

# Zurück in die Zukunft

geschrieben von Admin | 25. Februar 2024

## von Dr. Humpich

Der Bau von Kernkraftwerken (KKW) in den USA und Europa ist eine wirtschaftliche Katastrophe. Absurde Bauzeiten (Olkiluoto 16 Jahre, Vogtle 14 Jahre) bei astronomischen Baukosten (Olkiluoto 8000 USD/kW, Vogtle 15 000 USD/kW) und das Rad dreht sich bisher munter weiter. Gerade ist das hoffnungsvoll erwartete Projekt des Kraftwerks Nuscale UAMPS bestehend aus  $6 \times 77 \text{ MW}_{\text{el}}$  in USA schon vor dem Baubeginn gestorben. Kein Wunder, bei einer spezifischen Investition von über 20 000 USD/kW. Wie konnte es dazu kommen? Wie läßt sich diese Entwicklung wieder umkehren?

## Die Anfänge in den 1960er Jahren

Nach einer steilen Lernkurve erreichten KKW in den USA im Zeitraum 1965–1970 ihren bisherigen Tiefpunkt der Investitionskosten mit etwa 1000 bis 2000 USD/kW auf der Preisbasis 2024 (!) als „Overnight Cost“. Gemeint sind damit die reinen Baukosten ohne Finanzierung während der Bauzeit. 1965 bot General Electric Strompreise von 0,0035 USD/kWh an (entsprechend etwa 3,2 Cent in 2024 Dollar). Das waren konkurrenzfähige Kosten zu Strom aus Kohle, sogar ohne Rauchgasreinigung. Zu diesem Zeitraum hatte Kohle ihren Tiefstpreis in der Geschichte. 1970 erwarteten selbst die „Atomkraftgegner“ das kommende „Atomzeitalter“ mit niedrigsten Strompreisen. Man glaubte, daß die elektrische Energie bald so billig würde, daß sich überhaupt keine Abrechnung nach Verbrauch mehr lohnen würde. Doch dann kehrte sich der Trend um und die Investitionskosten gingen ab, wie eine Rakete. Schon 1975 wurden spezifische Investitionen von 10 000 bis 12 000 USD/kW (2024 Dollar) erreicht. Parallel verdreifachte sich die Bauzeiten von 4 Jahren in den 1960er auf über 10 Jahre ab Ende des 1970er Jahrzehntes.

## Die Phase der Stagflation

Ausgelöst durch die beiden Ölkrise 1973 und 1976 und den Vietnamkrieg ergab sich eine enorme Inflation, in deren Folge die Zinsen stark anstiegen. Eine toxische Mischung bei verlängerten Bauzeiten. Nicht nur die steigenden Materialpreise und Löhne verhagelten jede Kalkulation, sondern insbesondere auch die Zinslasten der Finanzierung. 1993 stiegen die Kosten nach Fertigstellung (durch die Finanzierung) auf nahezu das vierfache der „Overnight Costs“. Eine gefährliche Entwicklung, die durch die realen Verhältnisse vernebelt wurde. Der Ölpreis war so hoch geworden, daß sich die Stromerzeugung mit Ölkraftwerken nicht mehr lohnte. Erdgas war noch nicht in ausreichender Menge vorhanden, deshalb wurden den Herstellern die KKW und Kohlekraftwerke aus den Händen

gerissen. Eine typische Situation für aus dem Ruder laufende Kosten: Man muß nicht mehr so genau hinschauen, da ja die steigenden Kosten locker an die Kunden weiter gegeben werden können. Bei der Kohle kamen noch stark steigende Kosten beim Brennstoff durch Streikwellen und verschärfte Umweltauflagen (Entstaubung, Entschwefelung, Entstickung) hinzu. Die ersten Opfer der „Umweltschützer“ waren in der Tat die Kohlekraftwerke. Die berechtigte Kritik von Anwohnern wurde von den Medien zum „Waldsterben“ aufgeblasen. Sehr schnell erkannten international die Neo-Marxisten den Wert von Protesten für ihre „Gesellschaftsveränderung“. Das öko-sozialistische Muster für den Kampf war vorgegeben: Immer neue „Umweltprobleme“ vom „Waldsterben“ einst, bis zur „Klimakatastrophe“ heute. Hier fängt die Kritik an der kerntechnischen Industrie an. Man nahm den Protest der sog. „Umweltschützer“ zwar nicht gerade mit Häme gegenüber den Kollegen von der Kohle an, aber mit interessiertem Wohlwollen hin. Bis heute hat man diesbezüglich nichts kapiert, wie die Betonung der „CO<sub>2</sub>-Freiheit“ als Pseudo-Verkaufsargument immer noch zeigt. Wer das Krokodil füttert, wird als letzter gefressen, war noch nie eine erfolgreiche Strategie.

Der Verlust der Kostenkontrolle ließ die Löhne und Materialkosten steigen. Hinzu kam ein gewisser Verlust der Arbeitsproduktivität durch den Einsatz unerfahrener Arbeiter und längerer Vorlaufzeiten. Ein Phänomen, was sich bei Olkiluoto, Vogtle etc. erschreckend wiederholte und heute in China und Russland wieder erfolgreich umkehrt. Eine Technologie wird während eines Booms nicht schlechter. Es erfordert nicht mehr Material, um die gleiche Arbeit zu erledigen. Es erfordert nicht mehr Konstruktion und Ingenieurwissen pro Einheit. Aber die Materialmengen für die KKW stiegen in den 1970er Jahren dramatisch an: Beton und Stahl für die gleiche Anlage verdoppelte sich. Verkabelung und Laufbahnen für dieselbe Anlage haben sich gar mehr als verdreifacht. Die Arbeitszahlen waren noch vernichtender: Die handwerklichen Arbeitsstunden stiegen um das Vierfache, die für den Papierkram verzehnfachten sich sogar. Ein Vergleich zeigt, daß man 1980 dreimal so viele Arbeitsstunden für den Papierkram benötigte, als Handwerksstunden für den Bau 1967 benötigt wurden. Diese Zahlen sind kaum zu verstehen, wenn man berücksichtigt, wie sich die Technologie in diesem Zeitraum entwickelt hat. Schiffe z. B. sind ebenfalls hoch entwickelte technische Gebilde mit hohen Umwelt- und Sicherheitsanforderungen (z. B. LNG-Tanker), aber koreanische Werften benötigen für Planung und Konstruktion weniger als 25% der Arbeitsstunden auf der Werft.

Der unvermeidliche Crash passierte und die Preise für Öl und Kohle brachen in der ersten Hälfte der 1980er Jahre ein. Ein deutlicher Indikator für das Ende einer Stagflation. Die Überlebenden raufte sich zusammen, und die realen Kosten kehren auf das Niveau vor dem Boom zurück. Das ist mit Kohle passiert – trotz gestiegener Umweltauflagen – aber nicht so nuklear. Die Kosten in der Kerntechnik haben sich ein wenig abgesenkt, aber sie sind nie gesunken. Etwas anderes geschah.

# Das Klinkenrad der Regulierungen

Regulierungen – gemeint sind damit Vorschriften und Dokumentationspflichten – gehen immer nur in eine Richtung. Hat der Staatsdiener erstmal eine Vorschrift in der Hand, kommt er davon nicht mehr runter. Wir kennen das aus dem Bereich der Steuergesetze (Sekt-, Salz-, Kaffeesteuer usw.) oder aktuell aus der „Digitalisierung“. Da gibt es unzählige Formulare trotz Erfindung des Computers. Notfalls wird das Formular digital auf dem Bildschirm nachgebildet, bevor sich mal einer Gedanken über den Sinn und die Arbeitsabläufe macht. Das Klinkenrad an der Kostenschraube kennt daher nur eine Richtung – in steigende Kosten in der Zukunft – wie bei der Unruh einer Turmuhr. Grundsätzlich ist der Bürger aus der Sicht des Staates ein potentieller Krimineller, weshalb die Überwachung und Dokumentation stets erweitert werden muß. Man könnte glauben, alle Politiker hätten ein ersthaftes Sozialdefizit. In Deutschland ist diese Haltung besonders ausgeprägt: Neues birgt immer nur zusätzliche Risiken, niemals Chancen.

## Der DEGB als Musterfall

In der Kerntechnik gab von Anfang an immer ein Ping-Pong zwischen „Atomkraftgegnern“ und Regulierungsbehörde: Die „Atomkraftgegnern“ erfanden ein neues Problem und die Regulierer stürzten sich begeistert darauf, eine „Lösung“ zu finden – in Stundenlohnarbeit versteht sich. Hitzige Diskussionen entstehen, unzählige Fachaufsätze werden geschrieben, Forschungsprojekte lanciert usw. Das Musterbeispiel, mit dem der Irrsinn Anfang, ist immer noch der Double Ended Guillotine Break (DEGB). Man warf die akademische Frage in den Raum, was geschieht, wenn eine Hauptkühlmittelleitung bei einem Druckwasserreaktor bricht? Natürlich in der (nur) theoretisch denkbaren Form, daß dies schlagartig geschieht (Guillotine Break) und die Rohrenden sich sofort vollständig offen gegenüberstehen. Der legendäre Kerntechniker Ted Rockwell sagte einst lapidar: „We can't simulate instantaneous double ended breaks because things don't break that way“. Die Schlussfolgerung ist klar: Wenn sich ein akademisches Gedankenexperiment gar nicht physikalisch realisieren läßt, ist es eine Aufgabe für eine Computersimulation – ganz so, wie man es aus der Klimatologie kennt. Eine endlose Diskussion wird gestartet, die man nicht beenden kann, weil man ja keine Klärung durch ein Experiment schaffen kann. Ideal für jeden Aktivisten.

Ohne hier auf die unzähligen Feinheiten und Konsequenzen des DEGB einzugehen, nur so viel: Er brach 1972 mitten über zahlreiche im Bau befindliche Reaktoren herein. Hat man sich erst einmal ein Szenario ausgedacht, lassen sich daraus unzählige (erdachte) Anforderungen ableiten: Es wurden Rohrunterstützungen für wild schwingende Rohrleitungsenden berechnet und gebaut, Spritzschutz gegen die fiktiven, tosenden Wassermassen im Kraftwerk erdacht, bis hin zu absurden Forderungen für den Start von Notdieseln. Wer nun glaubt, das war ein Einzelfall, der irrt. Es folgte der Core Catcher, auf der Basis eines

schlechten Hollywood Schinkens und dann die doppelte Betonhülle gegen den Absturz eines Jumbos und als sich das nicht mehr halten lies, eben gegen den Anschlag von Terroristen...

Schwupp die Wupp, war der EPR von Siemens und Areva als Antwort auf all diese Kopfgeburten erschaffen. Hier wieder eine klarer Vorwurf an die Industrie, die sich nie adäquat zur Wehr gesetzt hat, sondern der es bequemer schien, über jedes hin gehaltene Stöckchen zu springen. Hatte man wohl an das klassische Geschäft zu Lasten Dritter geglaubt. Aber der Stromkunde kann und will nicht mehr jeden geforderten Preis zahlen. Chinesen und Koreaner laufen inzwischen nahezu uneinholbar davon. Sie bauen und exportieren inzwischen KKW ohne Chi Chi, dafür aber mit konkurrenzlos günstigen Stromgestehungskosten.

## Gründe über Gründe...

Wie ist es möglich, daß ein deutsches EVU in den Niederlanden ein modernes Steinkohlekraftwerk für unter 2000 USD/kW (1562 USD bei Fertigstellung 2015 pro kW) bauen kann? Spitzentechnik mit einem Wirkungsgrad von 46%. Damals weltweit Bestwert. An den Löhnen kann es nicht liegen, die Niederlande sind ein Hochlohnland. An den Umweltschutzaufgaben auch nicht: Alle (strengen) Grenzwerte werden eingehalten. Ganz ähnliches gelang auch in Deutschland mit dem Kohlekraftwerk Moorburg. Allerdings schon etwas teurer, wegen abstruser nachträglicher Umweltauflagen (zusätzlicher Kühlturm, Kohlelager in einer Halle etc.) während der Bauzeit. Wieso mutieren die – oft genug gleichen – Ingenieure, die bei einem Kohlekraftwerk Spitzenleistungen erbringen, zu Trotteln, wenn sie ein KKW bauen? Auch eher unwahrscheinlich. Es ist schwer zu verstehen, daß Vorschriften und Preise die Kosten um den Faktor fünf und mehr in die Höhe treiben sollen.

Es kommt darauf an, wie gut die Menschen auf die Anreize reagieren, mit denen sie konfrontiert sind. In einem wirklich wettbewerbsorientierten Markt ist der Anreiz, **billiger und besser** zu bauen oder zu sterben. Im „Beamtensystem“ besteht der Anreiz einzig darin, jedes Problem zu vermeiden, für das der Beamte verantwortlich gemacht werden könnte – beides führt zu völlig verschiedenen Ergebnissen. Es ist beileibe kein Zufall, daß das Kontrollsystem für Reaktoren ursprünglich von der US-Navy stammt. Im gesamten Rüstungsgeschäft trifft man immer wieder auf nicht nachvollziehbare Preise. Man vergleiche einmal Beschaffungs-Preise für Standardbauteile (Batterien, Reifen, Bekleidung usw.) bei der Bundeswehr mit Preisen aus dem Internet.

Wenn ein KKW gebaut wird, wird einem allmächtigen Regulator (Monopol) die alleinige Entscheidungsgewalt über das gesamte Projekt vom ersten Federstrich bis zur Endabnahme übertragen. Die Regulierungsbehörde hat keinen Nutzen aus der Stromproduktion, aber sie teilt alle Gefahren. Um dieser Verantwortung gerecht zu werden, verlässt sie sich auf starre Verfahren und umfangreichen Papierkram, der dokumentiert, daß alle

Verfahren akribisch befolgt wurden. Was auch immer passiert, es ist nicht ihre Schuld. Das ist kein Vorwurf. Es soll auch nicht der Erfolg geschmälert werden. Diese „Sicherheitskultur“ hat die Kernenergie zu der Energieform mit den geringsten Toten gemacht. Würde man die gleichen Maßstäbe bei Windmühlen anlegen, müßten diese sofort abgeschaltet werden – allerdings hätte man dann in dieser Branche auch weniger schwere Arbeitsunfälle und (zukünftige) Berufskrankheiten. Allerdings ist das auch nur die eine Seite der Medaille. Durch die Erstickung des technischen Fortschritts, die Vernichtung des Wettbewerbs, die Demoralisierung der Mitarbeiter, die Verwässerung der Verantwortung führt diese perverse Reihe von Anreizen oft zu einer elenden Qualität (Olkiluoto, Flamanville). Die Lösung für die daraus resultierenden Probleme und Fehler sind immer noch starrere Verfahren, detaillierterer Papierkram, zeitaufwändigere Genehmigungen und Prüfungen. Die Abwärtsspirale geht so immer weiter.

Die Kostensteigerungen werden nicht direkt durch die Vorschriften verursacht, vielmehr resultieren sie aus der Interaktion zwischen den Mitarbeitern des Regulierers und der Industrie. Beide bemühen sich die Ziele von „Null-Risiko“ und „Null-Fehler“ in einem feindlichen und stur legalistisch-regulatorischen Umfeld zu erreichen. Das Streben nach „Null-Risiko“ bedeutet, daß letztlich alle Ausfälle die gleiche Bedeutung haben, unabhängig von der Wahrscheinlichkeit des Auftretens. Das Streben nach „Null-Fehlern“ fördert die kontinuierliche Erweiterung der Anzahl der Alternativen, die analysiert werden müssen, und die kontinuierliche Verfeinerungen der Anforderungen. Der rechtliche Bedarf an „Beweisen“ fördert die Entwicklung komplexer Analysen und nicht einfacher „Abschätzungen“. Er verdrängt auch die Tatsache, daß alle technischen Analysen in Wirklichkeit nur Annäherungen an die tatsächlichen Phänomene sind, weil solche subjektiven Positionen vor Gericht schwer zu verteidigen wären. Der Vorteil, den „Präzedenzfälle“ im rechtlichen Umfeld haben, fördert die Annahme unrealistischer und teurer Ansätze, weil es einfacher ist, als die Unsicherheit zu erleiden, die mit dem Versuch verbunden ist, einen neuen Ansatz zu akzeptieren. Die Fortsetzung dieser Situation seit Jahrzehnten hat zu der Tradition geführt, daß eine Methode, die komplexer, schwieriger und zeitaufwendiger ist, sicherer sein muß!

Die klassische Aufteilung von Autorität und Verantwortung zwischen Ingenieur, Hersteller und Konstrukteur wurde durch die Angst verzerrt, eine Entscheidung in einer regulatorischen oder gerichtlichen Anhörung zu verlieren, die einen finanziellen Schaden für das Versorgungsunternehmen zur Folge hat. Folglich gab es eine immer weiter zunehmende Abhängigkeit von akademischen Analysetechniken und nicht von erfahrener Sachverstand. Von dem Konzept der „guten Ingenieurpraxis“ wird während des Baus abgeraten. Analysten und Designer sowohl von Regulierungs- als auch von Industriemitarbeitern, die in den Realitäten der Hardware- und Baupraktiken unerfahren sind, treffen unpraktische Designentscheidungen, die der Wirtschaft der Nuklearindustrie äußerst schaden.

Das Streben nach den unerreichbaren Zielen von Null-Risiko und dem rechtlichen Nachweis der Perfektion hat eine lähmende Wirkung auf ein effektives Engineering- und Baumanagement gehabt. Ironischerweise verursacht dieses Streben nicht nur die Entwicklung von weniger als befriedigenden Entwurf- und Konstruktionsansätzen, es kann auch die Sicherheitsmargen verschlechtern, sowohl durch die Abkehr der Aufmerksamkeit von wichtigeren Überlegungen als auch durch die Anhäufung von Komplexitäten, die die Fähigkeit von Menschen und Maschine, zuverlässig und effektiv zu arbeiten, gefährden.

Der Beitrag erschien zuerst auf der Website des Autors hier