

Energieversorgung

EV-V1+2

Einleitung und Motivation
Grundlagen der Energieversorgung

Hinweis: Diese Unterlagen finden ausschließlich im Rahmen der Lehre an der TU Wien Anwendung und dürfen nicht anderweitig verwendet werden.

Informationen zur Vorlesung

- Energieversorgung
 - Montag, 08:30 (s.t.) bis 10:00 Uhr
- Skriptum zur Vorlesung im TISS
- Ausdruck im Sekretariat E370-1, Zimmer Nr. CF0349
- Fragen, Fehler, Feedback: Wolfgang Gawlik
 - gawlik@ea.tuwien.ac.at

Information zur Prüfung

- Ab Jänner 2015: Nur mehr schriftliche Prüfung
- Der schriftliche Teil muss positiv absolviert werden, es findet dann keine mündliche Prüfung mehr statt.
- Wer bereits bis Dezember 2014 eine schriftliche Prüfung absolviert hat, kann die mündliche Prüfung innerhalb von drei Jahren nachholen – Terminvereinbarung individuell
- Ehemalige Prüfungsaufgaben unter <http://www.ea.tuwien.ac.at>

Themenübersicht

- Grundlagen der Energieversorgung
- Grundlagen der Berechnung
- Betriebsmittel in Energiesystemen
- Betriebsvorgänge und Störungen
- Energiewandlung
- Netzführung und Netzregelung
- (Strommarkt – Grundprinzipien und –prozesse)
- Wirtschaftlichkeit in der Energieversorgung

Energiebedarf des Menschen



Mitochondrium

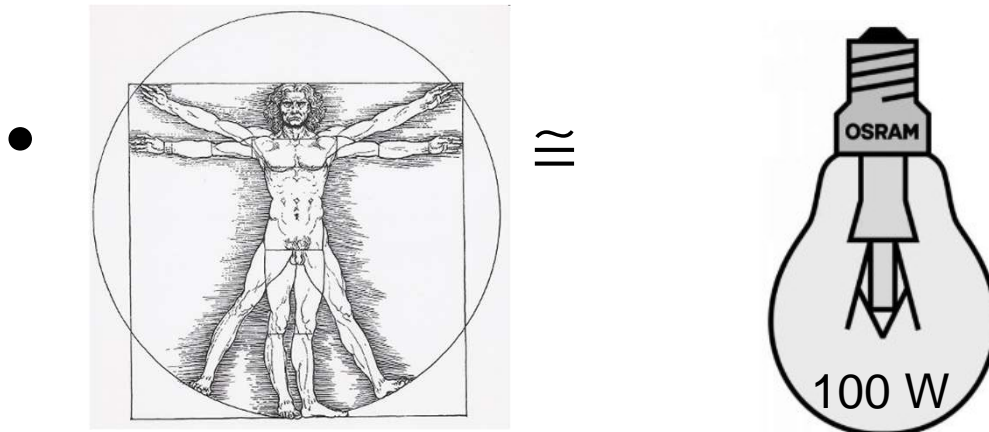
Quelle: Wikimedia Commons / Sterilgutassistentin

Energiebedarf des Menschen

- Mitochondrien sind die „Energiekraftwerke“ der Zelle
- Grundumsatz nach der "Harris-Benedict-Formel,,:
 - ♂: Grundumsatz [kcal/24 h] = $66,47 + (13,7 * \text{Körpergewicht [kg]}) + (5 * \text{Körpergröße [cm]}) - (6,8 * \text{Alter [Jahre]})$
 - ♀: Grundumsatz [kcal/24 h] = $655,1 + (9,6 * \text{Körpergewicht [kg]}) + (1,8 * \text{Körpergröße [cm]}) - (4,7 * \text{Alter [Jahre]})$
- 1 kcal = 4,186 kJ = 4,186 kWs

Energiebedarf des Menschen

- 2.000 kcal = 8.373 kJ
- $$P = \frac{8.373 \text{ kJ}}{24 \cdot 60 \cdot 60 \text{ s}} = \frac{8.373 \cdot 10^3 \text{ Ws}}{24 \cdot 60 \cdot 60 \text{ s}} = 96,9 \text{ W}$$



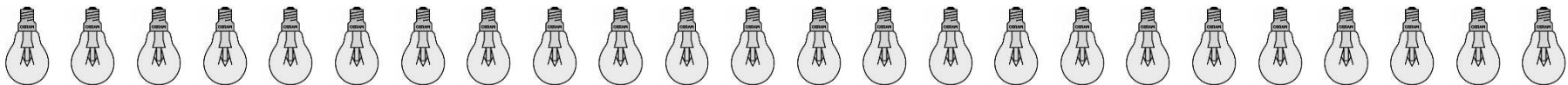
Weltweiter Energiebedarf

- Primärenergieverbrauch 2009:
12.150 Mio t Erdöläquivalent (toe)
- 1 toe = 41,9 GJ
- Weltbevölkerung 2009:
6,79 Mrd Menschen
(inzwischen: > 7 Mrd)

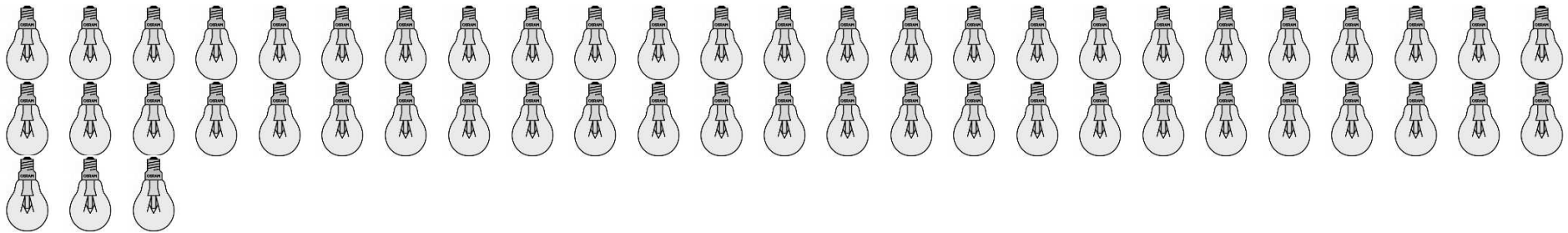
Weltweiter Energiebedarf

$$\begin{aligned} P_{Welt} &= \frac{12150 \cdot 10^6 \text{ toe}}{365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 \text{ s}} = \\ &= \frac{12150 \cdot 10^6 \cdot 41,9 \cdot 10^9 \text{ Ws}}{365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 \text{ s}} = 16,14 \cdot 10^{12} \text{ W} \end{aligned}$$

$$P_{per\ capita\ 2009} = \frac{16,14 \cdot 10^{12} \text{ W}}{6,79 \cdot 10^9} = 2377 \text{ W}$$



Pro-Kopf-Energieverbrauch 2008: Österreich

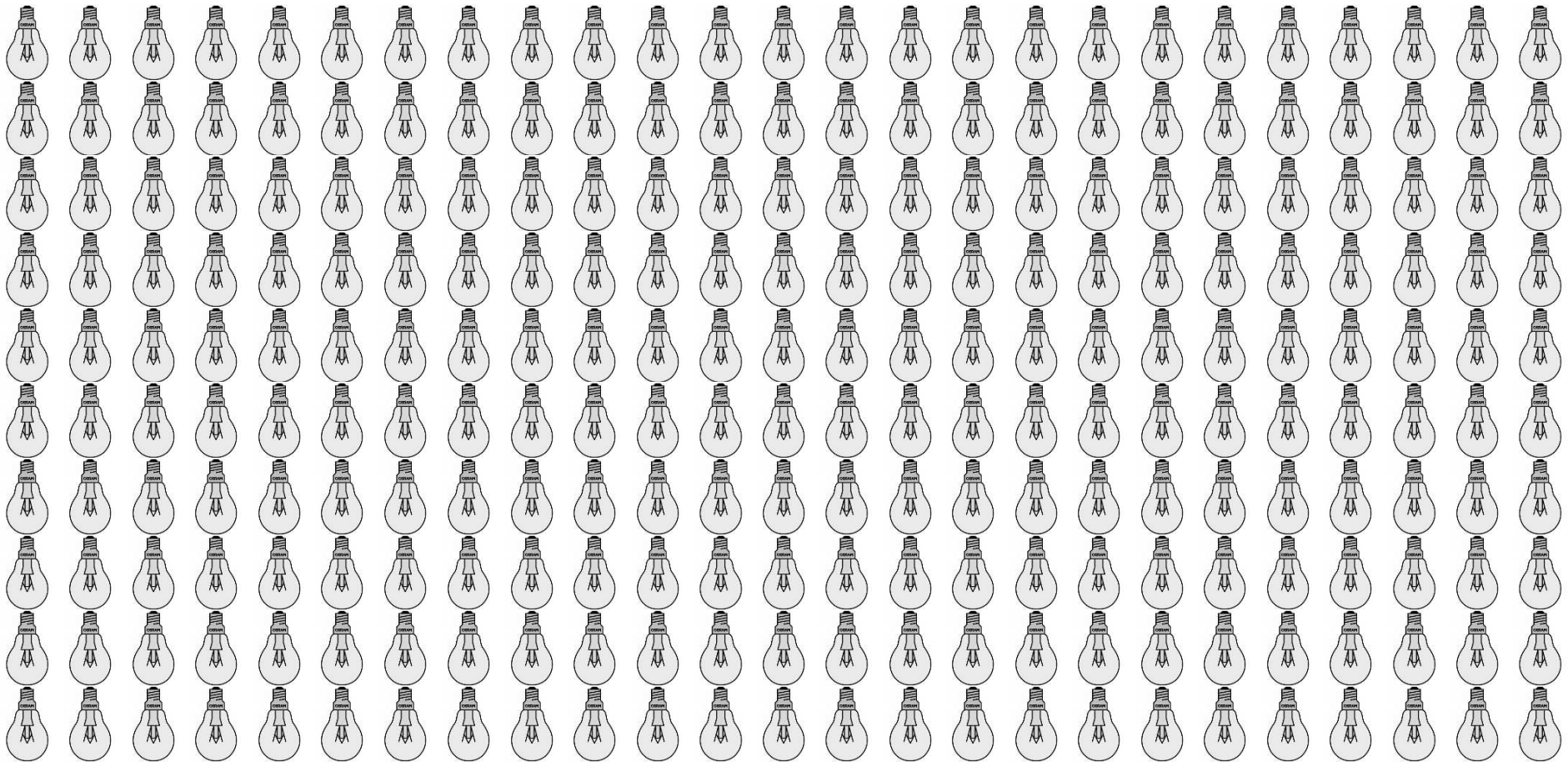


3,99 toe/a

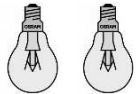
4,08 toe/a (Deutschland)

4,16 toe/a (Frankreich)

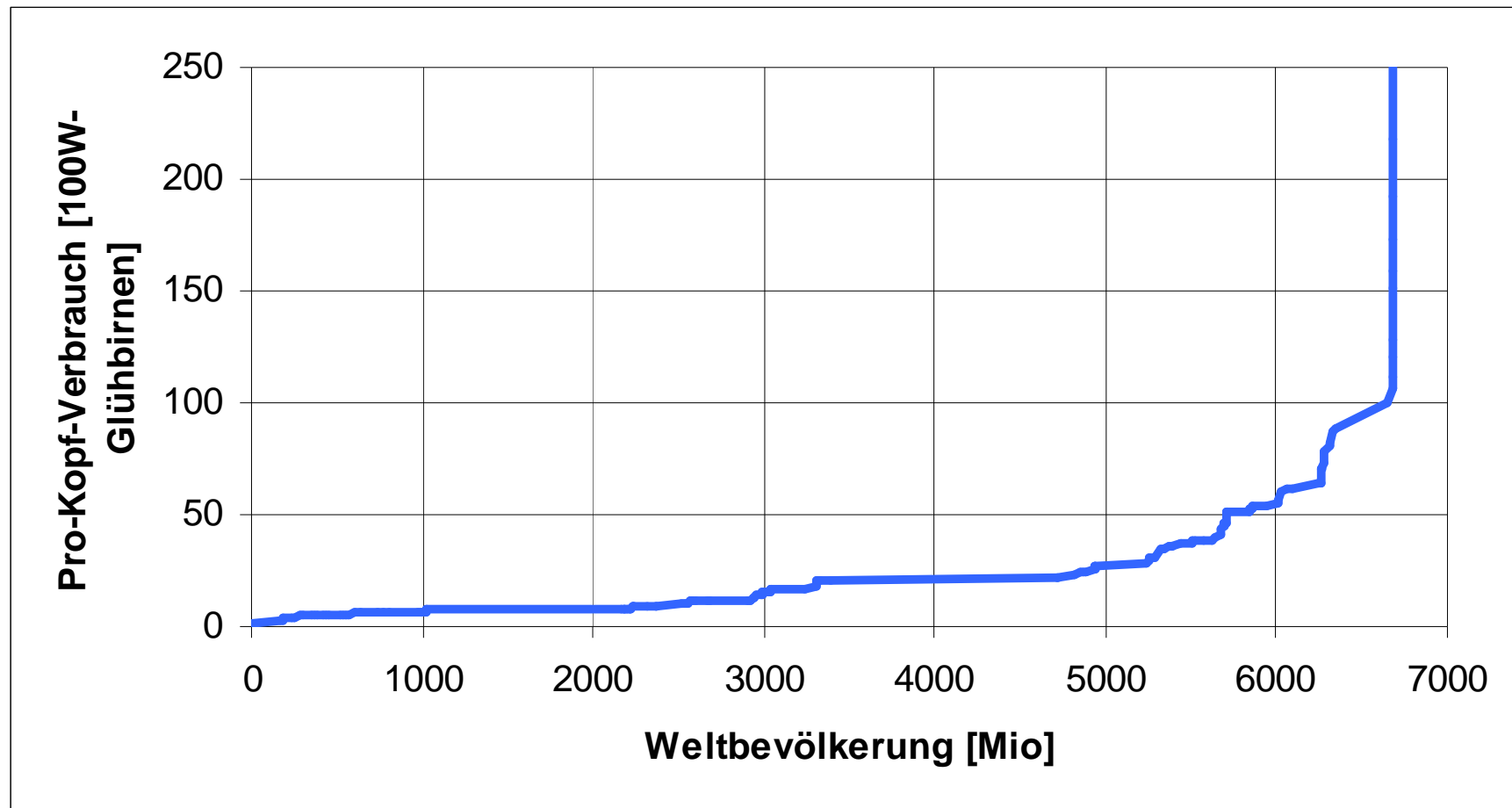
Pro-Kopf-Energieverbrauch 2008: Qatar



Pro-Kopf-Energieverbrauch 2008: Eritreia



Pro-Kopf-Energieverbrauch 2008



Energieversorgung ohne elektrisches Verbundsystem



Quelle: Modi, 2011

Nutzung nachwachsender Rohstoffe zum Kochen



Quelle: Modi, 2011 and Yumkella, 2013

Aufgaben der Energieversorgung

Energie ist die Grundlage für die moderne Industriegesellschaft. Aufgaben:

- **Primärenergieträger** verfügbar machen (Kohle, Gas, Wasserkraft, Wind, Sonne)
- **Umwandlung** in verschiedene andere Energieformen (Elektrizität, Wärme)
- **Transport** der Energie zu den Endkunden (Strom-, Gas-, Wärmenetze)
- **Verteilung** der Energie bei den Endkunden (Hausanschluss für Strom, Gas, Wärme)

Geforderte Eigenschaften von Energiesystemen

- **Sicherheit und Zuverlässigkeit:**
Jederzeit Versorgung mit Energie,
Unterbrechungen nur so kurz wie möglich
- **Wirtschaftlichkeit:**
Bezahlbarer, langfristig stabiler Preis
- **Umweltfreundlichkeit:**
Belastung der Umwelt durch Gewinnung,
Umwandlung, Übertragung und Verteilung so
gering wie möglich

Nichtererneuerbare Energieträger

- Energieversorgung der Welt verwendet heute vielfach noch **fossile Energieträger**
- Kohle (Braun- und Steinkohle), Erdgas und Erdöl, Uran
- **Vorkommen** der nichterneuerbaren Energierohstoffe sind zwangsläufig **begrenzt**
- **Verfügbarkeit** kann zum heutigen Zeitpunkt noch als **gesichert** gelten
- **Umweltauswirkungen** kritisch

Reserven, Ressourcen und Reichweiten

- **Reserven** sind nachgewiesene und wirtschaftlich gewinnbare Vorkommen
- **Ressourcen** sind Vorkommen, die noch nicht sicher nachgewiesen oder wirtschaftlich förderbar sind → ggf. später Reserven
- **Statische Reichweite** stellt Reserven bzw. Ressourcen mit Primärenergiebedarf in Beziehung

$$\text{Reichweite} = \frac{\text{Weltvorräte}}{\text{Jahresbedarf}}$$

Reichweiten fossiler Energieträger (2006)

	Welt- reserven in Mrd. t	Welt- ressourcen in Mrd. t	Welt- verbrauch in Mio. t	Reichweite der Reserven in Jahren
Erdöl (konventionell)	160	82	3.789,2	42
Erdöl (nicht- konventionell*)	66	250		17
Erdgas	176**	207**	2,79**	63
Steinkohle	785	4.060	4.646	169
Braunkohle	204	923	898	227
Uran	0,00474	ca. 0,010	0,070	68

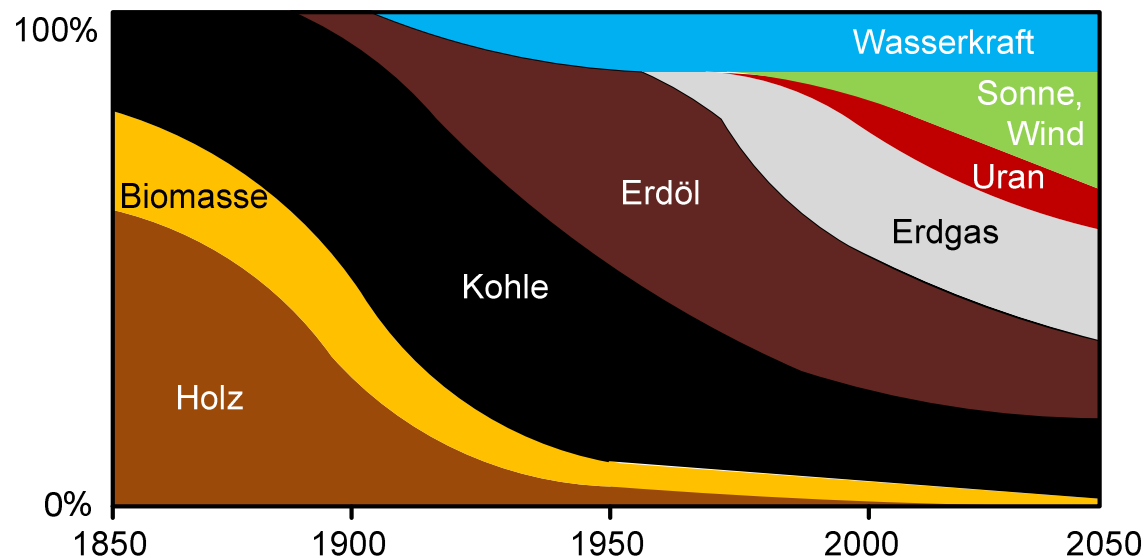
* Schwerstöl, Ölschiefer, Ölsande, ** in 1000 Mrd. m³

Fossile Energieträger

- **Steinkohle:** Große Lagerstättenpotentiale, zunehmende Bedeutung prognostiziert
- **Braunkohle:** Einsatz auf Stromerzeugung am Ort der bergbaulichen Gewinnung begrenzt
- **Erdöl:** nur noch wenige Jahrzehnte verfügbar
- **Erdgas:** noch viele Jahrzehnte verfügbar. Pipeline-Transport und LNG
- **Uran:** CO₂-frei, Endlagerproblematik
- **Neue Technologieentwicklungen**

Erneuerbare Energien

- Früher (bis 19. Jhd) dominierende Energiequelle
- Heute wieder steigende Bedeutung



Erneuerbare Energien (2)

- **Wasserkraft:** Laufwasser-, Speicher- und Pumpspeicherkraftwerke. In vielen Ländern sind Potentiale zur Wasserkraftnutzung bereits weitgehend erschlossen
- **Gezeitenkraft:** Besondere Form der Wasserkraft aus dem Tidenhub (Staudamm oder Strömung)
- **Windenergie:** Früher Windmühle, heute Windkraftanlage. Stromerzeugung dargebotsgeführt

Erneuerbare Energien (3)

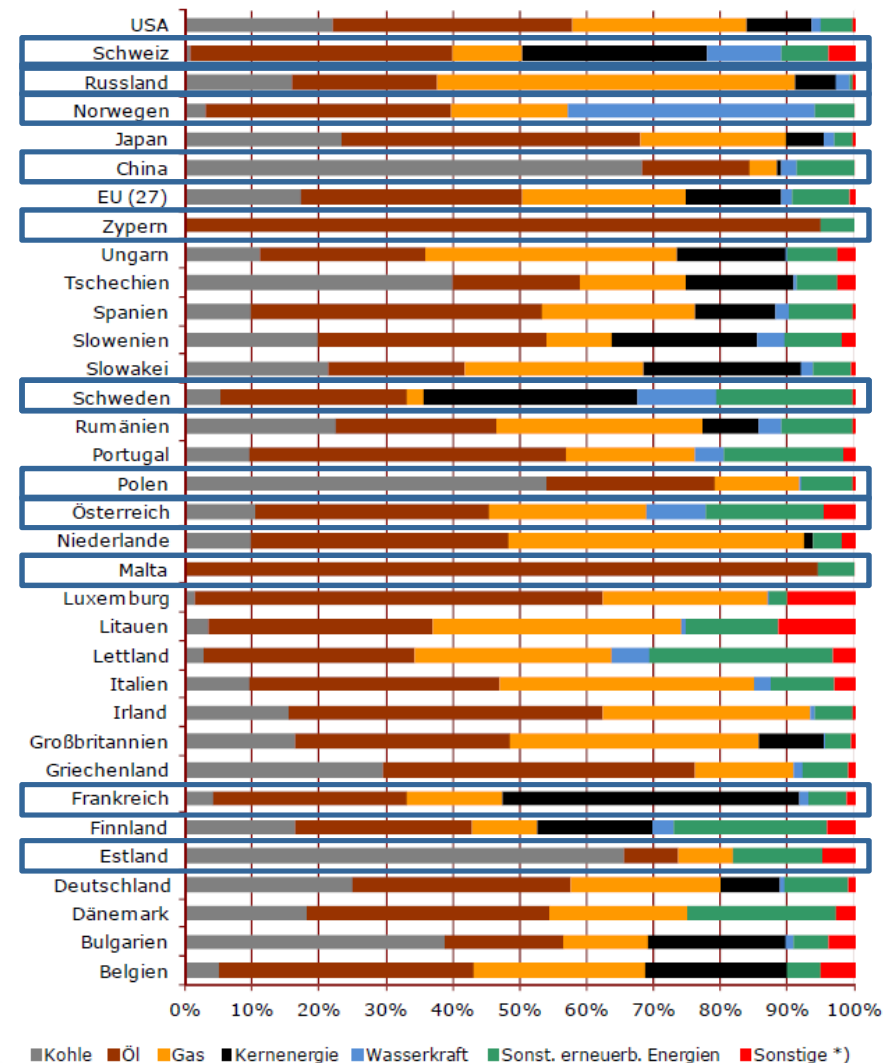
- **Solarthermie:** Erzeugung von technisch nutzbarer Wärme, z.B. in Dampfturbine → dargebotsgeführt, durch Wärmespeicher in Grenzen entkoppelbar
- **Photovoltaik:** Direkte Umwandlung in elektrische Energie → dargebotsgeführt
- **Geothermie:** Nutzung von Wärme aus Erdkruste zu Heizzwecken und Erzeugung elektrischer Energie

Erneuerbare Energien (4)

- **Biomasse:** Nachwachsender Rohstoff, fest, flüssig oder gasförmig zur Erzeugung von Nutzenergie verwendbar
- **Müll:** Mit Einschränkungen als nachwachsendem Rohstoff zu betrachten. Emissionsschutz aufwendig

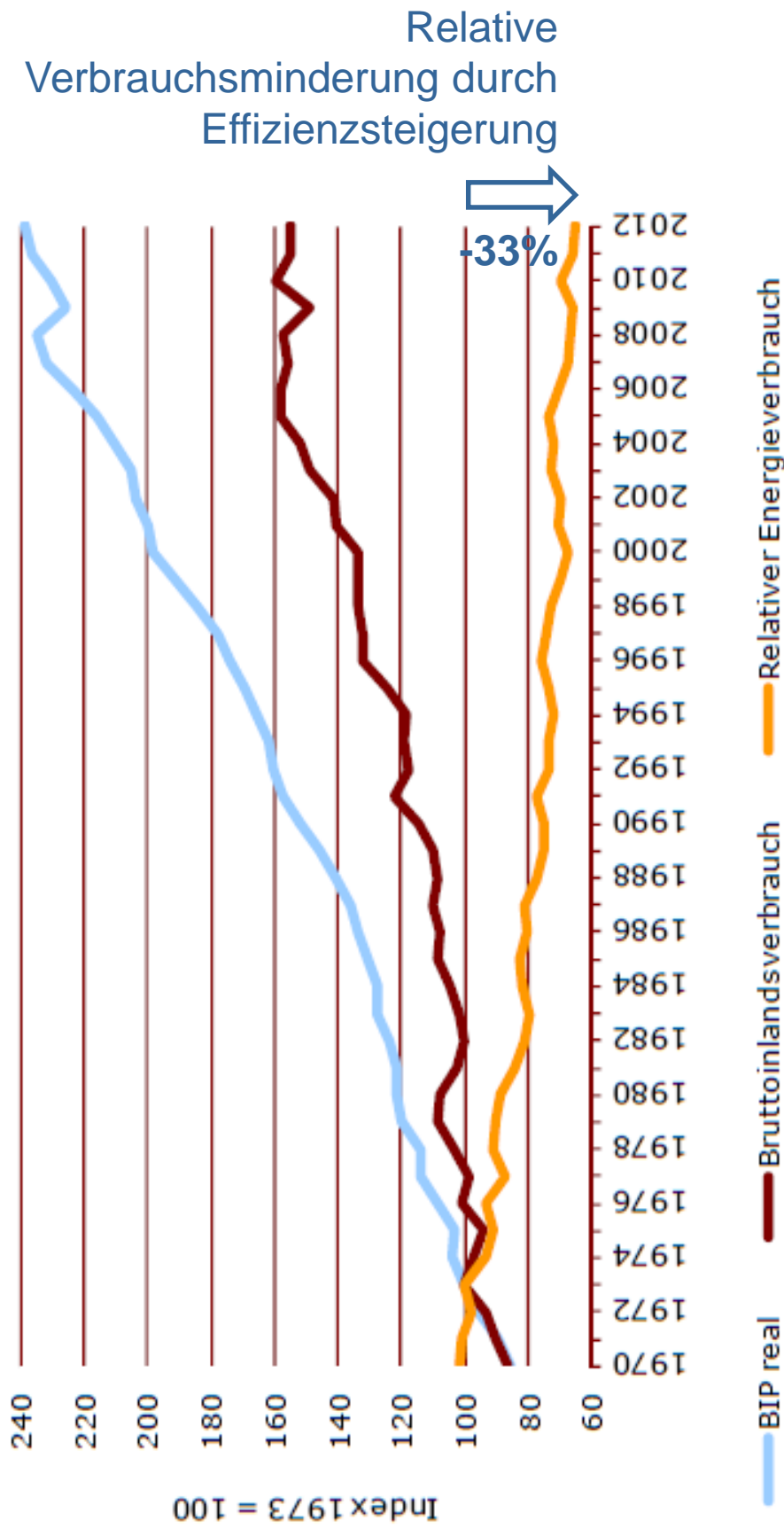
Energieversorgung in Europa und weltweit

- Energieverbrauch bestimmt durch lokale Verfügbarkeit der Energieträger
- N, S, CH, A: Wasser
- F, S: Kernenergie
- CN, PL, EST: Kohle
- RUS: Gas
- M, CY: Öl

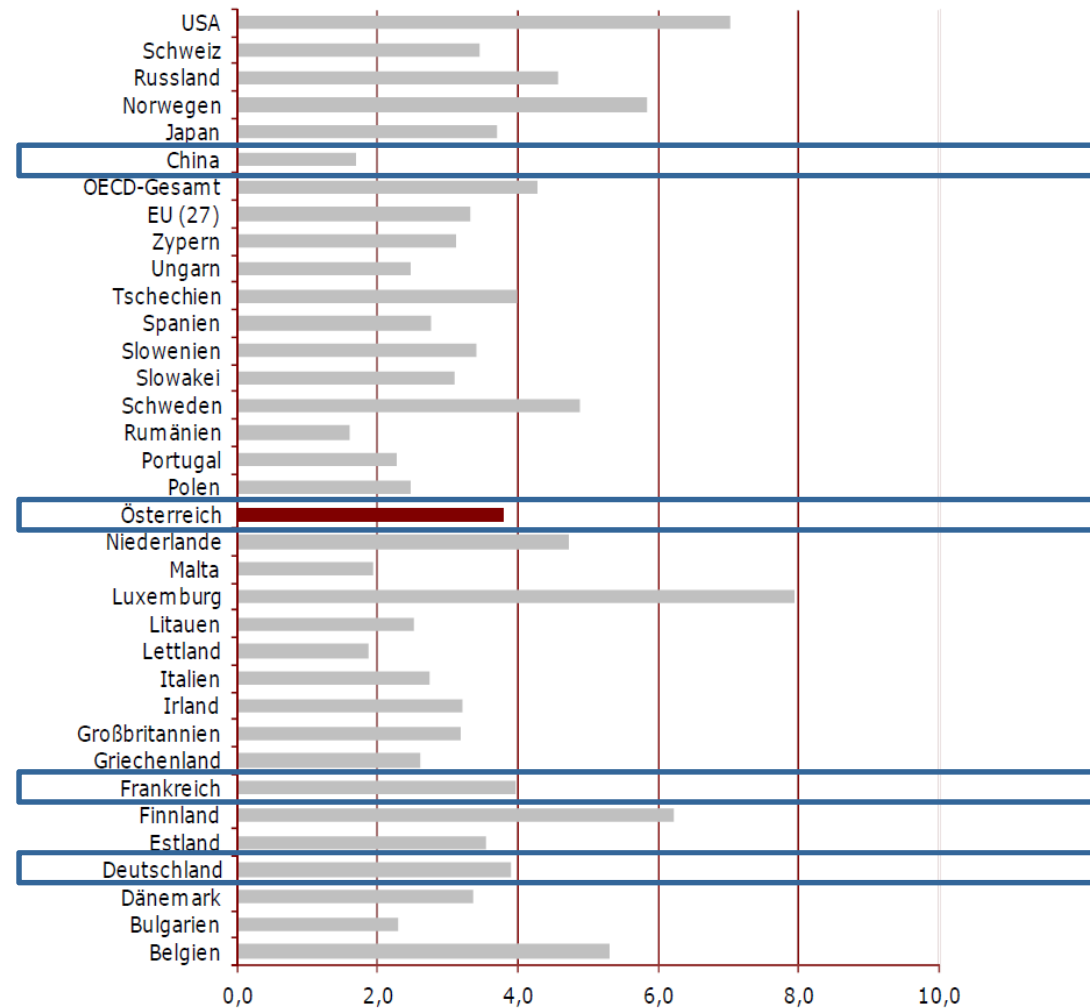


*) Nicht erneuerb. brennbare Abfälle/Sonst. Energien; Außenhandelsaldo an elektrischer Energie; Negativwerte = Nettostromimporte sind höher als Summe der Abfälle/sonst. Energien
Quelle: IEA/BMWFW

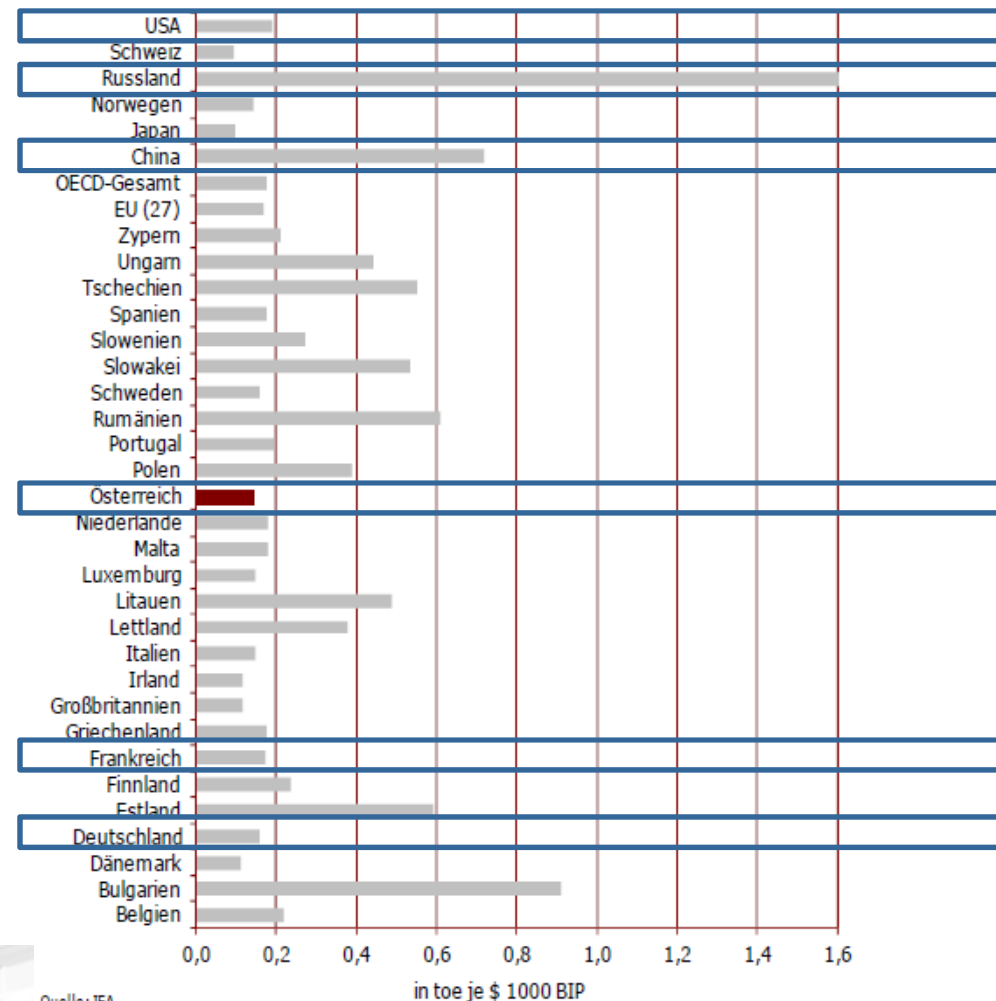
Entkopplung von Wachstum und Energieverbrauch (AT)



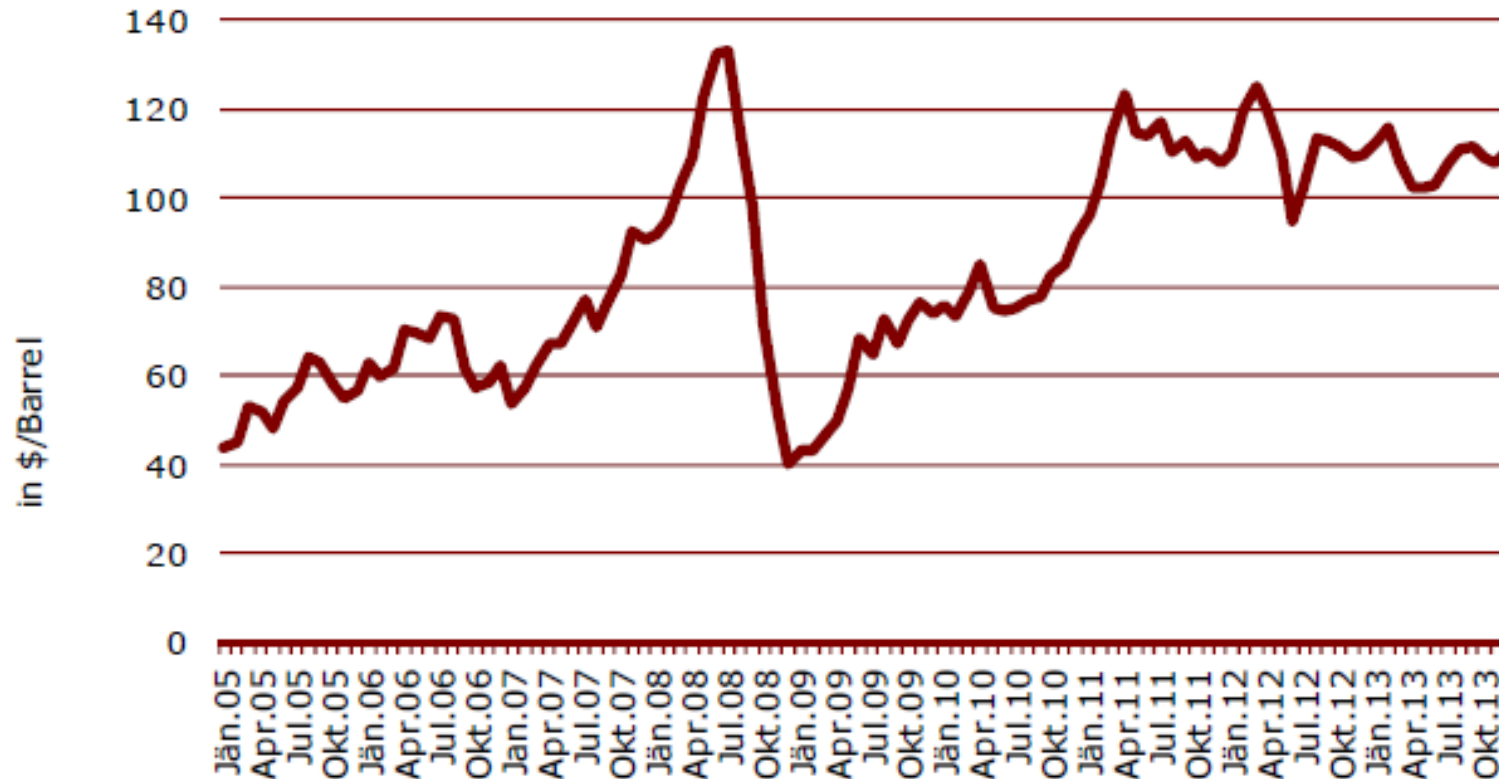
Bruttoinlandsverbrauch pro Kopf (2009)



Bruttoinlandsverbrauch pro Bruttoinlandsprodukt

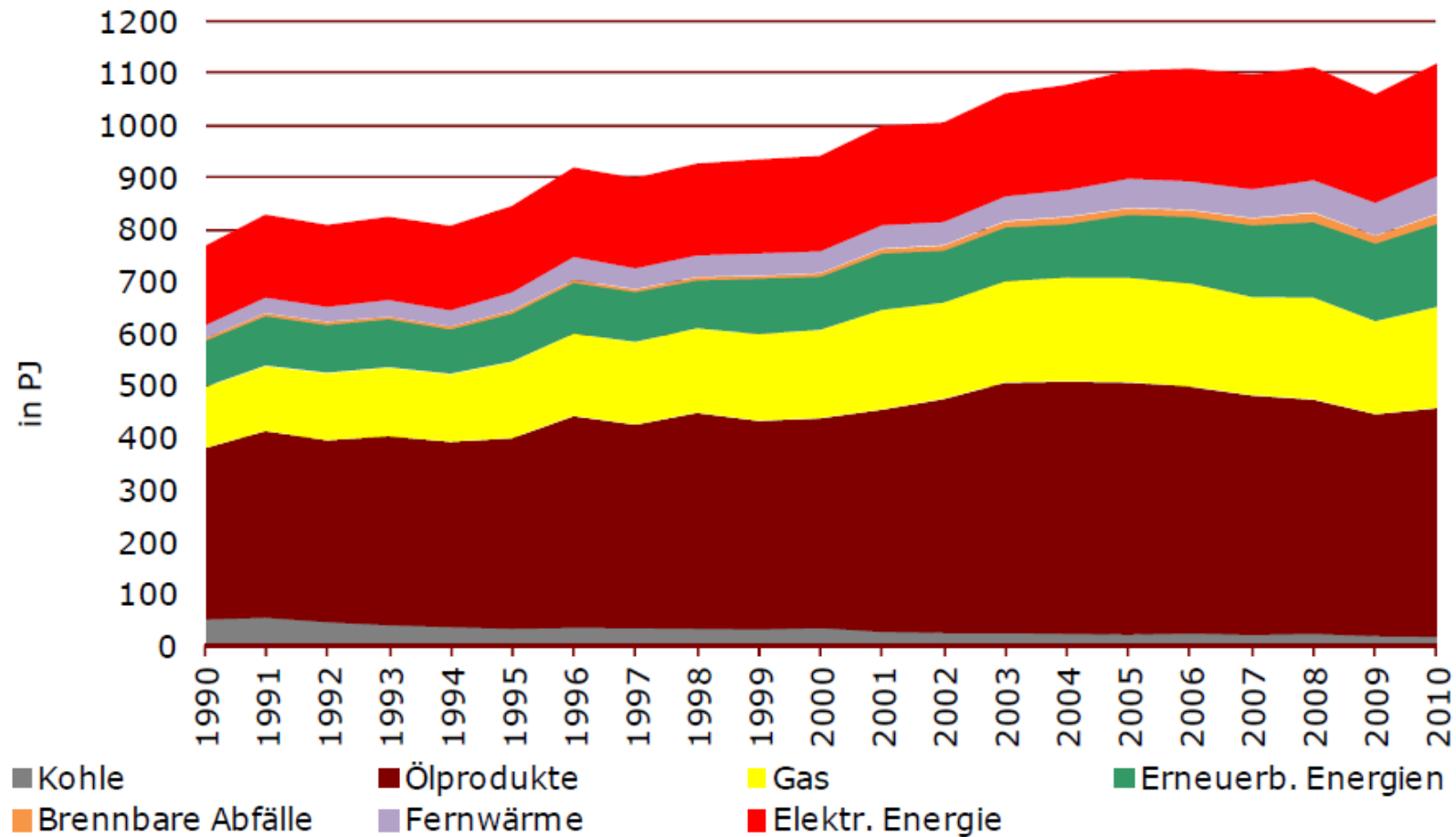


Entwicklung der Rohölpreise

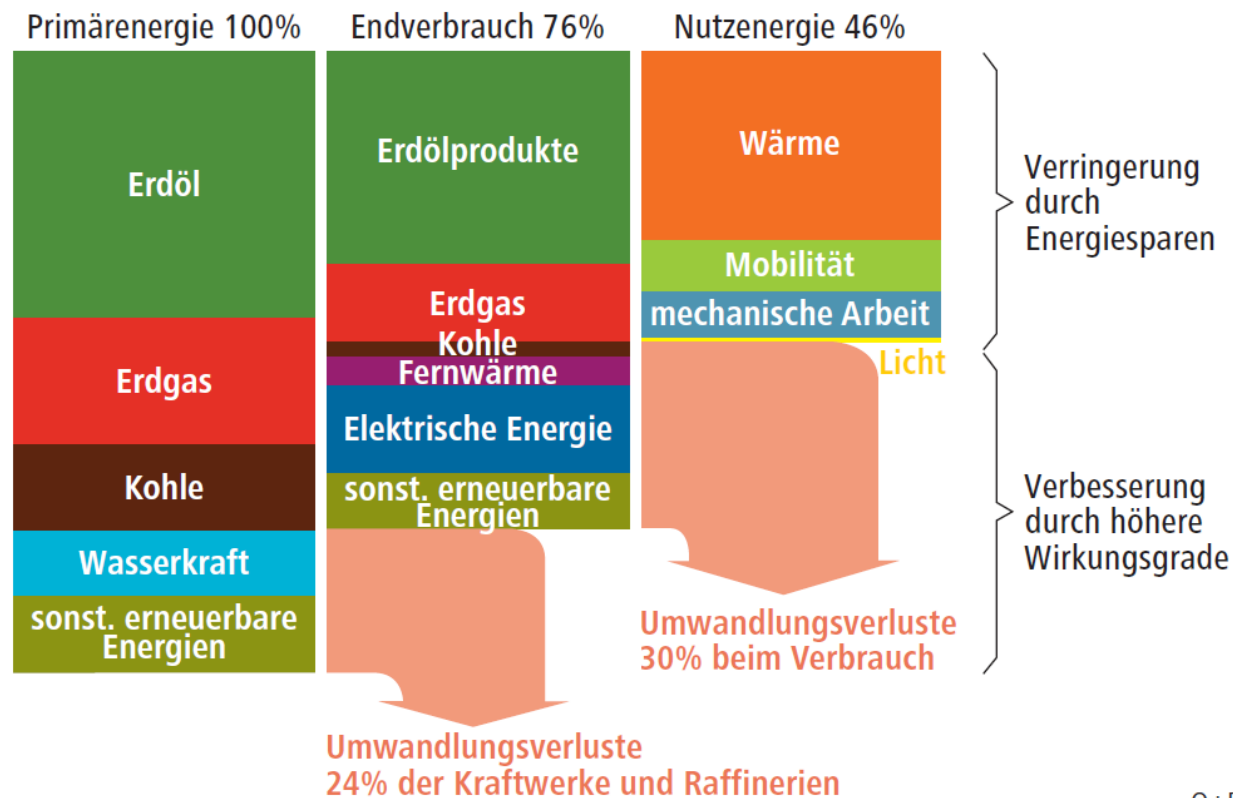


- Effizienz und erneuerbare Energien werden immer wichtiger

Energetischer Endverbrauch in Österreich

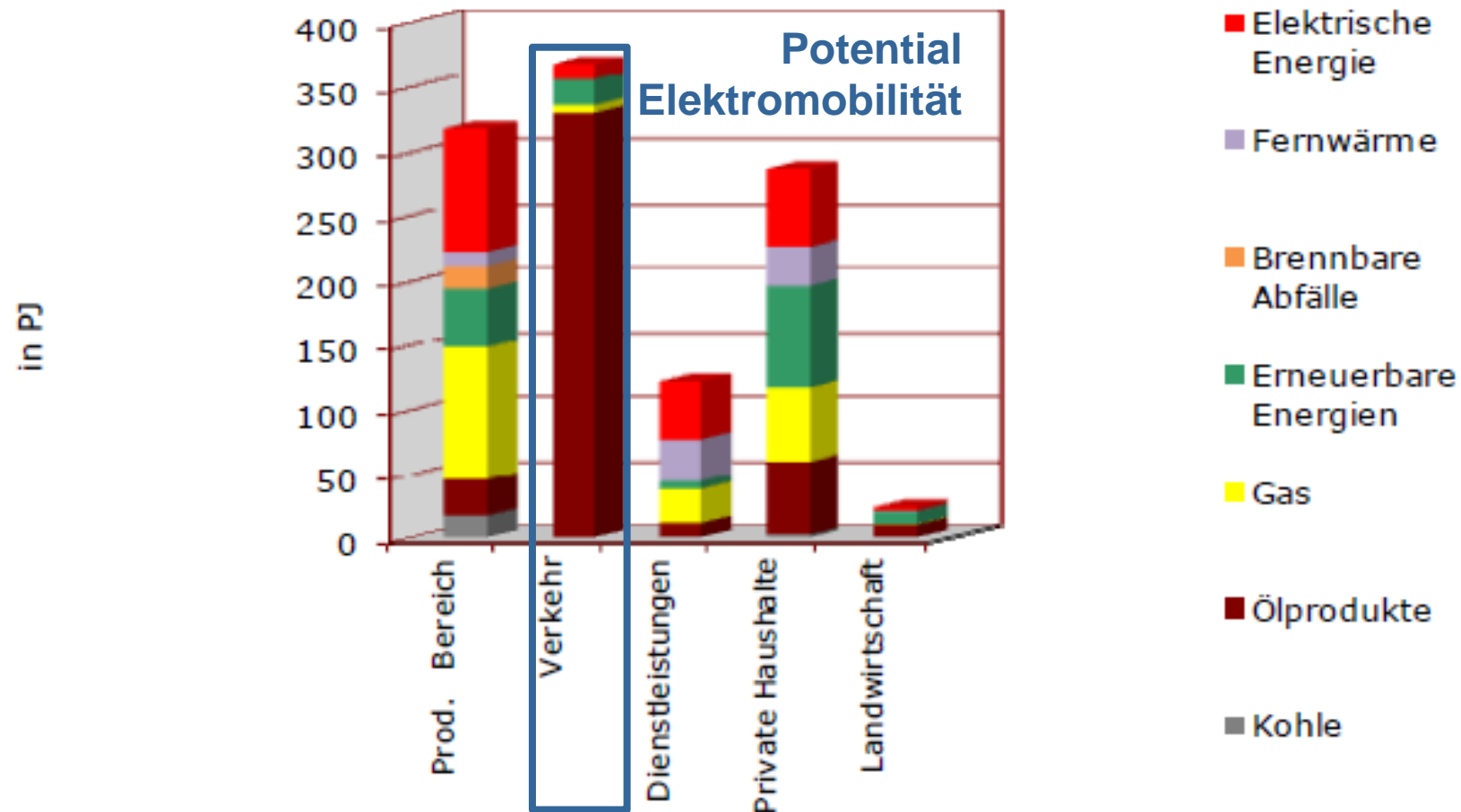


Energetischer Endverbrauch in Österreich

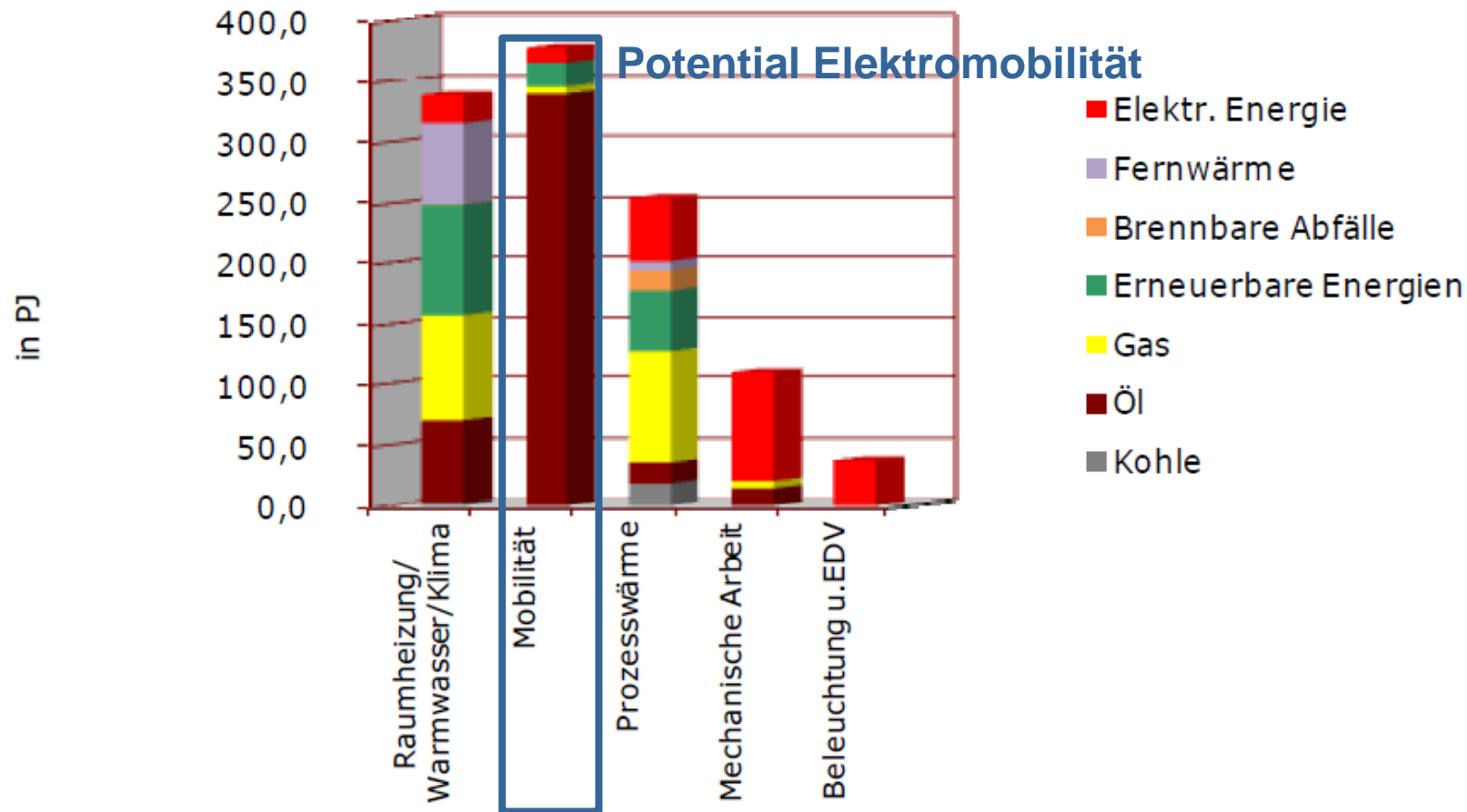


Q.: BMWA 2008, Ch.Fridrich 2009.

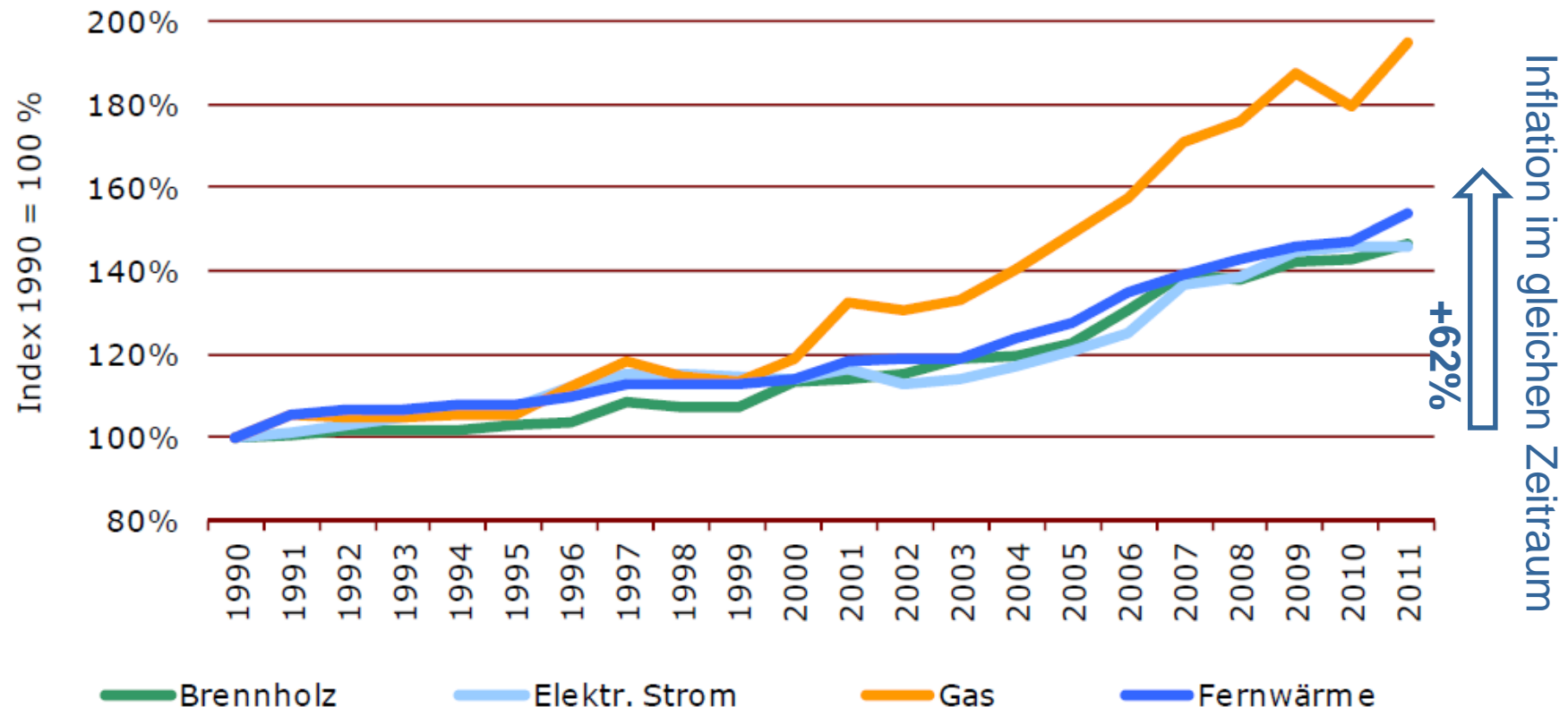
Energetischer Endverbrauch nach Sektoren (2010)



Energetischer Endverbrauch nach Einsatzzwecken (2010)

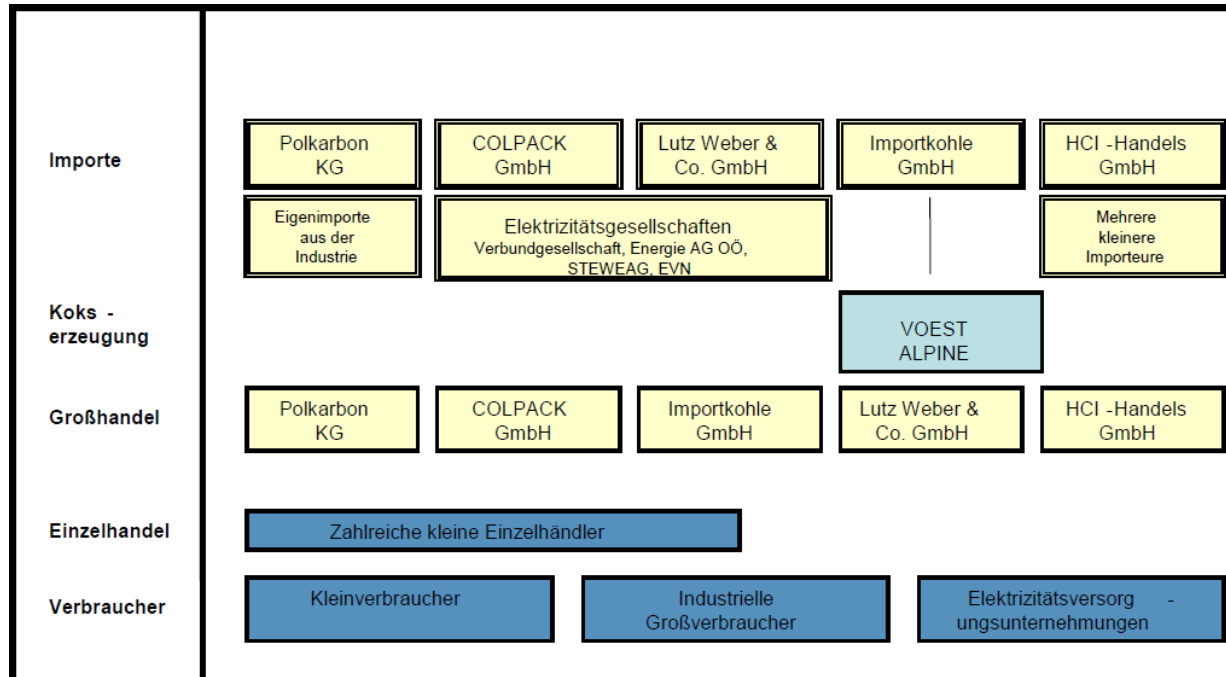


Entwicklung der Energiepreise im Haushalt (AT)



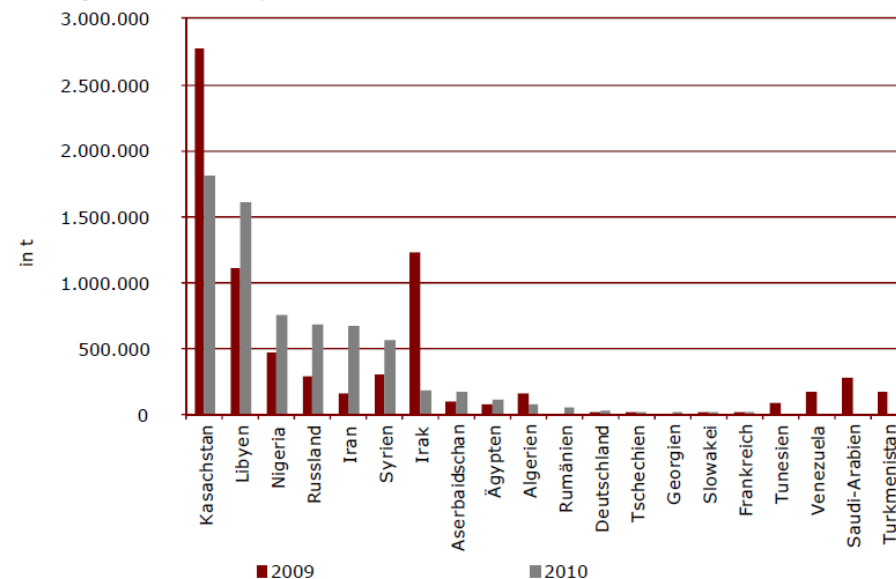
Versorgung mit Kohle (AT)

- Keine inländische Förderung
- 3,1 Mio t Import pro Jahr (PL, CZ, AU)

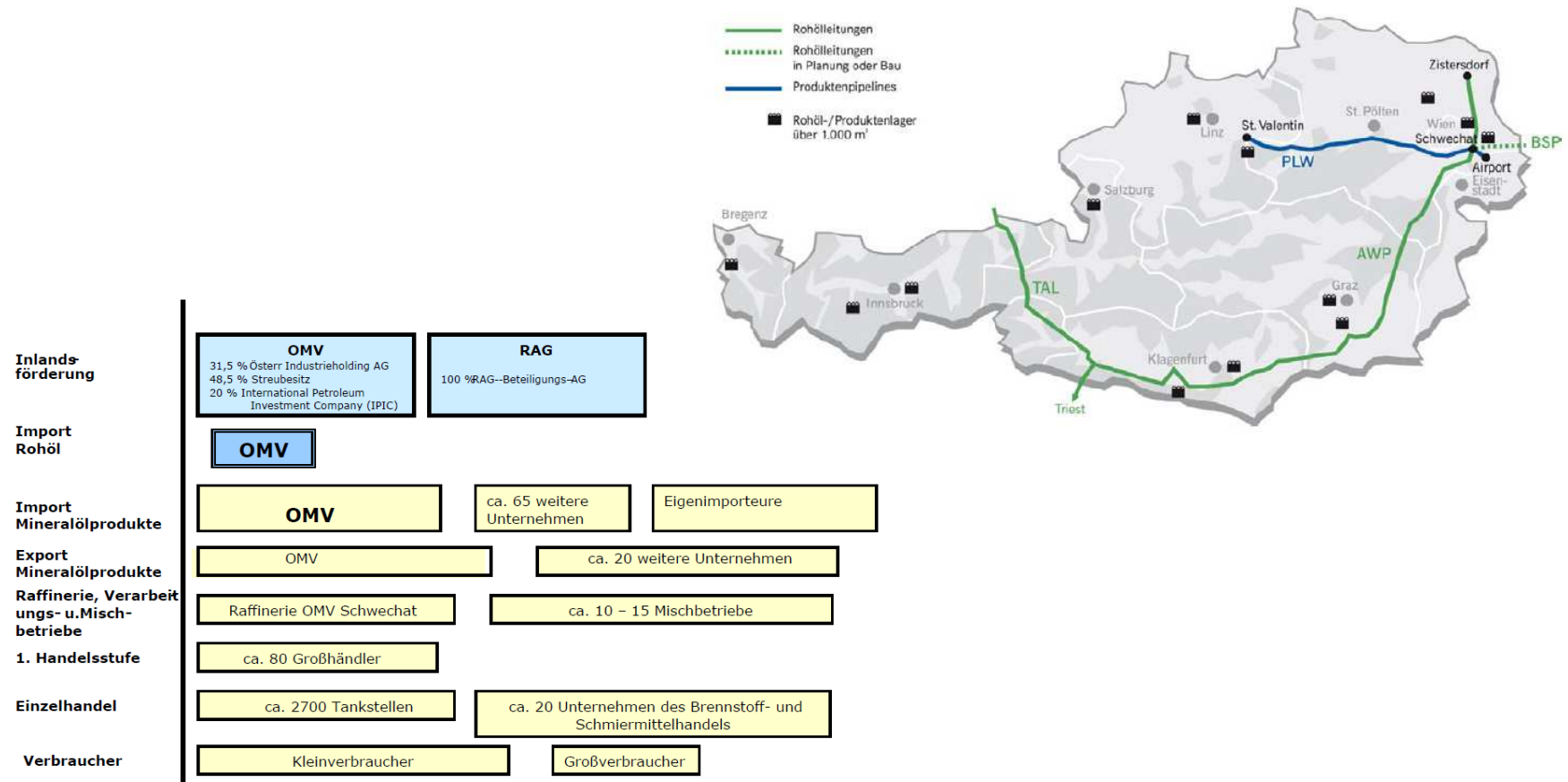


Versorgung mit Erdöl und Erdölprodukten (AT)

- gut 1 Mio t inländische Förderung (2010)
- Reserven noch für ca. 10 Jahre
- Import ca. 6,77 Mio t (2010)
u.a. Kasachstan,
Libyen, Nigeria



Rohöl- und Produktenpipelines und Firmen in Österreich

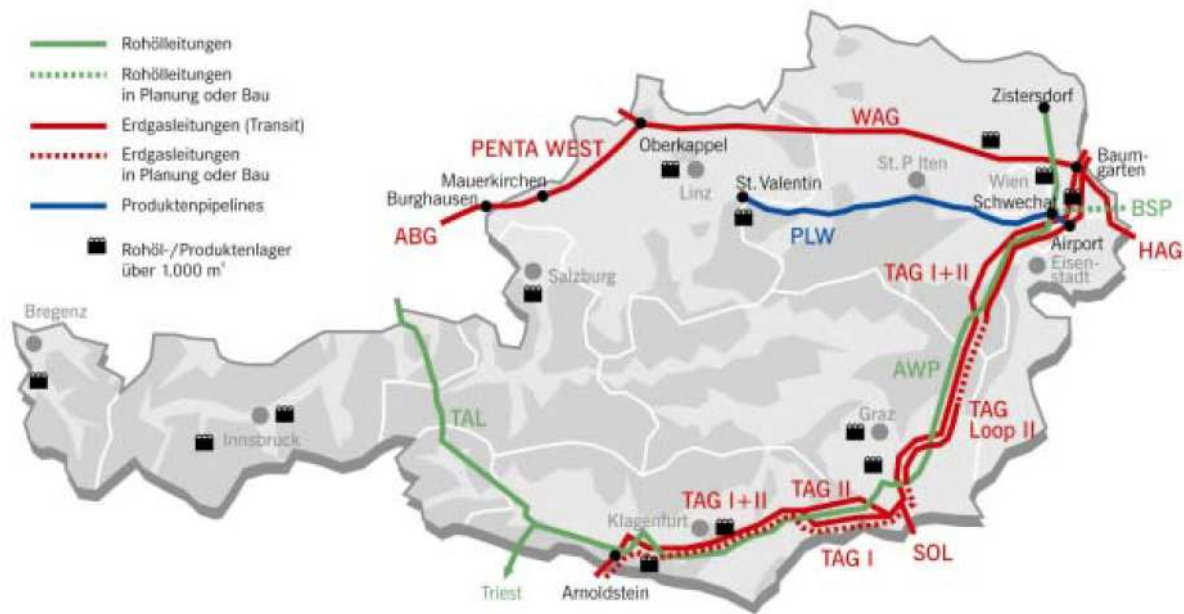


Versorgung mit Erdgas (AT)

- ca. 1,716 Mrd. m³ inländische Förderung (2010)
- Reserven noch für ca. 14 Jahre
- Import ca. 7,06 Mrd. m³ (2010)

u.a.

Russland,
Norwegen



Erdgasspeicher in AT

Standort	Arbeitsgasvolumen [Mio. m ³]	Entnahmekapazität [m ³ /h]	Technischer Betreiber
Schönkirchen	1.780	960.000	OMV
Tallesbrunn	400	160.000	OMV
Thann	250	130.000	OMV
Puchkirchen und Haidach 5	1.114	540.000	RAG
Aigelsbrunn	100	50.000	RAG
Haidach	800	334.000	Wingas
Haidach	1.600	666.000	Gazprom
7fields	1.165	405.000	E.ON Gas Storage
Summe	7.209	3.245.000	

Gaswirtschaft in AT

Behörden / Verbände	BMWFW	Energie-Control Austria	Fachverband Gas & Wärme	ÖVGW	
Produktion	OMV Exploration & Production GmbH		RAG Rohöl-Aufsuchungs Aktiengesellschaft		
Import	6 Importeure mit langfristigen Gaslieferverträgen				
Fernleitung	Gas Connect Austria GmbH (auch Marktgebietsmanager)	Trans Austria Gasleitung GmbH	Baumgarten-Oberkappel Gasleitungsges.m.b.H		
Verteilung	19 Verteilernetzbetreiber	Austrian GasGrid Management AG (Verteilergebietsmanager)	AGCS Gas Clearing and Settlement AG		
Großhandel	Central European Gas Hub AG (CEGH), Virtueller Handelspunkt (VHP), Gasbörse		Händler am CEGH- 149 registriert, 124 aktiv		
Speicherung	Eon Gas Storage GmbH	OMV Gas Storage GmbH	RAG Energy Storage GmbH	astora GmbH & Co. KG	Gazprom Export
Versorgung	30 Lieferanten				
Verbrauch	1.275.000 Haushalte		71.000 sonstige Kleinkunden		6.000 lastganggemessene Endkunden

Erneuerbare Energien in AT

Kraftwerk	Leistung [MW]	Fertig- stellung	Betreiber
Malta-Hauptstufe	730,0	1979	VERBUND Hydro Power AG
Silz	500,0	1981	Tiroler Wasserkraft AG
Kaprun Oberstufe Limberg II	480,0	2011/ 2012	VERBUND Hydro Power AG
Kopswerk II	450,0	2008	Vorarlberger Illwerke AG
Kaunertal	392,0	1964	Tiroler Wasserkraft AG
Häusling	360,0	1988	VERBUND Hydro Power AG
Mayrhofen	345,0	1977	VERBUND Hydro Power AG
Kühtai	289,0	1981	Tiroler Wasserkraft AG
Rodundwerk II	276,0	1976	Vorarlberger Illwerke AG
Kopswerk I	247,0	1969	Vorarlberger Illwerke AG
Lünerseewerk	232,0	1958	Vorarlberger Illwerke AG
Roßhag	231,0	1972	VERBUND Hydro Power AG
Kaprun Hauptstufe	220,0	1952	VERBUND Hydro Power AG

Pumpspeicherkraftwerk Malta Oberstufe, Kärnten



[Quelle: Verbund.com]

Kraftwerk Kaprun, Oberstufe



[Quelle: Verbund.com]

Laufwasserkraftwerke in AT

Kraftwerk	Leist. [MW]	Fertig- stellung	Fluss	Betreiber
Altenwörth	328,0	1976	Donau	VERBUND Hydro Power AG
Aschach	324,0	1964/ 2010	Donau	VERBUND Hydro Power AG
Greifenstein	293,0	1985	Donau	VERBUND Hydro Power AG
Ybbs-Persenbeug	236,5	1959	Donau	VERBUND Hydro Power AG
Wallsee- Mitterkirchen	210,0	1968	Donau	VERBUND Hydro Power AG
Melk	187,0	1982	Donau	VERBUND Hydro Power AG
Ottensheim- Wilhering	179,0	1974	Donau	VERBUND Hydro Power AG
Freudenau	172,0	1998	Donau	VERBUND Hydro Power AG
Abwinden-Asten	168,0	1979	Donau	VERBUND Hydro Power AG
Jochenstein	132,0	1956	Donau	Donaukraft Jochenstein AG

Laufkraftwerk Ybbs- Persenbeug, Niederösterreich

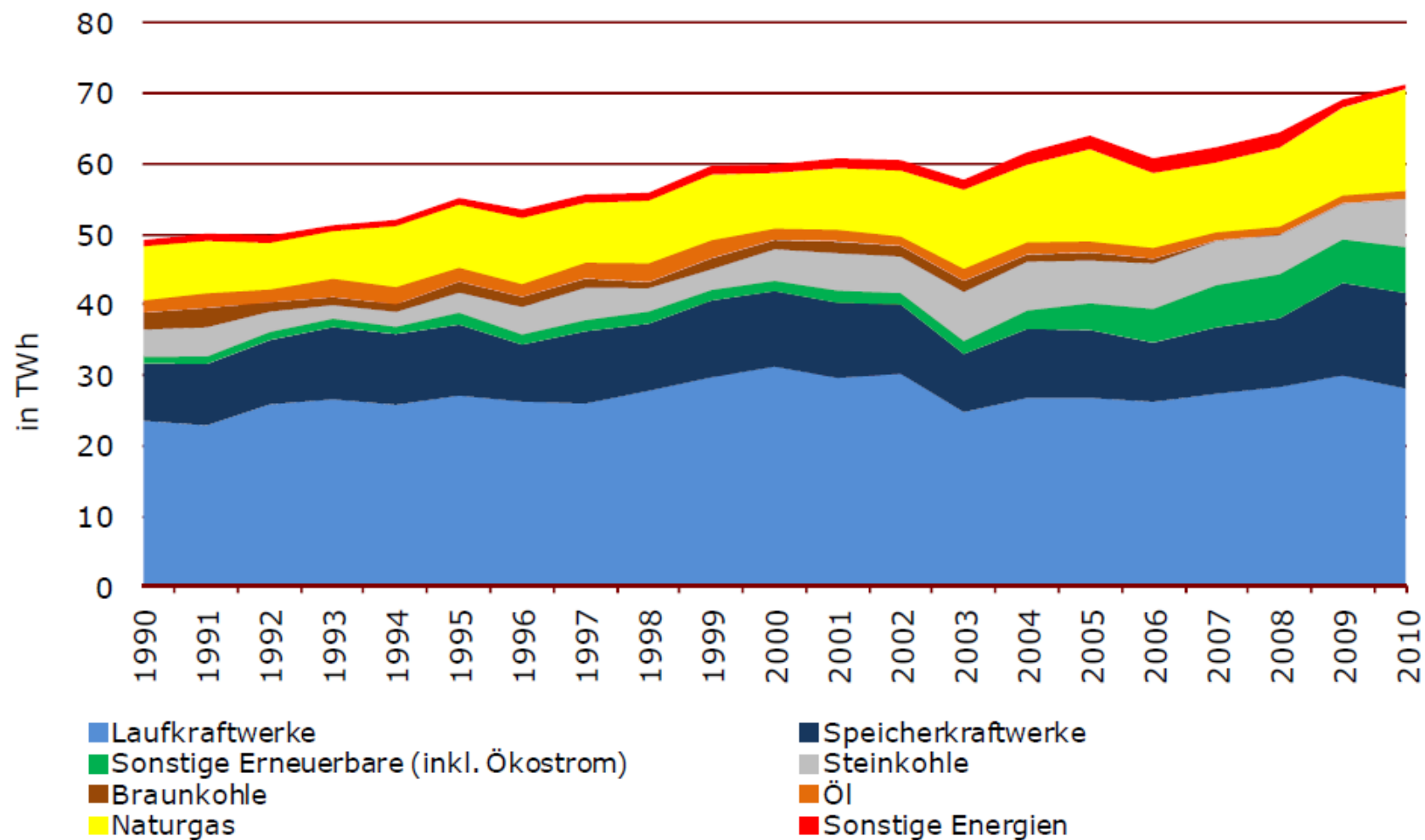


[Quelle: Verbund.com]

Elektrische Energie in AT

- Stromerzeugung von Wasserkraft dominiert (>60% Bruttostromerzeugung aus Lauf- und Speicherkraftwerken)
- Wasserkraftpotenzial zu rund 70 % ausgebaut
- > 650 Laufkraftwerke an Donau, Donau-Zubringern und Drau
- > 100 Speicherkraftwerke in (hoch-)alpinen Regionen im Westen und Süden

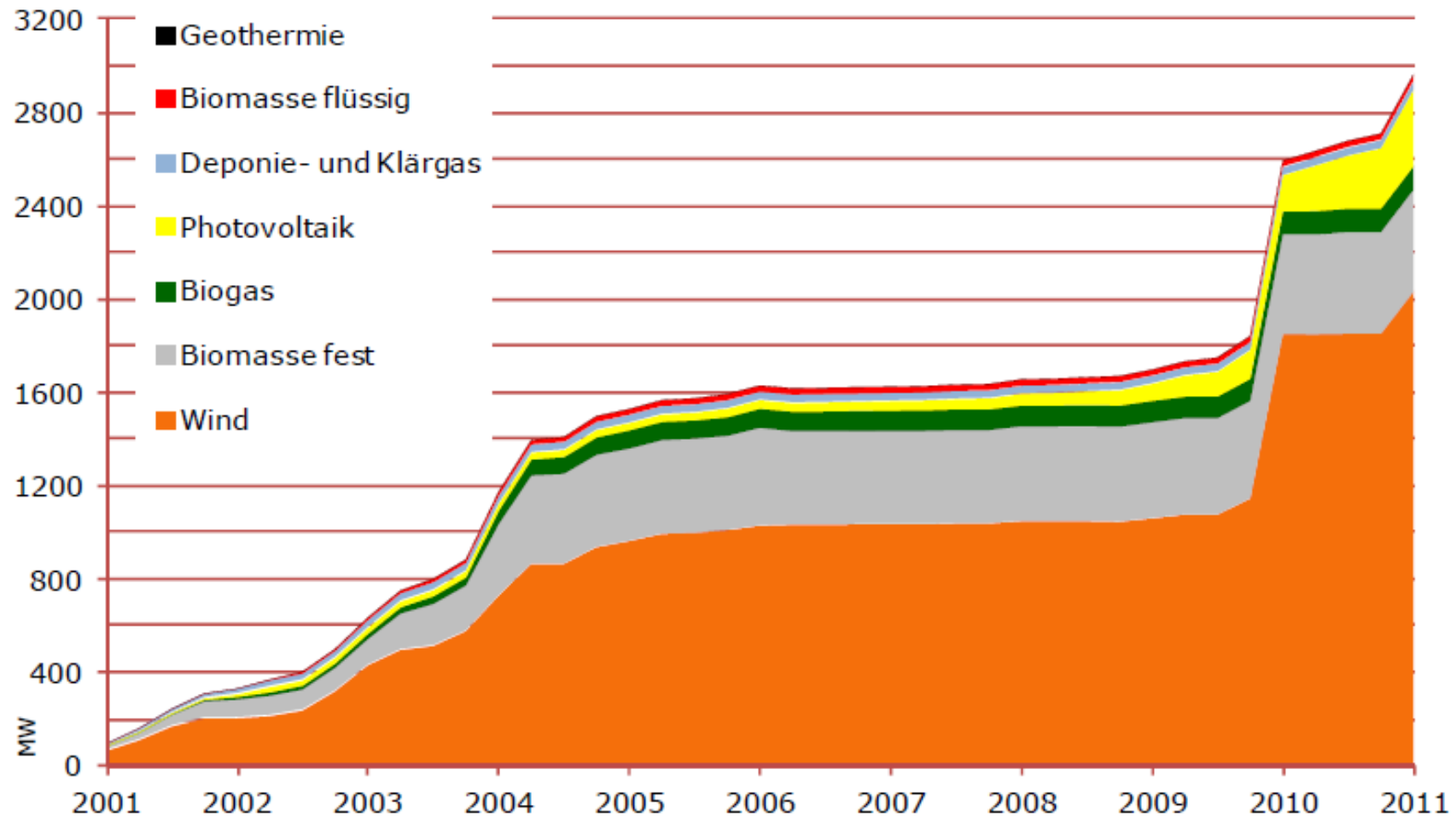
Bruttostromerzeugung in AT



Stromerzeugung mit fossilen Energieträgern

- Anteil der fossilen Wärmekraftwerke an Gesamtstromerzeugung liegt um die 30 %
- Konzentriert auf großen Anlagen im Wiener Raum und in den Landeshauptstädten Linz, Graz und Salzburg sowie der energieintensiven Industrie
- Durch Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) wird dabei oft neben elektrischer Energie auch Wärme für Heizzwecke erzeugt und hoher Gesamtwirkungsgrad der Brennstoffausnutzung erreicht

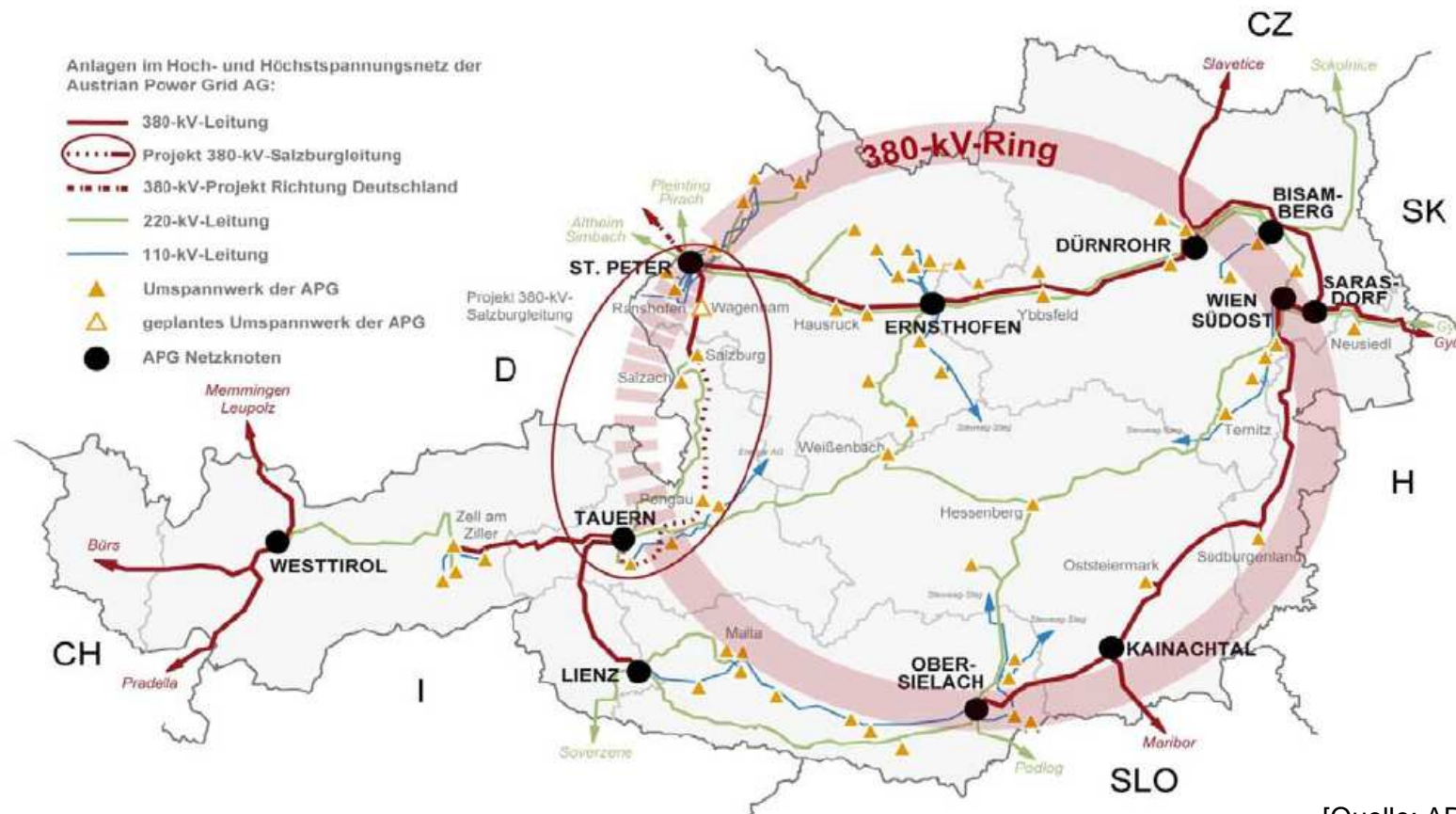
Ökostromanlagen in AT



Spannungs- und Netzebenen in AT

Ebene	Nennspannung	Bezeichnung
1	380 o. 220 kV	Übertragungsnetz, europäisches Verbundnetz UCTE-Netz, Höchstspannungsnetz
2	380 o. 220/110 kV	Haupt-Umspanner zum Hochspannungsnetz
3	110 kV	Übertragungsnetze der regionalen Versorger Hochspannungsnetz
4	110/10 o. 20 o. 30 kV	Umspanner zum Mittelspannungsnetz
5	10 o. 20 o. 30 kV	Mittelspannungsnetz
6	10 o. 20 o. 30/0,4 kV	Umspanner zum Niederspannungsnetz
7	0,4 kV	Niederspannungsnetz

Hoch- und Höchstspannungsnetz der APG

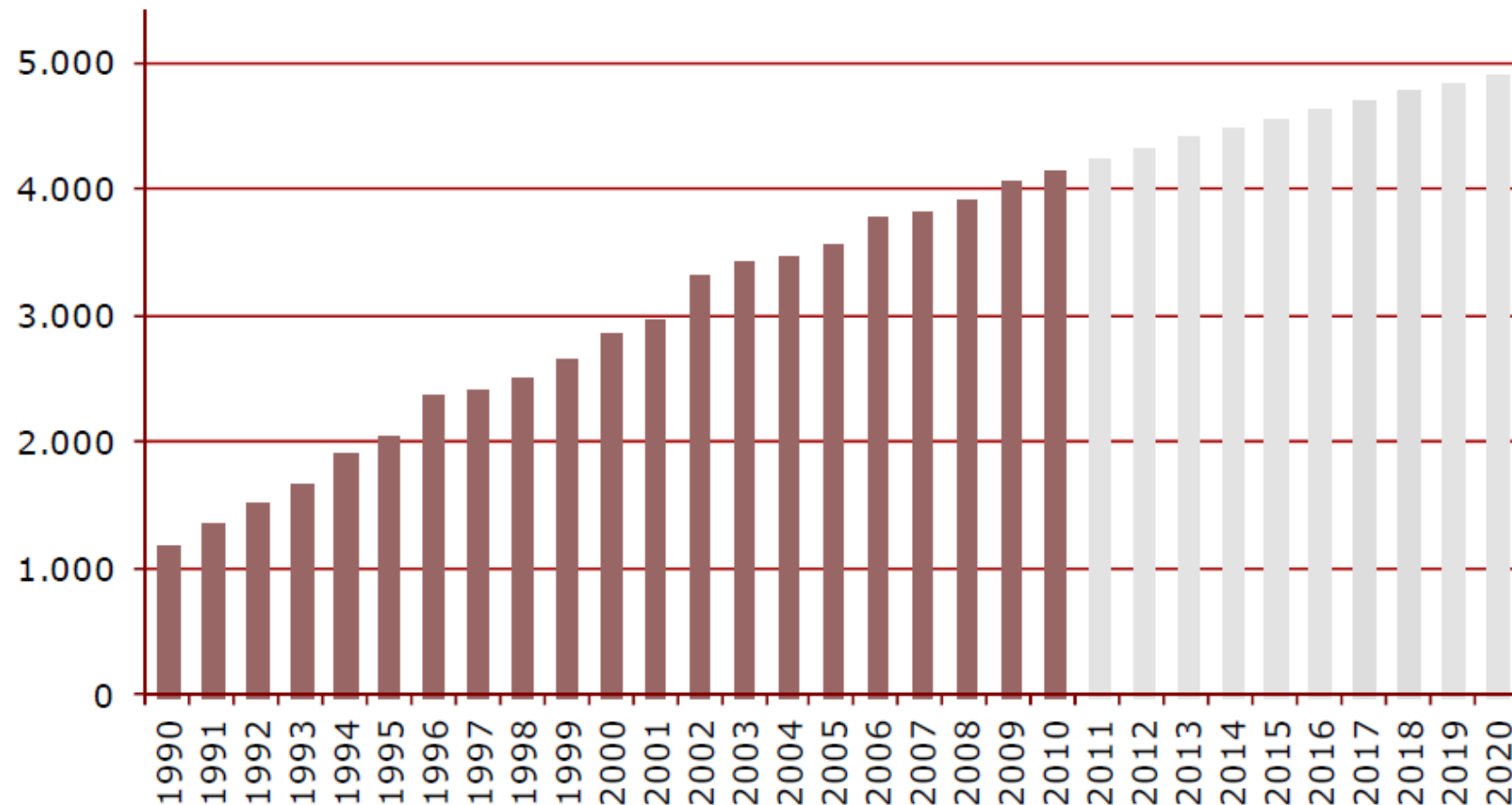


[Quelle: APG]

Fernwärme in AT

- Erzeugung in Kraft-Wärme-Kopplungs (KWK)-Anlagen → höherer Gesamtwirkungsgrad
- Temperaturabhängige Wärmenachfrage
- Wassergeführtes Wärmeverteilsystem
- Fernwärmeversorgung vorwiegend durch kommunale Unternehmen
- Schwerpunkte der Fernwärmeversorgung Wien, Graz, Linz, Salzburg, Klagenfurt, St. Pölten und Wels, aber auch kleinere Gemeinden

Netzlängenentwicklung Fernwärme in AT in km



Elektrische Energieversorgung

Elektrische Energiesysteme haben die folgenden Aufgaben:

- Energie verlustfrei übertragen und verteilen
- Spannungsschwankungen gering halten bei Be- und Entlastungen
- Ausreichende Überlastbarkeit bei Ausfällen von Komponenten
- Schnelle Wiederversorgung nach Spannungsunterbrechungen

Elektrische Energieversorgung (2)

Elektrische Energiesysteme bestehen aus den Bereichen:

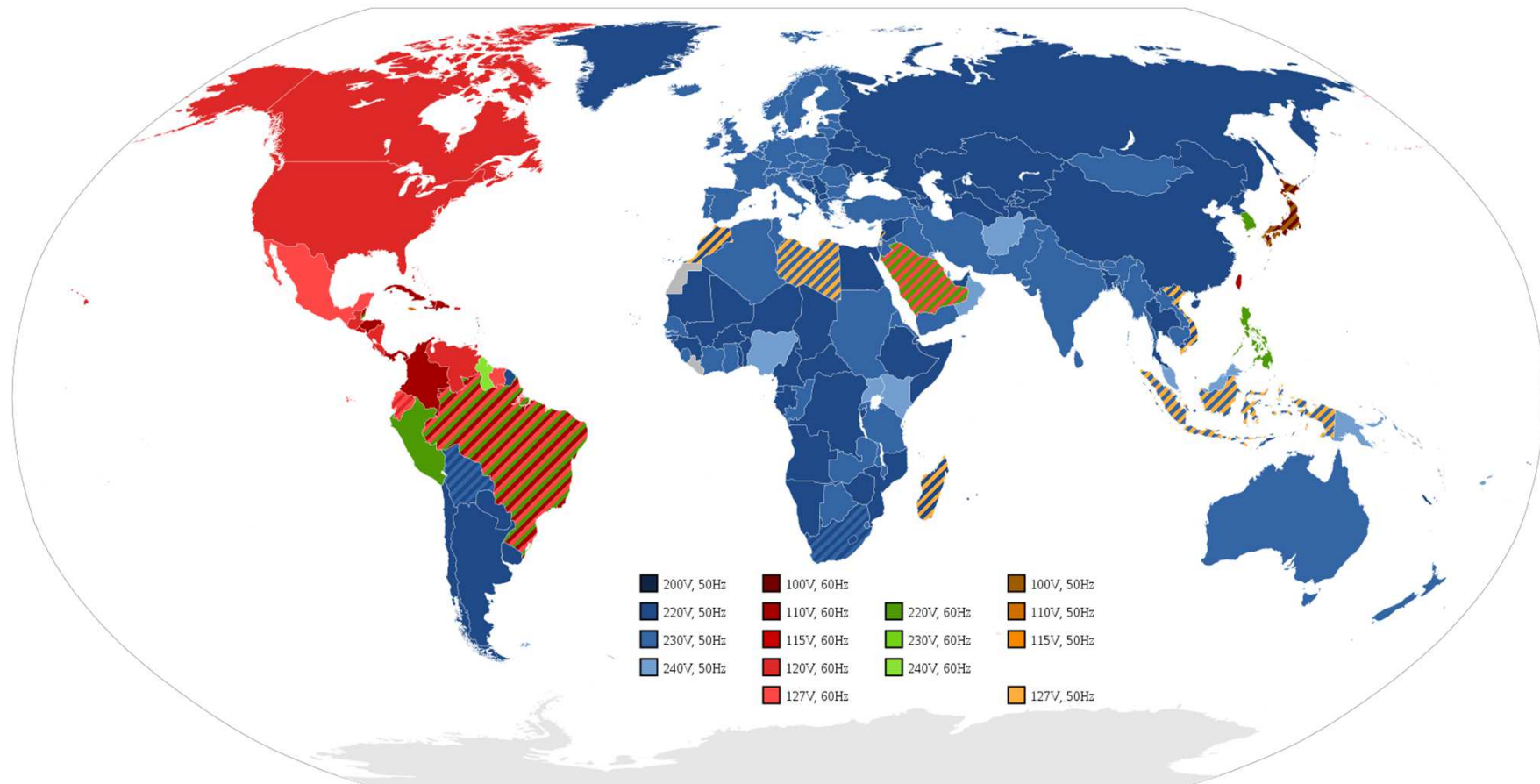
- Erzeugung (Kraftwerke, Energiekonverter)
- Übertragung mit Spannungen über 60 kV
- Verteilung mit Spannungen unter 60 kV
- Speicher (zentral, dezentral)

Elektrische Energieversorgung (3)

Die physikalischen Einheiten der elektrischen Energieversorgung sind:

- Spannung in Kilovolt (kV)
- Strom in Kiloampere (kA)
- Wirkleistung in Megawatt (MW)
- Blindleistung in Megavoltampere reaktiv (MVar)
- Scheinleistung in Megavoltampere (MVA)

Spannung und Frequenz im Haushalt



Ausblick

- Berechnung von elektrischen Energiesystemen

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

- Energieversorgung
 - Montag, 08:30 (s.t.) – 10:00 Uhr
- Wolfgang Gawlik
 - gawlik@ea.tuwien.ac.at