

Modul 1: Brennstoff

Holz – ein genialer Brennstoff

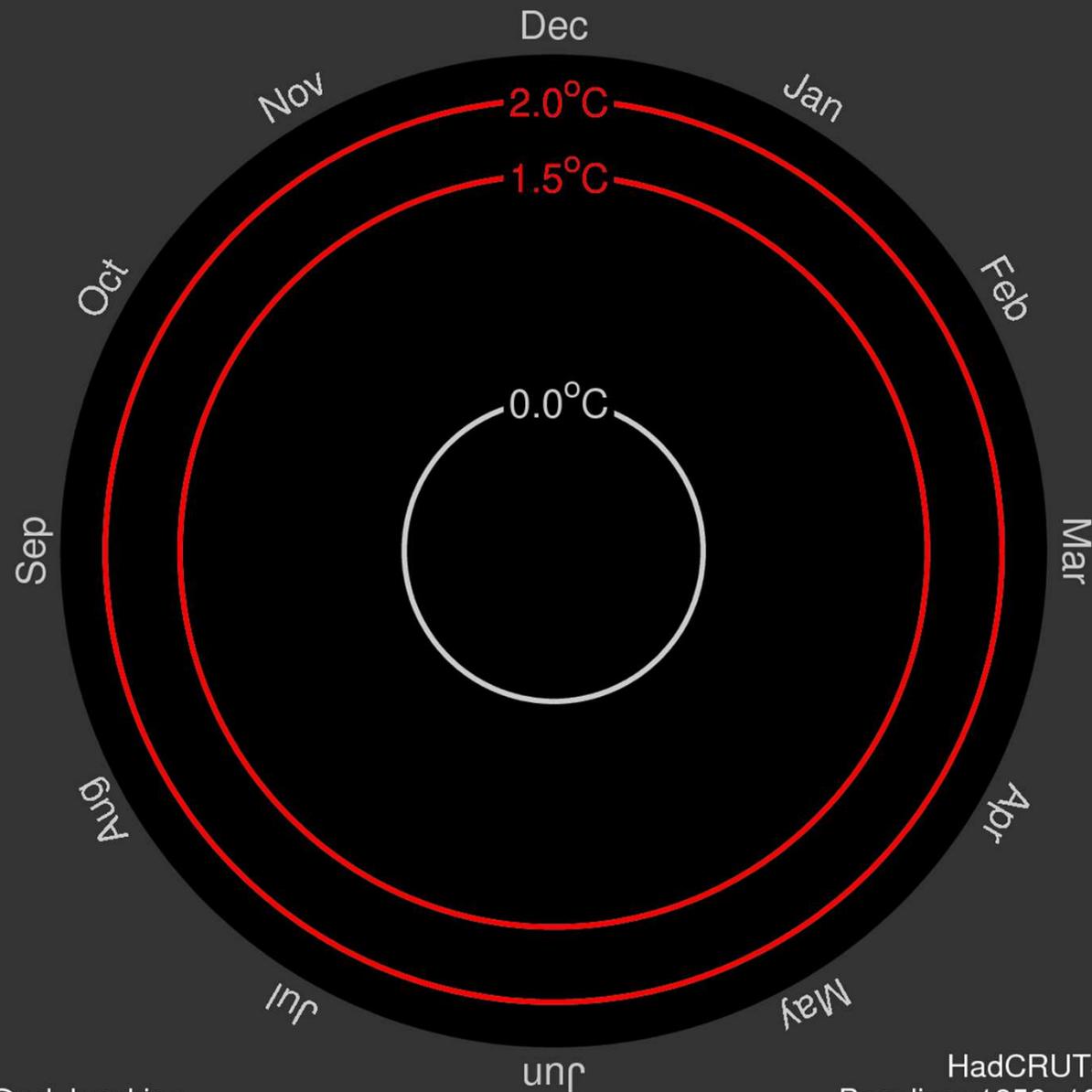


Klaus Engelmann, MSc

Landwirtschaftskammer Steiermark



Global temperature change (1850–2017)



24.04.2019

@ed_hawkins

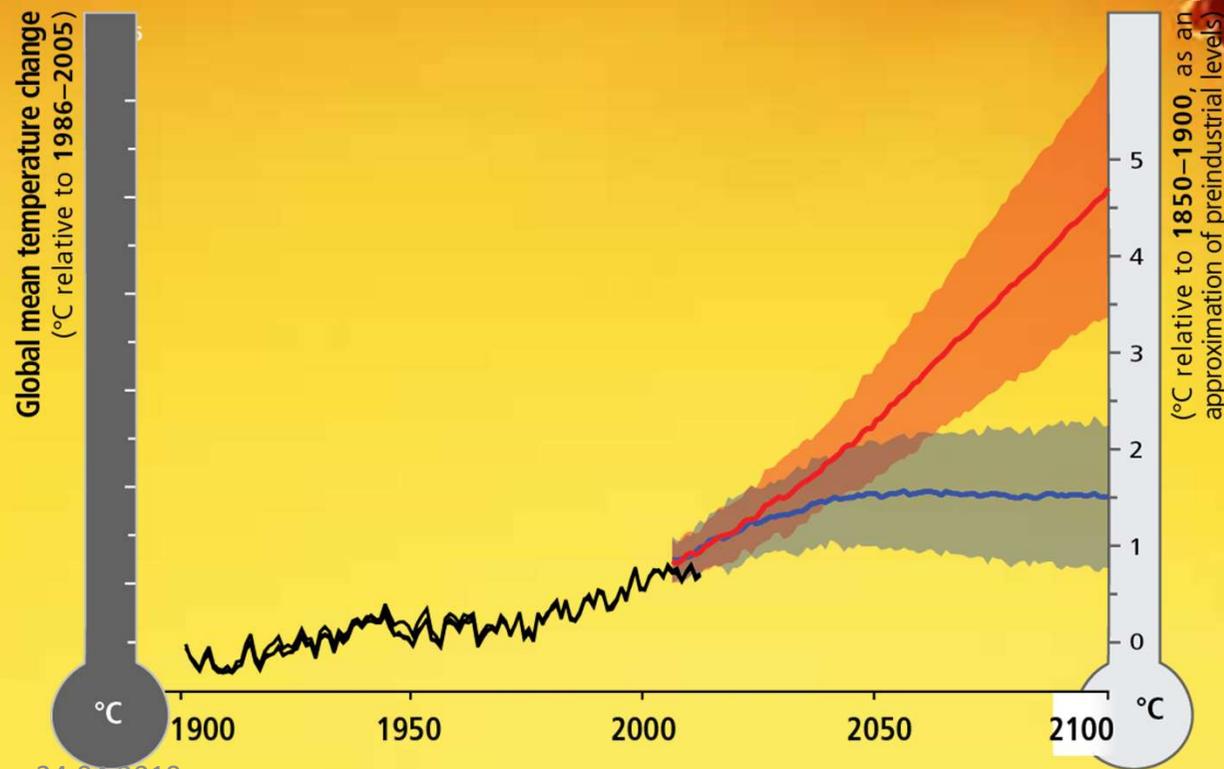
HadCRUT4.5
Baseline: 1850–1900

5

FOLGEN

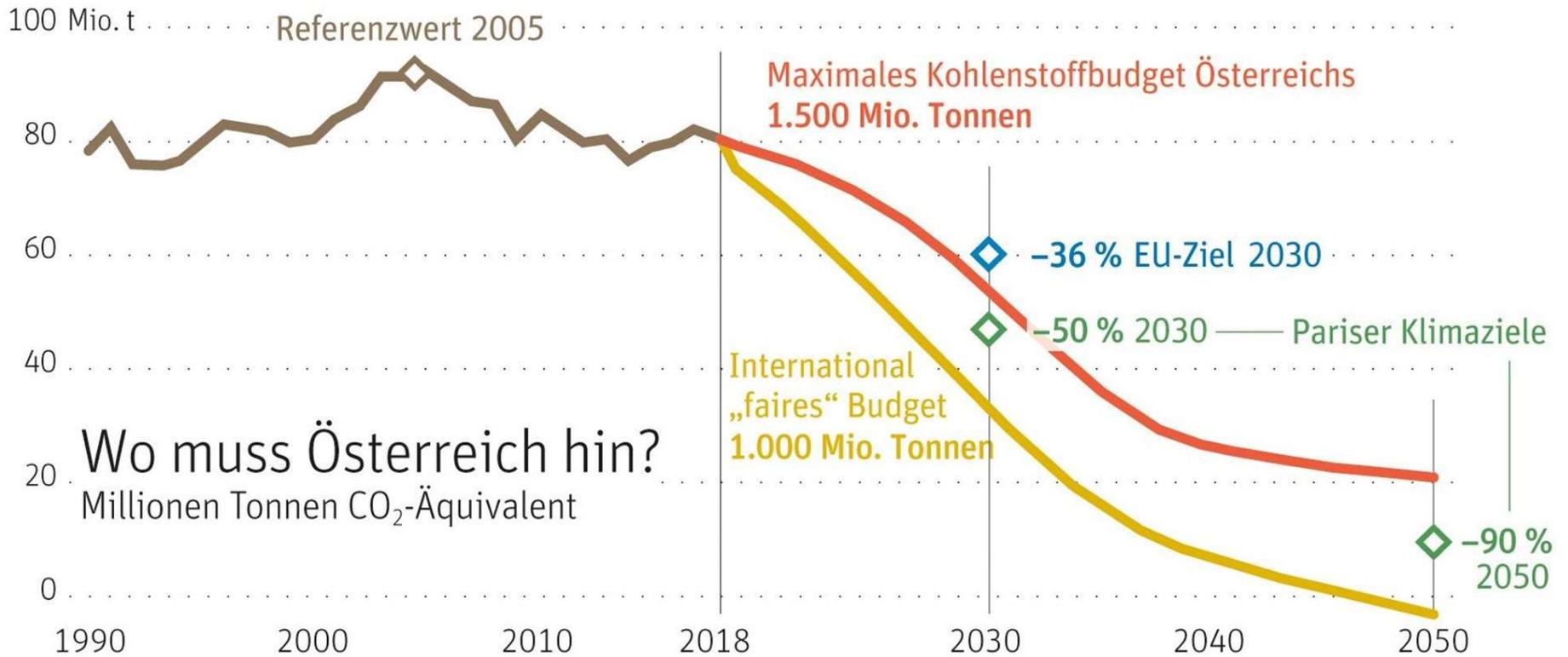


Globale Erderwärmung (unter) 2°C Klima-Ziel



24.04.2019

Pariser Klimaabkommen



Quelle: Schleicher, Steininger, Kirchengast, WEGC 2019 | DERSTANDARD



Mission 2030



#mission2030

Die österreichische
Klima- und Energiestrategie

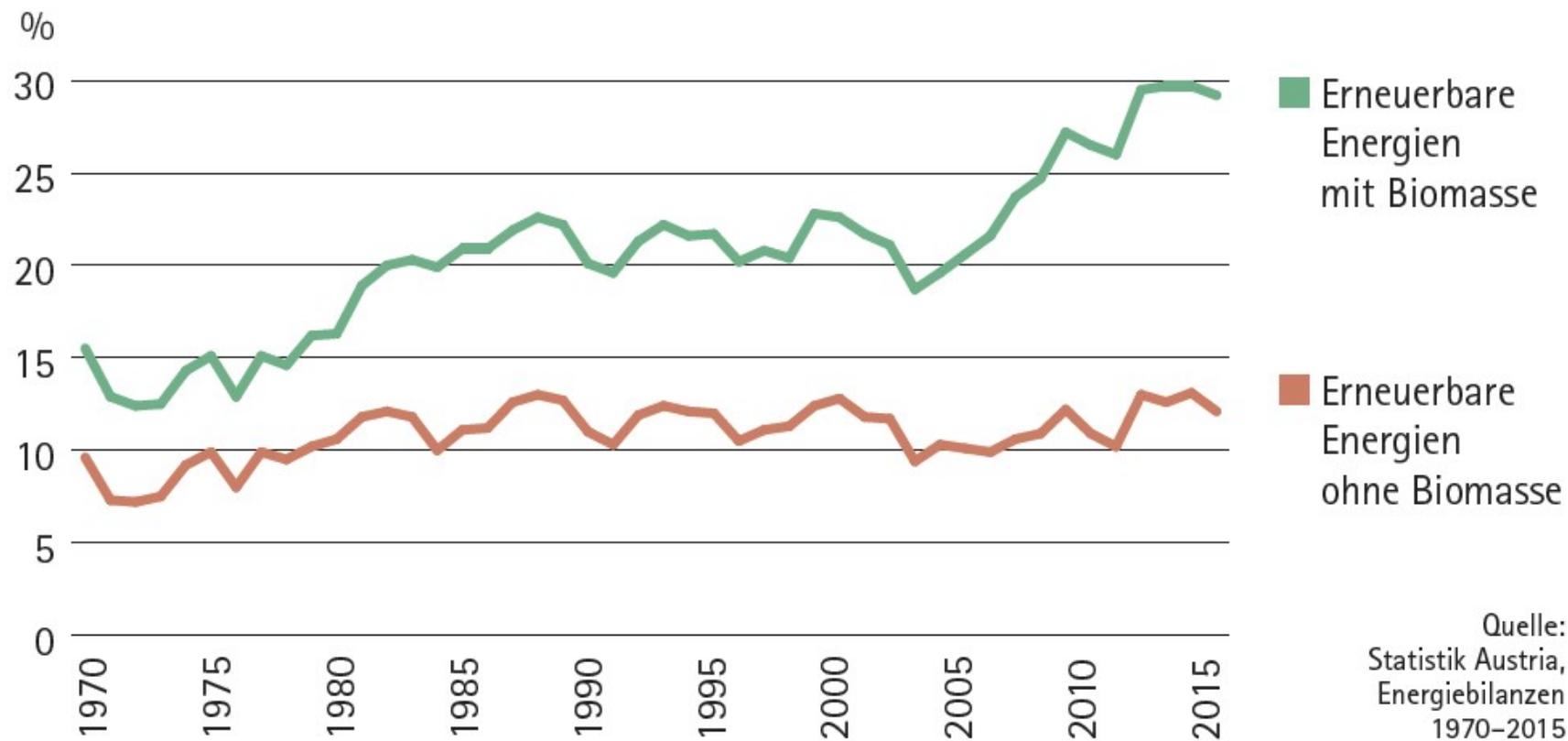
24.04.2019

 **Bundesministerium**
Nachhaltigkeit und Tourismus

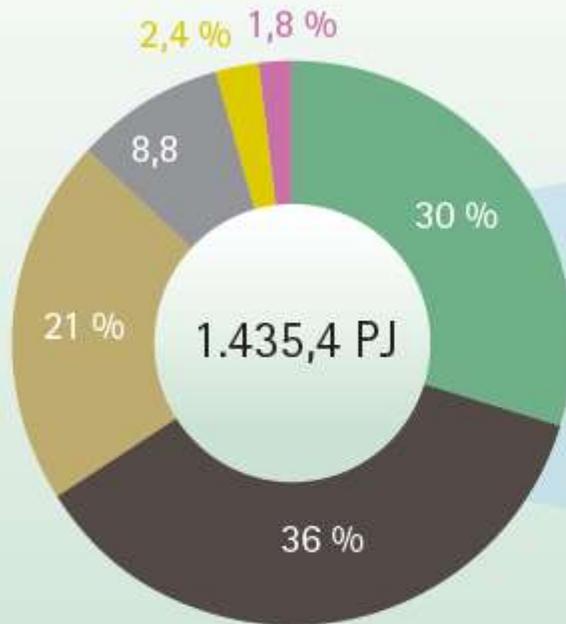
 **Bundesministerium**
Verkehr, Innovation
und Technologie

9

Ziel: 45 bis 50 % Erneuerbare



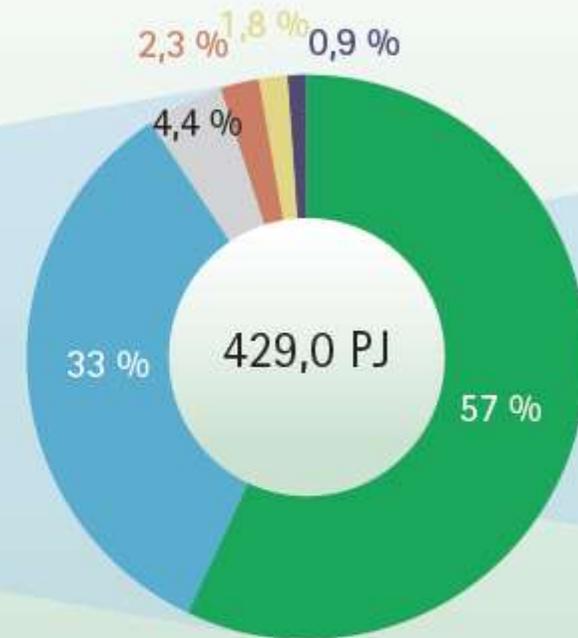
Bruttoinlandsverbrauch Energie 2016



Energieträger

- | | |
|---------------------|---------------------|
| Erneuerbare Energie | Kohle |
| Öl | Abfälle |
| Gas | Elektrische Energie |
- nicht erneuerbar

Bruttoinlandsverbrauch erneuerbare Energie 2016

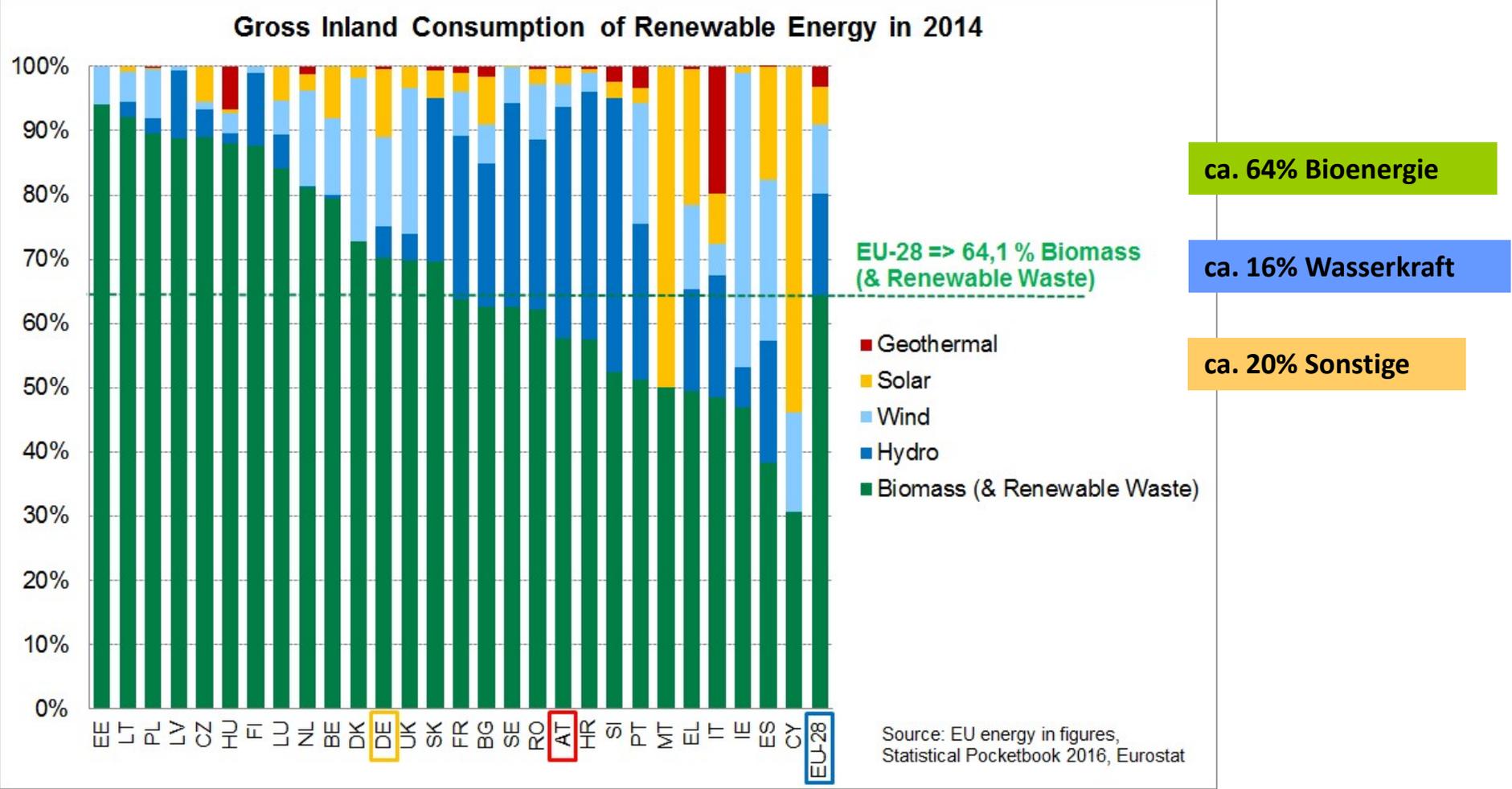


Erneuerbare Energieträger

- | | |
|-------------|---------------------------|
| Bioenergie | Geothermie und Wärmepumpe |
| Wasserkraft | Solarthermie |
| Windenergie | Photovoltaik |



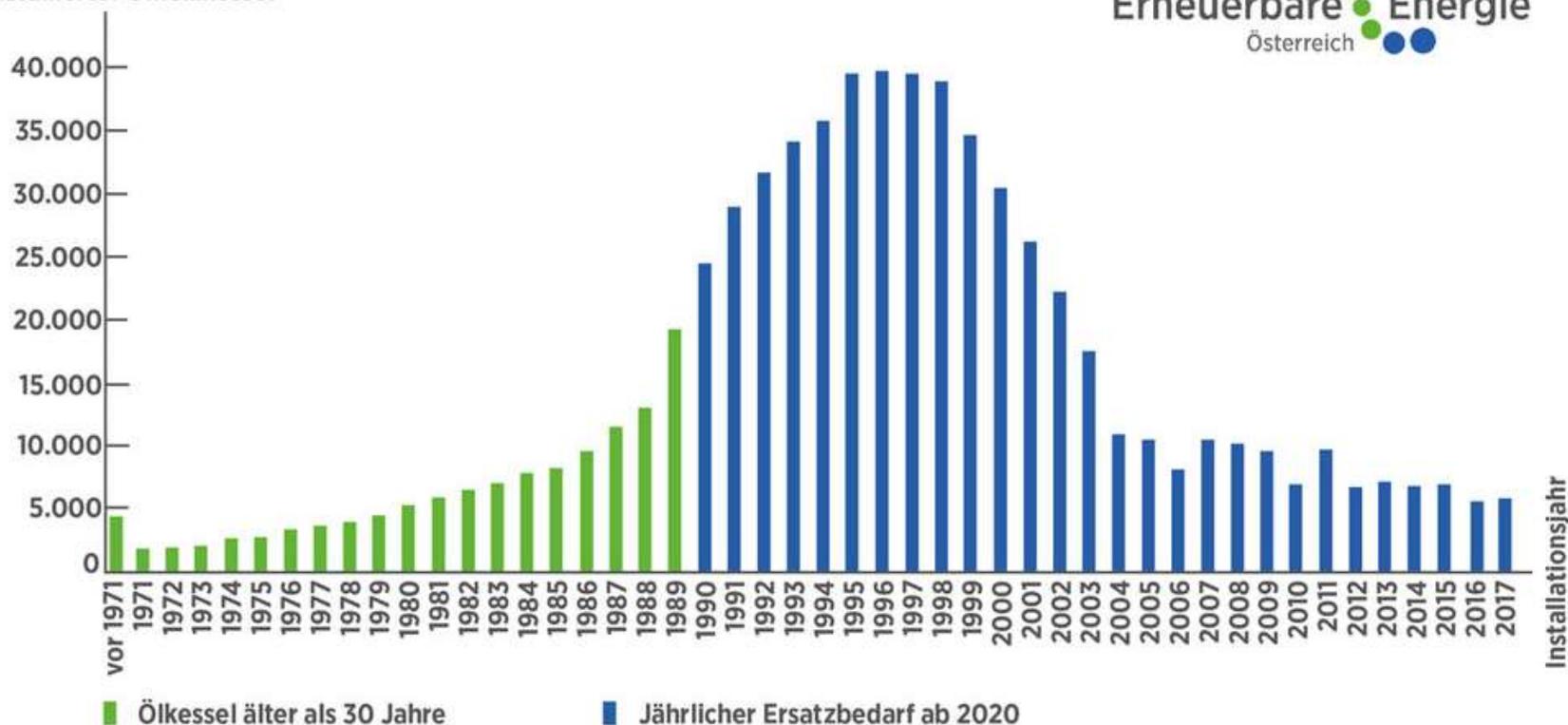
Bioenergie in der EU



Raus aus dem Heizöl (Halbierung der Bestandskessel)



Anzahl pro Jahr
installierter Ölheizkessel*

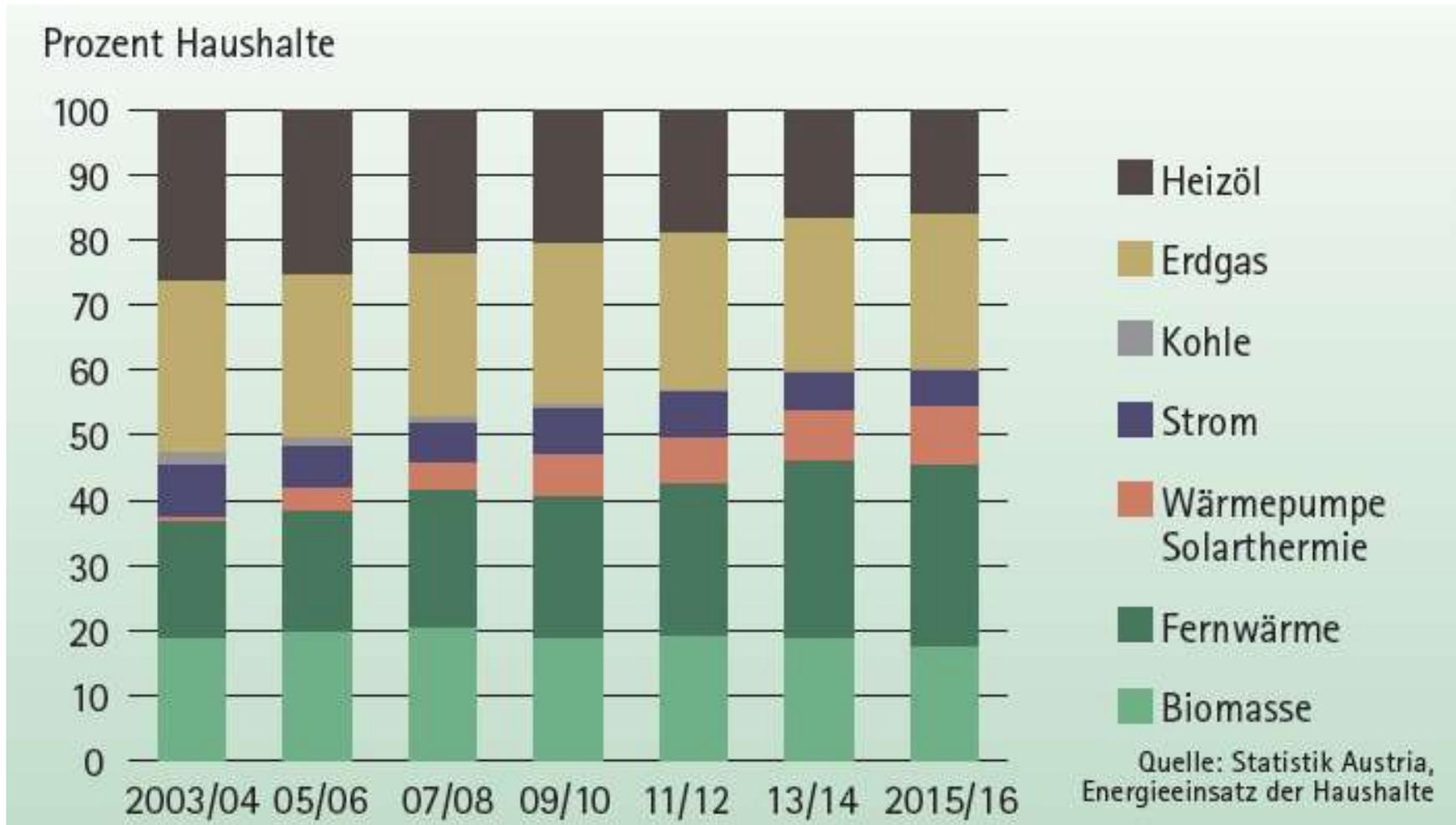


Erneuerbare Energie
Österreich

ministerium
Innovation
Technologie



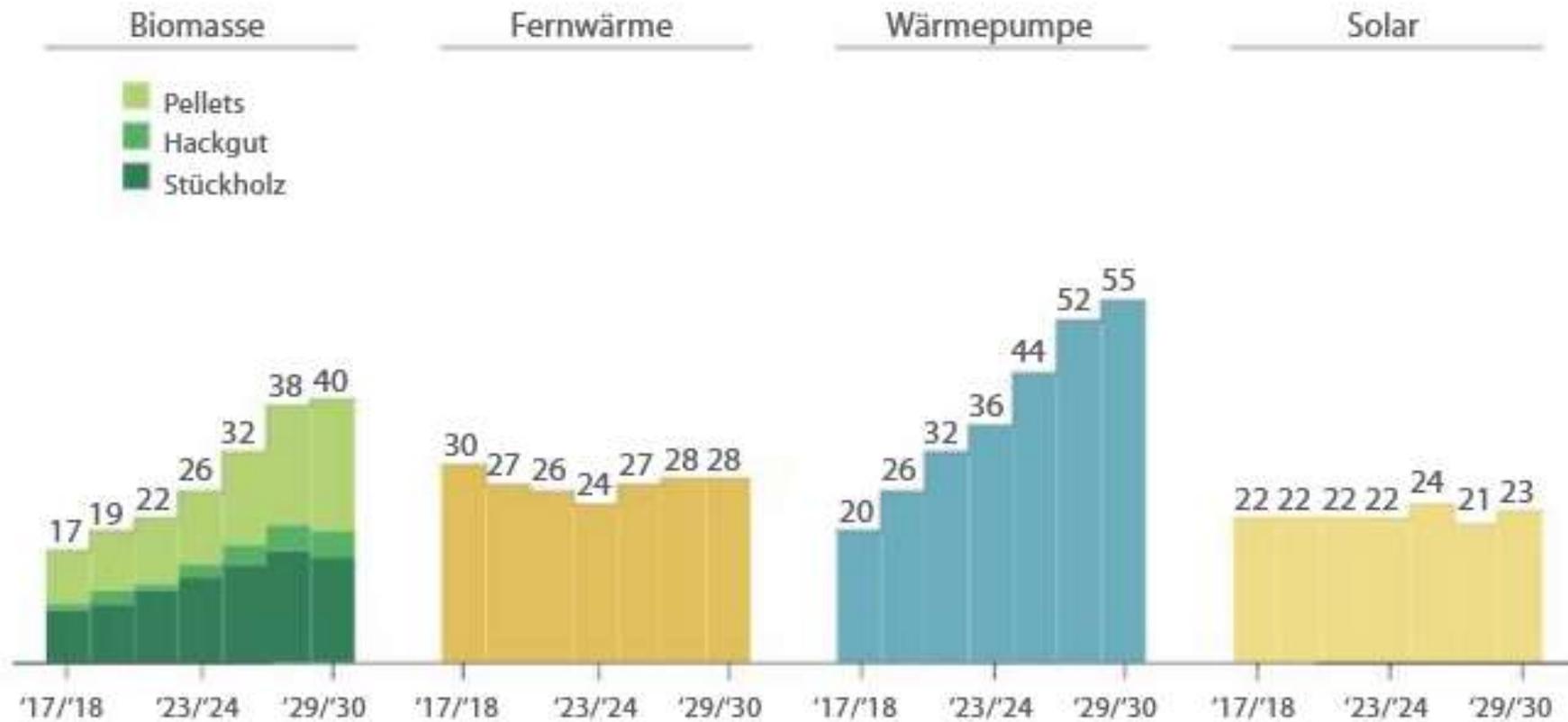
So heizen österreichische Haushalte



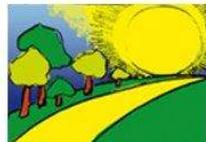
Szenario Entwicklung Heizanlagen

Installation von Heizanlagen auf Basis erneuerbarer Energie im Wärmewendeszenario

Jährliche Installationen in Tausend



Förderung für „Raus aus dem Öl“





Warum ist Holz genial?

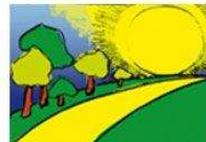
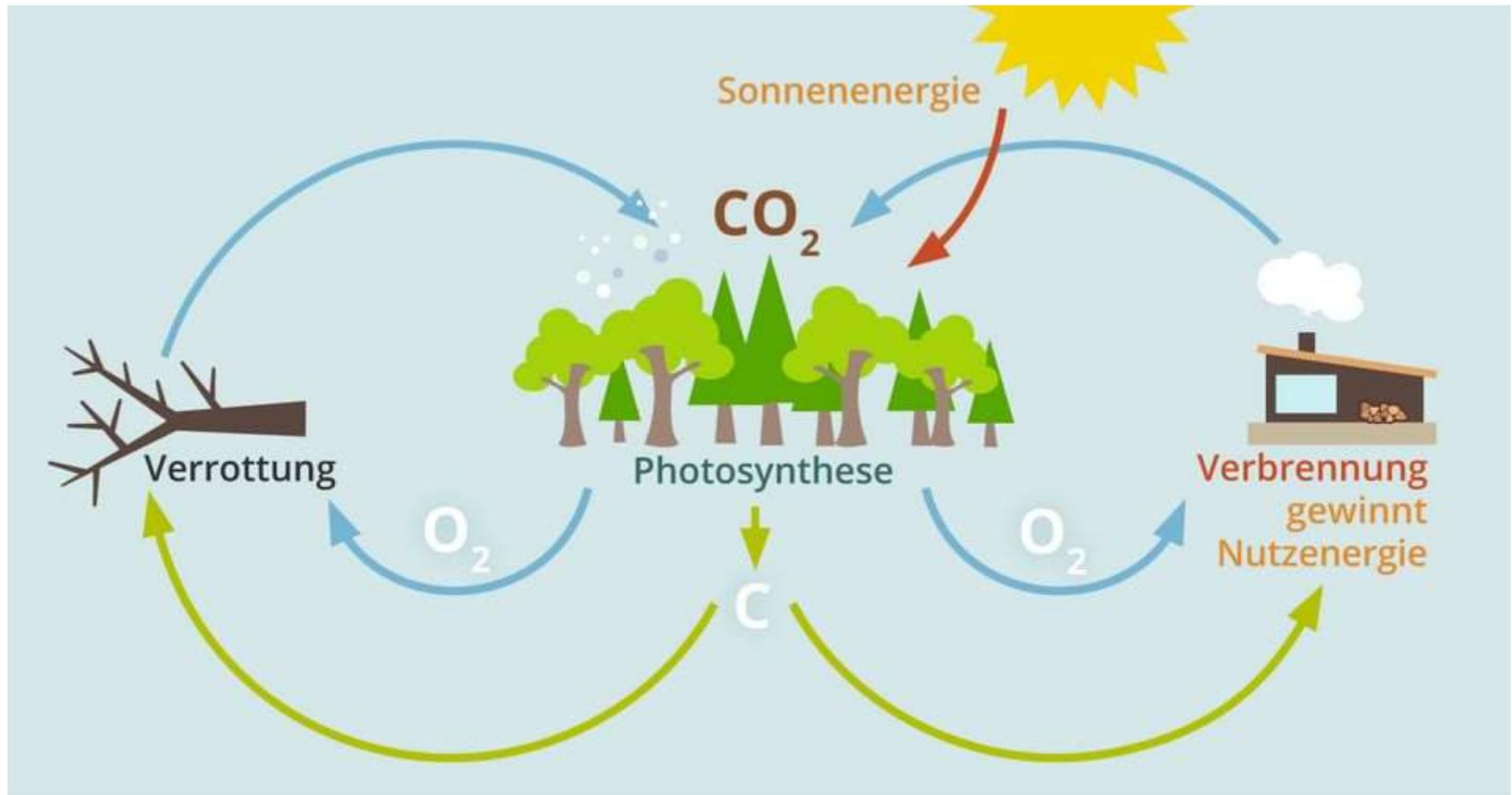
24.04.2019



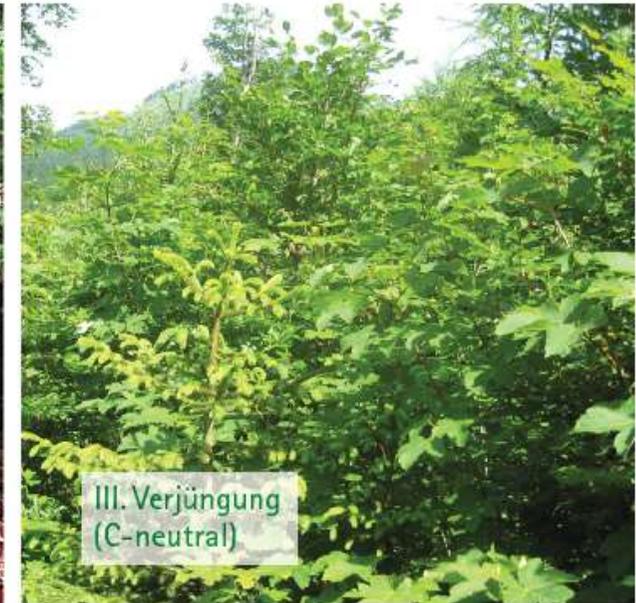
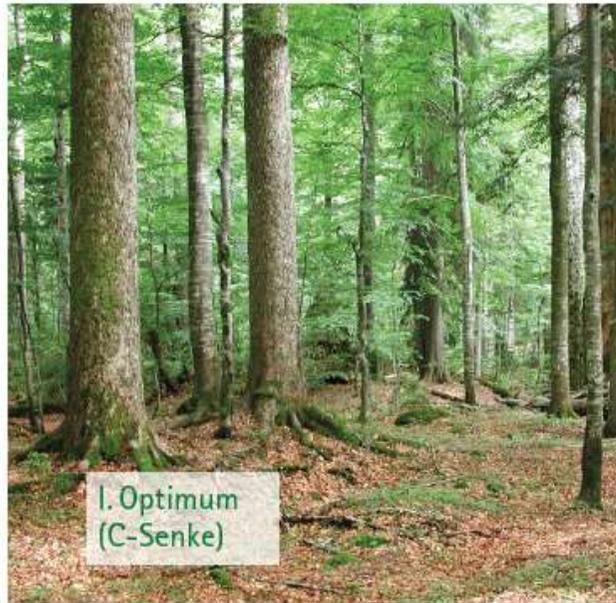
17



CO₂-Kreislauf der Holznutzung



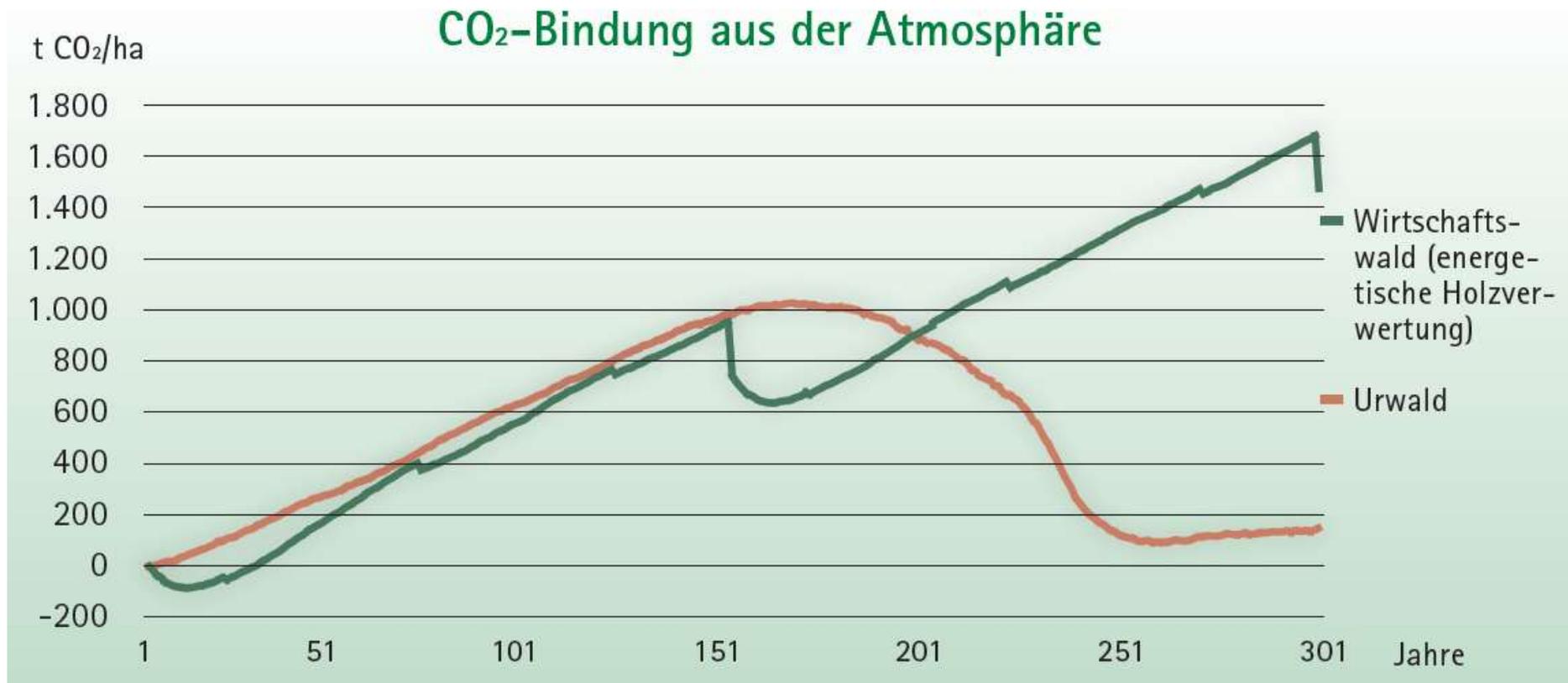
3 Phasen des CO₂-Kreislaufs



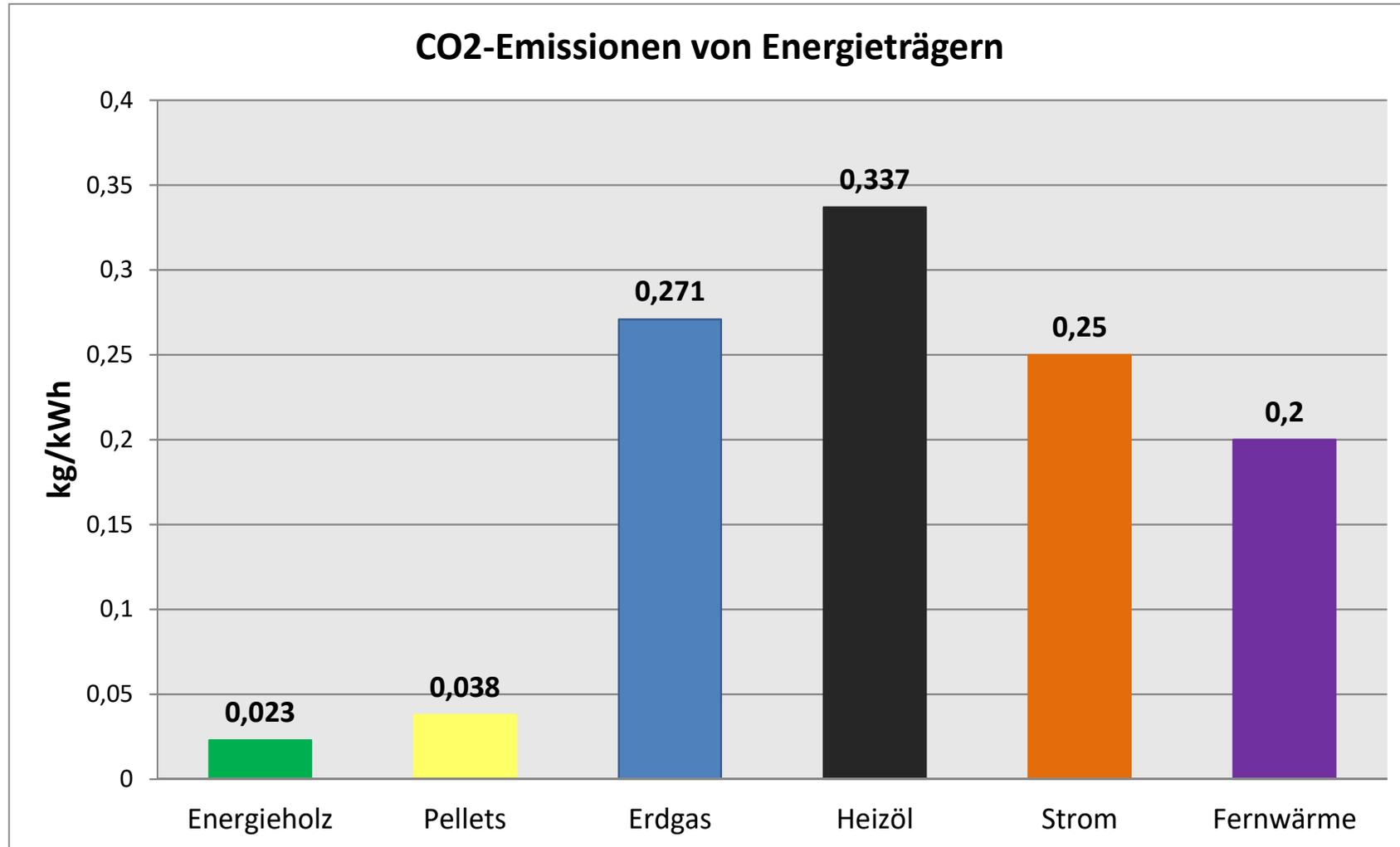
- I. Bäume wachsen und legen an Volumen zu → CO₂ wird aufgenommen
- II. Bäume beginnen abzusterben → CO₂ wird abgegeben
- III. Der Wald verjüngt sich. Der Zyklus beginnt von vorne.



Wirtschaftswald bindet mehr CO₂



Emissionsvergleich von Brennstoffen

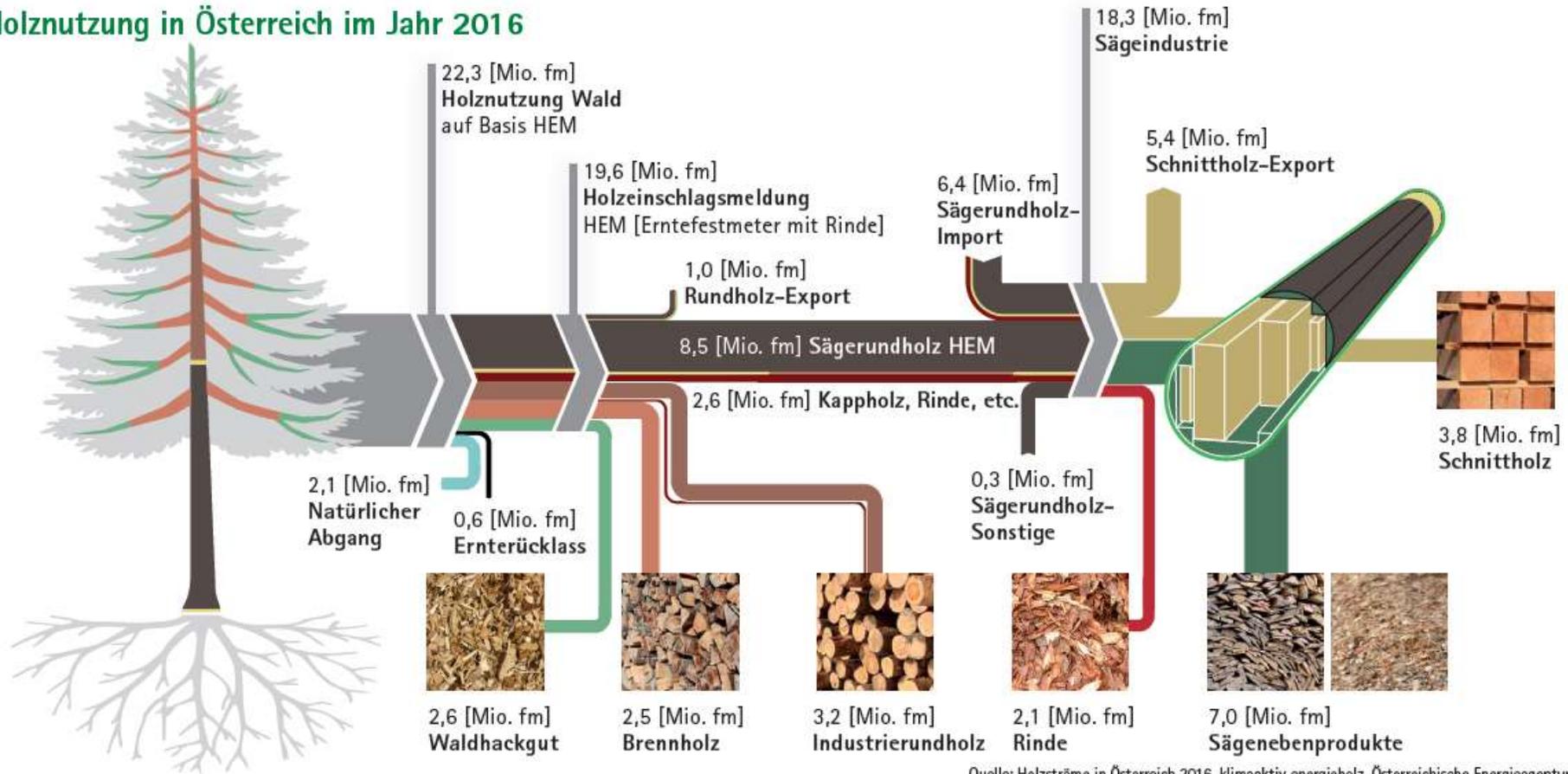


Quelle: Umweltbundesamt
24.04.2019



Holznutzung in Österreich

Holznutzung in Österreich im Jahr 2016

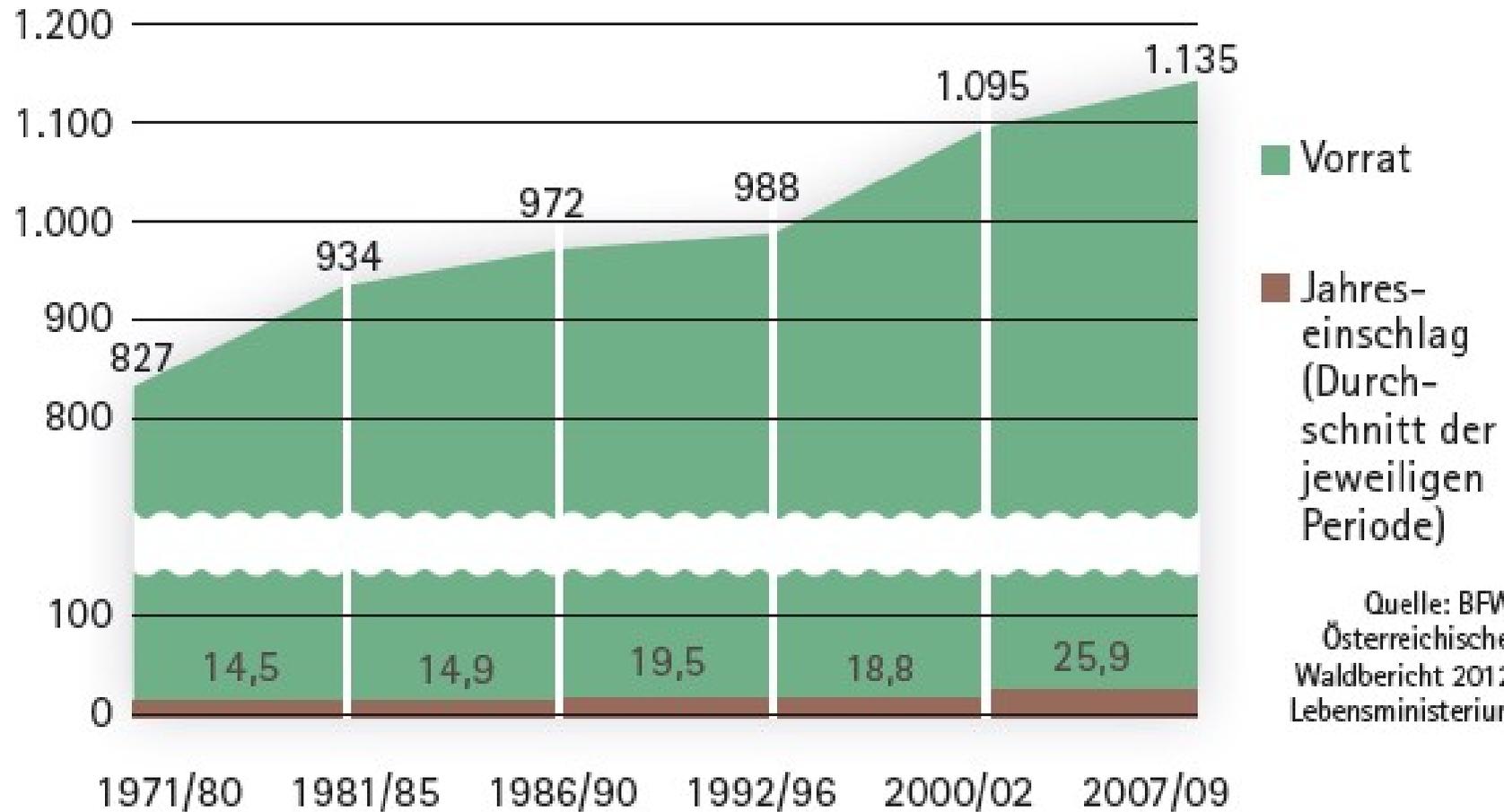


Quelle: Holzströme in Österreich 2016, klimaaktiv energieholz, Österreichische Energieagentur, FHP

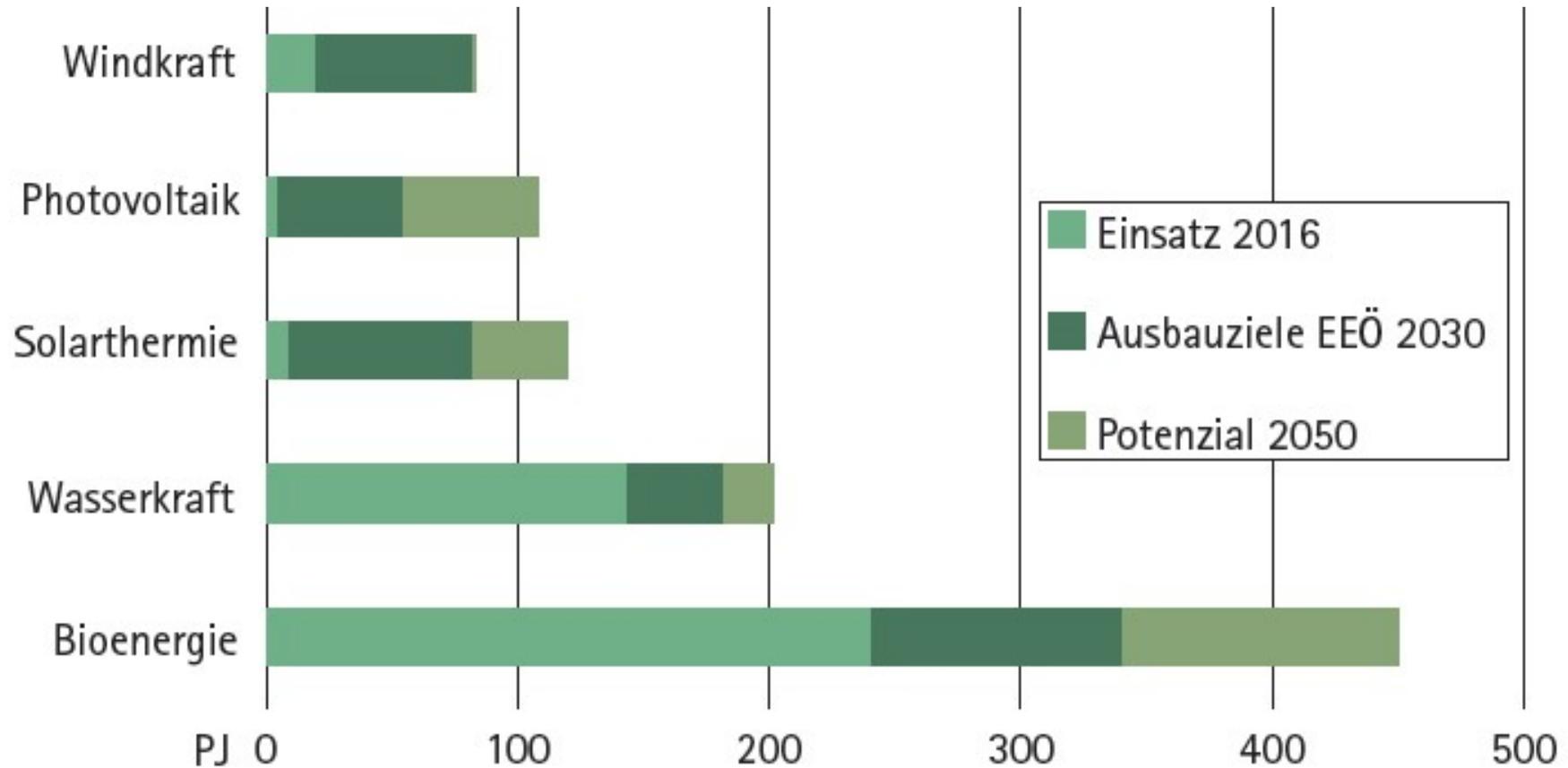


Holzvorrat in Österreich

Mio. Vfm



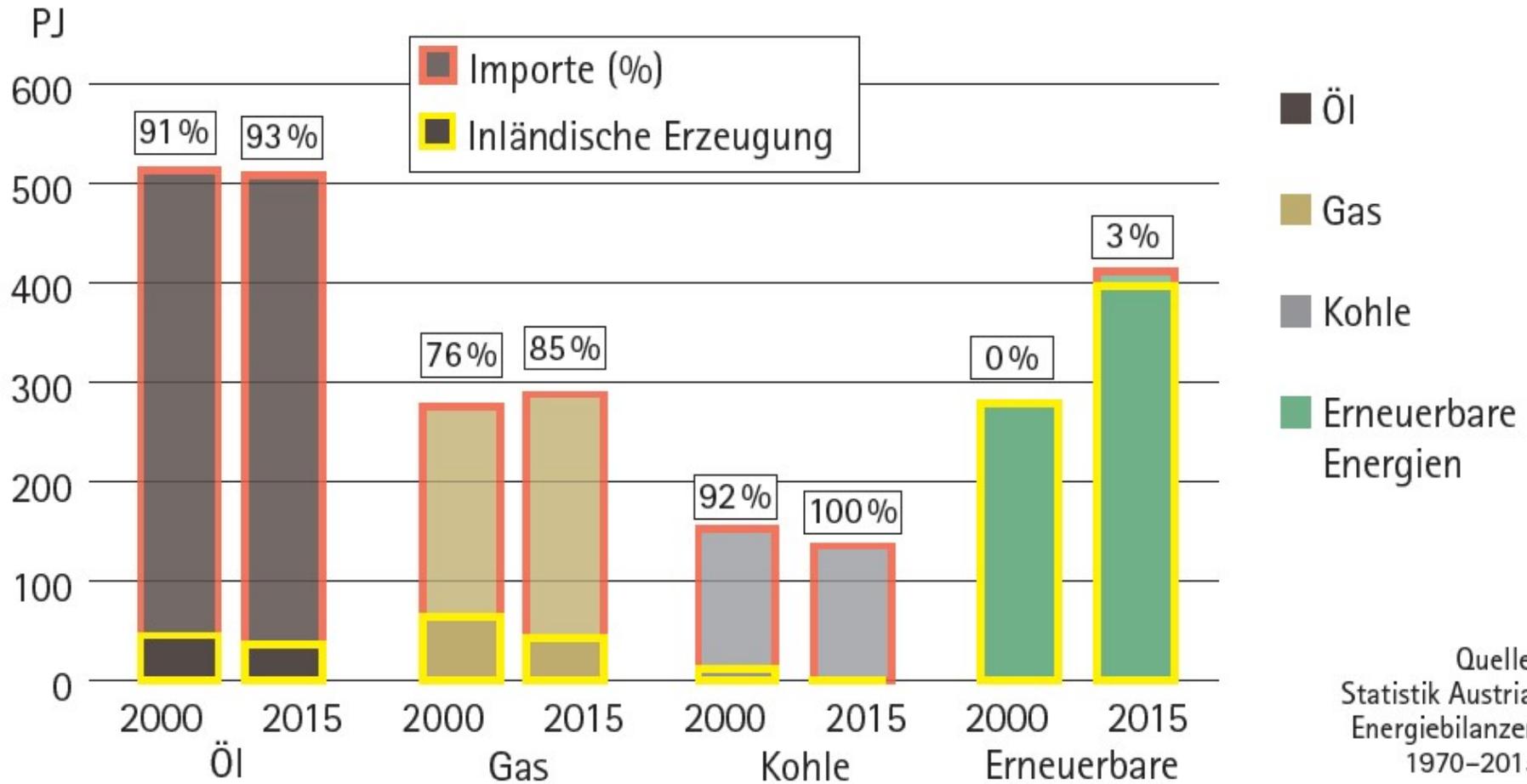
Nutzung Erneuerbare und Potenzial



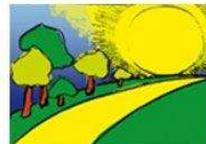
Quelle: Energieproduktion 2016: Energiebilanz; Windkraft: IG Windkraft; Photovoltaik: Technologieroadmap für Photovoltaik in Österreich; Solarthermie: Roadmap Solarwärme 2020; Wasserkraft: Energieautarkie für Österreich; Bioenergie: Zukunftsfähige Energieversorgung für Österreich sowie Bioenergie 2030, Ausbauziele laut Branchenverbänden und EEÖ



Importabhängigkeit und Erzeugung von Energie



Quelle:
Statistik Austria,
Energiebilanzen
1970–2015



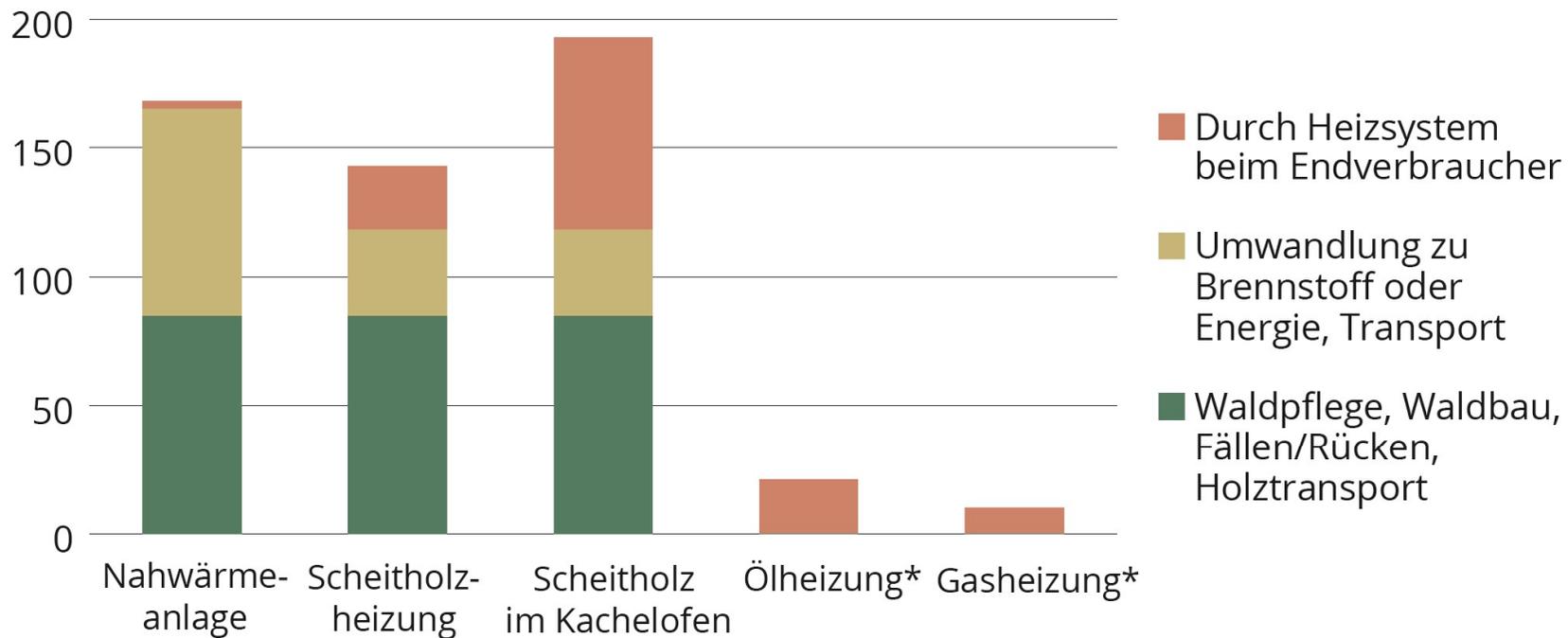
Regionale Wertschöpfung



24.04.2019

Biomasse schafft regionale Wertschöpfung

Direkte regionale Wertschöpfung durch den Betrieb von Heizanlagen in Arbeitskräftestunden (h/TJ)



*inkludiert regionale Effekte durch Brennstoffhandel

Quelle: ÖBMV, AEA



1TJ (114fm) Bioenergie schafft 168 Arbeitsstunden

Waldpflege & Waldbau: 16 h



Fällen & Rücken: 52 h



Holztransport: 16 h



Bildquelle: Österreichischer Biomasseverband (2015)



1TJ (114fm) Bioenergie schafft 168 Arbeitsstunden

Administrative Arbeiten: 17 h



Betrieb & Wartung Heizwerk: 50 h



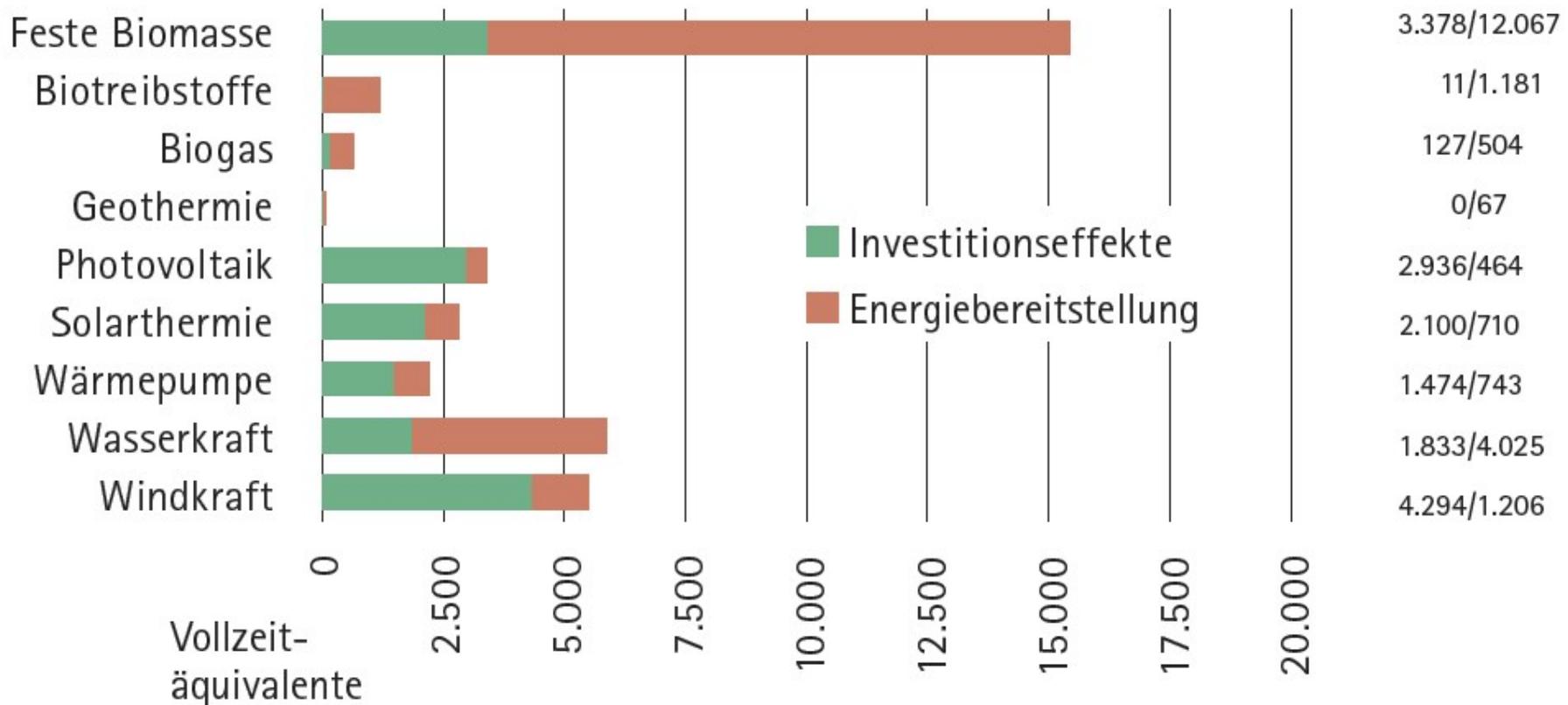
Produktion & Transport Hackgut: 17 h



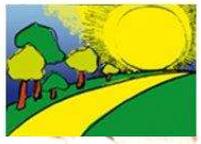
Bildquelle: Österreichischer Biomasseverband (2015)



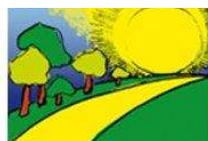
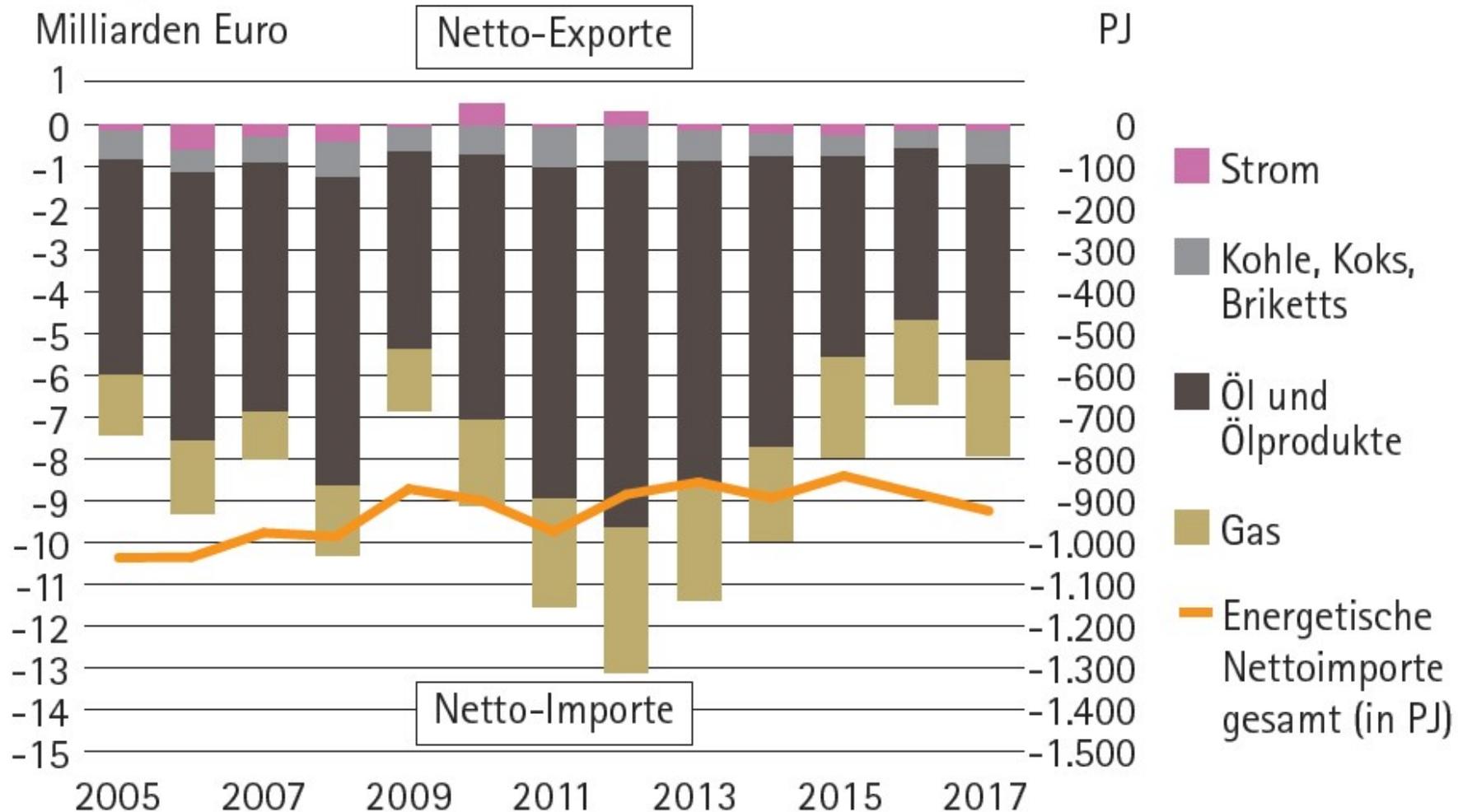
Erneuerbare schaffen Jobs

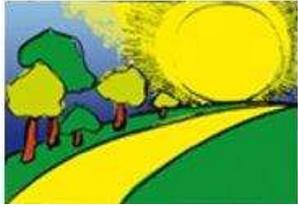


Quelle: Erneuerbare Energie in Zahlen, Peter Biermayr, 2016



Österreichischer Energie-Außenhandelsbilanz





Modul 1: Brennstoff

Begriffsdefinition und Grundlagen



Klaus Engelmann, MSc

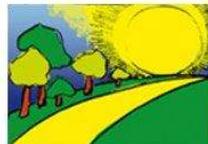
Landwirtschaftskammer Steiermark





MAßEINHEITEN FÜR ENERGIEHOLZ

24.04.2019



33



Maßeinheiten für Energieholz

- **Festmeter (FM)**

- 1 m³ feste Holzmasse ohne Luftzwischenräume
- Anwendung: Rundholzsortimente

Rundholz in Festmeter (fm)



- **Raummeter (RM)**

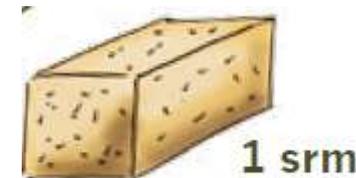
- 1 m³ geschichtetes Holz mit Luftzwischenräumen
- Anwendung: Scheitholz, Schwarten- und Spreißel

1 rm



- **Schüttraummeter (SRM)**

- 1 m³ geschüttete Holzteile
- Anwendung: Hackgut, Sägespäne, Stückholz





Maßeinheiten für Energieholz

- **Atro-Tonne (atro-t)**
 - 1 Tonne absolut trockene Holzmasse (0 % Wassergehalt)
 - Anwendung: Rundholz, Hackgut, Scheitholz, etc.
- **Lutro-Tonne (lutro-t)**
 - 1 Tonne mehrjährig trocken gelagertes Holz (15-20 % Wassergehalt)

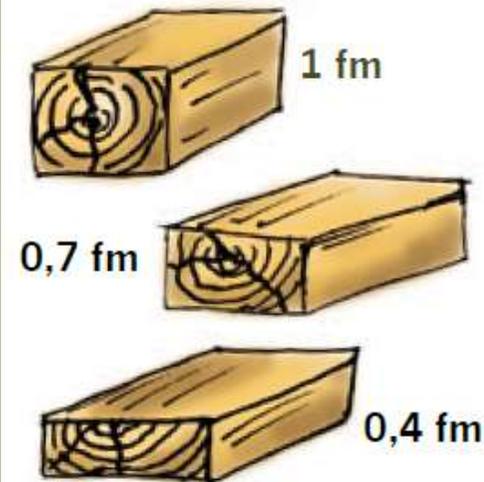


Umrechnungsfaktoren für Holzsortimente

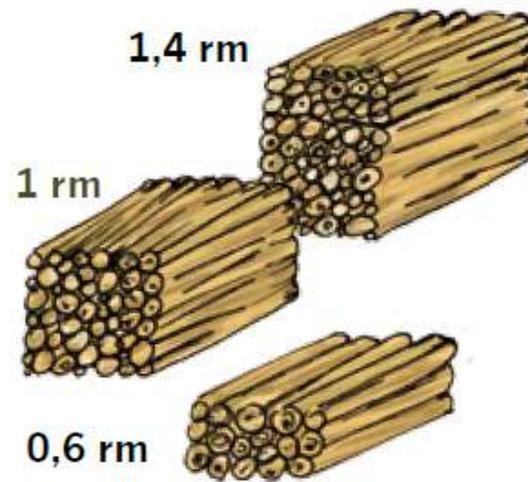
Verhältniszahlen der Raummaße

1 Festmeter (fm) = 1,4 Raummeter (rm) = 2,5 Schüttraummeter (srm) Hackschnitzel

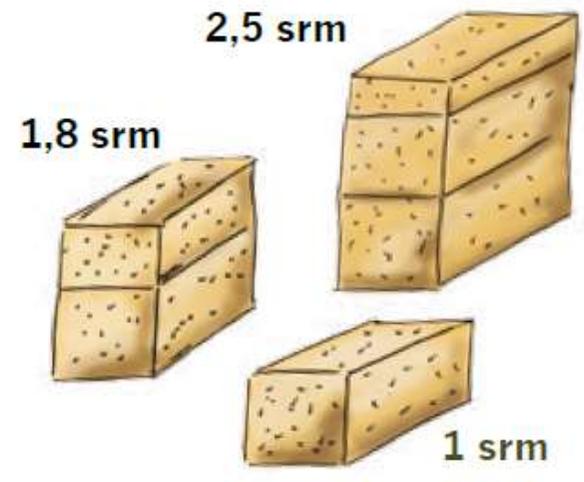
Rundholz in Festmeter (fm)



Schichtholz in Raummeter (rm)



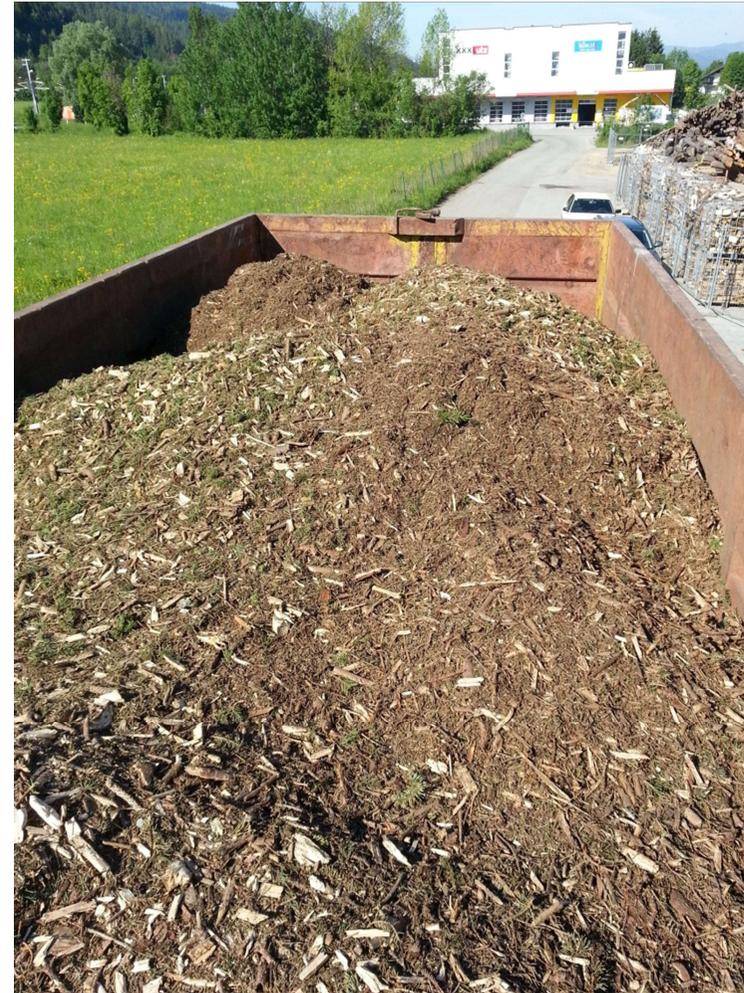
Hackschnitzel in Schüttraummeter (srm)



- ACHTUNG Richtwerte
- Abhängig von Schichtung, Korngröße, Verdichtung bei Transport



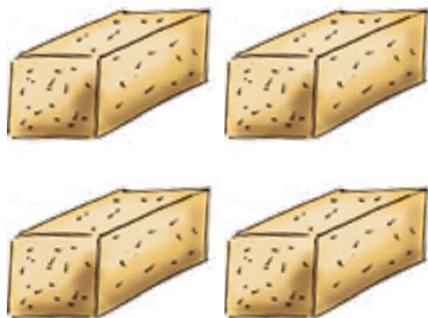
Verdichtung beim Transport



Umrechnungsfaktoren für Holzsortimente

1 Tonne Hackgut (Wassergehalt = 35 %)

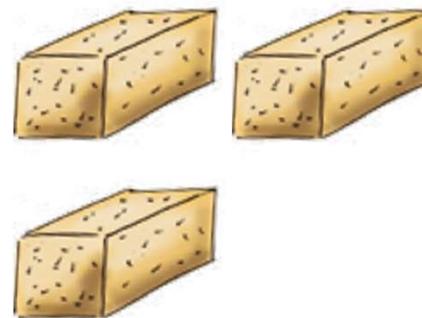
- Weichholz



4 srm

1 srm ~ 250 kg

- Hartholz



3 srm

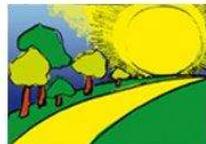
1 srm ~ 340 kg





ENERGIE, ARBEIT UND LEISTUNG

Es ist unbedingt erforderlich, zwischen Energie (=Arbeit) und Leistung genau zu unterscheiden!





Was ist Energie?



**Was steckt
drinnen?**





Energie = gespeicherte Arbeit

Energie ist die Fähigkeit eines Systems, Arbeit zu verrichten

Einheit für Arbeit und Wärmemenge:

- **Joule (J)**
- **Kilowattstunde (kWh)**

1 Joule (J)	= 1 Wattsekunde (Ws)	= 1/3600 Wattstunde (Wh)
3.600 J	= 1 Wattstunde (Wh)	
3.600 kJ	= 3.600 x 10 ³ J	= 10 ³ Wh = 1 Kilowattstunde (kWh)

Energie = Leistung x Zeit



Vorzeichen der Energieeinheiten

Vorsilbe	Zeichen	Faktoren
Kilo	K	$1.000 = 10^3$
Mega	M	$1.000.000 = 10^6$
Giga	G	$1.000.000.000 = 10^9$
Tera	T	$1.000.000.000.000 = 10^{12}$
Peta	P	$1.000.000.000.000.000 = 10^{15}$
Exa	E	$1.000.000.000.000.000.000 = 10^{18}$

$$1.000 \text{ MWh} = 1 \text{ GWh} = 3.600 \text{ GJ} = 3,6 \text{ TJ}$$





Historische Energieeinheiten

Steinkohleeinheit (SKE)

- 1 Tonne Steinkohle = 29,3 GJ = 8.140 kWh

Barrel (b)

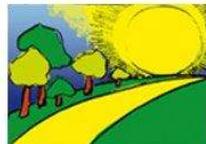
- 1 Fass Rohöl = 159 Liter = 5,88 GJ = 1.633 kWh

Erdöleinheit (EE oder toe)

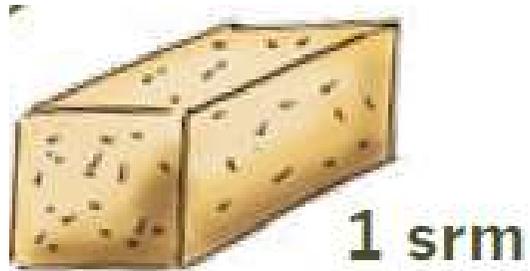
- 1 Erdöleinheit entspricht dem Energieinhalt von 1 to Öl = 41,87 GJ = 11.630 kWh

Kalorie (cal)

- 1 cal = 4,1868 J
- Wärmemenge um 1 g Wasser von 14,5 auf 15,5 °C zu erhitzen



Beispiel Energieeinheiten



750 kWh
2.700 MJ
~0.064 toe
~0.093 SKE

Rohenergie (Primärenergie)





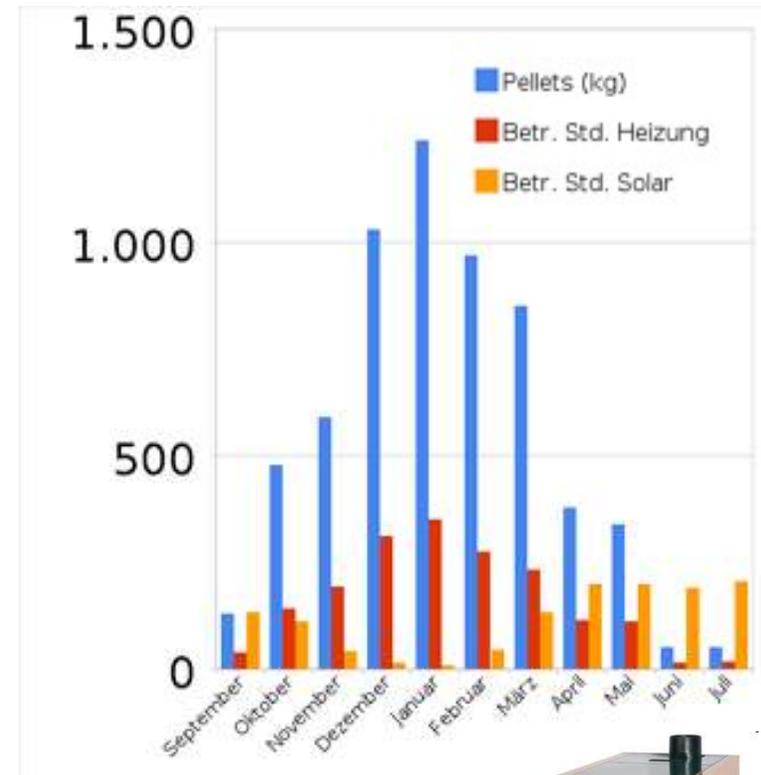
Leistung = Energie / Zeit

- Als Leistung bezeichnet man die **pro Zeiteinheit umgewandelte Arbeit** (Energie)
- Geschwindigkeit mit der Arbeit verrichtet wird
- SI-Einheit: Watt (W), in der Energiewirtschaft werden bevorzugt Kilowatt (kW), Megawatt (MW) und Gigawatt (GW) verwendet
- Leistung kann zu jedem beliebigen Zeitpunkt gemessen werden, während Energie über eine bestimmte Zeitspanne (eine Sekunde, eine Stunde oder ein Jahr) gemessen wird

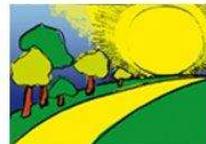


Leistungseinheit bei Holzverbrennungsanlagen

- Leistung wird in kW angegeben
- Die Leistung (Kapazität) einer Holzverbrennungsanlage gibt an, welche nutzbare Wärme in einer bestimmten Zeit an das Wasser abgegeben werden kann
- 1 Kessel mit **25 kW** Heizleistung produziert in einer Stunde 25 kWh Wärme



24.04.2019



Fallbeispiel: Arbeit und Leistung

Achten Sie auf die richtigen Einheiten bei Angaben zu Energiemengen und Leistungen?

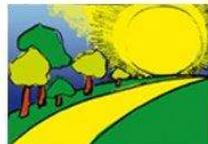
<i>FALSCH</i>	<i>RICHTIG</i>
Das Kraftwerk erzeugt 6000 <i>MW</i> im Jahr.	
Die Tagesleistungsspitze der Kleinstadt beträgt 50 <i>MWh</i> .	





ENERGIEUMWANDLUNG

Wir verbrauchen keine Energie, sondern wandeln nur die verschiedenen Energieformen ineinander um!





Hauptsätze der Thermodynamik

1 Hauptsatz: Energie kann weder erzeugt, noch vernichtet, sondern nur umgewandelt werden

2 Hauptsatz: Jede Form der Arbeit bzw. Energie kann zu 100 % in thermische Energie (Wärmeenergie) umgewandelt werden aber nicht umgekehrt, d.h. irgendwann wird sämtliche Energie in thermische Energie umgewandelt sein bzw. irgendwann stirbt jedes System am „thermischen Tod“

Folglich lassen sich die Energieformen hinsichtlich ihrer Umwandelbarkeit unterscheiden:

voll umwandelbar: potentielle, kinetische, chemische, elektrische Energie und Kernenergie

beschränkt umwandelbar: thermische Energie; der umwandelbare Anteil ist vom Umgebungszustand abhängig





Energieerhaltungssatz

Energie kann nicht „erzeugt“, „gewonnen“, „verbraucht“ oder „vernichtet“ werden!

- Energie kann lediglich „umgewandelt“ oder „umgeformt“ werden (Energieumsetzung)
- Begriffe wie *Energieverluste*, *Energieerzeugung* oder *Energieverbrauch* gibt es de facto nicht!

In einem abgeschlossenen System bleibt der Energieinhalt konstant. Energie kann weder vernichtet werden noch aus nichts entstehen; sie kann sich in verschiedene Formen umwandeln oder zwischen verschiedenen Teilen des Systems ausgetauscht werden.



Wirkungsgrad

Energien wird nie zu 100 % von einer Form in eine andere umgewandelt. In der Praxis ist ein solcher Vorgang immer mit Verlusten verbunden (oft in Form von Wärme).

- Wirkungsgrad (WK) gibt an, welcher prozentueller Anteil der **aufgewendeten Energie** in **nutzbringende Energie** umgewandelt wird
- Verhältnis von Energie-Output zu Energie-Input zu einer bestimmten Zeit
- WK ist ein Momentanwert, der sich in Abhängigkeit der Betriebsbedingungen im Laufe eines Jahres vielfach verändern kann
- Maß für die **energetische Effizienz** eines Energiesystems
- Kennzeichnet die **Wirtschaftlichkeit** eines Energiesystems



Wirkungsgrad Biomasse-Kessel

Rohenergie x Kesselwirkungsgrad = Nutzenergie



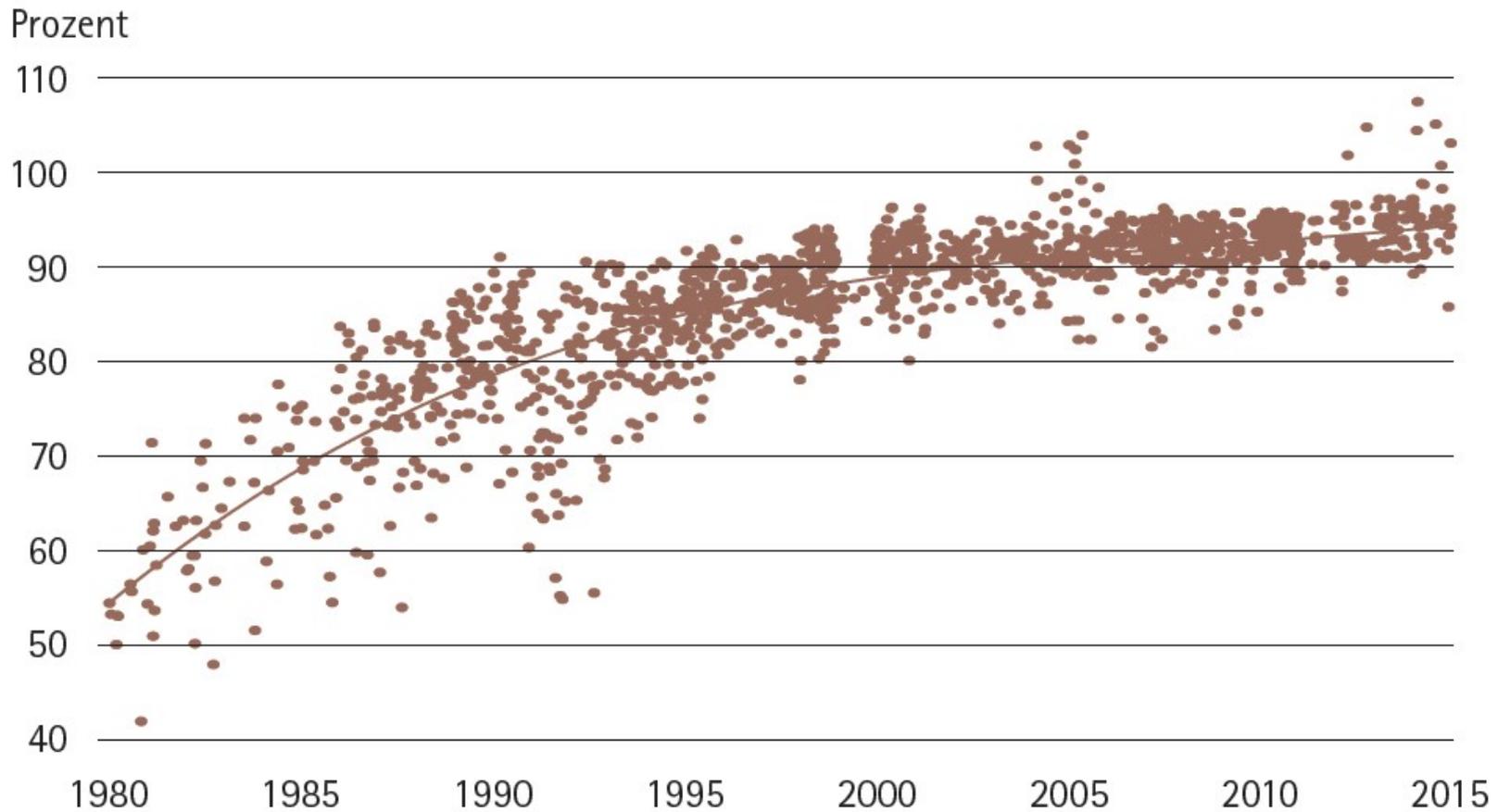


Nutzungsgrad

- Nutzungsgrad = durchschnittlich Wirkungsgrad über einen bestimmten Zeitraum betrachtet
- Berücksichtigt meist mehrere Anlagen oder Komponenten (z.B. Feuerungsanlagen, Wärmetauscher, Wärmenetz)
- Der Jahresnutzungsgrad eines Heizwerkes gibt den Wirkungsgrad über ein Jahr an. Dieser ist **immer kleiner als der Wirkungsgrad der Anlage.**



Wirkungsgrad Biomasse-Kessel



Quelle: Baumgartner, BLT Wieselburg – Ergebnisse der Typenprüfung





Fallbeispiel: Energieumwandlung

- Ein Schüttraummeter Fichtenhackgut mit einer Rohenergie von 750 kWh wird in einem Kessel mit einer Nennleistung von 200 kW verbrannt. Der Wärmemengenzähler nach Kessel zeigt einen Energie-Output von 600 kWh an. Wie hoch ist der Wirkungsgrad?

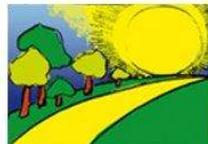
- Die Netzverluste bis zur Kundenübergabestation betragen 10 %. Wie viel Energie kommt beim Kunden an? Wie hoch ist der Nutzungsgrad?





ENERGIEINHALT

24.04.2019



56





Heizwert vs. Brennwert

- **Heizwert (H_u)**
 - Energie, die bei vollständiger Verbrennung eines Brennstoffs freigesetzt wird. Wasser verdampft und wird über den Kamin abgegeben.
- **Brennwert (H_o)**
 - Wärmemenge aus der vollständigen Verbrennung plus die aus der Kondensation frei werdende Wärme.
 - **$H_o = \text{Heizwert} + \text{Kondensationswärme}$**

Es gilt: Brennwert > Heizwert





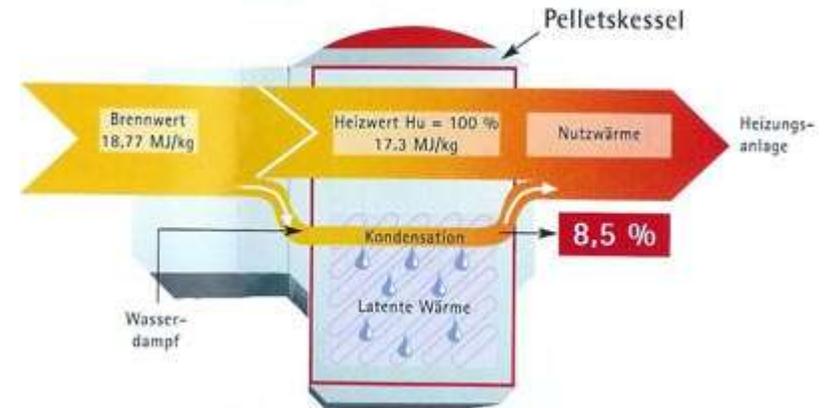
Heizwert vs. Brennwert

**Heizwert:
10.000 kWh**

**Brennwert:
~11.000 kWh**

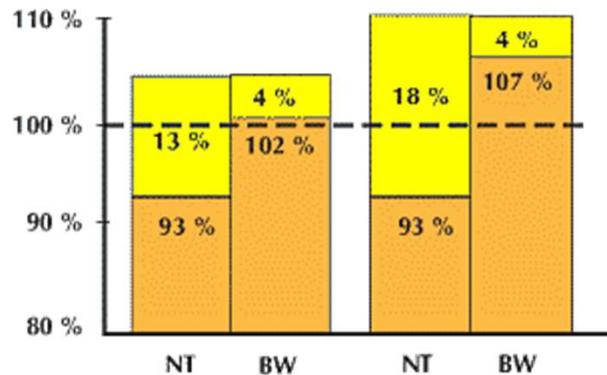


Brennwert / Heizwert



Bezugsgröße: Heizwert H_i

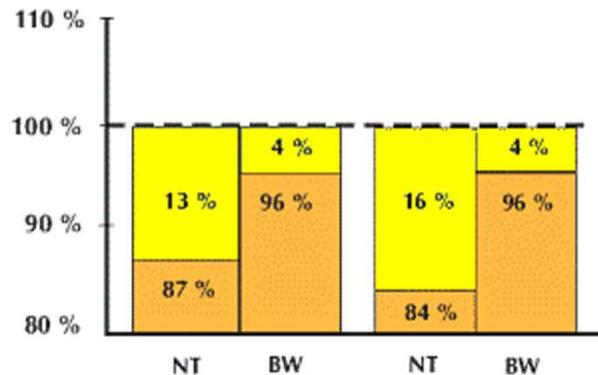
Heizöl EL Erdgas



NT: moderner
Niedertemperaturkessel
BW: moderner
Brennwertkessel

Bezugsgröße: Brennwert H_s

Heizöl EL Erdgas



■ nicht genutzter Energieinhalt
des Brennstoffs
■ typischer Kesselwirkungsgrad
im Bezugssystem





Exkurs: Heizwert vs. Brennwert

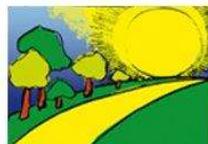
Hackschnitzel

- Preis: 30 €/MWh H_u

Erdgas

- Preis: 28 €/MWh H_o
- = 31,64 €/MWh H_u
- Faktor: 1,13

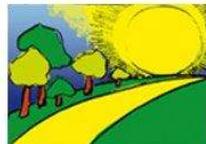
Welcher Brennstoff ist günstiger?





Heizwertvergleich (zur Orientierung)

Brennstoff	MJ	kWh
1 l Heizöl extraleicht	36,17 MJ / l	10 kWh / l
1 l Heizöl leicht	38,6 MJ / l	10,7 kWh / l
1 kg Steinkohle	27,6 MJ / kg	7,7 kWh / kg
1 kg Koks	29,5 MJ / kg	8,2 kWh / kg
1 kg Braunkohle	20,2 MJ / kg	5,6 kWh / kg
1 m ³ Erdgas	36 MJ / m ³	10 kWh / m ³
1 kg Flüssiggas	46,3 MJ / kg	12,9 kWh / kg
1 kWh Strom	3,6 MJ	1 kWh
1 kg Holz (w=20 %)	14,4 MJ / kg	4 kWh / kg
1 kg Pellets	17,6 MJ / kg	4,9 kWh / kg





Heizwert ist abhängig von ...



- **Wassergehalt (%)**
- **Holzart (C, H, O, ...)**
- **Gewicht und Volumen**



Energie in Abhängigkeit vom Wassergehalt





Wassergehalt vs. Holzfeuchte

Wassergehalt: Der Wassergehalt wird durch das Verhältnis der Wassermasse zur Gesamtmasse beschrieben.

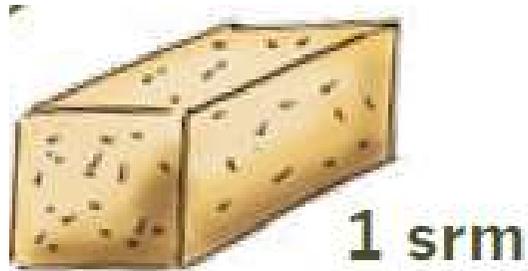
$$M = \frac{\text{Frischegewicht} - \text{Trockenmasse}}{\text{Frischegewicht}} \times 100 \quad [\%]$$

Feuchtegehalt: Der Feuchtegehalt wird durch das Verhältnis der Wassermasse zur Trockenmasse beschrieben.

$$U = \frac{\text{Frischegewicht} - \text{Trockenmasse}}{\text{Trockenmasse}} \times 100 \quad [\%]$$



Beispiel: Wassergehalt vs. Holzfeuchte



200 kg/srm Frischegewicht
150 kg/srm Trockenmasse

$$M = \frac{200 - 150}{200} \times 100 \quad [\%]$$

Wassergehalt (M) = 25 %

$$U = \frac{200 - 150}{150} \times 100 \quad [\%]$$

Holzfeuchte (U) = 33,33 %





Wassergehalt vs. Holzfeuchte

Umrechnung: von Feuchtegehalt auf Wasser:

$$M = \frac{U}{1 + U} \times 100 \quad [\%]$$

Von Wasser auf Feuchte:

$$U = \frac{M}{1 - M} \times 100 \quad [\%]$$



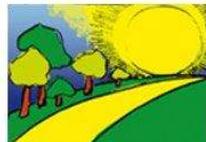


Fallbeispiel: Wassergehalt und Feuchte: Rechnen Sie um!

- Hackgut mit einer Masse von insgesamt 500 g wird in einem Darrschrank getrocknet. Das atro-Gewicht nach der Trocknung beträgt 400 g. Berechnen Sie Wassergehalt und Holzfeuchte!

$$m = \boxed{}$$

$$u = \boxed{}$$



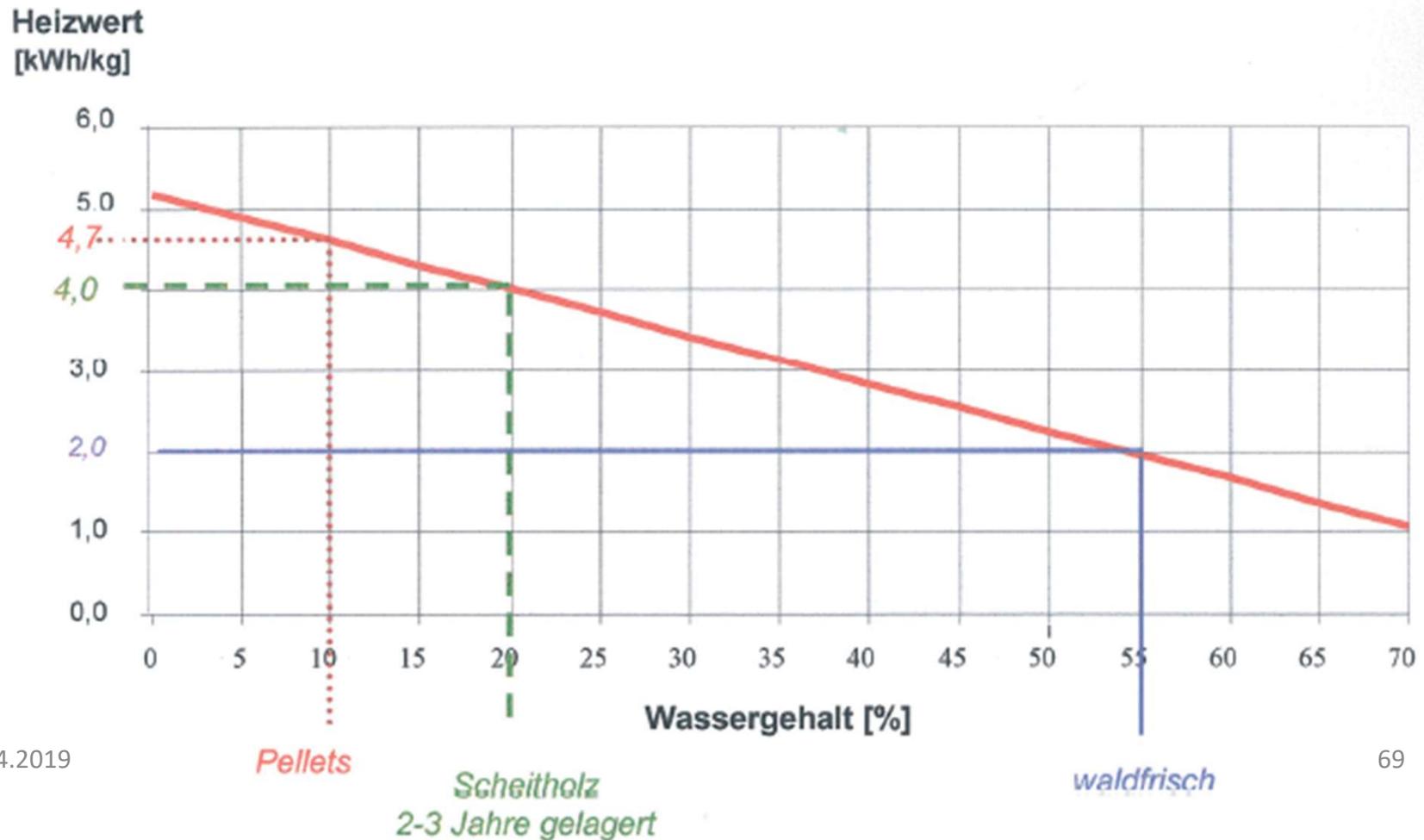
Holzfeuchte [%]	Wassergehalt [%]
0,00 %	0,00 %
5,00 %	4,76 %
5,30 %	5,00 %
10,00 %	9,09 %
11,10 %	10,00 %
15,00 %	13,04 %
17,60 %	15,00 %
20,00 %	16,66 %
25,00 %	20,00 %
30,00 %	23,08 %
33,33 %	25,00 %
35,00 %	25,93 %
40,00 %	28,75 %
42,86 %	30,00 %
45,00 %	31,03 %
50,00 %	33,33 %
53,80 %	35,00 %
55,00 %	35,48 %
60,00 %	37,50 %
65,00 %	39,39 %
66,66 %	40,00 %
70,00 %	41,18 %

Holzfeuchte [%]	Wassergehalt [%]
75,00 %	42,86 %
80,00 %	44,44 %
81,83 %	45,00 %
85,00 %	45,95 %
90,00 %	47,37 %
95,00 %	48,72 %
100,00 %	50,00 %
105,00 %	51,22 %
110,00 %	52,38 %
115,00 %	53,49 %
120,00 %	54,55 %
122,20 %	55,00 %
125,00 %	55,55 %
130,00 %	56,52 %
135,00 %	57,45 %
140,00 %	58,33 %
145,00 %	59,18 %
150,00 %	60,00 %
170,00 %	63,00 %
200,00 %	66,66 %

Heizwert in Abhängigkeit vom Wassergehalt

Laubholz: 18 MJ/kg atro = 5 kWh/kg atro

Nadelholz: 19 MJ/kg atro = 5,28 kWh/kg atro



Energie transportieren, nicht Wasser!

Heizwert von Holz in Abhängigkeit vom Wassergehalt

Zustand des Holzes	Wassergehalt (M)	Heizwert (H_u)
waldfrisch	50 – 60 %	2,0 kWh/kg
über einen Sommer gelagert	25 – 35 %	3,4 kWh/kg
über mehrere Jahre gelagert	15 – 25 %	4,0 kWh/kg





Berechnung des Heizwerts in Abhängigkeit vom Wasser

$$\text{Heizwert} = \boxed{\text{Heizwert der Trockenmasse}} - \boxed{\text{Verdampfungswärme des Wassergehalts}}$$

$$\text{Heizwert} = 5,28 \text{ [kWh]} * \text{TM [\%]} - 0,68 \text{ [kWh]} * \text{M [\%]}$$

Beispiel: Energiegehalt von 1 kg Hackgut bei 55 % Wassergehalt

$$\text{Heizwert} = 5,28 \text{ kWh} * 45 \% - 0,68 \text{ kWh} * 55 \% = 2 \text{ kWh}$$





Dachverband
Biomasseheizwerke
West

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit.



Klaus Engelmann, MSc
Landwirtschaftskammer Steiermark

klaus.engelmann@lk-stmk.at

