

Leseprobe

Christiani

seit 1931

Wilhelm Kirchensteiner

Welt mit Zukunft durch berufliche Bildung

Grundlagen der Elektrotechnik für die Nutzung Erneuerbarer Energien

Unterrichtsmaterialien und pädagogisches Konzept
zur Qualifizierung zum PV-Installer Level I



Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG
www.christiani.de

Das pädagogische Konzept des Kurses

Das pädagogische Konzept des Kurses

- Die berufliche Bildung in Deutschland hat eine lange Tradition, die als „Duale Ausbildung“ die theoretischen und praktischen Kenntnisse und Fertigkeiten als ganzheitliches Training zu einer beruflichen Tätigkeit organisiert. In diesem Kurs sollen mit der Photovoltaik in Theorie und Praxis die Handlungskompetenzen für eine umweltfreundliche Energienutzung bis zur Anwendung in der Trinkwasserförderung und der Elektromobilität vermittelt werden.
- Das theoretische Wissen, das durch Lehrbücher, Präsentationen oder über Experimente erworben werden kann, muss mit praktischen Handlungen vernetzt und trainiert werden. Dies wird in effizienter Weise durch den handlungsorientierten Unterricht erreicht, bei dem Leittexte als Wissensgrundlagen zur Lösung von Aufgaben bereitstehen und zur fachlichen Umsetzung von Laborübungen und Arbeitsaufträgen dienen.
- Die in diesem Bildungskonzept integrierten Praxisarbeiten an Laboranlagen des „Technischen Lehrinstitutes Dr. Ing. P. Christiani“ bieten auch ohne die sonst notwendige Lehrfirma einer dualen Berufsbildung die Realisierung praktischer beruflicher Übungen und Tätigkeiten. Dies geschieht durch den Anlagenbau, durch Messaufgaben, Fehlersuche und Instandsetzungsarbeiten an praxisgerechten Laboranlagen zur Erneuerbaren Energietechnik.
- Der in diesem Kurs integrierte Bau des „Solarfunktionskoffers“ bietet neben den praktischen Trainingsmöglichkeiten eine direkt angeleitete handwerkliche Gestaltung und Herstellung eines Produktes zur umweltfreundlichen Energieversorgung. Mit dem Einbau eines zusätzlichen Messinterfaces wird sowohl das dazu notwendige Fachwissen vertieft als auch der Nutzwert für eine eigene Lehrtätigkeit erweitert. Dies erfüllt in idealer Weise das gesetzte Ziel des Kurses zur „Ausbildung der Ausbilder“.
- In der beruflichen Bildung kann der Nachbau des Solar-Funktionskoffers „KIWI“ sowohl für Lehrer als auch für Auszubildende im Bereich elektrotechnischer Praxisaufgaben, für Prüfungsarbeiten oder als Projektarbeit in Schulen eingesetzt werden.
- Der Bau des Solar-Funktionskoffers eignet sich ebenso für überbetriebliche Ausbildungsaufgaben wie für Bildungsprojekte in Lehrwerkstätten der Industrie oder des Handwerks.



Inhalte der Lehrmaterialien

Inhalte der Lehrmaterialien mit Info-, Arbeits- und Lösungsteil:

1. RES-Unterlagen „Energie – Umwelt – Markt“; Infos zur fossilen und erneuerbaren Energienutzung; Energie- und Klimaschutzpläne der EU und der UN
2. Energie, was ist das? Theorie-Grundlagen, Berechnungen mit Lösungen; Versuche mit dem Energierad und dem Energietrainer; Didaktisches Konzept
3. Elektrotechnische Grundlagen für die energietechnischen Anwendungen; Berechnungen zu Spannungs-, Strom-, Leistungs-, Energiewerten; und zur Kosteneffizienz; Messen und Bewerten von Energieflüssen am Solarstromkoffer und mit dem Mess-Interface des Solarfunktionskoffers
4. Lehr-Unterlagen zur Photovoltaik (PV 1); PV-Grundwissen mit Aufgaben und Lösungen; Betriebsmittel zur effizienten energietechnischen Nutzung der PV; Versuche mit dem Solarstromkoffer und dem Solarstromlabor; Didaktisches Konzept zu den PV-Schulungen
5. Der Solar-Funktionskoffer mit Planungsbedingungen und Berechnungen zum Energiekonzept; Nachbau und Anwendungsbeispiele zum Solar-Funktionskoffer, Übungs- und Messaufgaben mit Lösungen; Nutzung des Mess-Interfaces als Lehr- und Lernmittel
6. Einsatz der Photovoltaik zur Stromversorgung im Netzverbund; Netzparallelbetrieb mit Batteriespeicher zur Eigennutzung des Solarstromes; Planung von PV-Anlagen im Netzverbund; Übungsaufgaben und Praxistraining mit Lösungsbeispielen
7. **Fortsetzung:**
 - a) In weiteren Kursen soll das Grundlagenwissen zur Wassertechnik vermittelt werden: Auslegung und Optimierung von Pumpensystemen, Wasserhygiene mit Filter und der UV-Desinfektionstechnik; Solar-energieversorgung dazu;
 - b) solare Kühlmöglichkeiten mit Kompressions-Wärmepumpen für Wasser und Lebensmittel; Wassergewinnung mit Hybridkollektoren und Wärmepumpen aus der Luft; Solarthermische Desinfektion; usw.
 - c) Elektromobilität mit solaren Ladeeinrichtungen und Batteriespeichern; Bau von Elektrokleintransportern mit Wechselcontainern; Wechselcontainer mit integrierten solaren Kühleinrichtungen; solaren Stromversorgungen; solaren Wasseraufbereitungsanlagen, solaren Medizin-Technikeinheiten, usw.

Im Prinzip könnten und sollten die anfangs mit dem Solarstromkoffer vermittelten Kenntnisse und Fertigkeiten auf größerer Ebene nun auf der Basis mobiler Kleinfahrzeuge weitergeführt werden.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis

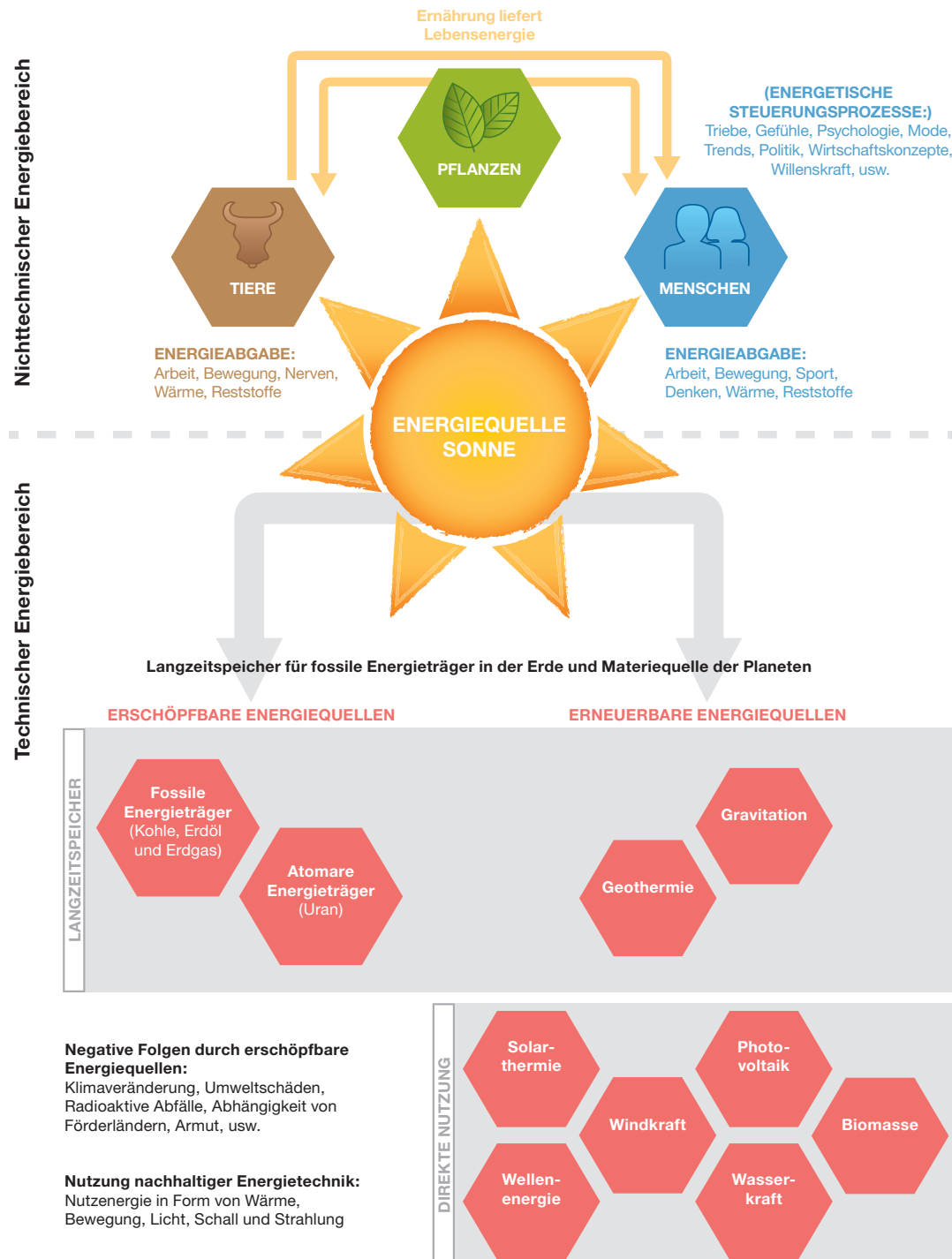
1. Energie – Umwelt – Markt	11
1.1. Die Sonne – Ursprung aller Energieprozesse auf der Erde	11
1.2. Der Sonnenenergiespeicher aus der Entstehungsphase der Erde	12
1.3. Sonnenenergienutzung heute ist erneuerbare Energienutzung	12
1.4. Die Sonne liefert ständig Lebensenergie für Pflanzen, Tiere und Menschen.....	13
1.5. Die Energiesituation heute auf der Erde	14
1.6. Energienutzung auf der Erde in Zahlen.....	15
1.7. Industrialisierung und Globalisierung erhöhen den Energiebedarf weiter	18
1.8. Klimaveränderung und Preisexplosion bei den bisherigen Energieträgern	19
1.9. Die G8/20-Länder planen den Klimaschutz... ..	20
1.10. Verteilung der solaren Einstrahlung auf der Erde und in Deutschland.....	22
1.11. Darstellung der Solarerträge in Abhängigkeit von Azimut- und Elevationswinkel	24
1.12. Von der Primärenergie zur Nutzenergie.....	25
1.13. Umrechnungswerte für die Energie- und Leistungseinheiten.....	26
1.14. Das Solarzeitalter und die Energiewende	27
1.15. Aufgaben zur Vertiefung des Fachwissens:	35
1.16. Lösungen zu den Übungsaufgaben:	40
2. Energie – was ist das?	45
2.1. Das pädagogische Konzept zur energietechnischen Grundbildung.....	45
2.2. Kopiervorlage für Unterrichtsversuche	47
2.3. Übungsaufgaben mit Energieberechnungen:	49
2.4. Lösungen zu den Übungsaufgaben:	53
3. Elektro- und Energietechnische Grundlagen	57
3.1. Vom Elektron zur elektrischen Energie.....	57
3.2. Elektronenbewegung als elektrischer Stromfluss	57
3.3. Die Spannung treibt den Strom durch den Stromkreis.....	61
3.4. Der Widerstand bremst den Stromfluss im Stromkreis.....	62
3.5. Elektrische Leistung entsteht durch Spannung und Stromfluss.....	62
3.6. Mit der Zeit wird aus Leistung elektrische Energie	64
3.7. Elektrischer Energietransport vom Generator bis zum Stromkreis im Haus.....	65
3.8. Elektrische Energie ist universell wandelbar und anwendbar	67
3.9. Übungs- und Messaufgaben:	68
3.10. Lösungen zu den Übungs- und Messaufgaben:.....	75
4. Lehrunterlagen zur Photovoltaik-Inseltechnik	81
4.1. Allgemeines zur photovoltaischen Sonnenenergienutzung	82
4.2. Entwicklungsdaten zur Photovoltaik.....	82
4.3. Wichtige Fachbegriffe in der Photovoltaik	83
4.4. Energiequelle Sonnenstrahlung	84
4.5. Ökologische Bewertung der photovoltaischen Energiegewinnung	86
4.6. Anlagenkonzepte in der photovoltaischen Energienutzung.....	87
4.7. Schaltzeichen einzelner Betriebsmittel	90
4.8. Solarzellentypen und Modularten	90
4.9. Aufbau einer Solarzelle	94
4.10. Übungs- und Messaufgaben:	102
4.11. Lösungen zu den Übungs- und Messaufgaben:.....	111
4.12. Betriebsmittel für PV-Anlagen	118
4.13. Dimensionierungsbeispiel zu einer PV-Inselanlage.....	126
4.14. Übungs- und Messaufgaben zu Betriebsmitteln und Dimensionierung	129
4.15. Lösungen der Übungs- und Messaufgaben zu Betriebsmitteln und Dimensionierung	137
4.16. Notwendigkeit zur Qualifizierung in der PV-Technik und deren erfolgreiche pädagogische Umsetzung	144

Grundlagen der Elektrotechnik für die Nutzung Erneuerbarer Energien

5. Der Solarfunktionskoffer	145
5.1. Das pädagogische Konzept	146
5.2. Projektziele mit didaktischen Hinweisen zum Bau des Solar-Funktionskoffers.....	147
5.3. Teileliste und Werkzeuge für den Solar-Funktionskoffer „KIWI“	148
5.4. Zusatzgeräte zur Funktionserweiterung	149
5.5. Ordnung muss sein!	149
5.6. Die Einzelteile des Solar-Funktionskoffers vor dem Zusammenbau.....	150
5.7. Bau des Solar-Funktionskoffers „KIWI“ nach Montageschritten	151
5.8. Ergänzungen und energetische Optimierung.....	162
5.9. Erweiterung des Solar-Funktionskoffers mit einem Mess-Interface	164
5.10. Messdiagramm zur Ermittlung der Strahlungsleistung der Sonne mit den PV-Modulwerten $U_{oc} = 22\text{ V}$ und $I_{sc} = 0,66\text{ A}$	173
5.11. Weitere Übungsaufgaben und Messversuche	174
5.12. Lösungen zu den Übungsaufgaben und Messversuchen.....	181
6. Lehrunterlagen zur Photovoltaik im Netzverbund	199
6.1. Montagebedingungen für die PV-Generatoren	200
6.2. Betriebsweisen der PV-Anlagen mit Netzkopplung	201
6.3. Planungsbedingungen für die PV-Komponenten.....	203
6.4. Schaltungskonzepte und der Generatoranschlusskasten (GAK).....	204
6.5. Der Installationsort für die DC-Freischaltstelle und den Wechselrichter.....	206
6.6. Der Modulverlegeplan der PV-Anlage.....	206
6.7. Montagegestelle – Druckkräfte und Sogbelastungen.....	207
6.8. Die Verkabelung der PV-Anlage	208
6.9. Übungsaufgaben und Praxistraining.....	210
6.10. Lösungen zu den Übungsaufgaben und Praxistraining	222

1. Energie – Umwelt – Markt

1.1. Die Sonne – Ursprung aller Energieprozesse auf der Erde



Grundlagen der Elektrotechnik für die Nutzung Erneuerbarer Energien

Energie kann nicht erzeugt werden, sondern nur in verschiedene Formen gewandelt werden. Dabei kann Energie nach der Masse-Energie-Relations-Formel von Albert Einstein auch aus Materie entstehen und umgekehrt!

$$E = m \cdot c^2$$

Mit dem „Urknall“ – der Geburt des Weltalls – vor etwa 13,5 Milliarden Jahren war alle Masse und Energie des Universums bereits vorhanden! In den weiteren Prozessen entwickelten sich in einem dynamischen Prozess Materie aus Energie und aus Materie wieder Energie!

Dabei verlief der Aufbau der Materie vom leichtesten Element dem Wasserstoff zu den schweren Elementen bis zum Uran und den Transuranen!

1.2. Der Sonnenenergiespeicher aus der Entstehungsphase der Erde

Nach dem „Urknall“ vor ca. 13,5 Mrd. Jahren entwickelte sich in dem expandierenden Weltraum aus Galaxien und Milliarden von Sonnensystemen auch unser Sonnensystem mit den Planeten.

Unser Sonnensystem mit der Sonne und den Planeten bildete sich durch die Fusion von Wasserstoff, der sich aus einer Supernova-Explosion sammelte. Im Zentrum blieb vor 5 Mrd. Jahren der Fusionsreaktor – die Sonne – als Produktionsfabrik schwererer Elemente, die sich vor ca. viereinhalb Milliarden Jahre zu den Planeten formten.

Somit wurde auch unser Heimatplanet, die Erde, aus Sonnenmaterie aufgebaut.

- Im Erdinneren sind riesige Wärmemengen gespeichert. Vor allem die schweren radioaktiven Elemente, z.B. Uran, geben durch permanenten atomaren Zerfall seit der Entstehung der Erde vor 4,5 Mrd. Jahren riesige Wärmemengen ab.
Insgesamt liefern vor allem diese radioaktiven Zerfallsenergien in der Erde die Energieströme, die wir in der Geothermie nutzen. Auch sie stammen aus der ursprünglichen Sonnenmaterie.
- Ebenso wurde aus der Sonnenenergie die kinetische Energie der Planetenbewegung und auch der Gravitationsenergien übertragen. Diese Energieformen können wir ebenfalls in der Wellenbewegung der Meere und durch die Gezeiten energetisch auf der Erde nutzen.
- Seit vielen Milliarden Jahren empfängt die Erde – wie auch die anderen Planeten unseres Sonnensystems – die Strahlungsenergie der Sonne.
In den Ursprüngen des Lebens auf der Erde vor ca. einer Milliarde Jahre wurde von den ersten Algen im Urmeer, dem pflanzlichen Landbewuchs und den Bäumen mit Hilfe der Sonnenenergie die riesige CO₂-Menge aus der Atmosphäre gebunden und Sauerstoff in die Atmosphäre geliefert. Dieser Prozess lief vor 600 bis vor 300 Millionen Jahren ab.
Aus den damaligen Pflanzen entstanden in einem Zeitraum von 300 Millionen Jahren die heutigen Kohlelagerstätten. In diesen fossilen Energieträgern steckt also gespeicherte Sonnenenergie von ca. 300 Millionen Jahren!
- In ähnlicher Weise entstanden aus den abgestorbenen Tieren der Urmeere die heutigen Erdöl- und Gaslagerstätten. Auch diese Tiere ernährten sich über die Pflanzen mit der Energie der Sonne, so dass auch im Erdöl und im Erdgas gespeicherte Sonnenenergie aus Millionen von Jahren enthalten ist.

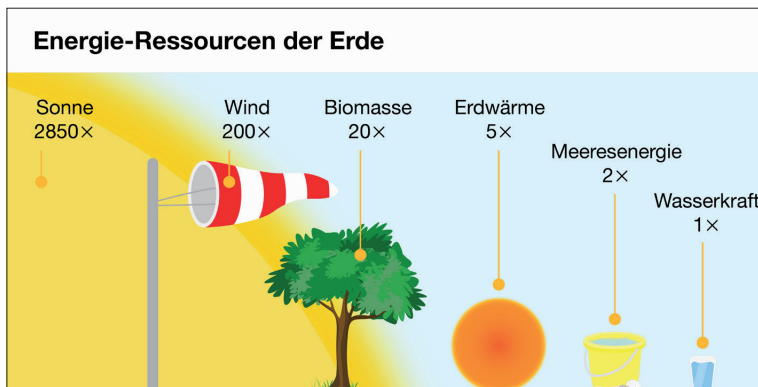
1.3. Sonnenenergienutzung heute ist erneuerbare Energienutzung

Wenn wir heute mit technischen Systemen wie der Photovoltaik, der Solarthermie, der Wind- und Wasserkrafttechnik und der Biomassennutzung Energie ernten, dann kommt auch diese Energie direkt – also „just in time“ aus der Sonne – wir nennen sie „**Erneuerbare Energie**“ (EE)!

Dieser Begriff ist heute üblich, weil die Möglichkeiten der solaren Energiegewinnung nach menschlichen Maßstäben über mindestens weitere vier Milliarden Jahre garantiert sind und immer wieder von neuem zur Verfügung stehen!

Energie – Umwelt – Markt

- Die erneuerbaren Energiemengen, die durch den täglichen Strahlungsfluss der Sonne zur Erde über 150 Millionen km übertragen werden, sind so groß, dass jedes „Erneuerbare Energiesystem“ (wie z.B. Solar-, Wind- oder Wellenenergie) allein ein Mehrfaches des Weltenergiebedarfes decken könnte! Siehe dazu folgende Grafik:



Theoretisch liefern erneuerbare Quellen 3078-mal so viel Energie wie der Mensch derzeit verbraucht.

- Von der bisherigen Entwicklung steigender Preise bei den fossilen und atomaren Energien setzen sich die **Erneuerbaren Energien (EE)** dadurch ab, dass sie grundsätzlich kostenlos von der Sonne geliefert werden! Für die Nutzung der Erneuerbaren Energien sind nur die Investitions- und Wartungskosten für die entsprechenden Energieanlagen (Wandlersysteme) aufzubringen!
- Ein weiterer wesentlicher Vorteil der Erneuerbaren Energienutzung ist deren Umweltverträglichkeit. Damit entstehen in der Regel keine Folgelasten durch Abfallprodukte, die teuer entsorgt werden müssen oder die Lebensverhältnisse auf der Erde negativ beeinträchtigen! Durch die technische Nutzung der Sonnenenergie wird der Erde keine Wärme entzogen, da jede Art der Sonnen-Energienutzung letztlich immer die Wärme abgibt, die sie aufgenommen hat.

1.4. Die Sonne liefert ständig Lebensenergie für Pflanzen, Tiere und Menschen

Ohne Sonnenstrahlung können Pflanzen nicht wachsen und damit keinen Aufbau an Biomasse aus Wasser und den Bodenmineralien und aus dem CO₂ der Luft schaffen. Mit der Nahrung aus Pflanzen erhalten Tiere und Menschen ihre Lebensenergie, die immer aus der Sonne kommt!

Damit wird auch bei der Ernährung von Mensch und Tier aus tierischen Quellen immer nur Sonnenenergie – allerdings in einer veredelten Form – aufgenommen. Bei diesem Umweg über die „fleischliche Ernährung“ wird nachteilig die ursprüngliche Sonnenenergie nur noch mit wesentlich geringerem Wirkungsgrad genutzt!

- Tiere und Menschen können die aufgenommene Sonnenenergie vielfältig nutzen als Bewegungsenergie, als Körperwärme und als Leistungsfähigkeit des Denk- und Nervensystems! Selbst in den Reststoffen aus der Verdauung steckt noch Energie, die ebenfalls für Heizzwecke oder in Biogasanlagen genutzt werden kann.



Grundlagen der Elektrotechnik für die Nutzung Erneuerbarer Energien

- Die mechanische Leistung von Menschen und Tieren ist sehr begrenzt:
Die durchschnittliche mechanische Leistung eines Menschen liegt bei 50 Watt! Die durchschnittliche Leistung eines Pferdes wurde in der Physik sogar als „PS“ = Pferdestärke mit 736 Watt – also dem 15-fachen des Menschen – genormt!
- In Bezug zur täglichen Nahrungsaufnahme, die beim arbeitenden Menschen mit ca. 12.000 kJ/Tag angegeben wird, erhält man einen „technischen Wirkungsgrad“ für den Menschen nach folgender Formel und Rechnung:

$$\eta = W_{ab} / W_{zu} = P_{ab} \cdot t_{ab} / P_{zu} \cdot t_{zu}$$

Rechenbeispiel für einen Menschen:

Annahmen: Arbeitszeit 8 Stunden mit $P = 50$ Watt;

Energiezufuhr über einen Tag = 12.000 kJ;

Aus der Nährwerttabelle: z. B. 100 g Schokolade = 2.400 kJ; 1 L Bier = 2.000 kJ!

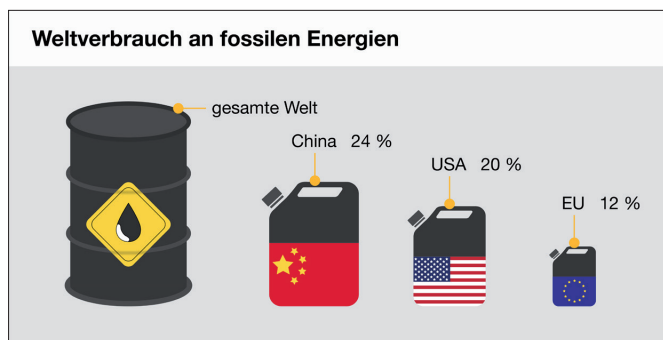
$$\rightarrow \eta_{\text{mech}} = W_{ab} / W_{zu} = 50 \text{ W} \cdot 8 \cdot 3.600 \text{ s} / 12.000 \text{ kWs} = 0,12 = 12 \%$$

- Dies bedeutet, dass der Mensch nur ca. 12 % der aufgenommenen Nahrungsenergie in mechanische Arbeit umsetzen kann!
Die meiste Energie aus der Nahrungsaufnahme wird für die Erhaltung der Körperwärme von 37 °C benötigt = ca. 200 Watt!
Weitere Energieanteile stecken in der Atemtätigkeit mit Wasserverdunstung der Pumpleistung des Herzens und im Nerven- und Denksystem!
- Interessante Versuche zum „Energiesystem Mensch“ können mit dem Energierad im „Arbeitsteil“ und in den Grundlagen der Elektrotechnik durchgeführt werden!

1.5. Die Energiesituation heute auf der Erde

Die Nutzungsmöglichkeit billiger Energieträger ist wesentliche Grundlage des Wohlstandes der Menschen und der Länder auf der Erde! Ein Ölfass kann somit als Wohlstandssymbol dienen.

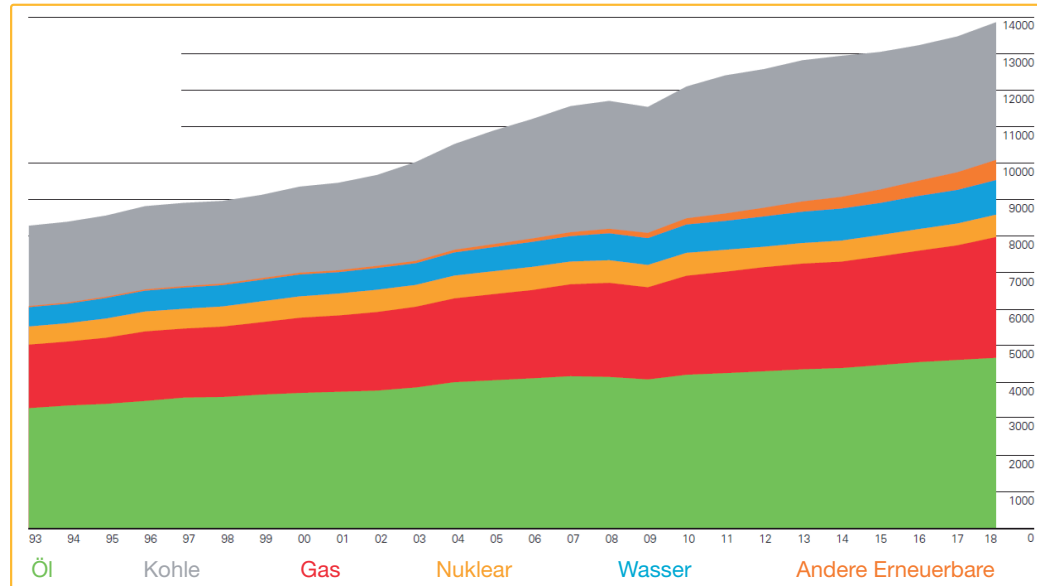
- Obwohl die damit verbundenen Probleme (vielfältige Umweltprobleme, Verbrauch begrenzter Vorräte an Ressourcen) seit Jahrzehnten bekannt sind, wird immer noch ca. 90 % des menschlichen Energiebedarfs durch fossile Brennstoffe gedeckt.
- China ist das Land mit dem größten Energieverbrauch (und auch dem größten Ausstoß von Treibhausgasen).



- Die meisten Ressourcen pro Kopf werden jedoch nach wie vor in den traditionellen Industrieländern (Nordamerika, Europa) verbraucht.
- Die fossilen und atomaren Energiequellen sind begrenzt und werden in wenigen Jahrzehnten nicht mehr zur Verfügung stehen!
- Die Folgen der Nutzung von fossilen und atomaren Energiequellen werden alle Menschen auf der Erde tragen müssen. Dies Folgen sind vor allem die Klimaveränderung und die Entsorgungslasten für die atomaren Prozesse in den Kernkraftwerken.

Energie – Umwelt – Markt

1.6. Energienutzung auf der Erde in Zahlen



Der weltweite Verbrauch von Energieträgern (dargestellt in Millionen Tonnen ÖE) nimmt stetig zu.

- Im Jahre 2018 betrug der weltweite Primär-Energiebedarf bereits ca. 20 Milliarden Tonnen Stein-Kohle-Einheiten (SKE) oder ca. 14 Mrd. Tonnen Öl-Einheiten (ÖE)!
Damit steigt der weltweite Energiebedarf stärker an als fast alle Prognosen angenommen haben!
- Etwa 80 % des aktuellen Energiebedarfs der Erde wird immer noch von den fossilen Energieträgern Kohle, Erdöl und Erdgas gedeckt!
- Das Energiemaß „Stein-Kohle-Einheit = SKE“ gibt den Heizwert von Steinkohle an, also die Energie, die beim Verbrennen von 1 kg Steinkohle frei wird!
- Umrechnung: 1 kg SKE = 7.000 kcal = 29,3076 MJ = 8,141 kWh = 0,7 kg ÖE (Öl-Einheit)
- Für 1 kg SKE erhält man also 8,14 kWh. Entsprechend solcher Umrechnungen wird der Weltenergiebedarf oft auch in Exa-Joule (EJ) oder Terawattstunden (TWh) angegeben.

$$\rightarrow 1 \text{ EJ} = 10^{18} \text{ Joule} = 10^{15} \text{ kWs} = 0,278 \cdot 10^{12} \text{ kWh} = 278 \text{ TWh}$$

- Nach der Umrechnung erhält man deshalb aus dem Weltenergiebedarf für 2016 von 20 Mrd. Tonnen SKE den Wert von 14 Mrd. Tonnen OE oder ca. 590 EJ!
- Um sich diese Energiemenge vorstellen zu können, sollte man sich zuerst eine Schätzaufgabe stellen:
“Wie lange ist vermutlich ein Güterzug, der den Energiebedarf der Menschen eines Jahres in Form von Steinkohle trägt?”
- Aus den Vermutungen hört man Längen von einer Erdumrundung oder von der Distanz Deutschland bis USA, usw!
- Zur Berechnung nehmen wir an, dass ein Güterwaggon bei 10 Metern Länge vereinfacht 10 Tonnen tragen kann. Daraus ergibt sich ein Transportvolumen von 1 t pro m!
- Bei 20 Mrd. t SKE erhält man daraus eine Zuglänge von 20 Millionen km!
Dies entspricht bei einem Erdumfang von 40.000 km ca. 500 Erdumfänge!
- Wir erhalten die Energie aus diesen überwiegend fossilen Energien (Kohlenstoffatome) nur durch Verbrennen. Bei der Verbrennung von 1 kg Steinkohle entstehen ca. 3 kg CO₂, das in großen Mengen in der Atmosphäre als Treibhausgas wirkt und so das Klima der Erde verändern kann.

Grundlagen der Elektrotechnik für die Nutzung Erneuerbarer Energien

- Damit entstehen aus der jährlichen Energienutzung im Energiemix aus fossilen, atomaren und erneuerbaren Energien CO₂-Mengen, die knapp dem Doppelten der genutzten Energiemenge entsprechen!
- Bei vermehrter Nutzung Erneuerbarer Energieträger wird dieser hohe CO₂-Anteil verringert und damit die negativen Auswirkungen auf das Klima gemindert.
- Besonders bei der Stromerzeugung in Deutschland, die im Jahre 2017 bereits zu fast 40 % „Erneuerbare Quellen“ nutzte, konnte der CO₂-Anteil stark verringert werden.
- Dadurch konnte der Primärenergiefaktor der Stromerzeugung, der 1990 noch bei 3 lag, bis 2017 auf 1,6 abgesenkt werden. Ab 2020 soll dieser nach der EnEV (**E**nergie-**E**inspar-**V**erordnung) weiter auf 1,5 abgesenkt werden.

a) Tabelle zum Energiegehalt und zur Dichte von Brennstoffen:

	Unterer Heizwert H_u	Oberer Heizwert H_o	Dichte	Umrechnung von Volumeneinheiten in kWh (H_u)
Brennstoffe	kWh/kg		kg/m ³	
Heizöl EL	11,8	12,7	860	1 Liter = 10,2 kWh
Erdgas H	12,4	13,8	0,76 ¹⁾	1 m _N ³ = 9,5 kWh
Flüssiggas	12,8	13,9	2,36 ¹⁾	1 m _N ³ = 30,2 kWh
Steinkohle	8,7	9,0	760 ²⁾	1 m _N ³ = 6.600 kWh
Braunkohle	5,5	5,9	700/1.000 ³⁾	1 m _N ³ = 3.900/5.500 kWh
Brennholz	3,6/4,1 ⁴⁾	4,1/4,7 ⁴⁾	420/560 ⁵⁾	1 rm = 1.700/2.300 kWh

¹⁾ bezogen auf Normkubikmeter m_N³

²⁾ Schüttdichte Nüsse/Eierbriketts

³⁾ Briketts geschüttet/gesetzt

⁴⁾ bei Feuchtegehalt 30 %

⁵⁾ Weichholz (Nadelholz)/Hartholz (Buche); luftgetrocknetes Holz bezogen auf Raummeter (1 rm = 1 Ster; ca. 25 % Raum-Luftanteil)

Quelle: Heizwerte aus GEMIS 3.0

Heizöl EL: Extraleichtes Heizöl; am häufigsten eingesetzte Sorte von Heizöl
 Erdgas H: Erdgas mit hohem Heizwert (H= high)

b) Tabelle zu den Primärenergie- und den CO₂-Emissionsfaktoren

		Primärenergiefaktor	CO ₂ -Äquivalent-Emissionsfaktor ¹⁾
Endenergieträger		kWh _{prim} /kWh _{end}	g/kWh _{end}
Brennstoffe ²⁾	Heizöl EL	1,10	297
	Erdgas H	1,07	232
	Flüssiggas	1,09	257
	Steinkohle	1,07	410
	Braunkohle	1,20	455
	Brennholz	1,01	55
	Holz hackschnitzel	1,06	33
Strom	Strommix (2016)	1,8	689
Fernwärme ³⁾	70 % KWK	0,71	214
	35 % KWK	1,10	306
	0 % KWK	1,49	398
Nahwärme ⁴⁾	70 % KWK	0,62	84
	35 % KWK	1,03	113
	0 % KWK	1,43	311

Bilanziert wurde die vorgelagerte Kette für die Endenergie bis zur Übergabe im Gebäude
 → Primärenergiefaktor = Anfangsenergie / Endenergie

¹⁾ klimawirksame Emissionen (CO₂; CH₄; CO; NMVOC; NO_x; N₂O) ausgedrückt in CO₂-Äquivalenten

²⁾ Bezugsgröße = H_u

³⁾ Steinkohle-Kondensationskraftwerk = Anteil KWK + Heizöl-Spitzenkessel

⁴⁾ Erdgas BHKW = Anteil KWK + Erdgas Spitzenkessel

Quelle: Berechnet mit GEMIS 3.0

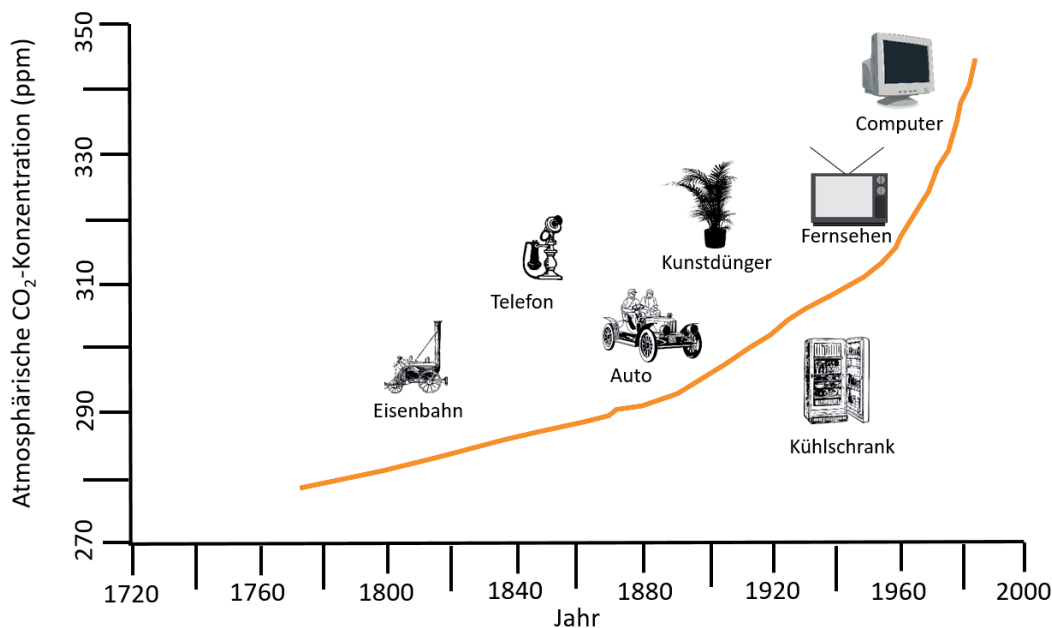
KWK: Kraft-Wärme-Kopplung; Nutzung von Abwärme aus der Energieerzeugung zu Heizzwecken, dadurch hoher Gesamtwirkungsgrad

Grundlagen der Elektrotechnik für die Nutzung Erneuerbarer Energien

1.7. Industrialisierung und Globalisierung erhöhen den Energiebedarf weiter

- Mit der Entwicklung der Dampfmaschine durch James Watt u. a. in den Jahren ab 1760 wird Kohle zum wichtigsten Energieträger am Beginn des Industriezeitalters!
- Die Erfindung des Ottomotors und die Weiterentwicklung der Benzin- und Dieselmotoren machen im 19. Jahrhundert das Erdöl zum wichtigsten Energieträger. Im Bereich der Hausheizungen löst das Heizöl immer stärker die Kohle ab.
- Umweltprobleme und Verknappung beim Öl ab 2000 verlagern den Energiehunger der Menschheit auf das Erdgas als vermeintlich weniger umweltbelastenden Energieträger.
- Nach dem 2. Weltkrieg wird auch die friedliche Nutzung der Atomenergie in den Industrienationen eine zusätzliche Energiequelle zur Stromversorgung.
In Deutschland decken die Kernkraftwerke 2016 nur noch ca. 10 % des Strombedarfs und werden ab 2022 komplett abgeschaltet.
- Mit der Computertechnik und dem Internet, modernen Kommunikationssystemen und dem Flugverkehr wächst die Welt zusammen. Diesen Prozess am Ende des Industriezeitalters nennt man Globalisierung. Er erschließt auch den Schwellenländern die verstärkte Nutzung der Energiequellen auf der Erde.

Atmosphärische CO₂-Konzentration seit 1770



Zunahme des Anteils von CO₂ in der Atmosphäre (in ppm, parts per million) seit Beginn der Industrialisierung, zusammen mit einigen technischen "Meilensteinen".
Die Erfindung und anschließende Massenverbreitung solcher technischer "Helferlein" hat das Leben für die Menschen einfacher und komfortabler gemacht, aber auch den Energie- und Ressourcenverbrauch erhöht.

- Parallel zum steigenden Energiebedarf hat sich der Anteil des Treibhausgases CO₂ in der Atmosphäre vom langjährigen Mittelwert bei 280 „parts per million“ (ppm) bis 2017 auf über 400 ppm erhöht. Damit besteht die Gefahr einer starken Klimaveränderung auf der Erde mit einem Anstieg der Mitteltemperatur in der bodennahen Atmosphäre von 15 °C um über 2 Kelvin! Dies muss unbedingt vermieden werden!

1 Kelvin= Temperaturunterschied von 1 °C

1.8. Klimaveränderung und Preisexplosion bei den bisherigen Energieträgern

Der starke Anstieg der Treibhausgase aus CO₂, Methan- und NO_x in der Atmosphäre verhindert die Wärmeabstrahlung der Erde in das Weltall. Dadurch lagern die Atmosphäre, die Weltmeere und die Landmassen immer mehr Strahlungsenergie der Sonne ein.

- Wenn die Luftschichten mehr Energie enthalten und thermische Effekte die Umwälzung beschleunigen werden Stürme und Gewitter mehr Energie enthalten!
- Warme Luft kann größere Mengen von Wasserdampf enthalten und transportieren. Dies führt zu massiven Regenfällen (Starkregen) bei plötzlicher Abkühlung durch das Zusammenprallen mit Kaltluftmassen. Die Folgen sind Überschwemmungen mit Jahrhunderthochwassern! Andere Gebiete der Erde trocknen aus mit der Folge, dass die Wüstengebiete der Erde an Fläche zunehmen!
- Große Eisflächen auf den Gletschern und in den arktischen und antarktischen Gebieten der Erde schmelzen. Dies führt neben der thermischen Ausdehnung der Meere zu einem zusätzlichen Ansteigen des Meeresspiegels.
- Bei ungebremselter Temperaturentwicklung über 2 °C in diesem Jahrhundert beginnen die Permafrostböden Sibiriens aufzutauen. Damit würden Milliarden Tonnen Methangas freigesetzt, die das 32-fache Wirkungspotenzial des CO₂ beim Klima haben!
- Damit gleitet die Erde in die „Klimakatastrophe“ mit unübersehbaren Folgen für das Weiterleben von Pflanzen, Tieren und Menschen!
- **Das Handlungsgebot:** Nur durch sparsamen Umgang mit Energie und durch Nutzung Erneuerbarer Energien können wir die Klimakatastrophe vermeiden!
- Die Preisspirale bei den konventionellen Energieträgern dreht nach oben!
In den Jahren 2010–2014 lag das Fördermaximum für Erdöl bei ca. 80 Millionen Barrel pro Tag! Seither geht die Förderquote weltweit zurück. Es besteht die berechtigte Vermutung, dass damit der „Peak-Oil“, das absolute Fördermaximum beim Erdöl erreicht wurde.
- Die Förderung von Uran für die Brennstäbe der Kernkraftwerke bleibt seit 2000 hinter dem Bedarf zurück und wird zurzeit mit 40 % durch die Nutzung von angereichertem Uran aus der Entsorgung von Atomwaffen gedeckt!
- Bei einem geschätzten weltweiten Vorrat an verschiedenen Erdölvorkommen von ca. 2 000 Milliarden Barrel (1 Barrel = 159 Liter) und einem aktuellen Jahresbedarf von ca. 30 Mrd. Barrel könnte das Erdöl noch fast 70 Jahre reichen!
Aus heutiger Sicht sind davon aber nur 1 000 Milliarden Barrel förderbar!
Erdöl ist als Rohstoff zu wertvoll zur energetischen Nutzung und verursacht als Hauptenergiequelle der Welt den stärksten Beitrag zur Klimaveränderung.
Bei weiter steigendem Bedarf von Öl und der zurückgehenden Förderquote werden die Kosten für diesen Energieträger weltweit stark ansteigen.
- Erdgas kann Öl quantitativ nicht ersetzen. Außerdem ist es oft weniger sauber als man denken könnte, da ein gewisser Anteil durch Leckagen bei Förderung und Transport entweichen kann.



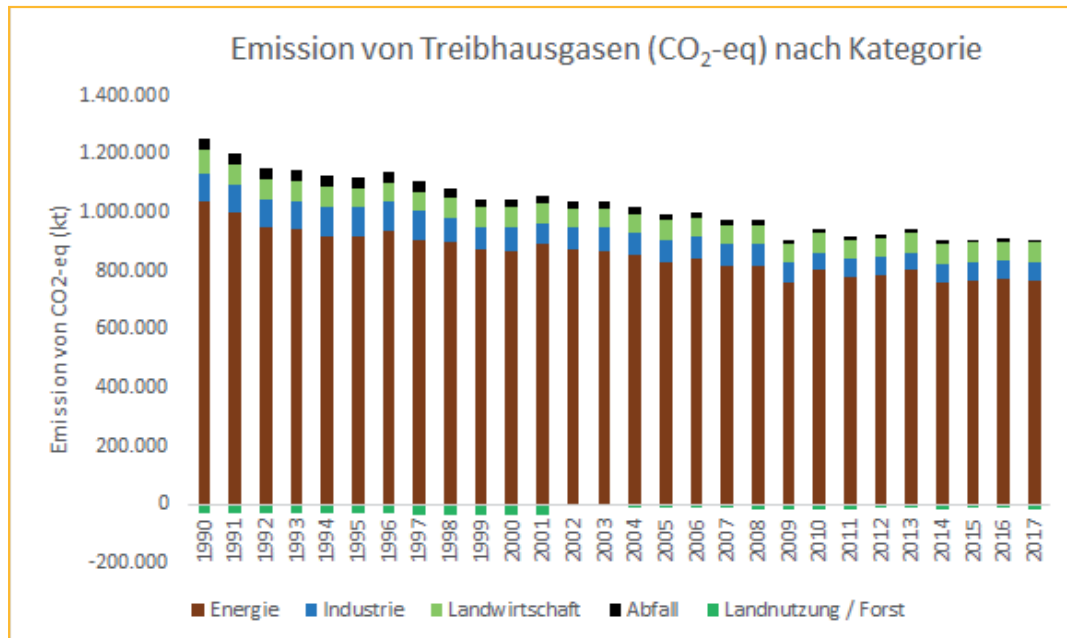
Grundlagen der Elektrotechnik für die Nutzung Erneuerbarer Energien

1.9. Die G8/20-Länder planen den Klimaschutz...

...durch Direktiven, Gesetze und Richtlinien zur „Energieeffizienz“ und zur „Nutzung erneuerbarer Energien“

- Im Jahr 2012 lief das erste internationale Abkommen zur Begrenzung der Treibhausgasemissionen – das „**Kyoto-Abkommen**“ aus.
- 2015 wurde im **Pariser Klimaabkommen**, das von 194 Staaten anerkannt wurde, das 2-Grad-Ziel der Erderwärmung gegenüber 1990 festgeschrieben. Die europäischen Länder gaben dazu das ehrgeizige 1,5-Grad-Ziel an.
- Die für den Klimaschutz verantwortliche Abteilung der „Vereinten Nationen“ – das **IPCC = „Intergovernmental Panel on Climate Change“** gibt regelmäßige Berichte zum aktuellen Stand der Klimaforschung und leitet Handlungsempfehlungen an die Regierungen weiter. Man bezeichnet ihn auch als „**Weltklimarat**“. Der 5. Sachstandsbericht des IPCC ist 2013/14 vorgestellt worden mit dringenden Warnungen zum Handeln in der Klimaproblematik, weil sich die Auswirkungen des Klimawandels weiter verschärft haben. Der 6. Sachstandsbericht des IPCC soll 2022 veröffentlicht werden.
Informationen dazu findet man im Internet unter: <http://www.de-ipcc.de/>
- Aufgrund neuester Daten des IPCC und nationaler Forschungsinstitute haben sich die G8/G20-Staaten 2015 im Pariser Klimaabkommen zu verstärkten Anstrengungen im Klimaschutz geeinigt. Demnach sollen die Industrieländer auf dem Stand von 2000 bis 2050 ihre CO₂-Emissionen um 80 % reduzieren und die Schwellenländer um 50 %!
Dazu verpflichten sich die 28 (27) EU-Staaten auf **das aktuelle Handlungsziel der CO₂-Reduktion auf 40 % im Jahr 2030** bezogen auf das Jahr 1990.
- Die aktuellen Erkenntnisse zum Klimaschutz erhöhen den Handlungsdruck auf die verantwortlichen Politiker. Der Weltklimarat (IPCC) schlägt vor, dass die Erderwärmung durch die menschengemachte (anthropogene) Klimaveränderung bis 2050 **nicht über 2 Kelvin steigen darf**. Dazu müssen die CO₂-Emissionen gegenüber heute um mindestens 50 % verringert werden.
Die bisherige anthropogene Erwärmung des Erdklimas seit 1900 liegt bei 0,8 Kelvin!
- Für Deutschland solle die CO₂-Einsparung bis zu 40 % gegenüber 1990 betragen. Nach der Grafik auf der folgenden Seite wird diese Reduzierung nicht erreicht werden. Der Anteil der Erneuerbaren Energien im Endenergieanteil soll dann bei 20 % liegen. Die CO₂-Emissionen sollen 2020 noch 750 Mio. t und 2050 noch 250 Mio. t betragen!
- Beim Stromanteil liegen die erneuerbaren Energien in Deutschland bis 2017 bei etwa 38 % und sollen bis 2020 auf bis zu 40 % steigen!
Durch die Novellen des EEG in den Jahren 2013–2017 wurde der Zubau erneuerbarer Energien stark abgebremst.
Damit wird Deutschland die gesteckten Klimaziele für die Endenergieanteile für 2020 nicht erreichen. Andere Länder der Erde bauen allerdings die Erneuerbaren Energien stark aus. So konnten im Jahr 2017 die weltweit installierten PV-Anlagen die 100 GW-Marke überspringen:
- Die Zusammenhänge, Abhängigkeiten und Entwicklungen zum Klimaschutz werden mit grafischen Darstellungen leichter erkennbar.
An der folgenden Grafik erkennt man, dass die Hauptlast der CO₂-Emissionen in Deutschland aus der Energienutzung in Kraftwerken, der Industrie, dem Handel und Handwerk, den Haushalten und dem Verkehr stammt.

Energie – Umwelt – Markt



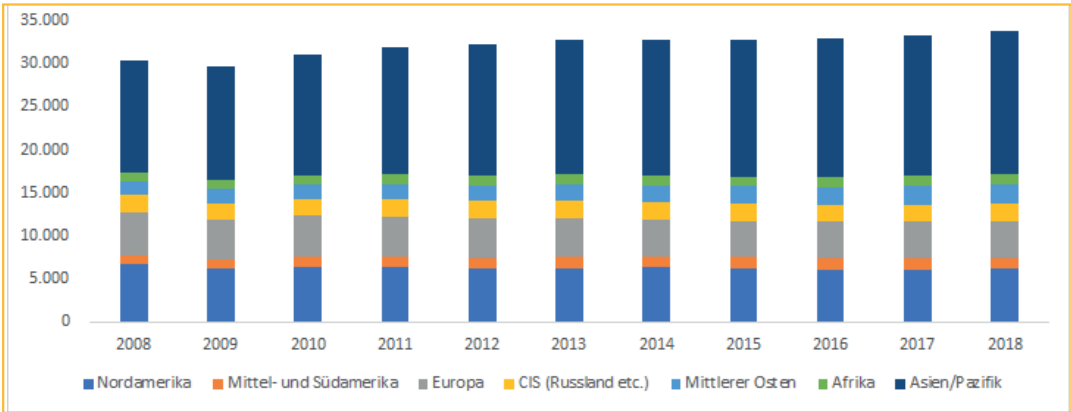
Die Emissionen von Treibhausgasen in Deutschland, umgerechnet auf CO₂-Äquivalente und dargestellt nach Wirtschaftsbereichen. Der große Einfluss der Energieerzeugung ist deutlich. 1 Kilotonne (kt) entspricht 1.000 Tonnen oder 1.000.000 kg.

Globales CO₂-Budget fast aufgebraucht:

Allein der ungebremste Zubau von Kohlekraftwerken wird das weltweite CO₂-Budget fast aufbrauchen. Wie im Paris-Abkommen vereinbart, soll die globale Erwärmung auf weniger als zwei Grad Celsius begrenzt werden. Daraus hat der Weltklimarat (IPCC) errechnet, dass weltweit noch circa 700 bis 800 Gigatonnen (Gt) CO₂ in die Atmosphäre eingelagert werden dürfen, wenn die Welt unterhalb dieser Grenze bleiben will. Die bestehende Infrastruktur aus Kraftwerken und Gebäuden, emittiert über ihre lange Lebensdauer von vielen Jahren bereits etwa 500 Gt. Mit den aktuell im Bau befindlichen und den zusätzlich geplanten Kohlekraftwerken kämen 150 Gt hinzu. Weitere Emissionen, wie die aus dem Wachstum beim Verkehr oder der Landwirtschaft würden das Gesamtbudget dann übersteigen.

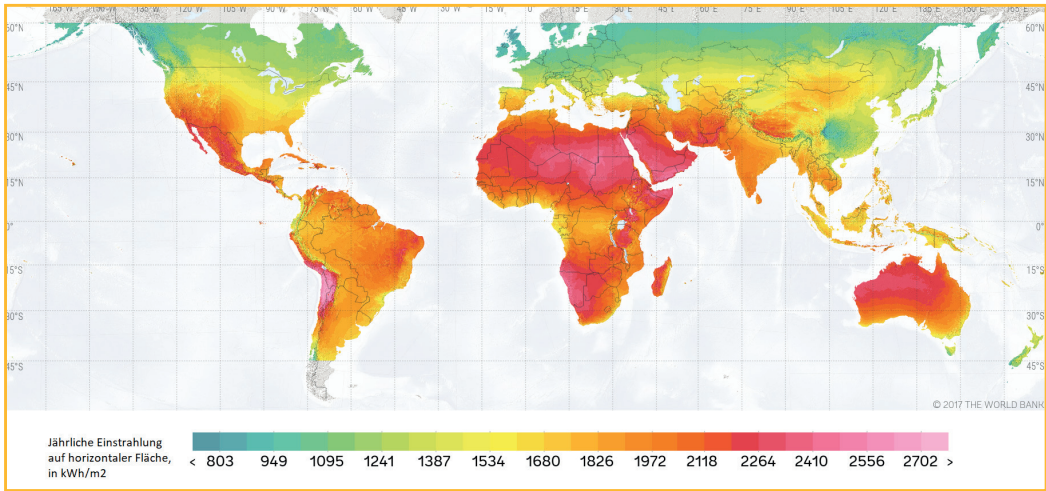
Grundlagen der Elektrotechnik für die Nutzung Erneuerbarer Energien

Die folgende Grafik zeigt den weltweiten Zuwachs an CO₂-Emissionen auf die Länder oder Erdteile verteilt:



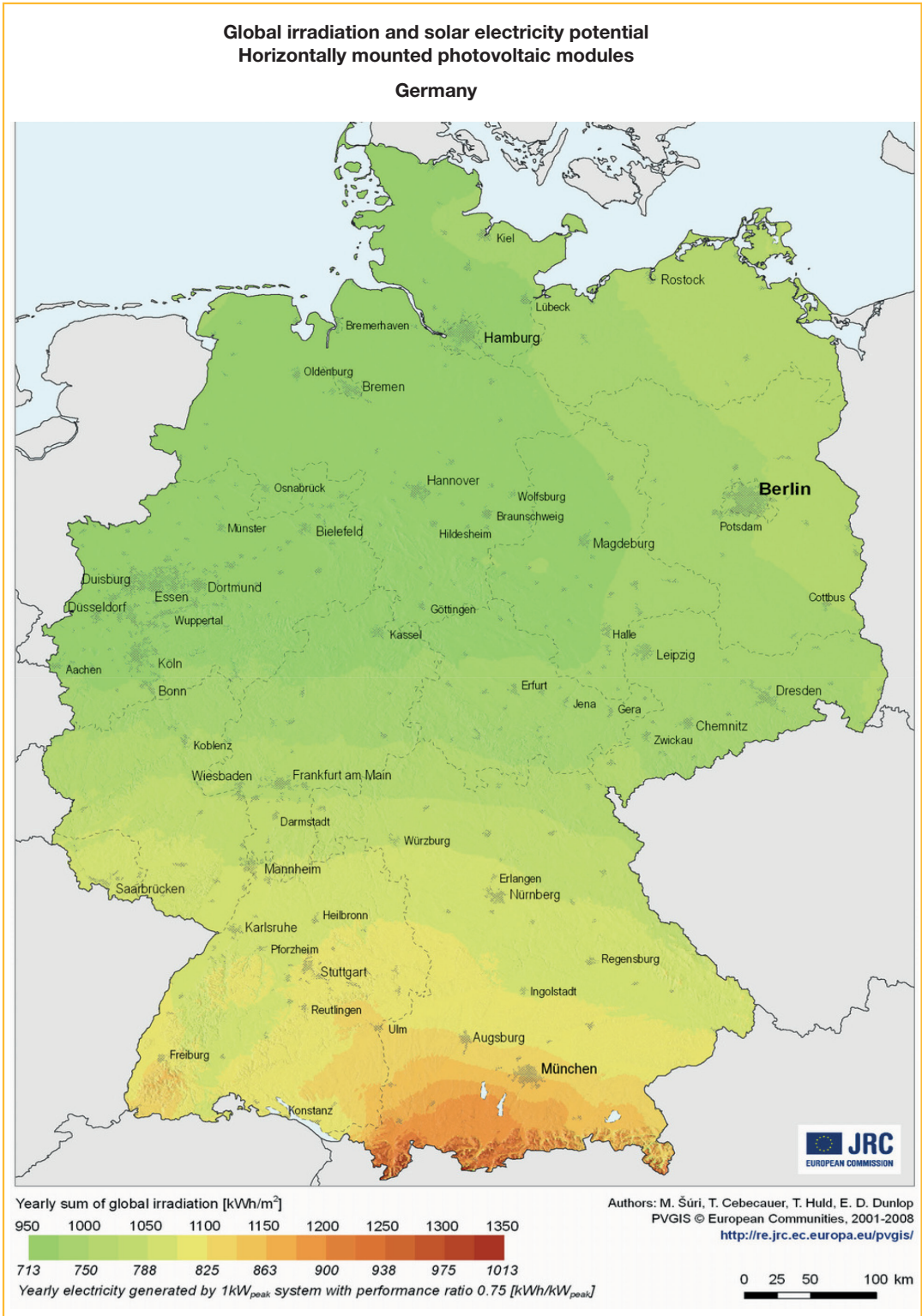
Weltweite Emissionen von Treibhausgasen aus der Erzeugung und Bereitstellung von Energie, in Megatonnen CO_{2eq}
 1 Megatonne (Mt) = 1.000.000 Tonnen.

1.10. Verteilung der solaren Einstrahlung auf der Erde und in Deutschland



Die jährliche Einstrahlung von Sonnenlicht, in kWh je Quadratmeter. Der "Sonnengürtel" der Erde verläuft i.w. in Nordafrika und über die arabische Halbinsel. Doch auch in weniger "sonneverwöhnten" Regionen lässt sich inzwischen wirtschaftlich Solarenergie erzeugen.

- Die jährliche Energiesumme mit der ein Quadratmeter Erdoberfläche von der Sonne bestrahlt wird, reicht vom Maximum mit 2200 kWh bis zu 800 kWh am Polarkreis!
- Für alle Länder findet man im Internet über die Wetterdienste „Meteosat“ oder den Deutschen Wetterdienst (DWD) jährliche bis tägliche Karten der solaren Strahlungsenergieverteilung!
- Man kann diese Karten auch kommerziell über den Dienstleister Meteocontrol erwerben (www.meteocontrol.de)
- Die beste Möglichkeit, Angaben zur Strahlungsverteilung in vielen Ländern zu erhalten, besteht mit der Website des EU-Dienstes von „PV-GIS“! http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmmaps/eu_hor/pvgis_solar_horiz_DE.png
- Hier wird auf Länderkarten nicht nur die Einstrahlung, sondern auch der Solarertrag einer durchschnittlichen PV-Anlage in kWh/kW angegeben!
- Für Deutschland wird in der folgenden Verteilungskarte die Solarstrahlung eines Durchschnittsjahres und die Erträge einer Standardsolaranlage auf einer horizontalen Ebene dargestellt:



Jährliche Einstrahlung in Deutschland, in kWh je Quadratmeter.

1.15. Aufgaben zur Vertiefung des Fachwissens

1.) Welche Energiemenge in kWh entsteht bei der Umwandlung von 1 g Masse in Energie?

2.) In der Grafik im Infoteil 1.3 sind die Nutzungspotenziale verschiedener erneuerbarer Energiequellen dargestellt. Welche Planungsschritte und Prioritäten könnten daraus für die Zukunft der erneuerbaren Energienutzung festgelegt werden?

3.) Mit dem Energierad kann elektrische Energie für verschiedene Anwendungen im Haus erzeugt werden. Welche Energieanwendung ist dabei am schwersten mit Muskelkraft zu bedienen? Wie lange müsste ein Mensch auf dem Energierad für eine „kWh“ treten?

4.) Wie lange müsste ein Mensch bei einer Muskelleistung von 50 Watt arbeiten, um eine Tafel Schokolade mit dem Nährwert von 2400 kJ energetisch zu nutzen?

5.) Beschreiben Sie den Weltenergieverbrauch von 20 Mrd. t SKE für 2016 als Ölfluss mit einer Fließgeschwindigkeit von 1 m/s und einer Tiefe von einem Meter! Berechnen Sie dazu die Breite des Stroms!

Grundlagen der Elektrotechnik für die Nutzung Erneuerbarer Energien

6.) Wie kann man begründen, dass bei der Verbrennung von 1 kg Kohle ca. 3 kg CO₂ entstehen?

7.) Wie lange müsste ein Mensch bei einer Muskelleistung von 50 Watt arbeiten, um eine Tafel Schokolade mit dem Nährwert von 2400 kJ energetisch zu nutzen?

8.) Der Weltklimarat „IPCC“ veröffentlicht regelmäßig die aktuellen Berichte zum Klimastand der Erde. Informieren Sie sich auf der Internetsite „<http://www.de-ipcc.de/>“ über den Weltklimarat, die Publikationen und Sachstandsberichte

Kommentare:

9.) Relativieren Sie die Aussage, dass sich Sonnenenergienutzung nur in der Sahara rechne, mit der Globalstrahlungskarte im Infoteil 1.10!

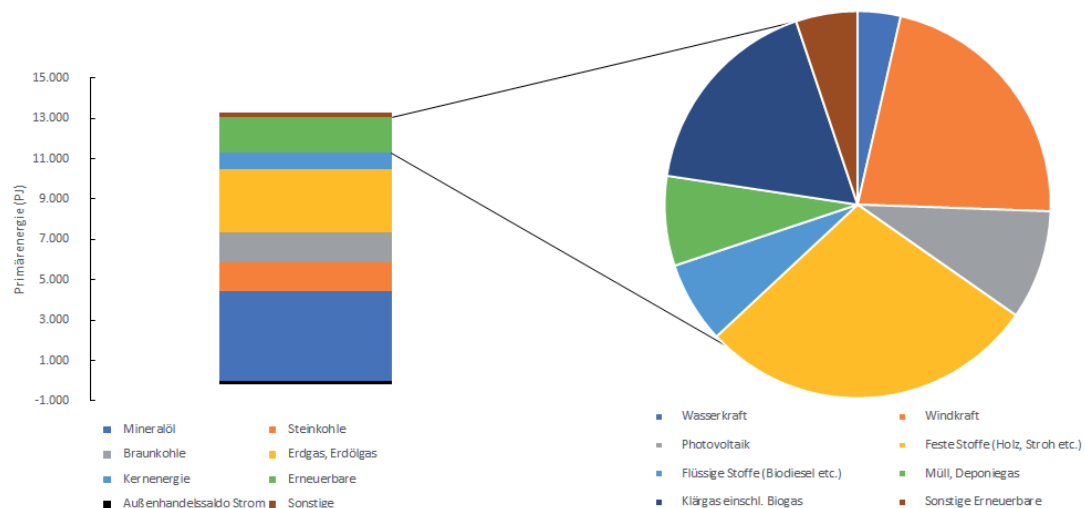
Energie – Umwelt – Markt

10.) Mit welchem prozentualen Ernte-Ergebnis ist zu rechnen, wenn eine Solaranlage auf einem Hausdach mit

a) 40 Grad Neigung und einer SW-Orientierung aufgebaut wird?

b) 10 Grad Neigung und einer West-Orientierung aufgebaut wird? (siehe Info-Teil 1.11)

11.) In der folgenden Grafik ist der Energiemix in Deutschland in PJ angegeben.
 Wie viele t SKE oder t ÖE sind dies? (Umrechnungswerte im Infoteil 1.13)

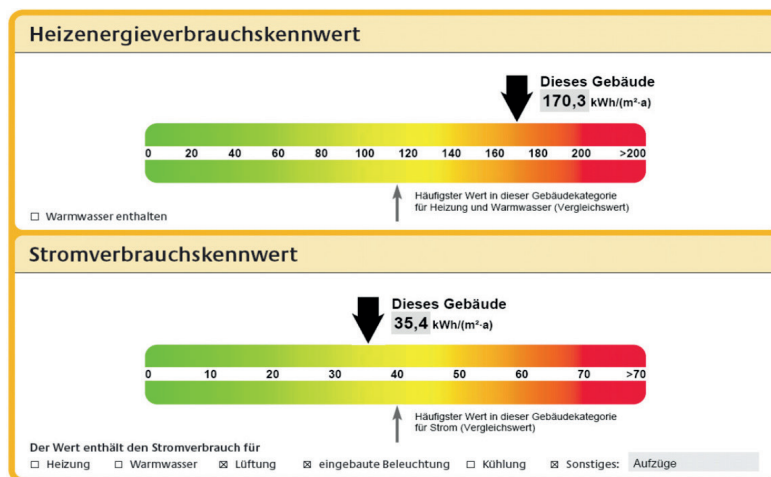


Kommentar zum aktuellen Energiemix: _____

Nennen Sie Stichpunkte dazu!

[illegible]

Wie beurteilen Sie diese?

[illegible]

Energie – Umwelt – Markt

- 14.) Berechnen Sie die Energiekennzahl eines Wohngebäudes mit einem Heizölverbrauch von 2480 Liter pro Jahr bei einer Wohnfläche von 145 m² und einer Belegung mit 3 Personen. (Siehe Infoteil 1.14)

Wie beurteilen Sie den Energieverbrauch dieses Hauses?

- 15.) Durch die große Nachfrage von PV-Technik nach dem Start des EEG ab 2000 konnten die Systemkosten für Netzparallelanlagen von 10000 €/kW bis zum Jahr 2017 auf ca. 1000 €/kW (netto) gesenkt werden.
 Wieviel kostet demnach heute eine kWh Solarstrom in Deutschland, wenn man von einer 20-jährigen Nutzung ausgehen kann?

- 16.) Wie sehen Sie die Möglichkeiten einer weltweiten Energiewende anhand dieser Grafik?

