Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 83 (1992)

Heft: 24

Artikel: Die Kernkraftwerke der nächsten Generation

Autor: Fuchs, H.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-902907

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 08.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Die Kernkraftwerke der nächsten Generation

H. Fuchs

Ausgehend von einem Rückblick auf die Entwicklung der Kernenergie mit ihren Fortschritten und Rückschlägen zieht der Autor eine Bilanz der heutigen Situation. In seinem Ausblick gelangt er zum Schluss, dass die Kernenergie in weiterentwickelter Technologie einen wesentlichen und unerlässlichen Beitrag zu einer «sustainable» Entwicklung leisten kann und hierfür auch dringend benötigt wird.

Partant d'une rétrospective du développement de l'énergie nucléaire avec ses progrès et ses insuccès, l'auteur présente un bilan de la situation actuelle. Dans ses perspectives d'avenir, il arrive à la conclusion que l'énergie nucléaire peut, grâce à une technologie nucléaire avancée, apporter une contribution importante et indispensable à un développement «durable» et qu'elle est pour cela absolument nécessaire.

Adresse des Autors
Dr. *Hans Fuchs*,
Atel, Aare-Tessin AG für Elektrizität,
4601 Olten.

Entwicklung: das Auf und Ab hat Tradition

Seit jeher war der Mensch bestrebt, seine Werkzeuge und Gerätschaften zu verbessern und weiter zu entwickeln – aber auch Neues zu schaffen. Waren die Hauptantriebe dazu ursprünglich wohl die Erfordernisse des Überlebenskampfs, so kamen später auch andere Elemente hinzu wie Spieltrieb (homo ludens!), Ehrgeiz, Schaffen von Konkurrenzvorteilen usw.

Die Entwicklung verlief aber keineswegs gleichförmig, sondern war auch durch Phasen der Stagnation und des Rückschritts gekennzeichnet (zum Beispiel Untergang des römischen Reichs, Mittelalter); das Auf und Ab wurde durch die zeitabhängigen Antriebe und Hemmungen bestimmt:

Antriebe:
- wahrgenommene(r) Notwendigkeit, Bedarf
- Krise, Challenge
- fortschrittliches, freiheitliches «Klima»
- Spielraum, Toleranz für Neues
- Begeisterung für «Macher»
- Marktpotential
- Visionen

Hemmungen:
- Bedürfnislosigkeit (echt oder erzwungen), Gleichgültigkeit
- Stagnation, Resignation
- Diktatur, Meinungsmonopolisierung
- bürokratische Kleinlichkeit, Intoleranz
- Etablierung der einäugigen Bremser
- irrationale Barrieren
- Ziellosigkeit.

Die Geschichte zeigt leider, dass die raschesten Entwicklungssprünge durch Kriegssituationen ausgelöst wurden, zum Beispiel im Zweiten Weltkrieg:

- Düsenflugzeuge und Raketen in Deutschland
- erste Computer- und Radaranwendungen in England
- Manhattan Projekt (Atombombe) in den USA.

Typisch auch, dass zu dieser Zeit in England der «Macher» Churchill eingesetzt und danach wieder entlassen wurde...

Andererseits sind auch in Friedenszeiten konzentrierte Entwicklungsschübe zu verzeichnen wie:

- Mann-auf-den-Mond-Programm der USA nach dem Sputnik-Schock 1957 (Challenge!)
- Atoms für Peace-Programm der USA 1953 (Vision!)
- Aufstieg Japans zur (nicht nur) Chip-Grossmacht (Marktpotential!).

Selbst bei raschen technischen Entwicklungen stellt man aber ein toleriertes Nebeneinander verschiedener Entwicklungsgenerationen fest: so fliegen nicht nur die neusten Airbus-Modelle, sondern auch ältere Jumbos ebenso wie die DC-3. Einzig bei Kernkraftwerken verteufeln gewisse Gegner-Institute in intellektuell erbärmlicher Weise ältere (aber nachgerüstete) Reaktoren als «Schrott»...

Die Reaktorentwicklung im Wechselbad: von Euphorie bis zu kategorischer Ablehnung

Vom Pionier-Experiment bis zur kommerziellen Nutzung

Am 2. Dezember 1942 wurde im Fussballstadion der Universität Chicago der erste Kernreaktor kritisch; die erste Stromerzeugung gelang 1951 mit dem Experimental Breeder I (200 kW). Ende 1953 kündigte Präsident Eisenhower das «Atoms for Peace»-Programm an, das weltweit – insbesondere nach der 1. Genfer Konferenz 1955 – eine sehr starke Resonanz, ja Begeisterung

auslöste. Die neue, vielversprechende Energiequelle wurde euphorisch begrüsst, und weltweit wurden auf breitester Front Entwicklungsarbeiten grosszügig gefördert. Selbst Rückschläge und ernsthafte Störfälle akzeptierte man mit Gelassenheit und Toleranz.

1963 wurde mit der Auftragserteilung für das KKW Oyster Creek in den USA der kommerzielle Durchbruch erreicht – was rasch zu weiteren Aufträgen führte: 1970 lag die Zahl der in den USA erteilten Kernreaktor-Aufträgen bei 100!

Nach dem ersten Durchbruch wird der Schwung gebremst

In der 2. Hälfte der 60er Jahre formierten sich die hemmenden Gegenkräfte, namentlich:

- die Umwelt-Bewegung: Führte 1969 zum National Environmental Protection Act, 1970 zur Gründung der Environmental Protection Agency (EPA) – die KKW-Projekte gerieten frontal in die Umweltverträglichkeitsprüfungs-Maschinerie...
- die Sicherheits-Diskussion: Unter dem Eindruck der von Kernkraftkritikern initiierten Kontroversen über Notkühlung (1970/71) und Rückhaltemassnahmen erliess die Bewilligungsbehörde USAEC (später NRC) innert weniger Jahre Hunderte von neuen Vorschriften
- die Überlastung der Reaktorindustrie, der Ingenieur-Architekten und ihrer Auftragnehmer: Die Auftragsflut führte zu Ausführungsmängeln, Kosten- und Terminüberschreitungen und damit zu Vertrauensverlust bei den Auftraggebern
- die Wachstumskritik: Fand durch den 1972 publizierten, vom Club of Rome initiierten Bericht «Limits to Growth» weltweit ausserordentliche Resonanz
- die Rezession im Gefolge des 1. Ölschocks 1973: Die Prognosen über die Stromverbrauchszunahme mussten stark nach unten korrigiert werden – das war schliesslich der Auslöser für Auftragsstornierungen und dann für das Ausbleiben von KKW-Bestellungen in den USA ab Ende der 70er Jahre.

Ein weiterer Antrieb wird zum Teil brutal abgewürgt

In Europa wirkte der erste Ölschock als Antrieb für den Zubau von Kernkraftwerken; namentlich Frankreich empfand die Ölkrise als nationale Demütigung und reduzierte folgerichtig die Ölabhängigkeit durch ein (sehr erfolgreiches!) Kernkraftprogramm. Eine europäische Besonderheit der 70er Jahre, speziell in der Bundesrepublik, ist die ausserordentliche Präsenz und Gewalttätigkeit von Kernenergiegegnern – man könnte vermuten, dass der Ostblock und Konkurrenzenergien parallel «gewirkt» haben...

Markante Stör-/Unfälle obendrauf

Der Störfall im KKW Three Mile Island (Harrisburg) 1979 führte zu einem teilweisen Schmelzen des Reaktorkerns, jedoch nicht zu Personenschäden. Da aber die Öffentlichkeit in verschiedenen Ländern durch vorherige Störfälle und unter anderem durch die in vielen Medien sensationslüstern aufgeblähten Gegner-Argumente schon verunsichert war, reagierte sie auf die bei diesem Störfall zutage getretenen Mängel mit höchster Skepsis. Sie nahm danach kaum zur Kenntnis, dass westliche Hersteller und Betreiber die Herausforderung angenommen hatten und systematisch Verbesserungsmassnahmen realisierten.

Ein noch grösserer Akzeptanztöter war 1986 die Havarie des KKW Tschernobyl, unter anderem weil anfänglich bei westlichen Reaktoren undifferenziert «Sippenhaft» betrieben wurde – ungeachtet der physikalisch völlig unterschiedlichen Auslegung. Allerdings liessen sich trotz der Verschiedenheiten allgemeine Lehren ziehen, die zu Weiterentwicklungen auch ausserhalb der ex-UdSSR Anlass gaben.

Fazit

Rückblickend muss man festhalten, dass Exzesse sowohl seitens der Antriebe (z.B. Bestell-Boom in den USA) wie auch seitens der Hemmungen (z.B. lokale Ausstiege oder katastrophale Systemfehler wie in der ex-UdSSR) der geordneten Weiterentwicklung der Kernreaktoren geschadet haben, während «mittelstarke» Antriebe oder Hemmungen der Entwicklung nützliche Impulse gaben.

Zwischenbilanz: wo stehen wir heute?

Die Kernenergie als Schrittmacher

Es wird häufig vergessen, dass die Kernenergie eine Reihe von Pionierleistungen erbracht hat, unter anderem:

- Kontrollierte Nutzung der bisher konzentriertesten Energieform (Uran für den Einsatz in KKW enthält etwa 100 000mal so viel Energie wie die gleiche Menge Kohle).
- Erste Technik mit einem Risikopotential, die von Anfang an vorbeugende Schutzmassnahmen einführte (d.h. das Prinzip «Der kluge Mann baut vor» beachtete).
- Erste Technik, die sich seit jeher um den dauerhaften Verbleib ihrer Abfälle kümmerte (aber vielleicht deshalb noch kein Endlager für hochaktive Abfälle vorzeigen kann) und sich bemühte, alle externen Kosten zu internalisieren.
- Erste Technik, die sich von Anfang an verpflichtet fühlte, Lösungen für viele Jahrhunderte zu entwickeln (schnelle Brüter – und damit verbunden auch Materialentwicklungen, die der Kernfusion zugute kommen werden).
- Energieform mit minimer Wechselwirkung mit der Umwelt, die – eigentlich paradoxerweise – die systematische Untersuchung solcher Wechselwirkungen eingeführt hat (schon die ersten Sicherheitsberichte enthielten die wesentlichen Elemente der späteren Umweltverträglichkeitsberichte).
- Intensive internationale Zusammenarbeit seit 1955 (eingeschränkt sogar während des Kalten Krieges), die unter anderem zu einer früheren Beachtung der «globalen Verträglichkeit» als Entscheidungskriterium führte.

Periodizität der Antriebe/ Hemmungen?

Der geschichtliche Rückblick zeigt, dass von etwa 1955 bis etwa 1970/1975 vorwiegend Antriebskräfte für die Entwicklung der Reaktoren wirkten und die obgenannten Pionierleistungen hervorbrachten. Seit 1975 dominieren die hemmenden Kräfte, was nach rund 20 Jahren der Pionierphase einer völlig neuen Technik mit ausgesprochenen Parforceleistungen wohl unvermeidlich war (etwa so wie beim «berühmten» Indianer, der noch nie in einem Auto gefahren war und dann nach einer Stunde Fahrt ausstieg und wartete, weil «seine Seele noch nicht nachgekommen war»). Es gibt gute Gründe zur Annahme, dass nach 20 Jahren «Hemmungen» ab etwa 1995 die «Antriebe» wieder stärker werden – diesmal jedoch weniger aus Euphorie denn aus Einsicht in die (globale) Notwendigkeit. Hiezu sind jedoch noch weitere Schritte nötig.

Zahlenmässige Sicherheitsbilanz

Eine Betrachtung von H. Kouts [1] zeigt, dass 1991 eine Betriebserfahrung mit leicht- und schwerwassermoderierten Reaktoren von etwa 5000 Reaktor-

Jahren vorlag, während in solchen Reaktoren ein schwerer Kernschaden (ohne Auswirkungen in der Umgebung) zu verzeichnen war (Three Mile Island). Das ist häufiger als das INSAG-Ziel [2] für vorhandene Reaktoren von weniger als etwa 1 pro 10 000 Reaktor-Jahre, liegt aber in der gleichen Grössenordnung.

Kouts stellt dann weiter fest, dass die Auswertung der Störfall-Vorläufer-ereignisse («Precursors») durch die USNRC darauf schliessen lässt, dass die Kernschadenshäufigkeit in den amerikanischen Reaktoren von etwa 1 pro 1000 Reaktor-Jahre (pro Reaktor) vor Three Mile Island 1979 als Folge der danach realisierten Verbesserungen auf etwa 1 pro 10 000 bis 100 000 Reaktor-Jahre gesunken ist.

Die INSAG (International Nuclear Safety Advisory Group) der Internationalen Atomenergieagentur (IAEA) gibt in [2] als weiteres Ziel für bestehende Reaktoren an, dass die Wahrscheinlichkeit für grosse Aktivitätsfreisetzungen, die einschneidende Sofortmassnahmen in der Umgebung erfordern würden (z.B. Evakuierungen), um mindestens einen Faktor 10 unwahrscheinlicher sein soll als die Kernschadenshäufigkeit (d.h. $< 10^{-5}$ pro Reaktor-Jahr statt 10^{-4}), wozu sowohl Accident Management wie auch das Containment beitragen. Probabilistische Sicherheitsanalysen zeigen, dass dieses Ziel für westliche Reaktoren erreicht sein dürfte – obschon man natürlich von einem direkten empirischen Nachweis noch weit entfernt ist (gut 5000 Reaktor-Jahre gegen 100 000!).

Leider sieht die Sicherheitsbilanz viel schlechter aus, wenn alle Leistungsreaktoren einbezogen werden – dann fällt auf jetzt etwa 6400 Reaktor-Jahre 1 Tschernobyl!

Der RBMK-Reaktor (Block 4) in Tschernobyl war jedoch derart gefährlich konstruiert (wie ein Rennwagen, bei dem sich in gewissen Geschwindigkeitsbereichen Gas und Bremse unbemerkt vertauschen...), dass der Reaktorkern bei dem berüchtigten «Experiment» innert Sekunden buchstäblich platzte, weshalb die (schwachen) Gebäude den Austritt grosser Mengen radioaktiver Stoffe nicht verhindern konnten. Die Wahrscheinlichkeit für ein solches Ereignis lag bei den RBMK-Reaktoren damals offenbar in der Grössenordnung 1 pro 100 Reaktor-Jahre.

Die wichtigsten Gegner-Argumente

Eine oft benützte Zusammenstellung von Kritikpunkten findet sich im 1987 erschienenen Bericht der «Brundtland-Commission» [3], der den Begriff «Sustainable Development» prägte (= Entwicklung, die langfristig aufrecht erhalten werden kann; «nachhaltige», «tragbare» Entwicklung). Obschon diese Kommission unter dem Eindruck von Tschernobyl stand, hielt sie den Einsatz der Kernenergie für gerechtfertigt, wenn die noch offenen Sicherheitsprobleme (siehe weiter unten) gelöst werden, legte aber höchste Priorität auf die Entwicklung umweltfreundlicher und wirtschaftlich tragbarer Alternativen. Leider muss man feststellen, dass die seitherigen UNO-Arbeiten über «Environment and Development» das Wort «Kernenergie» weitgehend aus dem Vokabular gestrichen haben: Die Kernenergiegegner haben es somit fertig gebracht, die massgeblichen UNO-Umwelt-Gremien zu unterwandern. Es bleibt wohl nur der Trost, dass solch zweifelhafte Methoden kaum «sustainable» sind...

Zurück zu den Argumenten im Brundtland-Bericht:

- *Radioaktive Abfälle*, insbesondere Besorgnis wegen der noch nicht demonstrierten Lagerung der hochaktiven Abfälle und wegen möglicher Verschiebung in arme Länder: Die radioaktiven Abfälle sind nur ein geringer Teil der Abfallproblematik unserer Zivilisation – aber derjenige, der seine «Hausaufgaben» bisher am besten gelöst hat!
- Teilweise ungenügende kerntechnische *Standards*, unter anderem betreffend grenzüberschreitende Aspekte: Nach Tschernobyl stark verbessert, aber noch Nachholbedarf im ehemaligen Ostblock.
- *Nicht-Weiterverbreitung* von Kernwaffen: Der Ende der 60er Jahre begründete Non-Proliferations-Vertrag hat offensichtlich wirksam verhindert, dass spaltbares Material aus zivilen Reaktoren für Kernwaffen abgezweigt werden konnte. Nach den politischen Umwälzungen der letzten Jahre müssen allerdings die Prioritäten bezüglich Kontrollen neu gesetzt werden [4].
- *Risiko schwerer Unfälle*: Dieses Argument ist wohl das gewichtigste und nach Tschernobyl augenfälligste. Es wird zwar meist konzediert, dass ein analog rasant ablaufender Unfall zumindest in westlichen Reaktoren nicht denkbar ist – die theoretische, wenn auch sehr unwahrscheinliche Möglichkeit eines schweren Unfalls mit grösserer Freisetzung wirkt aber verängstigend. Obschon man in andern Bereichen des menschlichen Lebens Risiken um des damit verbundenen Nutzens willen klaglos akzeptiert, tut man sich bei der Kernenergie – trotz des nicht abzustreitenden Nutzens – schwer.

Erste Bilanz

Positives

Die Kernenergie hat von Ende der 50er Jahre bis Ende der 80er Jahre (d.h. innert etwa 30 Jahren!) ihren Anteil an der Welt-Elektrizitätserzeugung von 0 auf etwa 17% gesteigert. 1991 wurden rund 2000 Mrd. kWh nuklear erzeugt (zum Vergleich: Verbrauch der Schweiz 1991 total 47,6 Mrd. kWh).

- Kernenergie ist versorgungssicher und wirtschaftlich (auch unter Einschluss der Entsorgungskosten).
- Kernenergie trägt weder zur lokalen noch zur globalen Umweltbelastung bei (kein SO_2, NO_x, CO_2 usw.).
- Kernenergie hilft, die endlichen und auch für andere als Energiezwecke benötigten fossilen Reserven zu schonen.
- Kernenergie trägt wegen des hohen Kapitalkostenanteils zur Stabilisierung der Strompreise bei.
- Als höchst konzentrierte Energieform beansprucht die Kernenergie die natürlichen Ressourcen extrem wenig und ist deshalb ein unverzichtbares Element des «Sustainable Development».

Negatives

- Kernenergie ist mit einem hohen Risikopotential verbunden und musste deshalb in vielen Gebieten musterschülerhaft Pionierarbeit leisten. Dadurch wurden Neid, Konkurrenzdenken und weitere Gegenkräfte geweckt.
- Die Nutzung der Kernenergie erfordert den Einsatz komplexer Technologien und damit einen guten Ausbildungsstand und Sorgfalt in allen Phasen; Schlendrian oder ungenügende Mittel können riskant werden.
- Der sehr rasche Zubau von KKW führte zum Teil zur Überforderung der Kapazitäten, das heisst zu Mängeln, Kosten- und Terminüberschreitungen mit Vertrauensverlust der Auftraggeber.
- Die rasche Entwicklung einer nicht leicht verständlichen, neuen Energieform führte zu Ängsten und Besorgnissen, die von verschiedener Seite, namentlich von vielen Medien (Mediokratie/Mediokratur) geschürt wurden.
- Tschernobyl, schwere Unfälle: siehe unten.

Schwere Unfälle und die (noch) nicht verstandene «Precursor-Barriere»

Das Prinzip der «tiefgestaffelten Verteidigung» zur Absicherung gegen schwere Folgen von Störfällen ist schon oft beschrieben worden. Kaum verstanden wurde, dass es neben den «greifbaren» Sicherheitseinrichtungen in einer funktionierenden Safety Culture [7] auch noch eine «Precursor-Barriere» gibt, die faktisch verhindert, dass ein unwahrscheinliches und unerwünschtes Ereignis eintritt.

Betrachten wir das unter «Zahlenmässige Sicherheitsbilanz» erwähnte INSAG-Ziel «Wahrscheinlichkeit für eine massive Freisetzung $< 10^{-5}$ pro Reaktorjahr» und die dazugehörende probabilistische Sicherheitsanalyse, so stellen wir fest, dass eine sehr unwahrscheinliche grössere Freisetzung radioaktiver Stoffe nur stattfinden kann, wenn unabhängige Einzelereignisse (a, b, c, d, e, f ...) nacheinander eintreffen, das heisst a und b und c und usw.

Einige dieser Einzelereignisse können aber während der Lebensdauer einer Reaktoranlage (oder zumindest bei einem grösseren Kollektiv von Reaktoren) einzeln oder teilweise kombiniert auftreten (d.h. z.B. a allein oder a und b). Solche Ereignisse fallen auf, weil sie den Betrieb stören. Sie haben jedoch sonst keine Auswirkungen; eine aufmerksame Betriebsmannschaft erkennt in ihnen aber «Vorläufer» («Precursors») für möglicherweise schwerwiegendere Ereignisse. Daraus ergibt sich die Möglichkeit zu gezielten Verbesserungen derart, dass solche Ereignisse wirksam vermieden werden können.

Aber: die «Precursor-Barriere» funktioniert nur bei einigermassen intakter Safety Culture, das heisst bei sicherheitsbewusster Grundhaltung aller Beteiligten und unter der Voraussetzung ausreichend vorhandener Mittel!

Damit ist auch angedeutet, wie man den «schwarzen Schafen» unter den heute vorhandenen Reaktoren helfen soll: Es braucht primär eine Sensibilisierung für die Priorität der Sicherheit und sekundär materielle Mittel (die dann auch gezielt eingesetzt werden...).

Wie weiter?

Berücksichtigt man die weltweit sehr knappen finanziellen Ressourcen und die direkt-elementaren Bedürfnisse der Mehrzahl der Menschheit, so gelangt man zum Schluss, dass ein massvoller Zubau von Kernkraftwerken mit dem heute vorliegenden technischen Stand ratsam wäre.

Falls sich aber unter anderem aus ökologischen Gründen eine massive Vergrösserung des Kernkraftanteils aufdrängt, sind gezielte Weiterentwicklungen für die nächste KKW-Generation notwendig.

Die globale Sicht: es wimmelt von «Precursors»

Die unheimliche Vermehrung des Homo sapiens

Ein zurzeit nicht beherrschter Folgeeffekt der Entwicklung auf den Sektoren

- Medizin
- Landwirtschaft
- Industrie

ist die rasche Zunahme der Weltbevölkerung:

1830: 1 Mrd.
1930: 2 Mrd.
1960: 3 Mrd.

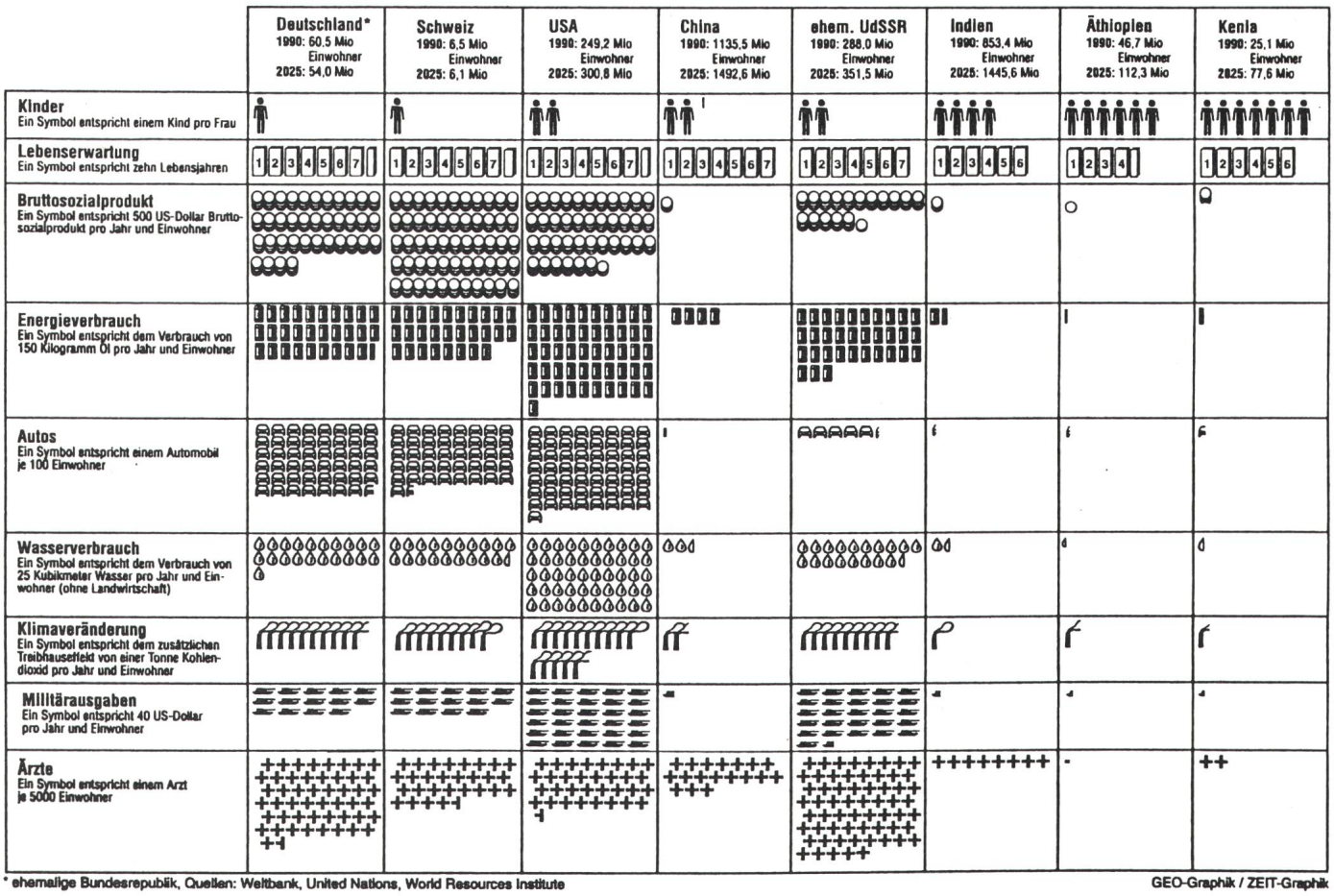


Bild 1 Die Reichen sind die Last der Erde

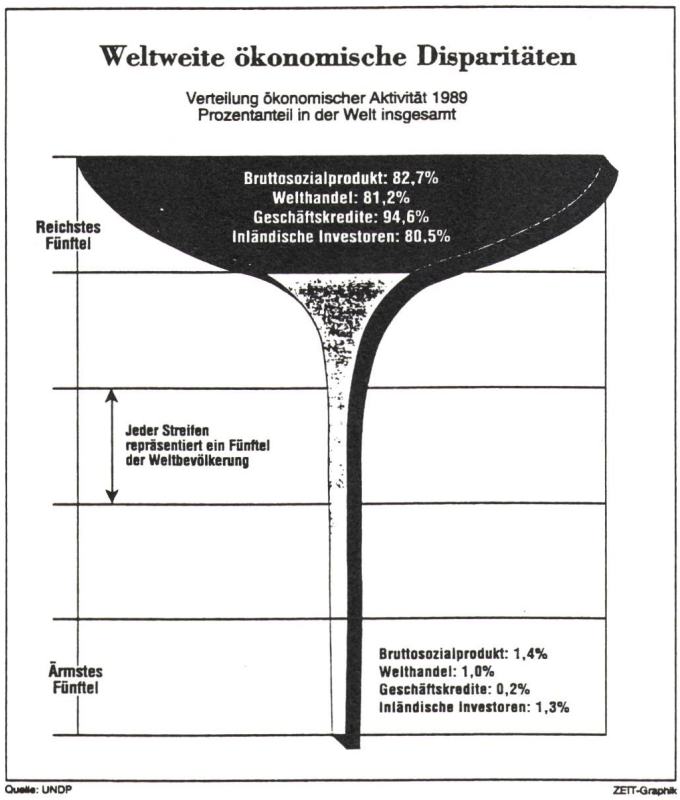


Bild 2
Weltweite ökonomische Disparitäten

1974: 4 Mrd.
1987: 5 Mrd.
1992: 5,5 Mrd.
(Zunahme 1992: 93 Mio.)
2000: 6,2 Mrd.
2025: 8,5 Mrd.

Ungleichgewichte

Nach der neuesten UNO-Studie [8] leben die meisten Menschen in weniger entwickelten Regionen:

entwickelte Regionen:
1992: 1,2 Mrd. (22 %)
2025: 1,4 Mrd. (16,5 %)
weniger entwickelte:
4,3 Mrd. (78 %)
7,1 Mrd. (83,5 %)

Lebensstandard und Ressourcenbeanspruchung usw. sind zwischen den industrialisierten und den Entwicklungsländern extrem ungleich verteilt, wie die Bilder 1 und 2 aus [9] andeuten.

Eine unmittelbare Folge der sehr armseligen Lebensumstände der grossen Mehrheit der Menschheit (gemäss UNO haben fast 800 Mio. nicht genügend Nahrung) ist die entsprechende Festlegung der Prioritäten: Die essentiellen Notwendigkeiten Nahrung, Kleidung, Unterkunft verdrängen die über den Tag hinaus wichtigen Erfordernisse wie zum Beispiel Schutz der Ressourcen/Umwelt. Entwicklungsländer sind gezwungen, prioritär das Elend zu vermindern und nicht den CO_2-Ausstoss!

Fast alle Ressourcen werden knapp

Die Überbeanspruchung der Ressourcen durch den Menschen hat zwar im lokalen und regionalen Rahmen eine lange Tradition (zum Beispiel Abholzungen im Mittelmeerraum in der Antike oder in der Bronzezeit in Norddeutschland/jetzt Lüneburger Heide), sie ist aber leider in den letzten Jahrzehnten zum globalen Problem geworden, zum Beispiel:

- zunehmende Versteppung infolge Überweidung und Brennholzverbrauch
- Erosion von marginalem Kulturland
- Bodenversalzung durch Bewässerungen
- Abholzen von tropischem Regenwald
- Überfischen der Meere
- Übernutzung der Trinkwasserreserven usw.

Die Folge ist, dass an vielen Orten viel Essentielles knapp wird: So wies zum Beispiel ein indischer Delegierter an einem Symposium [10] darauf hin, dass man eigentlich viele abgeholzte Gebiete aus ökologischen Gründen dringend wiederaufforsten sollte, dass aber der aus der Nahrungsmittelknappheit resultierende Druck auf alles auch nur marginal landwirtschaftlich nutzbare Land dies verhindert. Die Landknappheit begrenzt auch die Möglichkeiten erneuerbarer Energien (von Biomasse über Wasserkraft bis zu Solaranlagen). Die Folge: Länder wie China und Indien bauen zusätzliche Kohlekraftwerke in grosser Zahl!

Von der lokalen zur globalen Überbeanspruchung der Atmosphäre

Während selbst fortgeschrittene Industrienationen mit den Problemen lokaler und regionaler Luftverschmutzung noch nicht zu Rande gekommen sind, wird evident, dass wir mit der globalen Luftverschmutzung nicht mehr so weitermachen können wie bisher: Der Ausstoss treibhauswirksamer Gase muss drastisch vermindert werden. Laut IPCC [11] bräuchte es für eine Stabilisierung der CO_2-Konzentration in der Atmosphäre auf dem heutigen Stand eine sofortige Reduktion des CO_2-Ausstosses um über 60%! Werden auch die Emissionen anderer Treibhausgase sukzessive reduziert, aber dabei erst im Jahr 2050 ein CO_2-Ausstoss von 50% des Wertes von 1985 erreicht, so ist im Jahr 2100 mit einer

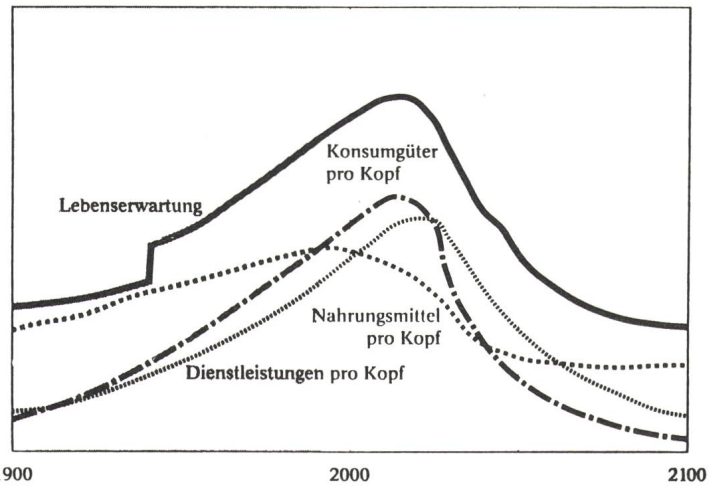


Bild 3
Szenario 1: Weiter wie bisher: Bevölkerung und Industrioutput wachsen, bis das materielle Kapital nicht mehr ausreicht, um die Umweltlasten und die Ressourcenverarmung zu kompensieren: es käme in der 1. Hälfte des 21. Jahrhunderts zum Kollaps

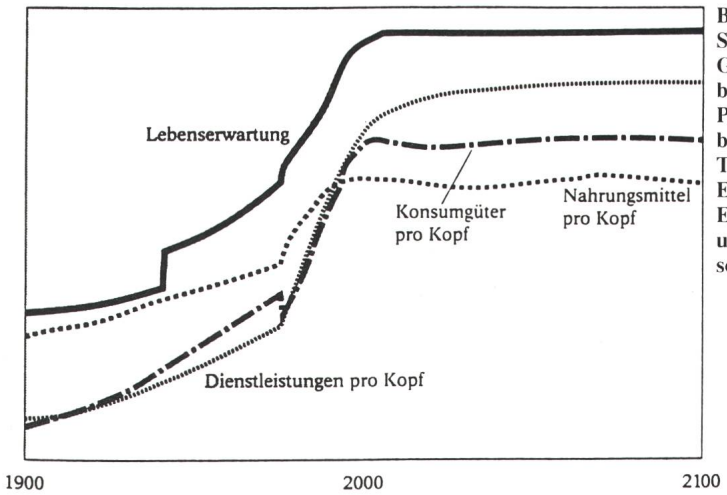


Bild 4
Szenario 11: Geburtenbeschränkung, Produktionsbeschränkung und Technologien zur Emissionsbekämpfung, Erosionsverhütung und Ressourcenschonung ab 1975

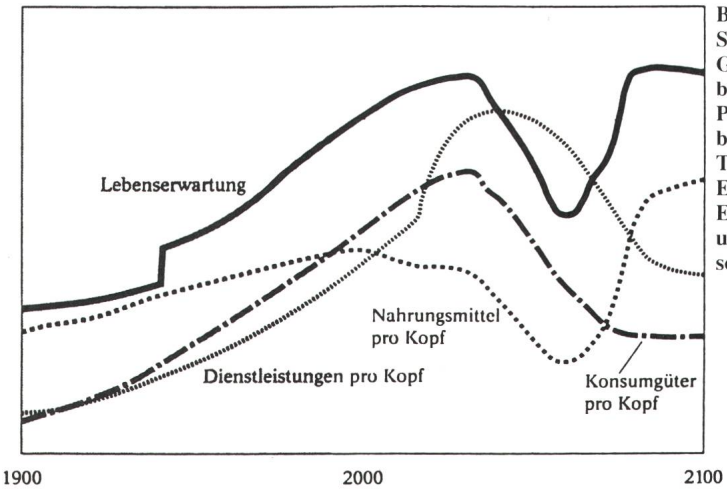


Bild 5
Szenario 12: Geburtenbeschränkung, Produktionsbeschränkung und Technologien zur Emissionsbekämpfung, Erosionsverhütung und Ressourcenschonung ab 2015

Verdoppelung des äquivalenten CO_2-Gehalts zu rechnen.

Die Folgen sind schon genügend beschrieben worden. Im wesentlichen würden die bereits knappen natürlichen Ressourcen noch knapper werden! Leider bestehen derzeit keine Anzeichen für eine so rasche Reduktion der Emissionen: Allein der Bevölkerungszuwachs von 1,7%/Jahr, verbunden mit dem Energie-Nachholbedarf der Entwicklungsländer, macht schon nur eine Stabilisierung der Emissionen sehr schwierig...

Was ist zu tun?

Unsere Erde ist offensichtlich derart überbeansprucht, dass «ernste Störfälle», «schwere Unfälle» oder globale Katastrophen nicht mehr auszuschliessen sind.

Gefragt sind rasch wirksame Massnahmen von Geburtenregelung über ertragreichere und robustere Getreidesorten bis zu neuen Methoden der Konfliktbewältigung. Auf dem Sektor Energie wird eine ausreichende Deckung der Bedürfnisse einer wachsenden Zahl von Menschen gefordert mit folgenden Charakteristiken:

- weder lokal noch global wirksame Emissionen
- geringe Beanspruchung knapper Ressourcen (Land und weiteres «Zubehör» für die Ernährung, Verkehrsmittel, Kapital...)
- langfristig vorhandener und leicht speicherbarer Energieträger.

Keine Energieform und nicht einmal die rationellere Energienutzung erfüllen alle diese Anforderungen:

- Wasserkraft (Landverbrauch, Kapital?)
- Solarenergie (Landverbrauch, Materialaufwand, Kosten, Speicherung?)
- Biomasse (Landverbrauch, Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion).

Die Kernenergie kommt den Anforderungen weitgehendst entgegen, sofern:

- Bauzeit und -kosten begrenzt bleiben
- KKW gegen temporäre «Einbrüche» der Safety Culture noch robuster werden.

Hier muss rasch angesetzt werden, denn die IPCC-Rechnungen [11] wie auch diejenigen von Meadows [12] zeigen, dass katastrophale Zustände auf dieser Erde um so schlimmer werden, je später man mit wirksamen Gegenmassnahmen beginnt (Bild 3 bis 5).

Natürlich ist die Kernenergie kein Allheilmittel – es sind vielmehr parallele Anstrengungen bei der rationellen Energieanwendung, der Emissionsverminderung, der erneuerbaren Energien sowie der Geburtenbeschränkung, Ressourcenschonung usw. notwendig. Wenn aber eine «sustainable» (aufrechterhaltbare) Entwicklung à la Szenario 11 erreicht werden soll, dann ist die Kernenergie ein notwendiges (aber allein nicht hinreichendes) Mittel.

Charakteristiken der nächsten KKW-Generation

Welche Anforderungen ergeben sich aus den bisherigen Betrachtungen?

Notwendigkeit:

Die umweltfreundliche und ressourcenschonende Kernenergie wird verstärkt gebraucht! Eine frühere Spekulation [13] von rund 315 GW (1989) auf 1000 GW (2005), dann auf 2500 GW (2020) war vom Bedarf (CO_2-Vermeidung!) her sicher richtig, die genannten Leistungen dürften allerdings erst später erreicht werden. Immerhin sprach kürzlich der Vorsitzende der britischen Nuclear Electric von einer notwendigen Verzehnfachung der jetzigen KKW-Leistung und C. Starr sieht 3800–5000 GW nuklear im Jahr 2050 [14]. Daraus ergibt sich die klare Anforderung nach Standardisierung der Reaktoren.

Wirtschaftlichkeit:

Die knappen materiellen Ressourcen verlangen kostengünstige, standardisierte Reaktoren, die innert weniger Jahre errichtet werden können. Das Bewilligungsverfahren muss dementsprechend entschlackt und gestrafft werden (vgl. auch [15]).

Minimale Wechselwirkung mit der Umwelt:

Minimale Emissionen und Personaldosen, hoher Abbrand des Brennstoffs, geringe Mengen von Betriebsabfällen.

Betriebsfreundlichkeit:

Einfacher Aufbau, fortgeschrittene Mensch–Maschinen-Kommunikation, Fehlertoleranz.

Sicherheit (vgl. auch «Anforderungen verschiedener Gremien):

Prinzipien der tiefgestaffelten Verteidigung derart, dass schwerwiegende Auswirkungen durch Accident Management oder die «Precursor-Barriere» verhindert werden können.

Für eine breite und rasche internationale Einführung müssen abgesprochene Sicherheitsnormen eingehalten werden («International Safety Regime»).
Die Grund-Sicherheitsfunktionen

- Beherrschen der Reaktorleistung, sichere Abschaltung
- Nachwärmeabfuhr
- Aktivitätsrückhaltung, «Containment».

müssen automatisch und/oder durch inhärent wirksame Mechanismen wahrgenommen werden, soweit dem Operateur nicht reichlich Zeit zur Verfügung steht. Diese «Karenzzeit» («grace period») ist zu vergrössern, um die Reaktoren robuster gegenüber kurzfristigen Einbrüchen der Safety Culture zu machen.

Anforderungen verschiedener Gremien

Internationale Atomenergie Organisation (IAEO)

Die IAEA gibt in den «Basic Safety Principles» [2] als Ziel, dass in künftigen Reaktoren ein schwerer Kernschaden weniger häufig als einmal pro 100 000 Reaktor-Jahre auftreten darf, während die Häufigkeit einer grossen Aktivitätsfreisetzung um mindestens einen Faktor 10 geringer sein soll.

In [16] werden weitere Ziele diskutiert, namentlich:

- Reduktion der Auswirkungen schwerer Unfälle derart, dass besondere Notfallmassnahmen wegen KKW nicht erforderlich sind (Formulierung gemäss stark vertretenen Meinungen an dieser Konferenz; deckt sich auch mit Ergebnissen einer Umfrage in der Schweiz [«Reacteurs 2000»]).
- Höhere Toleranz gegen menschliche Fehler; verstärkte Anwendung passiver Prinzipien (d.h. möglichst selbsttätige Ausführung von Sicherheitsfunktionen – die Bedeutung von «passiv» hat allerdings eine beträchtliche Bandbreite [17]).

Ein IAEA Technical Committee Meeting im November 1991 regte unter anderem an, einen internationalen Konsens über die bei der Auslegung künftiger Reaktoren zu berücksichtigenden schweren Unfall-Szenarien herbeizuführen.

EPRI-Utility Requirements [18]

Amerikanische Elektrizitätsgesellschaften haben unter Federführung des Electric Power Research Institute (EPRI) und mit internationaler Beteiligung Anforderungen an fortgeschrittene Leichtwasserreaktoren (Advanced Light Water Reactor, ALWR) formuliert und zwar für

- evolutionäre ALWR der 1300-MWe-Klasse
- «passive» ALWR der 600-MWe-Klasse.

Detaillierte Anforderungen liegen vor zu Stichworten wie:

- vereinfachter Aufbau, Standardisierung
- Auslegungs- und Sicherheitsreserven
- menschliche Faktoren
- Bewilligung: es wird eine Art «Typenprüfung» (design certification) angestrebt
- Sicherheit gegen schwere Unfälle: ähnlich wie IAEA-INSAG; das Containment wird jedoch auf den klassischen Rohrbruch ausgelegt, allerdings mit «Reserve» für schwere Unfälle
- Wirtschaftlichkeit: günstiger als ein US-Kohlekraftwerk.

Die nächste KKW-Generation: evolutionäre Reaktoren

Die Auslegung evolutionärer Reaktoren stützt sich auf die umfassende Betriebserfahrung mit Leichtwasserreaktoren ab und geht nach [19] vor: Prüfet alles, und das Gute behaltet.

So wurden zum Beispiel bei den in Japan im Bau befindlichen fortgeschrittenen Siedewasserreaktoren (ABWR) Elemente übernommen, die sich in schwedischen und deutschen Reaktoren schon bewährt haben (Steuerstab-Feinverstellung, interne Umwälzpumpen). Analog fällt beim System 80+ der ABB Combustion (APWR) das kugelförmige Containment auf, das aus einer Periode der Zusammenarbeit KWU (Siemens)-Combustion stammt. Natürlich werden nicht nur bewährte Konstruktionselemente zusammengesetzt; das «Advanced» bezieht sich auch auf eine möglichst ausgewogene Gesamtauslegung, unter anderem mittels probabilistischer Analysen, wobei nicht nur die klassischen Auslegungsstörfälle berücksichtigt werden, sondern auch ausgewählte schwere Unfälle («auslegungsüberschreitende Störfälle»).

Der APWR von Westinghouse-Mitsubishi kombiniert die Flutbehälter mit dem Containmentsumpf und vermeidet derart die unter Umständen anfällige Umschaltung; der ABWR von ABB Atom (BWR-90) verstärkt das Containment.

Analog werden bestbewährte Elemente in deutsch-französischer Zusammenarbeit für den EPR (European Pressurized Water Reactor) zusammengefügt, wobei Absprachen zwischen den nationalen Sicherheitsgremien zum Ziel haben, den EPR zumindest in Deutschland und Frankreich – möglichst aber in ganz Europa – genehmigungsfähig zu machen.

Gemeinsam ist diesen evolutionären Reaktoren:

- Leistung 1200 – 1400 MW_e
- kein Protyp erforderlich
- klassische Sicherheitssysteme, das heisst kaum neuartige passive Elemente
- nahe Verwandtschaft zu den letztgebauten bisherigen Reaktoren wie Konvoi, N4, Sizewell, Gundremmingen B/C, Forsmark-3 usw. (auch das 1988 aufgegebene Kaiseraugst hätte praktisch einen ALWR erhalten!).

Es muss noch präzisiert werden, dass Leichtwasserreaktoren für gewisse Funktionen schon seit langem passive/selbsttätige Mechanismen benützen, wie zum Beispiel:

- negativer Leistungskoeffizient (wegen thermischer Ausdehnung und Dopplereffekt/erhöhter Resonanzabsorption)
- Naturumlauf im Primärkreis von Druckwasserreaktoren zur Nachwärmeabfuhr.

Eine besondere Klasse der evolutionären Reaktoren («evolutionär-passiven») benützt nun aber in verstärktem Masse solche passiven Effekte, zum Beispiel:

- Naturumlauf des Kühlmittels bei einem Siedewasserreaktor im Normalbetrieb
- Schwerkraft: Niveaudifferenzen statt Pumpen
- Containment-Kühlung nach einem Störfall durch Naturzirkulation
- Wasserbehälter als Wärmesenke (Isolationskondensator).

Typische Vertreter haben eine Leistungsgrösse von etwa 600 MW_e (evtl. bis etwa 900?). An dieser Tagung vorgestellt werden der SBWR von General Electric und der AP-600 von Westinghouse. Ein grundsätzliches Problem dieser Kategorie sind die voluminösen Einrichtungen (die «natürlichen» Effekte, wie z.B. Umwälzungen mittels Naturumlauf benötigen grössere Querschnitte, als wenn Pumpen oder

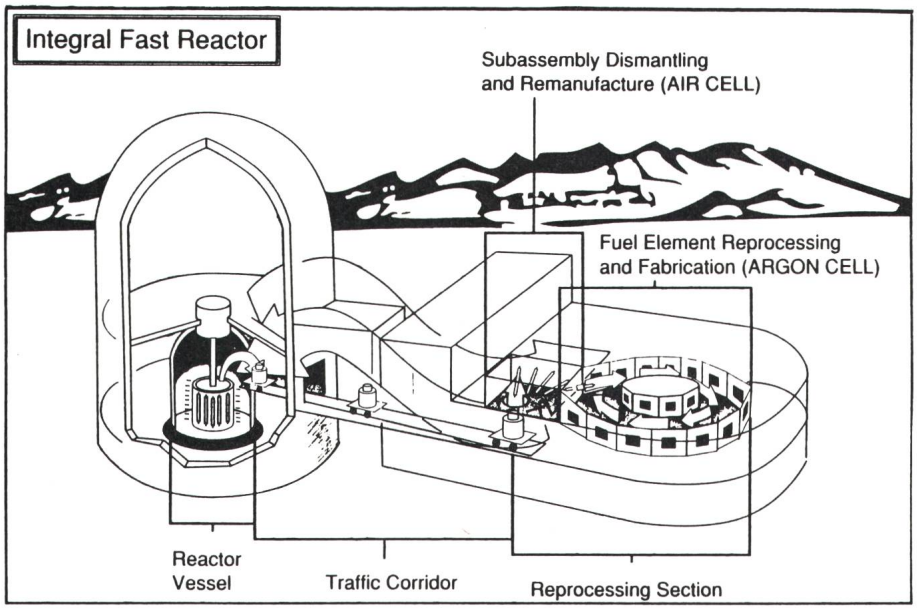


Bild 6 Der «Integral Fast Reactor».
Der Reaktor und die anstossende Brennstoff-Aufbereitungsanlage bilden eine integrierte, sichere Kernanlage

Ventilatoren eingesetzt werden), die tendenziell zu hohen Gesamtkosten führen – wenn es nicht gelingt, ausserhalb des eigentlichen Nuklearteils mit konventionellen Einrichtungen (ohne teure Nuklear-Qualifikation) auszukommen. Die Diskussionen darüber sind offenbar noch im Gang, ebenfalls zum Thema «wie weit müssen für eine Design Certification die neuartigen passiven Elemente 1:1 vorab getestet werden?».

Es ist deshalb zu erwarten, dass die «evolutionär-passiven» Reaktoren gegenüber den «klassisch-evolutionären» deutlich verzögert werden. Sie lassen aber dafür auch besondere Eigenschaften erwarten, wie zum Beispiel eine «Karenzfrist» nach einer Störung von bis zu 72 Stunden...

In die Kategorie dieser etwas später zu erwartenden fortgeschrittenen Reaktoren ist auch der Hochtemperaturreaktor (HTR) einzureihen, weil er verschiedene inhärente Sicherheitsmerkmale aufweist, wie zum Beispiel:

- keramischer Brennstoff mit keramischer Umhüllung
- sehr geringe Leistungsdichte
- lange «Karenzfrist».

Es ist aber unklar, ob der HTR den durch den blamablen Ausstieg von Nordrhein-Westfalen erlittenen schweren Schlag überleben wird...

Ausblick auf die übernächste KKW-Generation

Diese übernächste Generation wurde zum Teil als «revolutionär» etikettiert – es hat sich dann aber die friedlichere Bezeichnung «innovativ» eingebürgert.

Die Idealvorstellung eines innovativen Reaktors wäre eine Anlage, die nur sozusagen widerwillig auf Leistung gebracht werden kann und die bei allen denkbaren Störungen auf «natürliche» Weise in einen abgeschalteten, sicheren Zustand zurückfällt (Retour à la nature?!). Oft wurde dieser Idealreaktor als «inhärent sicher» taxiert. Verschiedene Entwürfe aus Schweden («PIUS»), England («SIR») und Japan («ISER», «SPWR») versuchen, sich diesem Ideal anzunähern.

Vom Prinzip her sind solche Reaktoren sehr transparent; die Abstützung auf natürliche Mechanismen erweckt Vertrauen. Detaillierte Sicherheitsnachweise sind jedoch nicht trivial, ein Prototyp ist wohl erforderlich. Man verspricht sich eine noch grössere Toleranz gegenüber menschlichem Versagen. Auch solche Reaktoren können aber nicht gegen längerdauernde Defizite in der Sicherheitskultur tolerant sein, weil sich ihre guten Eigenschaften so nicht erhalten liessen. Mit andern Worten: Einen für einen mausarmen Betreiber in zusammengebrochenen zivilisatorischen Strukturen geeigneten Reaktor wird es wohl nie geben...

Es soll nicht unerwähnt bleiben, dass Entwicklungsarbeiten zu fortgeschrittenen Reaktoren in den meisten Industrieländern im Gang sind – kürzlich wurde in der ex-UdSSR dazu eine Übersicht publiziert [20]. Bemerkenswert ist die Vielfalt der präsentierten Ideen; es wird einer engen internationalen Zusammenarbeit bedürfen, um die vielversprechendsten Konzepte auch bis zur Anwendungsreife zu bringen.

Als wenig bekannte «Rosine» sei der am Argonne National Laboratory in den USA entwickelte «Integral Fast Reactor» (IFR) erwähnt, Bild 6, [21]: Eine bereits getestete Besonderheit ist der Brennstoff, eine metallische Uran-Plutonium-Zirkon-Legierung, die einen Abbrand bis zu 18% (!) erzielt und mit Natrium gekühlt inhärent sicher eine Überhitzung vermeidet (getestet im EBR-II). Eine spezielle Wiederaufarbeitungstechnik ist entwickelt worden; als Demonstrationsanlage für den IFR dient der umgebaute EBR-II in Idaho Falls.

Fazit und Ausblick

Elektrizität ist zu einer Lebensnotwendigkeit geworden. In den letzten 15 Jahren stellen wir folgende Entwicklung fest [22]:

	Energieverbrauch	Elektrizitätskonsum
OECD	konstant	+ 40 %
Entwicklungsländer	+ 100 %	+ 240 %

- Bei der Elektrizitätserzeugung dominiert weltweit nach wie vor die Kohle und die Tendenz ist steigend. Bis 2000 soll der Kohleeinsatz in China verdoppelt, in Indien verdreifacht werden, was den Bemühungen zur Reduktion des Treibhausgas-Ausstosses voll zuwiderläuft.
- Unsere Erde und ihre Ressourcen sind durch die rasch zunehmende Bevölkerung überbeansprucht wie noch nie.
- Die dringend benötigte Elektrizität muss vermehrt auf umwelt- und ressourcenschonende Art erzeugt werden. Erneuerbare Energien, rationelle Nutzung und – Kernenergie werden zunehmend benötigt.
- Kurzfristig stehen Reaktortypen zur Verfügung, die sehr weitgehenden Ansprüchen bezüglich Sicherheit genügen und für eine breite Anwendung geeignet sind.
- Es müssen zusätzliche Anstrengungen unternommen werden, um standardisierte Reaktortypen künftig für eine weltweite Anwendung zertifizieren zu können (ähnlich wie Lufttauglichkeitszeugnisse für Flugzeuge).
- Die Probleme dieser Erde können nur mit mehr (und nicht weniger!) und intelligenterer Technologie gelöst werden, nicht mit grünem Ge-

schwätz. Könnten sich nicht Institutionen wie die ETH der Vision «Technologies for a sustainable world» annehmen? Ansätze dazu gibt es [23].

- Globalkonformes Handeln muss auf eine aufrechterhaltbare (sustainable) Entwicklung gerichtet sein: Die Förderung der Kernenergie ist ein unverzichtbares Element solchen Handelns.
- Globalkonformes Handeln muss das Erreichen der langfristigen Ziele ermöglichen – die gegenwärtig modischen Kurzfrist-Optimierungen (von Third Party Access über least cost planning bis zu Gasturbinen) sind dazu untaugliche Instrumente.
- Kernenergiegegner: Prüft Eure Haltung auf Globalkonformität und beachtet Matthäus 4, 17 und 12, 36 sowie Epheser 4, 29. Die drängenden Weltprobleme erfordern den Einsatz des Kopfes und nicht des Bauches!
- Kernfachleute: Lasst Euch nicht von der Weltuntergangsstimmung der Erbsenzähler und Realsozialismusbetrauernden anstecken, zeigt Flagge! Diese Erde kann auf Euren Beitrag zur Sustainability nicht verzichten!
- Politiker: Eure Aufgabe ist es nicht, bei Wind von achtern den Spinnaker zu setzen, sondern ans Ruder zu gehen und globalverträgliche Ziele anzusteuern!

Literatur

[1] *H. Kouts*: The Safety of Nuclear Power, Proceedings International Conference «The Safety of Nuclear Power: Strategy for the Future», Vienna 2. – 6. September 1991.

[2] Safety Series No 75 – INSAG-3: Basic Safety Principles for Nuclear Power Plants, IAEA Vienna, 1988.

[3] The World Commission on Environment and Development: Our Common Future, Oxford University Press 1987, ISBN 0-19-282080-X.

[4] *D. Fischer* et al.: A New Nuclear Triad: The Non-Proliferation of Nuclear Weapons, International Verification and the International Atomic Energy Agency; Mountbatten Centre for International Studies, Univ. of Southampton, England, 1992, ISBN 0854324518.

[5] *H. Fuchs*: Sicherheit von Kernreaktoren zur Energieerzeugung – Rückblick und Ausblick; Schweizer Ing. und Arch. Nr. 23, 8. Juni 1989, p. 612 – 617.

[6] Safety Series No 75 – INSAG-5: The Safety of Nuclear Power, IAEA Vienna, 1992.

[7] Safety Series No 75 – INSAG-4: Safety Culture, IAEA Vienna, 1991.

[8] NZZ 17. Juli 1992: Die neuen UNO-Bevölkerungsprognosen.

[9] ZEIT-Schriften Nr. 1/1992: Ein Gipfel für die Erde. Nach Rio: Die Zukunft des Planeten; Zeitverlag Hamburg.

[10] Senior Expert Symposium on Electricity and the Environment, Helsinki, 13–17 May 1991 (CEC, ECE, IAEA, UNEP, WHO etc.).

[11] WMO/UNEP: Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC First Assessment Report, Aug. 1990.

[12] *D. Meadows, J. Randers*: Die neuen Grenzen des Wachstums («Beyond the Limits»), Deutsche Verlags-Anstalt, Stuttgart 1992, ISBN 3-421-06626-4.

[13] *H. Fuchs*: Kernenergie, in SVA-Informationstagung «Kohlendioxidfreie Energiesysteme», 20. Okt. 1989 (SVA, Postfach 5032, 3001 Bern).

[14] *S. Strauss*: What's ahead for nuclear? Power, March 1992, p. 52–54.

[15] *H. Fuchs*: Entwicklung der Sicherheitsanalyse technischer Systeme; SVA-Vertiefungskurs «Fortgeschrittene Sicherheitsanalyse», 4.–5. Nov. 1991.

[16] Background Paper No IV: The Next Generation of Nuclear Power Plants; Proceedings Int. Conf. on the Safety of Nuclear Power: Strategy for the Future, Vienna 2.–6. Sept. 1991.

[17] IAEA-TECDOC-626: Safety related terms for advanced nuclear plants, IAEA Vienna Sept. 1991.

[18] EPRI-NP-6780 (3/1990): Advanced Light Water Reactor, Utility Requirements Document.

[19] 1. Thessalonicher 5, 21.

[20] *A. Yu. Gagarinski* et. al.: Advanced LWRs: analysis of new approaches and ideas; Nuclear Society International, Moscow (Vertrieb durch European Nuclear Society).

[21] Argonne National Laboratory: Research Highlights 1991–92.

[22] *H. Blix*: Statement anlässlich der UNIPEDE Nuclear Conference, Stockholm, 22.–24.6.1992.

[23] *B. Fritsch*: Mensch-Umwelt-Wissen; Verlag der Fachvereine, Zürich; ISBN 3-7281-1818-4, Teubner, Stuttgart 1991 (ISBN 3-519-13652-X).

Prüfen von Distanzrelais am Einbauort:
Individuelles Einstellen aller Generatorgrößen, Vorgeben von Fehlerimpedanzen in der Impedanzebene, automatisches Aufnehmen von Staffelplänen und Anregekennlinien, ...

Distanzschutz

Überstromschutz

Differentialschutz

Überwachungsrelais

Meßwertumformer

zuverlässig und komfortabel geprüft mit der CMC-56 Prüfeinrichtung:

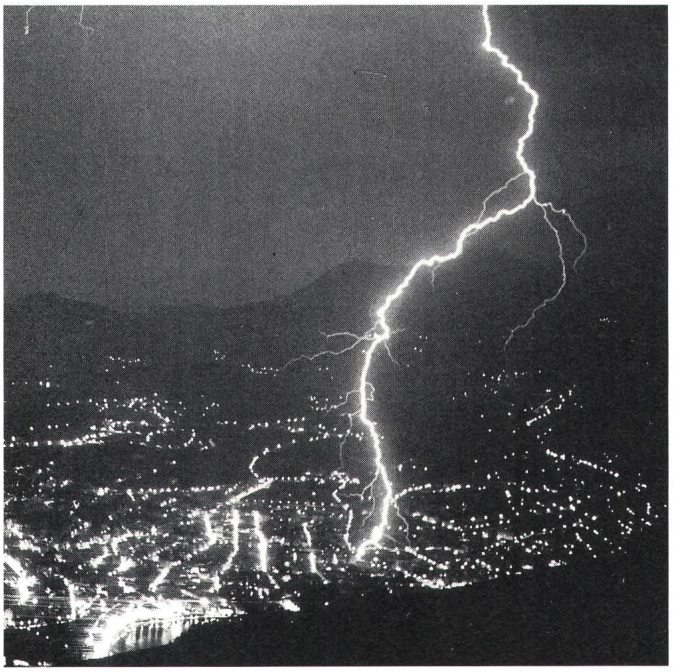
- ▲ Spannungen und Ströme **dreiphasig**
- ▲ Leistungsstark, universell: dieselbe Hardware für alle Anwendungen
- ▲ Portabel: Gewicht **nur 15 kg!**
- ▲ Höchste Genauigkeit: < 0,1% Fehler
- ▲ Komfortable Bedienung: bewährte Software vom Experten

OMICRON electronic

D-8995 Sigmarszell, Postfach 36, Tel. (08388) 1010
A-6845 Hohenems, Ang.-Kauffm.-Str. 8, Tel. (05576) 4010

Schweizerischer Elektrotechnischer Verein
Association Suisse des Electriciens
Associazione Svizzera degli Elettrotecnici
Swiss Electrotechnical Association

Wirksame Blitzschutzanlagen

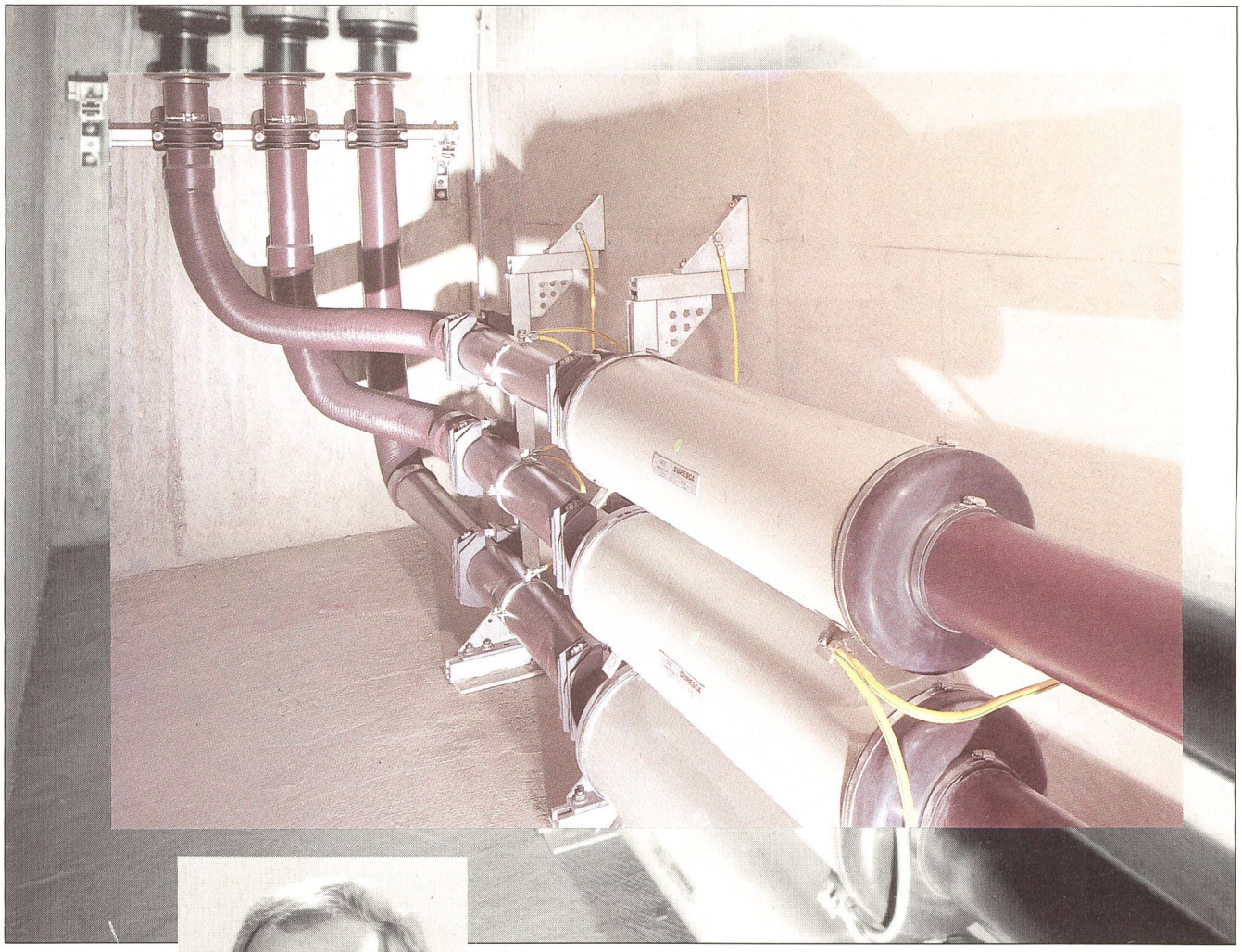


Blitzschutzanlagen sind nicht billig. Sie können sogar teuer zu stehen kommen, wenn unsachgemäss geplant und ausgeführt, denn nachträgliche Änderungen sind immer mit hohen Kosten verbunden. Zudem besteht die Gefahr, dass derartige Anlagen im Ernstfall ihren Zweck nicht erfüllen.

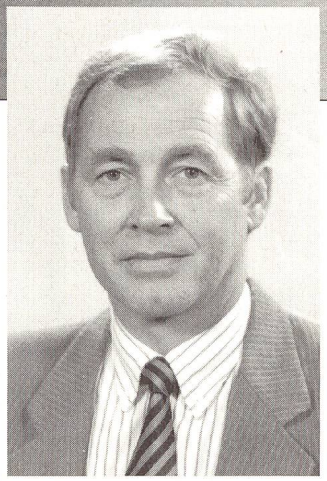
Wir kennen die Probleme des Blitzschutzes und die optimalen Lösungen hiefür.

Wir stehen Privaten, Ingenieurunternehmen und kantonalen Instanzen zur Verfügung für Planung, Beratung, Kontrollen, Brandundersuchungen und Instruktionskurse.

Auskunft: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein, Starkstrominspektorat
Seefeldstrasse 301, Postfach, 8034 Zürich
Telefon 01/384 91 11 – Telex 817 431 – Telefax 01/422 14 26



Duresca®-Stromschienen im Wasserkraftwerk Wyhlen; DG 12 kV - 3400 A



Ulrich N. Kull

Geschäftsleiter
UB-Energietechnik

Heute kann nur eine zuverlässige, angepasste Technik den Anforderungen an eine sichere Energieübertragung genügen. DURESCA®-Schienen sind seit mehr als 30 Jahren im Einsatz und erlauben bei Neu- und Umbauten eine kompakte und kostensparende Anlagenplanung und -ausführung. Die ständige Weiterentwicklung und Innovation findet bei MGC Moser-Glaser & Co. AG, UB-Energietechnik, nicht nur für DURESCA® statt, sondern auch für die Bereiche Öl- und Giessharztransformatoren, Giessharz- und SF_6-Wandler sowie auch für die neuen SF_6-isolierten GASLINK®-Stromschienen.

MGC
MOSER-GLASER

Moser-Glaser & Co. AG
Energie- und Plasmatechnik
Hofackerstrasse 24
CH - 4132 Muttenz / Schweiz