

Tom Stieler

Lehramt BBS Metall-/Maschinentechnik & Physik

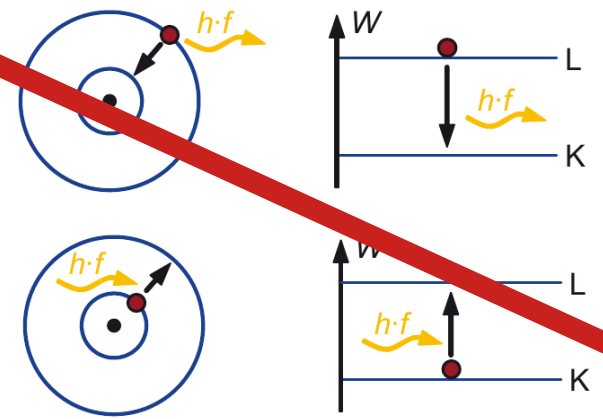
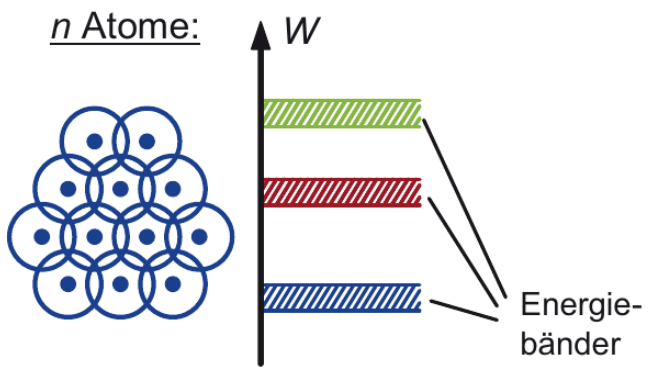
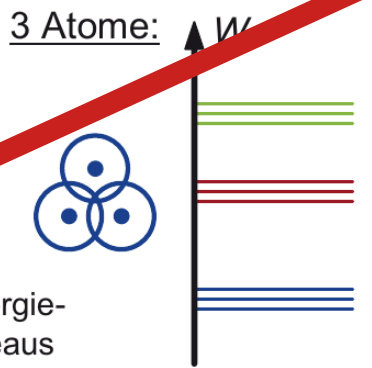
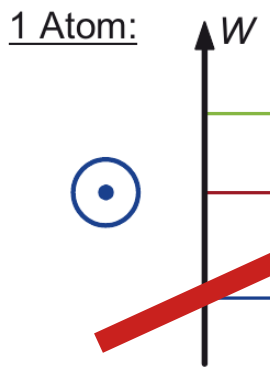
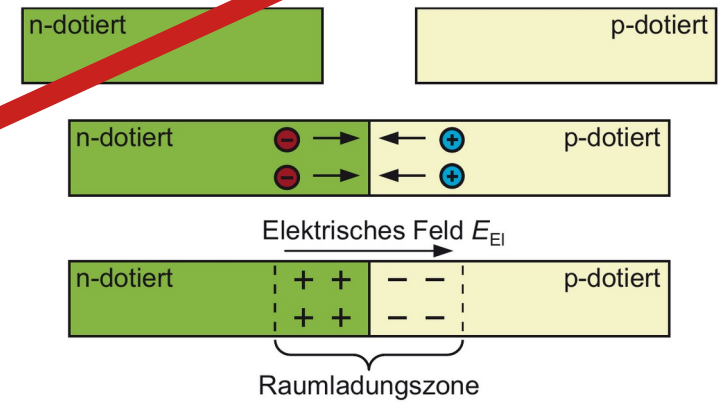
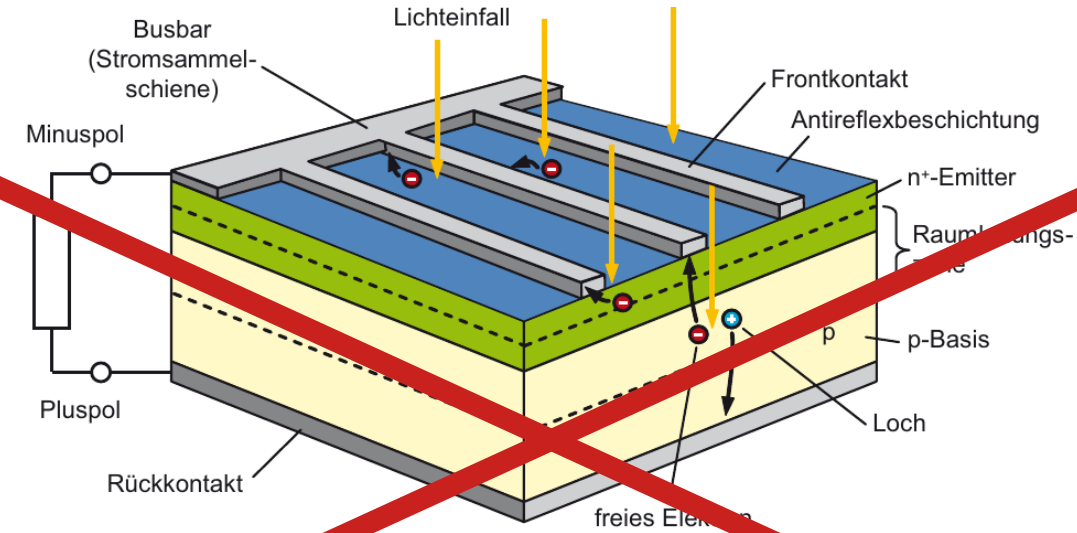
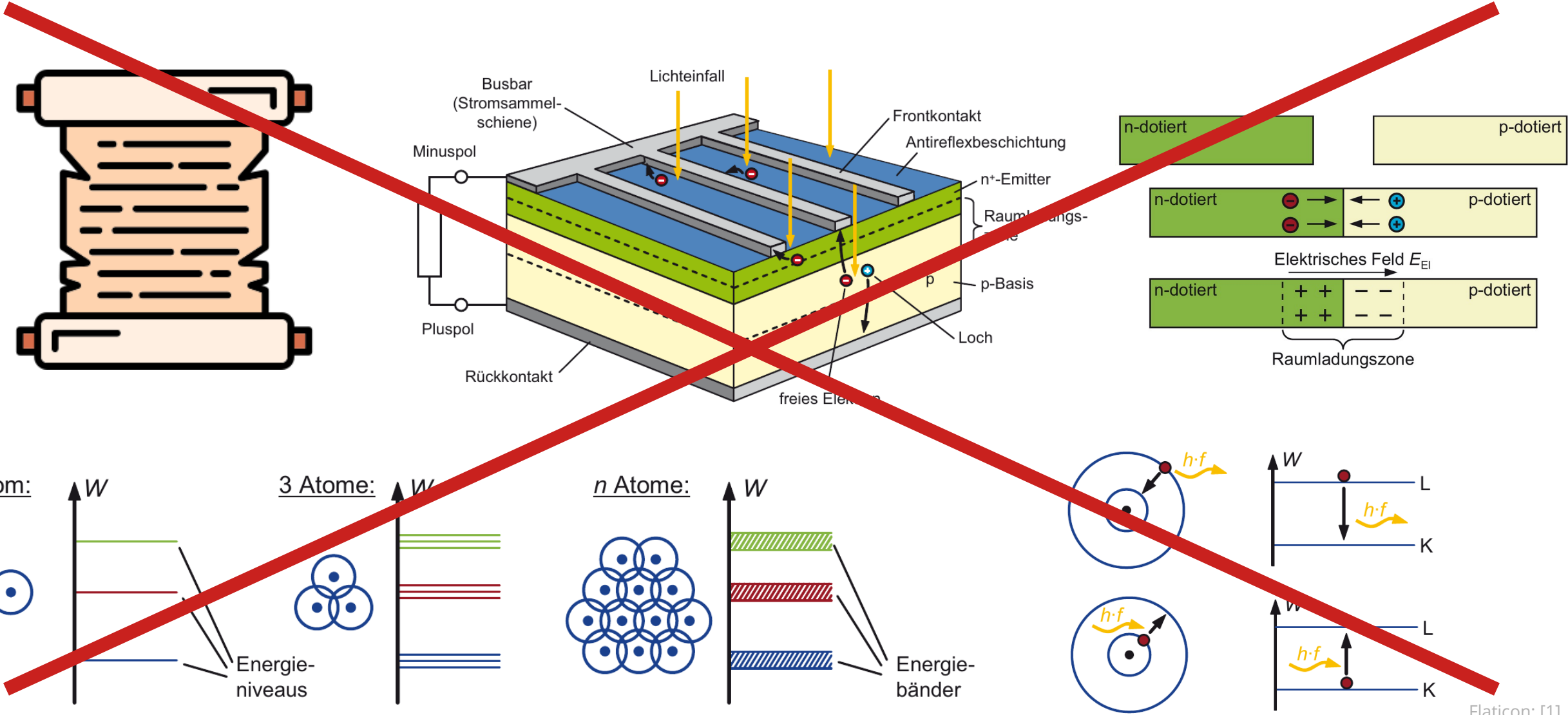
Photovoltaik

Technikbewertung als Teil des Physikunterrichts

Gesellschaftliche Einordnung der Physik / Anwendungen der Physik

6. Juni 2023

Worum es heute NICHT geht...



Worum es heute geht

I. Motivation

II. Aktueller Stand der Photovoltaik

A. Ein Blick auf den Energiemarkt

B. Technische Aspekte

C. *Exkurs*: Bifaziale Solarzellen

III. Welt der Schüler

IV. Schülergerechte & Methodische Umsetzung

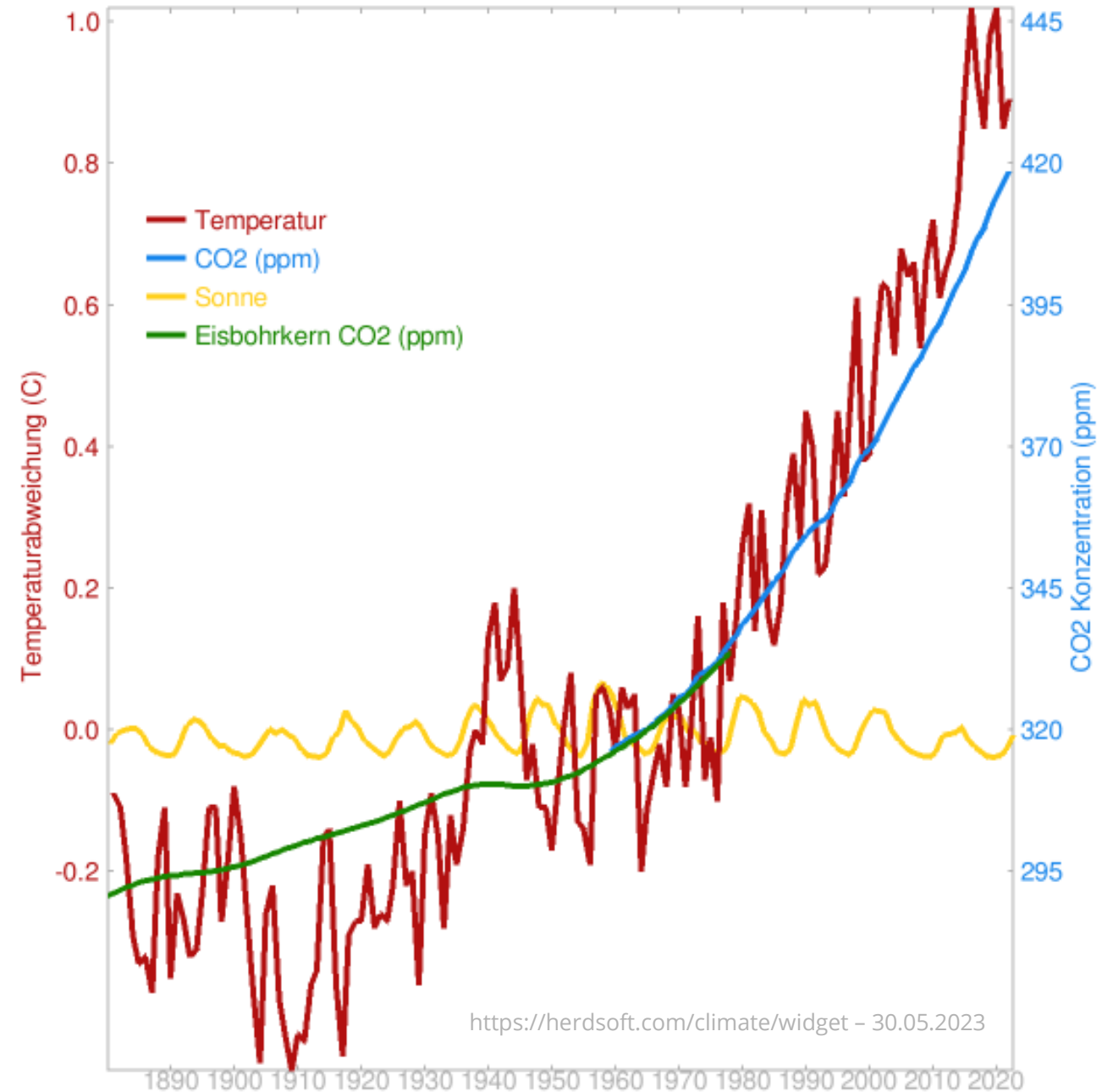
V. Literatur / Quellen

I Motivation

Klimawandel

Die fünf Kerninfos zum Klimawandel in 20 Worten:

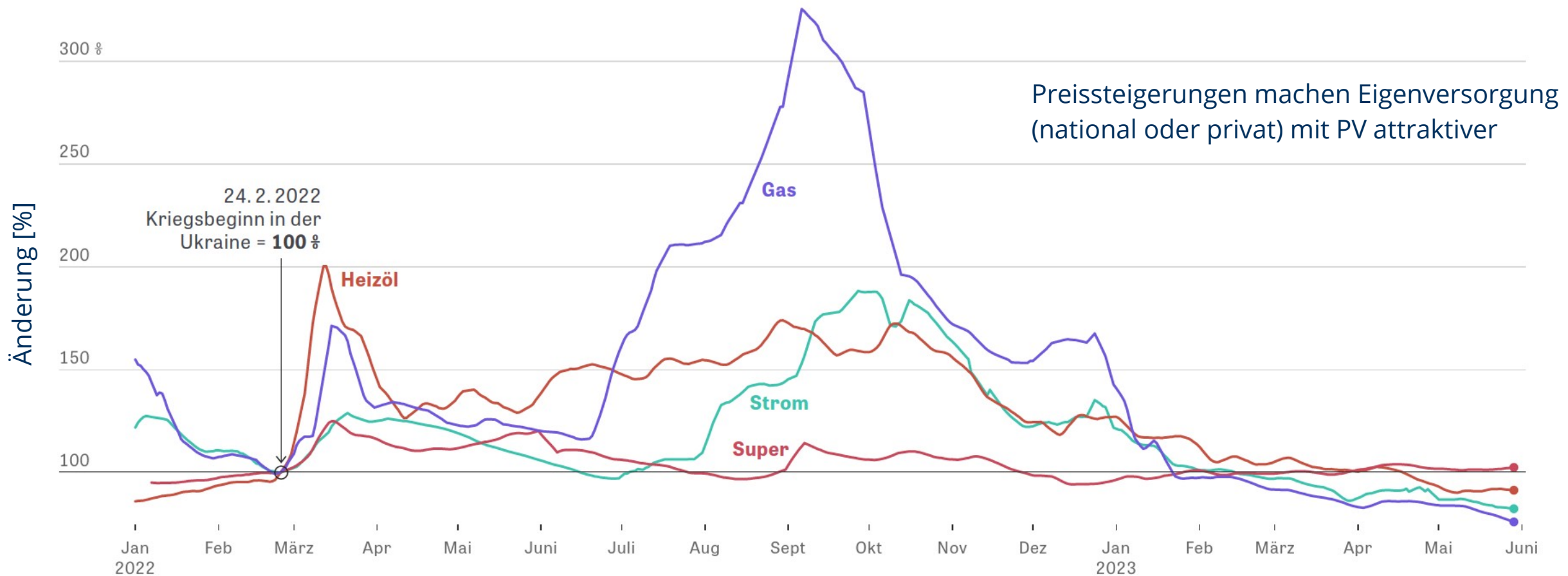
1. Er ist real.
2. Wir sind die Ursache.
3. Er ist gefährlich.
4. Die Fachleute sind sich einig.
5. Wir können noch etwas tun. [2]



I Motivation

Wie sich die Preise für Energie entwickeln

Veränderung seit Kriegsbeginn



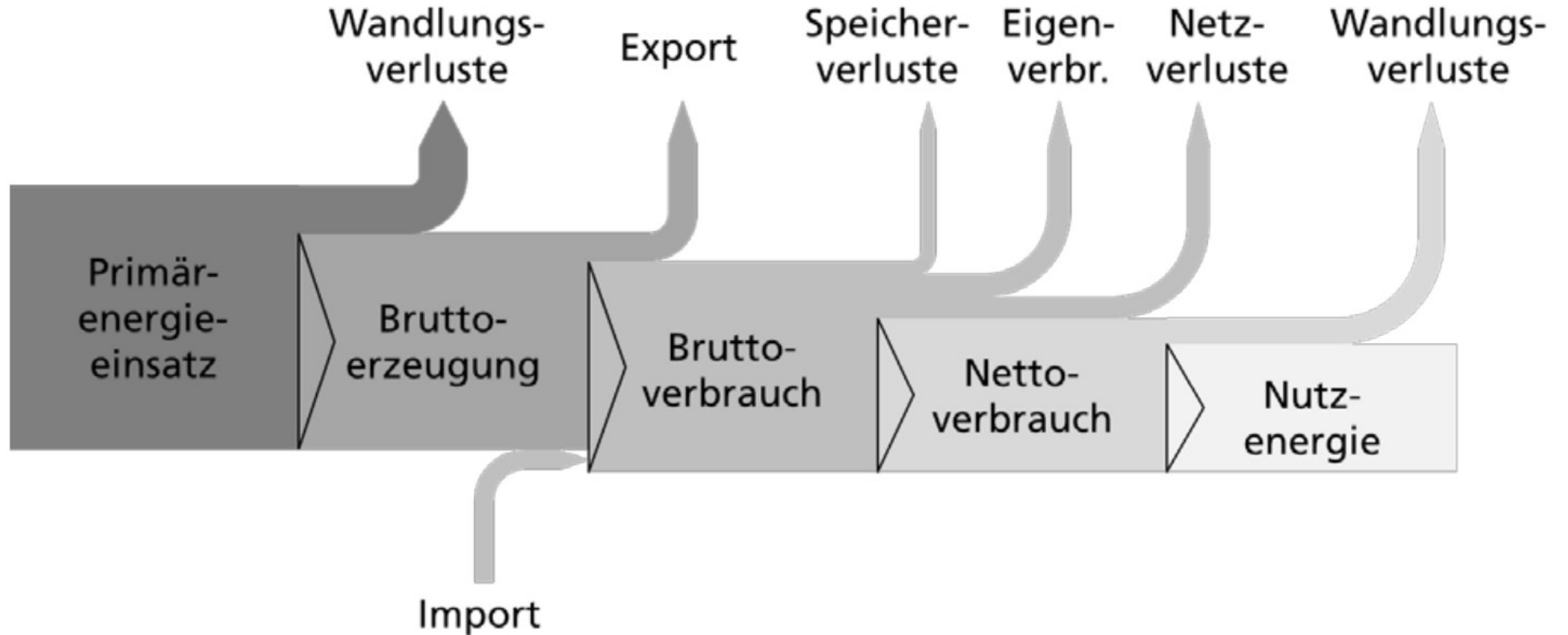
Zuletzt aktualisiert: 30. Mai 2023

Quelle: Verivox, tankerkoenig.de, esyoil, ZEIT ONLINE

<https://www.zeit.de/wirtschaft/energiemonitor-deutschland-gaspreis-spritpreis-energieversorgung> – 30.05.2023

II.A Ein Blick auf den Energiemarkt

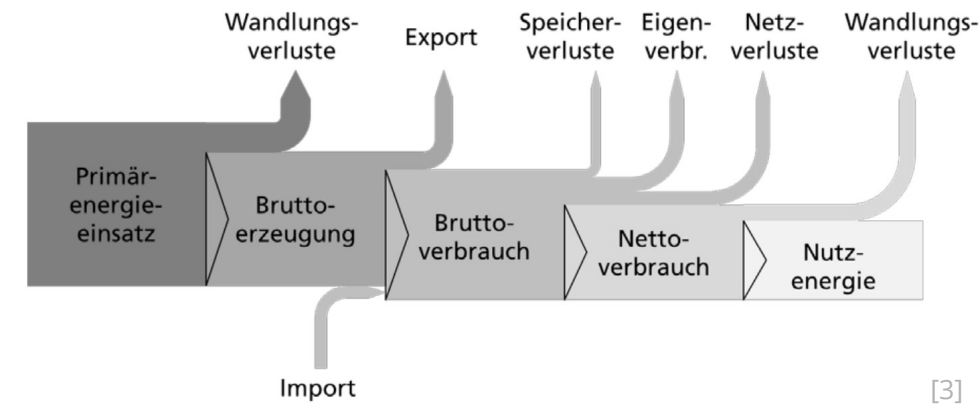
Primärenergieverbrauch



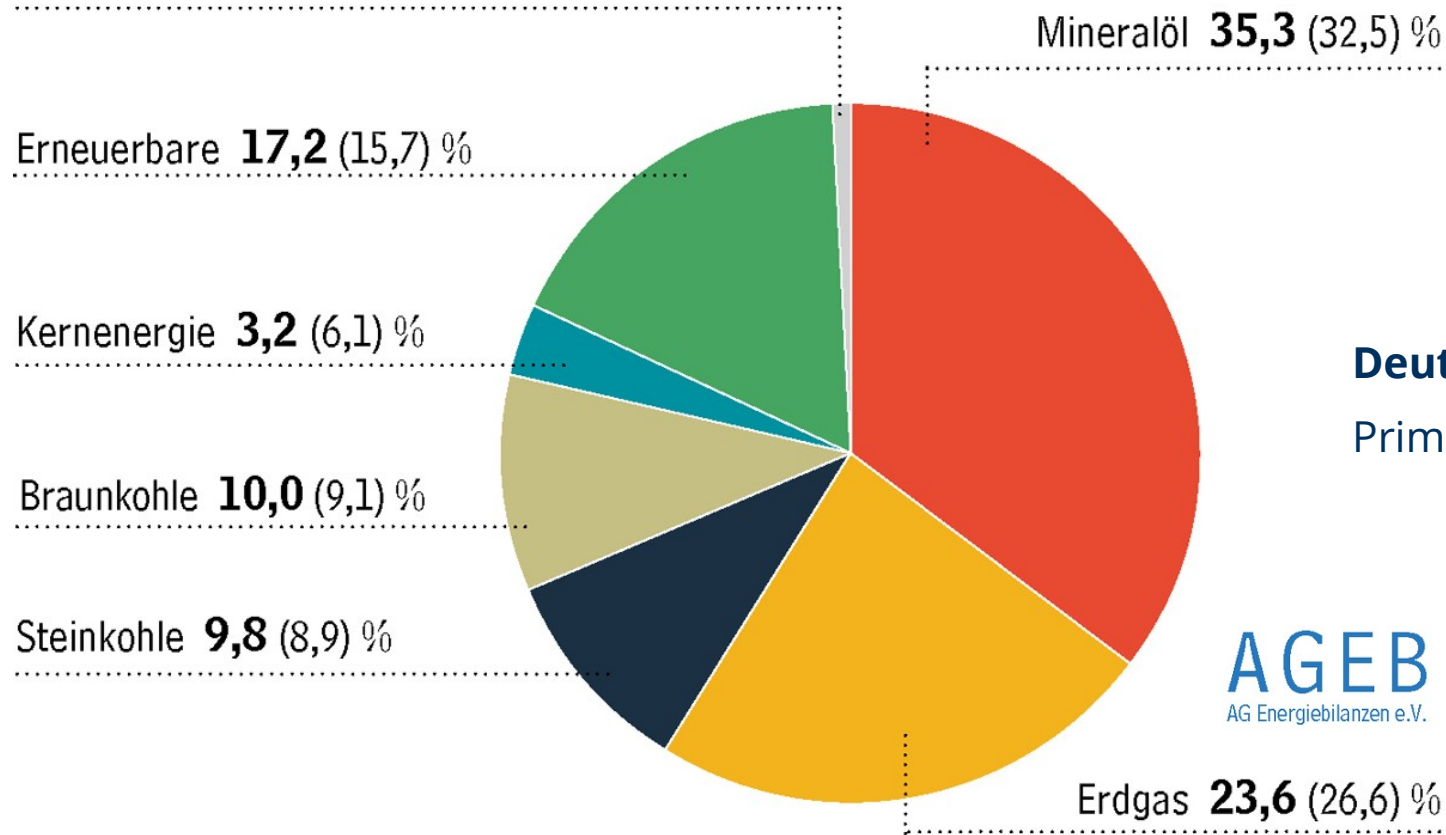
[3]

II.A Ein Blick auf den Energiemarkt

Primärenergieverbrauch



Sonstige einschließlich
Stromausgleichsbeitrag **0,8 (1,3) %**



Deutschland 2022:

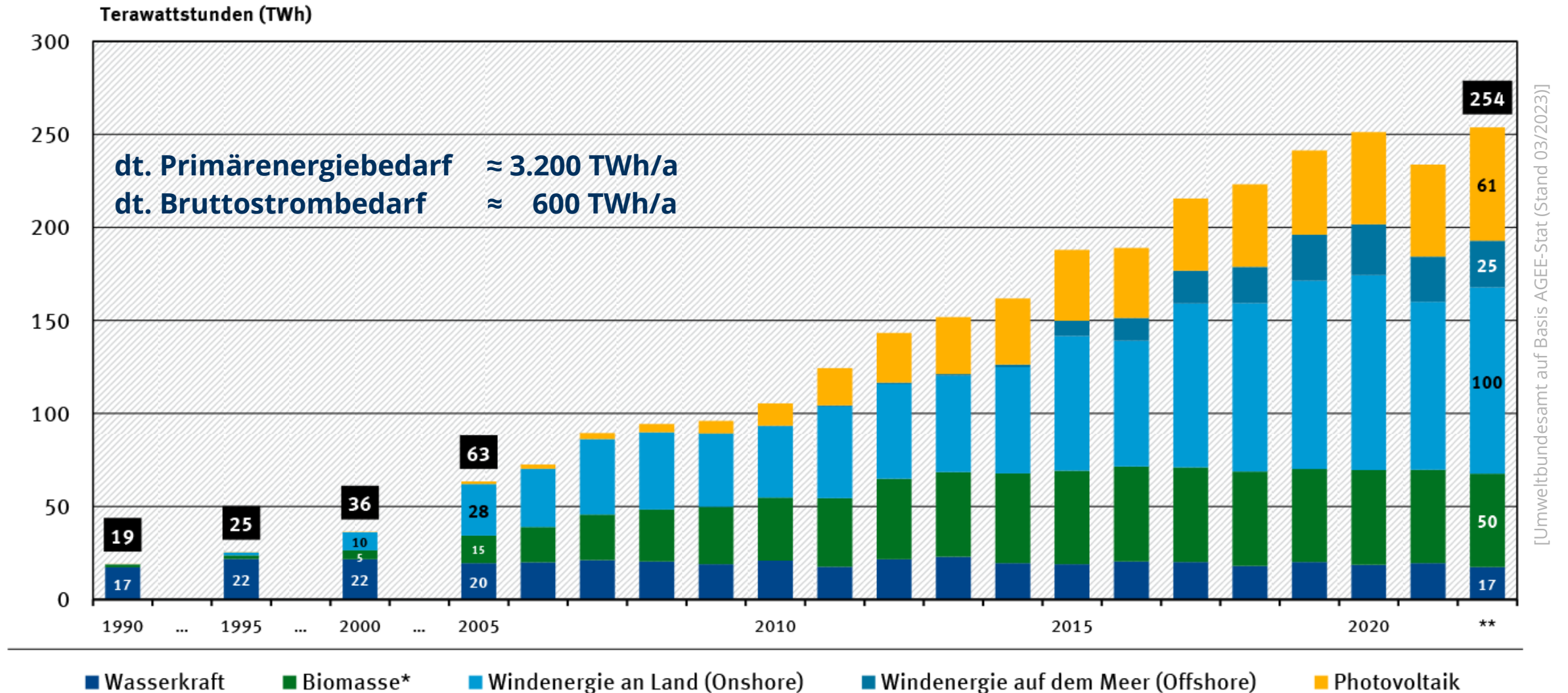
Primärenergieverbrauch ≈ 11.800 PJ
 $\approx 3,2$ PWh
 ≈ 3.200 TWh

AGEB
AG Energiebilanzen e.V.

<https://ag-energiebilanzen.de/ag-energiebilanzen-legt-bericht-fuer-2022-vor/> - 31.05.2023

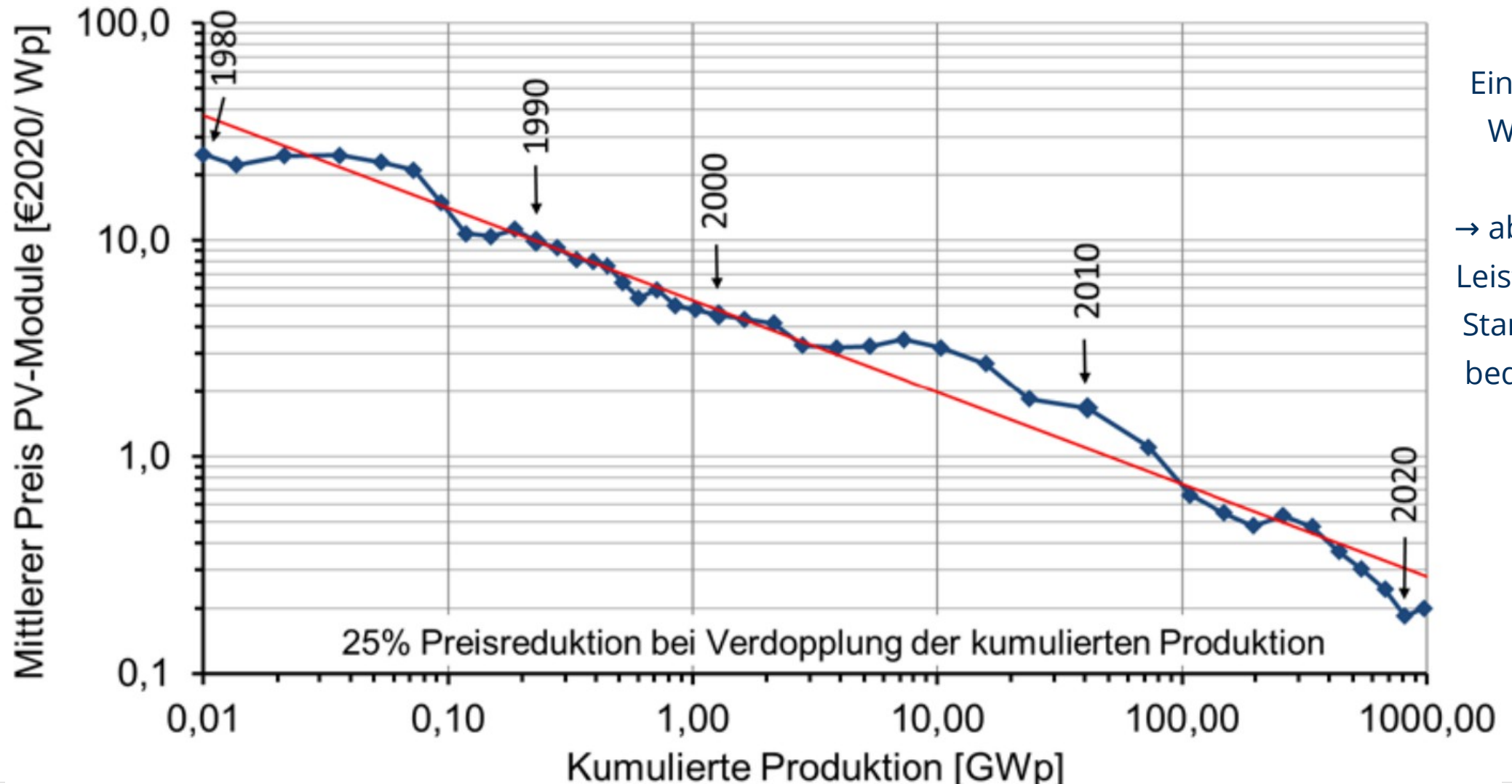
II.A Ein Blick auf den Energiemarkt

Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien



II.A Ein Blick auf den Energiemarkt

Kosten der Photovoltaikmodule



Einheit Wp =
Watt Peak

→ abgegebene
Leistung unter
Standardtest-
bedingungen

II.B Technische Aspekte

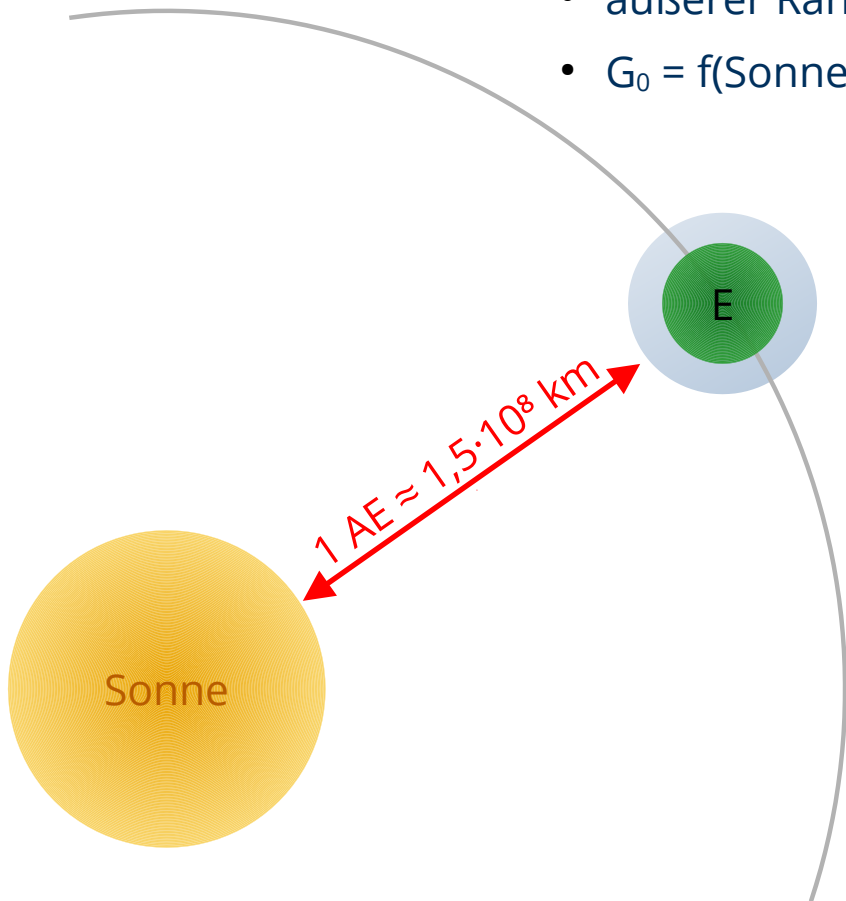
Grundlagen solarer Strahlung

Solarkonstante $G_0 \approx 1.300 \text{ W/m}^2$

- äußerer Rand der Atmosphäre
- $G_0 = f(\text{Sonnenflecken, Jahreszeit, ...})$

Globalstrahlung $G_G \approx 1.000 \text{ W/m}^2$

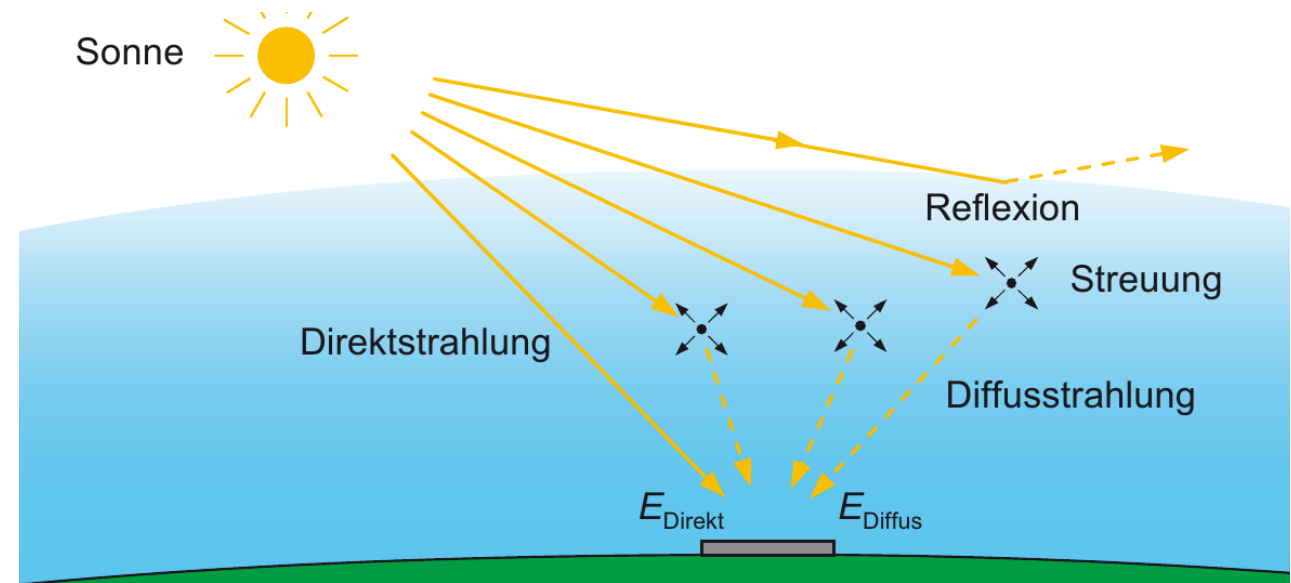
- Strahlung auf horizontaler Fläche auf Erdboden
- Auslegungsgröße für PV-Anlagen
- $G_G = f(\text{Jahreszeit, Ort, Wolken, ...})$



Energieertrag

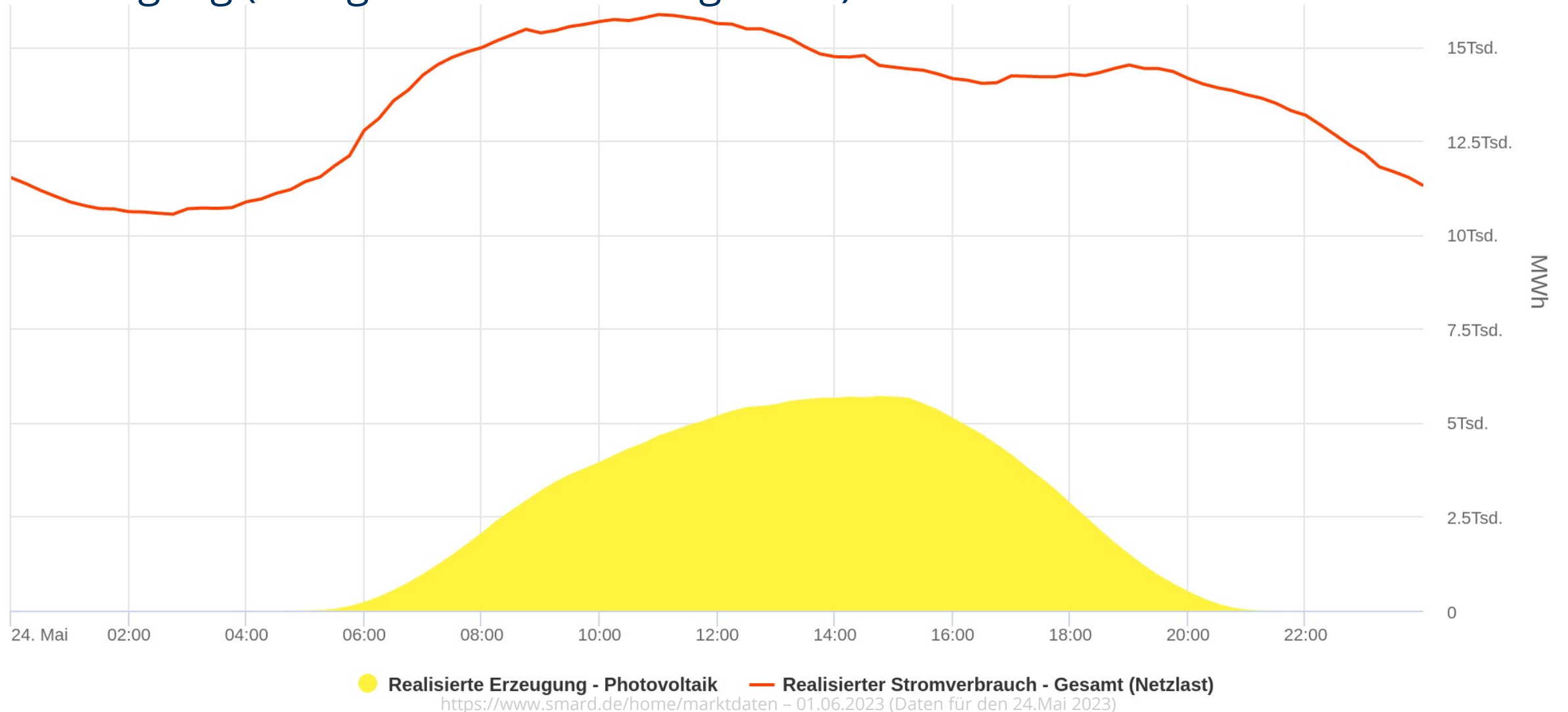
Europa $\approx 1.000 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{a}$

Sahara $\approx 2.200 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{a}$

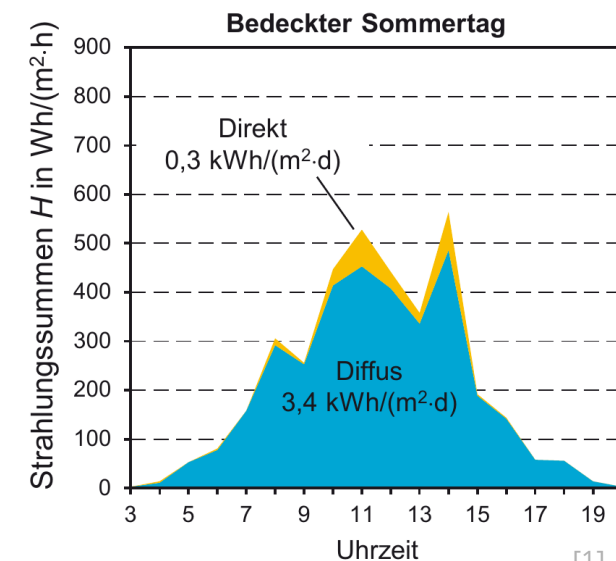
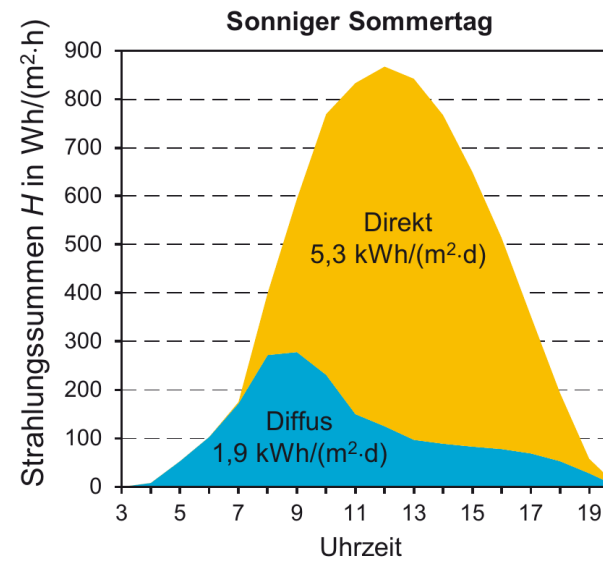


II.B Technische Aspekte

Lastgang (Energiebedarf-Zeit-Diagramm)



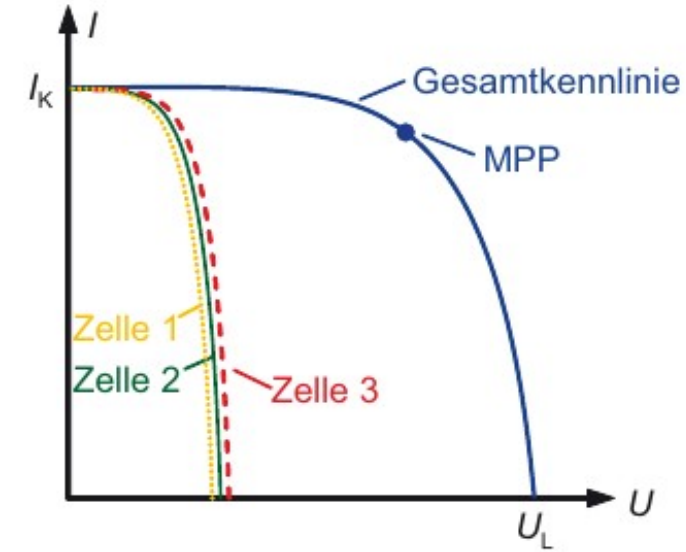
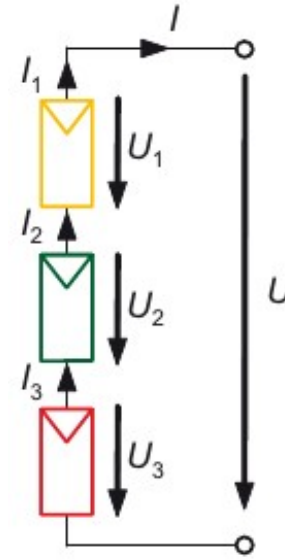
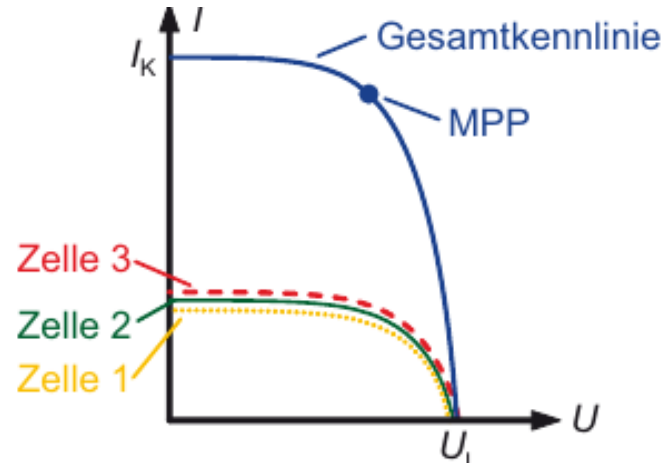
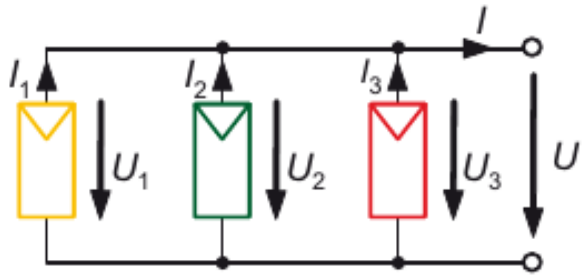
II.B Technische Aspekte Strahlungssumme & Ausrichtung



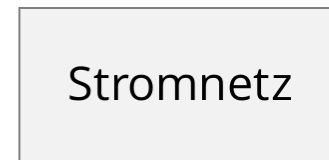
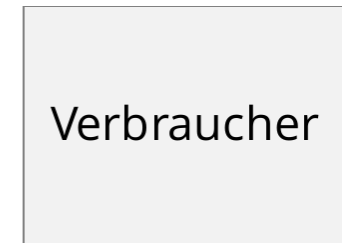
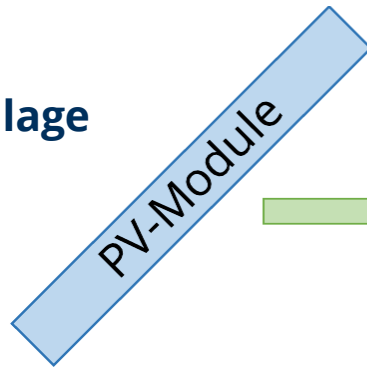
Orientierung:		Ost			Südost			Süd		Südwest			West	
		-90°	-75°	-60°	-45°	-30°	-15°	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
Neigung	Horiz. 0°	84%	84%	84%	84%	84%	84%	84%	84%	84%	84%	84%	84%	84%
	10°	83%	85%	87%	89%	90%	91%	91%	91%	90%	88%	87%	85%	83%
	20°	82%	86%	90%	92%	95%	96%	96%	96%	94%	92%	89%	85%	81%
	30°	81%	86%	90%	94%	97%	99%	99%	98%	96%	93%	89%	84%	79%
	40°	78%	84%	90%	94%	98%	100%	100%	99%	97%	93%	88%	82%	76%
	50°	74%	81%	87%	92%	96%	98%	99%	97%	95%	91%	85%	79%	72%
	60°	70%	77%	83%	88%	92%	94%	95%	94%	91%	86%	81%	75%	67%
	70°	64%	71%	78%	83%	86%	88%	89%	88%	85%	81%	75%	69%	62%
	80°	57%	64%	70%	75%	79%	81%	81%	80%	77%	73%	68%	62%	55%
Vertikal	90°	50%	56%	62%	66%	69%	70%	71%	70%	68%	64%	60%	54%	48%

II.B Technische Aspekte

Zelle → Modul → System



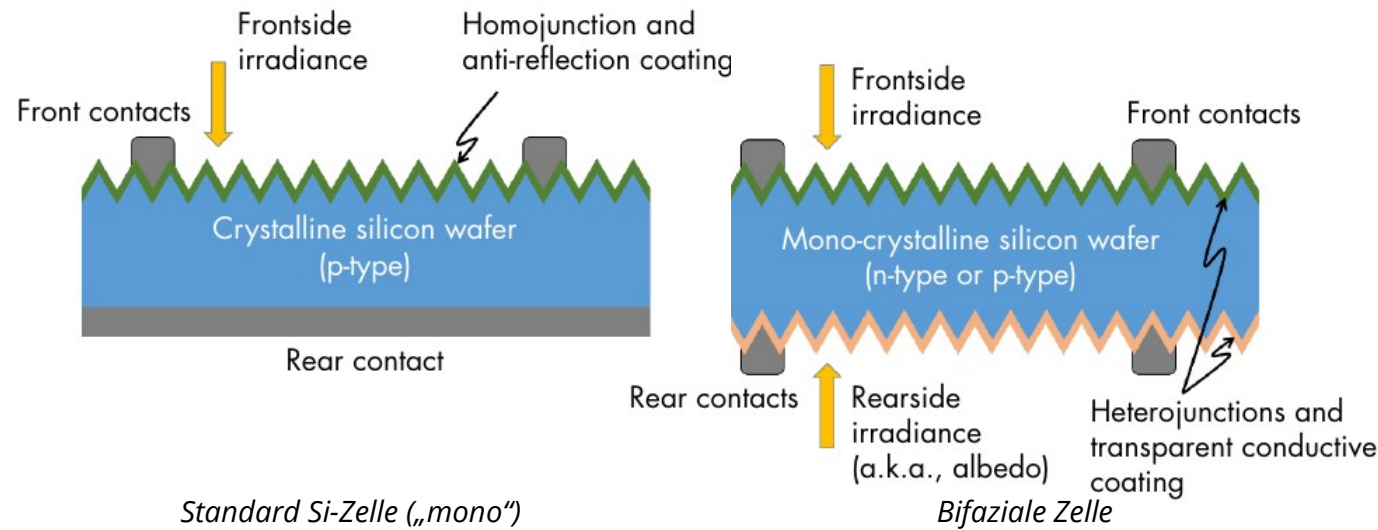
Grundaufbau einer PV-Anlage



[1], [4]

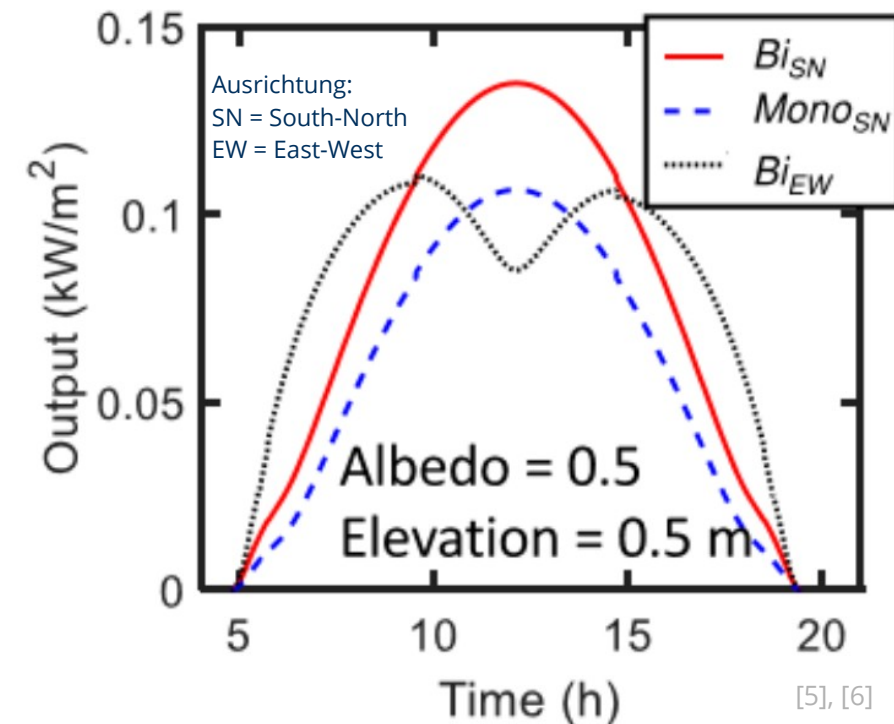
II.C Exkurs: Bifaziale Solarzellen Grundlagen

- **Eindringen von Photonen auf Rückseite**
- Bifazialfaktor ($P_{\text{hinten}} / P_{\text{vorn}}$) \approx 60...90%
- Zusatzerträge zw. 5...30%
- **Einflussfaktoren**
 - Optimierungsproblem \rightarrow Anstellwinkel
 - Optimierungsproblem \rightarrow Abstand zum Hintergrund
 - Albedo des Hintergrunds
 - Montagestruktur

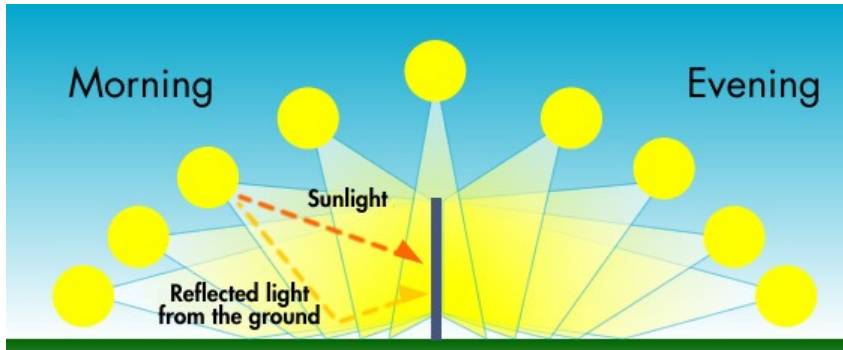


Standard Si-Zelle („mono“)

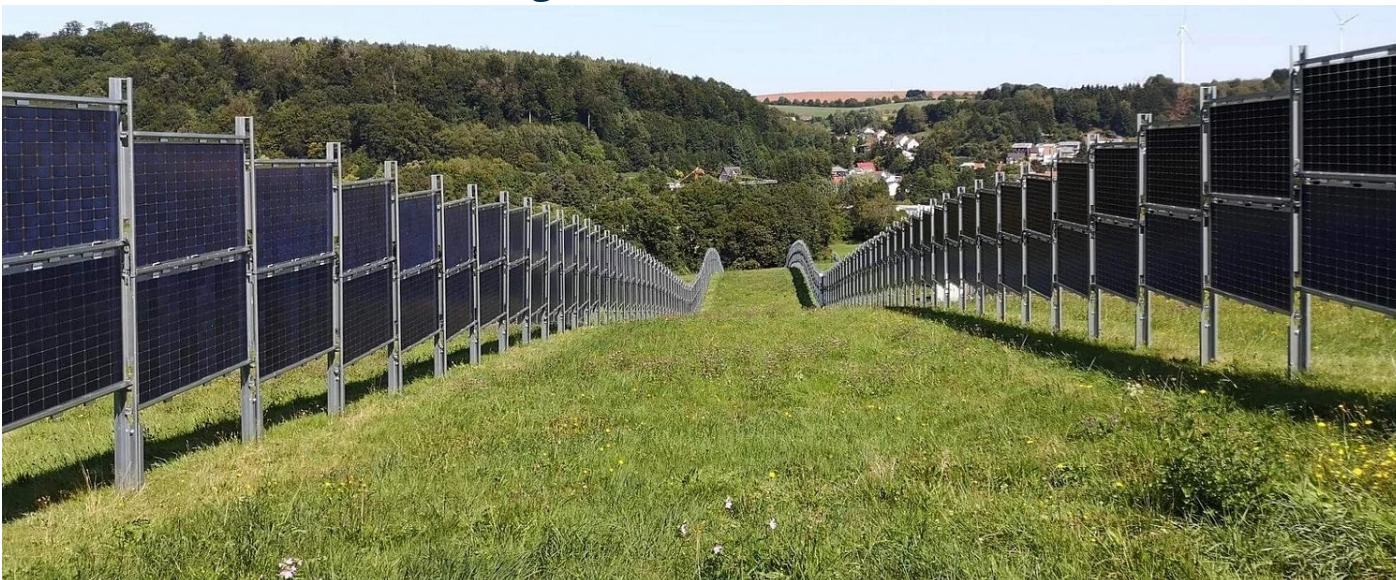
Bifaziale Zelle



II.C Exkurs: Bifaziale Solarzellen Einsatzmöglichkeiten



Solarzäune (z.B. für Agri-PV)



<https://www.energie-experten.org/erneuerbare-energien/solarenergie/solaranlage/solarzaun> - 01.06.2023

<https://solarenergie.de/solarmodule/arten/bifaziale-module> - 01.06.2023



<https://www.photovoltalkforum.com/core/article/34-bifaziale-module-ist-das-geheimnis> - 01.06.2023

Fassadengestaltung

Höhere Erträge auf Flachdächern & Freiflächen-PV



[5], [6]

III Welt der Schüler

BNE & Erneuerbare Energien

Lehrplan – Gymnasium Kl. 9

„Vertiefen ihr Wissen über Eigenschaften von Halbleiterbauelementen und deren **Nutzung in der Praxis** [...]; vernetzen ihr Wissen im Kontext von Fragen zur **Energieversorgung**. [...] Bewerten den **Umgang mit natürlichen Energieressourcen** und ziehen Schlussfolgerungen für das eigene und gesellschaftliche Handeln.“ [7]

Wahlbereich 2: Energie von Wind und Sonne

Sich positionieren zur Nutzbarkeit der Energie von Wind und Sonne	⇒ Medienbildung
- Aufbau und Wirkprinzip einer Windkraftanlage	Rotorarten, Generator, Windmühlen, Segelschiffe
- thermische Nutzung der Solarenergie	Sonnenkollektoren, Solardampfmaschine Erzeugung hoher Temperaturen mittels Brennlinsen; Treibhauseffekt
- Fotovoltaik	Arten von Solarzellen, Wirkungsweise SE: Abhängigkeit der elektrischen Leistung von Bestrahlungsstärke, Bestrahlungswinkel und Temperatur
- Vor- und Nachteile	Recherche und Präsentation unter Nutzung geeigneter Medien
	⇒ Bildung für nachhaltige Entwicklung [7]

Zur Not weitere „Rechtfertigung“:

Bezug auf das sächs. Schulgesetz:

„Erhaltung der Umwelt, [...] Lebenskompetenz, [...] eigene Entscheidungen zu treffen, [...] mit Fragen der Umwelt auseinandersetzen, [...] nachhaltiges Handeln [...]“ [8]

Umsetzung der sächs. BNE-Strategie (2018):

→ www.bne-sachsen.de

III Welt der Schüler

Technische Bildung

„Junge Menschen wollen ihre Welt **verstehen** [=Physik]. Sie wollen sie aber auch **gestalten** [= Technik]!“ [9]

Lehrplan

- „Die Schüler verstehen, dass mit dem Anwenden der Physik bei der Gestaltung von Natur und Technik Chancen und Risiken für die Entwicklung der Gesellschaft verbunden sind.“
- „Den Schülern wird bewusst, wie einzelne physikalisch-technische Erkenntnisse die Entwicklung von Wissenschaft und Technik befördern und das persönliche Lebensumfeld der Menschen verändern.“ [7]

→ Technikbewertung

als „das planmäßige, systematische, organisierte Vorgehen, das

- den Stand einer Technik und ihre Entwicklungsmöglichkeiten analysiert,
- [...] technische, [...]ökologische, soziale [...] Folgen und möglicher Alternativen abschätzt, [...]
- Handlungs- und Gestaltungsmöglichkeiten daraus herleitet und ausarbeitet.“ [10]

III Welt der Schüler

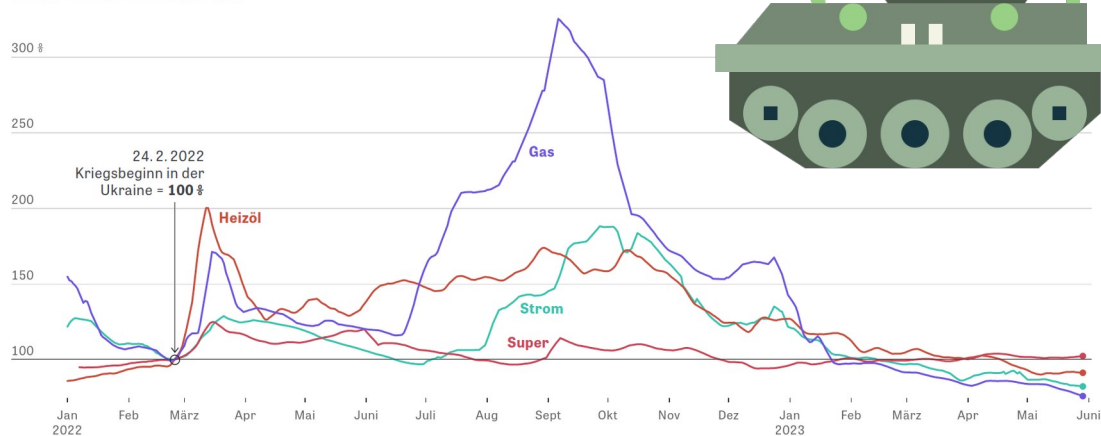
Direkter Alltags- / Lebensbezug

- PV-Anlagen sind im Alltag „zu sehen“
- Nachrichten über Energiekrise (Ängste / Sorgen)
- Stromrechnung (der Eltern)
- ...



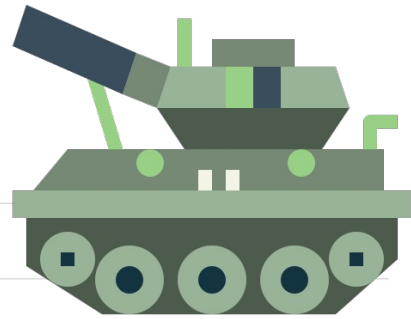
Wie sich die Preise für Energie entwickeln

Veränderung seit Kriegsbeginn



Zuletzt aktualisiert: 30. Mai 2023

Quelle: Verivox, tankerkoenig.de, esyoil, ZEIT ONLINE



Unsplash
Flaticon

IV Schüलगerechte & Methodische Umsetzung

Grundgedanken

Was NICHT passieren wird

- Lerneinheit zur Halbleiterphysik, Photoeffekt oder Aufbau einer Solarzelle [vgl. 11]
- Experimente zur Winkelabhängigkeit / Nachführung / Tagbogen (i.S. von Grundlagenforschung) [vgl. 12]
- Betrachtung von Energiespeichertechnologien [vgl. 13]

Voraussetzungen

- Kenntnisse über Aufbau und Funktionsweise von Solarzellen
- Grundfakten Klimawandel & Energiewende

Lernziele

- Sammeln von Informationen über die Größenordnung des Energieverbrauches in Haushalt sowie Anwendung von Fachbegriffen wie Energieform, Leistung/Intensität, AC/DC, ... (K1, K3)
- Entwickeln von Handlungsoptionen mittels (selbst-)gewählter Kriterien für den Einsatz einer PV-Anlage auf dem heimischen Dach; Austausch und Reflektion des eigenen Standpunkts. (K9, B3)

[14]

IV Schüलगerechte & Methodische Umsetzung

Mögliche Problemstellung / Unterrichtsauftrag

Deine Eltern und du seit letztes Jahr umgezogen und nun haben deine Eltern ihre erste Stromkostenrechnung eurer Vermieterin bekommen, in der ihnen u.a. mitgeteilt wird, wie viel Strom sie pro Monat verbraucht haben.

Deine Eltern können mit den Zahlen nicht viel anfangen: „Ist das viel? Oder wenig?“

Außerdem haben sie gehört, dass Wirtschaftsminister Habeck wegen der steigenden Gaspreise alle zum Energiesparen aufgerufen hat und der Nachbar über eine Balkonsolaranlage nachdenkt, um seinen Eigenverbrauch zu decken.

Leider sind deine Eltern keine Experten auf diesem Gebiet und fragen sich, ob sie sich ebenfalls eine Solaranlage zulegen sollten, wie teuer das ist und inwiefern sich das lohnen würde.

Hilf deinen Eltern!

IV Schüलगerechte & Methodische Umsetzung

Szenario (2 Stunden à 90min, Gruppenarbeit)

1. Stunde: Arbeitsauftrag, Gruppeneinteilung, Recherche

- Kalkulation des heimischen Energiebedarfs
- Sammeln von Informationen über Dachfläche (Neigung, Ausrichtung, ...)

2. Stunde: Bewertung

- Aufstellen von Bewertungskriterien für PV-Anlage
- Analyse und Bewertung unterschiedlicher PV-Konzepte (z.B. Kosten, Wirkungsgrad, ...)

Material

- Private/Fiktive Stromkostenrechnung resp. Zugang zu Vergleichsgrößen ermöglichen
- Ausrichtung / Neigung Dachfläche (Begehung, Satellitenbilder, Fotos)
- (fiktive) Datenblätter für unterschiedliche PV-Systeme
- (vorbereitete) Kalkulationstabelle (Libre Calc, ...) mit Strahlungsdaten für ein Jahr
- ...

Literaturhinweise

bei tiefergehenden Interesse

Bücher & Artikel:

- Mertens, Konrad: *Photovoltaik: Lehrbuch zu Grundlagen, Technologie und Praxis*.
→ anschauliches und ausführliches Grundlagenbuch, gute Abbildungen, [in der SLUB](#)
- Deutsches Klima-Konsortium: *Was wir heute übers Klima wissen - Basisfakten zum Klimawandel, die in der Wissenschaft unumstritten sind*. 2022 → kompakte Zusammenfassung zur Thematik, [online als PDF abrufbar](#)
- Wirth, Harry: *Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland*. Freiburg: Fraunhofer ISE: 2023.
→ nicht immer schön formatierte Zusammenfassung, wird regelmäßig aktualisiert, [online als PDF abrufbar](#)
- Plus Lucis: *Umweltbildung für nachhaltige Entwicklung*. Ausgabe 3/2020.
→ Zeitschrift des Vereins zur Förderung des physikalischen und chemischen Unterrichts (VFPC) aus Österreich, erscheint viermal im Jahr. [Alle Ausgaben online abrufbar](#)

Internetseiten:

- [Klimafakten.de](https://www.klimafakten.de) → Basisfakten sowie Argumentationshilfen zu den häufigsten klimaskeptischen Aussagen
- [PVEDucation.org](https://www.pveducation.org) → A collection of resources for the photovoltaic educator. Gute englischsprachige Internetseite, auch für Schüler:innen geeignet

Quellen

- [1] Mertens, Konrad: Photovoltaik: Lehrbuch zu Grundlagen, Technologie und Praxis. 6. Aufl., München: Hanser: 2022. URL: <https://katalog.slub-dresden.de/id/0-179999516X> - Download vom: 03.05.2023.
- [2] Deutsches Klima-Konsortium: Was wir heute übers Klima wissen - Basisfakten zum Klimawandel, die in der Wissenschaft unumstritten sind. Deutsche Meteorologische Gesellschaft; Deutscher Wetterdienst; Extremwetterkongress Hamburg [u. a.] (Hrsg.): 2022. URL: www.klimafakten.de/meldung/was-wir-heute-uebers-klima-wissen-basisfakten-zum-klimawandel-die-der-wissenschaft - Download vom: 15.03.2023.
- [3] Wirth, Harry: Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland. Freiburg: Fraunhofer ISE: 2023. URL: www.pv-fakten.de - Download vom: 02.05.2023.
- [4] Felsmann, Clemens; Rühling, Karin; Volmer, V. [u. a.]: Integration Regenerativer Energiesysteme in das Stadtbild: Ergänzendes Grundlagendokument zum Leitfaden für regenerative Energien im Stadtbild / Photovoltaik, Solarthermie, Luft-Wasser-Wärmepumpe. Dresden: 2020. URL: <https://tu-dresden.de/ing/maschinenwesen/iet/geww/forschung/publikationen/buch> - Download vom: 01.06.2023.
- [5] Electric Power Research Institute (Hrsg.): Bifacial Solar Photovoltaic Modules / Program on Technology Innovation. 2016. URL: <https://www.epri.com/research/products/000000003002009163> - Download vom: 31.05.2023.
- [6] Frontini, Francesco; Caccivio, Mauro; Renken, Christian: Leitfaden bifaziale Module: Anwendung von bifazialen Solarmodulen – Einsatzmöglichkeiten an Gebäuden, Dimensionierung der Anlagenkomponenten. EnergieSchweiz (Hrsg.): 2019.
- [7] Sächsisches Staatsministerium für Kultus: Lehrplan Berufliches Gymnasium / Physik. 2022. URL: <https://www.schule.sachsen.de/lpdb/> - Download vom: 04.05.2023.
- [8] Sächsisches Staatsministerium für Kultus: Schulgesetz für den Freistaat Sachsen (Sächsisches Schulgesetz). 2023. URL: <https://www.revosax.sachsen.de/vorschrift/4192> - Download vom: 01.06.2023.
- [9] Friege, Gunnar; Bresges, André (Hrsg.): Physik & Technik. In: Naturwissenschaften im Unterricht / Physik. Heft 189/190. 2022.
- [10] VDI - Verein Deutscher Ingenieure e.V.: VDI 3780 Technikbewertung - Begriffe und Grundlage. In: VDI-Richtlinien. 2000.
- [11] Schlosser, Viktor; Bartosch, Ilse: Photovoltaik in der Schule unterrichten. In: Plus lucis: Umweltbildung für nachhaltige Entwicklung / 2020, Heft 3, S. 43–48.
- [12] Kraus, Simon; Tran, Ngoc Chat: Einflussfaktoren auf die nutzbare Energieeinstrahlung auf Solarzellen experimentell überprüfen - Ein Schülerprojekt. In: PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung. Heft 2012: Mainz.
- [13] Fösel, Angela; Wolfrum, Tobias: Erneuerbare Energien im Experiment. In: PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung, Heft 2016: Hannover. URL: <https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/676> - Download vom: 24.05.2023.
- [14] Kultusministerkonferenz: Bildungsstandards im Fach Physik für die Allgemeine Hochschulreife. 2020. URL: <https://www.kmk.org/themen/qualitaetssicherung-in-schulen/bildungsstandards.html> - Download vom: 01.10.2020.