

Energie - gestern und heute

Energiemuseum Karlstein am Main am 26.10.2025

Dipl. Ing. Jürgen Schöttle

Rev. a

Die Entwicklung von Kernreaktoren wird in Generationen dargestellt, wobei die erste Generation reine Forschung und Versuchsprojekte waren. Die zweite Generation von Kernreaktoren waren erste kommerzielle Kernkraftwerke. Diese Anlagen wurden in den 1960er und Anfang der 1970er Jahre in gebaut und in Betrieb genommen. Das war die Technik der damaligen Kohlekraftwerke, wobei der Kohlekessel durch ein nukleares Dampferzeugungssystem ersetzt wurde. Fast alle Komponenten entsprachen der damaligen Industriequalität.

Die beim Bau und Betrieb gemachten Erfahrungen wurden dann systematisch erfasst, ausgewertet und bei der Auslegung, Konstruktion und Fertigung der Generation 3 berücksichtigt. Anlagen der Generation 2 wurden zum großen Teil auch mit diesen neuen Erkenntnissen nachgerüstet. Das waren Entwicklung neuer Reaktorwerkstoffe, Prüfmethode, Anforderungen von Brandschutz, Auswirkungen von Rohrleitungsversagen, Versagen von Einzelkomponenten, wie Rohrleitungen, Behälter, Armaturen, Pumpen, der Steuerung, Störfallbetrachtung bei Erdbeben, Hochwasser, Gaswolke, Flugzeugabsturz und Terrorismus.

Die Generation 3 Anlagen bekamen massive, robuste Gebäudestrukturen, die Reaktor-Sicherheitssysteme wurden 3-fach redundant und diversitär aufgebaut. Die Generation 3+, wie der EPR der AREVA, verhindern mit einem Core Catcher unter dem Druckgefäß das Durchbrennen des Reaktorgebäudefundamentes bei einer Kernschmelze. Die neuesten Reaktoranlagen der Generation 3+, wie der AP 1000, Hualong und der WWER-1000 haben passive Notkühlsysteme, die den Einsatz der Notstromanlagen bei Anlagenstörungen oder einem Netzausfall unnötig machen.

Reaktoranlagen der Generation 4 arbeiten mit drucklosen Reaktorkühlsystemen mittels Gasen, Salzen oder flüssigen Metallen, haben höhere Kühlmitteltemperaturen, der Kernbrennstoff ist fest oder auch flüssig. Durch die Reaktorgröße und die Bauart ist keine aktive Notkühlung notwendig.

Der THTR, der Kugelhaufenreaktor, eine deutsche Entwicklung, ist ein Generation 4 Reaktor und ist als 100 MW Block bereits kommerziell im Betrieb. Weiterhin ein 1 MW „Dual Fluid Reaktor“ als Versuchsreaktor, beides in China. Reaktoren der Generation 4, sind wegen ihrer Sicherheit und hohen Prozesstemperaturen auch im urbanen und industriellen Umfeld einsetzbar, und dadurch ist auch die Abwärme bei der Stromerzeugung für die Beheizung von Gebäuden nutzbar. Die Nachzerfallsprodukte des verbrauchten Kernbrennstoffes erfordern eine Endlagerzeit von nur noch 300 Jahren. Weltweit befassen sich ca. 70 Startup - Unternehmen mit Reaktoren der Generation 4.

Die ersten Reaktoren der Generation 2 hatten eine Sicherheit von $5 \times 10^{\text{hoch minus 4}}$, das heißt alle 5.000 Betriebsjahre musste statistisch mit einem schweren Störfall gerechnet werden. Durch die Weiterentwicklung konnte diese Sicherheit kontinuierlich erhöht werden, so dass die heutigen Reaktoranlagen um den Faktor 1000 verbessert werden konnten. Der AP 1000 der amerikanischen Firma WESTINGHOUSE wird mit einer Sicherheit gegen schwere Störfälle mit $2,41 \times 10^{\text{hoch minus 7}}$ angegeben, statistisch alle 24 Millionen Betriebsjahre einen schweren Störfall.

Der Erntefaktor EROI Energy Returned on Energy Invested, liegt bei Solaranlagen bei 1,6, bei Windanlagen bei 4,6, bei den neuen Kernreaktoren der Generation 3+ bei über 100 und Generation 4 Anlagen über 2.000. Der EROI beschreibt das Verhältnis der im Verlaufe der Lebensdauer eines Kraftwerks insgesamt erzeugten Energie zur eingesetzten Energie.

Kernenergie ist die preiswerteste Art Energie zu erzeugen, die Stromerzeugungskosten von Kernkraftwerken liegen bei 4-6 Cent/kWh. d.h. um den Faktor 5 bis 10 niedriger als bei den „Erneuerbaren Energien“. Weltweit sind 430 Kernkraftwerke im Betrieb und 63 im Bau.

In der Politik und in den Medien finden immer wieder Kostenvergleiche von Solar- und Windanlagen mit thermischen Kraftwerken - wie auch mit Kernkraftwerken - statt. Diese Vergleiche beziehen sich

sowohl auf die Investitionskosten als auch auf Stromerzeugungskosten. DIESE VERGLEICHE SIND VÖLLIG UNSINNIG. Solar- und Windanlagen sind volatil, d.h. wetterabhängig, nicht steuerbar und können somit nicht dem Stromverbrauch angepasst werden, bieten also keine Versorgungssicherheit. Kein Haushalt kann durch Solar- und Windanlagen durchgehend versorgt werden.

Thermische Kraftwerke sind grundlastfähig und können kurzfristig dem Stromverbrauch angepasst werden, sind also steuerbar und versorgungssicher. Um die Kosten von Solar- und Windanlagen mit thermischen Kraftwerken zu vergleichen, müssen bei Solar- und Windanlagen die Aufwendungen für die Versorgungssicherheit dazugerechnet werden. Notwendig sind Batterie - Kurzzeitspeicher mit modernen Wechselrichtern, für die Frequenzstützung, Sekunden- und Minutenreserve. Bei größeren Lastsprüngen und Dunkelflauten müssen Wasserstoff – Backupkraftwerke gestartet werden, die dann als Wasserstoff - Langzeitspeicher die Versorgungssicherheit übernehmen.

Die durchschnittlichen Stromerzeugungskosten von Solar- und Windanlagen lagen im Jahr 2024 bei ca. 12,4 Cent/kWh und werden auch in Zukunft nicht deutlich fallen, da beim weiteren Ausbau die Stromspitzen - bei viel Sonne oder Wind - nicht ins Netz einspeisbar sind und abgeregelt werden müssen. Im Jahr 2024 mussten, bei einer möglichen Erzeugungsleistung von Solar- und Windanlagen von 266 TWh, 49 TWh zu niedrigen oder negativen Preisen exportiert und 54 TWh abgeregelt werden, die aber über die steuerfinanzierte, gesetzliche Einspeisevergütung von 18,5 Mrd. € in 2024 den Erzeugern erstattet wurde. Diese prekäre Situation wird sich massiv verschlechtern, wenn auch unsere Nachbarländer stärker Solar- und Windanlagen ausbauen.

Die bisherigen Kosten der Energiewende liegen bei 695 Mrd.€. Die zukünftigen Kosten von versorgungssicheren Solar- und Windanlagen mit Batterie- und Elektrolyseanlagen sowie den Wasserstoff-Backupkraftwerken belaufen sich bis 2045 - bei Beibehaltung des heutigen Endenergiebedarf von ca. 2.000 TWh - auf ca. 5.000 Mrd. €. Es gibt Studien, die auf die doppelte Summe kommen

Die Stromerzeugungskosten mit Solar- und Windanlagen werden durch die Aufwendungen der Versorgungssicherheit - ohne Steuersubventionen - auf 38 Cent/kWh steigen, was bei der heutigen Kostenstruktur und dem notwendigen Netzausbau, einen Haushaltsstrompreis von 87 Cent/kWh ergeben würde.

Energiekosten, Versorgungssicherheit, Deindustrialisierung und Wohlstandsverluste werden die zukünftigen Herausforderungen sein.

Eine Energiewende, ohne einen Mix mit neuen, innovativen Technologien wie fortgeschrittene Reaktoren und Fusionsanlagen, wird scheitern.

www.energiewende-juergen-schoettle.de