

Einführung in die Energiewirtschaft

4) Der Energieträger Steinkohle

4.1. Einleitung

4.2. Reserven und Ressourcen

4.3. Steinkohleförderung und –nutzung

4.1 Einleitung: Kohle

- Kohle ist aus Pflanzen entstanden, die abgelagert wurden z.B. in frühzeitlichen Mooren, die nach einer Absenkung überdeckt und damit unter Ausschluss von Sauerstoff Druck und Temperatur ausgesetzt wurden (Inkohlungsprozeß)
- Kohlen besitzen einen uneinheitlichen Aufbau und unterschiedliche Qualitäten (unterschiedlicher Aschegehalt, Schwefelgehalt, flüchtige Bestandteile sowie unterschiedliche Heizwerte).
- Hauptbestandteile von Kohlen sind Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff, Schwefel und Stickstoff, wobei der Gehalt der einzelnen Bestandteile stark schwankt.
- Zu unterscheiden sind Kesselkohlen für Kraftwerke und Wärmemarkt sowie Koks-kohlen für die Roheisenerzeugung

Hartkohlen (Heizwert > 15 MJ/kg)

- Hartbraunkohle
- Flammkohlen
- Fettkohlen
- Esskohlen
- Magerkohlen
- Anthrazit

Quelle: Voß 2004

Marktrelevante Merkmale von Kraftwerkskohlen

- Abbau:
 - Kosten

- Transport:
 - Kosten
 - Dauer

- Einsatzfähigkeit:
 - Energiedichte (kcal/kg)
 - Wasseranteil
 - Flüchtige Bestandteile
 - Aschegehalt
 - Schwefelgehalt
 - Härtegrad (HGI)
 - Weitere chemische Bestandteile

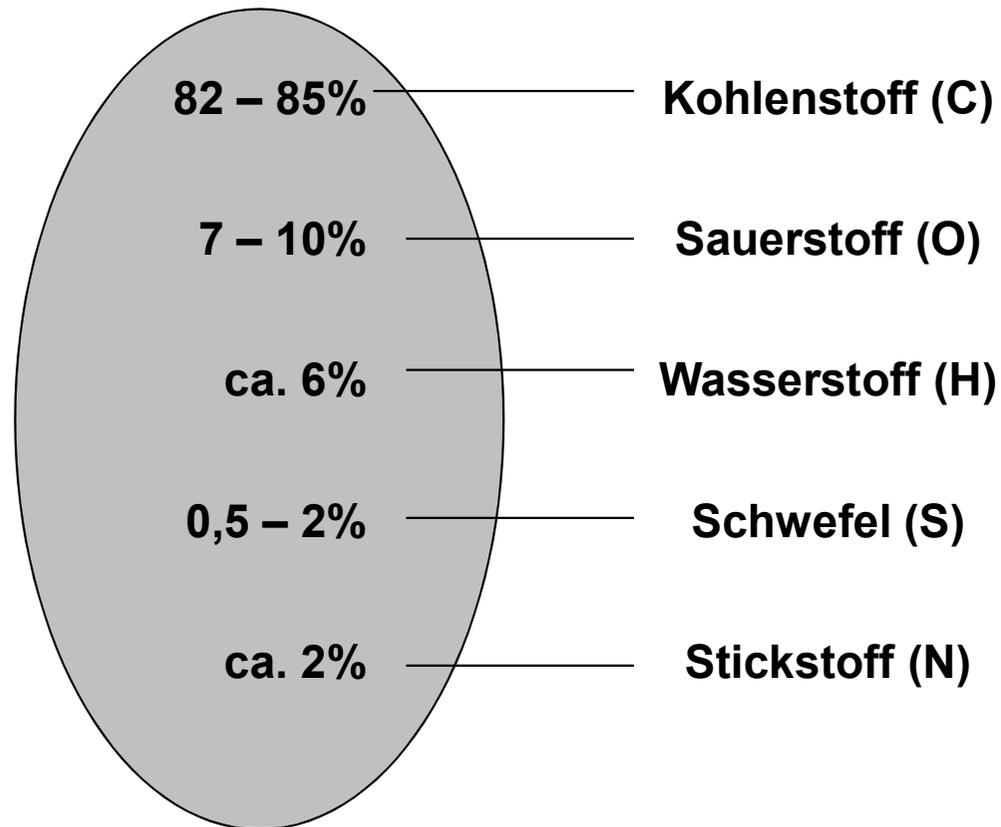
Handelsübliche Einteilung von Steinkohlenarten

Kohlearten und Torf			Gesamt Wassergehalt (%)	Energieinhalt af* (kJ/kg)	Flüchtige Bestandteile (%) waf**	Vitrinit-Reflexion in Öl (%)
UN-ECE	USA (ASTM)	Deutschland (DIN)				
Peat	Peat	Torf				
Ortho-Lignite	Lignite	WEICHBRAUNKOHLE	75	6700		
Meta-Lignite	Sub-bituminous Coal	Mattbraunkohle	35	16 500		0,3
Subbitum. Coal	Sub-bituminous Coal	Glanzbraunkohle	25	19 000		0,45
Bituminous Coal	High Volatile Bituminous Coal	Flammkohle	10	25 000	45	0,65
		Gasflammkohle			40	0,75
		Gaskohle			35	1,0
		Fettkohle		36 000	28	1,2
		Eßkohle			19	1,6
Anthracite	Semi-Anthracite	Magerkohle			14	1,9
	Anthracite	Anthrazit	3	36 000	10	2,2

* af = aschefrei, waf** = wasser-aschenfrei

Quelle: BGR 2011

Hauptbestandteile von Gasflamm-Steinkohlen



Einführung in die Energiewirtschaft

4) Der Energieträger Steinkohle

4.1. Einleitung

4.2. Reserven und Ressourcen

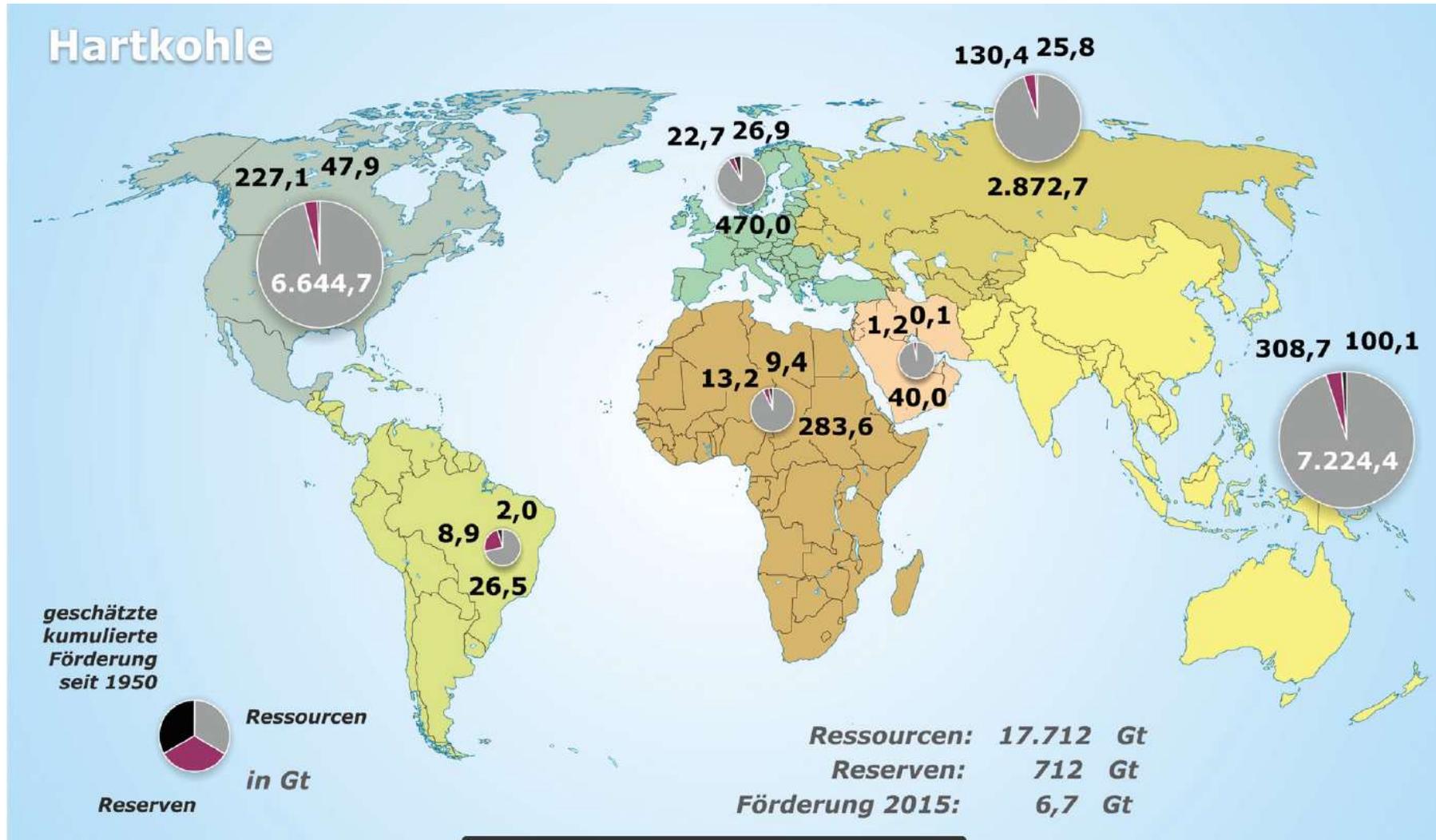
4.3. Steinkohleförderung und –nutzung

4.2 Reserven und Ressourcen an Hartkohle

- Sicher gewinnbare Reserven: 728 Gt (Mrd. t)
 - Im Gegensatz zu Erdöl und konventionellem Erdgas sind Kohlevorkommen und deren Produktion auf viele Unternehmen und Staaten verteilt.
 - Insbesondere USA (29,2 % Weltanteil), China (23,5 %) und Indien (10,5 %)
 - In Deutschland ca. 0,04 Gt (subventioniert bis 2018)
- Ressourcen: 17 204 Gt (Mrd. t)
 - Insbesondere USA (38% Weltanteil), China (29%), Russland (15%)

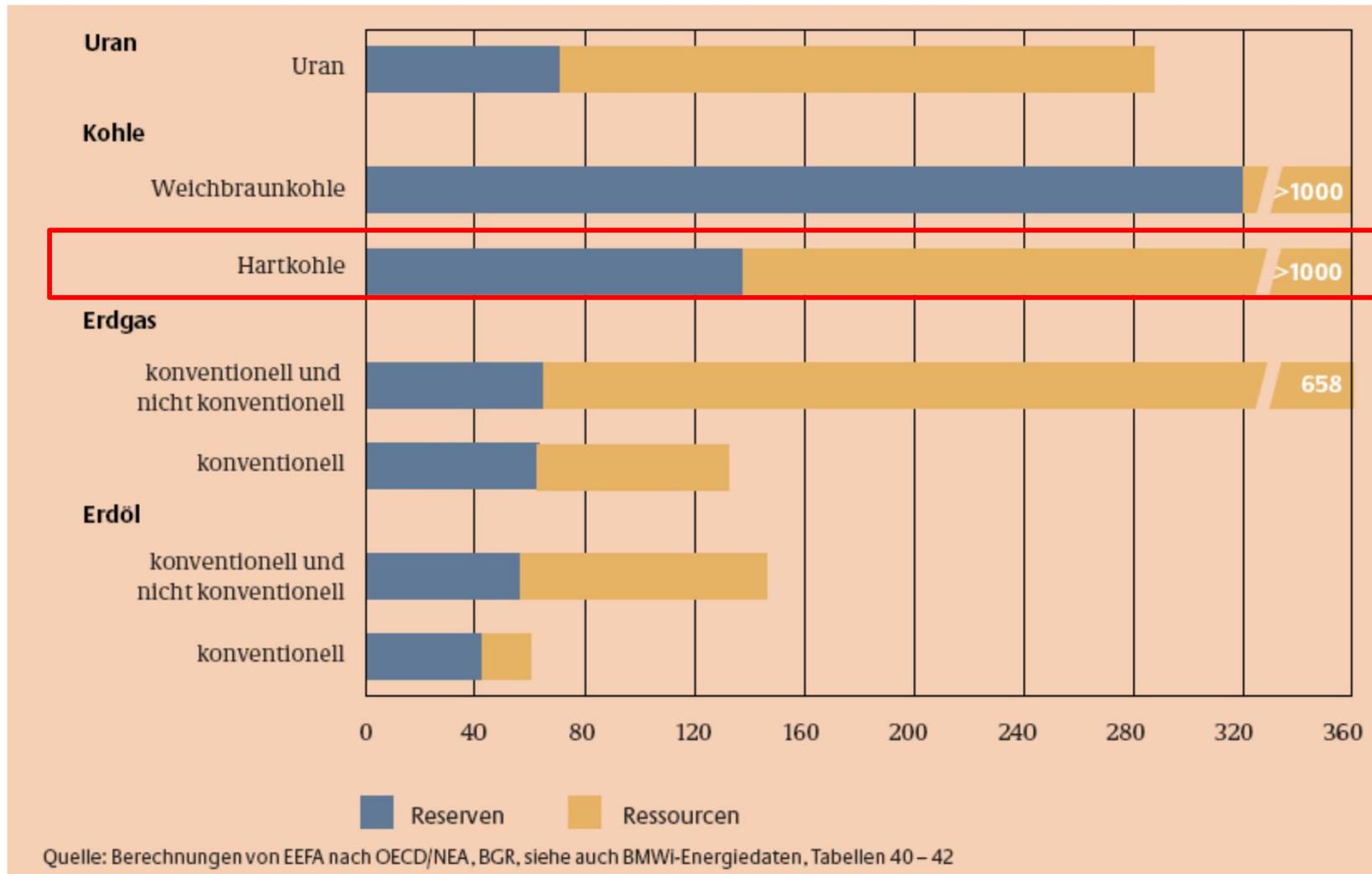
Quelle: BGR 2013/2015

Hartkohlereserven [Gt]



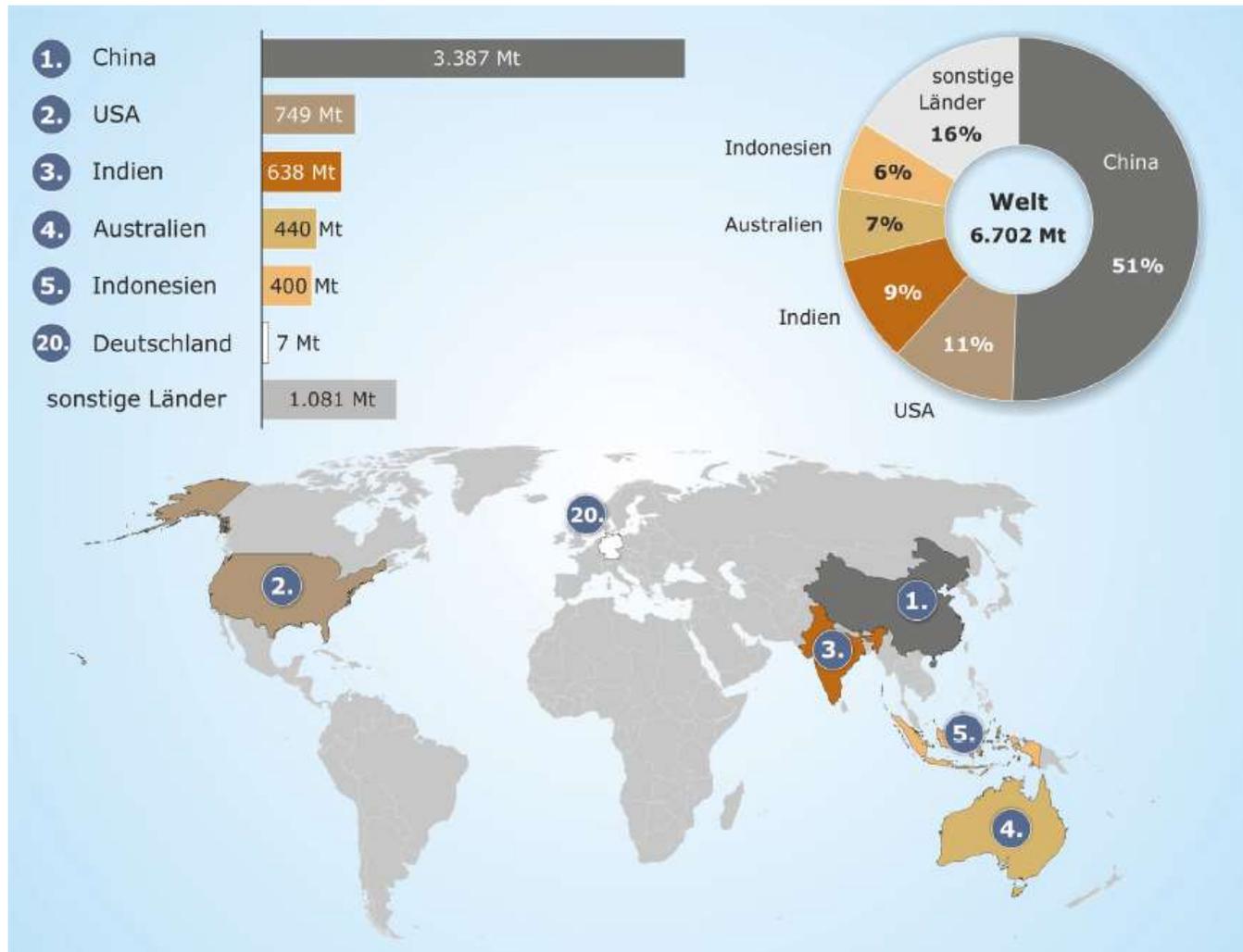
Quelle: Energiestudie 2016

Statische Reichweite der Reserven und Ressourcen fossiler Brennstoffe (Welt)



Quelle: BMWi 2008

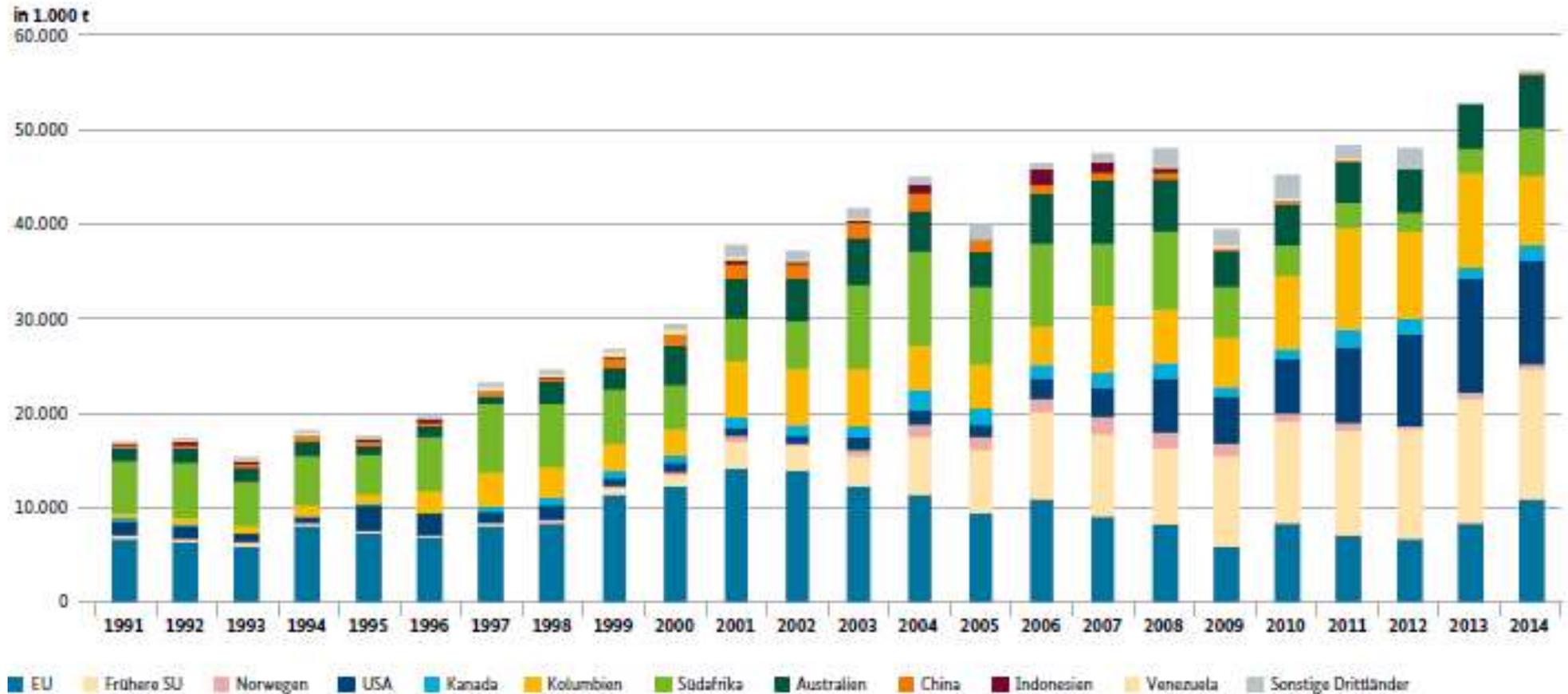
Die größten Hartkohleförderländer 2015



- Die höchsten Hartkohleimporte verzeichnen China, Indien und Japan mit einem Gesamtvolumen von ca. 595 Mt (47,5 %)
- Asien dominiert den globalen Hartkohleimport-Markt mit rund 71%
- Rund ein Sechstel der weltweiten Hartkohleimporte entfiel auf die EU (195,7 Mt)

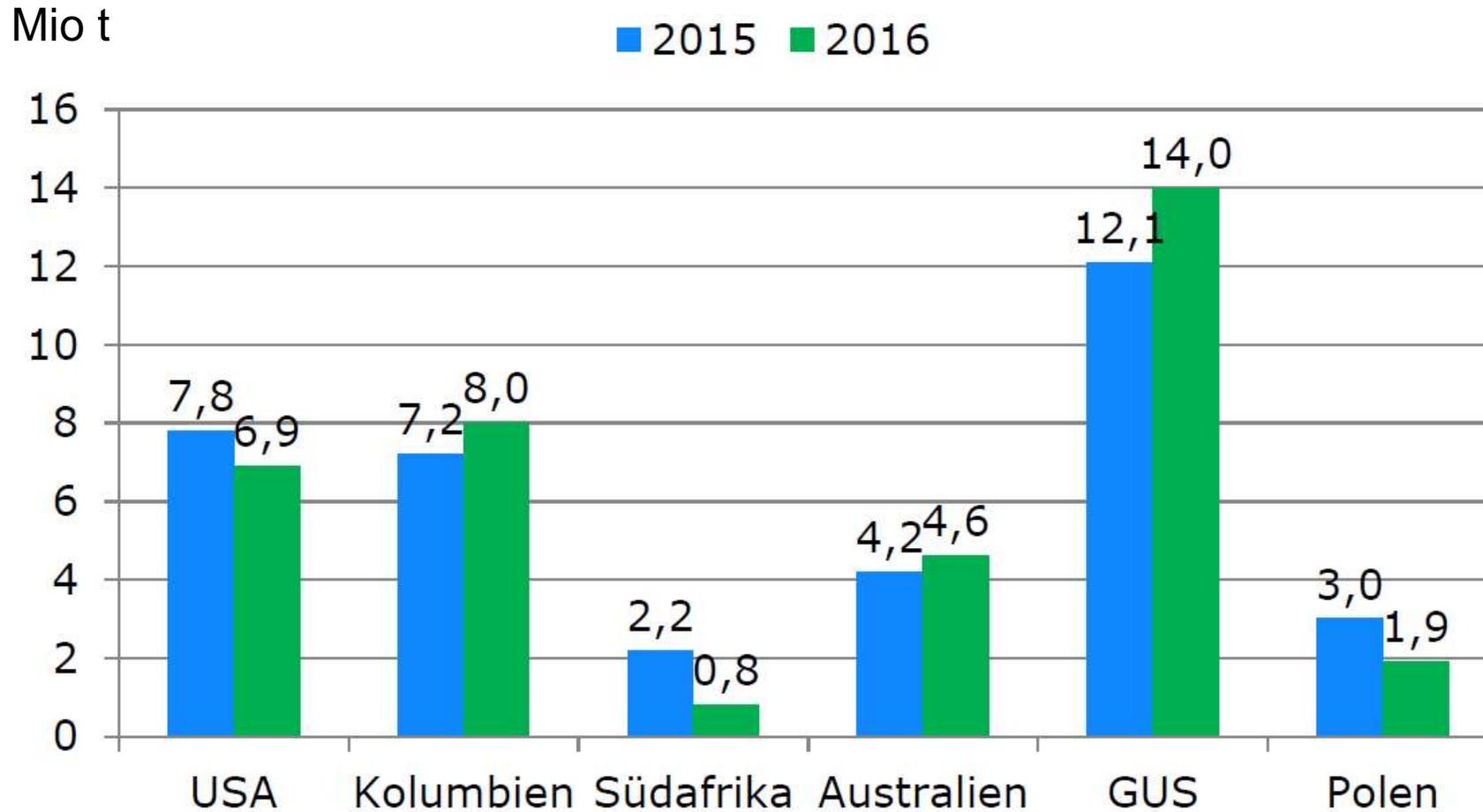
Quelle: Energiestudie 2016

Steinkohleimporte nach Deutschland



Quelle: Verein der Kohlenimporteure e.V.

Steinkohleimporte nach Deutschland



Quelle: VDKi Aufbereitung von StabuA-Daten

Einführung in die Energiewirtschaft

4) Der Energieträger Steinkohle

4.1. Einleitung

4.2. Reserven und Ressourcen

4.3. Steinkohleförderung und –nutzung

Steinkohlenverbrauch in Deutschland in 2015

- Importe ~ 52,4 Mio t
- Inlandsproduktion ~ 6,4 Mio t SKE (fallend)
- Kein Bestandsaufbau
- Gesamt Steinkohleverbrauch ~ 58,6 Mio t

Quelle: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen 2016

Mengenströme deutscher Importkohle (2004)

Deutsche Importkohle	43,5 Mio. t
<hr/>	
Deutsche Seehäfen	13,7 Mio. t
Zulauf zum Kraftwerk per:	
- Bahn	6,0 Mio. t
- Binnenschiff	2,8 Mio. t
- Direkt	4,9 Mio. t
<hr/>	
ARA-Häfen	24,0 Mio. t
Zulauf zum Kraftwerk per:	
- Bahn	4,5 Mio. t
- Binnenschiff	19,5 Mio. t
<hr/>	
Polen, Tschechien	5,8 Mio. t
Zulauf zum Kraftwerk per:	
- Bahn	5,8 Mio. t
<hr/>	
∑ Zulauf zu den Kraftwerken per:	
- Bahn	16,3 Mio. t
- Binnenschiff	22,3 Mio. t
- Direkt	4,9 Mio. t

Quelle: Lange 2010

Vorlaufzeiten in der Kohlelogistik für den Import nach Deutschland (in Wochen)

	Anmeldefrist	Ladezeitfenster	Seereise	Binnen-transport	Wiederbeschaffungszeit
Australien	4	2	6	1	13
Indonesien / China	4	2	6	1	13
Südafrika	4	2	3	1	10
Kolumbien	4	2	2	1	9
Polen / Russland	4	2	1	1	8

Quelle: Lange 2010

Hartkohle Abbaustätten in Deutschland

- Ibbenbüren
- Ruhrgebiet

Instrumente der Subventionierung

- Einfuhrbegrenzung (bis 1996) – Inlandsmarktabstottung

- Abnahmeverpflichtungen der Elektrizitätswirtschaft und Stahlindustrie
 - ab 1975 "Kohlepfenning" in der Eleektrizitätswirtschaft
 - Anstieg des jährlichen Aufkommens bis auf ca. 3 Mrd. €
 - 1994 Feststellung der Verfassungswidrigkeit (steuerähnliche Belastung durch privatrechtliche Vereinbarung)

- Direkte Subventionen
 - 1997 Genehmigung jährl. Subventionen von 5,2 Mrd. € durch EU-Kommission (2005: 2,8 Mrd. €, 2008 etwa 2,0 Mrd. €)

- Rahmenvereinbarung zur sozialverträglichen Beendigung des Steinkohlebergbaus bis 2018

Einführung in die Energiewirtschaft

5) Der Energieträger Braunkohle

5.1. Einleitung

5.2. Reserven und Ressourcen

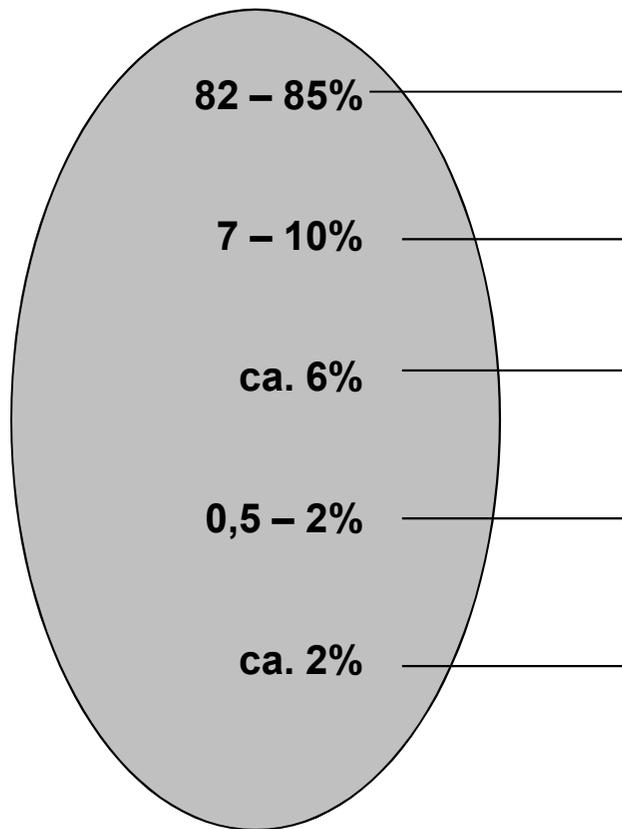
5.3. Die heimische Braunkohle

5.1 Einleitung: Braunkohle

- Braunkohlen sind im Vergleich zu Steinkohlen wesentlich jünger
- Braunkohlen haben hohen Wassergehalt (~ 50%), einen geringeren Kohlenstoffgehalt und einen geringeren Heizwert als Steinkohlen
 - Kein Ferntransport von Braunkohlen
 - Braunkohlen werden vor allem im Tagebau abgebaut
- Braunkohlen werden unterschieden in Weich- und Hartbraunkohle

Vergleich der Hauptbestandteile

Gasflamm-Steinkohlen



Kohlenstoff (C)

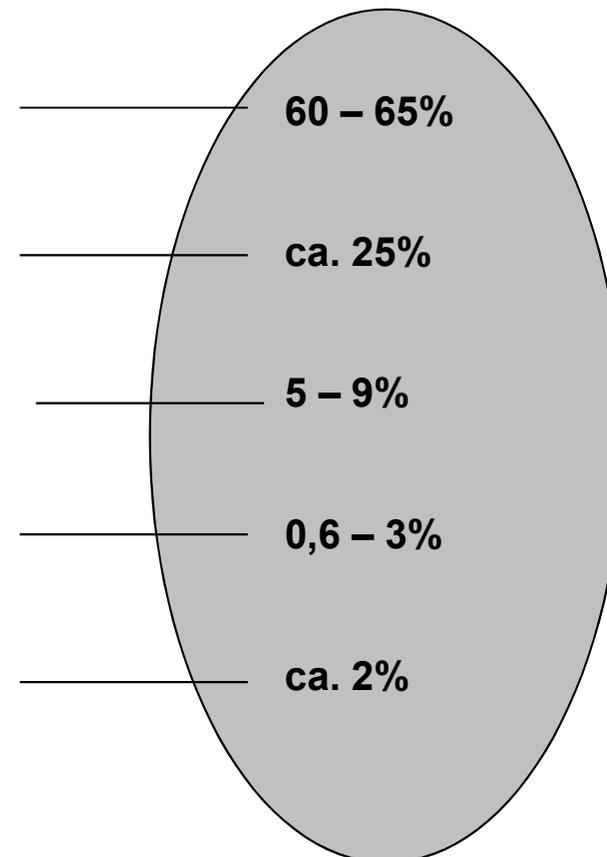
Sauerstoff (O)

Wasserstoff (H)

Schwefel (S)

Stickstoff (N)

Weichbraunkohle



60 – 65%

ca. 25%

5 – 9%

0,6 – 3%

ca. 2%

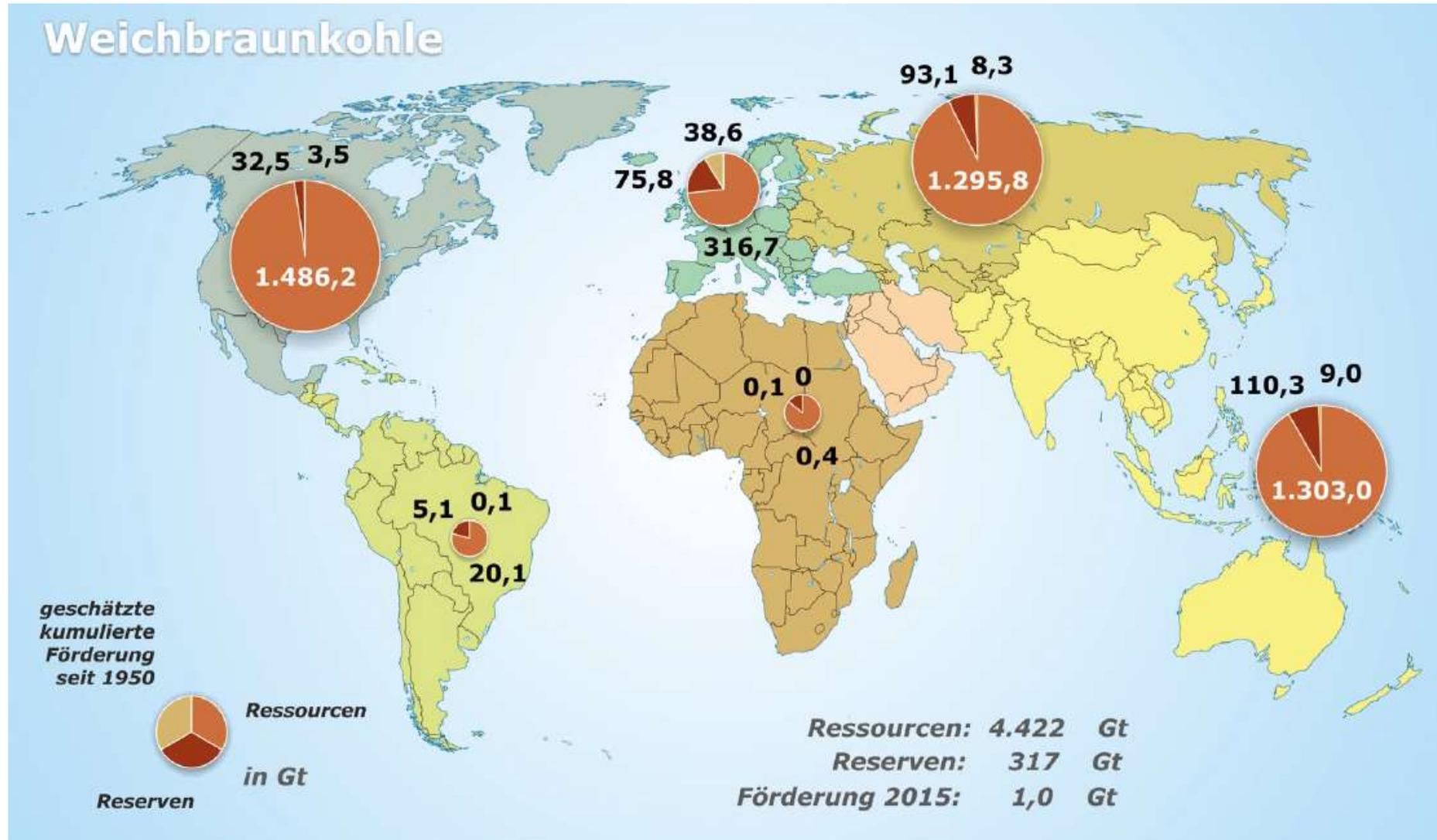
5.2 Reserven und Ressourcen an Weichbraunkohle

- Sicher gewinnbare Reserven: ~ 286 Mrd. t
 - Russland (32% am Weltanteil)
 - Deutschland (14,3%)
 - Australien (15,6%), USA (10,8%), China (3,9%)

- Ressourcen: ~ 4.419 Mrd. t
 - USA (33% am Weltanteil)
 - Russland (31%)
 - China (7%)

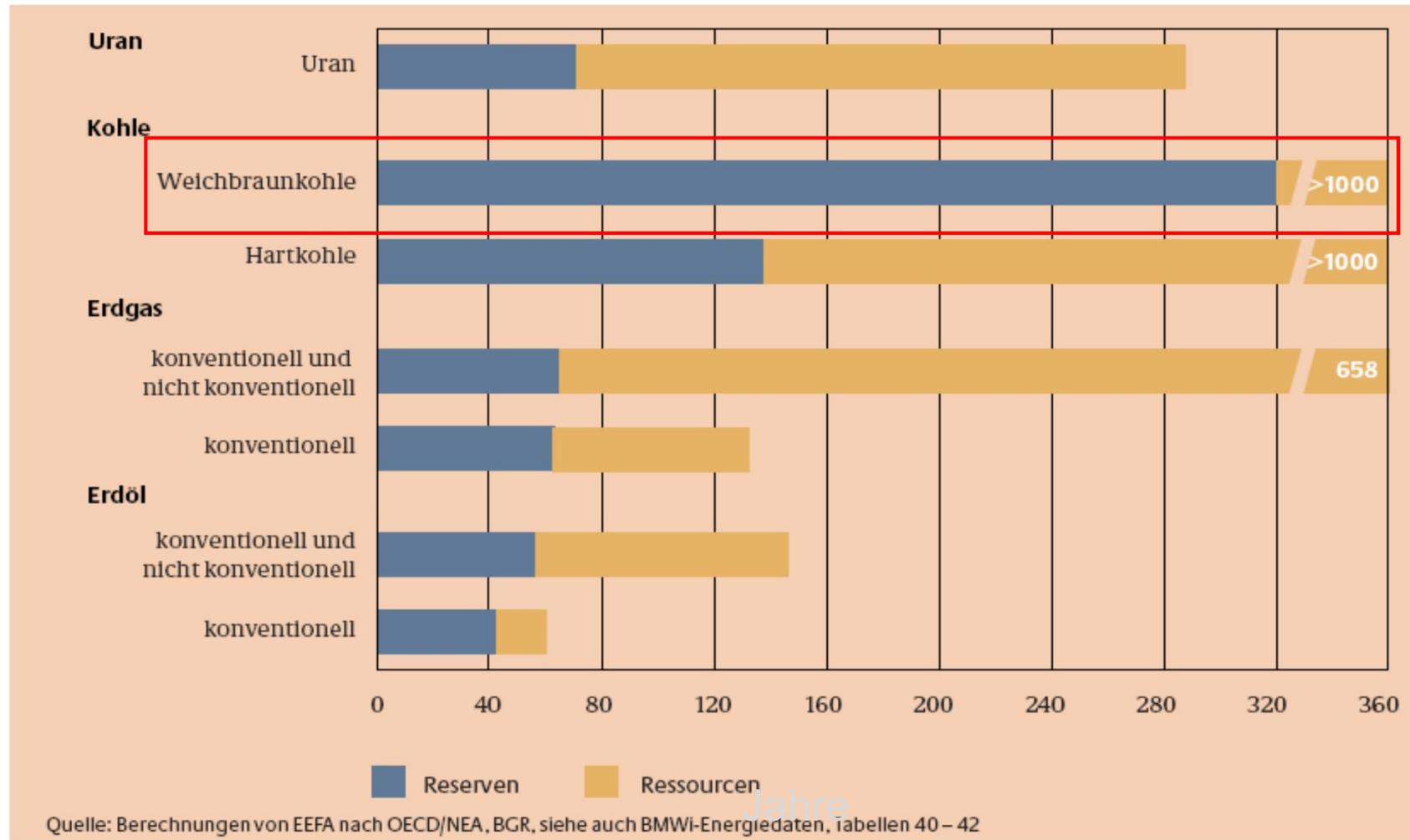
Quelle: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (GBR) 2013

Weichbraunkohle



Quelle: Energiestudie 2016

Statische Reichweiten fossiler Energieträger (Welt)



Quelle: BMWi 2008

5.3. Die heimische Braunkohle

Kohlequalitäten der Braunkohlereviere in Deutschland

Reviere	Heizwert in kJ/kg	Aschegehalt in %	Wassergehalt in %	Schwefelgehalt in %
Rheinland	7.800 - 10.500	1,5 – 8,0	50 – 60	0,15 – 0,5
Helmstedt	10.000 - 12.000	10,2 – 18,0	42 – 48	1,8 – 2,8
Lausitz	8.640 - 9.320	2,6 – 10,2	52 – 56	0,3 – 1,1
Mittel- deutschland	9.000 - 11.500	6,5 – 8,5	48 - 53	1,5 – 2,1

Quelle: Voß 2004

Braunkohle in Deutschland (2015)

■ Förderung	178,1 Mt
■ Reserven	~ 36,2 Gt
■ Ressourcen	~ 36,5 Gt
■ Verbleibendes Potenzial	~ 72,7 Gt

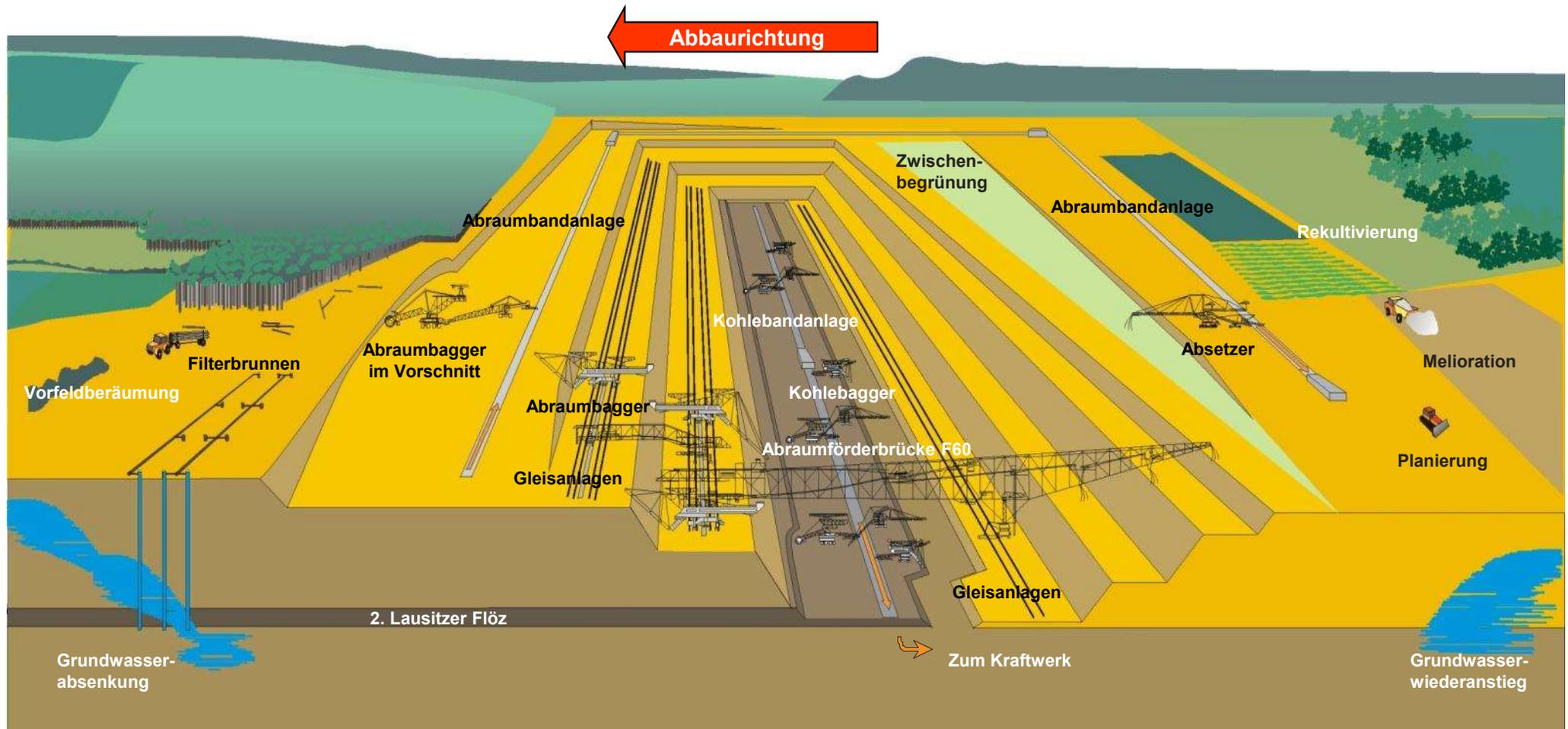
Quelle: Energiestudie 2016

Lagerstätten und Tagebaue in Deutschland



Quelle: Statistik der Kohlewirtschaft 2013

Tagebau Förderprinzip



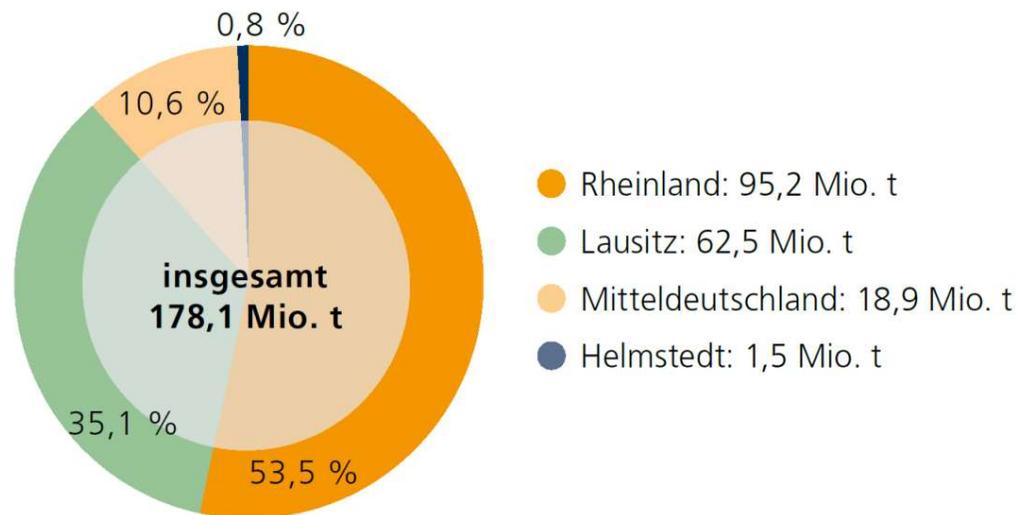
■ Abraumförderbrücke

Quelle: Vattenfall

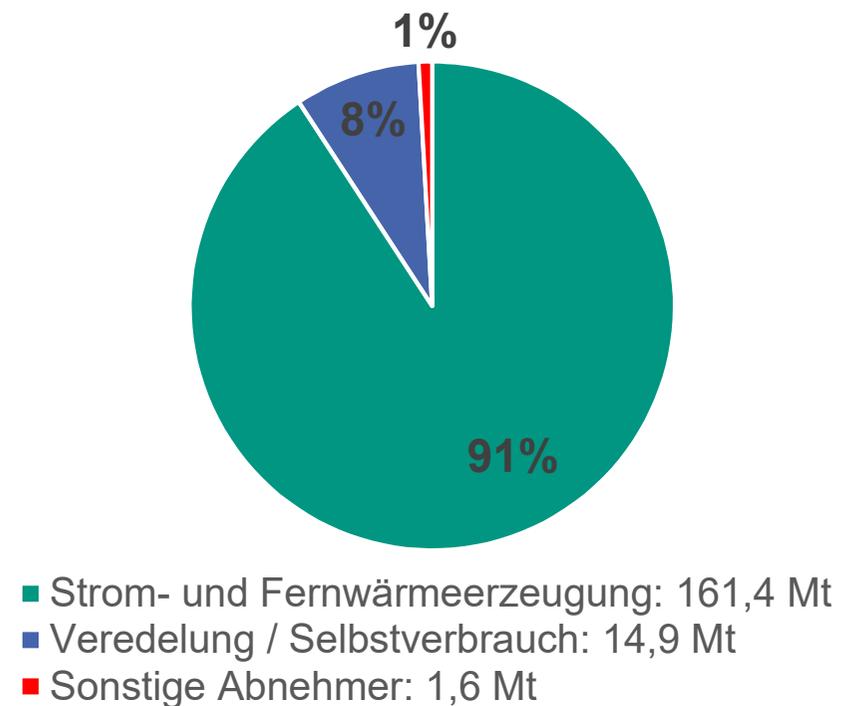
- ca. 500m lang, 200m breit und 80m hoch, 11.000 Tonnen schwer

Braunkohleförderung- und Verwendung (2015)

Braunkohlenförderung nach Revieren



Verwendung von Braunkohle



Quelle: Bundesverband Braunkohle (DEBRIV) (2015)

Kosten

- Es existiert kein Markt für Braunkohle
- Bereitstellungskosten ~ 0.4 Cent/kWh

Einführung in die Energiewirtschaft

6) Erneuerbare Energieträger

Charakteristika der regenerativen Energiequellen

- „Quasi“ unerschöpflich

- Großes theoretisches Potenzial
 - Bspw. ist die eingestrahlte Solarenergie deutlich größer als der Weltprimärenergieverbrauch

- Vorteile:
 - Nahezu emissionsfreie Energiebereitstellung
 - Importunabhängigkeit
 - Geringe variable Kosten
 - Energieträger weltweit verteilt verfügbar

Charakteristika der regenerativen Energiequellen

- Probleme:
 - Niedrige Leistungs- und Energiedichten
 - Hohe Investitionen in die Anlagen
 - Teilweise Notwendigkeit das Auseinanderfallen von Angebot und Energienachfrage auszugleichen
 - Speichereinrichtungen
 - Back-up Kapazitäten
 - Koordination mit anderen Kraftwerken

Förderung erneuerbarer Energien nach dem EEG

- Erneuerbare Energien sind Wasserkraft ..., Windenergie, solare Strahlungsenergie, Geothermie, Energie aus Biomasse einschließlich Biogas, Deponiegas und Klärgas sowie aus dem biologisch abbaubaren Anteil von Abfällen aus Haushalten und Industrie.
- Vorrangige Abnahme und Übertragungspflicht durch den Netzbetreiber
- Instrumente: Einspeisevergütungen, Marktprämien, Ausschreibungen
- Netzanschlusskosten trägt Anlagenbetreiber, Netzausbau der Netzbetreiber
- Die entstehenden Mehr-Kosten (Vergütung-Marktwert) werden auf alle Endverbraucher umgelegt, die Strom aus dem Netz beziehen

Einführung in die Energiewirtschaft

7) Der Energieträger Uran

7.1. Einleitung

7.2. Brennstoffkreislauf

7.3. Reserven und Ressourcen

7.1 Einleitung: Prinzip der Nutzung von Uran

- **Atomaufbau:** Die Hüllenelektronen tragen eine negative elektrische Elementarladung und kompensieren die positiven Ladungen des Kerns.
- Die Atomkerne sind aus Protonen und Neutronen aufgebaut. Man bezeichnet diese Teilchen als Nukleonen, ihre Gesamtzahl als Massenzahl.
- Die Protonen tragen eine positive Elementarladung, die Neutronen sind elektrisch neutral.

Prinzip der Nutzung von Uran

- Umwandlung eines kleinen Teils der Masse in Energie (Massendefekt) beim
 - Verschmelzen leichter Kerne (Fusion)
 - Spalten schwerer Kerne (Fission)
- Energiefreisetzung bei der Kernspaltung u. a. durch
 - Bewegungsenergie (z. B. der Spaltprodukte)
 - Gammastrahlung
- Wärmeerzeugung zur Wasserdampfproduktion

Einsatzstoffe beim Spalten schwerer Kerne

- Brennstoffe für die Energiebereitstellung durch Kernspaltung: Uran (und Thorium)
- Uran kommt als Mischung von 3 Isotopen vor
 - U238 (ca. 99,3 %)
 - U235 (ca. 0,7 %), leicht spaltbar
 - U234 (ca. 0,006 %)
- 1 kg Uran hat einen in einem Leichtwasserreaktor nutzbaren Energieinhalt von ca. 500 GJ

7.2 Brennstoffkreislauf

- Urangewinnung durch Trennung vom übrigen Gestein
 - Uran-Oxid („Yellow cake“)

- Anreicherung von Uran 235
 - Umwandlung vom „Yellow cake“ in Uran-Hexafluorid (UF₆)

- Herstellung von Brennelementen
 - Umwandlung von Uran-Hexafluorid (UF₆) in Uran-Oxid (UO₂)
 - Pressen von UO₂ zu Tabletten
 - mehrere Tabletten bilden in einem Rohr den sog. Brennstab

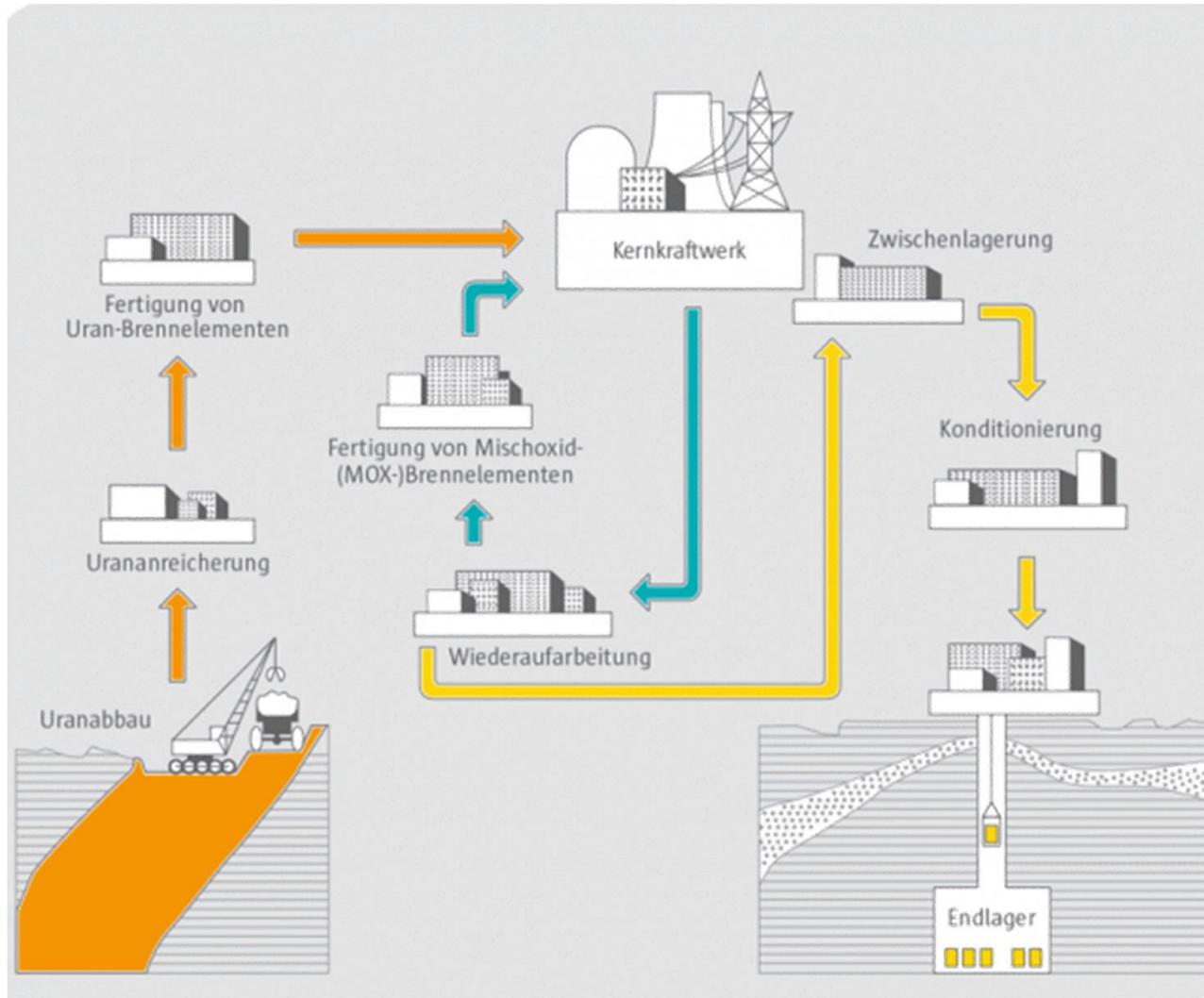
Brennstoffkreislauf

- Einige Jahre Einsatz in einem Reaktor
 - Austausch der Brennelemente
 - Zwischenlagerung (im Kernkraftwerk)

- Wiederaufbereitung
 - Aufsägen der Brennstäbe
 - Trennung in Uran, Plutonium und Spaltprodukte

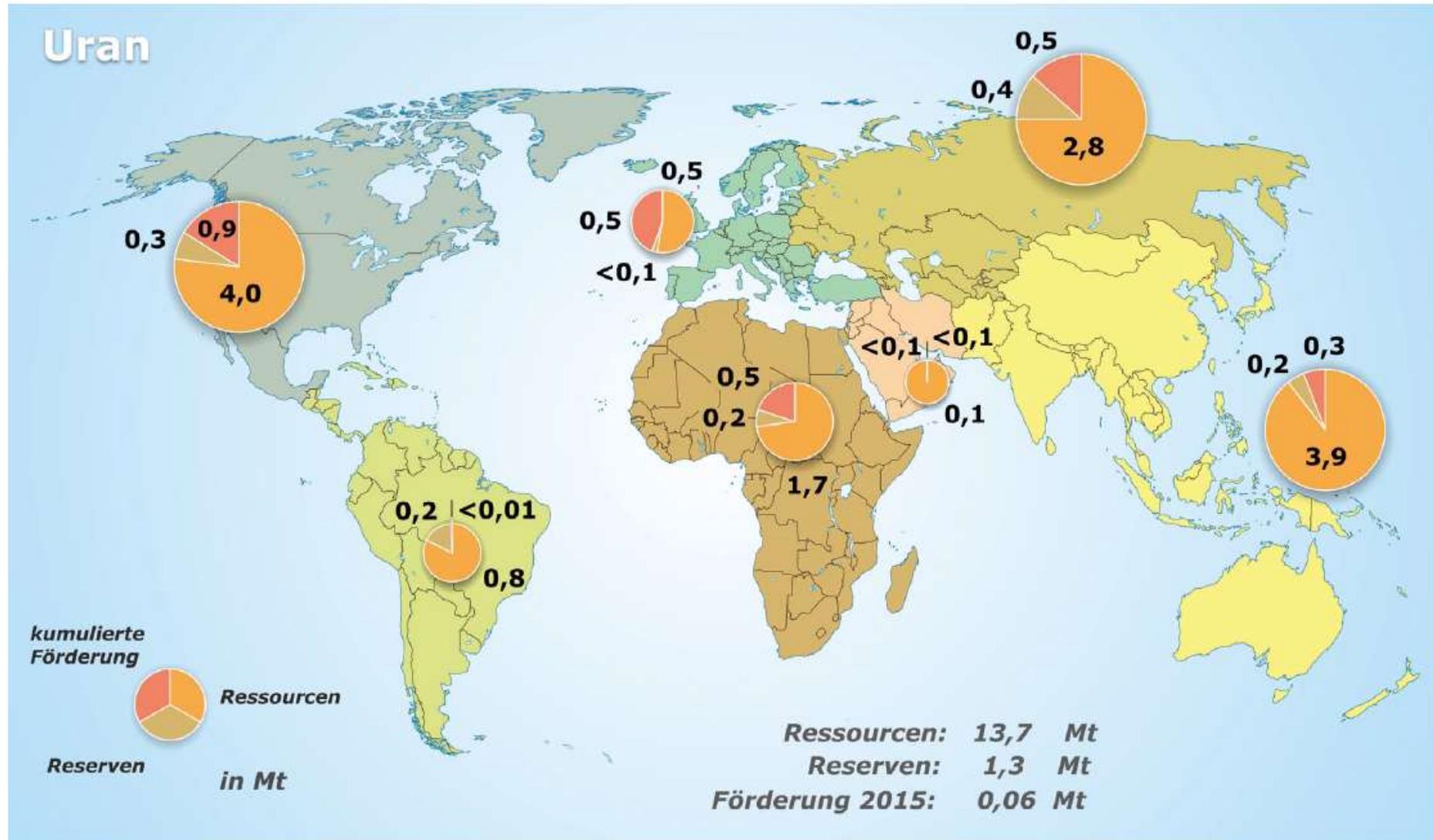
- Endlagerung

Brennstoffkreislauf



Quelle: AREVA GmbH

7.3 Reserven und Ressourcen von Uran



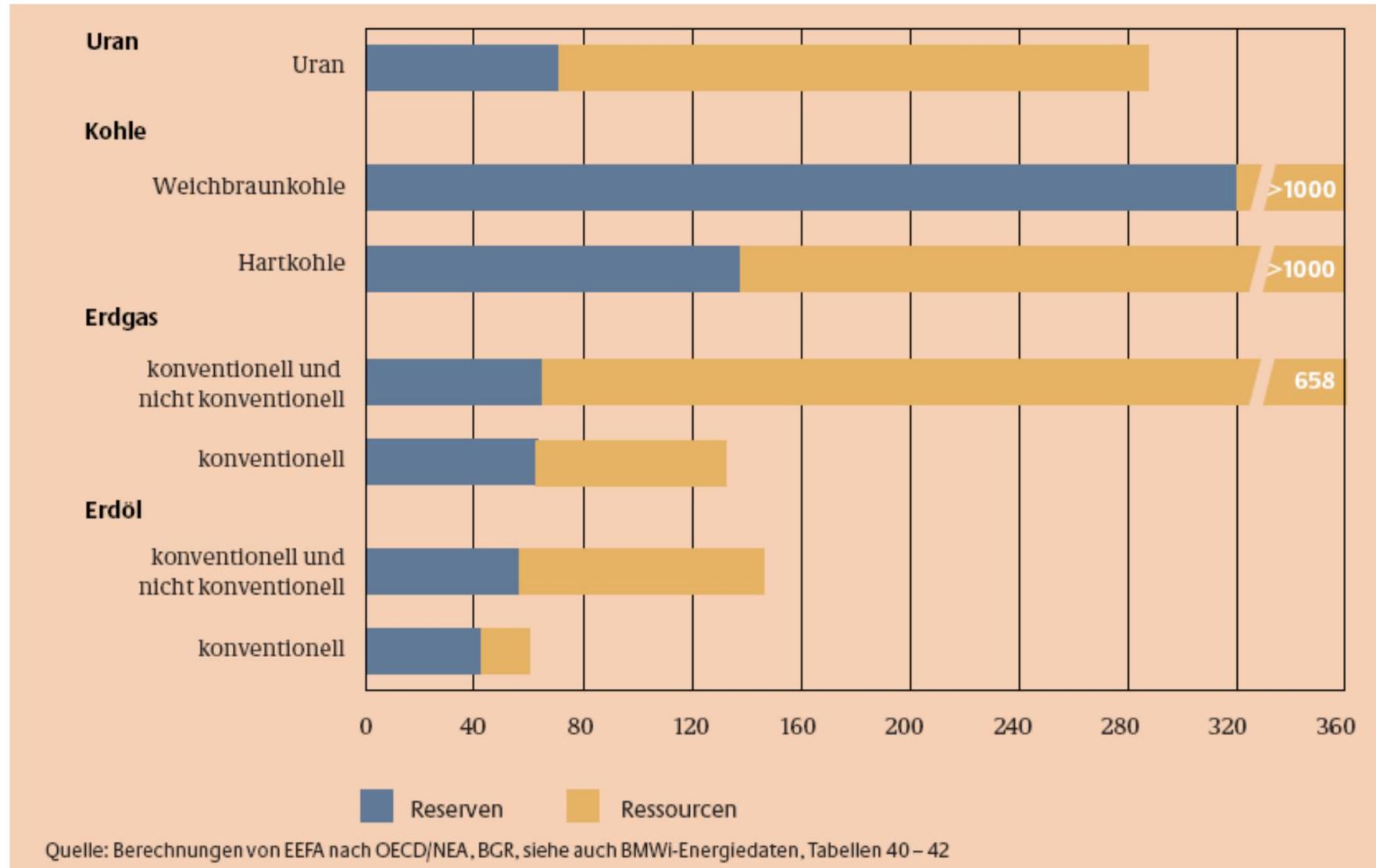
Quelle: Energiestudie 2016

Reserven und Ressourcen von Thorium

- Reserven: ~ 0,8 Mio. t. Thorium
- Ressourcen: ~ 5 Mio. t. Thorium

Quelle: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (GBR), 2010

Statische Reichweiten



Quelle: BMWi 2008