



- Brenn- und Treibstoffe (chemische Energie)
- Arten von Energieumwandlung
- Umwandlung durch Verbrennung
- Direkte elektrochemische Umwandlung (Brennstoffzelle)
- Wärme und Wärme-Kraft-Kopplung
- Zusammenfassung

Energiewende in der Schweiz

Liebe Teilnehmerinnen und Teilnehmer, in diesem Kurs konzentrieren wir uns auf Technologien, die es uns erlauben, aus der chemischen Energie, die in Brennstoffen enthalten ist, Elektrizität und/oder Wärme zu gewinnen. Der Brennstoff kann fossiler Natur sein, zum Beispiel Erdgas oder Erdöl, aus Biomasse stammen, Holz zum Beispiel, oder synthetisch hergestellt werden, zum Beispiel, wenn er aus erneuerbaren Energien gewonnen wird. Wir erinnern daran, dass Brennstoffe mehr als 3/4 des gesamtschweizerischen Endenergieverbrauchs darstellen. Im Weiteren erklären wir den Unterschied zwischen Treibstoff und Brennstoff, schauen uns die verschiedenen Energieumwandlungswege und Technologien an, um Elektrizität zu generieren, und beschreiben ausführlich die Unterschiede zwischen Verbrennungsmaschinen und elektrochemischer Umwandlung mittels Brennstoffzellen. Ein weiteres Thema ist die Wärme-Kraft-Kopplung, eine Technologie, die es erlaubt, Elektrizität zu generieren und die Abwärme, die durch diesen Prozess entsteht, zu nutzen.

Notes

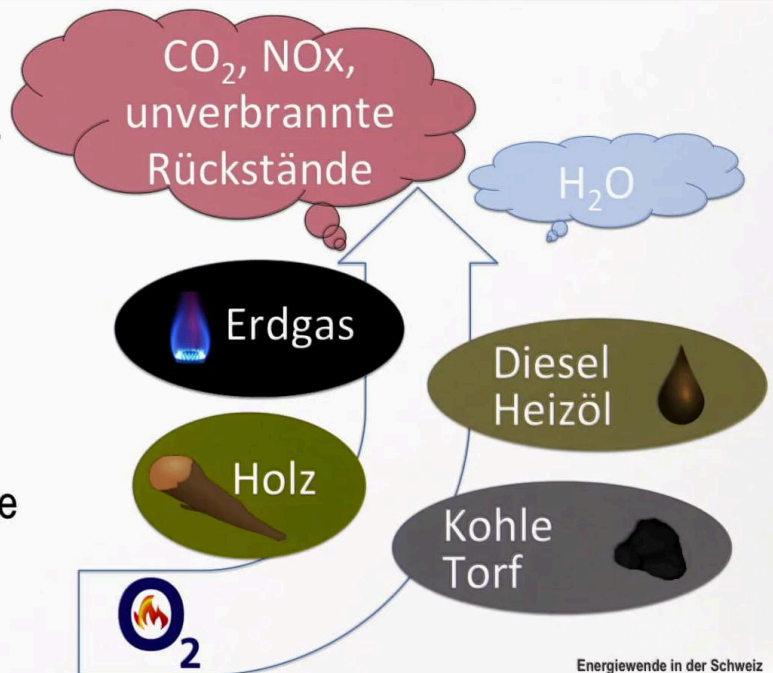
Summary



0m 04s

Was ist ein Brennstoff und was ein Treibstoff?

- Jegliche Substanz, die mit Sauerstoff reagieren kann, z.B. um Wärme oder Elektrizität zu gewinnen
- Man unterscheidet zwischen
 - *Treibstoff* für den Transport
 - *Brennstoff* für stationäre Anwendungen
- In diesem Kurs fassen wir beide Begriffe unter *Brennstoff* zusammen



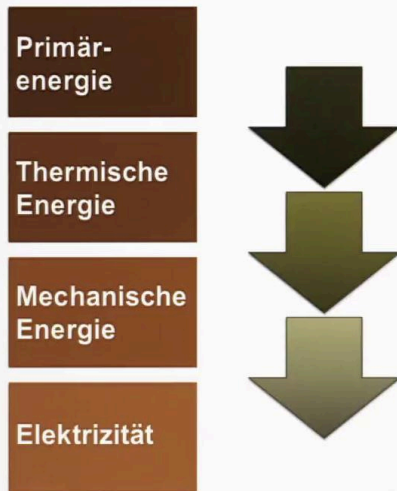
Jegliche Substanz, die mit Sauerstoff zum Beispiel aus Luft reagieren kann, um deren chemischen Energie in Wärme oder Elektrizität umzuwandeln, heißt Brenn- oder Treibstoff. Traditionellerweise sprechen wir von Brennstoffen für stationäre Anwendungen und von Treibstoffen für den Transport. Die bekanntesten Brenn- und Treibstoffe bestehen aus Kohlen- und Wasserstoffverbindungen. Zum Beispiel Heizöl, Benzin, Edgars oder auch Biogas. Aber auch Holz, also eine Form von Biomasse, oder auch reiner Wasserstoff, sind Formen von Brennstoffen. Durch die Oxidation von Brennstoffe wird Kohlenstoff in CO₂ und Wasserstoff in Wasserdampf umgewandelt. Bei der Verbrennung von Kohlenwasserstoffen werden oftmals Schadstoffe ausgestoßen, wie zum Beispiel unverbrannte Kohlenwasserstoffe, Stickstoffoxide oder Rußpartikel unterschiedlichster Größe. Diese müssen dann oftmals in aufwendigen Prozessen unschädlich gemacht, oder vom Abgas ausgeschieden werden.

Notes

Summary



Wege von Primärenergie zu Elektrizität



Energiewende in der Schweiz

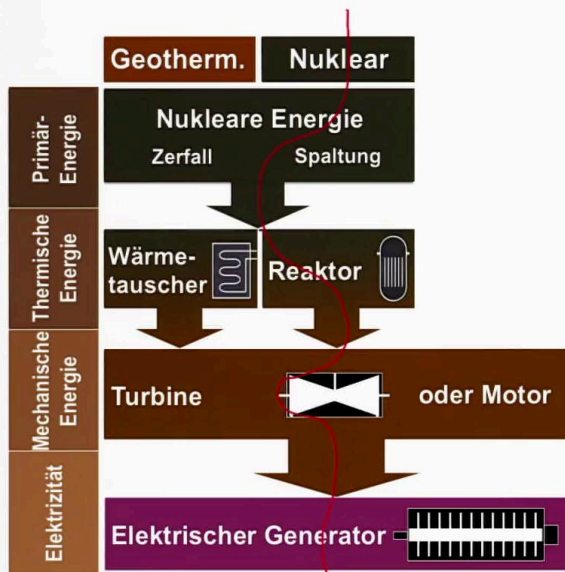
Die Umwandlung von Primärenergie in Elektrizität kann über eine Umwandlungskette in verschiedene Energieformen geschehen, wie hier links dargestellt. Der Weg und die Anzahl auftretender Energieformen hängen jeweils von der eingesetzten Technologie ab. Je nach Technologie wird Primärenergie zuerst in Thermische Energie umgewandelt, zum Beispiel durch eine Verbrennung, dann durch einen thermodynamischen Kreislauf, also eine Wärmekraftmaschine in mechanische Energie, zum Beispiel durch einen klassischen Verbrennungsmotor, oder eine Turbine und schließlich in elektrische Energie durch einen Generator.

Notes

Summary



Wege von Primärenergie zu Elektrizität



Energiewende in der Schweiz

Wir haben in früheren Lektionen schon Beispiele gesehen, in denen all diese Energieformen vorkommen. In der Geothermie entsteht primär durch den Zerfall von radioaktiven Substanzen, thermische Energie. Also Wärme, welche in Teilen und in Kreisläufen zuerst in mechanische, und dann über einen elektrischen Generator in Elektrizität umgewandelt werden. Der Konversionsprozess für Nuklearenergie sehr ähnlich. Radioaktives Material in Brennstäben im Kernreaktor generiert durch kontrollierte Spaltung Wärme, welche in einem Dampfturbinenkreislauf in mechanische Energie und durch einen Generator in elektrische Energie umgewandelt wird.

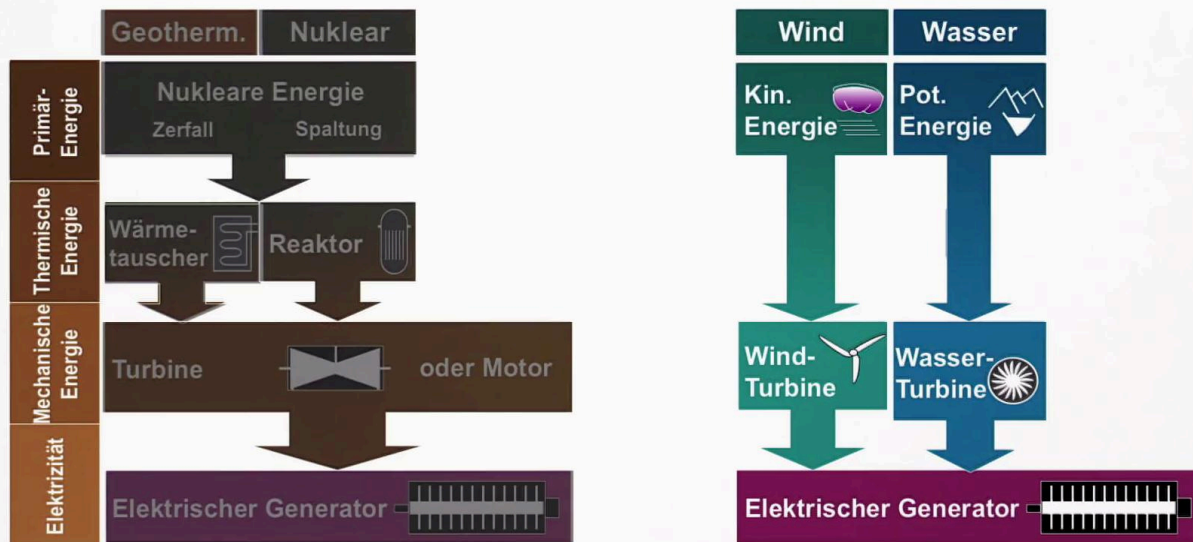
Notes

Summary



2m 54s

Wege von Primärenergie zu Elektrizität



Energiewende in der Schweiz

Auf der anderen Seite, wie hier rechts dargestellt, haben wir gesehen, dass Windenergie eine kinetische Energie ist, nämlich eine Masse, die sich mit einer gewissen Geschwindigkeit bewegt. Die kinetische Energie kann dann direkt über eine Windturbine zuerst in mechanische, und dann über einen Generator in elektrische Energie umgewandelt werden. In diesem Fall wird also die Etappe über die thermische Energie übersprungen, und wie wir in Kürze sehen werden, kann dies gewisse Vorteile bieten. Das gleiche gilt für Wasserkraftwerke, wo die potenzielle Energie von Wasser in der Staumauer über den Höhenunterschied in kinetische Energie umgewandelt wird. Diese kinetische Energie kann schließlich über eine Wasserturbine und wieder über einen Generator in Elektrizität umgewandelt werden.

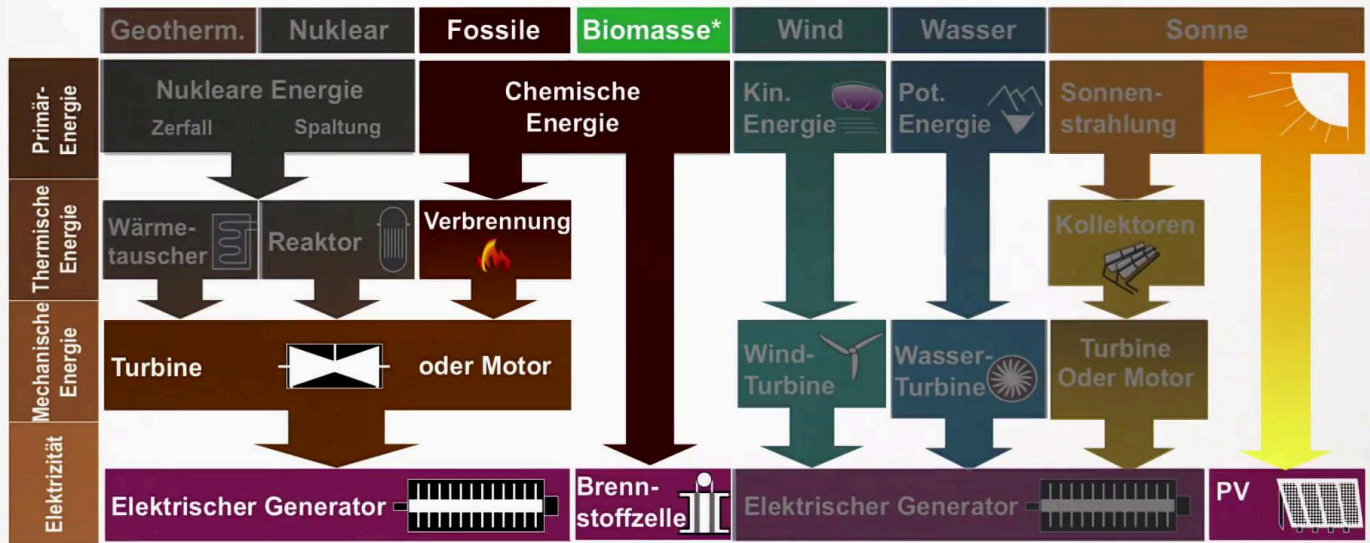
Notes

Summary



3m 42s

Wege von Primärenergie zu Elektrizität



* inklusive Haushaltsabfall

Energiewende in der Schweiz

Bei der Solarenergie gibt es unterschiedliche Wege, um elektrische Energie zu generieren. Bei der ersten Varianten, der mit dem thermischen Weg, wird die Sonnenstrahlung über einen Kollektor zuerst in Wärme umgewandelt, welche in einem thermodynamischen Kreislauf genutzt werden kann. Bei der zweiten Variante, der photovoltaischen, wird die Sonnenstrahlung direkt in elektrische Energie transformiert, ohne dabei thermische oder mechanische Energieformen zu nutzen. Bei Brennstoffen handelt es sich um chemische Substanzen, zum Beispiel fossile Energieträger, wie Kohle, Erdöl, Erdgas, oder erneuerbare Quellen, wie zum Beispiel Holz oder auch Haushaltsabfälle, die zur Hälfte als erneuerbar eingestuft werden. Bei der Verwertung von Brennstoffen gibt es zwei Wege. Im ersten klassischen Weg wird der Brennstoff in einer Brennkammer, oder in einem Kessel verbrannt, also oxidiert. Dabei entsteht Wärme, thermische Energie, welche in einem thermodynamischen Wärmekraftmaschinen Kreislauf genutzt werden kann, um sie zum Teil in mechanische Energie umzuwandeln. Über einen Generator wird dann schließlich elektrische Energie geliefert. Auf dem zweiten elektrochemischen Weg wird die chemische Energie der Brennstoffe direkt in elektrische Energie umgewandelt, ohne thermische oder mechanische Energieformen einzusetzen. Es handelt sich hier um sogenannte Brennstoffzellen.

Notes

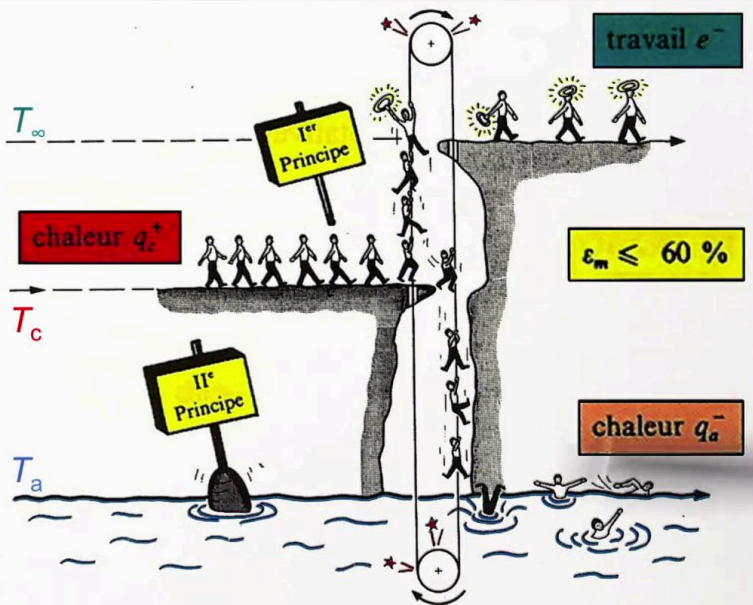
Summary



Thermische Energie und Arbeit (oder Elektrizität)

- Im 19. Jh zeigt Carnot, dass nur ein Teil einer thermischen Energie in nutzbare Arbeit umgewandelt werden kann
- Je höher die Temperatur der Energiequelle, desto grösser ist dieser Anteil
- Der berühmte Wirkungsgrad:

$$\varepsilon_m = \frac{\text{Arbeit}}{\text{Wärme}} = \frac{T_c - T_a}{T_c} = 1 - \frac{T_a}{T_c}$$



T : »absolute Temperatur" = $\theta \text{ } ^\circ\text{C} + 273 \text{ } ^\circ\text{C}$

Energiewende in der Schweiz

Sobald ein Prozess in irgendeiner Form thermische Energie einsetzt, ergibt sich eine physikalische Beschränkung, welche mit der Höhe der Temperatur einhergeht. Schon im 19. Jh hat Carnot gezeigt, dass über einen thermodynamischen Wärmekraftmaschinen Kreislauf nur ein Teil der thermischen Energie in Arbeit, also in mechanische Energie umgewandelt werden kann. Dieser Anteil wird größer, wenn auch die Temperatur der thermischen Energie erhöht wird. Dieser Zusammenhang wird über den berühmten Carnot-Wirkungsgrad erfasst. Der besagt, dass das Verhältnis zwischen der gewonnenen Arbeit und der investierten Wärme, dem Verhältnis zwischen der Temperaturdifferenz, zwischen der Wärmequelle und der Umgebungstemperatur und der Temperatur der Wärmequelle entspricht. Achtung, die Temperaturen müssen hier in Kelvin und nicht in Grad Celsius oder Fahrenheit eingesetzt werden. Der Carnot-Wirkungsgrad wird in der Zeichnung rechts über eine Analogie mit der Gravitationskraft dargestellt. Wobei eine höhere Lage, also eine höhere Temperatur, eine höhere Qualität der Energie darstellt. Je höher die Temperatur der Wärmequelle, desto höher die Lage und desto wertvoller die Energie.

Notes

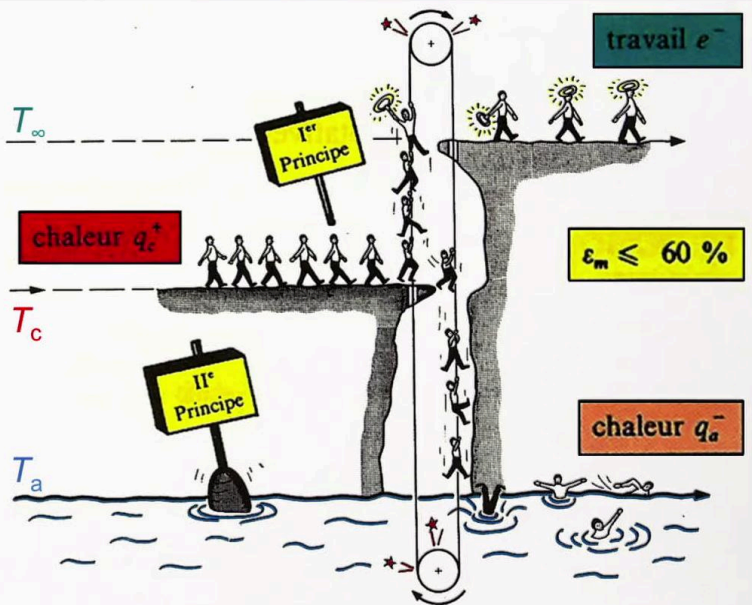
Summary



Thermische Energie und Arbeit (oder Elektrizität)

- Im 19. Jh zeigt Carnot, dass nur ein Teil einer thermischen Energie in nutzbare Arbeit umgewandelt werden kann
- Je höher die Temperatur der Energiequelle, desto grösser ist dieser Anteil
- Der berühmte Wirkungsgrad:

$$\varepsilon_m = \frac{\text{Arbeit}}{\text{Wärme}} = \frac{T_c - T_a}{T_c} = 1 - \frac{T_a}{T_c}$$



T : »absolute Temperatur" = $\theta \text{ } ^\circ\text{C} + 273 \text{ } ^\circ\text{C}$

Energiewende in der Schweiz

Die höchste Lage, hier ganz oben, stellt die elektrische Energie dar. Das mittlere Niveau, hier, stellt die Wärmequelle dar. Die tiefste Lage, das Meer, symbolisiert die Umgebungstemperatur, bzw die tiefste Temperatur, die natürlicherweise zur Verfügung steht. Das Kabel mit den beiden Umlenkrollen, ein Liftmechanismus, stellt eine Wärmekraftmaschine dar. Die kleinen Strichmännchen stellen Energieeinheiten dar. Es wird nun ersichtlich, dass je höher die Lage der Wärmequelle, also deren Temperatur, umso weniger Männchen sich an das runter gehende Kabel hängen müssen, um die gleiche Menge Energieeinheiten, also Strichmännchen, auf das höchste Niveau zu bringen. Der Carnot-Wirkungsgrad entspricht dem Verhältnis von Strichmännchen, die das höchste Level, die Elektrizität erreicht haben, zu der Anzahl Strichmännchen, die benötigt werden, um den Liftmechanismus von der Wärmequelle aus überhaupt in Bewegung zu setzen.

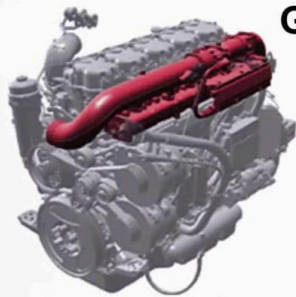
Notes

Summary

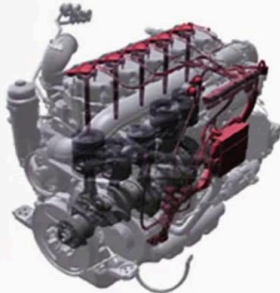


Verbrennungsmotoren und Kombikraftwerke

Gasmotor

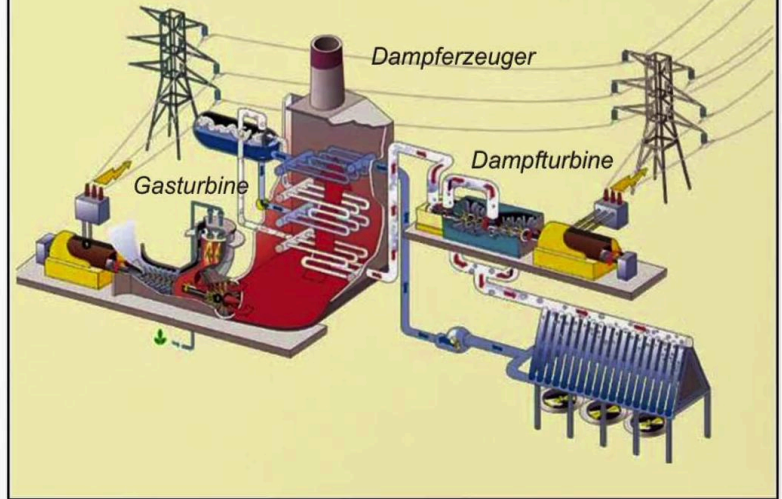


Gaseinspritzung und Luftansaugung



Motorregelung und Zündung

Kombikraftwerk



<http://www.truckeditions.com/Scania-a-presente-son-nouveau.html#VqNvX09A3is>
http://www.enerenvi.lu/images/illu_ener_tgv_big_04.jpg

Energiewende in der Schweiz

Wir haben nun gesehen, dass man hohe Verbrennungstemperaturen erreichen muss, damit ein möglichst hoher Wirkungsgrad in einer Wärmekraftmaschine erreicht werden kann. Hohe Temperaturen stellen aber sehr rasch Probleme bezüglich Materialien dar, da sich durch die Schmelztemperatur eine natürliche Begrenzung ergibt. Zwei Vorgehensweisen haben dazu geführt, dass man trotz dieser Beschränkung ansehnliche Wirkungsgrade erreichen kann. In Verbrennungsmotoren, wie in diesem Gasmotor hier links, kann man während der Verbrennung Temperaturen von über 2000 Grad erreichen, allerdings nur für eine sehr kurze Dauer, nämlich einen Bruchteil einer Sekunde, um ein Schmelzen des Kolbes oder des Zylinders zu verhindern. Diese Strategie kommt hauptsächlich in Benzin und Dieselmotoren zum Einsatz. Im Fall von Turbinen haben Fortschritte in den Gebieten der Metallurgie, der Oberflächenbeschichtungen und diversen Herstellungsprozessen erlaubt, Turbinenschaufeln einem kontinuierlichen Gastrom, bei Temperaturen oberhalb deren Schmelzgrenze auszusetzen. Dabei wird die Turbinenschaufel von innen gekühlt und mittels Lufteinspritzung mit einer Schicht kalten Luft umhüllt, um sie so vor den heißen Gasen zu schützen.

Notes

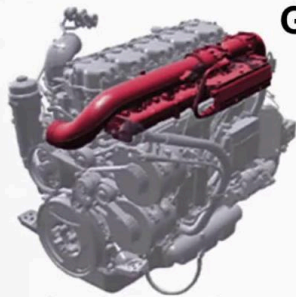
Summary



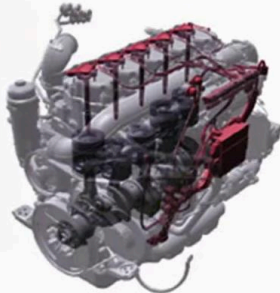
8m 42s

Verbrennungsmotoren und Kombikraftwerke

Gasmotor

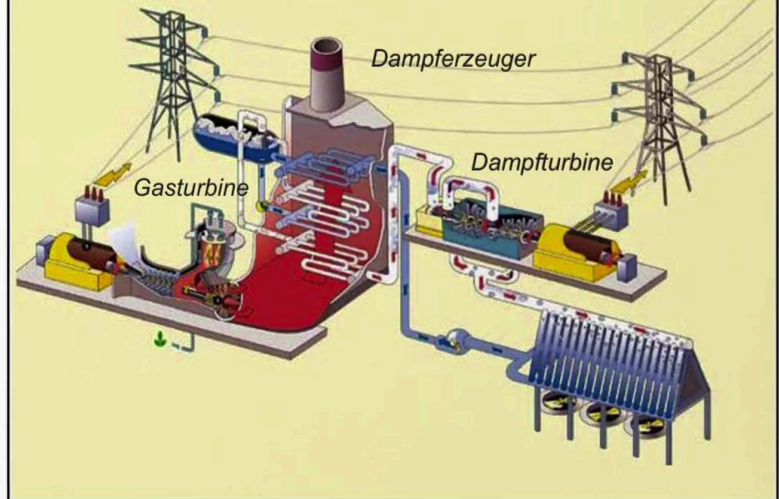


Gaseinspritzung und Luftansaugung



Motorregelung und Zündung

Kombikraftwerk



http://www.truckeditions.com/Scania-a-presente-son-nouveau.html#_VqNx09A3is
http://www.enerenvi.lu/images/illu_ref_ener_tgv_big_04.jpg

Energiewende in der Schweiz

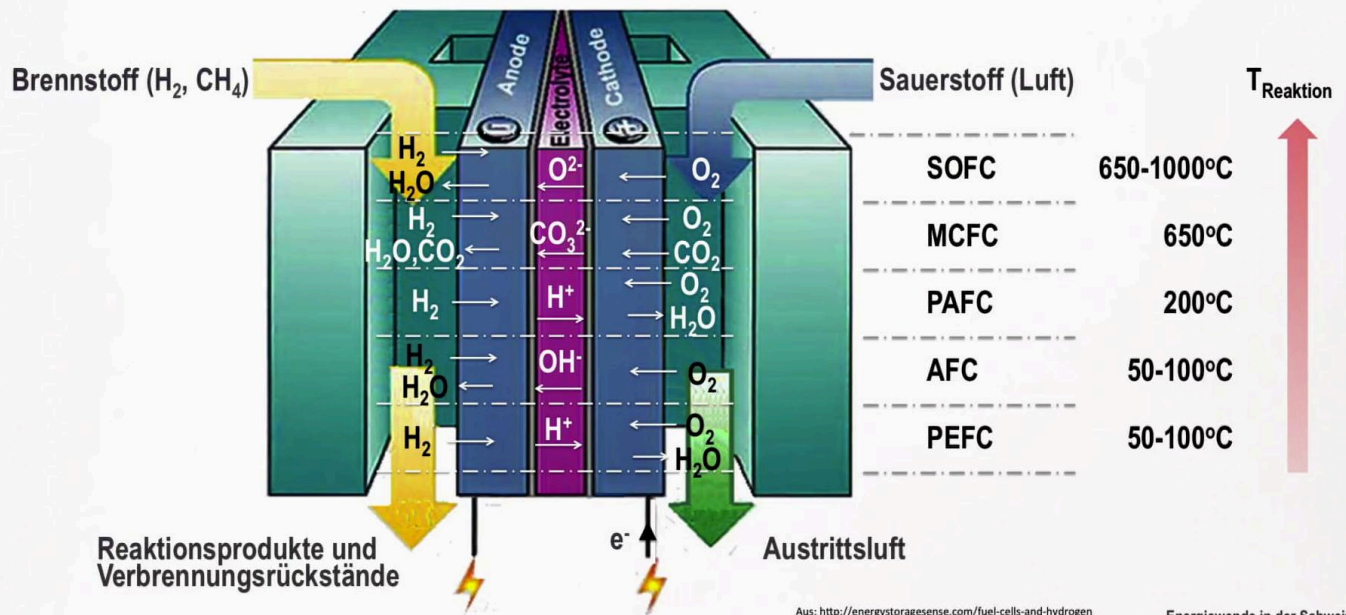
Mit Temperaturen von bis zu 1400 °C in einer Gasturbine, welche mit einer Dampfturbine gekoppelt wird, können heute Wirkungsgrade von knapp über 60 % erreicht werden. Ein solches Kombikraftwerk wird hier rechts dargestellt. Die immer noch heißen Austrittsgase aus der Gasturbine, hier links, werden genutzt, um in einem Dampferzeuger Wasserdampf zu generieren, der schließlich in einer Dampfturbine, hier rechts, weiter in mechanische Energie und schließlich in Elektrizität umgewandelt wird. Auf der einen Seite erlauben es hohe Temperaturen, auch hohe Wirkungsgrade zu erzielen, auf der anderen Seite führen sie bei der Verbrennung zu höheren Anteilen von Stickstoffoxiden, deren Absonderung eine kontinuierliche Herausforderung darstellt. So sind in modernen Kraftwerken die Abgas-Behandlungssysteme oftmals voluminöser als das eigentliche Kraftwerk.

Notes

Summary



Elektrochemische Wandlung (Brennstoffzelle)



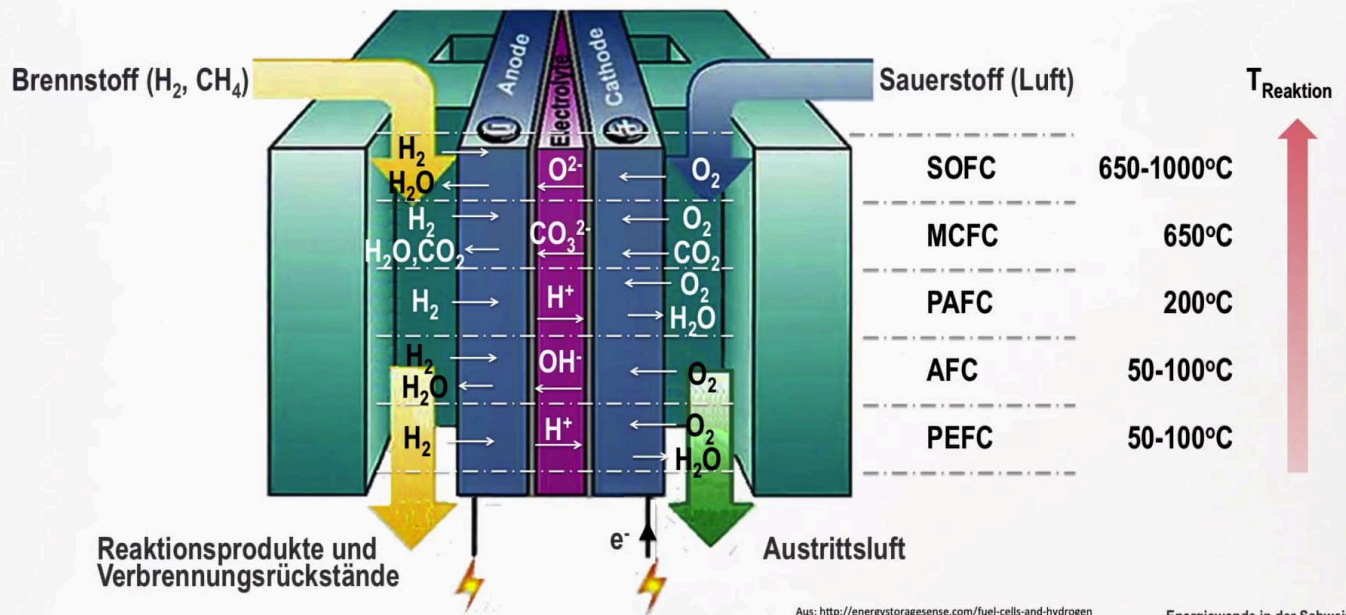
Nun gibt es neben der Verbrennung und thermische Wärmekraftmaschinen, nun gibt es über den elektrochemischen Weg eine zweite Variante Brennstoff zu verwerten, ohne dabei thermische Energie zu verwenden. Dabei setzt man auf den Transport von elektrisch geladenen Atomen oder Molekülen durch einen Elektrolyten, eine Membran, die hier rosa dargestellt ist, beidseits dieser Elektrolyten gibt es zwei Elektroden, eine Kathode und eine Anode, hier blau, welche mit den verschiedenen Fluidströmen, Brennstoff und Sauerstoff aus der Luft in Verbindung stehen. Die Luft oder der reine Sauerstoff strömt über die Kathode, der Brennstoff, bereits komplett oder zum Teil reformiert, also in Wasserstoff aufgetrennt, strömt über die Anode. Die Austausch Membranen dazwischen, also die Elektrolyten, funktionieren bei unterschiedlichen Temperaturen, je nach Materialien, die eingesetzt werden. Diese erlaubt es, Brennstoffzellen in unterschiedliche Familien einzuteilen. So gibt es sogenannte PEM-Brennstoffzellen mit Polymermembranen, die bei niedrigen Temperaturen zwischen 50 und 100 Grad arbeiten. Polymermembranen lassen nur Protonen, also positiv geladene Teile durch.

Notes

Summary



Elektrochemische Wandlung (Brennstoffzelle)



Auf der anderen Seite gibt es sogenannte Festoxid-Brennstoffzellen (SOFC), welche lediglich negativ geladene Sauerstoffionen durch die keramischen Membranen passieren lassen und bei 650 bis 1000 °C arbeiten. PEM- und SOCF-Brennstoffzellen sind im Moment die vielversprechendsten Konzepte für Anwendungen sowohl im Transport als auch im Haushaltsbereich.

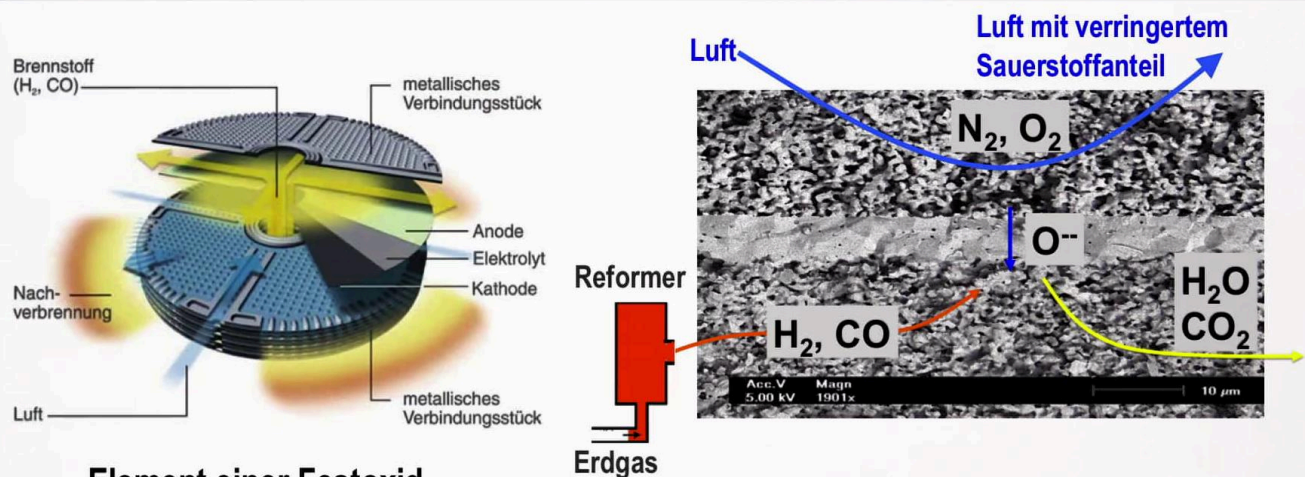
Notes

Summary



12m 22s

Beispiel: Festoxid-Brennstoffzelle (SOFC)



Element einer Festoxid-Brennstoffzelle (SOFC)

Betriebstemperatur:
700 – 800 °C
1 - 5 bar

<https://www.empa.ch/web/s604/hexis>

Energiewende in der Schweiz

Wir nehmen nun die Festoxid-Brennstoffzelle etwas genauer unter die Lupe. Auf der rechten Seite hier sehen wir den Schnitt durch eine der Membranen. Der Elektrolyt ist mit einer Dicke von etwa zehn Mikrometern etwa zehnmal dünner als ein menschliches Haar. Die porösen Strukturen stellen oben die Kathode und unten die Anode dar. In Komplettsystemen wird der Brennstoff zuerst durch einen Reformer geschickt, der den Brennstoff in für die Brennstoffzellen nutzbare Energieträger aufteilt, nämlich Wasserstoff und Kohlenmonoxid, die durch die Reaktion mit dem Sauerstoff durch die Membran in Wasserdampf und CO_2 umgewandelt werden. Wenn man Kathoden- und Anodenströme voneinander trennen kann, wird es so möglich das entstandene CO_2 durch auskondensieren von Wasserdampf abzuscheiden und zu speichern, bevor es als Treibhausgas in die Atmosphäre gelangt. Auf der linken Seite hier sehen wir einen Schnitt durch einen Stapel solche Brennstoffzellenelemente, welche ähnlich wie eine elektrische Batterie, durch diese Schichtung eine genügend hohe Spannung liefern können. Die Fläche und die Menge solcher Zellen in einem kompletten Brennstoffzellensystem definiert deren nominalen elektrischen Leistung.

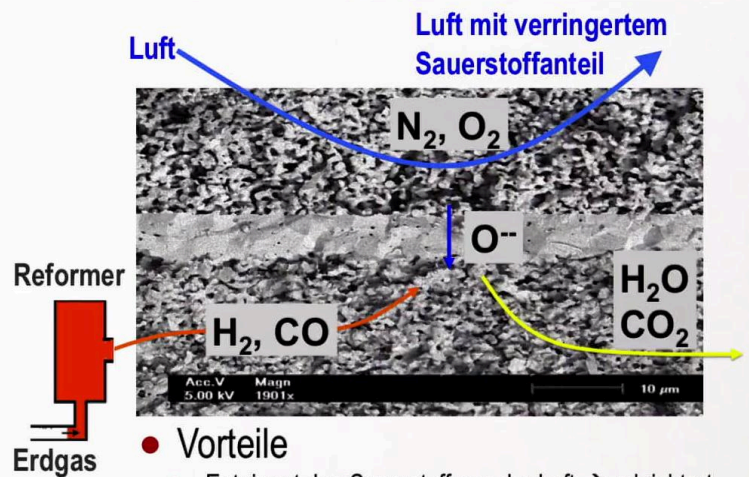
Notes

Summary



12m 50s

Beispiel: Festoxid-Brennstoffzelle (SOFC)



• Vorteile

- Entnimmt den Sauerstoff aus der Luft → erleichtert die Trennung von CO_2
- Benötigt keine kostspieligen Katalysatoren
- Der Prozess kann in umgekehrter Richtung funktionieren (Elektrolyse bei hoher Temperatur zur Brennstoffspeicherung)

Energiewende in der Schweiz

Die Vorteile der Festoxid-Brennstoffzelle sind, dass sie ohne teure Platin Kondensatoren auskommt, und dass sie direkt mit Erdgas betrieben werden kann. Das ist zum Beispiel bei PEM-Brennstoffzellen nicht der Fall, da diese ausschließlich reinen Wasserstoff vertragen. Forschungsgruppe an der EPFL haben es vor kurzem geschafft, mit einer solchen Festoxid-Brennstoffzelle im Labor einen Wirkungsgrad von 70 % zu erreichen. Eine Firma vertreibt solche Gesamtsysteme mit einer Wirkungsgradgarantie von 50 % auf zehn Jahre. Interessant ist auch, dass sich diese Technologie invertieren lässt. In Zukunft könnte man also mit überschüssiger Energie, zum Beispiel erneuerbare Elektrizität aus Wind oder Sonne, über eine so genannte Hochtemperaturelektrolyse direkt aus Wasser, Wasserstoff und Sauerstoff produzieren und so Energie als Brennstoff speichern.

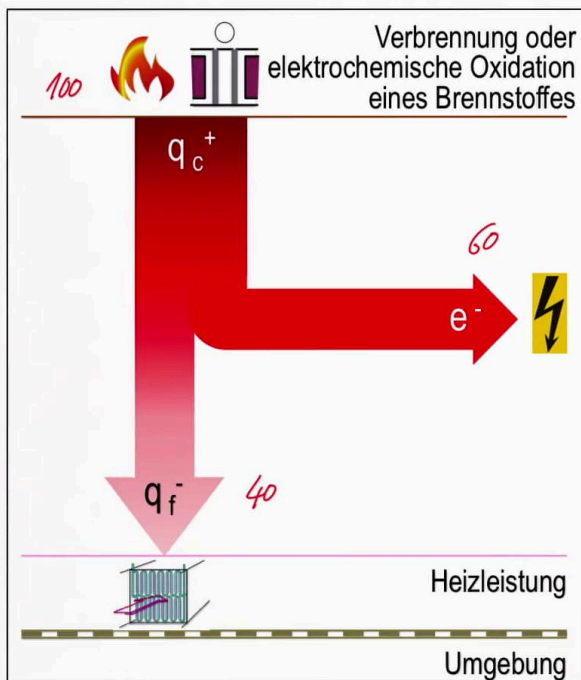
Notes

Summary



14m 15s

Wärme-Kraft-Kopplung



- Da nicht die ganze chemische Energie der Brennstoffe in Arbeit oder Elektrizität umgewandelt werden kann, ergibt sich Abwärme
- Ein grosser Anteil dieser Abwärme kann als Heizquelle eingesetzt werden → Wärme-Kraft-Kopplung
- Auch wenn in einer Brennstoffzelle die Umwandlung nicht über Wärme geschieht, entstehen trotzdem Verluste, die Abwärme verursachen

Energiewende in der Schweiz

Wir haben vorhin gesehen, dass der Carnot-Wirkungsgrad die Nutzbarkeit von Wärme je nach Temperatur sehr stark einschränken kann. So erreichen heute die besten Kombikraftwerke, Gasturbine plus eine Turbine lediglich elektrische Wirkungsgrade um die 60 %. Wir haben vorhin gesehen, dass der Carnot-Wirkungsgrad Nutzbarkeit von Wärme je nach Temperatur sehr stark einschränken kann. So erreichen heute die besten Kombikraftwerke, also die Kombination zwischen eine Gasturbine und eine Dampfturbine, lediglich elektrische Wirkungsgrade um die 60 %. Der erste thermodynamische Satz lehrt uns, dass Energie weder generiert noch vernichtet werden kann. Energie bleibt immer erhalten. Das heisst, dass ein modernes Kombikraftwerk, das 100 Energieeinheiten Brennstoff für die Verbrennung benötigt, 60 Energieeinheiten Elektrizität liefert, 60 % Wirkungsgrad und durch die Energieerhaltung eben auch 40 Energieeinheiten in Form von Abwärme liefert. Auch wenn Technologien eingesetzt werden, die nicht über die Verbrennung gehen, sondern den Brennstoff direkt elektrochemisch umsetzen, zum Beispiel in einer Brennstoffzelle entstehen immer Verluste in Form von Abwärme abgeführt werden müssen.

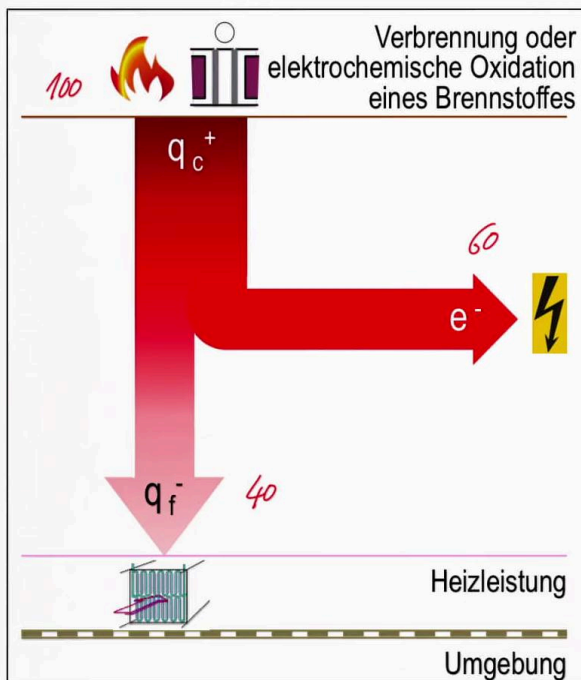
Notes

Summary



15m 12s

Wärme-Kraft-Kopplung



- Da nicht die ganze chemische Energie der Brennstoffe in Arbeit oder Elektrizität umgewandelt werden kann, ergibt sich Abwärme
- Ein grosser Anteil dieser Abwärme kann als Heizquelle eingesetzt werden → Wärme-Kraft-Kopplung
- Auch wenn in einer Brennstoffzelle die Umwandlung nicht über Wärme geschieht, entstehen trotzdem Verluste, die Abwärme verursachen

Energiewende in der Schweiz

Falls diese Abwärme bei genügend hoher Temperatur zur Verfügung steht und wenn es aus thermoökonomischer Sicht Sinn macht, kann sie weiter genutzt werden. Man spricht in einem solchen Fall von Wärme-Kraft-Kopplung. Bei sehr großen Installationen kann die Abwärme über ein Fernwärmenetz in Quartiere oder ganze Städte verteilt werden. Bei kleineren Installationen kann sie direkt zur Beheizung oder zur Warmwasseraufbereitung verwendet werden.

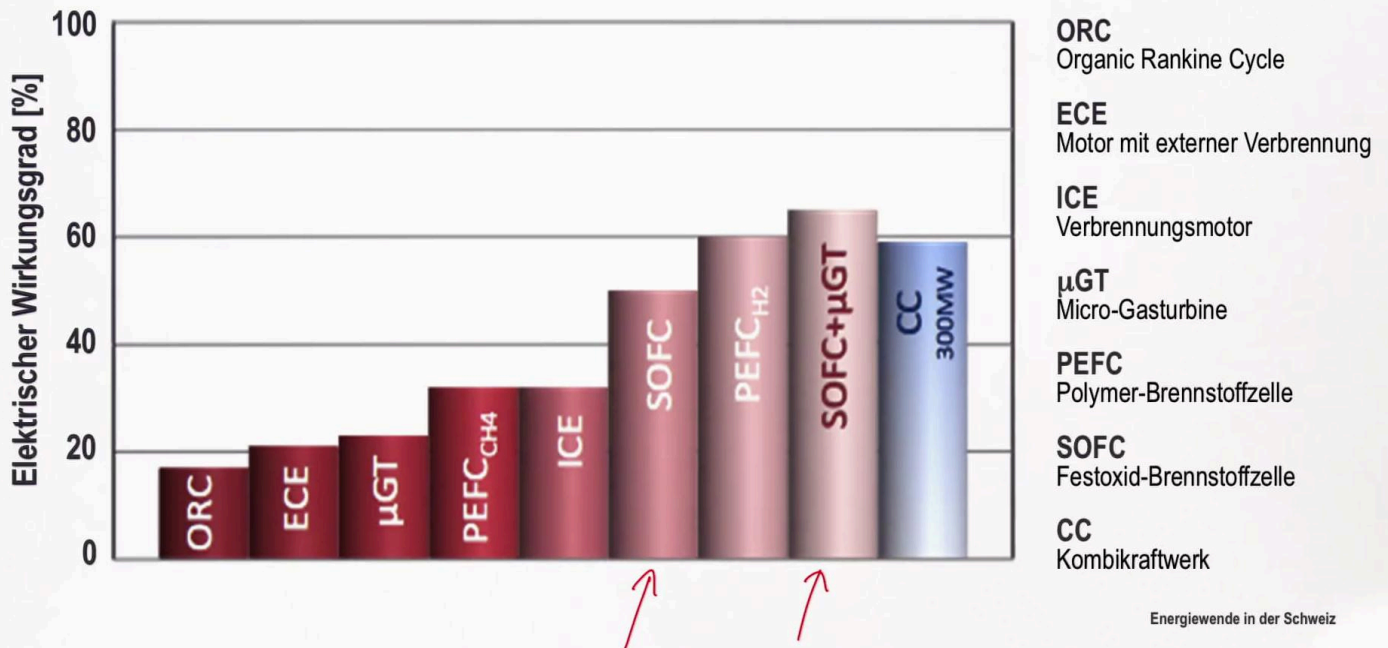
Notes

Summary



16m 35s

Vergleich von elektrischen Wirkungsgraden



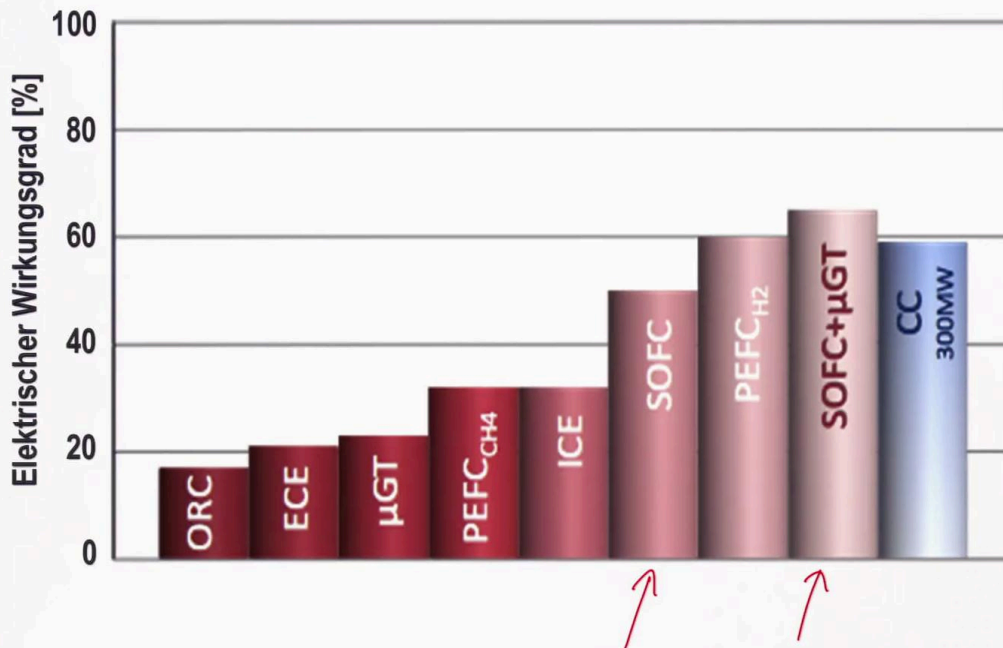
Auf diesem Bild vergleichen wir die elektrischen Wirkungsgrade, also das Verhältnis zwischen nutzbarer elektrischer Energie und investierte Energie in Form von Brennstoff. Die roten Balken stellen eher Systeme für kleinere Leistungsbereich dar, der blaue Balken hier eher zentral angelegte Großkraftwerke. Hier rechts sehen wir zuerst sogenannte Organic Rankine Cycles, die in der Geothermie oder bei Tieftemperatur Wärmequellen eingesetzt werden. Gefolgt von Motoren mit externem Wärmeeintrag, zum Beispiel Stirlingmotoren oder hier Mikrogasturbinen im Bereich von 50 bis 100 Kilowatt elektrische Leistung. Hier haben wir mit etwas über 30 % Wirkungsgrad interne Verbrennungsmotoren wie zum Beispiel Diesel, Benzin oder Gasmotoren. Der Vergleich zwischen einer PEM-Brennstoffzelle, die mit Methangas oder direkt mit Wasserstoff betrieben wird, ist auch sehr interessant. Beim Betrieb mit Methangas entstehen nämlich durch die benötigte Reformation interne Verluste, die sich stark auf den Wirkungsgrad auswirken. Festoxid-Brennstoffzellen erreichen Wirkungsgrade von über 50 % und könnten zusammen mit einer Gasturbine sogar mehr als 70 % Wirkungsgrad erreichen und das für sehr kleine Leistungen in der Größenordnung der Bedürfnisse eines Haushalts.

Notes

Summary



Vergleich von elektrischen Wirkungsgraden



- ORC**
Organic Rankine Cycle
- ECE**
Motor mit externer Verbrennung
- ICE**
Verbrennungsmotor
- μGT**
Micro-Gasturbine
- PEFC**
Polymer-Brennstoffzelle
- SOFC**
Festoxid-Brennstoffzelle
- CC**
Kombikraftwerk

Energiewende in der Schweiz

Zudem erlaubt es diese Technologie auch gleich das bei der Oxidierung entstandene CO₂ abzuscheiden, so dass beim Einsatz von Brennstoffen weniger Treibhausgase in die Atmosphäre gelangen. Es dürfte innerhalb der nächsten zehn Jahre möglich sein, dezentral Elektrizität mit einem höheren Wirkungsgrad zu generieren als mit Großkraftwerken. Die beiden Technologien, Brennstoffzellen und Großkraftwerke können also im Schweizer Energienetz sehr komplementär eingesetzt werden.

Notes

Summary

18m 41s



• Verbrennung

- Reife Technologie für ein sehr grosses Leistungsspektrum
- Tiefe Kosten bei grosser Leistung
- Benötigt Abgasbehandlung
- Gesättigte Wirkungsgrade
- Verbrennungsmotoren und Turbinen erzeugen Vibrationen und Lärm
- Dieser Bereich ist in den Genuss von beträchtlichem Forschungsaufwand gekommen

• Brennstoffzellen

- Sehr hohe Leistungsdichte insbesondere bei kleiner Leistung
- Immer noch hohe Kosten
- Praktisch ohne Schadstoffemission
- Sehr hohe potentielle Wirkungsgrade
- Vibrations- und Geräuschlos
- Benötigt eine Vorbehandlung des Brennstoffes
- Forschungsaufwand bleibt gegenüber der Verbrennung gering

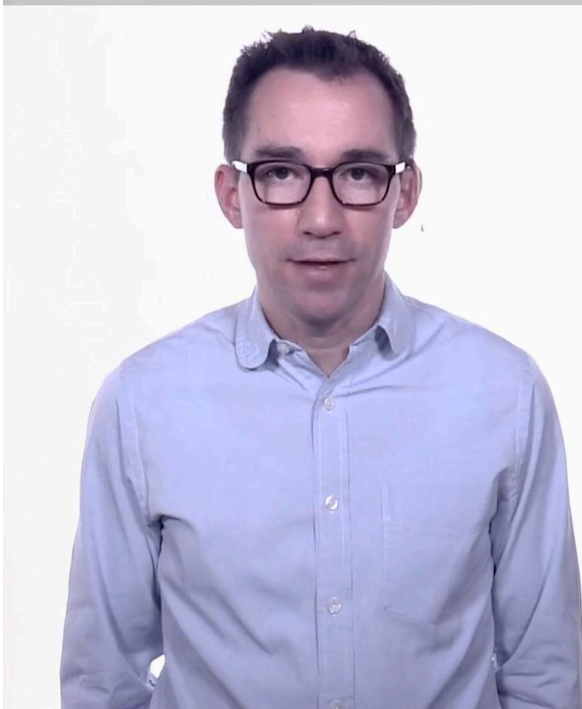
Energiewende in der Schweiz

Wir haben gesehen, dass Brennstoff über zwei Wege in Elektrizität umgewandelt werden kann, nämlich über Verbrennung und durch thermische Wärmekraftmaschinen oder über elektrochemische Umwandlung in Brennstoffzellen. Die Umwandlung über Verbrennung und thermische Maschinen ist eine ausgereifte Technologie, die auf einem sehr großen Leistungsspektrum zu sehr tiefen Kosten eingesetzt werden kann. Wie üblich erreichen reife Technologien ihre Grenzen, so dass technologische Fortschritte meistens nur noch marginale Verbesserungen hervorbringen. Brennstoffzellen sind eine neuere Technologie, die sich sehr gut für kleinere Leistungsspektren eignen, die aber leider im Vergleich zu älteren Technologien noch sehr teuer sind. Im Gegensatz zu Verbrennungsmaschinen entstehen in Brennstoffzellen praktisch keine Schadstoffe. Zudem können sehr hohe Wirkungsgrade erreicht werden. Bei der elektrochemischen Umwandlung entstehen im Gegensatz zu Verbrennungsmaschinen nur sehr wenig Lärm und keine Vibrationen.

Notes

Summary





- Alle Brennstoffe, egal ob aus Biomasse oder fossiler Natur, können in Elektrizität umgewandelt werden
 - Entweder mittels thermischer Energie (Wärme)
 - Oder direkt (Brennstoffzellen)
- Das Potential von Brennstoffzellen ist bezüglich Wirkungsgrad höher als das von Verbrennungstechnologien
- Um die Emissionen von Treibhausgasen zu verringern kann man entweder den Wirkungsgrad verbessern, das CO₂ abspalten und speichern, oder beides
- Alle Brennstoffe können Wärme-Kraft-Kopplung betreiben

Energiewende in der Schweiz

Egal ob über Verbrennung oder elektrochemische Umwandlung, es entstehen immer Verluste in Form von Abwärme, die über sogenannte Wärme-Kraft-Kopplung zum Heizen oder zur Warmwasseraufbereitung genutzt werden kann. Bei großen zentralen Anlagen, also Großkraftwerken, werden dazu Fernwärmenetzwerke eingesetzt. Bei kleineren Anlagen kann die Wärme lokal im Haus oder im Wohnblock direkt eingesetzt werden.

Notes

Summary



20m 20s