

Unterrichtsmaterialien zum Thema

# **Erde bei Nacht - Energieverbrauch um Rhein, Ruhr, Maas und Schelde**

JAHRGANGSSTUFE 11-12

Arbeitsblatt

## Aufgaben

**1. In Marker 1 sehen Sie ein sogenanntes Falschfarbenbild, in dem der rote Aufnahmekanal durch den infraroten ersetzt wurde. Verorten Sie den Bildausschnitt in Deutschland und erläutern Sie die Vorteile dieser Darstellungsart.**

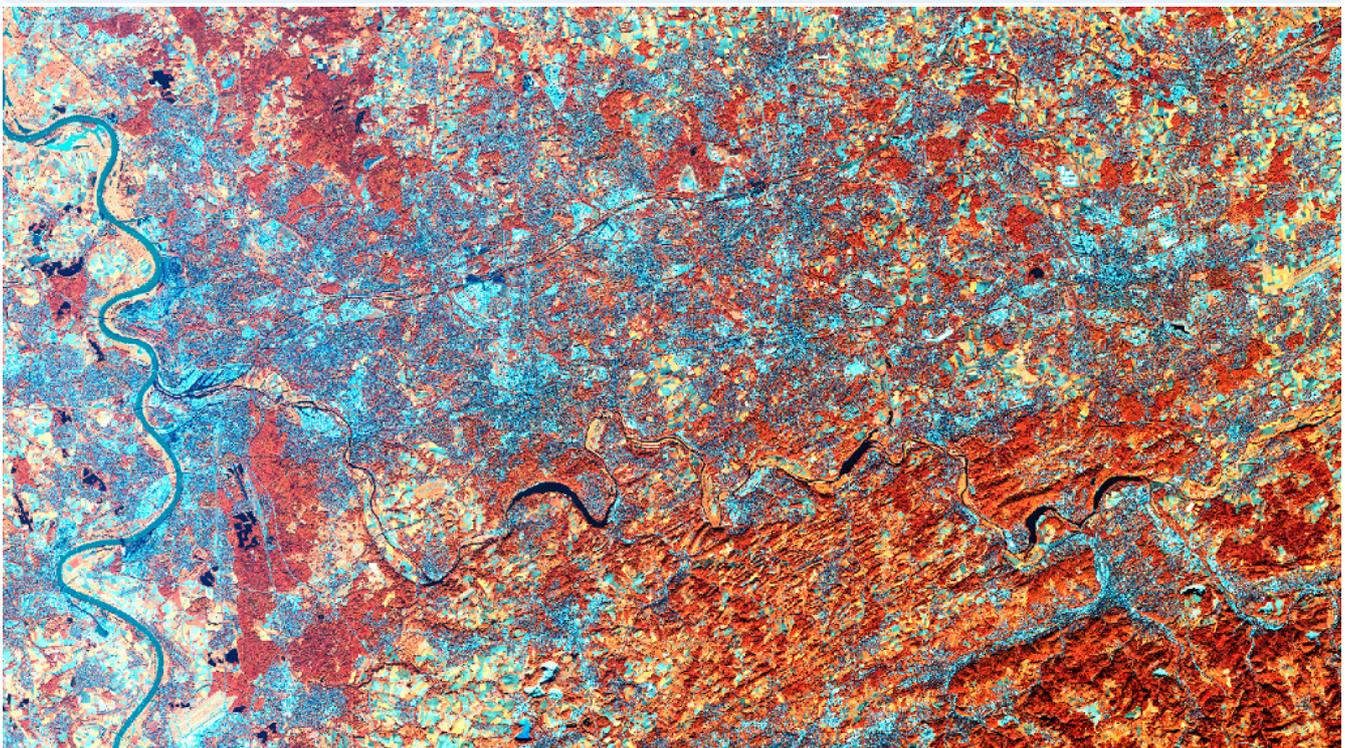
Tipp: Zusätzliche Informationen hierzu finden Sie unter [fis.rub.de/researchtools/info-box](https://fis.rub.de/researchtools/info-box)

**2. Benutzen Sie die App „Columbus Eye“, Part "Erde bei Nacht" mit Marker 1. Beschreiben Sie die Verteilung der Lichtpunkte im Video, indem Sie die Strukturen und Muster identifizieren. Was sagen diese über natürliche Gegebenheiten und Besiedlungsmuster aus? Ziehen Sie auch das Falschfarbenbild selbst und die Eckdaten-Tabellen zu Rate!**

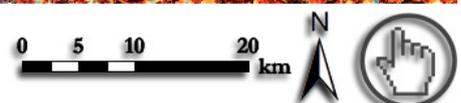
Orientierung verloren? Verdecken Sie den Nordpfeil und Maßstab, während Sie das Video anschauen!

**3. Vergleichen Sie die Eck- und Energiedaten des Landes NRW und Belgiens und lesen Sie die Infotexte zum Energiemix in den beiden Regionen. Diskutieren Sie die Vor- und Nachteile der Mischung von Energieträgern:**

- Benutzen Sie den App-Part „Erde bei Nacht“ mit Marker 2. Das Video dazu zeigt potentielle Auswirkungen eines GAUs (Größter Anzunehmender Unfall) in Tihange. Welche Gefahrenabstufungen entsprechen welchen Strahlungskonzentrationen im Video? Was fällt bei den betroffenen Gebieten auf?
- Benutzen Sie den App-Part „Erde bei Nacht“ mit Marker 3. Das Video dazu zeigt Messungen der Kohlen-monoxid- und -dioxid-Verteilung in Europa im Jahr 2006. Wägen Sie die Vor- und Nachteile der Energie-erzeugung aus fossilen und nuklearen Energieträgern gegeneinander auf.
- Biokraftstoffe und Müllverbrennung zu den erneuerbaren Energien zu zählen, ist umstritten. Diskutieren Sie die Gründe hierfür.



Infrarot    Grün    Blau  
●    ●    ●



**Marker 1** Sentinel-2B-Aufnahme vom 15.10.2017 in den Farbkanälen Infrarot (B8, 833nm), Grün (B3, 559nm), Blau (B2, 492nm).

## Der Staat Belgien, das Land Nordrhein-Westfalen und die Metropolregion Rhein-Ruhr

Die beiden benachbarten Regionen haben vieles gemeinsam, allen voran die lange Geschichte der Montanindustrie, die ihren Höhepunkt in der Mitte des letzten Jahrhunderts erreichte. Seitdem kämpfen beide Regionen einerseits damit, die darauf aufbauende metallverarbeitende Industrie mit dem Import der notwendigen Ressourcen zu erhalten, zum anderen Alternativen zu finden, die den Einwohnern und dem Land sichere Einnahmen beschern. Besonders die Metropolregion Rhein-Ruhr, die sich mit ihren 10,7 Mio Einwohnern von Bonn im Süden über Duisburg im Nordwesten bis nach Hamm im Nordosten erstreckt, bietet sich daher für den Vergleich mit Belgien an. Die administrativen Grenzen bilden die Metropole jedoch nicht ab, weshalb die Statistiken nur für das gesamte Land NRW vorliegen. Dennoch ist der Vergleich sinnvoll, nicht zuletzt aufgrund der ähnlichen Industriegeschichte und der großen räumlichen Nähe.

### Von der Primärenergie zur Nutzenergie

Um Energie verbrauchen zu können, muss diese zuerst erzeugt werden. Hierzu ist es immer notwendig, einen Rohstoff als Energieträger zu nutzen und die in ihm enthaltene Energie mit Technik zu extrahieren und in nutzbare Energie umzuwandeln. Die Arten von Energieträgern sind vielfältig, reichen von Brennstoffen wie Kohle, Öl und Holz über nukleare Brennstoffe bis hin zu solarer Einstrahlung, Wasser- oder Windkraft. Die Schadstoffe, die bei der Energiegewinnung aus diesen Energieträgern, aber auch beim Bau der Technologie zur Umwandlung, freigesetzt werden, sind ebenso vielfältig: Kohlenmono- und -dioxid, winzige Rußpartikel, verschiedene Schwermetalle, radioaktive Strahlung und weitere Giftstoffe gelangen über Abluft und -wasser in die Umwelt, wo sie teils erheblichen Schaden anrichten können. Beispielsweise trägt Kohlendioxid zum Klimawandel bei, Rußpartikel setzen sich in die Lungen von Mensch und Tier und lösen schwere Krankheiten aus, und in radioaktiv verseuchten Gebieten treten Erbgutschäden und Krebskrankheiten gehäuft auf. Der Trend in Europa geht daher hin zu weniger schädlichen Energieträgern und -umwandlern, doch noch kommt

	Belgien	NRW
Einwohner in Millionen	11,2	17,9
Fläche [km <sup>2</sup> ]	30.500	34.110
Einwohner / km <sup>2</sup>	366	524
Verstädterungsgrad*	98%	90%

**Tabelle 1** Eckdaten zur Bevölkerung Belgiens und Nordrhein-Westfalens im Jahr 2014 (Quelle: Statistisches Bundesamt).

\*Prozent der Bevölkerung, die in Städten leben

	Belgien	NRW
Bruttostromerzeugung [TWh]	71,5	175,4
Energieimporte [TWh]	17,6	-23,6
CO <sub>2</sub> -Emissionen / EW / a	8t	14,7t
Atom Müll / EW / a	1,4l	0,0l

**Tabelle 2** Eckdaten zur Energieerzeugung Belgiens und Nordrhein-Westfalens im Jahr 2014 (Quellen: Statistisches Bundesamt, IT.NRW)

ein großer Teil der Nutzenergie aus den bewährten, aber schädlichen Energieträgern.

Ein komplexer Energiemix verringert zum einen die Abhängigkeit von einzelnen Energieträgern und sorgt zum anderen für eine sichere und planbare Versorgung von Grund- und Spitzenlasten. Während erneuerbare, aber wetterabhängige Energien in Europa auf dem Vormarsch sind und immer günstiger werden, bleiben die alten, verlässlichen aber schädlichen Energieformen weiterhin zur Sicherung der Grundlast erhalten. Dort, wo die notwendige Infrastruktur wie Kraftwerke, Abbaugelände und Aufbereitungsanlagen vorhanden sind, ist es wirtschaftlich oft effektiver, diese einfach weiter zu benutzen, als eine aufwendige permanente Stilllegung mit Rückbau und Renaturierung durchzuführen, um anschließend die gleiche Leistung mit Kraftwerken für erneuerbare Energieträger aufzubauen. Zusätzlich hängen viele lokal gebundene Arbeitsplätze davon ab.

	Belgien	NRW
Nuklearenergie	47,2%	0%
Erdgas	27,0%	7,9%
Erdöl	0,3%	1%
Kohle	6,2%	76,7%
Erneuerbare (Wind, Wasser, Solar)	10,9%	5,4%
Biomasse und Müllverbrennung	7,9%	5,4%
Sonstige (Kraft-Wärme- Kopplung etc.)	0%	4,9%

**Tabelle 3** Bruttostromerzeugung nach Energieträgern in Belgien und Nordrhein-Westfalen im Jahr 2014 (Quellen: IEA, IT.NRW)

In der Energieerzeugung wird zwischen Primärenergieerzeugung, Brutto- und Nettostromerzeugung unterschieden. Als Primärenergie wird die Energie bezeichnet, die mit den ursprünglich vorkommenden Energieformen oder Energiequellen zur Verfügung steht. Dies sind Brennstoffe in ihren Rohformen, aber auch solare Einstrahlung, atmosphärische Strömungen (Wind) oder Wasserkraft. Sie werden nicht vollständig zu Strom umgewandelt; ein Großteil fossiler Brennstoffe wird beispielsweise in der Industrie sowohl zur Energiegewinnung als auch zur Verarbeitung genutzt. Bei der Umwandlung in Sekundärenergie (veredelte Kraftstoffe, Wärme, Strom) und der Übertragung zum Verbraucher geht zudem ein Teil der Energie verloren (in Belgien durchschnittlich ca. 25%, in NRW ca. 35%).

	Belgien	NRW
Industrie	795 PJ	754 PJ
Haushalte und Dienstleister	511 PJ	764 PJ
Verkehr	364 PJ	515 PJ

**Tabelle 4** Endenergieverbrauch nach Sektoren in Belgien und Nordrhein-Westfalen im Jahr 2014 (Quelle: IEA, IT.NRW)

Die Bruttostromerzeugung stellt die elektrische Energie, die aus der Primärenergieerzeugung gewonnen wird, dar. Hiervon geht erneut ein kleiner Teil durch Umwandlung und Betrieb der Kraftwerke verloren. Der große Rest wird als Nettostromerzeugung bezeichnet und vom Endnutzer verbraucht (Industrie, Haushalte, Dienstleister, Verkehr, etc.) sowie ex- bzw. importiert.

### Energiemix in Belgien

Belgien ist bei der Nutzung fossiler Brennstoffe auf Importe angewiesen, da wirtschaftlich nutzbare Kohlereserven bis in die 1960er Jahre aufgebraucht und die letzten Kohlebergwerke 1992 geschlossen wurden. Im Jahr 2014 wurden 29,6 Mio t Rohöl und Ölprodukte sowie mindestens 5 Mio t Kohle mehr importiert als exportiert. Zudem wurden etwa 15 Mrd m<sup>3</sup> Erdgas importiert. Die energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen im Jahr 2013 betragen ca. 89,1 Mio t.

Seit 2004 wurde die Verwendung fossiler Brennstoffe zur Energiegewinnung drastisch reduziert: Die Nettoimporte von Öl und Ölprodukten sanken um 9,8%, von Erdgas um 7,5% und von Kohle um 43,7%. Die Energieverluste wurden nur teilweise wieder aufgefangen. Erneuerbare Energien wie Wind, Solar und Wasser machen zusammen nur 5,5% der gesamten Stromproduktion aus und das erst seit sehr kurzer Zeit. Biokraftstoffe und Müllverbrennung machen dagegen 22,6% der Stromproduktion aus.

Zusätzlich zu den verringerten Nettoimporten von fossilen Brennstoffen hat Belgien, unfreiwillig, die Generierung von Kernenergie verringert. Kernenergie machte 2014 nur 16,5% der Primärenergieerzeugung Belgiens aus, lieferte aber 70,2% des Nettostroms. Dieser kommt aus zwei Kernkraftwerken in Doel (4 Reaktoren, Inbetriebnahme 1974, 1975, 1982, 1985) bei Antwerpen und in Tihange (3 Reaktoren, Inbetriebnahme 1975, 1982, 1985) an der Maas vor Lüttich. Belgien verfügt über eigene Kapazitäten zur Herstellung und Wiederaufbereitung von Brennstäben sowie eigene Endlager in Mol. Wegen immer wieder auftretender technischer Probleme mussten mehrere Reaktoren seit 2014 mehrfach abgeschaltet werden, was die belgische Regierung in Sorge um die Versorgungs-

sicherheit zu einer Laufzeitverlängerung der nicht defekten Reaktoren trieb. Die deutsche Regierung sorgt sich dagegen um Folgen einer Nuklearkatastrophe, die von den unsicheren Reaktoren ausgehen könnte. In der grenznahen, und durch die vornehmliche Windrichtung der Region besonders gefährdeten Region Aachen wurden daher im Herbst 2017 präventiv Jodtabletten verteilt.

Fast die Hälfte der Endenergie, aber auch bereits ein großer Teil der Primärenergie, wird in Belgien von der Industrie verbraucht. Durch Erz- und Kohleimporte hat Belgien die historisch gewachsene Stahl- bzw. metallverarbeitende Industrie erhalten. Entlang der Wasserstraßen, wie dem Albert-Kanal zwischen Antwerpen und Maastricht, befinden sich daher besonders viele Industriegebiete mit metallverarbeitenden und Chemiebetrieben, die auch nachts hell erleuchtet sind.

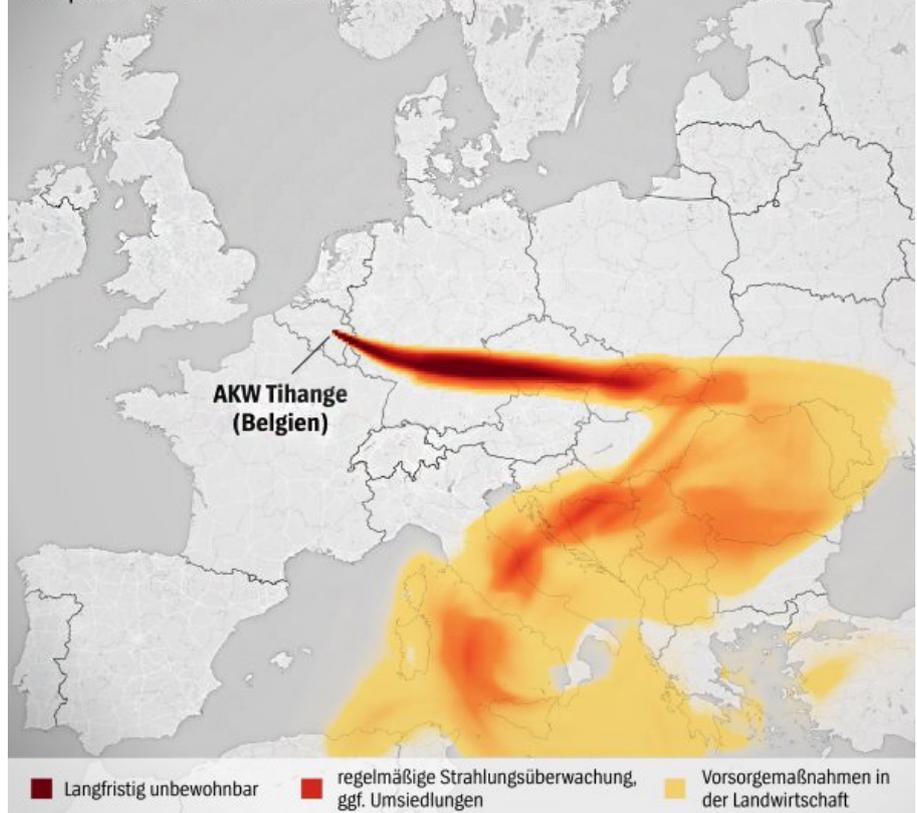
### Energiemix in Nordrhein-Westfalen

In NRW liegt ein großer Teil der zur Energiegewinnung genutzte Kohle bereits im Boden und muss „nur noch“ entnommen werden. Vor allem Braunkohlekraftwerke liegen immer nah an ihren Abbaugebieten; die Transportwege sind kurz. Kohlekraftwerke stoßen dabei durchschnittlich 820,2 g CO<sub>2</sub>/kWh aus, was zu einem Ausstoß energiebedingter CO<sub>2</sub>-Emissionen von 267,5 Mio t im Jahr 2013 geführt hat. Dies ist mehr als ein Drittel der gesamtdeutschen energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen (780,7 Mio t bei 626,7 Mrd kWh Bruttostromerzeugung). Zum Vergleich: Pro Jahr kann der gesamte deutsche Wald etwa 52 Mio t CO<sub>2</sub>-Äquivalent neu speichern.

Von den energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen entfallen allein 80,9 Mio t auf die drei größten Braunkohlekraftwerke Niederaußem, Neurath und

### Strahlungsausbreitung (Cs-137 Bodenkontamination)

Beispiel 1: Unfall am **01.01.1995 - 21 Uhr**



**Marker 2** Simulation der Strahlungsausbreitung bei einem GAU in Tihange am 01.01.1995 in Abhängigkeit der Wetterlage (Quelle: Spiegel Online mit Daten von flexrisk.boku.ac.at).

Weisweiler im rheinischen Braunkohlerevier zwischen Aachen, Köln und Düsseldorf. Hinzu kommen 42.300t Stickoxide, 13.100 t Schwefeloxide sowie ca. 1.200t Feinstaub und mehrere hundert kg Schwermetalle an jährlichen Emissionen. Dafür werden im Jahr allein an diesen drei Standorten 72,6 TWh Strom erzeugt. Drei weitere, kleine Braunkohlekraftwerke bringen die gesamte Bruttostromerzeugung aus Braunkohle im Rheinischen Revier auf 78,2 TWh im Jahr, oder 45% der gesamten Bruttostromerzeugung NRWs.

Steinkohle wird inzwischen zum größten Teil importiert. Da die Förderung der Kohle sich wirtschaftlich nicht rechnet, wird sie seit den 1960ern stetig zurückgefahren und Ende 2018 wegen dem Ende der staatlichen Förderung ganz eingestellt. Steinkohle machte im Jahr 2014 nur noch 21,4% der Primärenergiegewinnung aus Kohle aus, jedoch 32% der Bruttostromerzeugung. Die Differenz entsteht durch die höhere Energiedichte der Steinkohle. Die Braunkohle muss dagegen erst energieaufwändig aufbereitet werden, um bei der Verbrennung die notwendige Wärme zur Stromgewinnung zu erzeugen. Insgesamt gehen so ,



**Marker 3** Das Kraftwerk und der Braunkohletagebau in Garzweiler. Wälder, Flüsse und ganze Ortschaften werden für die Tagebaue in Nordrhein-Westfalen verlegt (Quelle: dpa, Videoquelle: NASA).

für die Energiegewinnung und Umwandlung 35,2% der erzeugten Energie in NRW wieder verloren. Weitere 17,2% der Primärenergie werden noch in Rohstoffform verbraucht und dienen nicht der Energiegewinnung.

Haushalte und Dienstleister verbrauchen in NRW ähnlich viel Strom wie die Industrie. Die historisch gewachsene Montan- und darauf aufbauende metallverarbeitende Industrie, die sich im Ruhrgebiet entlang natürlicher und künstlicher Wasserstraßen entwickelt hatte, wird immer weiter zurückgebaut und durch (energiesparendere) Dienstleister ersetzt. Die chemische Industrie floriert dagegen und verbraucht weiterhin hohe Mengen an Strom. Innerhalb der Gruppe "Haushalte und Dienstleister" verbrauchten die Haushalte bis 2013 fast doppelt so viel Energie wie die Dienstleister, zu denen neben Gewerbe, Handel und öffentlichen Einrichtungen auch Fischerei, Land- und Forstwirtschaft zählen. Seit 2014 liegen die

Statistiken nur noch gemeinsam vor.

### Abkürzungen von Einheiten

- kcal = Kilokalorie  
1 Kalorie ist die Energie, die benötigt wird, um 1 g Wasser um 1K zu erwärmen.
- kWh = Kilowattstunde  
1 Wattstunde ist die Energie, die ein System mit einer Leistung von 1 Watt in 1 h aufnimmt oder abgibt.
- PJ = Peta Joule  
1 Joule ist die Energie, die benötigt wird, um eine Sekunde lang eine Leistung von 1 Watt zu erbringen. (Peta- =  $10^{15}$ )
- kg ÖE = Kilogramm Öleinheit  
Maßeinheit für die Energiemenge, die beim Verbrennen von einem Kilogramm Erdöl freigesetzt wird.

	kcal	kWh	PJ	kg ÖE
1 kcal	1	$1.1622 \cdot 10^{-3}$	-	$4,19 \cdot 10^{-12}$
1 kWh	860	1	$3,61 \cdot 10^{-9}$	$85,985 \cdot 10^{-6}$
1 PJ	238.845.897.000	277.778.000	1	0,023884
1 kg ÖE	1.000	11.630	$41,87 \cdot 10^{-9}$	1

**Tabelle 5** Umrechnung verschiedener Energieeinheiten (Quelle: eigener Entwurf mit Daten der AG Energiebilanzen).

## Energieeinheiten im Vergleich

Die unten angeführten Beispiele dienen der besseren Einschätzung und zum besseren Vergleich des Energiebedarfs oder -verbrauchs.

	30 min. spazieren gehen	30 min. putzen	30 min. Volleyball spielen
kcal	ca. 114	ca. 145	ca. 257

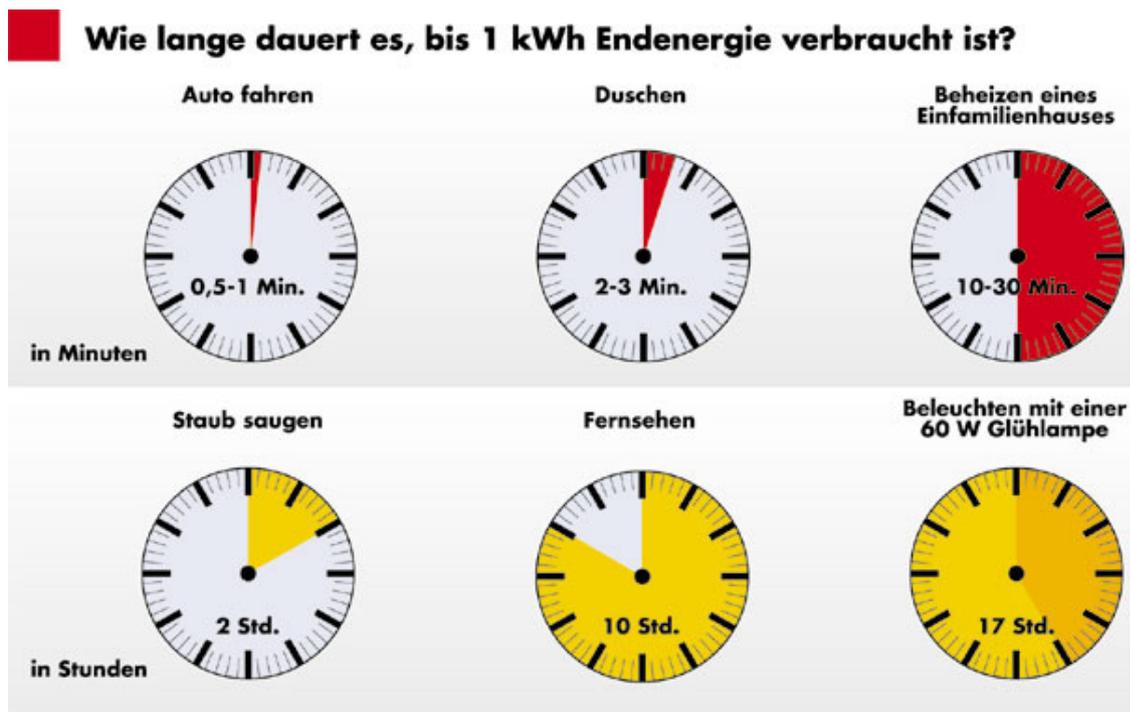
**Tabelle 6** Kalorienverbrauch eines 70 kg schweren Menschen a 30 min.

	30 min. Auto fahren	30 min. duschen	30 min. Beheizen eines Einfamilienhauses
kcal	ca. 25.800	ca. 8.600	ca. 860

**Tabelle 7** Energieverbrauch bestimmter Vorgänge.

	kleine Banane (200g)	Vollmilch-Schokolade (100g)	Gummibärchen (250g)
kcal	ca. 160	ca. 570	ca. 820

**Tabelle 8** Energieaufnahme durch Verzehr verschiedener Nahrungsmittel.



**Abbildung 1** Wie lang dauert es, bis 1 kWh Endenergie verbraucht ist? (Quelle: STMWI)