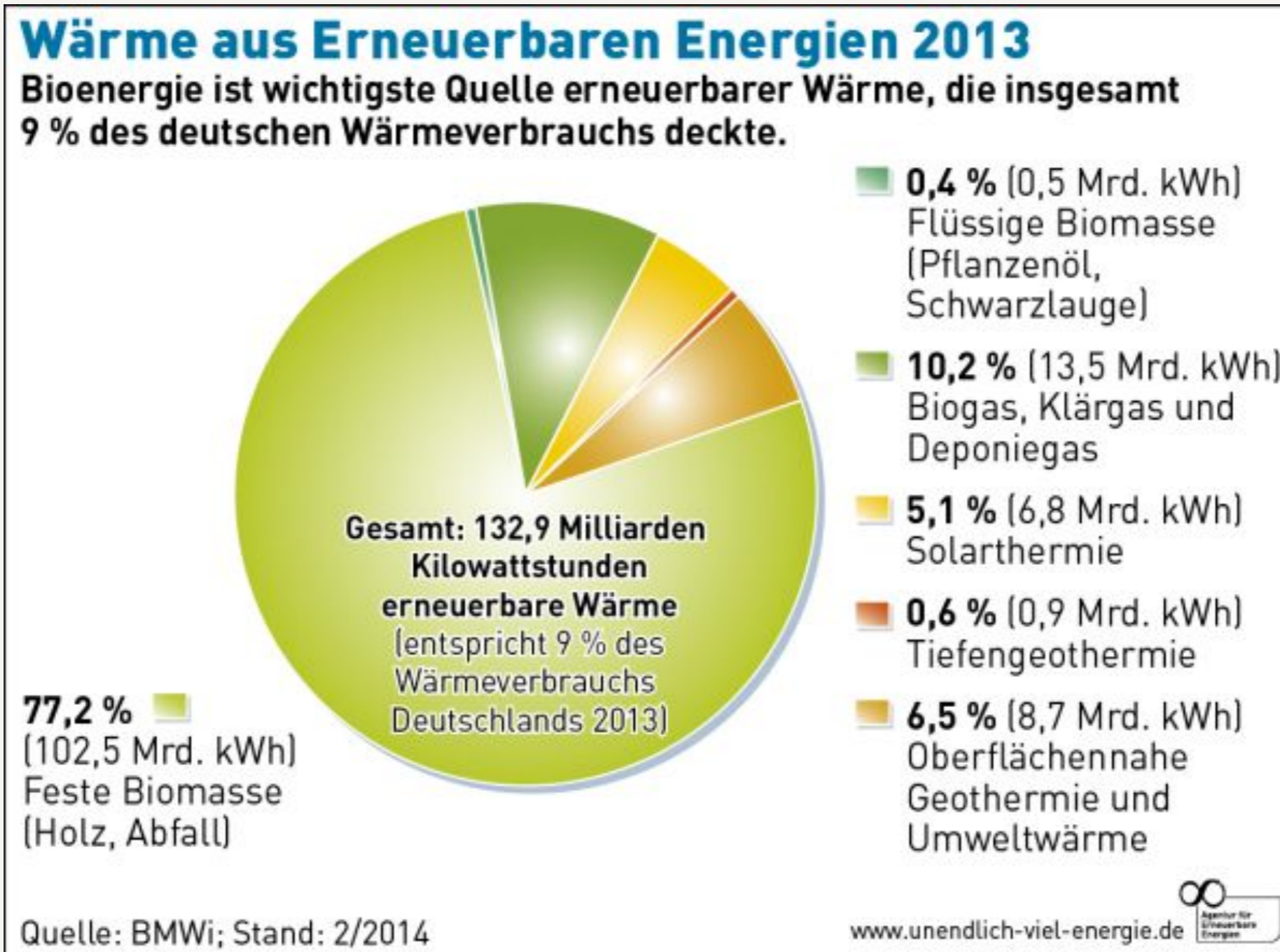


# Energie in Deutschland

# Anteil der erneuerbaren Energien

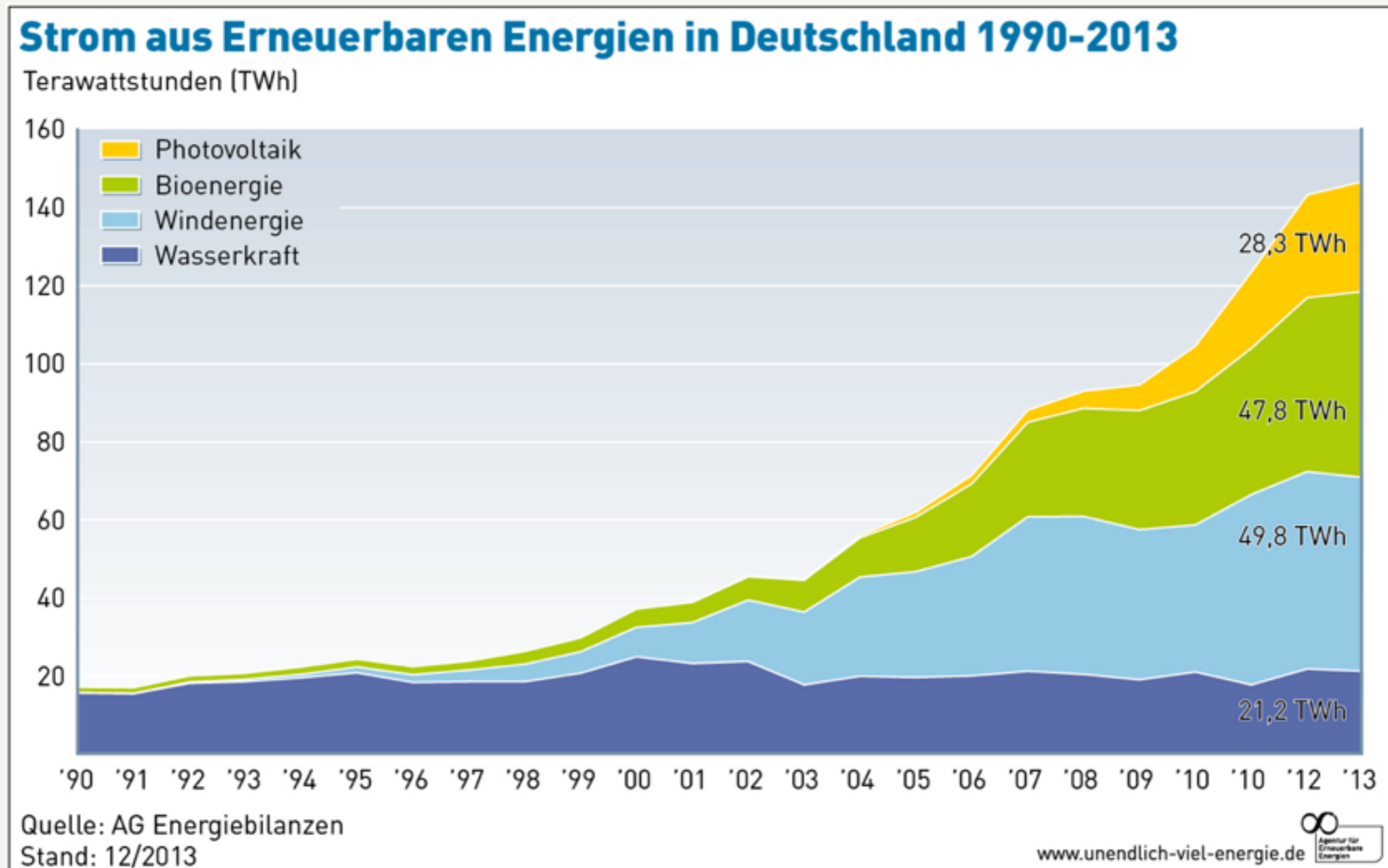


# Wärme aus erneuerbaren Energien



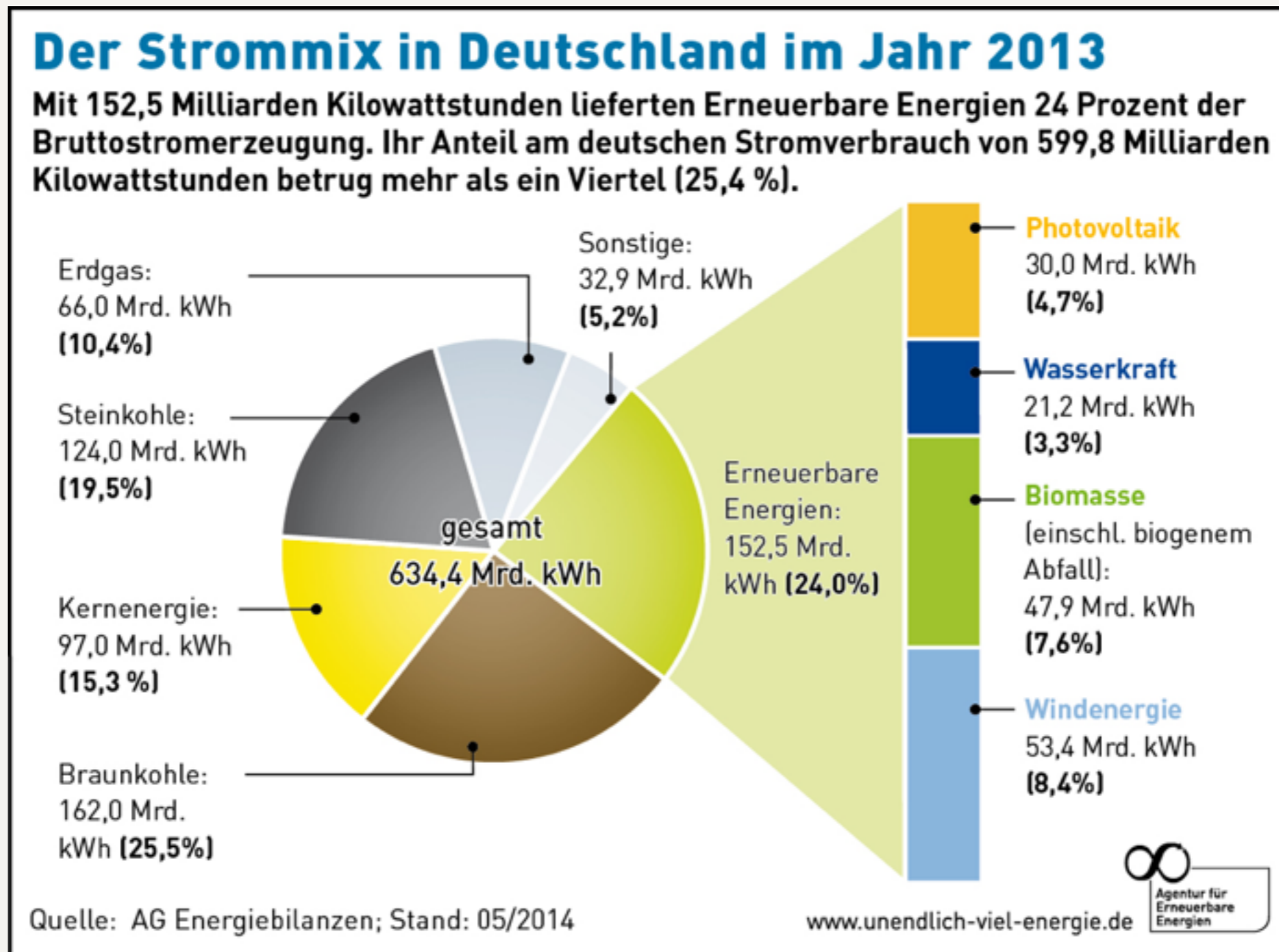
<http://www.unendlich-viel-energie.de/mediathek/grafiken/waerme-aus-erneuerbaren-energien>

# Strom aus erneuerbaren Energien



<http://www.unendlich-viel-energie.de/mediathek/grafiken/entwicklung-der-stromerzeugung-aus-erneuerbaren-energien>

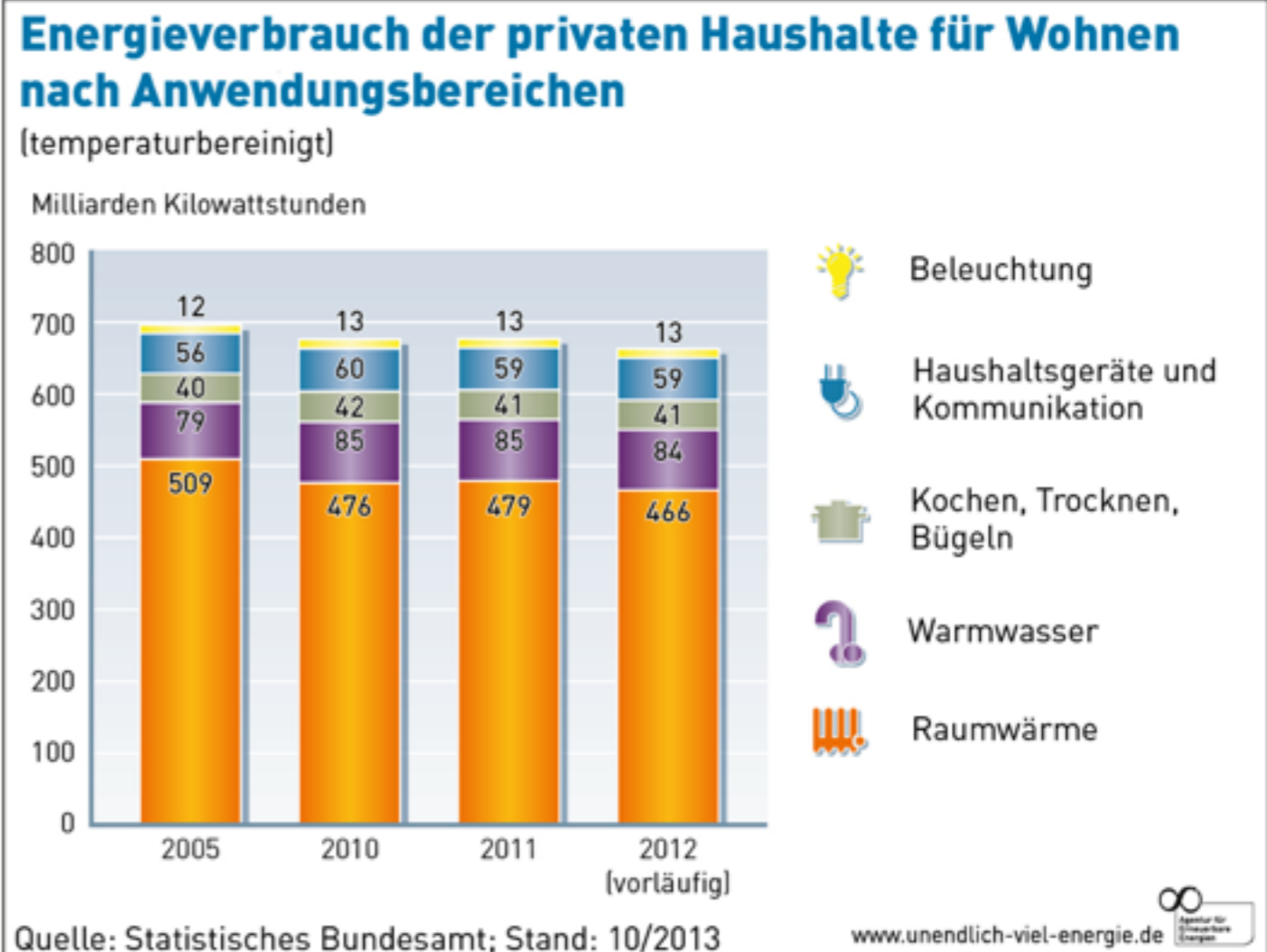
# Strommix Deutschland 2013



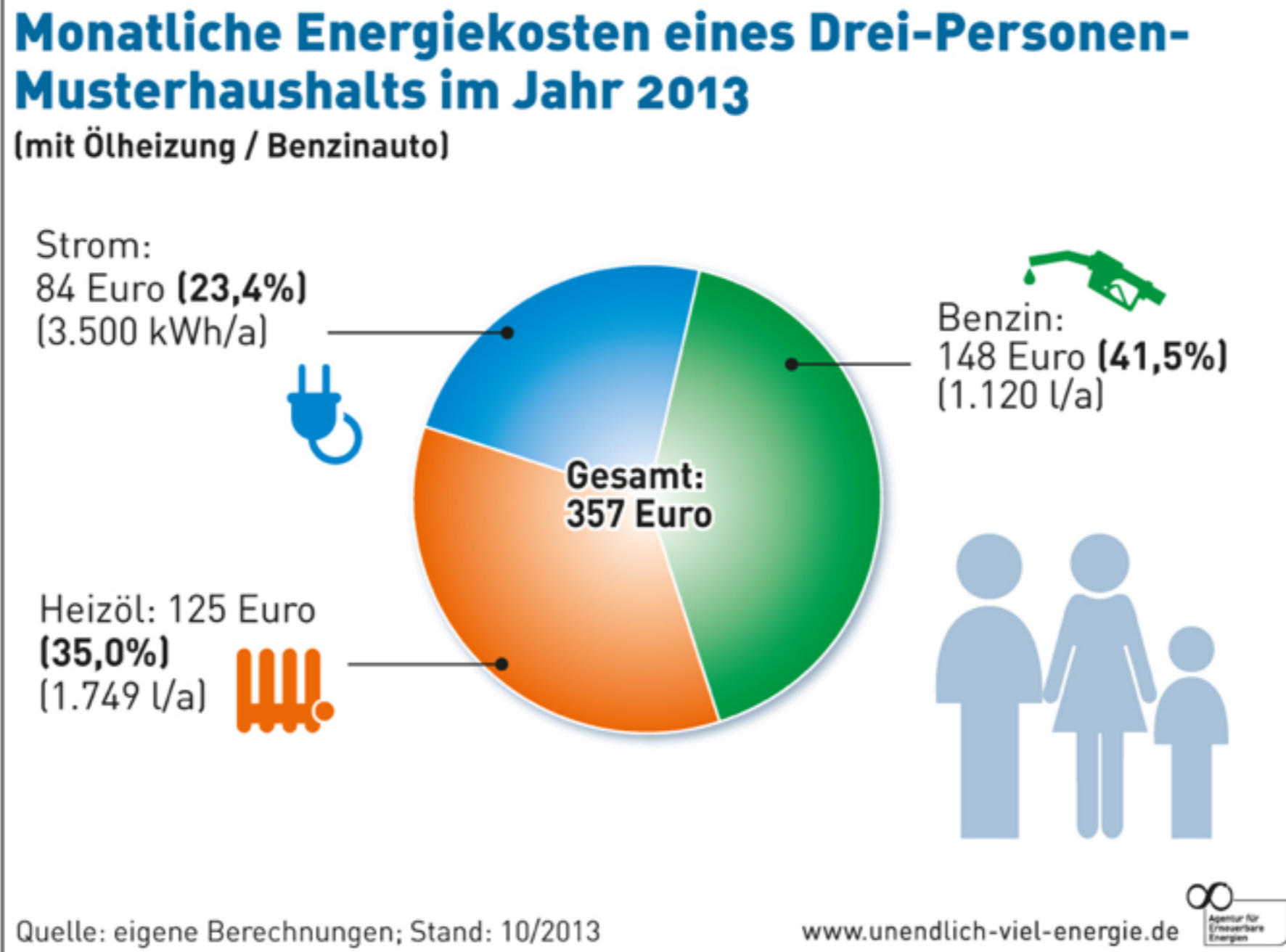
<http://www.unendlich-viel-energie.de/mediathek/grafiken/strommix-in-deutschland-2013>

# Energieverbrauch privater Haushalte

„Grund für sinkende Verbräuche von Öl und Gas sind nach Aussage der Agentur für Erneuerbare Energien neben **Dämm- und Sanierungsmaßnahmen** auch der verstärkte Einsatz energieeffizienter Heizungstechnik auf Basis **erneuerbarer Energien**“.



# Energiekosten



<http://www.unendlich-viel-energie.de/mediathek/grafiken/energiekosten-in-privathaushalten>

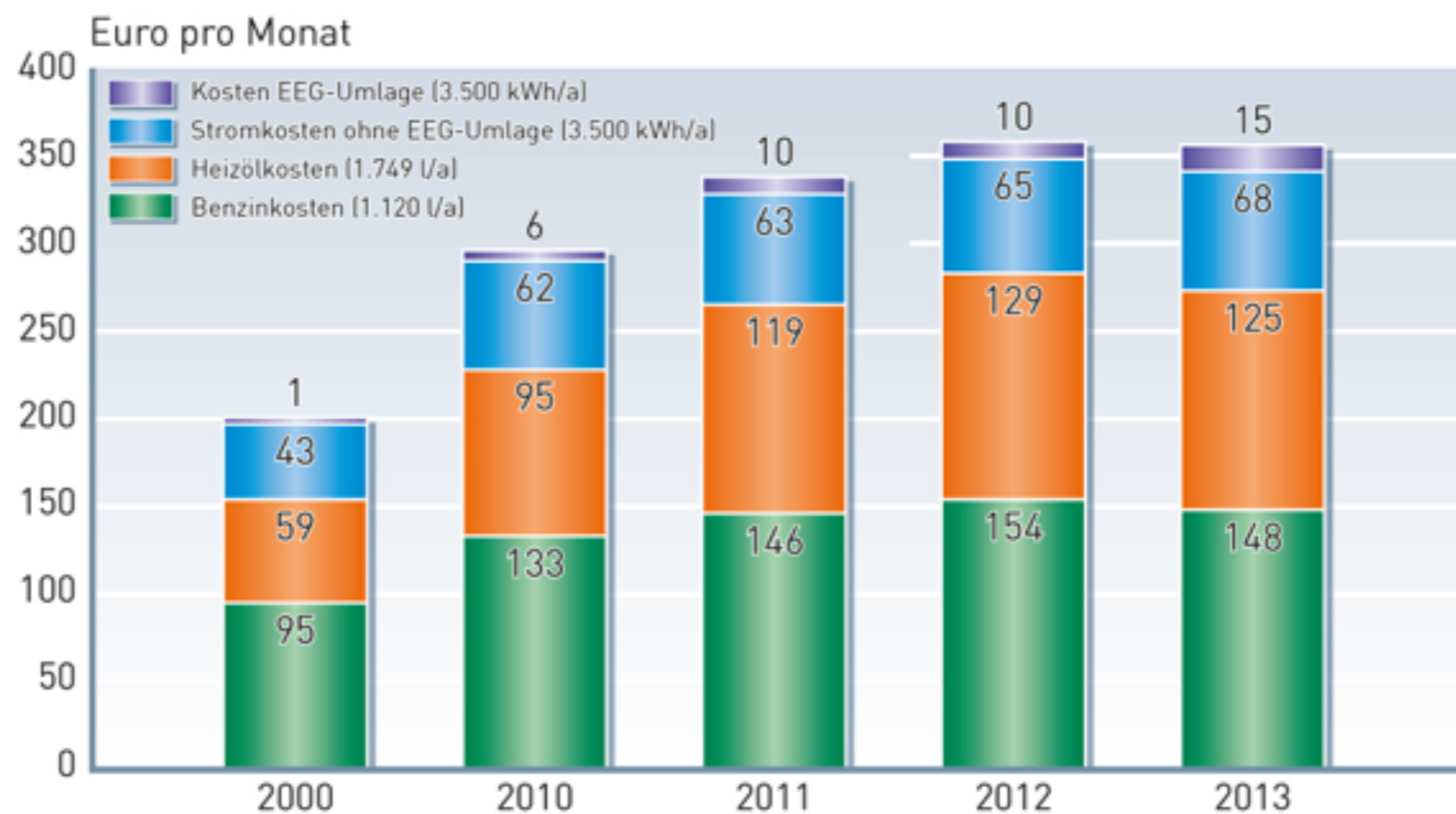


# Energiekosten

## Entwicklung der monatlichen Energiekosten eines Drei-Personen-Musterhaushalts

(mit Ölheizung / Benzinauto)

Seit dem Jahr 2000 mussten Privathaushalte die größten Kostensteigerungen für Heizöl hinnehmen. Die Stromrechnung macht knapp ein Viertel der Energiekosten aus.



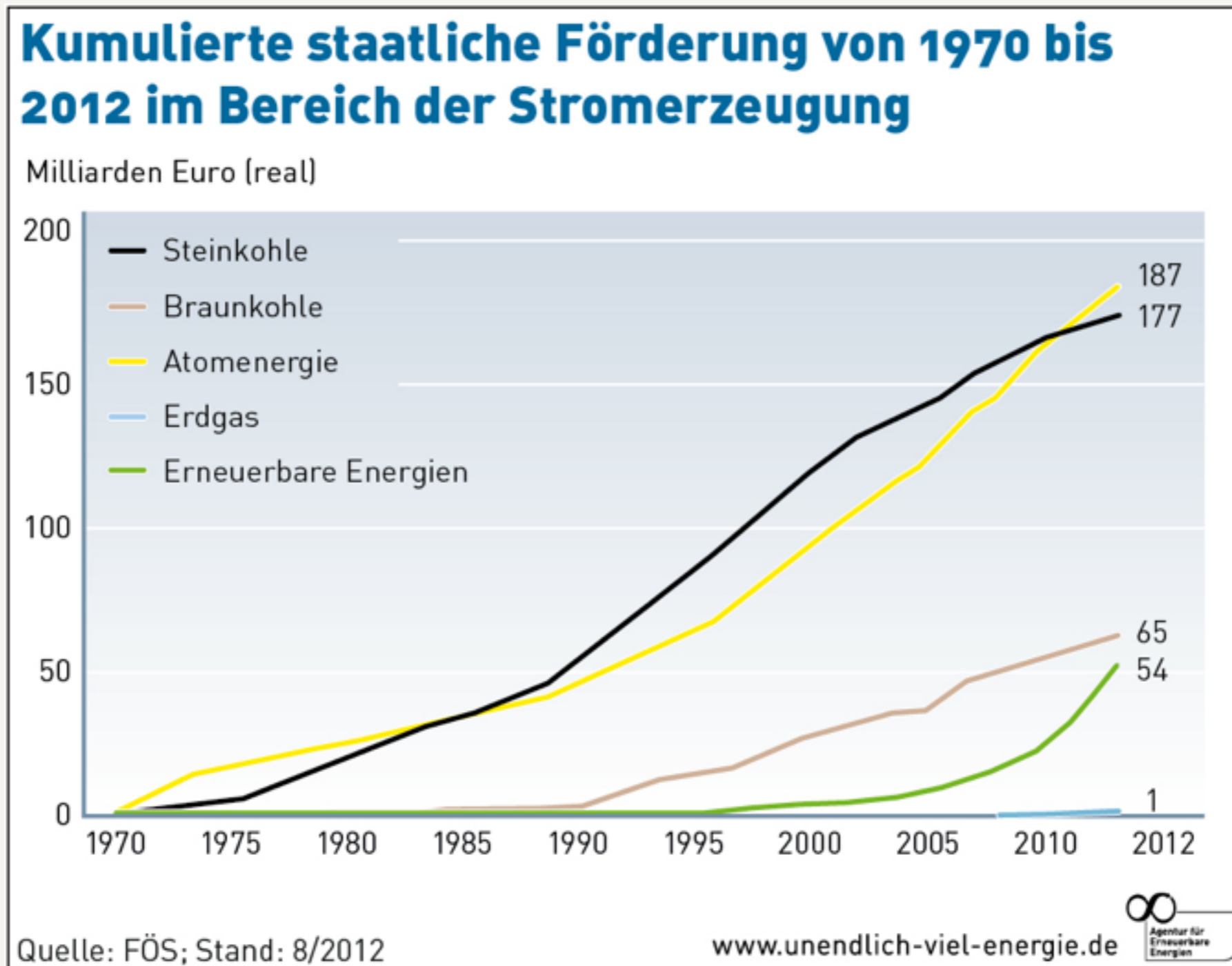
Quelle: eigene Berechnungen; Stand: 10/2013

www.unendlich-viel-energie.de



<http://www.unendlich-viel-energie.de/mediathek/grafiken/energiekosten-in-privathaushalten>

# Staatliche Förderung



# Photovoltaik in Deutschland

Stand Ende 2013:

- 35.7 GW installierte Leistung
- 7.6 GW Zubau 2012
- 30 Mrd. kWh erzeugter Strom
- 5% des gesamten deutschen Brutto-Stromverbrauchs

[http://www.erneuerbare-energien.de/unsere-service/mediathek/downloads/detailansicht/artikel/erneuerbare-energien-2012/?tx\\_ttnews\[backPid\]=233&cHash=4b6d2da9262353e8021c2a30b2b6db87](http://www.erneuerbare-energien.de/unsere-service/mediathek/downloads/detailansicht/artikel/erneuerbare-energien-2012/?tx_ttnews[backPid]=233&cHash=4b6d2da9262353e8021c2a30b2b6db87)

Vergleich mit anderen Ländern:

<http://volker-quaschnig.de/datserv/pv-welt/index.php>

English | www.bmu.de | Kontakt | Impressum | Suche Ok

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

Erneuerbare Energien

DIE THEMEN

- Solarenergie
- Windenergie
- Wasserkraft
- Bioenergie
- Geothermie
- Förderung
- Forschung
- Netzintegration erneuerbarer Energien
- Plattform Erneuerbare Energien
- Gesetze / Verordnungen
- EU / International
- Datenservice
- Arbeitsplatzeffekte / Qualifizierung / Akzeptanz
- Studien
- Bildungsmaterialien

UNSER SERVICE

- Presse
- Reden
- Parl. Vorgänge

Mediathek

- Fotogalerien
- Downloads
- Publikationen
- Filme
- Termine

Startseite >> Mediathek >> Downloads

Stand: Feb. 2013

**Bericht "Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland im Jahr 2012"**

Daten des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland im Jahr 2012 auf der Grundlage der Angaben der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Statistik), vorläufige Angaben, Stand 28. Februar 2013

**Erneuerbare Energien 2012, PDF (138 KB)**

▶ Bitte beachten Sie auch die Hinweise zum Download.

▶ [Zurück zur Seite Publikationen](#)

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit Impressum D

# Solarthermie in Deutschland

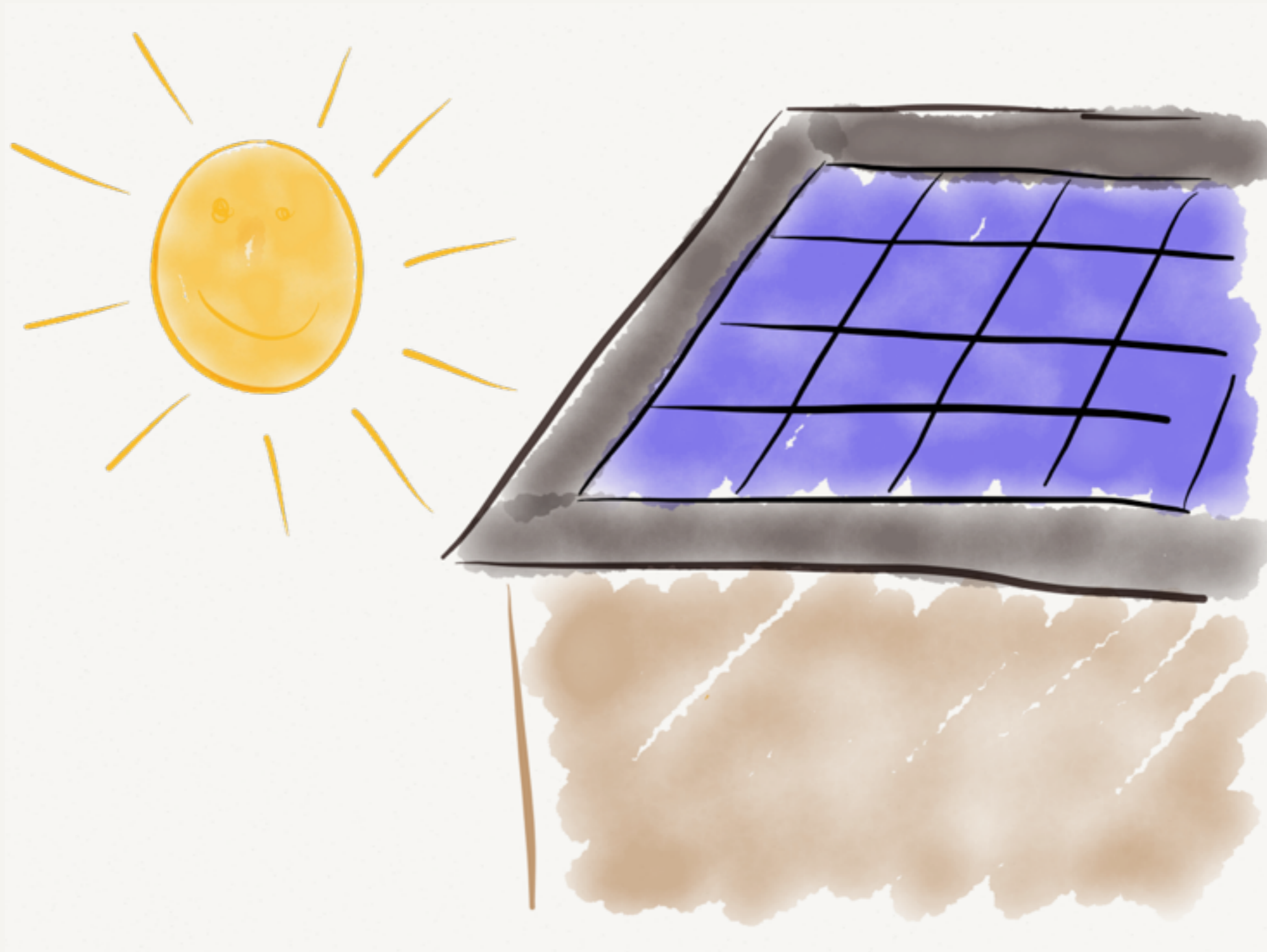
- 16,3 Mio. m<sup>2</sup> installierte Kollektorfläche
- 1,15 Mio. m<sup>2</sup> Zubau 2012
- 6 Mrd. kWh erzeugte Wärme
- 0.4% des gesamten deutschen Brutto-Wärmeverbrauchs
- ca. 4% Anteil an der erneuerbaren Wärme

The screenshot shows the website of the German Federal Government, specifically the Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety (BMU). The page is titled "Erneuerbare Energien" (Renewable Energy) and features a navigation menu with categories like "DIE THEMEN" (Topics) and "UNSER SERVICE" (Our Service). The main content area displays a report titled "Bericht 'Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland im Jahr 2012'" (Report 'Development of Renewable Energy in Germany in 2012'), dated February 2013. The report is available as a PDF download (138 KB). The page also includes a search bar and a footer with contact information and a disclaimer.

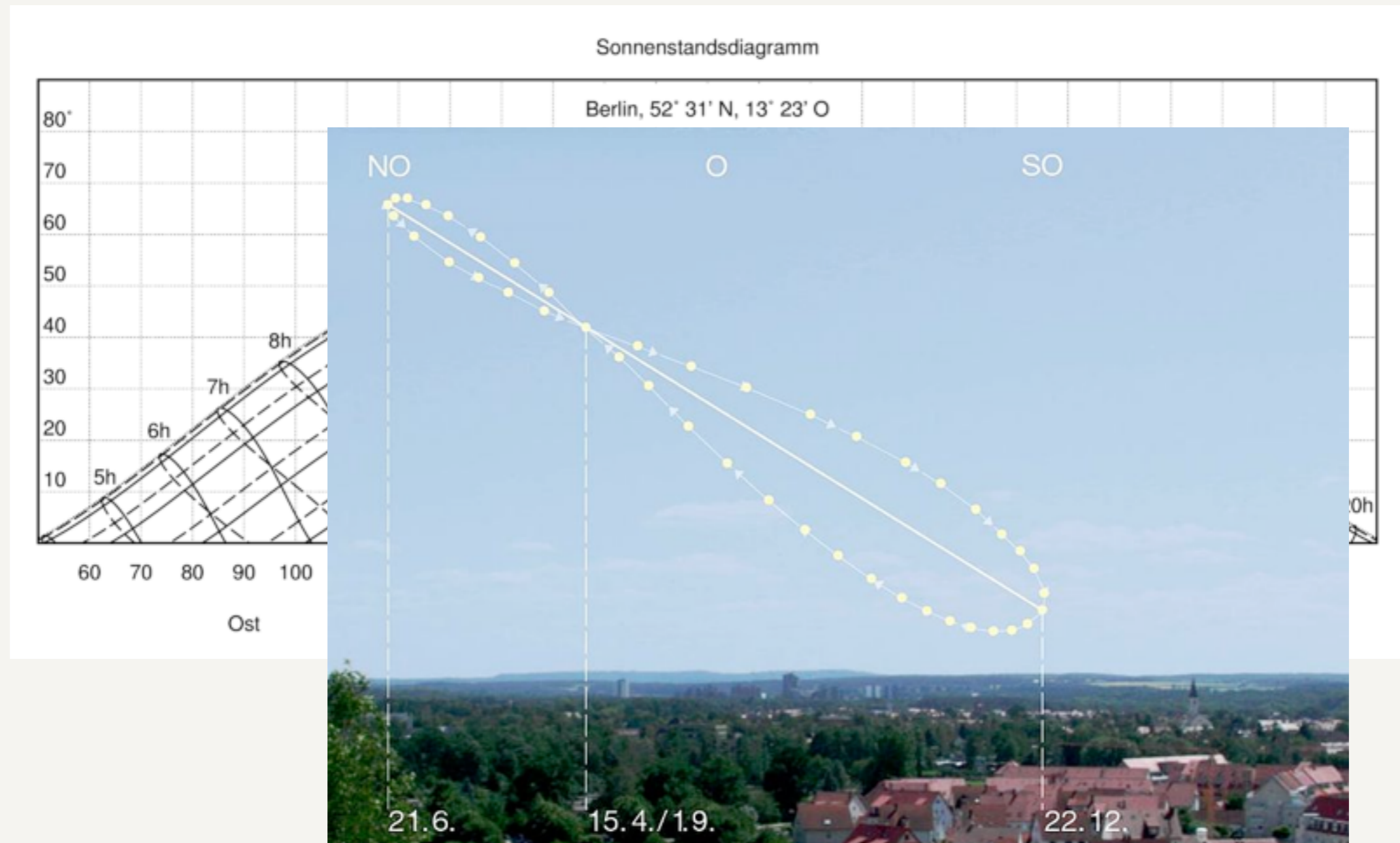
[http://www.erneuerbare-energien.de/unser-service/mediathek/downloads/detailansicht/artikel/erneuerbare-energien-2012/?tx\\_ttnews\[backPid\]=233&cHash=4b6d2da9262353e8021c2a30b2b6db87](http://www.erneuerbare-energien.de/unser-service/mediathek/downloads/detailansicht/artikel/erneuerbare-energien-2012/?tx_ttnews[backPid]=233&cHash=4b6d2da9262353e8021c2a30b2b6db87)

Sonne

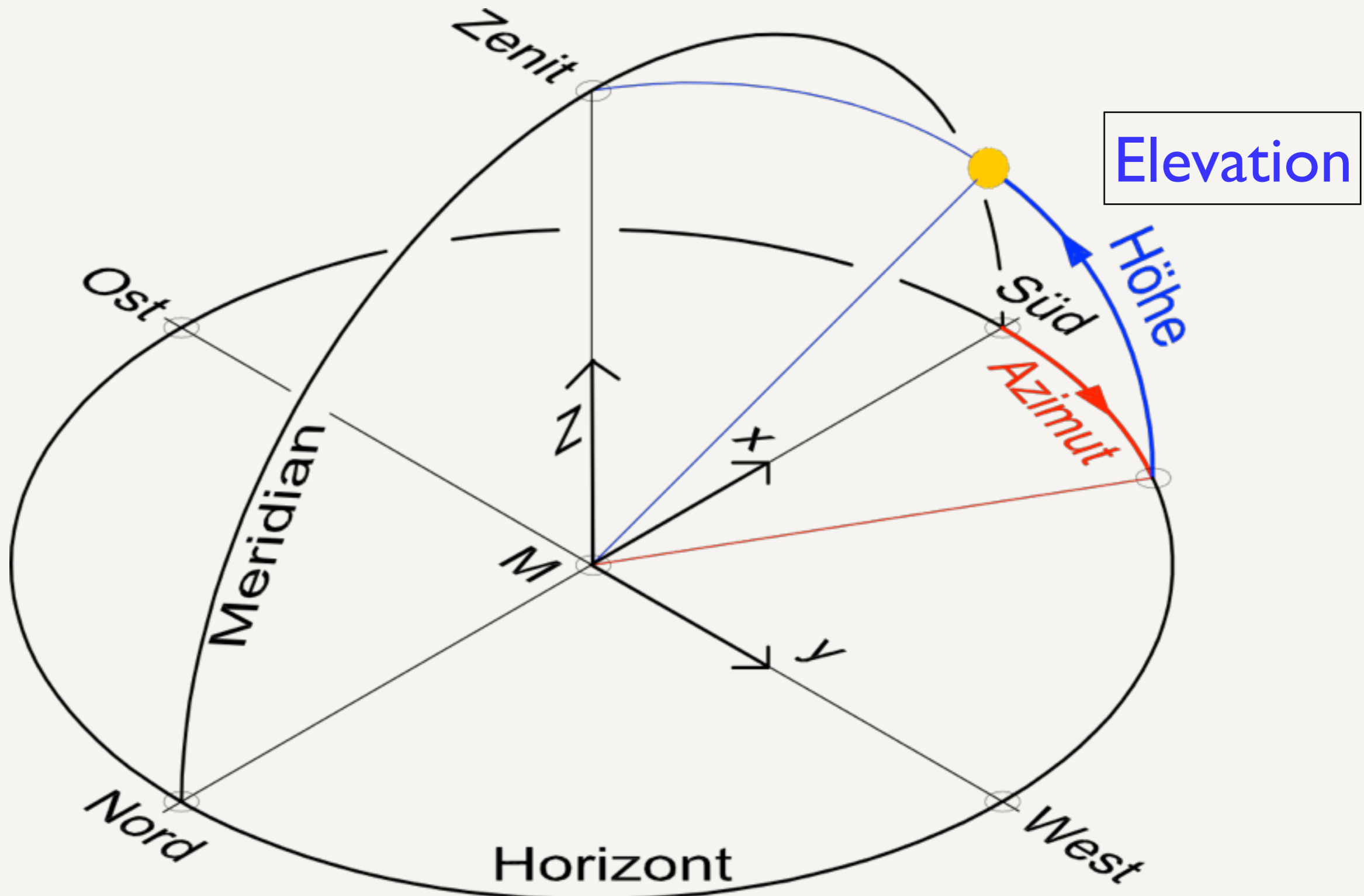
# Sonnenstand



# Sonnenstand im Laufe des Tages und des Jahres

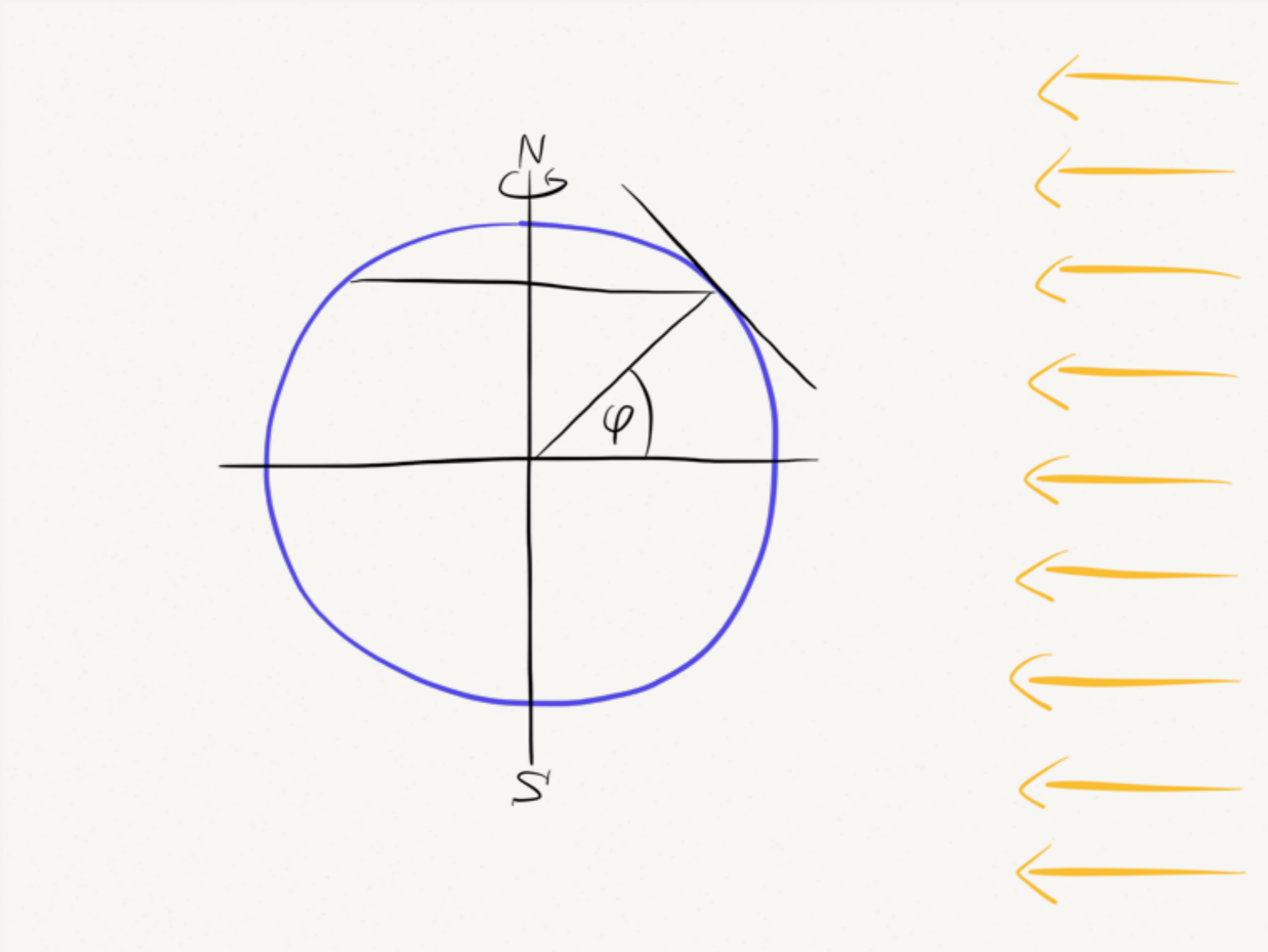


# Elevation und Azimuth





# Deklination

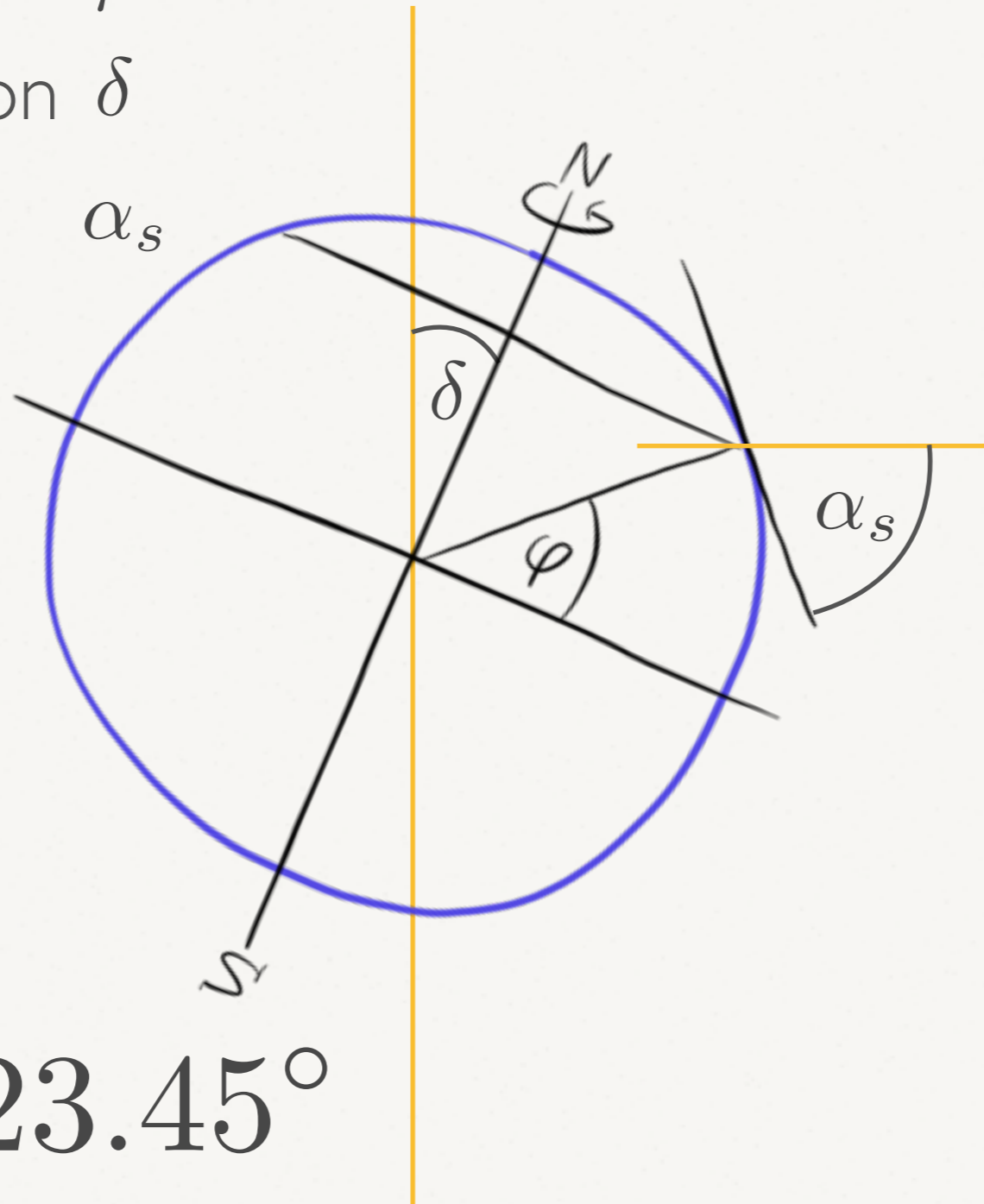


# Deklination

Breitengrad  $\varphi$

Deklination  $\delta$

Elevation  $\alpha_s$



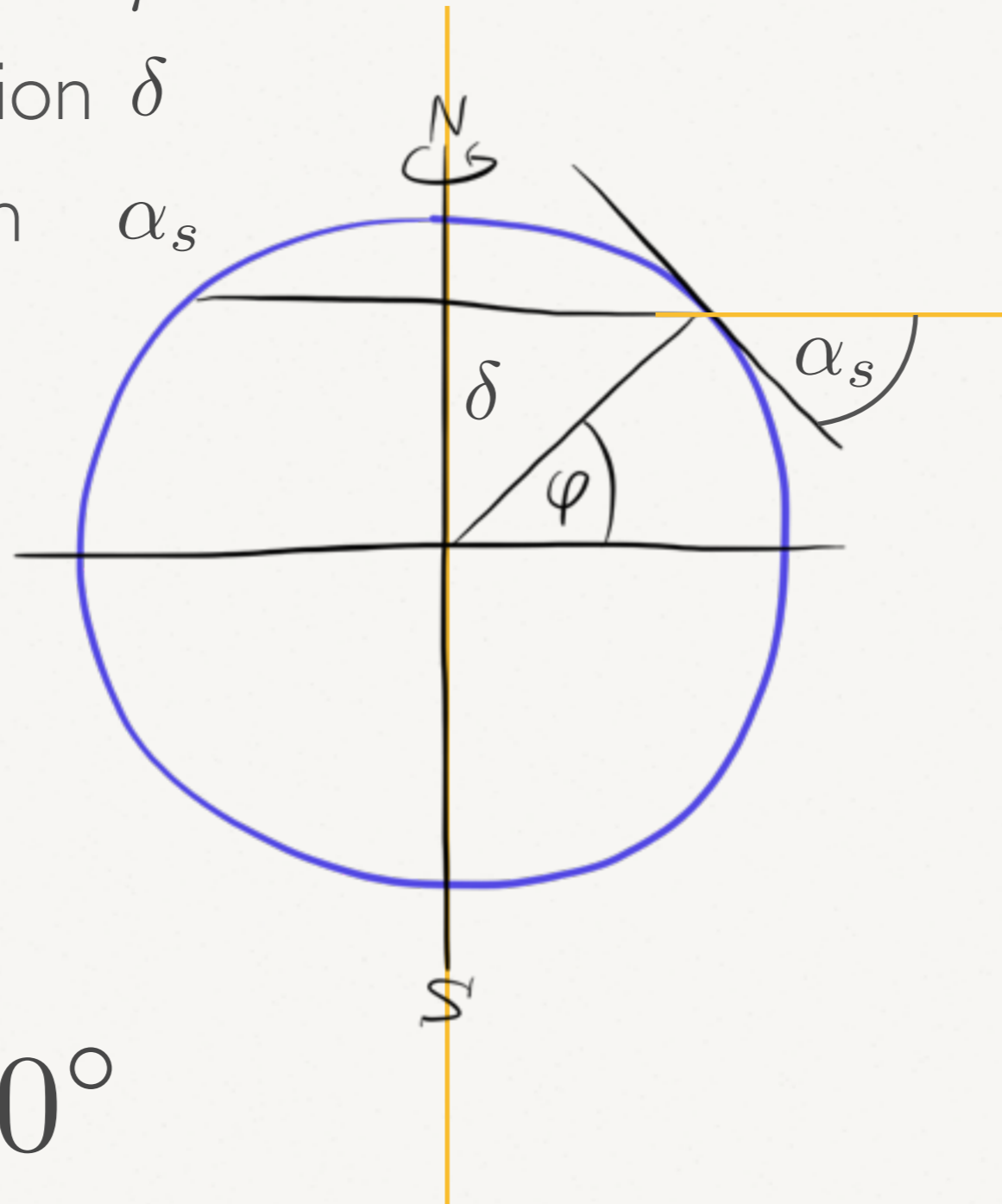
$$\delta = 23.45^\circ$$

# Deklination

Breitengrad  $\varphi$

Deklination  $\delta$

Elevation  $\alpha_s$



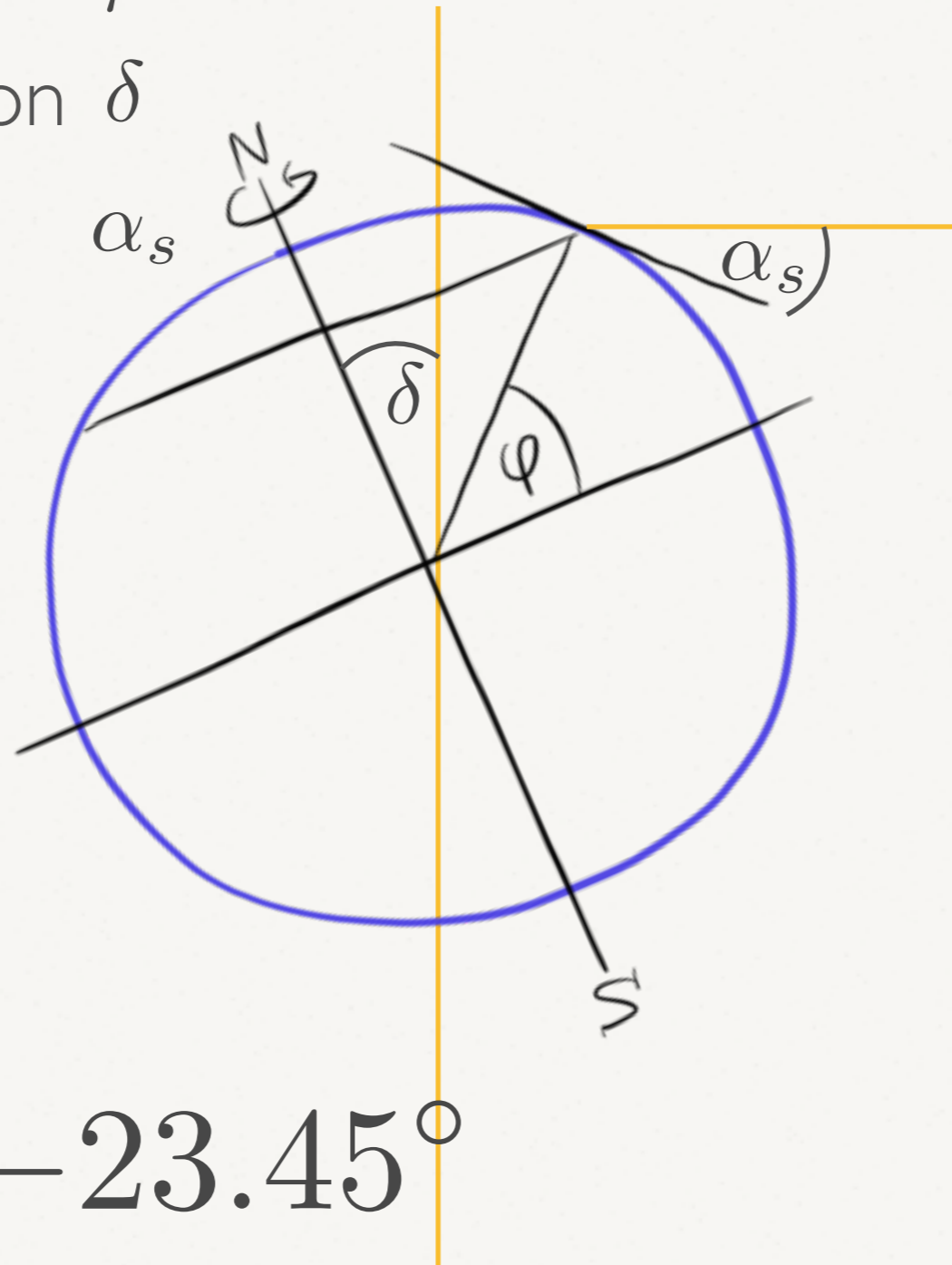
$$\delta = 0^\circ$$

# Deklination

Breitengrad  $\varphi$

Deklination  $\delta$

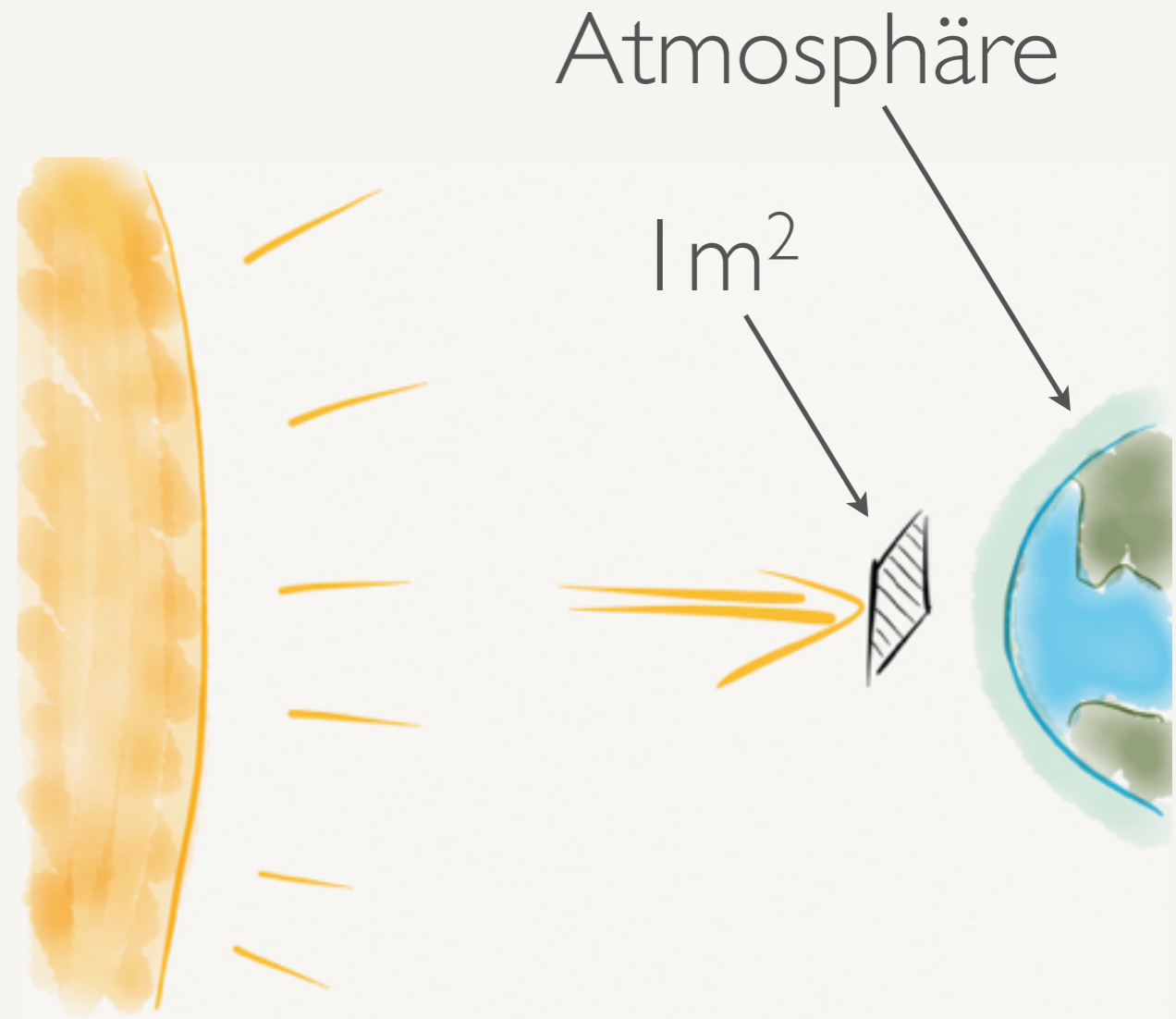
Elevation  $\alpha_s$



$$\delta = -23.45^\circ$$

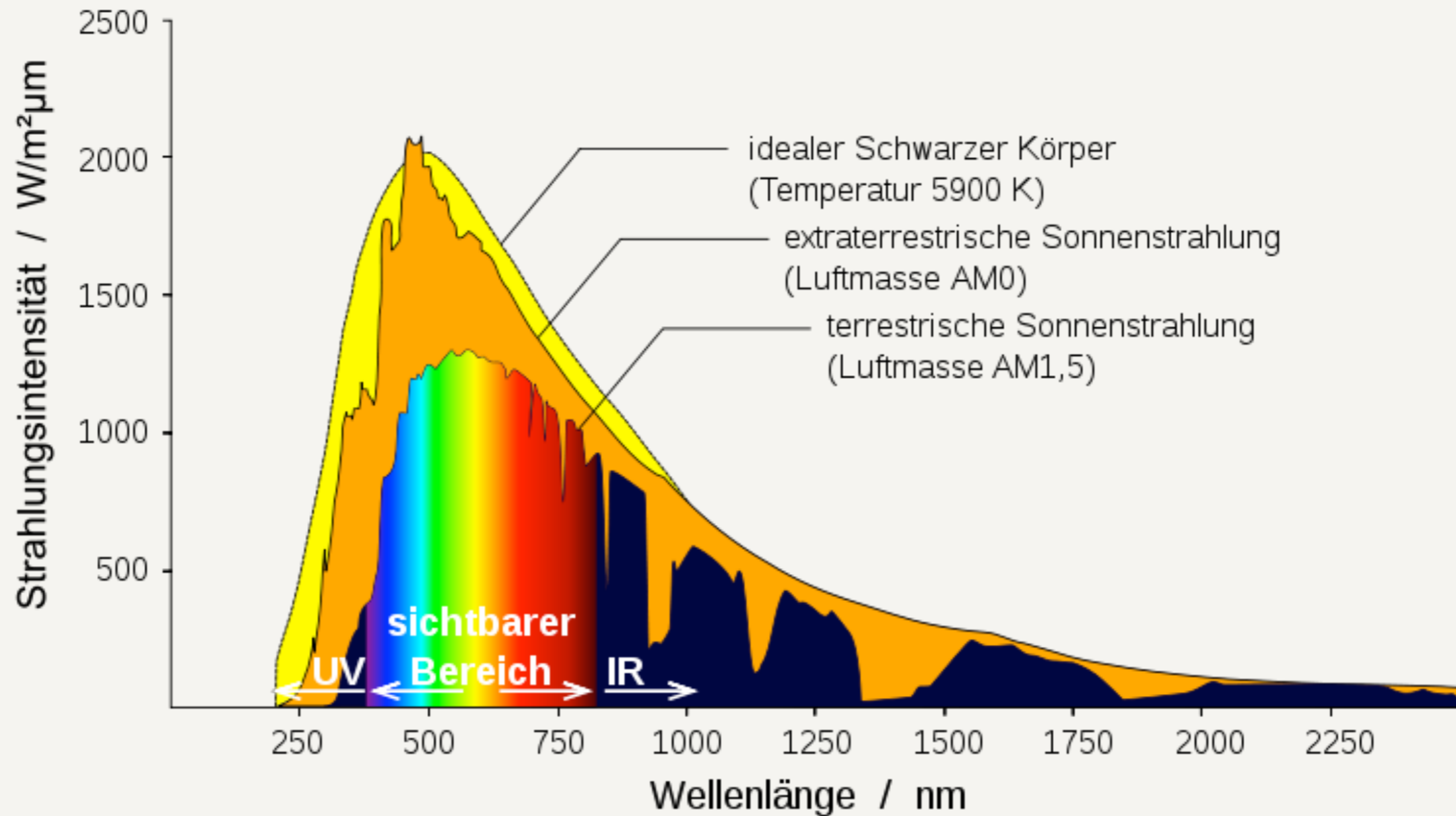
# Solarkonstante

- Wieviel Sonnenlicht kommt auf der Erde an?
- Langjährig gemittelte Intensität der Sonnenstrahlung in  $\text{W}/\text{m}^2$
- Gemessen oberhalb der Erdatmosphäre



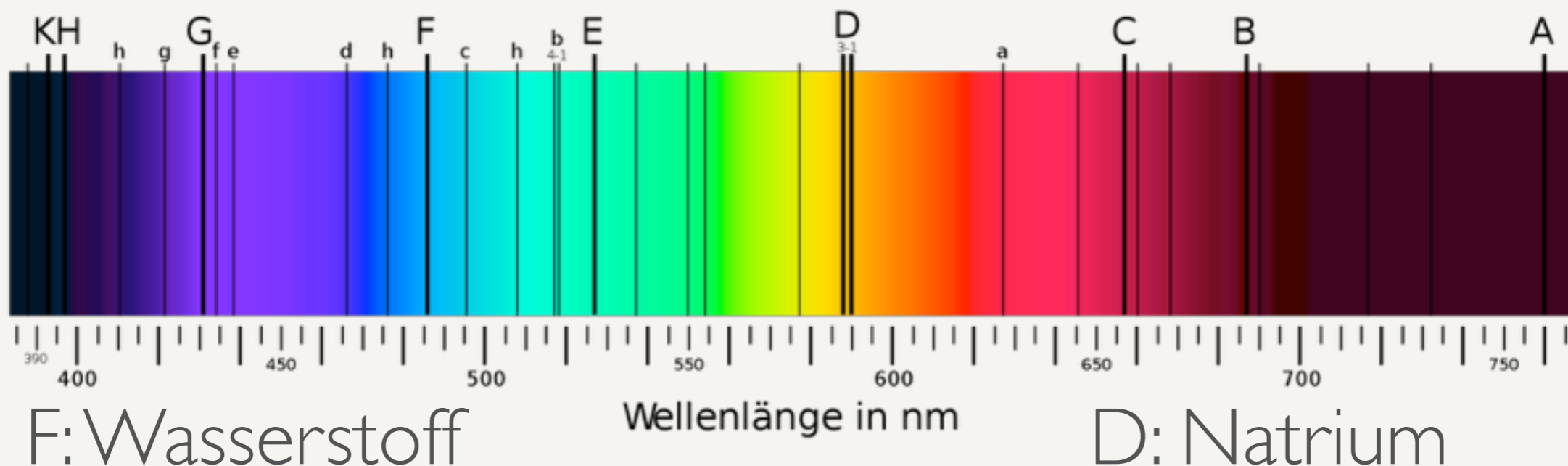
**1367  $\text{W}/\text{m}^2$**

# Sonne

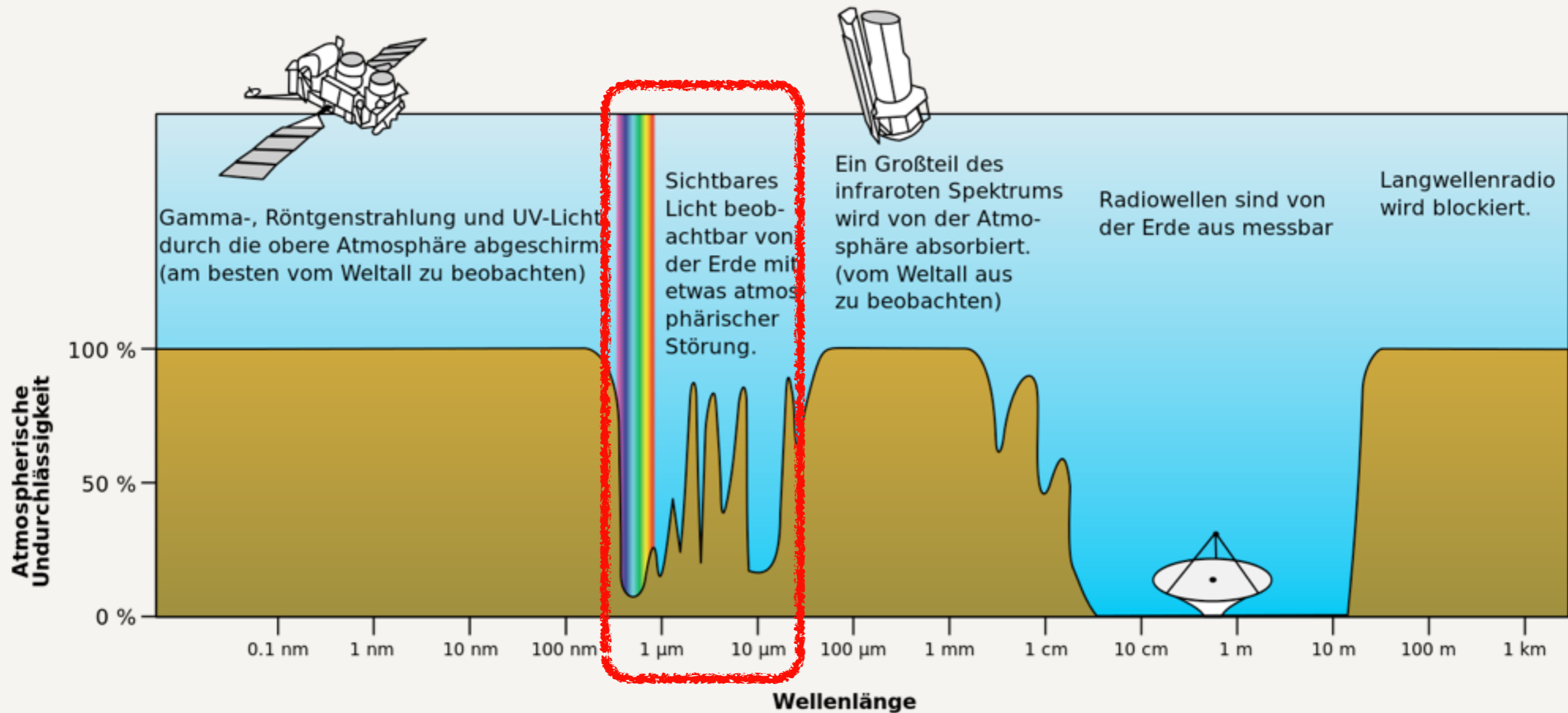


# Fraunhofer'sche Linien

- Fraunhofer wollte die Qualität von Gläsern bestimmen
- Er suchte eine Referenz, gegen die er Abweichungen des Brechungsindex vergleichen konnte
- Bei der systematischen Analyse des Sonnenspektrums in hoher Auflösung fand er viele dunkle Linien, die wir heute als Absorptionslinien chemischer Elemente erkennen.
- Die Elemente sind sowohl in der Sonnen- als auch der Erdatmosphäre.



# Absorption in der Atmosphäre



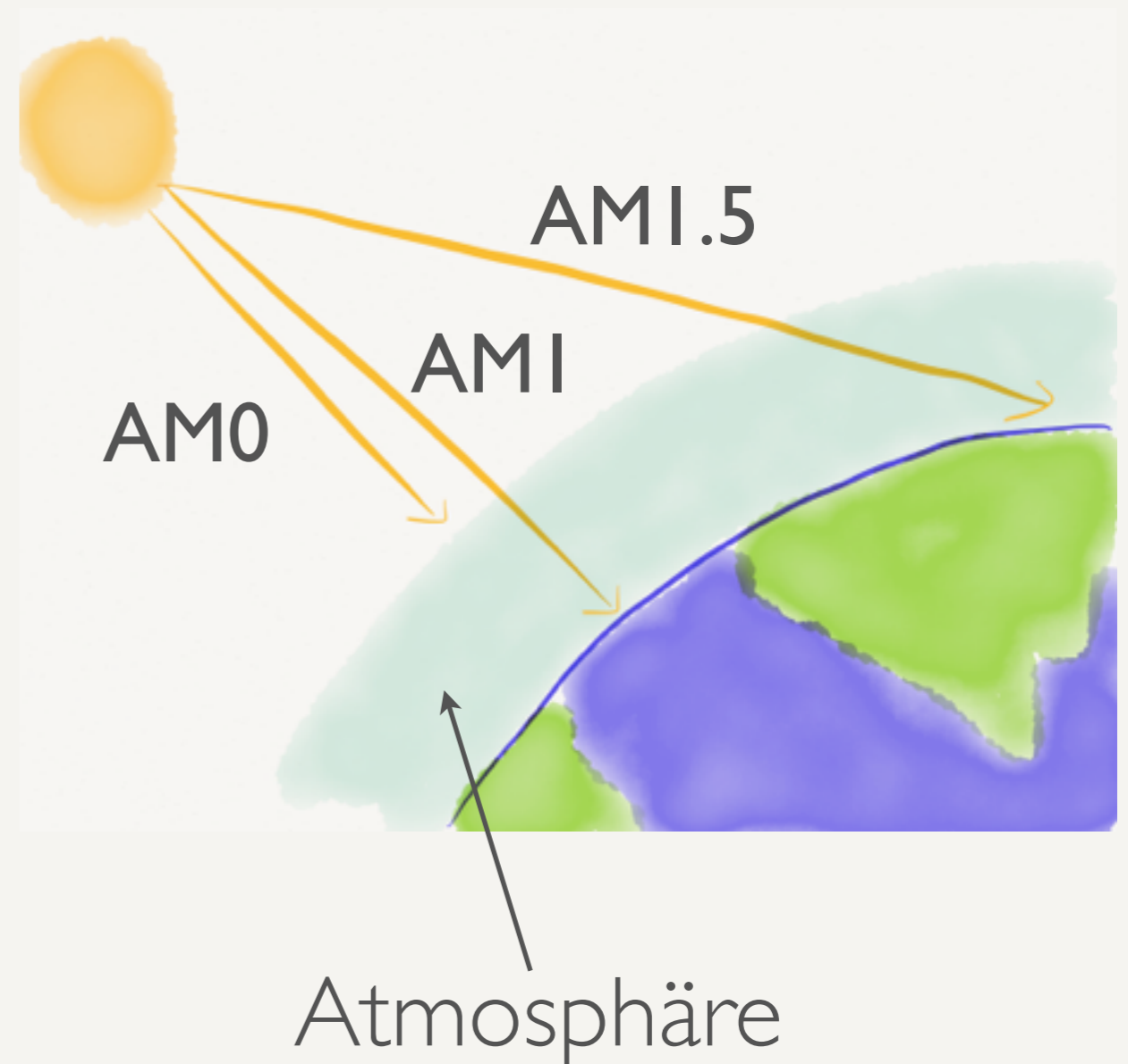
Quelle:





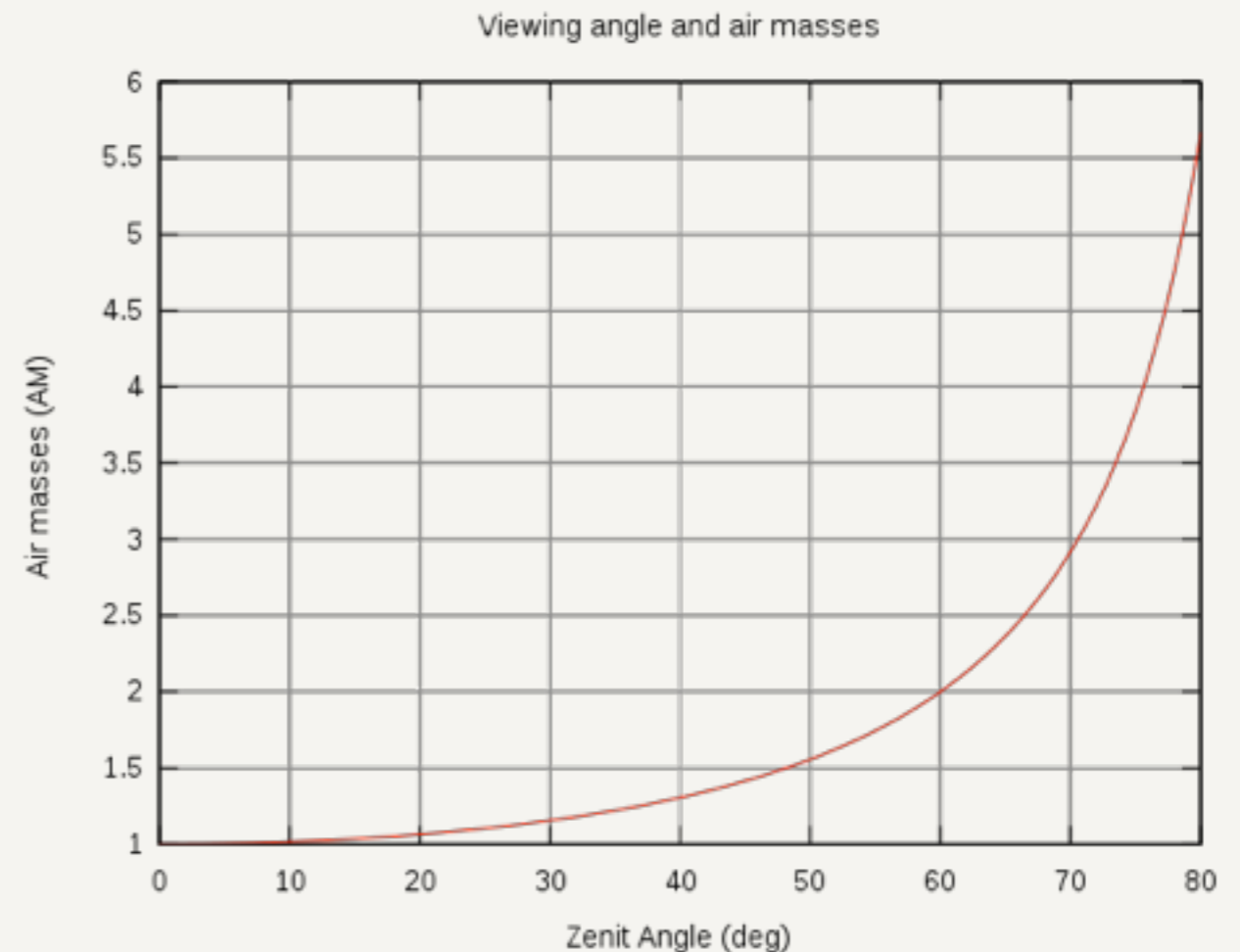
# Luftmasse

- Definiert die Menge Luft, durch die das Sonnenlicht hindurch muss.
- Luftmasse = ‚Air mass‘ (AM)
- Relativ zu senkrechtem Einfall gemessen:  
$$AM = \frac{l}{l_0}$$
- $AM0$  ist außerhalb der Atmosphäre gemessen
- $AM1$  ist bei senkrechtem Einfall (kürzeste Strecke)
- $AM1.5$  ist bei  $48.2^\circ$  Einfall

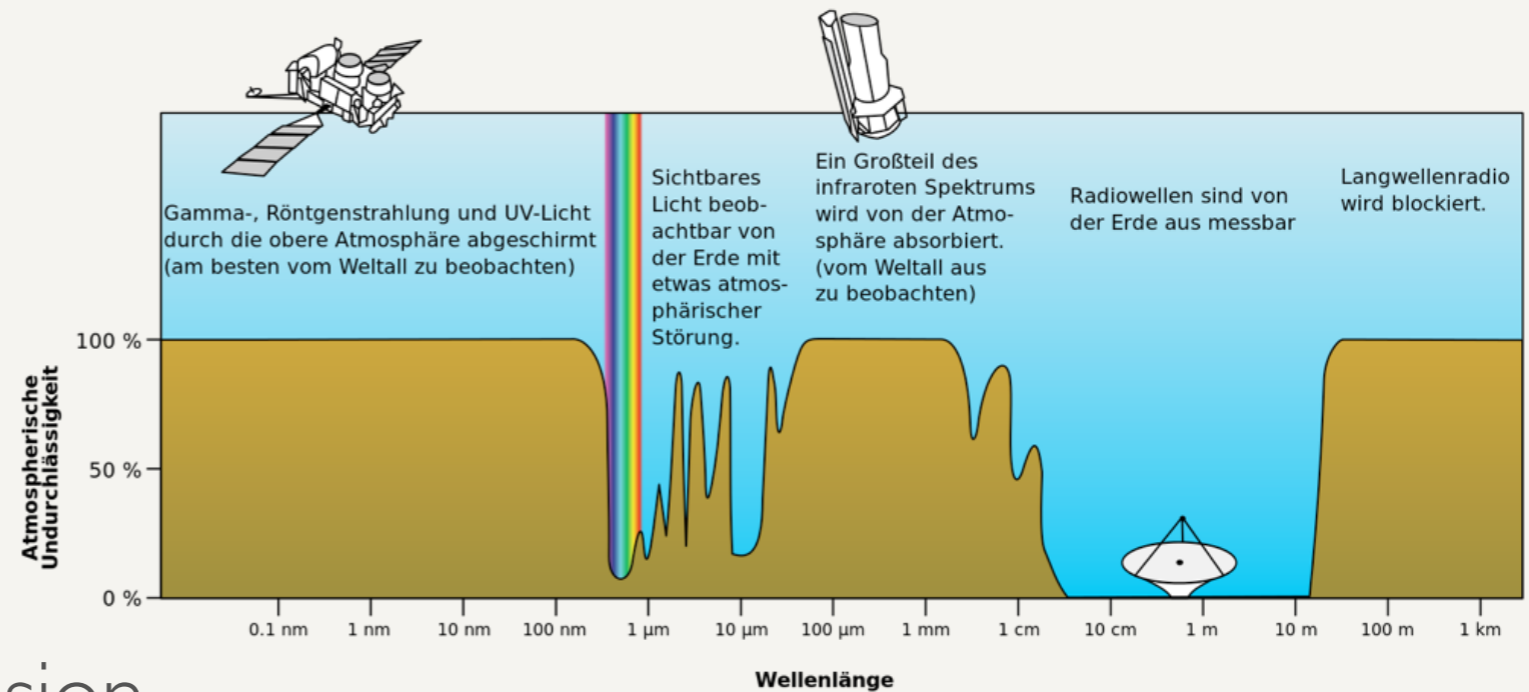


# Luftmasse

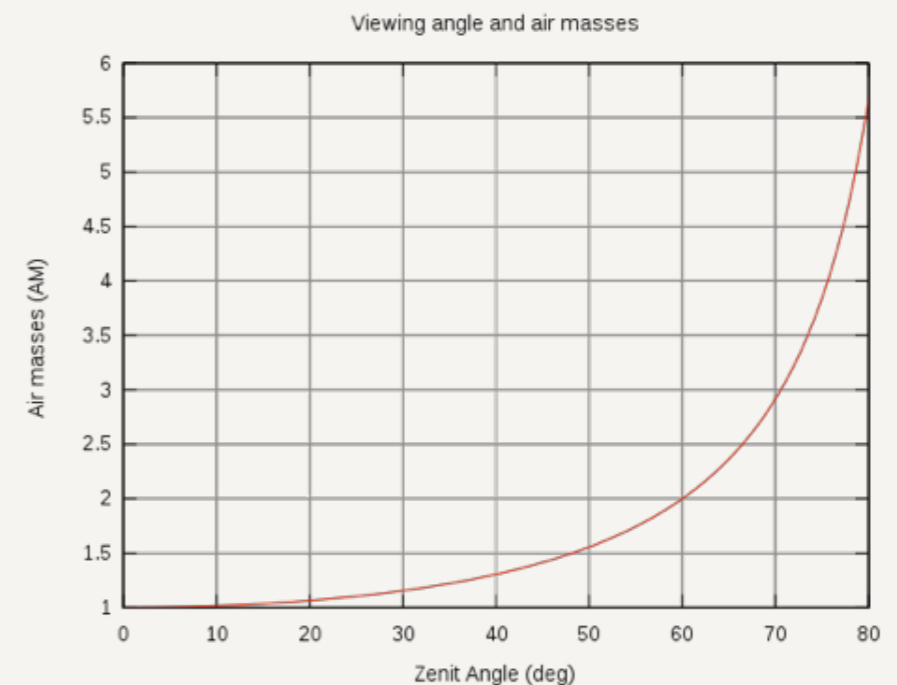
- Bei flachen Winkeln im Winter nimmt die Luftmasse deutlich zu.
- Berlin, Winter:  $14^\circ$   
 $AM = 4.13$
- Berlin, Sommer:  $61^\circ$   
 $AM = 1.14$
- Lambert-Beer'sches Gesetz!



# Luftmasse



- Nehmen Sie an, die Transmission der Atmosphäre bei AM1 im sichtbaren Bereich sei 90%.
- Wie stark sinkt die Transmission bei AM1.14 im Sommer und AM4.13 im Winter ab?



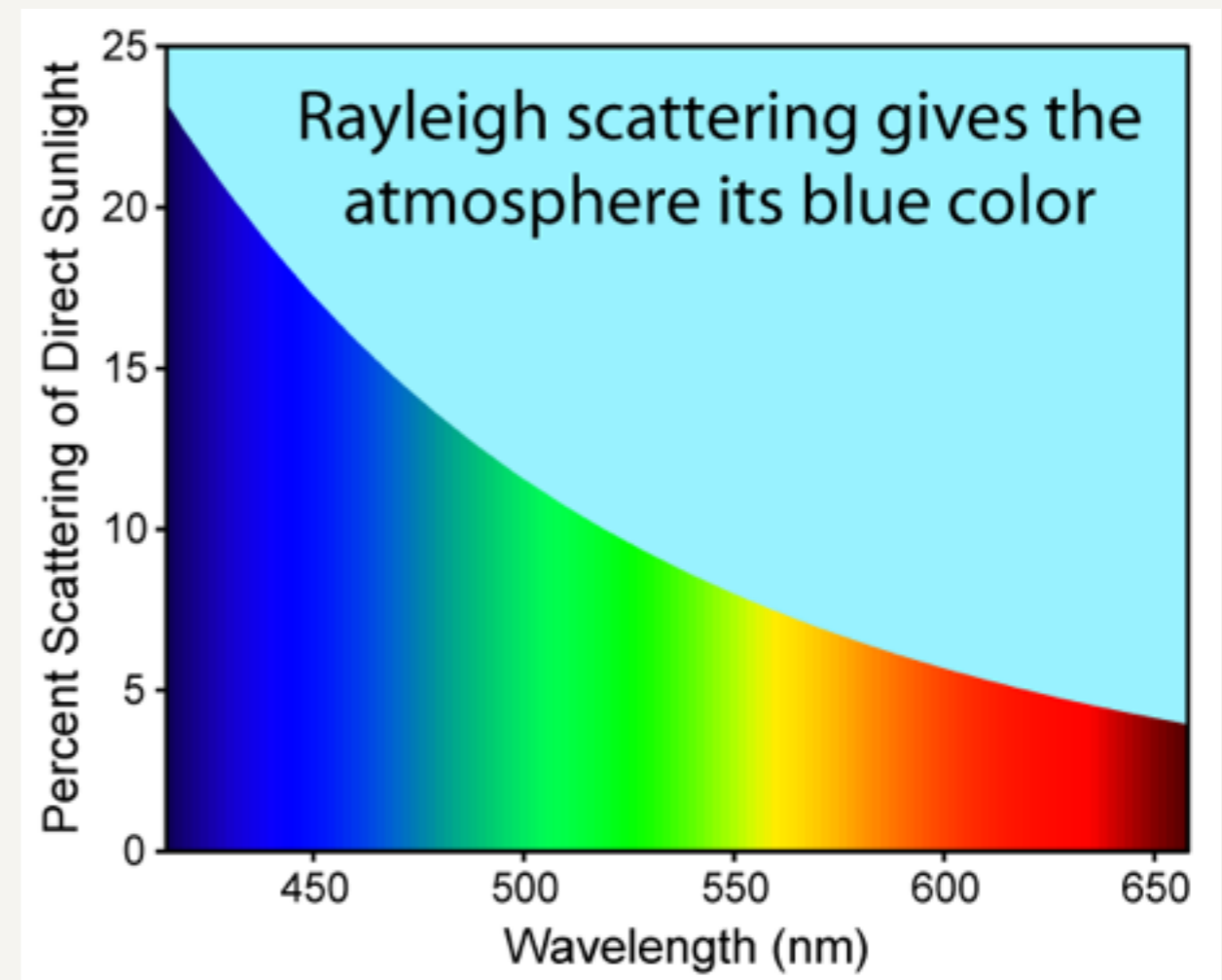
Quelle: Wikipedia



# Rayleigh-Streuung

Warum ist der Himmel blau, die Sonne gelb und abends rot?

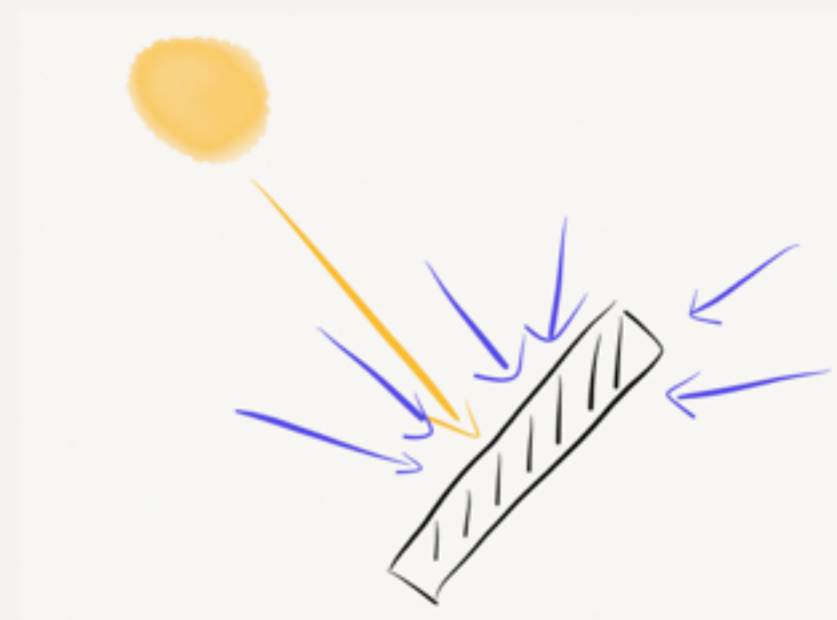
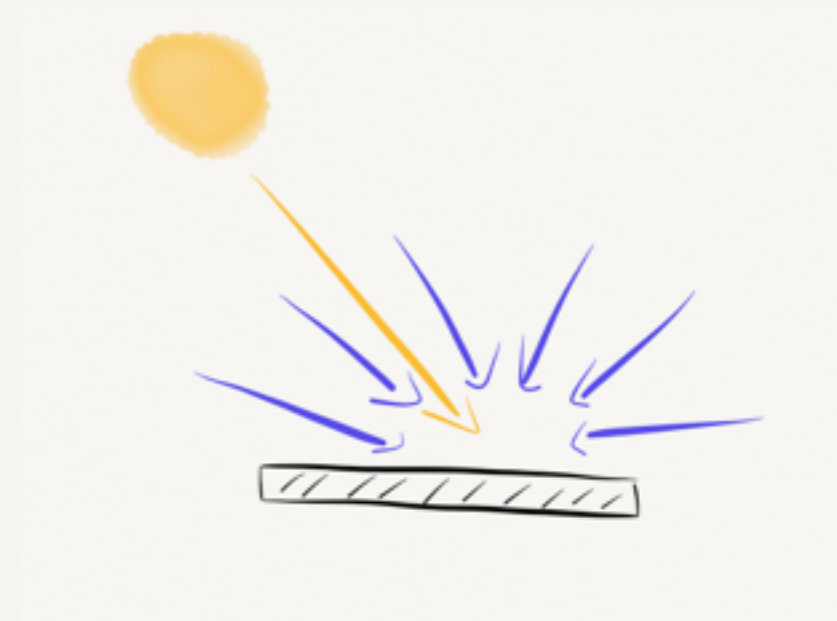
- Rayleigh-Streuung: elastische Streuung von Lichtteilchen an Atomen oder Molekülen (genauer: Objekte kleiner als die Wellenlänge des Lichtes).
- Skaliert mit  $f^4$ !
- Kurze Überlegung: wieviel mehr wird blaues als rotes Licht gestreut?



Quelle: [Wikipedia](#)

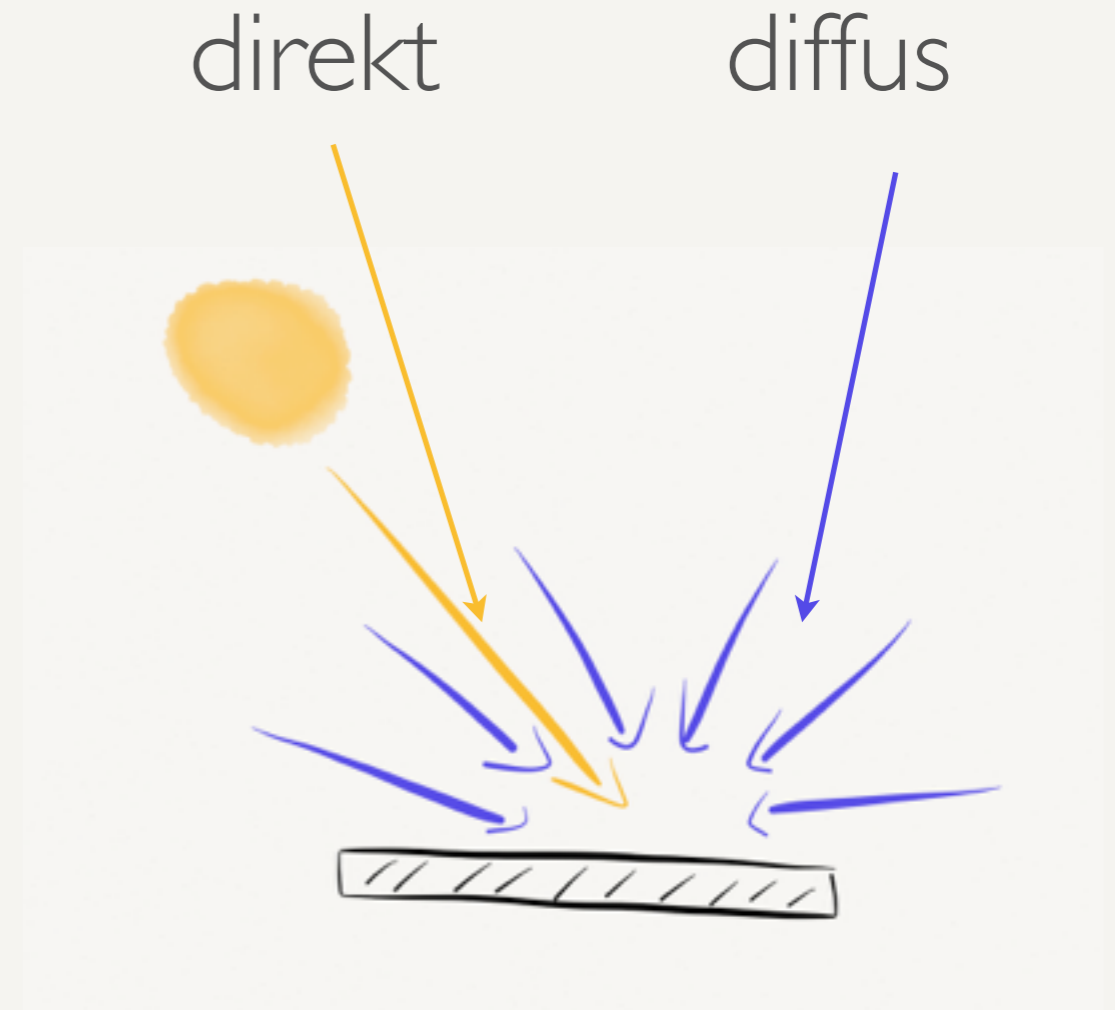
# Messung des Sonnenlichts

- Sonnenlicht-Komponenten
  - Direkt (*Direct normal incidence, DNI*)
  - Diffus
- Detektor
  - Ebener Detektor
  - Aufgestellter Detektor



# Messung des Sonnenlichts

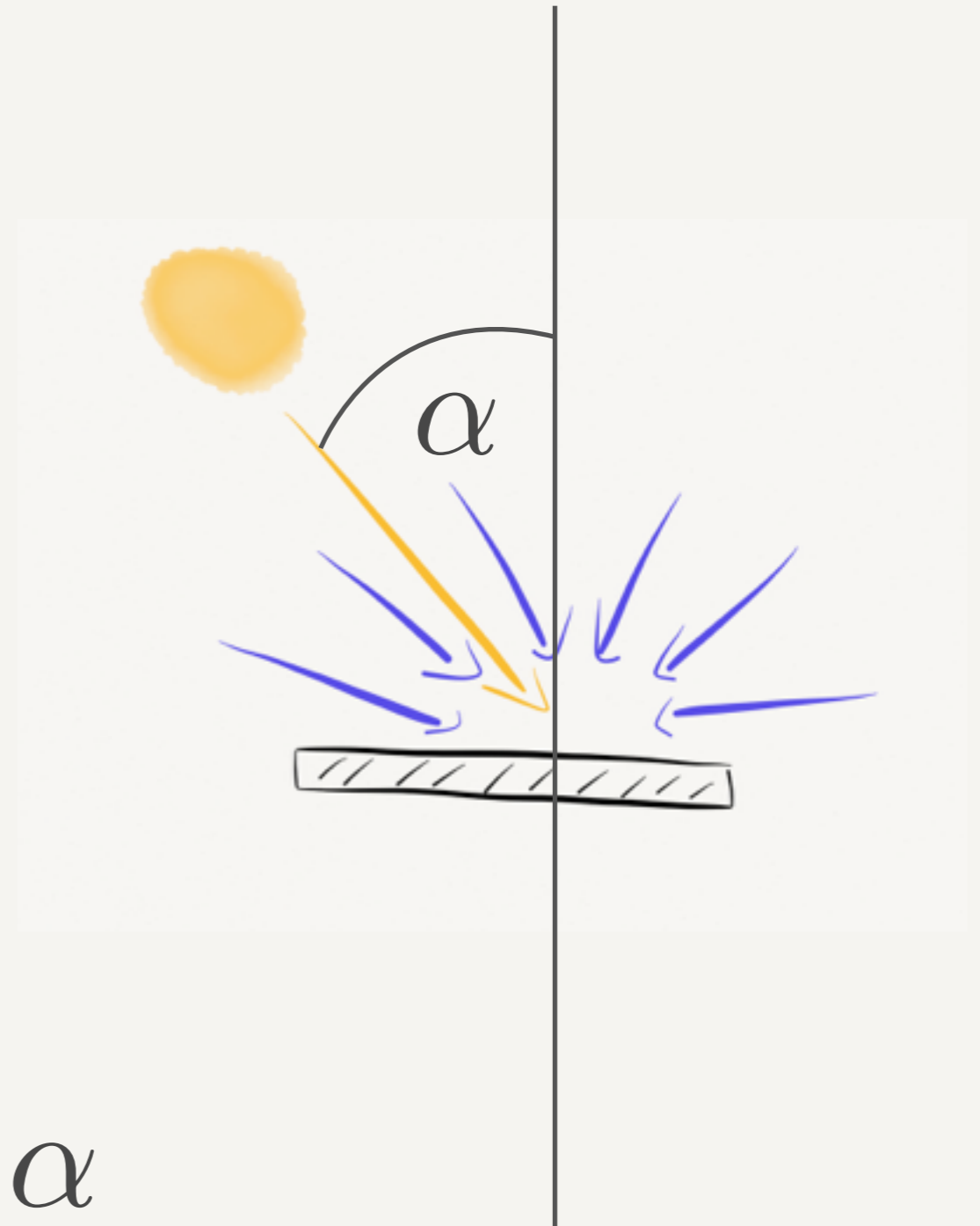
- Bei blauem Himmel kommt Licht aus allen Himmelsrichtungen.
- Die Intensität ist in guter Näherung unabhängig von der Blickrichtung.
- Bei Sonnenlichtmessungen wird deswegen in den direkten Anteil und den diffusen Hintergrund unterschieden:
  - Direkt
  - Diffus



# Messung des Sonnenlichts

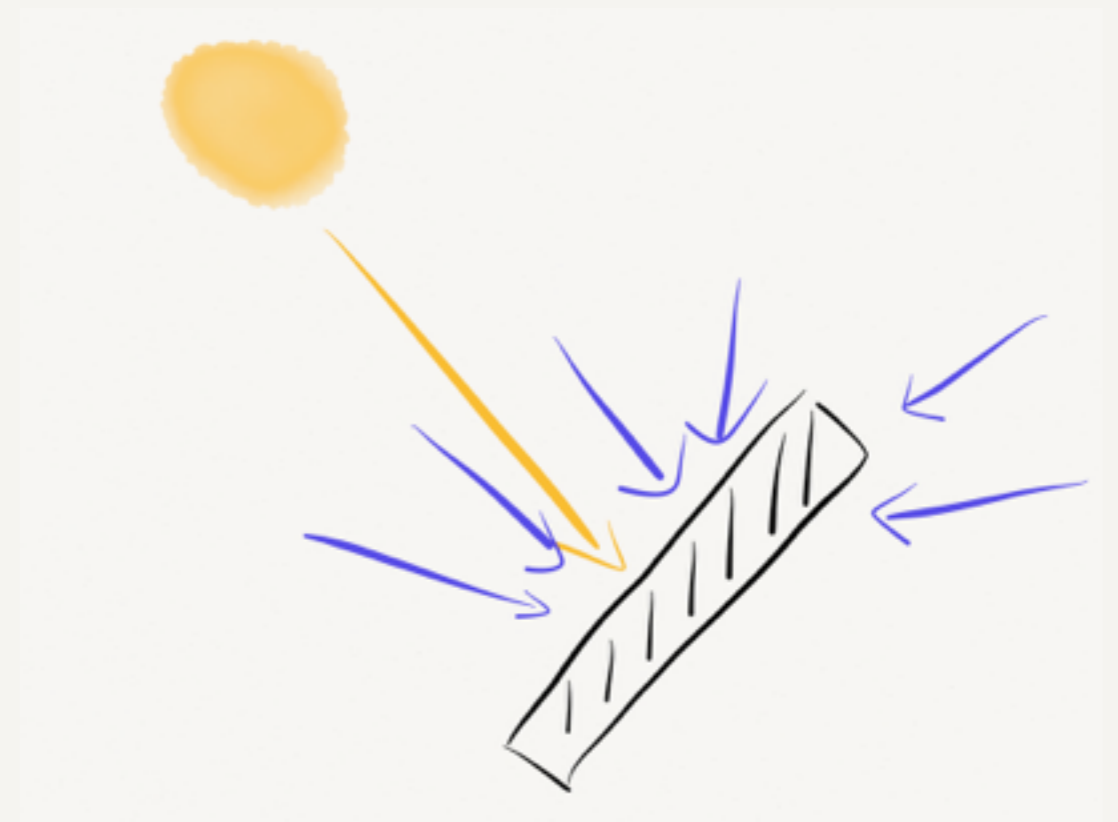
- Bei einem horizontalen Detektor muss der Winkel zwischen der Sonnenrichtung und der Normalen des Detektors berücksichtigt werden.
- Die Komponente der eingestrahlten Leistung wird *Direct Normal Incidence* (DNI) genannt.

$$\text{DNI} = I_0 \cdot \cos \alpha$$



# Wintersonne

- Nun nehmen wir das Ergebnis von **AM4.13** mit dem Winkel zusammen.
- Ihr Hausdach habe eine (schon sehr gute) Dachneigung von  $35^\circ$ .
- Berechnen Sie die DNI zur Mittagszeit für Sommer ( $61^\circ$ ) und Winter ( $14^\circ$ ).
- Multiplizieren Sie dies mit der zuvor errechneten Transmission für Sommer und Winter.

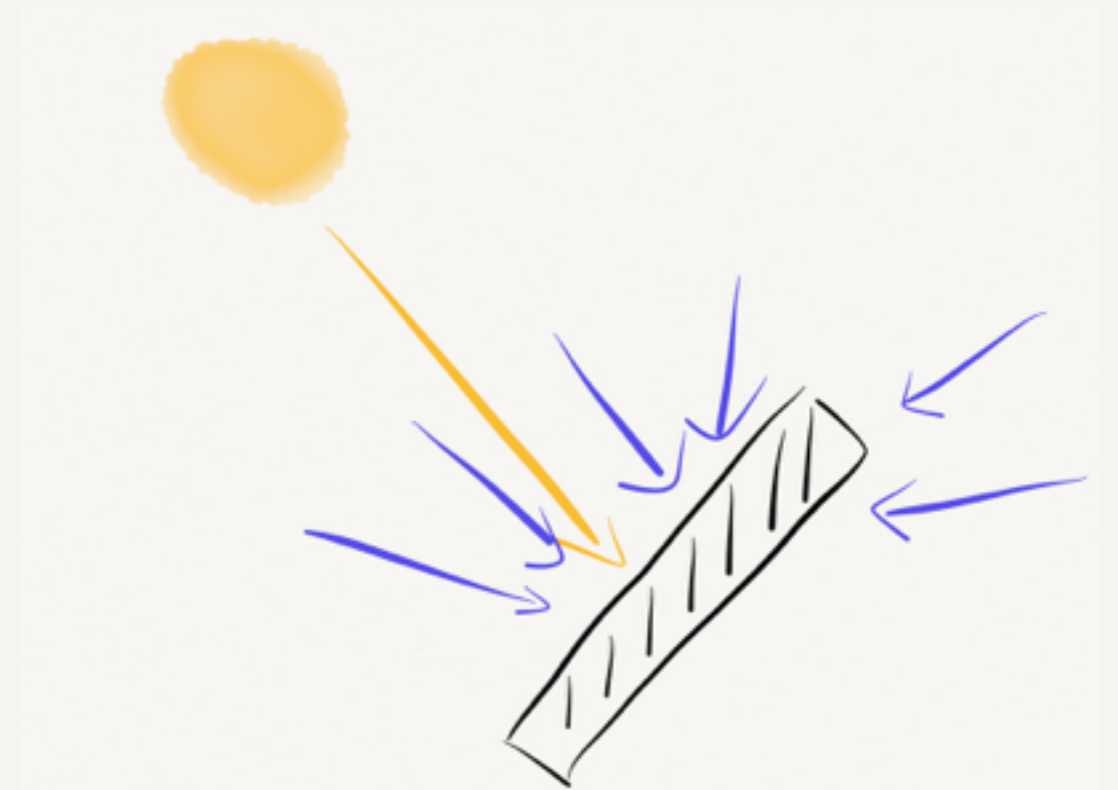


$$\text{DNI} = I_0 \cdot \cos \alpha$$



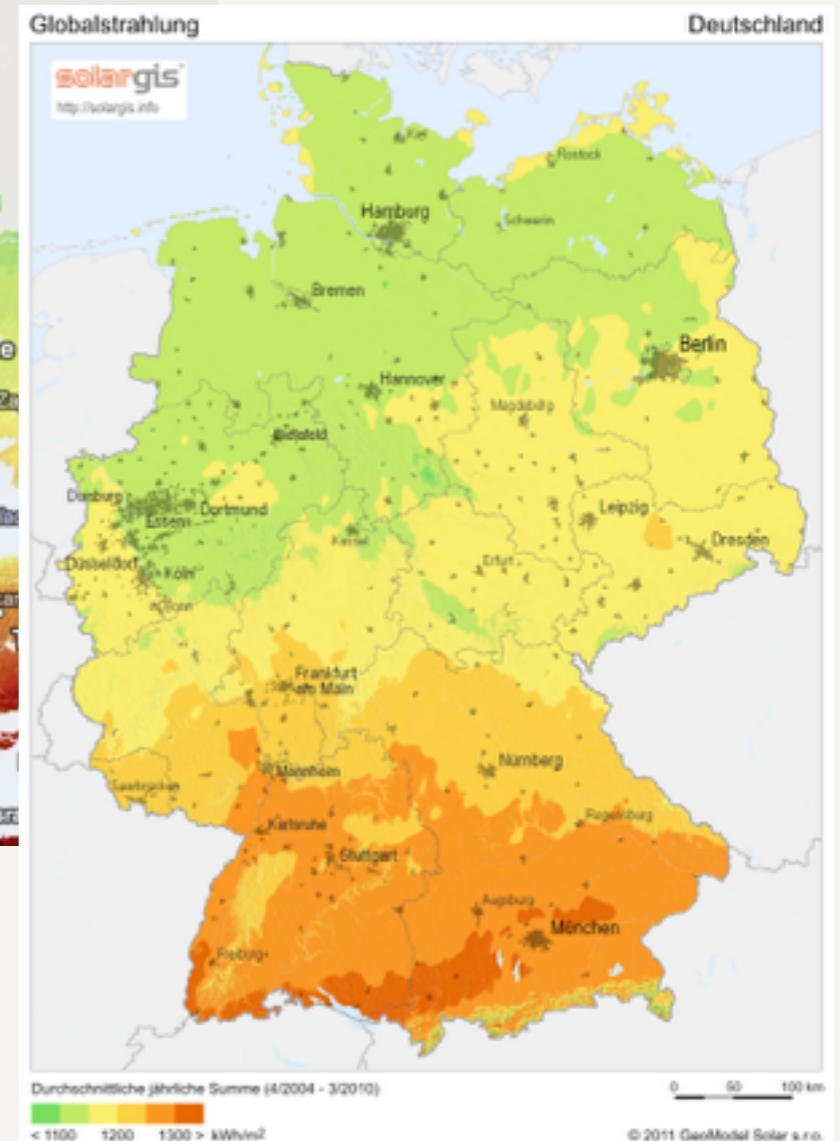
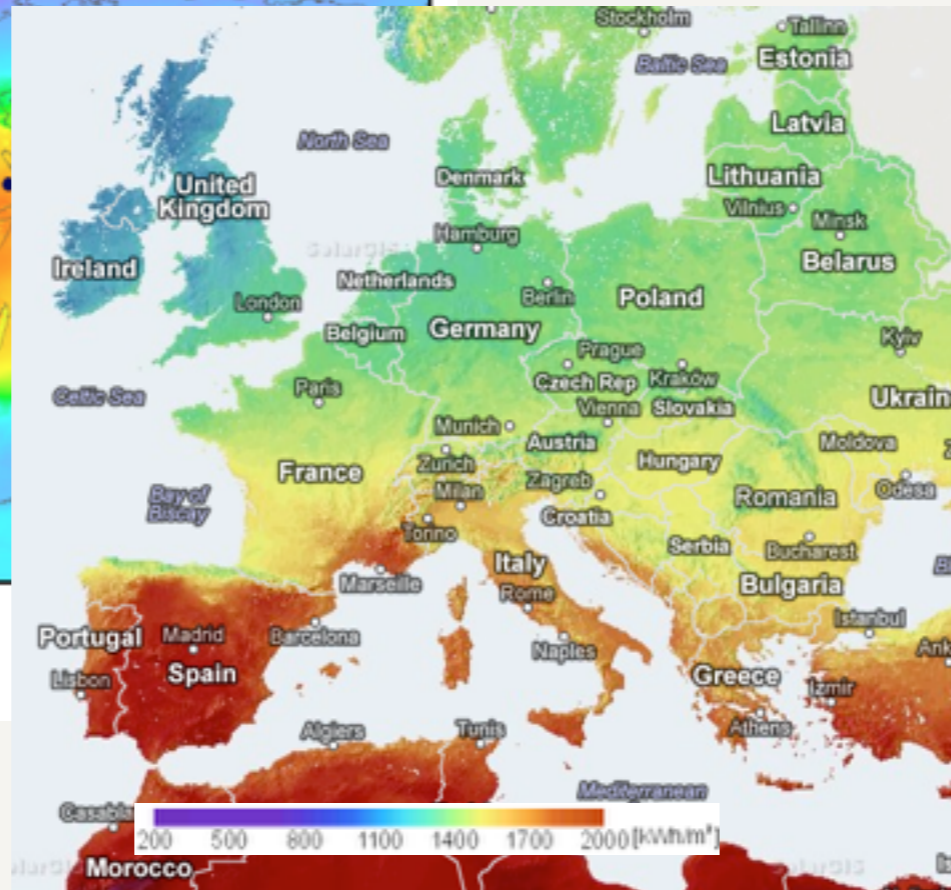
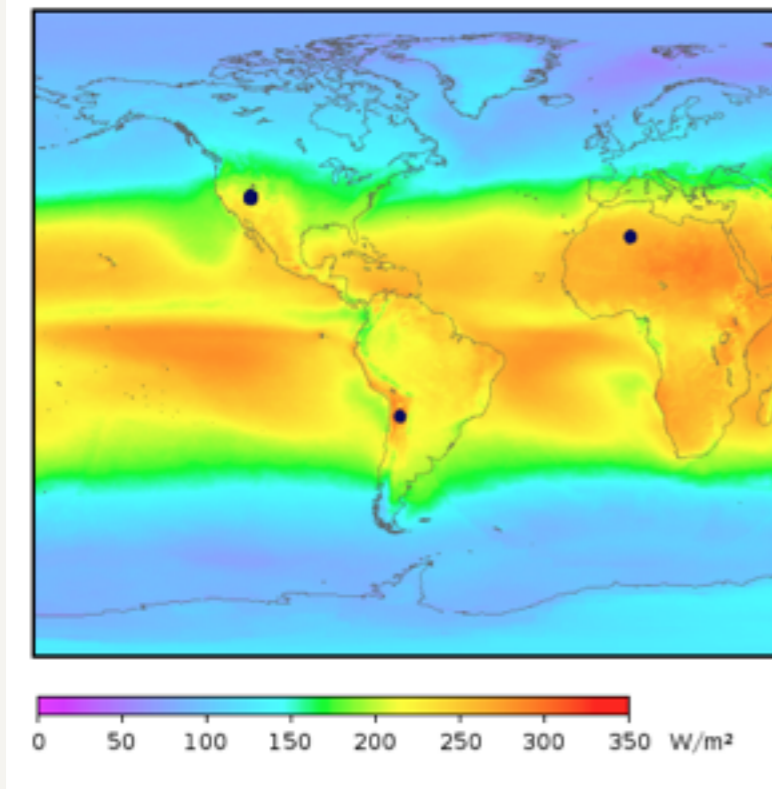
# Messung des Sonnenlichts

- Um die DNI zu erhöhen kann der Detektor angestellt werden.
- Dies erhöht vor allem die Leistung im Winter.
- Dadurch reduziert sich der Anteil der diffusen Strahlung, da ein Teil des Himmels durch das Modul selber verdeckt wird.



# Sonnenstrahlung und -Energie

Quelle: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php#>



Sonneneinstrahlung gemittelt,  
24h / Tag, 2 Jahre lang,  
inkl. Bewölkung

Durchschnittliche ‚geerntete‘ Energie  
pro Jahr

# Nutzung der Sonnenenergie



- Direkte Stromerzeugung über den inneren photoelektrischen Effekt
- Haus- und Kraftwerksbetrieb



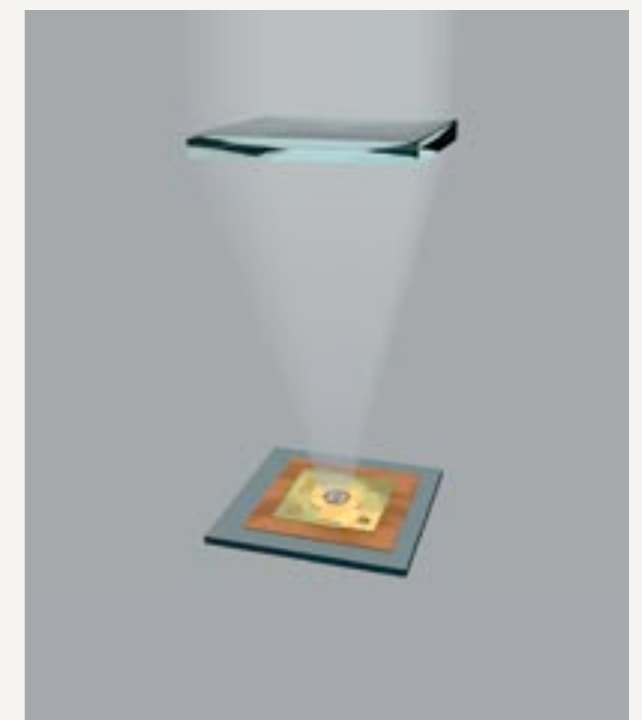
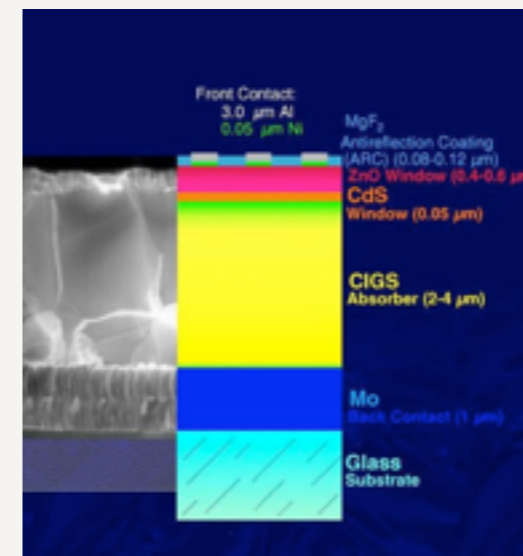
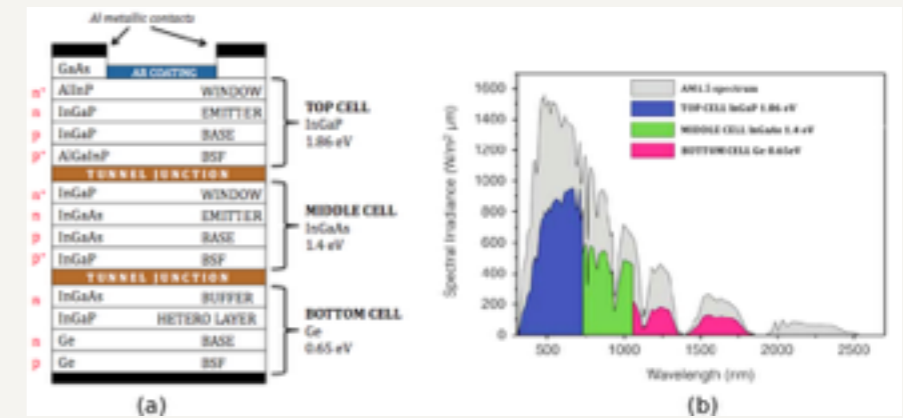
## **Solarthermie**

- Direkte Wärmeerzeugung
- Indirekte Stromerzeugung über Turbinen
- Haus- und Kraftwerksbetrieb

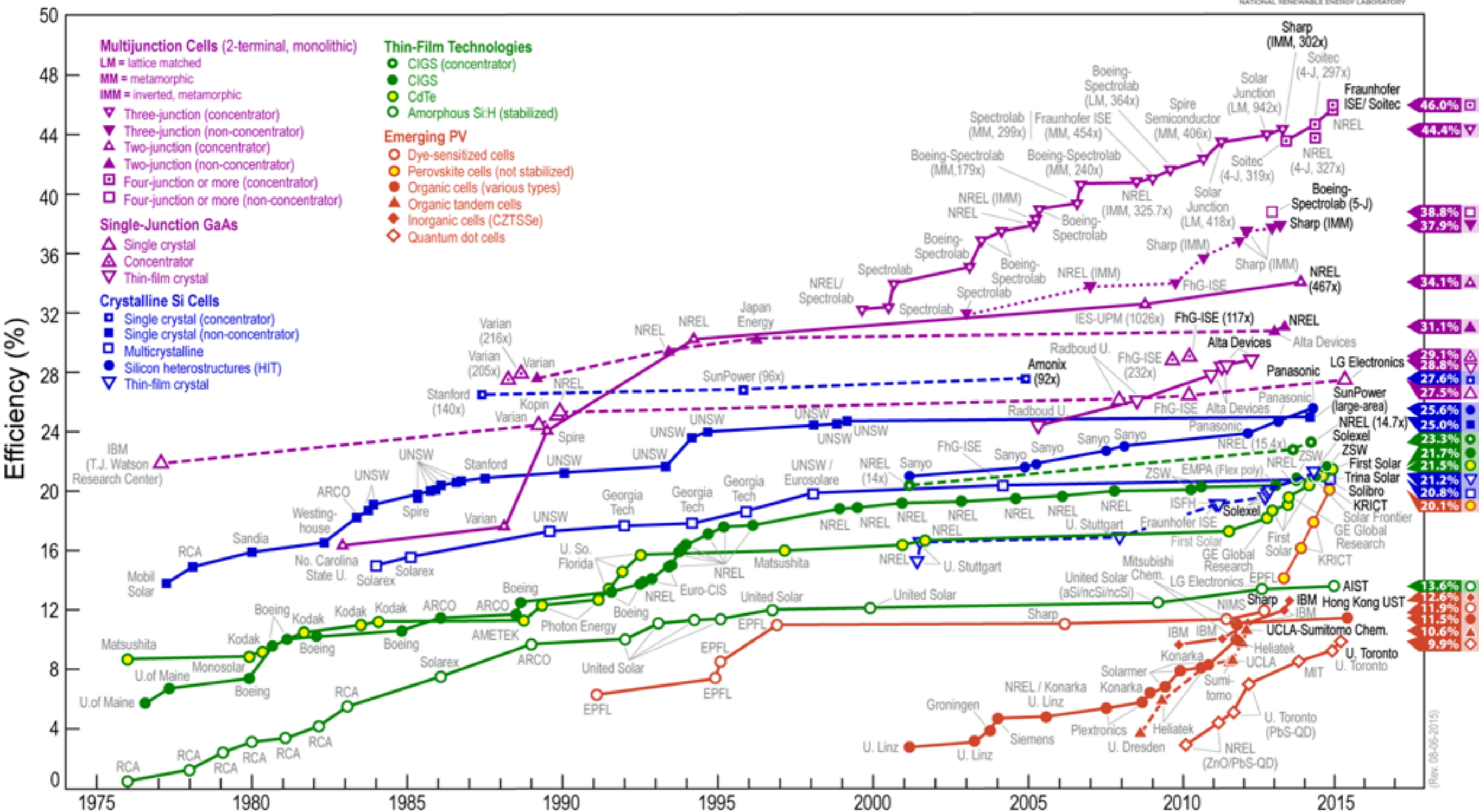
# Photovoltaik

# Photovoltaik Überblick

- Dickschicht-Solarzellen
- Dünnschicht-Solarzellen
- Tandem- oder Mehrlagensolarzellen
- Schwarzes Silizium
- Konzentrierende Photovoltaik



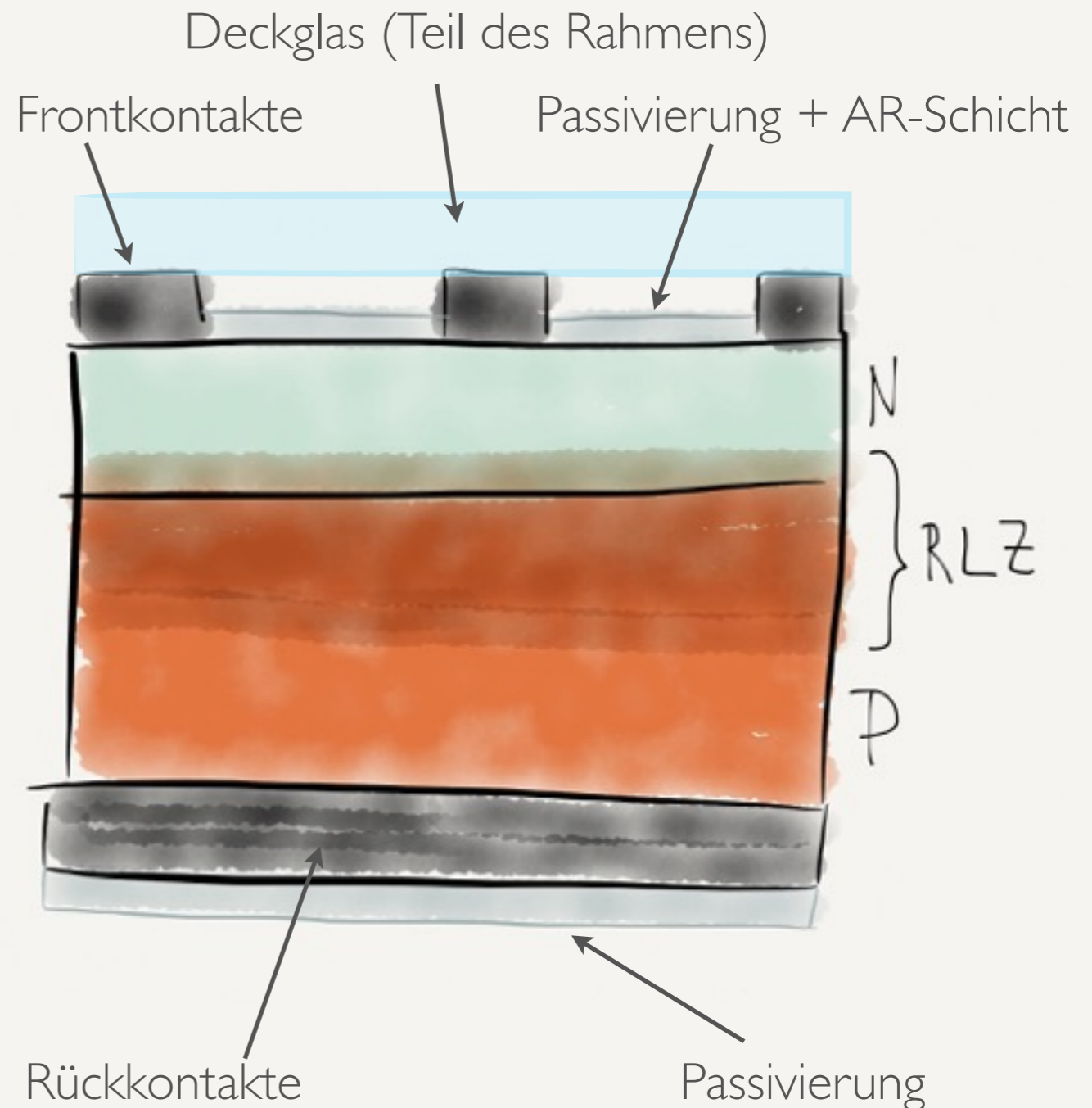
# Best Research-Cell Efficiencies



[http://www.nrel.gov/ncpv/images/efficiency\\_chart.jpg](http://www.nrel.gov/ncpv/images/efficiency_chart.jpg)

# Solarzelle Aufbau

- Der n-p-Übergang ist asymmetrisch für eine breite RLZ
- Die Frontkontakte sind so klein wie möglich um Abschattung zu minimieren.
- Die Passivierung fungiert gleichzeitig als Anti-Reflex-Schicht
  - Die rückseitige Passivierung ist typischerweise aus Kunststoff.
- Das Modul ist noch in einen strukturtragenden Rahmen eingebaut. Es gibt viele verschiedene Bauformen.



# Dickschicht-Solarzellen

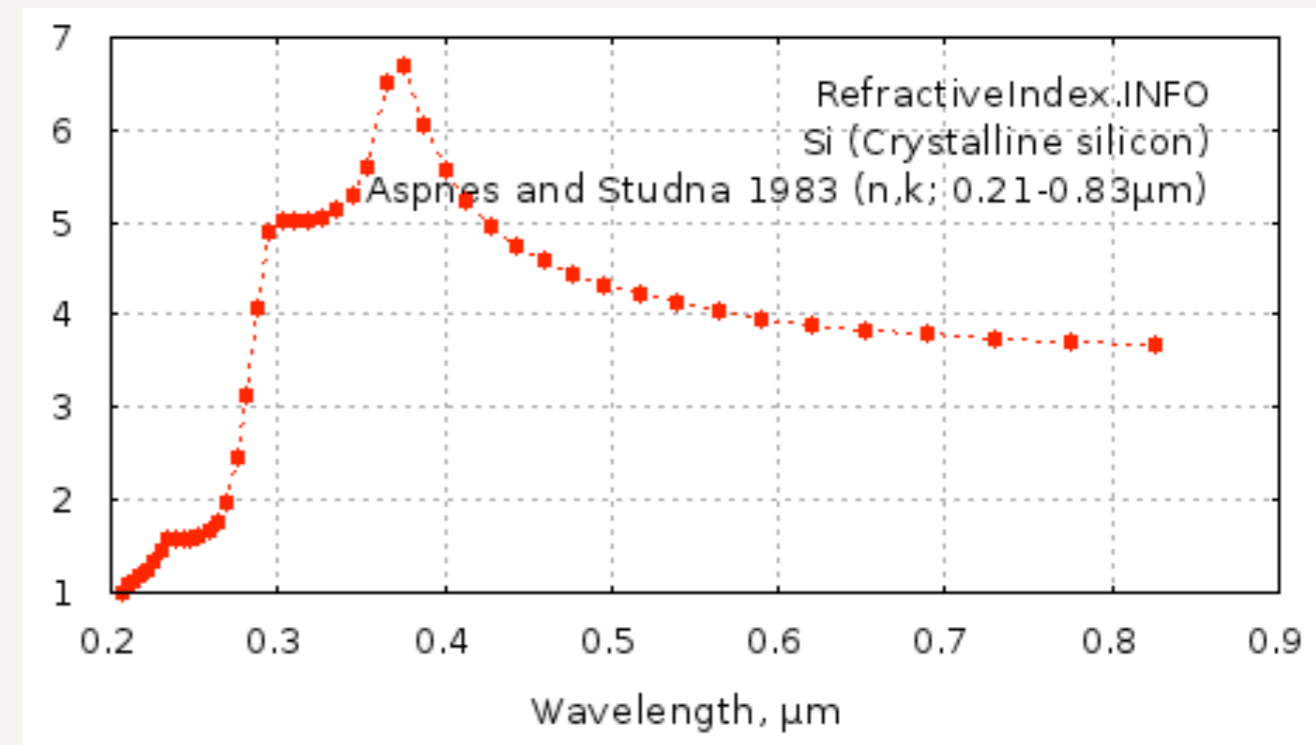
- Mono-kristallines Silizium (c-Si) hat die höchsten Wirkungsgrade (ca. 18 - 20%)
- Poly-kristallines Silizium (mc-Si) hat die zweithöchsten Wirkungsgrade (ca. 12 - 15%)
- Einkristalle oder Blöcke müssen in Scheiben geschnitten werden
- Wafer können nicht beliebig dünn geschnitten werden: ca. 0.2mm ‚dick‘
- Sehr hoher Energieaufwand zur Herstellung nötig.





# Dispersion von Silizium

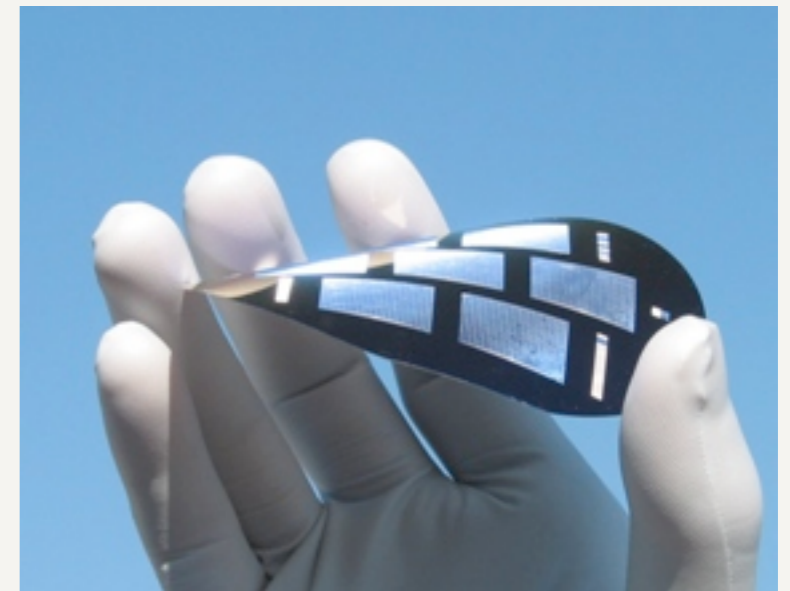
- Silizium hat einen sehr hohen Brechungsindex.
- Deswegen muss die Oberfläche des PV-Moduls mit einer AR-Schicht versehen werden.



<http://refractiveindex.info/?group=CRYSTALS&material=Si>

# Dünnschicht-Solarzellen

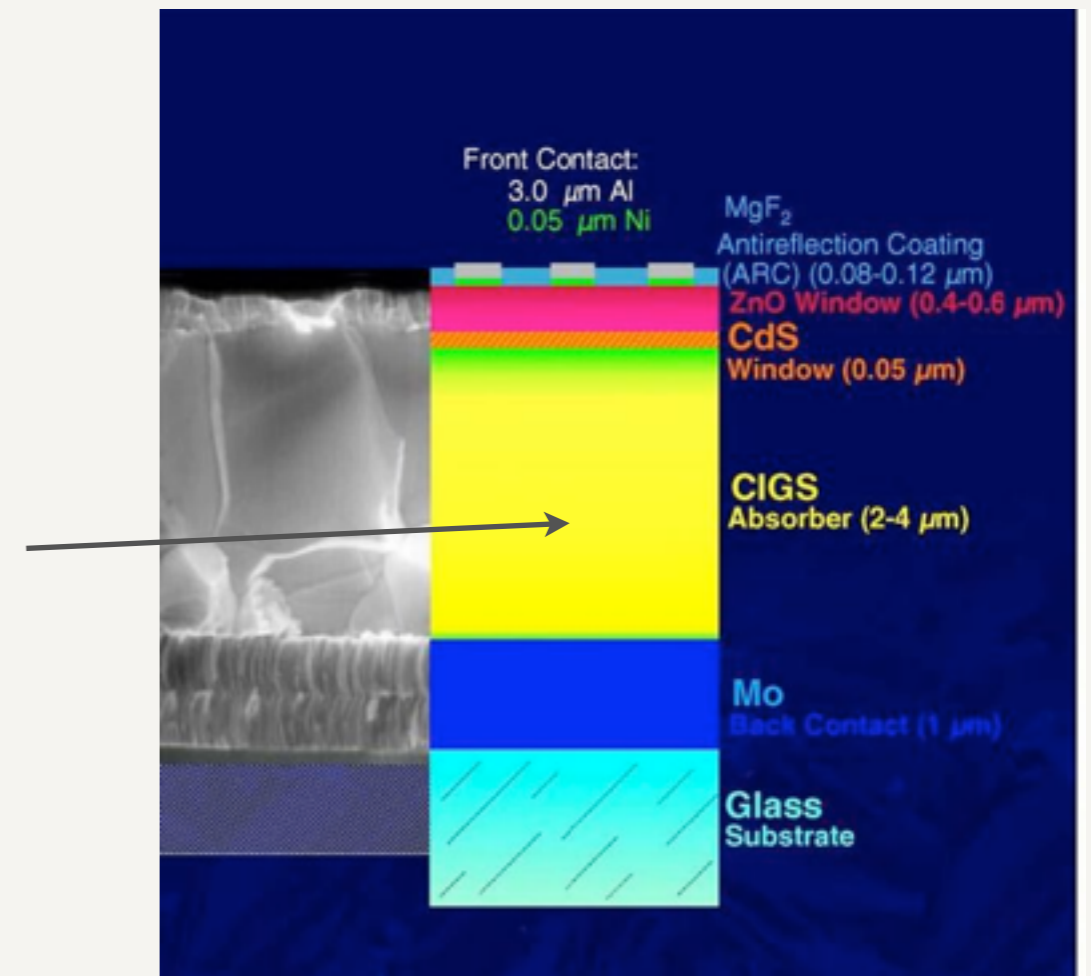
- Das Halbleiter-Material wird im Vakuum auf einen Träger (Glas oder Metall) aufgedampft
  - z.B. Amorphes Silizium (a-Si) u.a.
- Deutlich geringere Schichtdicke und Gewicht, d.h. auch weniger Silizium
- Geringere Absorptionswahrscheinlichkeit
- Deutlich geringerer Wirkungsgrad
- Können auf flexiblen Materialien aufgetragen werden
- Vorteil bei diffuser Strahlung, Streulicht und hoher Betriebstemperatur



<http://www.solar-und-windenergie.de/blog/?p=154>

# Dünnschicht-Solarzellen

- Andere Halbleiter:
  - GaAs (1.42eV)
  - CdTe (1.45eV)
  - CIS (Kupfer-Indium-Schwefel-Selen)
  - CIGS (Kupfer-Indium-Gallium-Schwefel-Selen) (1.02eV - 1.65eV) Sehr hohe Lichtabsorption.
- Andere Bandlücke nutzt anderen Teil des Spektrums aus.
- Teuer in der Herstellung, deswegen oft in Tandem-Solarzellen und / oder in Kombination mit konzentrierender Photovoltaik



# Wiederholung Transmission und Absorption

# Transmission und Absorption

- Transmission gibt an, wie viel Prozent der Strahlung durchgelassen wird.
- Absorption ist grad der Teil, der nicht transmittiert wurde.
  - Im allgemeinen ist der Absorptionskoeffizient abhängig von der Wellenlänge

Lambert-Beer  $I(x) = I_0 \cdot e^{-\alpha x}$

Transmission  $T = \frac{I}{I_0} = e^{-\alpha x}$

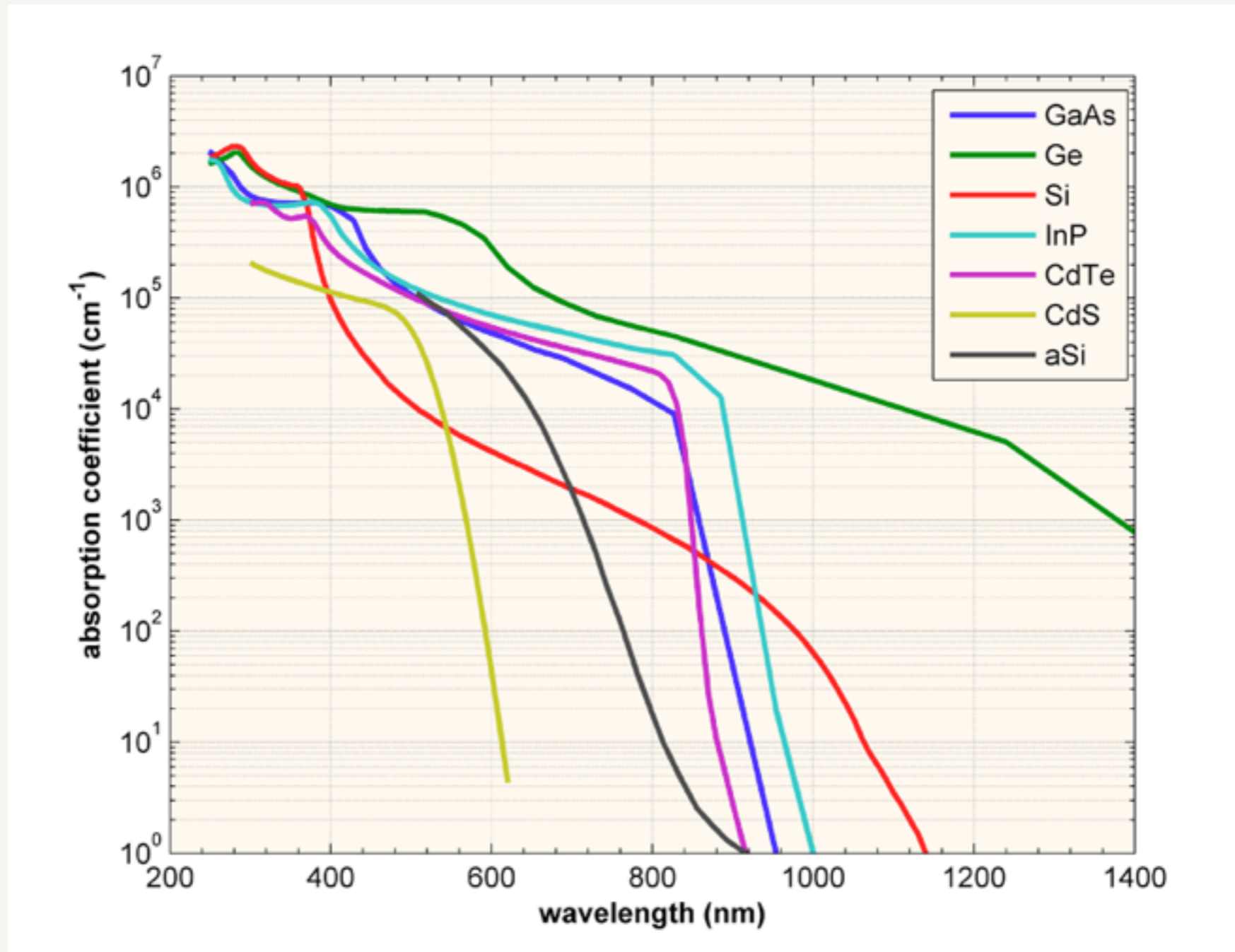
Absorption  $A = 1 - T$

l.a.  $\alpha = \alpha(\lambda)$

$$\Rightarrow I(x, \lambda) = I_0 \cdot e^{-\alpha(\lambda)x}$$

$$T(\lambda) = e^{-\alpha(\lambda)x}$$

# Transmission und Absorption



<http://pveducation.org/pvcdrom/pn-junction/absorption-coefficient>

# Transmission und Absorption

## Kristallines Silizium (c-Si)

Wellenlänge (nm)	$\alpha$ (cm <sup>-1</sup> )	Mittlere Eindringtiefe (μm)
500	10000	1
750	2000	5
1000	60	166

# Transmission und Absorption

## Amorphes Silizium (a-Si)

Wellenlänge (nm)	$\alpha$ (cm <sup>-1</sup> )	Mittlere Eindringtiefe (μm)
500	1 000 000	0.1
750	2000	5
1000	N/A	„Unendlich“

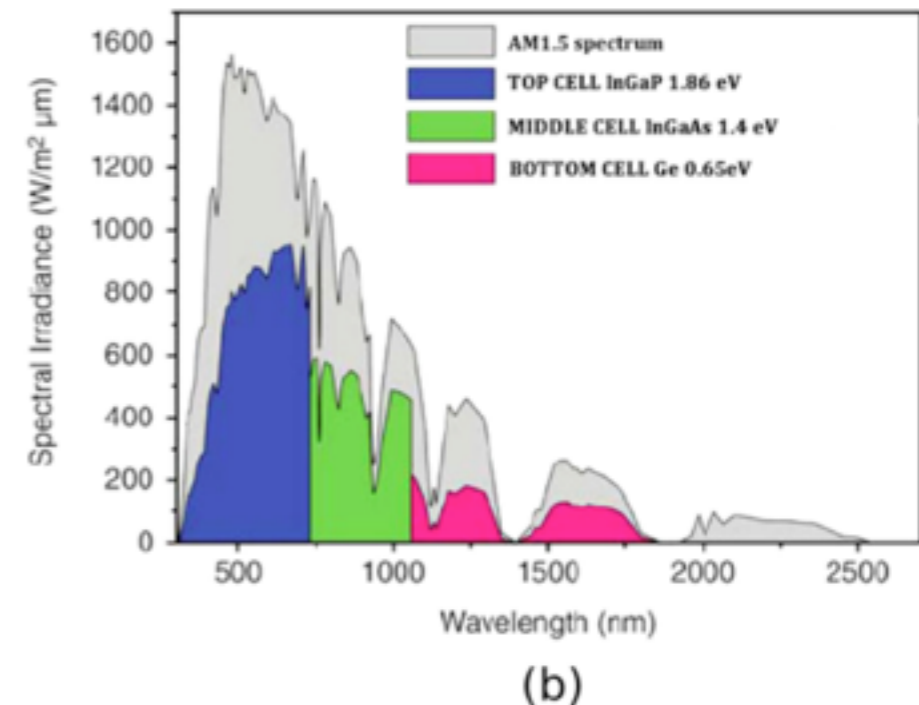
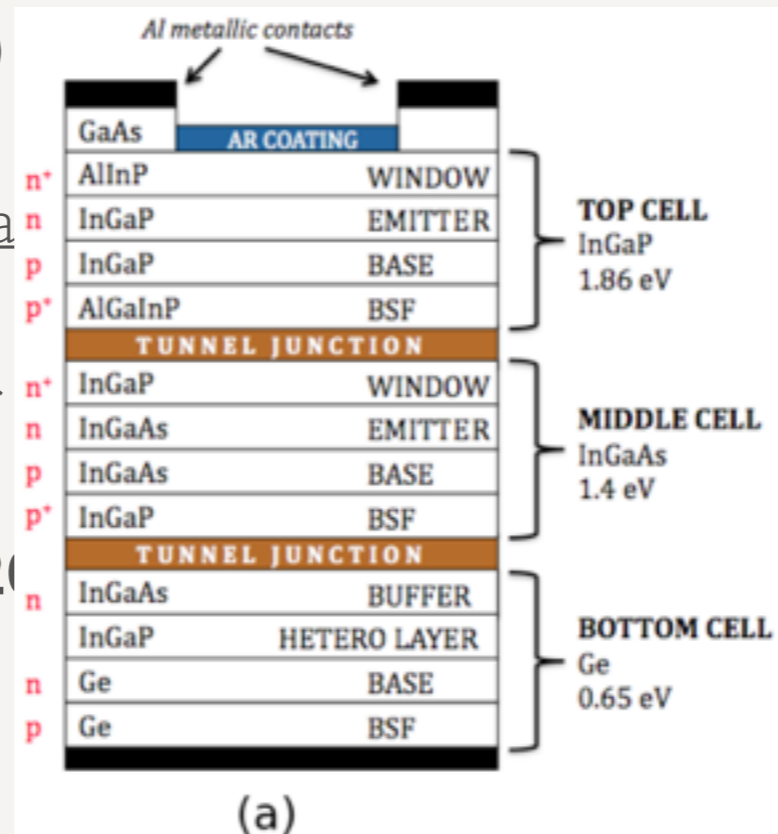


# Tandem- und Mehrlagen-Solarzellen

- Stapeln von Materialien mit unterschiedlichen Bandlücken erhöhen den Wirkungsgrad enorm.
- Sehr aufwändig in der Herstellung. Daher oft in Kombination mit konzentrierender Photovoltaik.
- Damit Weltrekord 41.9% (2009) Fraunhofer-Institut in Freiburg.
- Doch nicht: 44% von der Fa. Solar USA, Oktober 2012
  - Ganz neu: Fraunhofer wieder (2013).
  - **Brandneu 01. Dezember 2014** vier-Lagen-Tandemzelle

Fraunhofer Weltrekord 2013

Fraunhofer Weltrekord 2014



# Licht-konzentrierende Solarzellen

<http://www.vision.fraunhofer.de/de/projekte/465.html>

- Fresnel-Linsen
- Müssen dem Sonnenstand zweiachsig nachgeführt werden
- In Kombination mit teuren Tandem-Solarzellen sind die höchsten Wirkungsgrade möglich

Film: <http://www.soitec.com/en/technologies/concentrix/>

[http://www.ise.fraunhofer.de/de/downloads/pdf-files/auszuege-aus-jahresbericht/alternative\\_pv-technologien\\_jb2011.pdf](http://www.ise.fraunhofer.de/de/downloads/pdf-files/auszuege-aus-jahresbericht/alternative_pv-technologien_jb2011.pdf)



<http://www.bmbf.de/de/20366.php>

# Solarstromkraftwerke

Apple 60 MW Solarfarm für ein  
Datenzentrum in North Carolina

- Zusammenschaltung vieler einzelner Module
- Fest installiert oder dem Sonnenstand folgend (,tracking')
- Aktuell bis dreistellige MW Leistung
- GW im Bau oder Planung



<http://www.macrumors.com/2012/09/14/panel-installation-nearly-complete-at-apples-massive-north-carolina-solar-farm/>

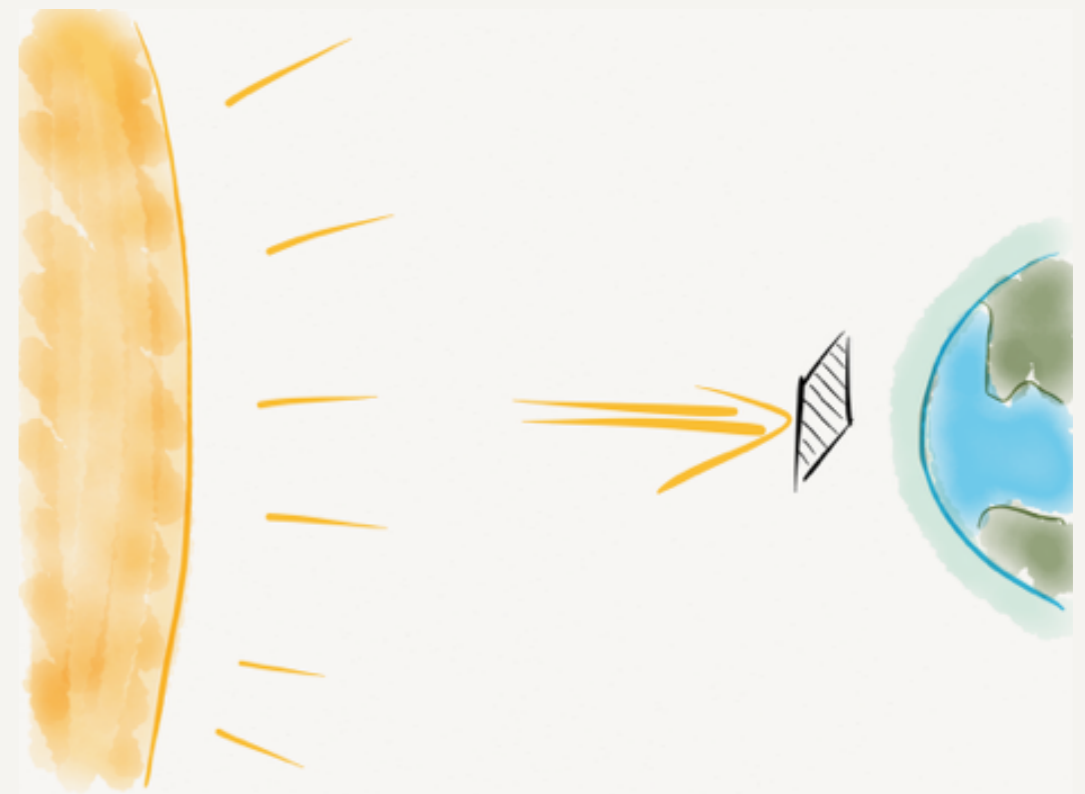
# Solarthermie

# Wie heiß wird es?

- Wie heiß kann ein schwarzer Körper in der Sonne werden?
- Nehmen Sie einen schönen heißen Sommertag an.
- Sonnenstrahlung und Wärmestrahlung des Körpers sind im thermodynamischen Gleichgewicht.
- Einstrahlung:  $1367 \text{ W/m}^2$
- Abstrahlung: Stefan-Boltzmann-Gesetz

Stefan-Boltzmann-Gesetz

$$P = \sigma \cdot A \cdot T^4$$

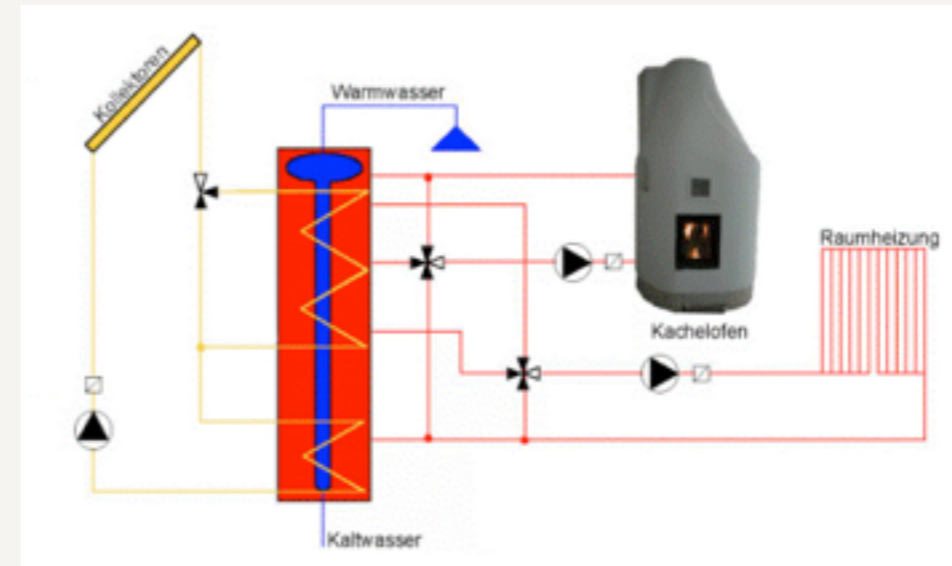


$$\frac{1367 \text{ W/m}^2}{5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W/(m}^2\text{K}^4)} \approx 394 \text{ K}$$
$$\approx 121 \text{ }^\circ\text{C}$$

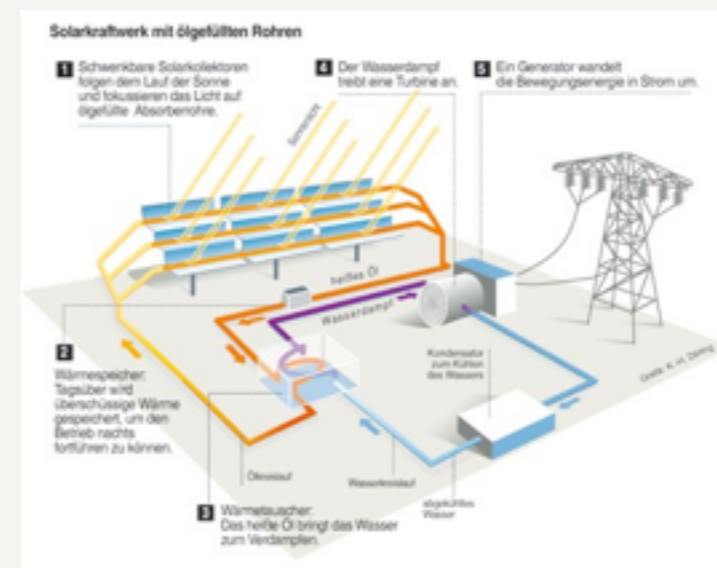
# Solarthermie

<http://www.sonnenhaus-institut.de/heizkonzept.html>

- Hausbetrieb: direkte Wärmenutzung



- Kraftwerksbetrieb: Wärme betreibt Turbine zur Stromerzeugung

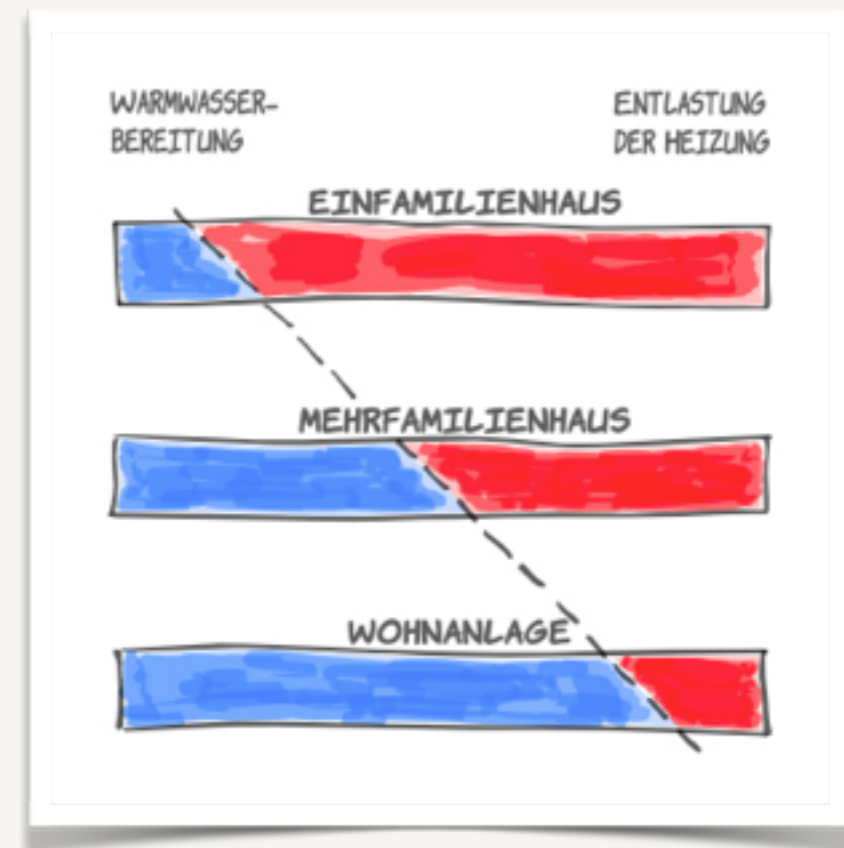


<http://www.aerogie-solar.de/index.php?id=8,21,0,0,1,0>

# Hausbetrieb

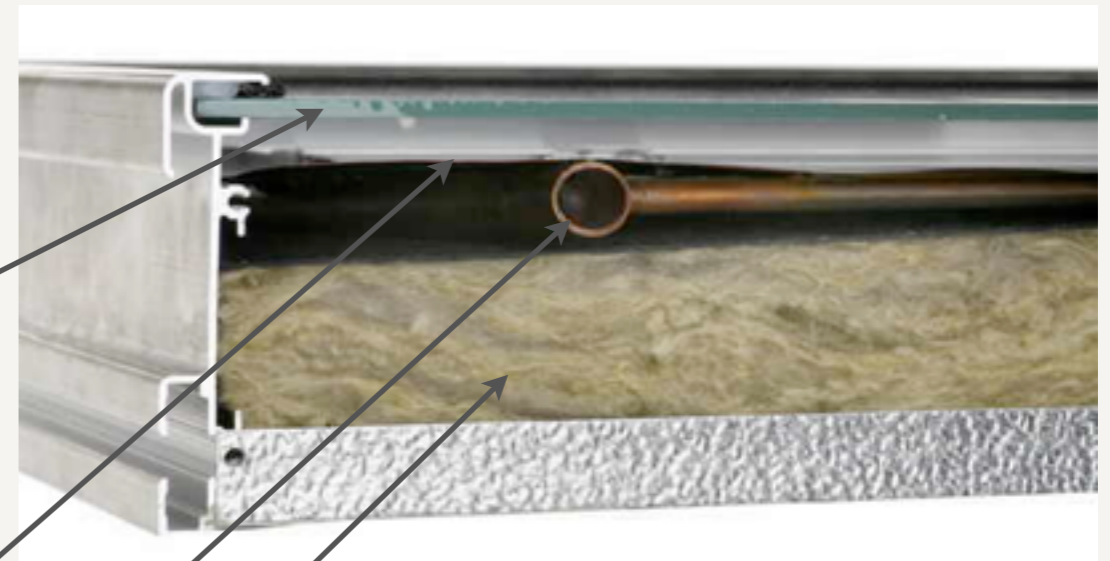
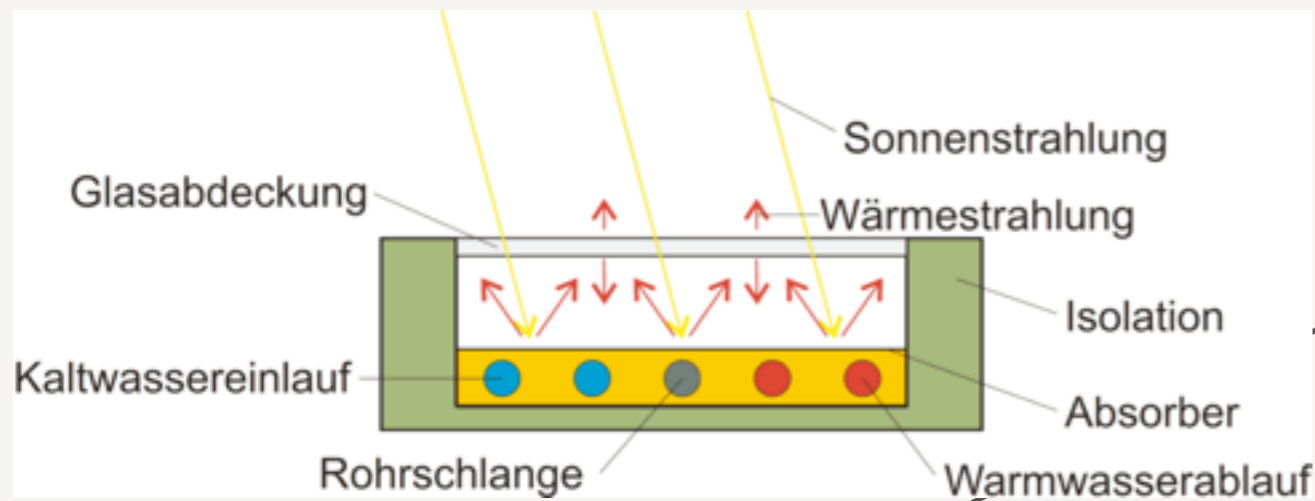
<http://www.zdf.de/ZDFmediathek/hauptnavigation/startseite#/beitrag/video/1969372/Die-W%C3%A4rmemacher>

- Direkte Wärmegewinnung
- Brauch- bzw. Frischwasser-Erwärmung (Dusche, Küche, Waschmaschine)
- Heizungsunterstützung
- Solare Kühlung
- Zwei Typen von Kollektoren: Flachkollektoren und Vakuum-Röhrenkollektoren



<http://www.solifer.de/profi-bereich/basiswissen>

# Flachkollektoren



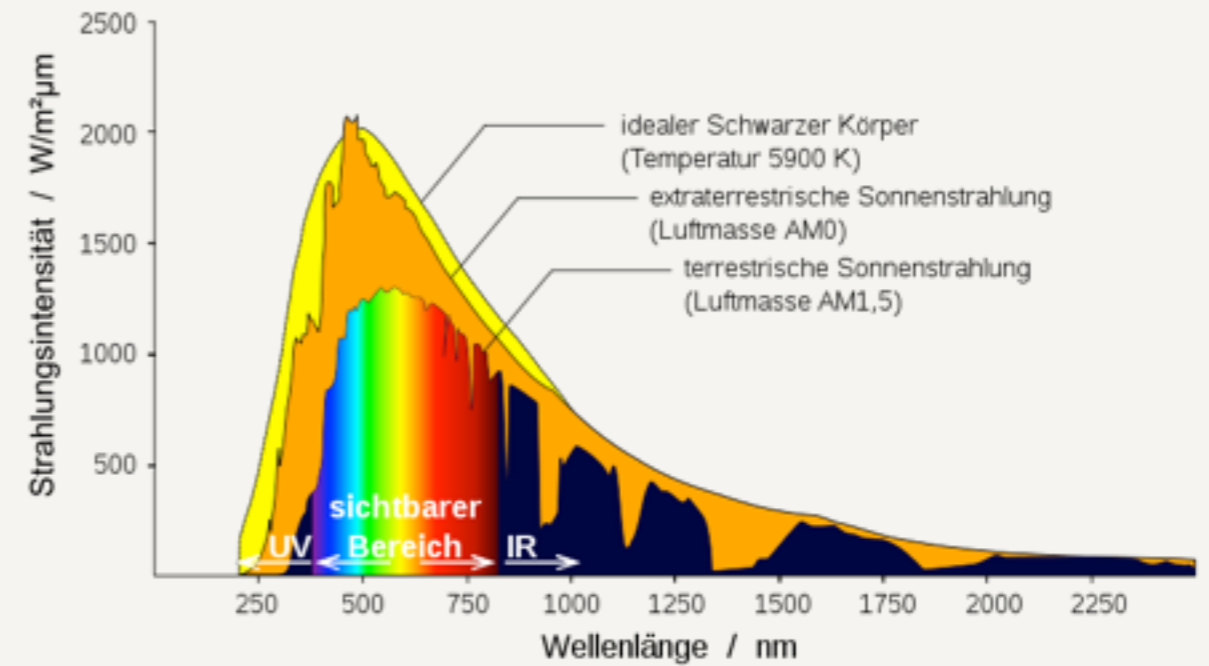
- Glasfront
- Absorber - meist Kupfer
- Röhrensystem für Wärmeträgerflüssigkeit
- Rückseiten-Dämmung



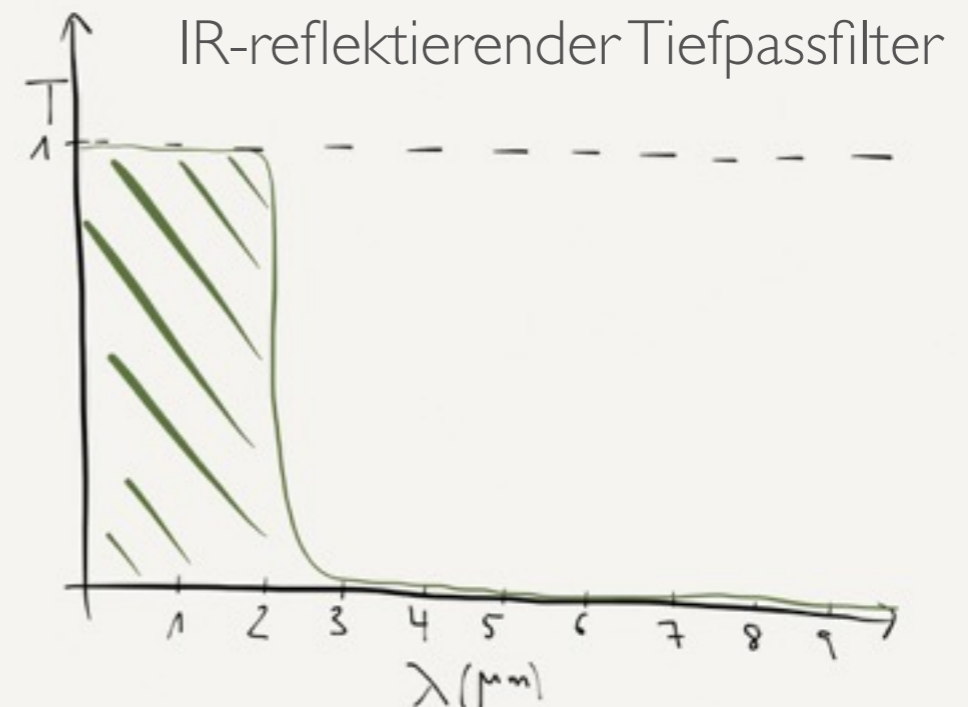
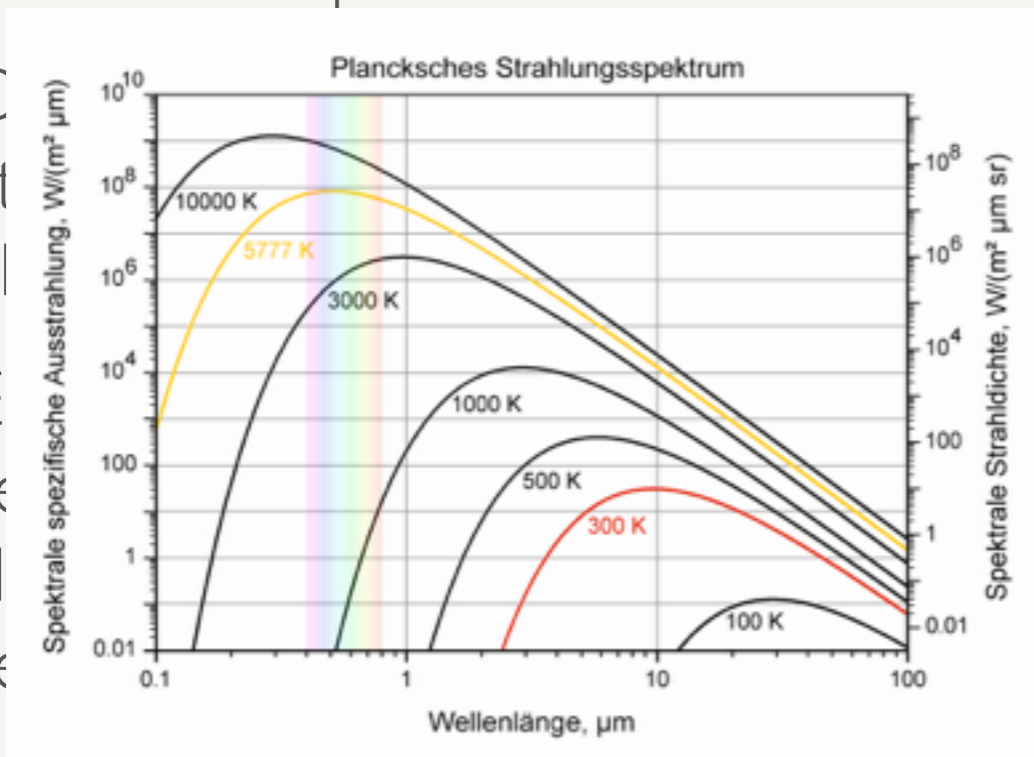


# Solarthermie - Spektrum

- Das gesamte Spektrum der Sonne erwärmt den Absorber
- Die größte Energie des Sonnenlichts steckt im sichtbaren Anteil des Spektrums

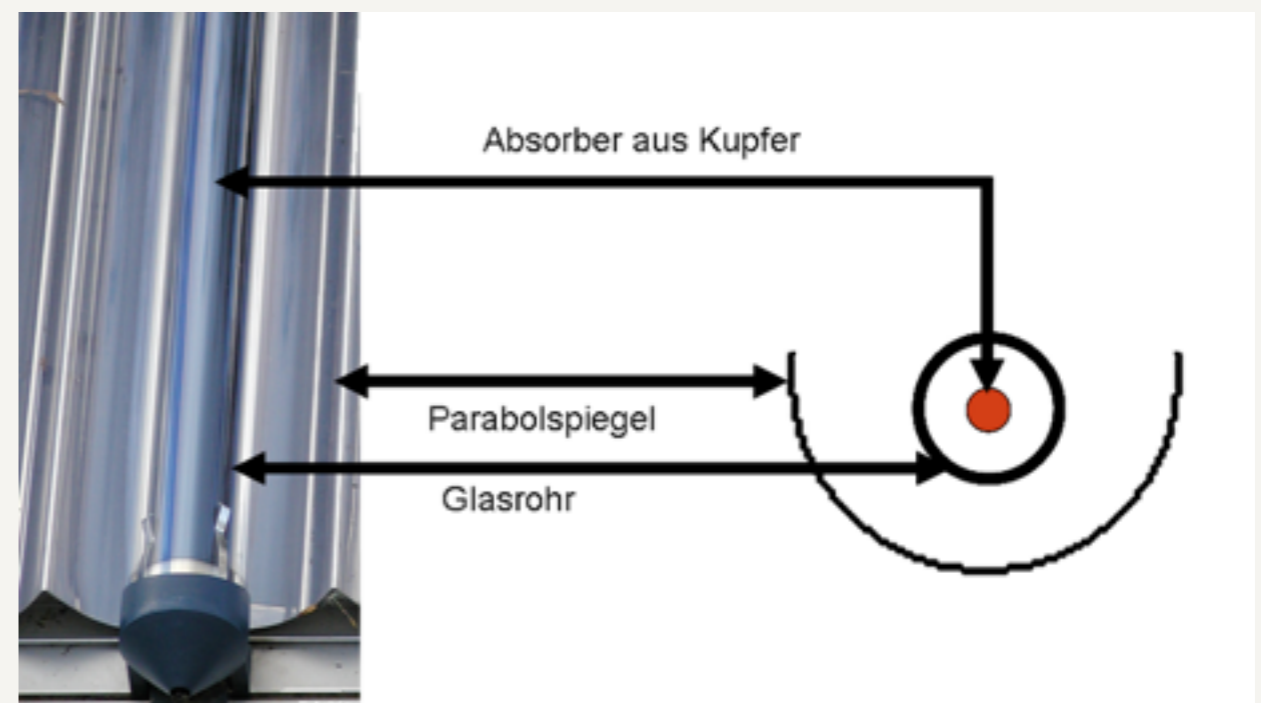
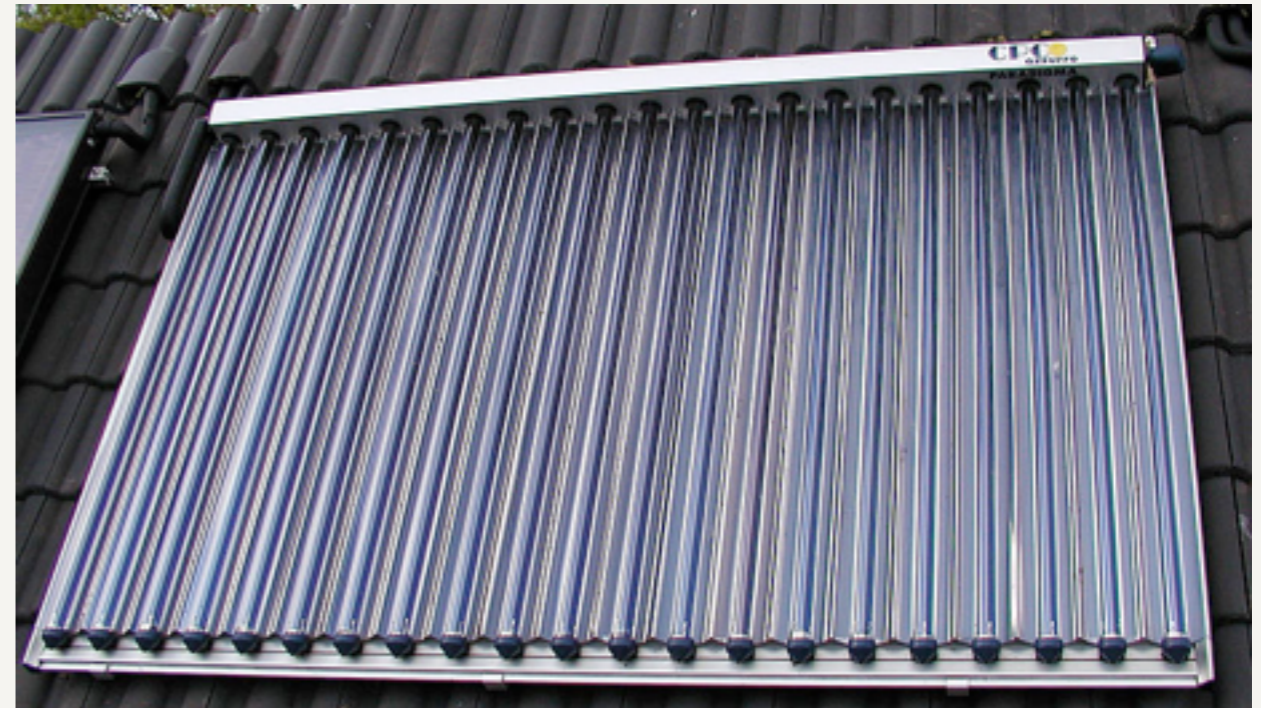


- [unclear]
- E [unclear]



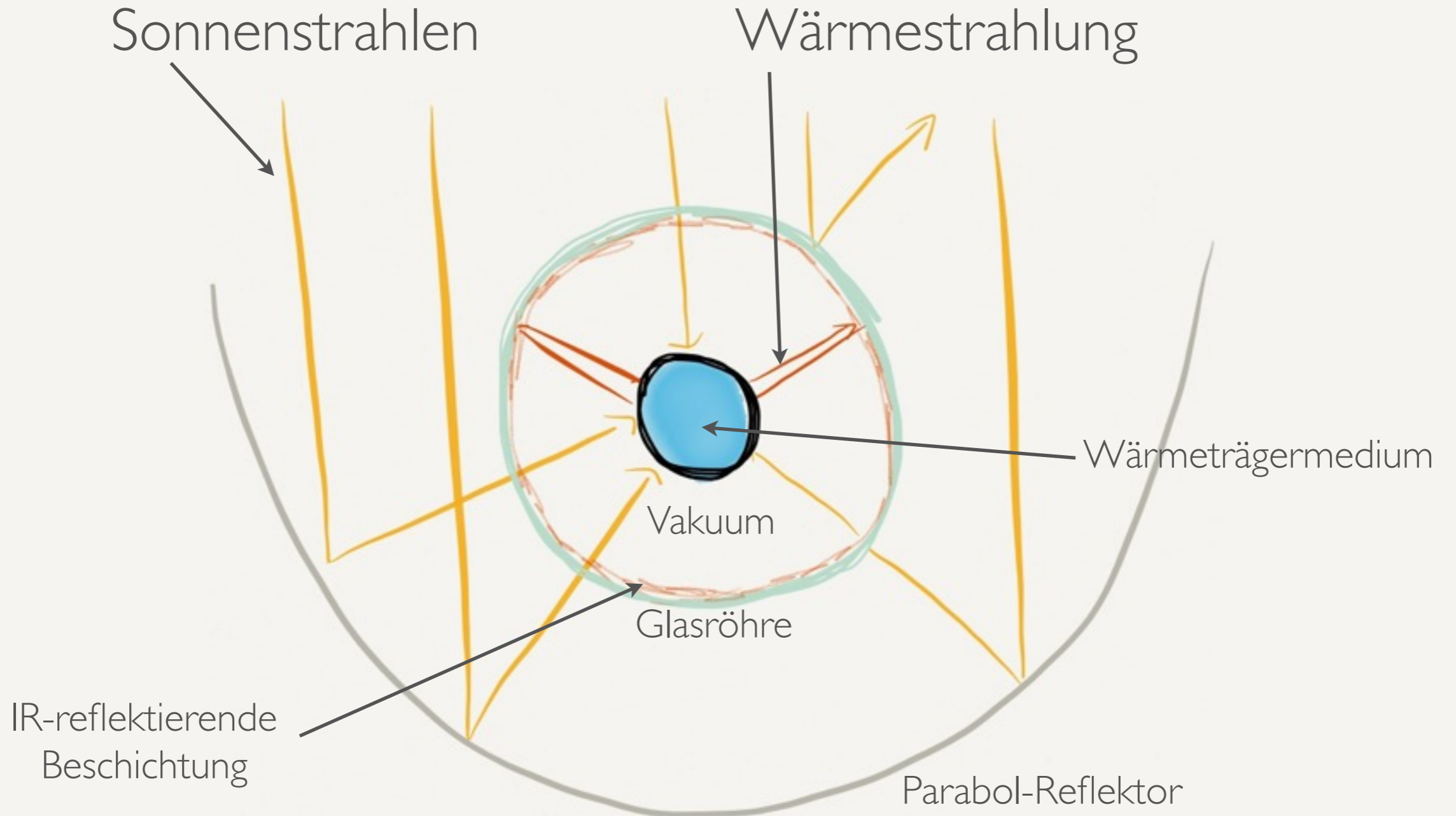
# Vakuum-Röhrenkollektoren

- Glasrohr mit evakuiertem Zwischenraum
- Absorber im Zentrum fängt Sonnenlicht auf und wird heiß
- Mehrere Konstruktionen die Wärme abzuführen
- Reduziert Konvektions- und Leitungsverluste, besonders im Winter
- Kann zusätzlich mit IR-reflektierenden Schichten bedampft werden
- Wesentlich höhere Betriebstemperaturen möglich als mit Flachkollektoren (max. 350°C)



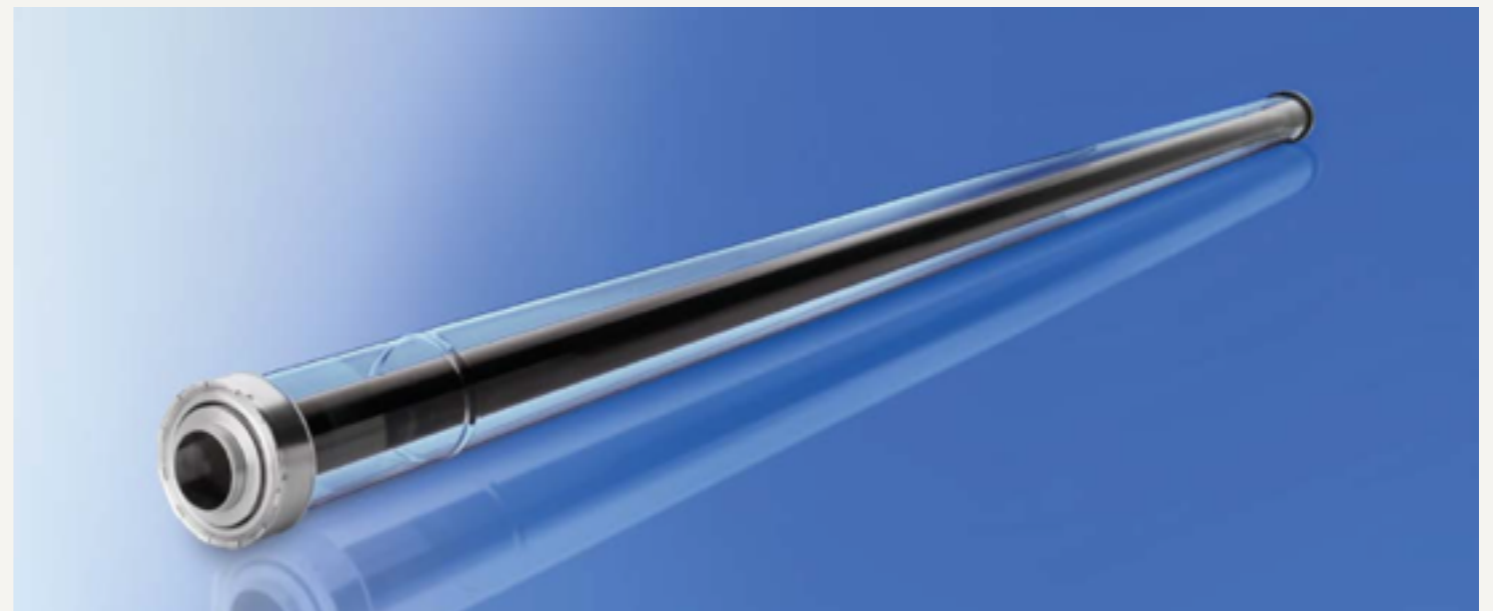
# Vakuum-Röhrenkollektoren

## Optik



# Vakuum-Röhrenkollektoren

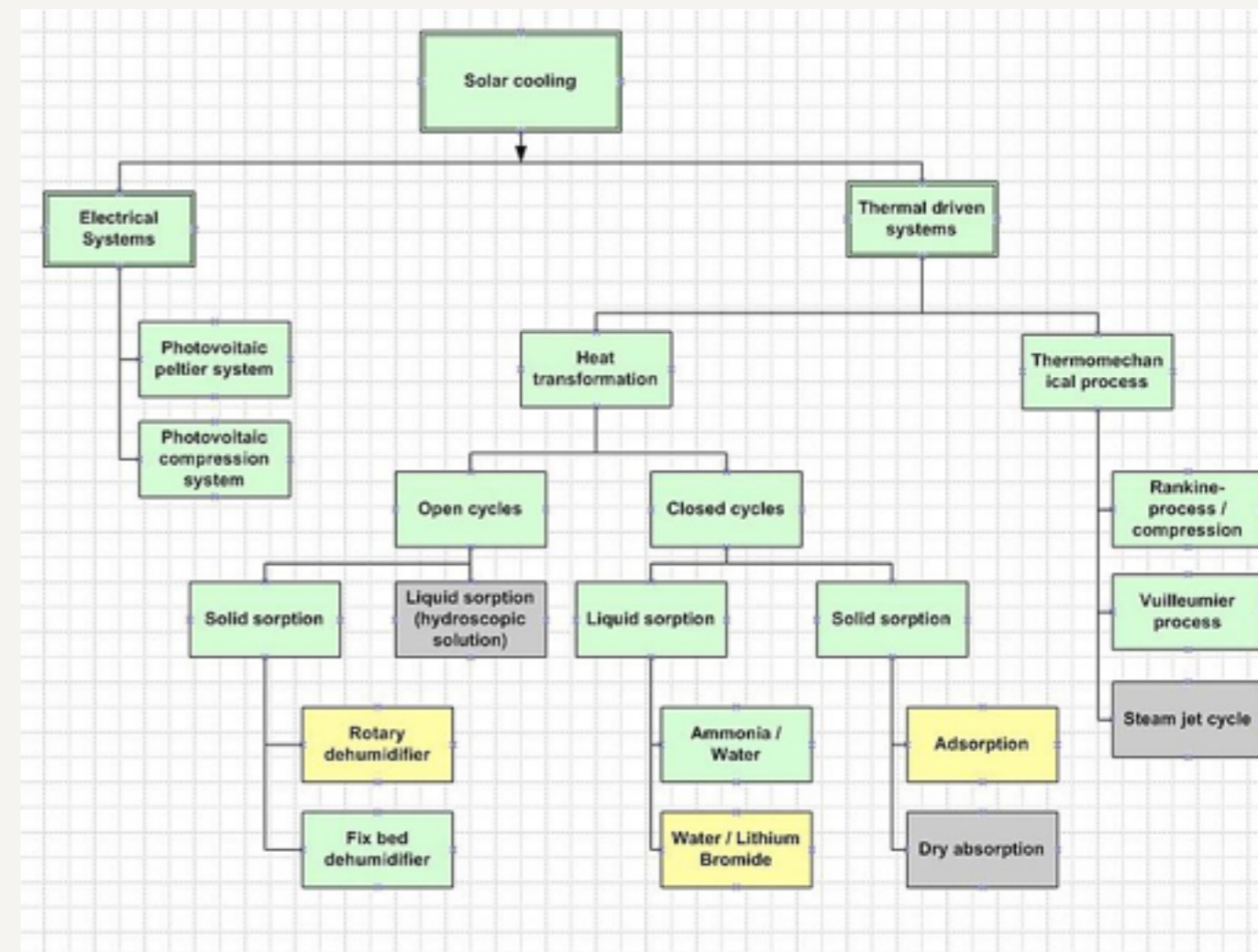
## Beispiel



Source: [http://www.schott.com/csp/english/download/schott\\_ptr70\\_4th\\_generation\\_brochure.pdf](http://www.schott.com/csp/english/download/schott_ptr70_4th_generation_brochure.pdf)

# Solare Klimatisierung

- Viele verschiedenen Möglichkeiten der Kühlung
- Indirekt: Elektrische Systeme
- Direkt: Absorptionskältemaschine
- Effiziente Absorptionskältemaschinen benötigen  $> 88^{\circ}\text{C}$  warmes Medium, d.h. Vakuum-Röhrenkollektoren



# Solarthermische Kraftwerke

- Eigene Stromerzeugung mit einer Dampfturbine
- Unterschiedliche Kraftwerkstypen
- Hier: alle mit Lichtkonzentrierender Optik
- Mindestgröße für Betrieb einer Turbine benötigt.
- Ausschließlich industrielle Anlagen
- Unterstützung konventioneller Kraftwerke zur Brennstoff-Einsparung (Hybrid-Kraftwerke)

Parabol-Rinnen



Fresnel-Konzentratoren



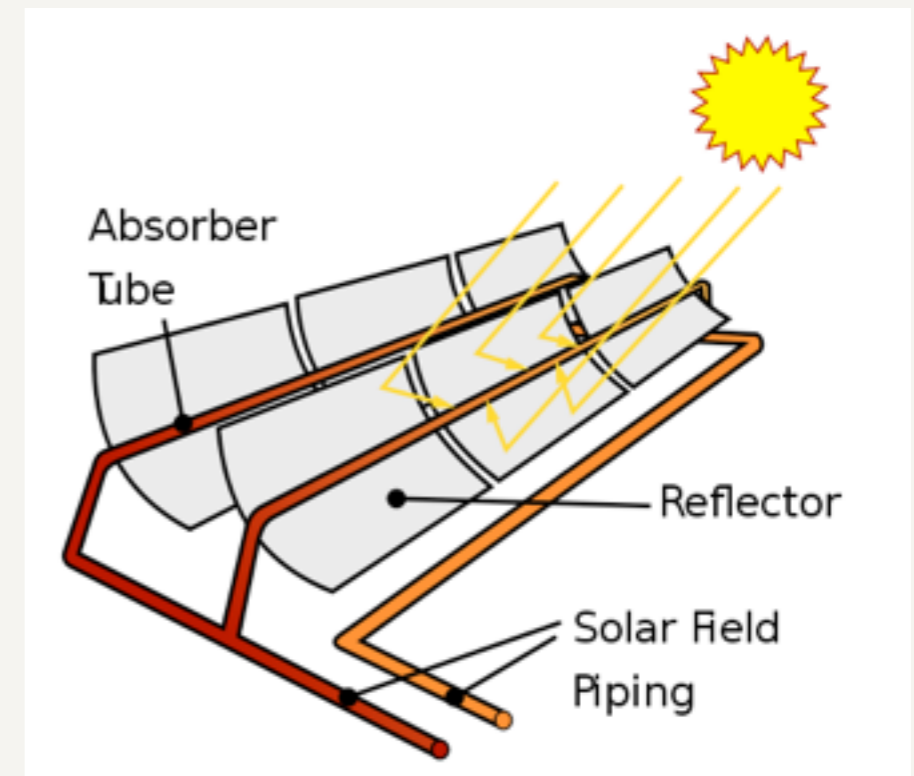
Solarturm



# Parabol-Rinnen-Kraftwerke

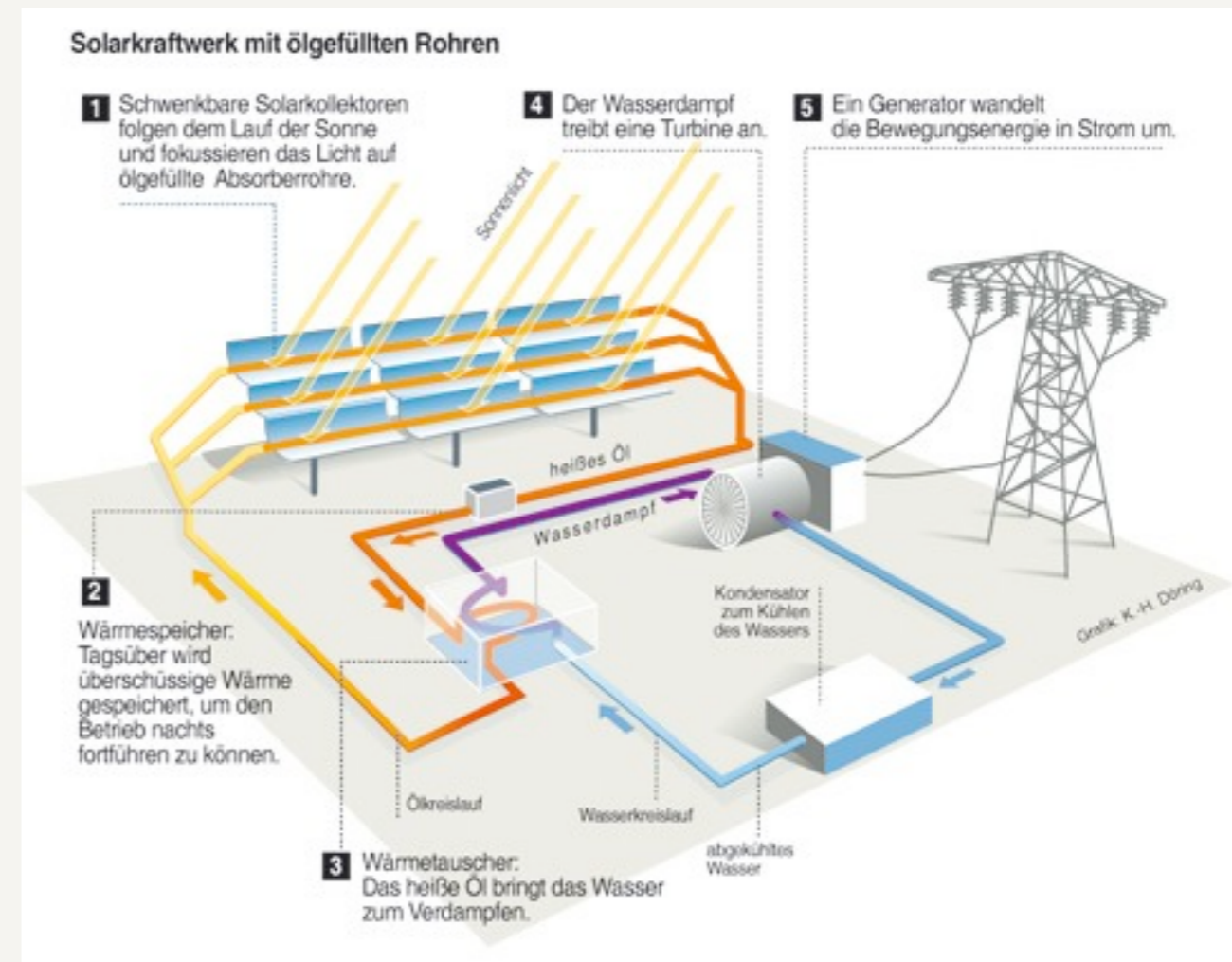
- Parabolische Spiegel konzentrieren das Licht auf einen röhrenförmigen Absorber
- Evakuierte Glasröhre
- IR-reflektierende Beschichtung
- Das Wärmeträgermedium fließt im Innern des Absorbers (Öl, Wasserdampf)
- Arbeitstemperatur bis 400°C (Öl) bzw. > 500°C (Wasserdampf)
- Saisonale Nachführung (West-Ost)
- Einachsige Nachführung (Nord-Süd)

<http://www.schott.com/csp/german/schott-solar-ptr-70-receivers.html>



# Parabol-Rinnen-Kraftwerke

- Leistungen im Bereich 50 - 350 MW
- Speicher verlängern die produktive Arbeitszeit bis in die Nacht
- ca. 2 GW installierte Leistung

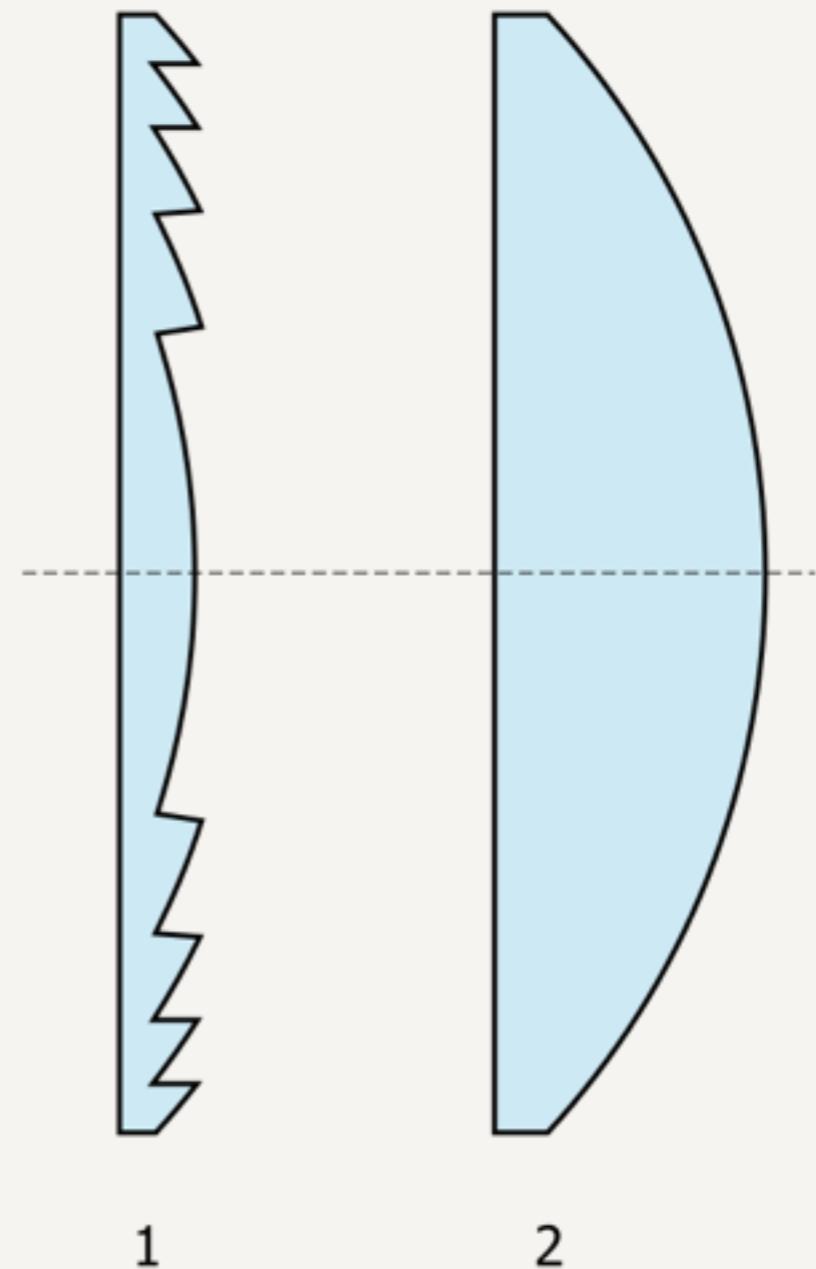


<http://www.aerogie-solar.de/index.php?id=8,21,0,0,1,0>



# Fresnel Linse

- Für große Optiken (z.B. Leuchtturm) wird das Glas zu groß und schwer.
- Fresnel erfand einen Weg das Gewicht zu verringern: einfach die Mitte der Linse weglassen und nur die Oberflächenform erhalten.
- Ergibt eine deutlich schlechtere Abbildungsqualität bei deutlich reduziertem Material und Gewicht.
- Nicht für Abbildung geeignet, aber sehr praktisch für Ausleuchtung.



# Fresnel Linse

Leuchtturm

Heckleuchte am Auto

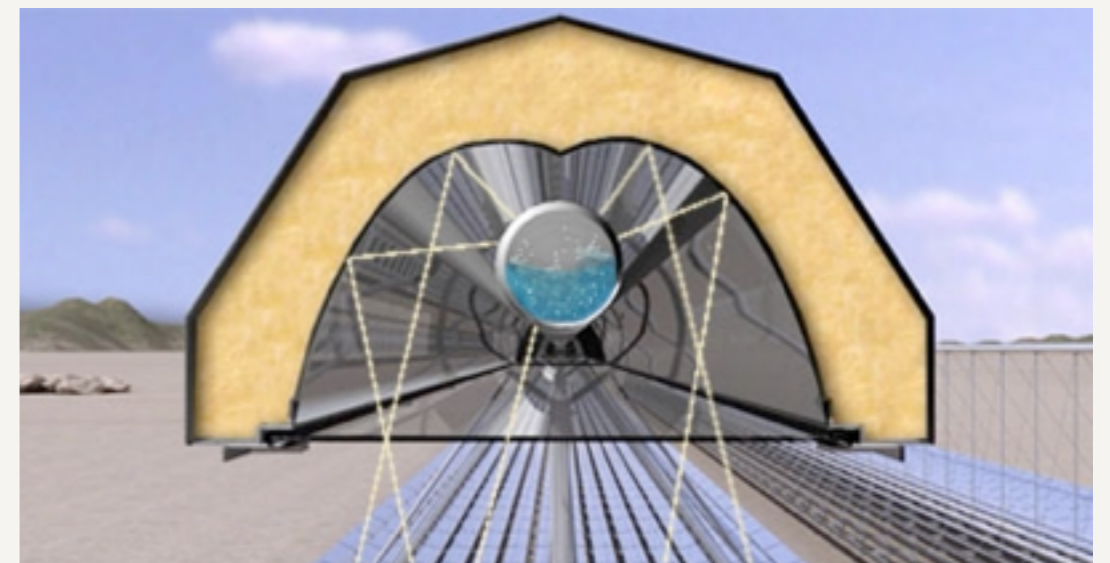


# Fresnel-Konzentrator + Parabol-Rinne

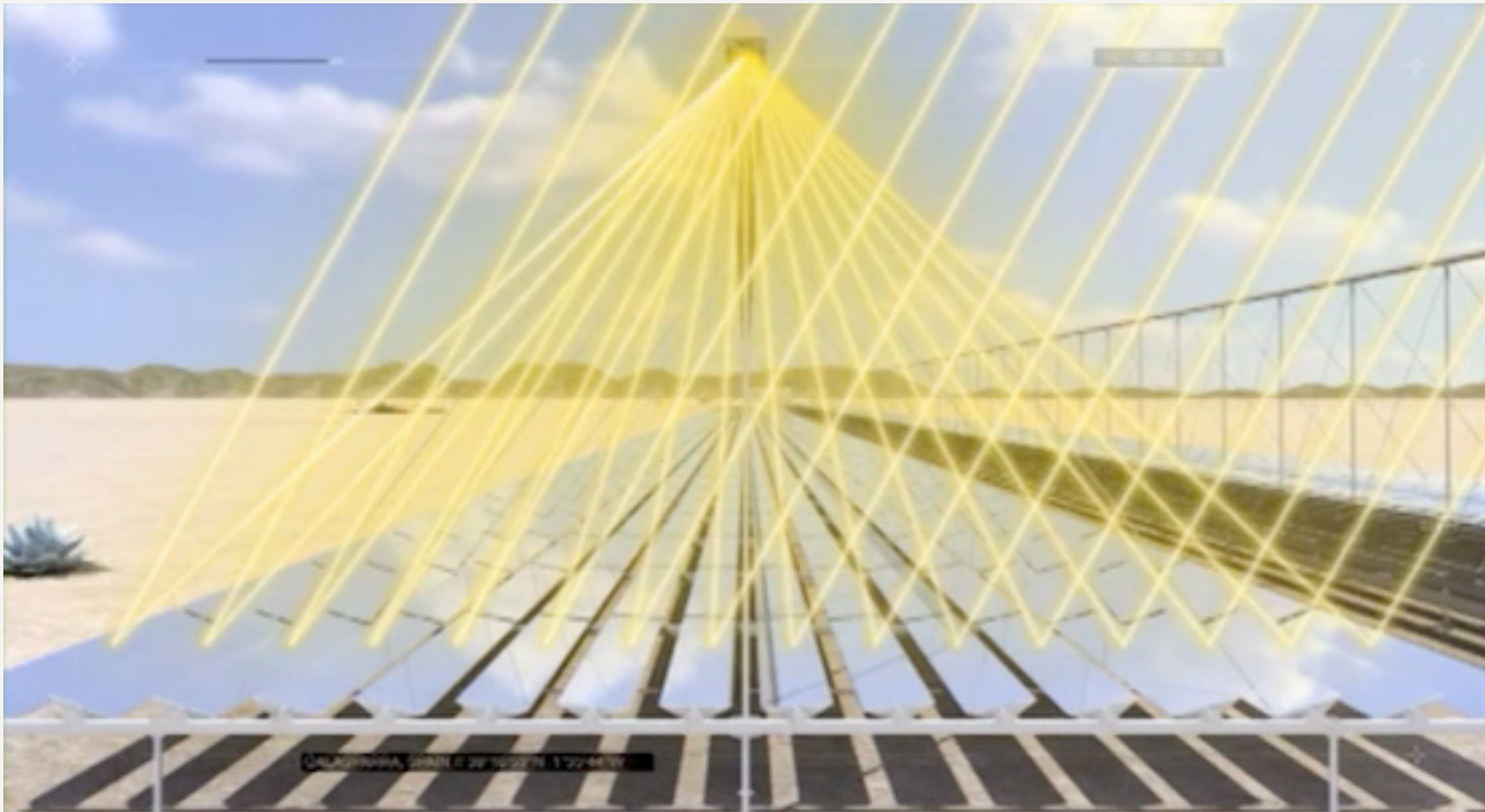
- Viele Spiegel reflektieren das Sonnenlicht auf den Absorber
- Größere Apertur möglich als mit Parabol-Spiegeln
- Flache Metall-Spiegel wesentlich günstiger in der Fertigung
- Parabol-ähnlicher



<http://www.novatecsolar.com/20-0-Nova-1.html>



# Fresnel-Konzentrator

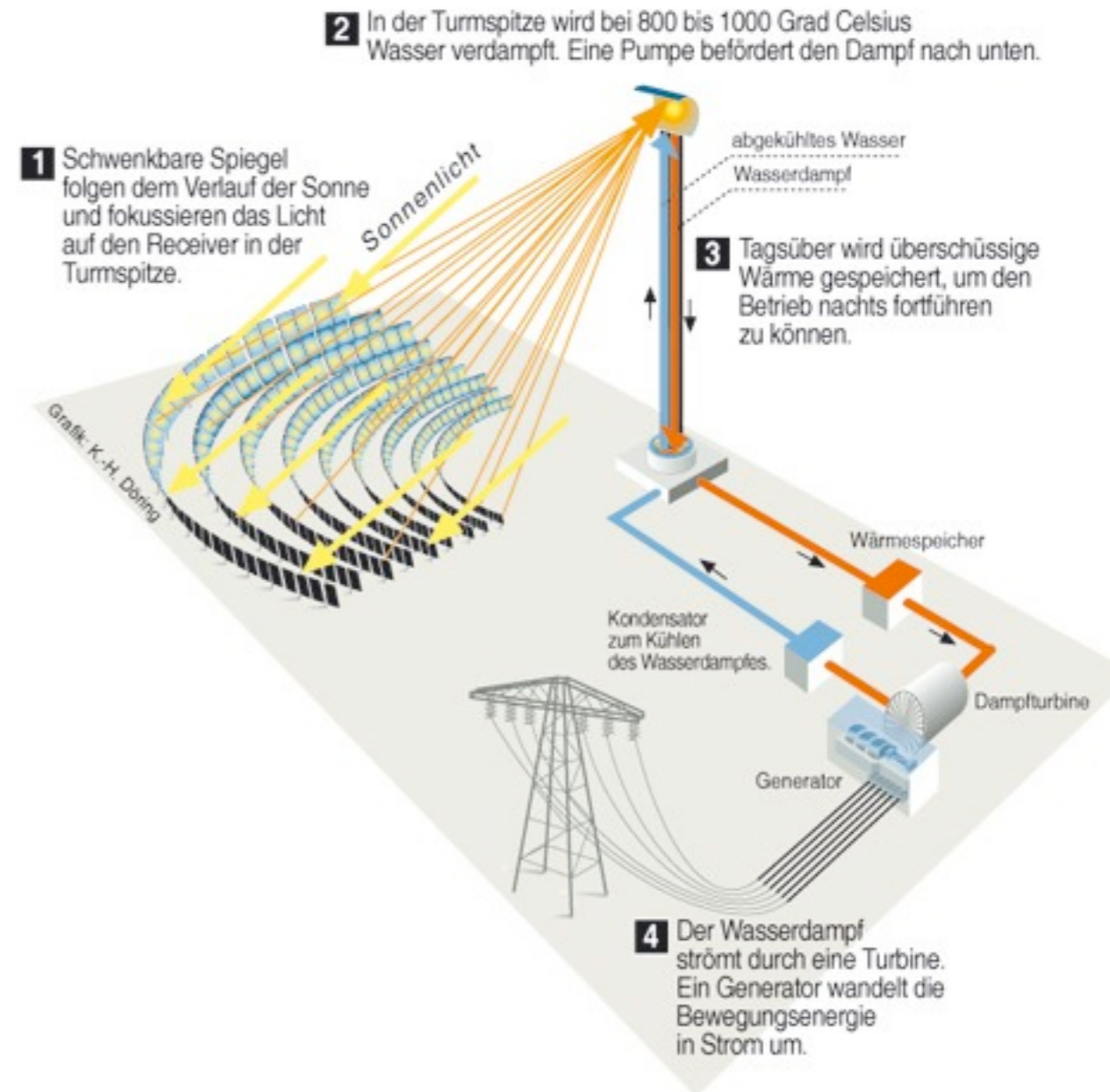


<http://www.novatecsolar.com/20-0-Nova-1.html>

# Solarturm

- Viele Spiegel lenken das Sonnenlicht auf einen einzigen Absorber
- Dampfkraftwerk
- Extrem hohe Temperaturen möglich (mehrere 1000°C)
- Praktischer Arbeitsbereich 1000 - 1300°C
- Erfordert zweiachsige Nachführung jedes Spiegels
- Wärmeträgermedium Salzschmelze, Wasserdampf, Luft

## Solarkraftwerk mit Wasserturm



<http://www.aerogie-solar.de/index.php?id=8,21,0,0,1,0>

# Solarturm Gemasolar, Sevilla, Spanien

- 2600 Spiegel (318.000 m<sup>2</sup>)
- Turmhöhe 140 m
- 19.9 MW
- Wärmeträger Salz @ 500°C
- Speicher für 15h Betrieb



# Solarturm Jülich

- 2153 Spiegel
- Turmhöhe 60 m
- 1.5 MW
- Versuchsanlage als Technologie-Demonstrator
- Wärmemedium: Luft
- Spezieller Keramik-Absorber und -Speicher



# Ivanpah



Source: <http://www.ivanpahsolar.com/photos-and-videos>



# Solarturm Eigenschaften

	Ivanpah	Gemasolar	Jülich
Ort	Ivanpah Dry Lake, Calif.	Sevilla, Spanien	Jülich, Deutschland
Leistung / MW	392	20	1.5
Menge / MWh	1 079 232	110 000	
Apertur / m <sup>2</sup>	2 600 000	304 750	17 650
# Heliostats	173 500 / 3	2650	2153
Temperatur	565°C	565°C	680°C
SOP	2014	2011	2008

[http://www.nrel.gov/csp/solarpaces/project\\_detail.cfm/projectID=62](http://www.nrel.gov/csp/solarpaces/project_detail.cfm/projectID=62)

[http://www.nrel.gov/csp/solarpaces/project\\_detail.cfm/projectID=40](http://www.nrel.gov/csp/solarpaces/project_detail.cfm/projectID=40)

[http://www.nrel.gov/csp/solarpaces/project\\_detail.cfm/projectID=246](http://www.nrel.gov/csp/solarpaces/project_detail.cfm/projectID=246)

# Speicher und HGÜ

## Grundlastfähige Qualität der Stromerzeugung

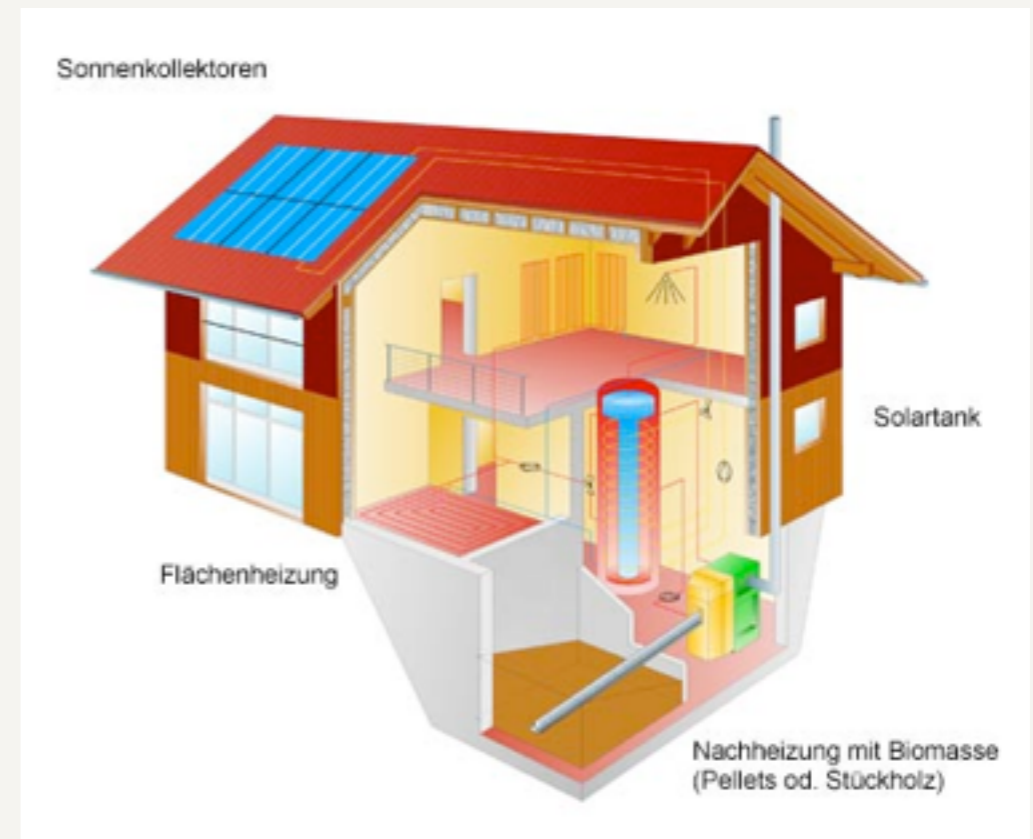
- Zwischenspeicher mit einer Kapazität länger als die Nacht erlauben den ununterbrochenen Betrieb der (Solar-)Kraftwerke.
- Damit werden Sie Grundlastfähig.
- Projekte wie Desertec sollen den Strom in Afrika produzieren und leiten ihn über HGÜ-Leitungen nach Europa.



DESERTEC Foundation, [www.desertec.org](http://www.desertec.org)

# Sonnenhaus-“Standard“

- Dämmstandard Niedrigenergiehaus, also schlechter als Passivhaus
- Primärenergieverbrauch aber wesentlich niedriger oder sogar positiv (Plus-Energie-Haus)
- Zentrales Element: riesiger Wärmespeicher (10.000 - 40.000 Liter) mit Mehr-Zonen-Regelung
- Flächenheizung für niedrige Vorlauftemperaturen
- Zuheizen durch Öfen (z.B. Kamin mit Wärmetauscher)

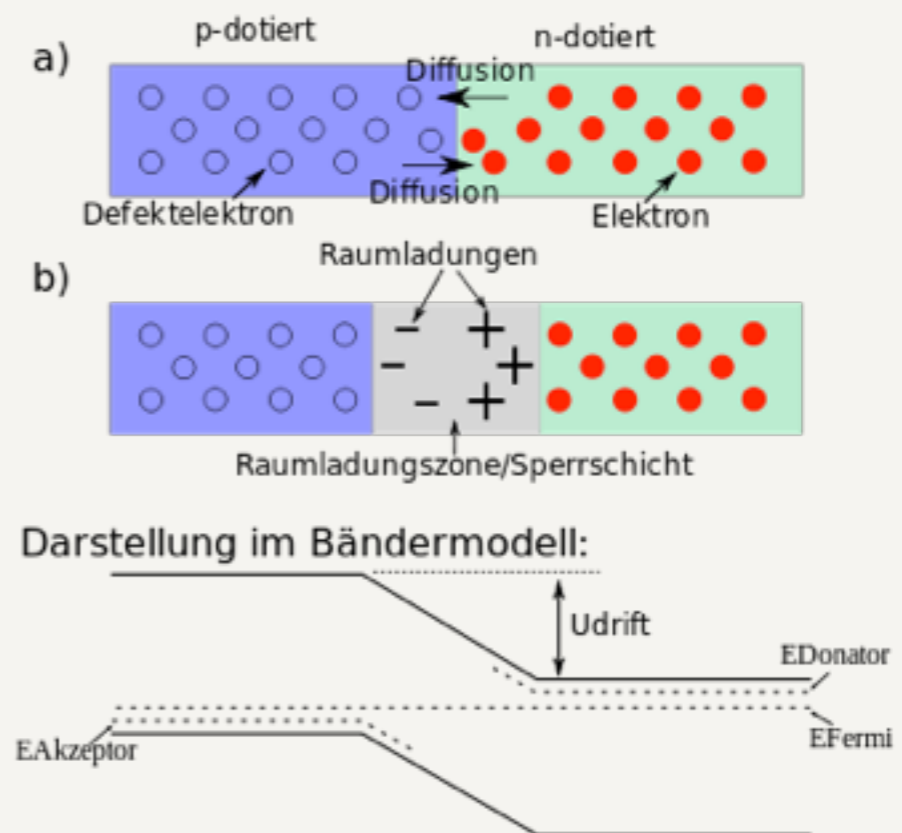


<http://www.sonnenhaus-institut.de/baukonzept.html>

# Backup

# Innerer photoelektrischer Effekt

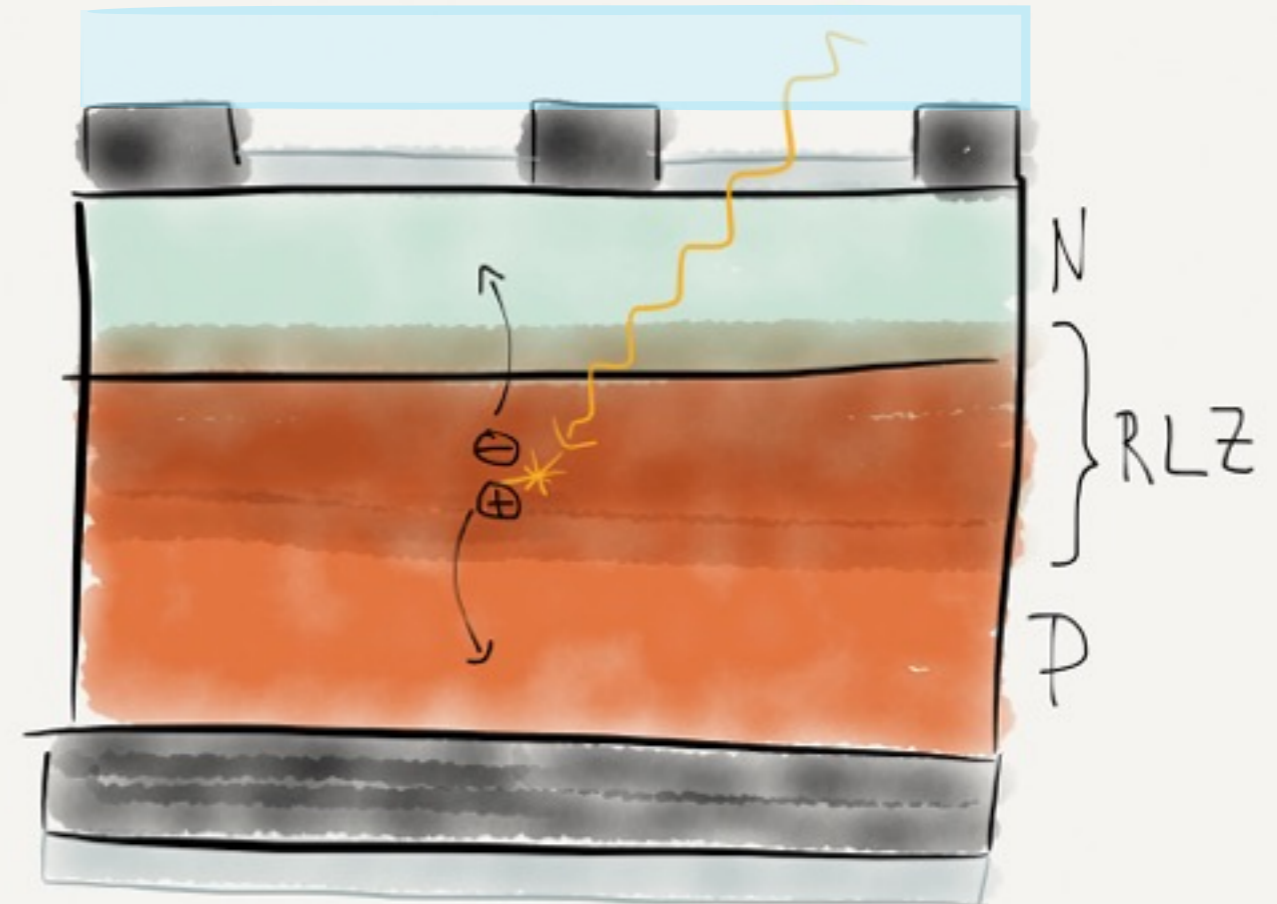
- Durch unterschiedliche Dotierung eines Halbleiters wird ein Überschuss der Majoritätsladungsträger erzeugt.
- Bei Kontakt entsteht ein Konzentrationsgradient, der durch Diffusion ausgeglichen wird.
- Die Diffusion erzeugt ein elektrisches Feld, das der Diffusion entgegenwirkt.
- Es entsteht eine Raumladungszone, auch genannt Sperrschicht, in der ein elektrisches Feld herrscht.



# Solarzelle

## Aufbau

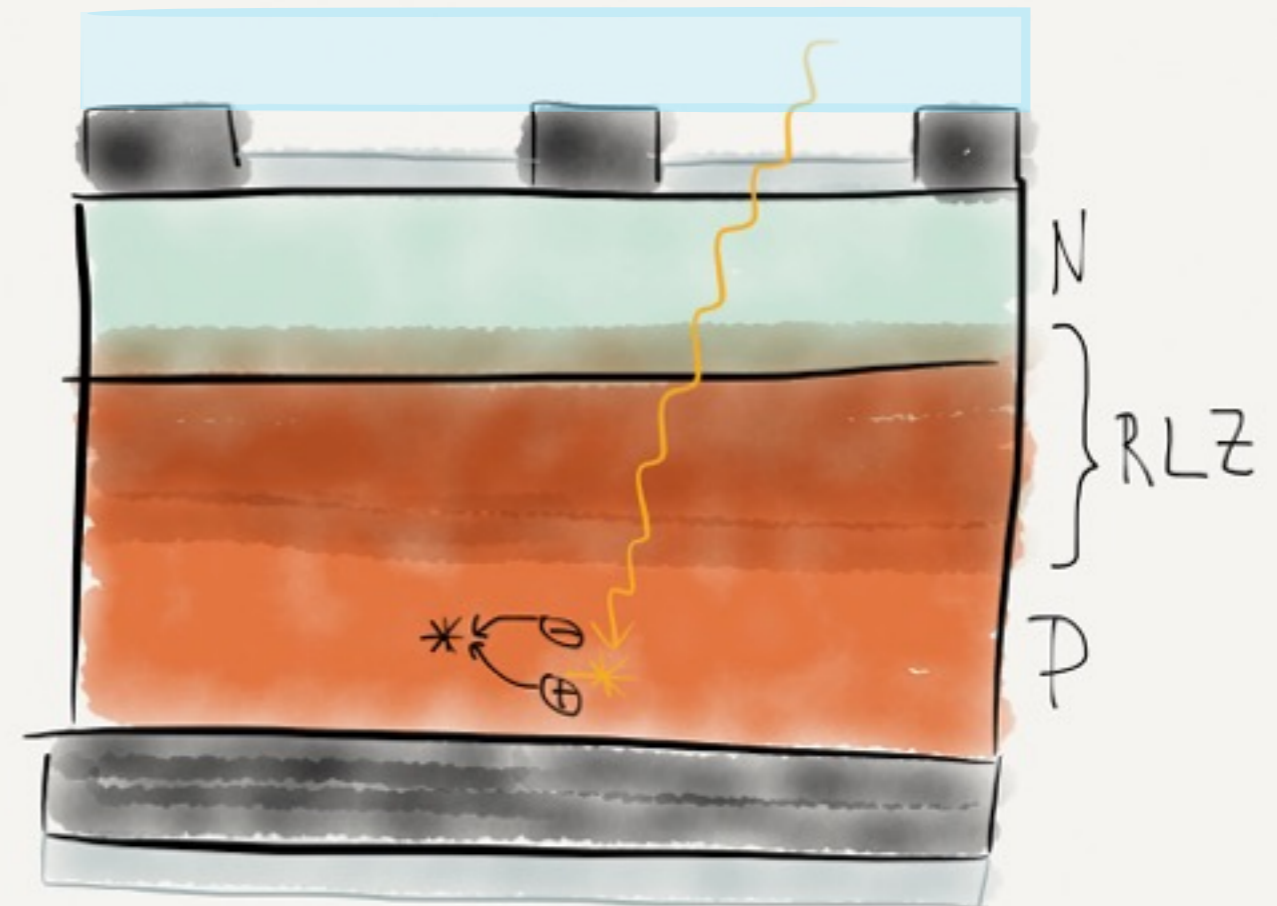
- Ein Photon muss in der RLZ absorbiert werden, um zum Stromfluss beizutragen.
- Dann findet eine Ladungstrennung durch das Feld der RLZ statt.
- Das Elektron wird in den N-Bereich beschleunigt, das Loch in den P-Bereich.



# Solarzelle

## Aufbau

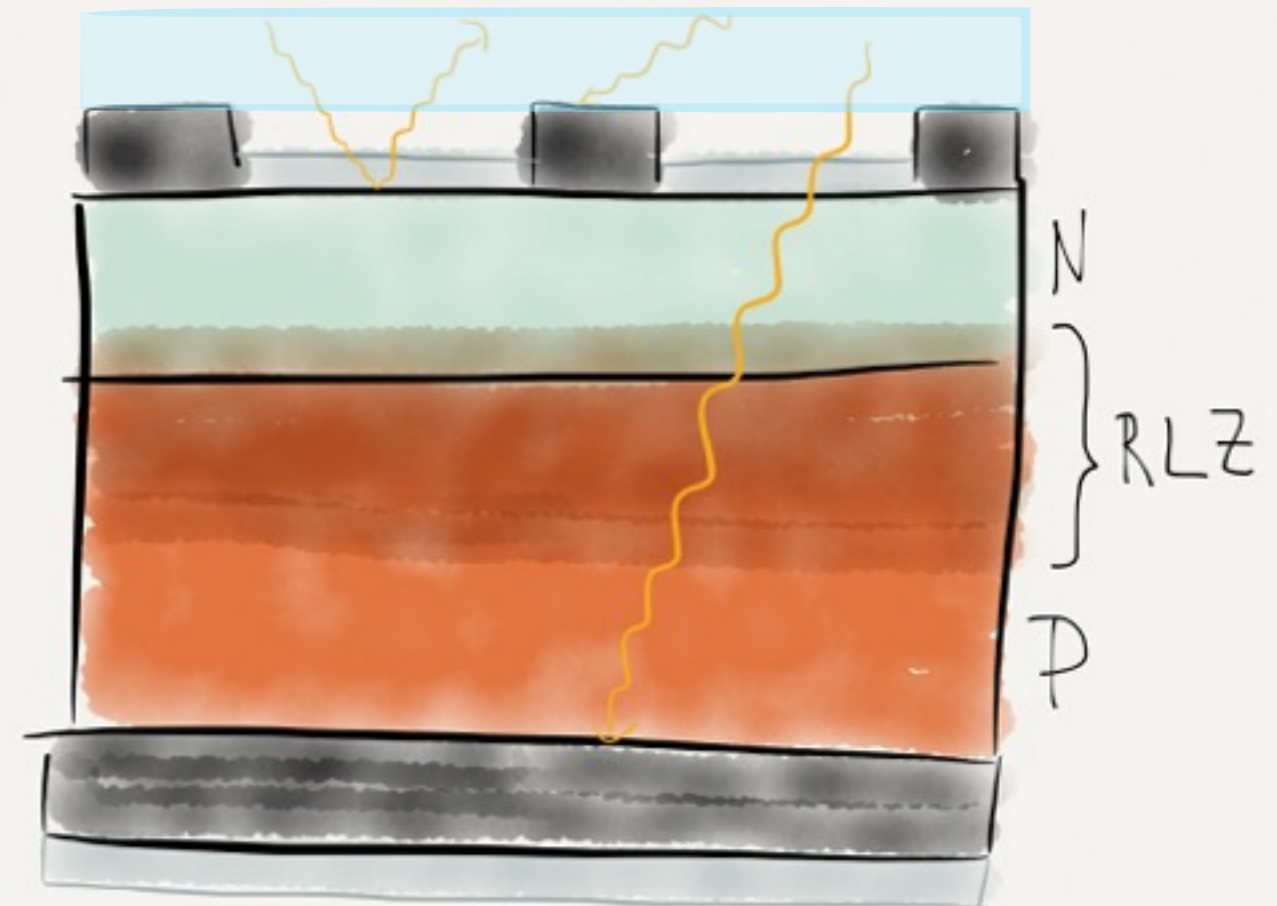
- Wird das Photon außerhalb der RLZ absorbiert rekombinieren die Minoritätsträger sofort wieder.
- Es kommt zu keiner Ladungstrennung und somit keinem nutzbaren Strom.
- Die Energie wird in Wärme umgewandelt.



# Solarzelle

## Aufbau

- Viele Photonen werden aber gar nicht absorbiert.
- Reflexe an Grenzübergängen
- Absorption und Reflexion an den Kontakten

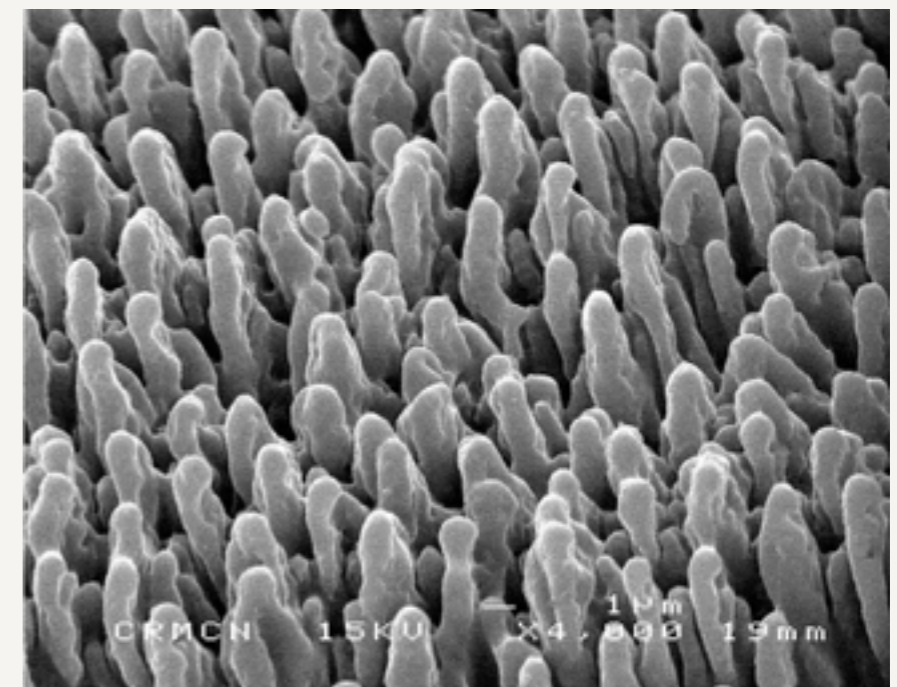
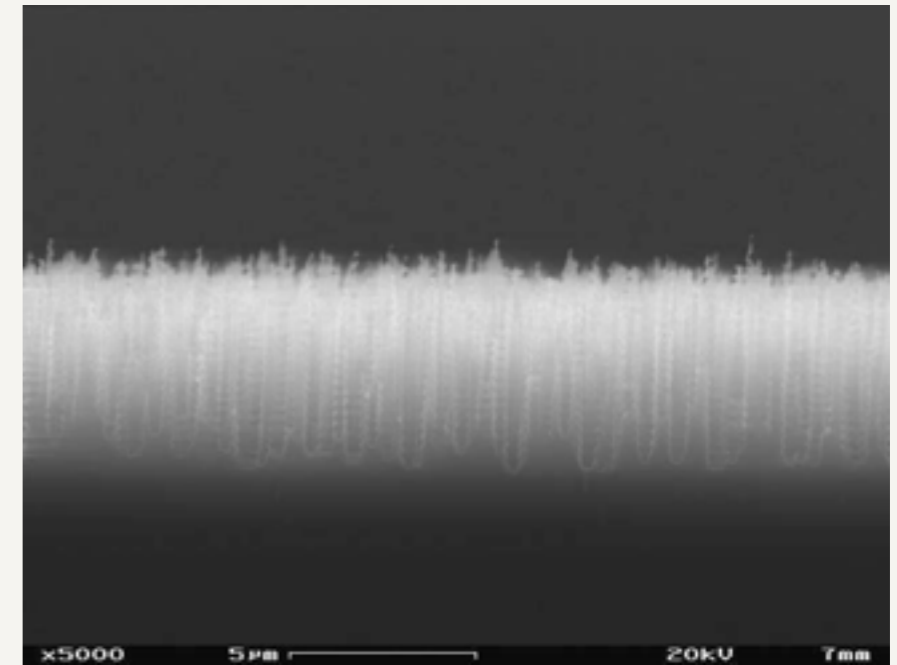




# Schwarzes Silizium

RIE

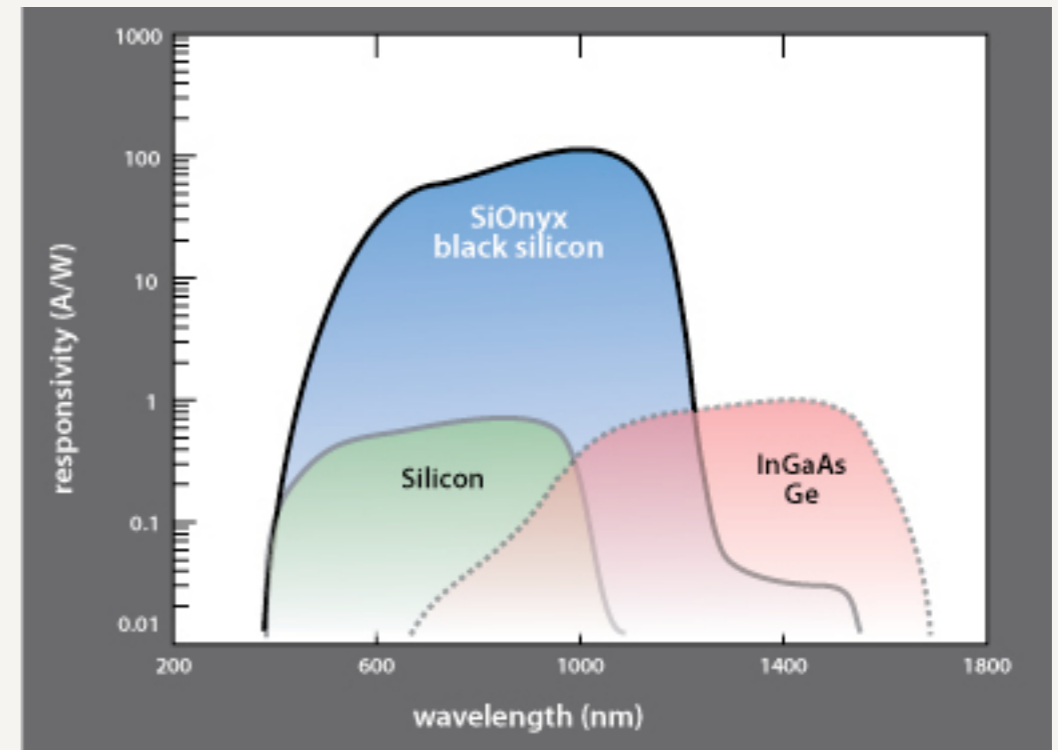
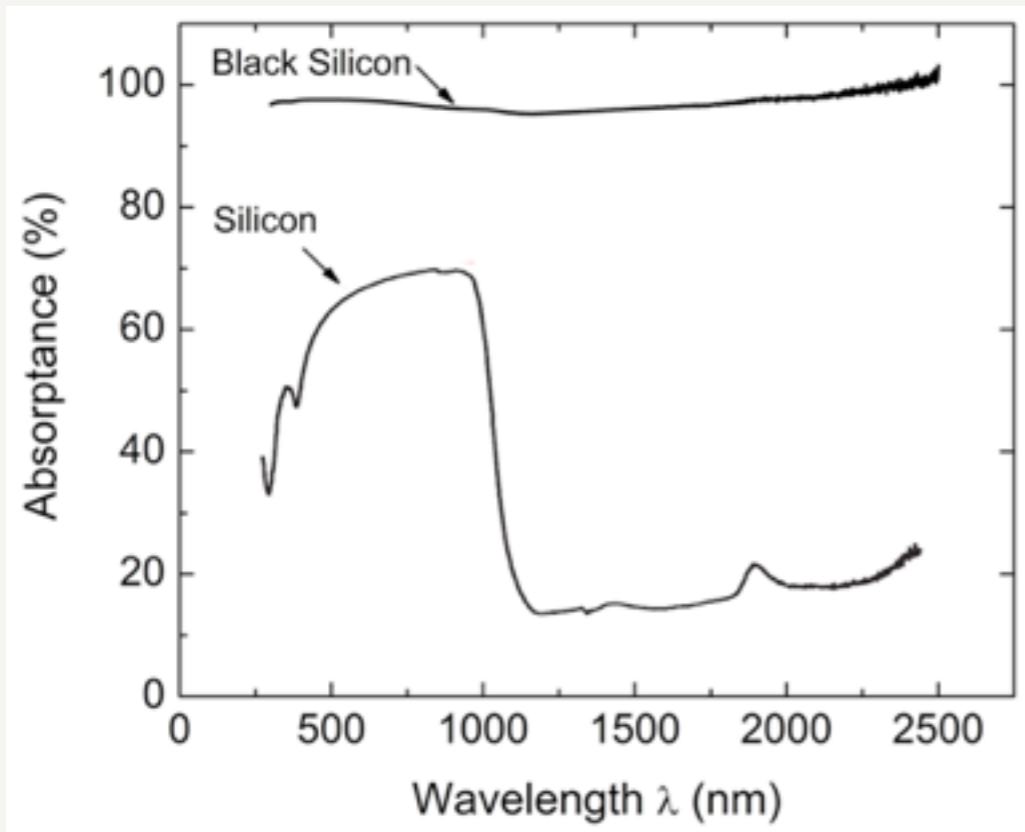
- Zwei Herstellprozesse: Reaktives Ionenätzen oder fs-Laserpulse
- Geringere Fresnel-Reflexe durch Oberflächenstruktur (so wie eine Anti-Reflex-Beschichtung)
- Absorption des IR-Spektrums durch zusätzliche Energieniveaus in der Bandlücke (mit Schwefel)
- Auch für empfindliche Photodioden einsetzbar



fs-Laser

# Schwarzes Silizium

<http://www.heise.de/newsticker/meldung/Schwarzes-Silizium-Sensor-Material-der-Zukunft-205681.html>



Quelle: [Fraunhofer-Institut HHI](http://www.fraunhofer-hhi.de)

