

## Effizienzgeschichte der Wärmekraftmaschinen

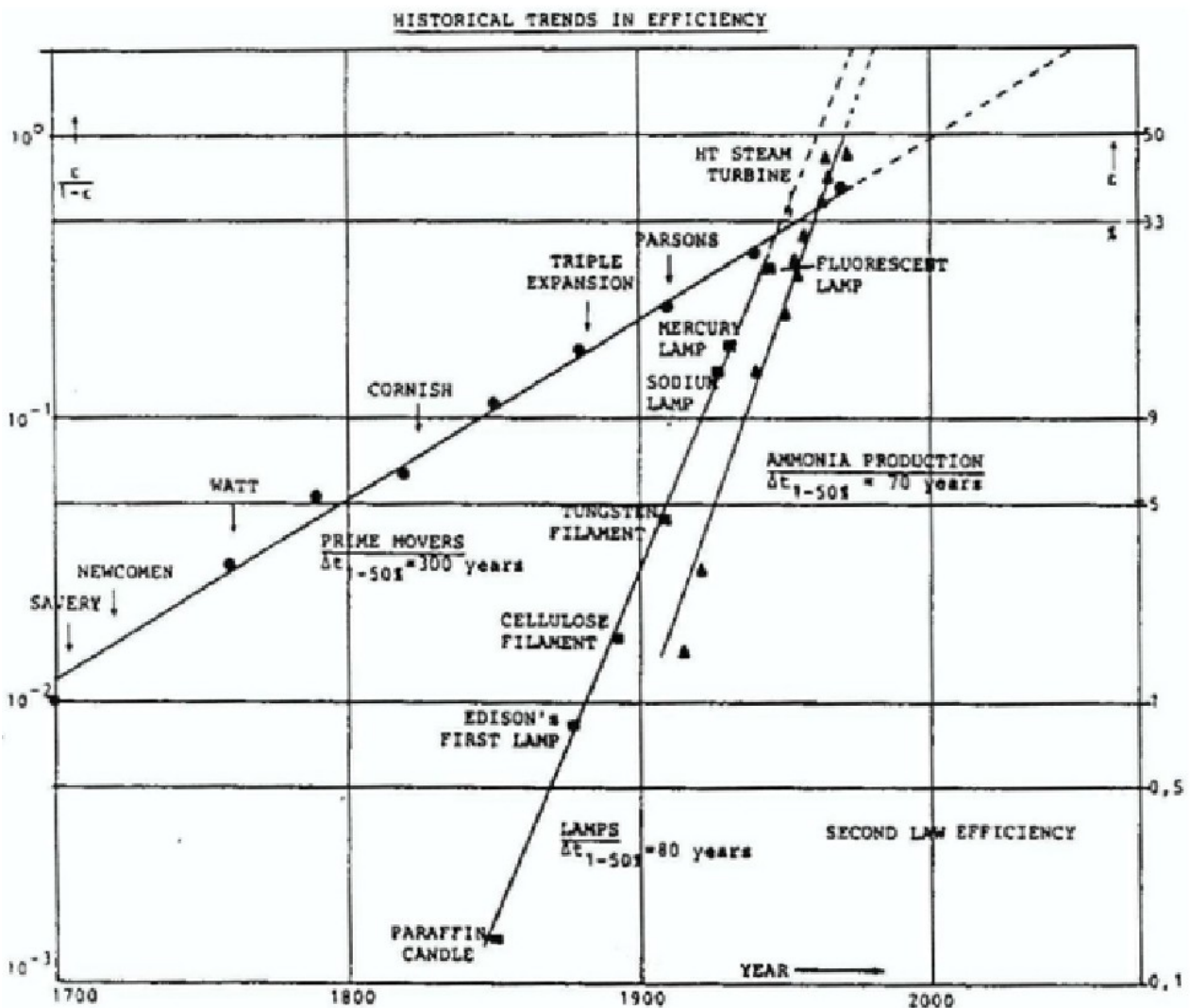


Fig. 6. Historical evolution of efficiency  $\epsilon$  for three technologies.  $\Delta t$  is the time for efficiency to go from 1% to 50%.

Die Abbildung zeigt in halb-logarithmischer Darstellung die 300-jährige Geschichte der Effizienzentwicklung von Wärmekraftmaschinen, der Ammoniakproduktion und Lampenwirksamkeit. Die Entwicklung beginnt 1700 und läuft bis ins späte 20. Jahrhundert. Auf der Ordinate rechts ist die Exergieeffizienz ( $\epsilon$ ) der Energiewandlung (%), der Mengenzunahme bei Ammoniak sowie der Wirksamkeit der Lampen aufgetragen, auf der Ordinate links der Wert  $(\epsilon/1-\epsilon)$ . Die jeweilige Steilheit der drei Entwicklungen ergibt sich aus der Zeitspanne, in der die Entwicklung von 1 auf 50 Prozent anstieg. Diese Zeitspanne ist für die Wärmekraftmaschinen circa 300 Jahre, für die Ammoniakproduktion 70 Jahre, die Lampenwirksamkeit 80 Jahre.

Was ist zu sehen? Zunächst zu den Wärmekraftmaschinen und deren jahrhundertlange Entwicklungszeit: Eingetragen sind die ersten Konstruktionen von Saverey, Newcomen und James Watt, die allesamt nicht viel effizienter waren als wenige Prozent. Die Linie endet bei (noch nicht eingetragenen) Kombianlagen aus Gasturbinen und Dampfturbinen, die inzwischen geringfügig mehr als 60 Prozent erreichten. Es kann erwartet werden, dass mit der vorgeschalteten chemo-elektrischen Hochtemperatur-Brennstoffzelle die Effizienz weiter ansteigt. Gleichfalls noch nicht eingetragen sind die wesentlich leistungsärmeren Niedertemperatur- und Mitteltemperatur-Brennstoffzellen mit ihren beeindruckenden

ckenden Effizienzen. Etwa die kleine (100 Kilowatt) Polymer-Elektrolyt-Membran (PEM)-Niedertemperaturbrennstoffzelle (80 Grad Celsius) liefert 68 Prozent an elektrischem Exergie-Wirkungsgrad! Alle Brennstoffzellentypen sind chemo-elektrische Energiewandler; ihr großer Vorteil ist, sie brauchen den „Umweg“ über Wärme nicht!

Die halb-logarithmische Darstellung liefert gerade Linien, die darauf verweisen, dass eine etwaige Beschleunigung oder Verzögerung der Entwicklung durch den Menschen nahezu ausgeschlossen ist. „Gut Ding' will Weile haben!“ Oder nüchterner formuliert: Technologieentwicklungen brauchen Zeit, Energie braucht Zeit!

Die Lampenentwicklung verlief steiler. Sie erreichte in wenigen Jahrzehnten Wirksamkeiten von einigen zig Prozent, beginnend vor 80 Jahren mit der Wachskerze und deren 0,1 Prozent Wirksamkeit, heute angekommen bei den light-emitting-diodes (LEDs) oder organic light-emitting-diodes (OLEDs). Ähnliche Entwicklung nahm die Mengenzunahme der Ammoniakproduktion.

Das Fazit: Die bemerkenswert langen Zeitspannen zu höheren Effizienzen, zu höherer Mengenzunahme und höherer Wirksamkeit verlangen kontinuierlich zügige Entwicklungen. Eigentlich ist es immer zu spät zu beginnen. Und die zweite Lehre, die gezogen werden kann: Die konsekutive Entwicklung der Vergangenheit lässt verlässlich erwarten, dass die Zukunft weitere Zuwächse bereithält!

*Bildquelle: C. Marchetti, A Check on the Earth Carrying Capacity for Man, Energy Vol. 4, pp 1107-1117, Pergamon Press 1979*