

**Dr. Eike Roth, Sessenbach**

**VDI Workshop**

**„Energieversorgung und Ethik“**

**Düsseldorf, 26. 11. 02**

**Zur Sicherheits- und Umweltphilosophie energietechnischer Anlagen**

- 1. Definition von „Sicherheits-“ und „Umweltphilosophie“**
- 2. Sicherheits- und Umweltprobleme**
- 3. Die Abhängigkeit der globalen Umweltprobleme von der Energie**
- 4. „Mehr Energie“ als Lösungsansatz?**
- 5. Wann ist ein Tun verantwortbar?**
- 6. Risikoquantifizierung**
- 7. Risikowahrnehmung**
- 8. Lösungsansätze in den energietechnischen Anlagen**
- 9. Schlussbemerkung**

**Es gilt das gesprochene Wort!**

# Zur Sicherheits- und Umweltphilosophie energietechnischer Anlagen

## 1. Definition von „Sicherheits-“ und „Umweltphilosophie“

Meine sehr geehrten Damen und Herren,

Bei dem mir vorgegebenen Thema „Sicherheits- und Umweltphilosophie energietechnischer Anlagen“ drängt sich zunächst die Frage nach dem Unterschied zwischen „Sicherheitsphilosophie“ einerseits und „Umweltphilosophie“ andererseits auf. Genaue Definitionen dieser beiden Begriffe kenne ich nicht. Die „Sicherheitsphilosophie“ soll wohl Gefährdungen von Menschen möglichst verhindern, die „Umweltphilosophie“ Schäden der Umwelt. Und „Philosophie“ ist im Kontext des mir gestellten Themas wohl nichts anderes, als der jeweilige systematische Ansatz, *wie und wie weit* man solche Gefährdungen bzw. Schäden verhindern will. Da aber Umweltschäden meist auch Gefährdungen von Menschen mit sich bringen, lassen sich die beiden Begriffe - und erst recht die beiden „Philosophien“ - gar nicht so ohne weiteres voneinander trennen, bzw. sie überlappen sich sehr weitgehend.

Alternativ könnte man „Umweltphilosophie“ auch nur auf die Abwehr solcher Schäden ausgerichtet definieren, die - ohne Menschen zu gefährden - „nur“ die Umwelt betreffen. Dann ließen sich die beiden Begriffe klar voneinander trennen. Aber bei energietechnischen Anlagen ist es gar nicht so einfach, solche Schäden zu identifizieren. Am ehesten könnten hierunter noch Umweltbeeinflussungen wie etwa die folgenden fallen:

- ◆ Flächenverbrauch (dieser ist für die verschiedenen Energiesysteme sehr unterschiedlich, z. B. bei Fotovoltaik sehr viel größer als bei fossilen oder Kernkraftwerken)
- ◆ Einfluss auf die Artenvielfalt (z. B. bei großmaßstäblichen Energieplantagen mit Monokulturen), oder
- ◆ Umgestaltung der Landschaft (z. B. durch große Wasserkraftwerke oder durch viele Windkraftwerke).

Wahrscheinlich kann man noch einige weitere Beispiele finden. All diese Themen werden natürlich intensiv diskutiert, Sie kennen das alles. Aus Zeitgründen kann ich in meinem Vortrag auf diese Fragestellungen aber leider nicht näher eingehen. „Umweltphilosophie“ wäre daher bei einer nur darauf ausgerichteten Definition eine hier nicht behandelte Größe. Daher will ich mich lieber an die erstgenannte Definition halten und eine starke Überlappung der beiden Begriffe in Kauf nehmen. Ich glaube, dass dies auch der „üblichen“ Praxis bei der Diskussion um und über energietechnische Anlagen entspricht.

Aus meinen Ausführungen wird sich ergeben, dass eine konsequente Anwendung einer Sicherheits- und Umweltphilosophie zur Minimierung der Gefährdungen und Schäden sich grob schematisch auf zwei Aspekte bezieht: Es muss - gewissermaßen auf einer übergeordneten Basis - darüber entschieden werden, welche Art energietechnischer Anlagen vorzugsweise ausgewählt werden soll, und es muss - gewissermaßen in einem zweiten Schritt - die Ausführung dieser Anlagen in sich optimiert werden. Diese beiden Aufgaben sind aber nicht voneinander zu trennen und das Ergebnis der einen beeinflusst jeweils das Ergebnis der anderen.

## 2. Sicherheits- und Umweltprobleme

Sicherheitsprobleme sind Gefährdungen der Gesundheit und des Lebens von Menschen sowie potentielle Beschädigungen oder Zerstörungen von Sachgütern. Diese können

- ◆ akut durch (mehr oder weniger seltene) Unfälle
- ◆ zeitlich verzögert als Spätfolgen von Unfällen, oder
- ◆ „kontinuierlich“ als Folgen (einschließlich akkumulierter Folgen) des Normalbetriebes (einschließlich häufiger, kleinerer Störungen)

eintreten.

Die Schäden können

- ◆ direkt durch Energie- oder Materiefreisetzen aus den energietechnischen Anlagen (z. B. Strahlenschäden, Explosionsschäden oder Vergiftungen durch Abgase), oder
- ◆ indirekt über mehr oder weniger lange Wirkungsketten aus diesen Freisetzungen (z. B. Hochwasserschäden als Folge von durch Materiefreisetzen verursachten Klimaänderungen)

entstehen.

Umweltprobleme sind Gefährdungen der Umwelt. Sie können

- ◆ örtlicher
- ◆ regionaler oder
- ◆ globaler

Natur sein. Solange es Menschen gibt, haben sie durch ihre Handlungen immer ihre Umwelt verändert und sich damit – neben Vorteilen, wegen derer sie ihre Handlungen überhaupt nur getan haben – stets auch Nachteile und Probleme eingehandelt. Früher waren die Eingriffe des Menschen in die Natur aber immer nur lokal. Waren die Veränderungen zu groß und die Nachteile zu stark, konnten sie durch Weiterziehen der Menschen in eine noch nicht belastete Gegend „überwunden“ werden. Damit waren sie aber noch nicht beseitigt. Die Beseitigung haben die Menschen einfach der Natur überlassen. Meist hat sie das auch erfolgreich getan. Aber nicht immer. Ein Gegenbeispiel aus relativ alter Zeit ist die Verkarstung der Mittelmeerlande durch Übernutzung der Wälder vor etwa 2000 Jahren. Aber auch die Vertreibung aus dem Paradies geht möglicherweise auf eine Versalzung des Zweistromlandes durch zu viel künstliche Bewässerung in noch wesentlich älterer Zeit zurück. Da war das Weiterziehen bereits deutlich mit Nachteilen verbunden.

Heute ist ein „Überwinden“ von Umweltschäden durch Weiterziehen nicht mehr möglich, weil überall, wo man hinziehen könnte, auch schon Menschen wohnen, die ihrerseits die Umwelt schädigen, und weil manche unserer heutigen Umweltbeeinflussungen schon von ihrem Charakter her global sind, ihre Folgen also unabhängig davon sind, wo die Schäden gesetzt werden. Außerdem ist manche „alte“ Tätigkeit, die früher völlig harmlos war oder höchstens eine streng lokal begrenzte Umweltbeeinflussung mit sich brachte, heute allein schon durch ihr Ausmaß zu einem globalen Umweltproblem geworden. Ein Paradebeispiel hierfür ist die Klimabedrohung durch treibhauswirksame Gase. Das Bisschen CO<sub>2</sub> unserer Vorfahren war - soweit es nicht in Höhlen oder Hütten zu lokalen Sauerstoffverdrängungen geführt hat - völlig bedeutungslos. Die heutigen CO<sub>2</sub>-Mengen gefährden aber das globale Klima, auch wenn wir alle noch genug Sauerstoff zum Atmen haben. Außerdem kommen neue Umweltbeeinträchtigungen hinzu, z. B. durch neue Chemikalien, die es früher gar nicht gegeben hat. Als Beispiel hierfür mag die Ozonzerstörung durch FCKW dienen.

Die Zahl unserer Umweltprobleme ist groß. Ich möchte in meinem Vortrag aber vier herausgreifen, denen meiner Meinung nach ein ganz besonderes Gewicht zukommt:

1. Das Armutproblem, das deswegen ein Umweltproblem ist, weil arme Menschen sich Umweltschutz nicht leisten können, im Großen nicht und auch im Kleinen nicht. Oft zwingt sie die schiere Not, ihre Umwelt zu zerstören, z. B. mehr Feuerholz zu sammeln als nachwächst, oder Wälder zu roden und Wanderfeldbau zu betreiben, weil sie Düngemittel und bodenerhaltende Maßnahmen einfach nicht bezahlen können. Wer heute verhungert, hat von einer intakten Umwelt morgen nichts mehr. „First food, than environment“, hat es ein indischer Diplomat einmal auf den Punkt gebracht. Die Naturzerstörung durch Arme kann bis hin zum ökologischen Zusammenbruch ganzer Regionen führen. In manchen Teilen der

Welt ist dieser Prozess bereits voll im Gange. Nach Klaus Töpfer ist: „Armut das größte Gift für die Umwelt“.

2. Das Problem der Wasserverknappung, das sowohl auf Umweltbeeinflussungen als auch darauf zurück geht, dass immer mehr Menschen immer mehr Wasser verbrauchen. Heute leben über 2 Milliarden Menschen in Gebieten mit schwerem Wassermangel, in 30 Jahren könnten es doppelt so viele sein. Kein sauberes Trinkwasser zu haben, ist vor allem ein Gesundheitsproblem und die zunehmende Wasserverknappung ist vor allem deshalb ein Umweltproblem, weil durch Wassermangel einerseits und durch künstliche Bewässerung andererseits der Pflanzenbewuchs in Menge und Zusammensetzung beeinflusst und häufig die Nahrungsgrundlage für Menschen gefährdet wird, weil durch zu hohe Wasserentnahmen der Grundwasserspiegel absinkt und weil intensive Bewässerung zur Versalzung ganzer Regionen führen kann.
3. Das Ozonloch, das infolge der langen Aufstiegs- und Verweilzeit der Ozon zerstörenden Substanzen (insbesondere FCKW) in der Atmosphäre noch lange zunehmen wird, selbst wenn der beschlossene Ausstieg aus diesen Substanzen vollzogen werden sollte, und
4. Das Klimaproblem, das vielfach als die größte Herausforderung bezeichnet wird, die die Menschheit je zu bestehen hatte.

Von diesen vier wichtigsten globalen Umweltproblemen sind drei unmittelbar mit dem Bau und Betrieb energietechnischer Anlagen verbunden: Das Armutproblem, weil Mangel an bezahlbarer und handhabbarer Energie eine – wesentliche – Ursache für die Armut ist, das Wasserproblem, weil mit ausreichend viel Energie beliebig große Mengen Wasser entsalzt werden könnten, und das Klimaproblem als unmittelbare Folge der Freisetzung von CO<sub>2</sub> bei Verbrennungsprozessen sowieso. Diese drei Probleme stehen alle in intensiver Wechselwirkung miteinander (siehe weiter unten). Nur das Ozonloch ist relativ entkoppelt, aber über eine gegenseitige Verstärkung mit dem Klimaproblem doch mit zu betrachten.

Da diese vier Umweltprobleme alle auch Leben und Gesundheit von Menschen bedrohen, sind sie gleichzeitig auch Sicherheitsprobleme.

### **3. Die Abhängigkeit der globalen Umweltprobleme von der Energie**

Auf den Mangel an bezahlbarer (und handhabbarer) Energie als eine der Ursachen der Massenarmut habe ich schon hingewiesen. Solange wir reichen Industrieländer den armen Entwicklungsländern das für sie mit ihren infrastrukturellen Möglichkeiten relativ leicht handhabbare Öl zu jedem beliebigen Preis vor der Nase wegkaufen, werden diese immer weiter in die Armut gedrückt. Wir Industrieländer, die wir auch andere Möglichkeiten haben, müssen daher das Erdöl - soweit es denn aus Klimaschutzgründen und aus Gründen der Ressourcenschonung für zukünftige Generationen überhaupt noch verbrannt werden darf - möglichst weitgehend den armen Entwicklungsländern überlassen. Das Armutproblem fordert daher zweierlei: Mehr Energie für die armen Menschen in den Entwicklungsländern und weniger Ölverbrauch bei uns.

Auch das Problem der Wasserverknappung hat viele Ursachen. Da Wasser auf diesem Planeten aber reichlich vorhanden ist und über Entsalzungsanlagen auch nutzbar gemacht werden kann, ist auch dieses Problem durch „mehr Energie“ grundsätzlich lösbar. Dass neben der Energie zum Entsalzen auch Know How notwendig ist, sei nur der Vollständigkeit halber hinzugefügt. Und dass neben dem Entsalzen auch Sparen zum Lösen des Problems der Wasserknappheit notwendig ist, ist wohl eine Selbstverständlichkeit.

Das Ozonloch entsteht durch den katalytischen Abbau von Ozon in der Stratosphäre mit „Hilfe“ von FCKW unter Einwirkung von UV-Strahlung. Als Gegenmaßnahme kommt primär nur das Verbot von Produktion und Anwendung aller FCKW (und aller anderen Ozonkiller, die aber insgesamt eine viel kleinere Rolle spielen) in Frage. Mit unserem Energiesystem besteht nur ein indirekter Zusammenhang: Der durch die Freisetzung von CO<sub>2</sub> (und anderen klimawirksamen

Gasen) vermutlich verstärkte Treibhauseffekt erwärmt nicht nur die unteren Atmosphärenschichten, sondern kühlt gleichzeitig auch die oberen Atmosphärenschichten ab. Eine Temperatur unterhalb von  $-85^{\circ}\text{C}$  ist aber Voraussetzung für einen der Schritte im Abbau des Ozons in der Stratosphäre. Mit verstärktem Treibhauseffekt ist diese Randbedingung öfter erfüllt als ohne, der Treibhauseffekt verstärkt also den Ozonabbau (umgekehrt gibt es auch Effekte, über die das Ozonloch den Treibhauseffekt verstärkt, Treibhaus und Ozonloch schaukeln sich also gegenseitig auf).

Das Klimaproblem schließlich ist weitgehend eine unmittelbare Folge unseres Energiesystems. Dabei ist es nicht unser Energieverbrauch als solcher, der den Treibhauseffekt zu verstärken und damit unser Klima zu verändern droht, die Energie an sich ist völlig klimaneutral. Was – jedenfalls nach Meinung der meisten Experten – unser Klima bedroht, ist vielmehr die Freisetzung von  $\text{CO}_2$  (und einiger anderer Gase) in die Atmosphäre. Dort verändern sie die Strahlungsbilanz, was dann zur Erwärmung führt. Zu dieser Freisetzung tragen die verschiedenen Energieformen sehr unterschiedlich bei. Um das Klimaproblem zu bekämpfen, müssen wir diejenigen Energieformen zurückfahren, die am meisten  $\text{CO}_2$  freisetzen. Neben dem Energiesparen ist hierfür die Substitution  $\text{CO}_2$ -intensiver durch  $\text{CO}_2$ -arme - oder, noch besser, durch  $\text{CO}_2$ -freie – Energieformen das wirksamste Mittel. Dass hierbei auch andere klimawirksame Gase mit berücksichtigt werden müssen, sei nur der Vollständigkeit halber dazugesagt. Um näher darauf einzugehen, fehlt mir leider die Zeit.

In der folgenden Tabelle 1 sind Ursachen und grundsätzliche Abhilfemaßnahmen der globalen Umweltprobleme zusammengestellt:

<b>Umweltproblem</b>	<b>Wesentlichste Ursachen</b>	<b>Wichtigste Gegenmaßnahmen</b>
<b>Armut</b>	vielfältig	Mehr Energie für die armen Menschen Weniger Ölverbrauch in den Industrieländern
<b>Wasserverknappung</b>	Vielfältig	Mehr Energie zur Wasserentsalzung
<b>Ozonloch</b>	Freisetzung von FCKW	Verbot von FCKW
<b>Klimabeeinflussung</b>	Freisetzung von $\text{CO}_2$	Energiesparen Übergang auf $\text{CO}_2$ -freie Energieformen

*Tabelle 1: Die wichtigsten globalen Umweltprobleme, ihre wesentlichsten Ursachen und die wichtigsten Gegenmaßnahmen.*

Wichtig sind auch noch die Wechselwirkungen dieser Umweltprobleme untereinander: Armut verschärft alle anderen Probleme, weil sie Gegenmaßnahmen verhindert. Wasserknappheit und Klimaveränderungen verschärfen die Armut, weil sie die Lebensgrundlagen breiter Bevölkerungsschichten weiter verschlechtern, und sie verstärken sich auch gegenseitig, weil Wasserknappheit zu einem reduzierten Pflanzenwachstum und damit zu einer reduzierten  $\text{CO}_2$ -Entnahme aus der Atmosphäre führt und weil Klimaänderungen zumindest regional zu geringeren Niederschlagsmengen führen können (die Ausdehnung der Sahara ist hierfür vielleicht schon ein anschauliches Beispiel). Da – wie schon angegeben – auch das Ozonloch über gegenseitige Aufschaukeleffekte mit dem Klimaproblem verbunden ist, lassen sich alle vier hier behandelten globalen Umweltprobleme grundsätzlich nicht voneinander trennen und ihre Lösung oder zumindest Linderung kann nur unter Beachtung dieser Wechselwirkungen auf den Weg gebracht werden.

Infolge der überragenden Bedeutung dieser vier Umweltprobleme einerseits und der vielfachen Abhängigkeiten dieser Umweltprobleme von unserem Energiesystem andererseits muss sich auch die Sicherheits- und Umweltphilosophie energietechnischer Anlagen in erster Linie danach richten,

wie bzw. wodurch die energietechnischen Anlagen diese vier Umweltprobleme beeinflussen, sie also verstärken, oder sie lindern. Die Sicherheits- und Umweltphilosophie muss also – unter anderem – einen Beitrag zur Auswahl leisten, welche energietechnischen Anlagen wir vor dem Hintergrund der globalen Umweltprobleme bevorzugen und welche wir eher zurückdrängen sollen. Andere Gesichtspunkte als diese vier globalen Umweltprobleme sind natürlich nicht unwichtig, aber letztlich wohl doch nur sekundär. Ich weiß, dass diese, der Sache nach eigentlich notwendige Priorität in der Praxis nicht immer beachtet wird. Von uns nicht, die wir energietechnische Anlagen bauen und betreiben, und von denen nicht, die über uns und unsere Anlagen diskutieren. Aber das alles ändert nichts daran, dass der Beitrag zu Verstärkung oder Lösung dieser vier Umweltprobleme das Maß aller Dinge und damit auch Richtschnur für unsere Sicherheits- und Umweltphilosophie sein müsste.

#### **4. „Mehr Energie“ als Lösungsansatz?**

Aus Tabelle 1 ist unter anderem ersichtlich, dass die Umweltprobleme z. T. durch unser Energiesystem ausgelöst bzw. verstärkt werden, dass sie andererseits aber z. T. auch mit „mehr Energie“ eingedämmt werden können.

Damit sind wir unmittelbar bei einer philosophisch-ethischen Fragestellung angelangt: Wenn „etwas“ Ursache für ein Problem sein kann und bei verstärktem Einsatz dieses „Etwas“ das Problem sich auch vergrößern kann, darf dieses „Etwas“ dann auch zur Lösung des Problems eingesetzt werden? Konkret: Wenn Menschen zur Befriedigung ihrer Bedürfnisse Energie verbrauchen, kann dadurch das weltweite Klima gefährdet werden. Wenn sie mehr Energie verbrauchen, kann die Klimagefahr dadurch noch erhöht werden. Können und dürfen wir bei diesem Sachverhalt versuchen, (auch) mit der gezielten und absichtlichen Verfügbarmachung von zusätzlichen Energiemengen die Klimagefahren zu bekämpfen? Oder ist bei dieser Ausgangslage „absichtlich mehr Energie“ von Haus aus ein verbotener Ansatz, wie das in der öffentlich geführten Diskussion immer wieder behauptet und für „Energiesparen“ absolute Priorität gefordert wird?

Die Lösung dieses Dilemmas ist eigentlich trivial: Der geforderte absolute Vorrang des Energiesparens übersieht zwei wesentliche Punkte: Erstens ist Energie nicht gleich Energie. Ein Mehreinsatz an klimaneutraler Energie kann das Klimaproblem gar nicht verschärfen. Versucht man, darüber das Klimaproblem zu entschärfen, kann dies schlimmstenfalls erfolglos, niemals aber nachteilig sein. Verboten könnte höchstens der erhöhte Einsatz „klimaschädlicher“, also CO<sub>2</sub> freisetzender Energie sein. Aber bei einem kategorischen Verbot kommt da der zweite übersehene Punkt zum Tragen: Das Klimaproblem ist kein isoliertes Problem, sondern es steht – wie dargelegt – in intensiver Wechselwirkung mit den anderen globalen Umweltproblemen, insbesondere dem Armutproblem. Wird letzteres reduziert, so reduziert sich dadurch auch das Klimaproblem (weil die Armen dann auch Klimaschutzmaßnahmen ergreifen können; längerfristig auch, weil dadurch - statistisch erwiesen - das Bevölkerungswachstum gebremst wird, damit leben längerfristig aber weniger Menschen gleichzeitig auf der Erde und weniger Menschen gefährden das Klima auch weniger als viele Menschen). Wird nun durch den Mehreinsatz an „klimaschädlicher“ Energie die Armut so erfolgreich bekämpft, dass dadurch wieder das Klimaproblem entschärft wird, ist dieser Mehreinsatz an „klimaschädlicher“ Energie auch aus Klimaschutzgründen gerechtfertigt. Zahlreiche Untersuchungen zeigen, dass dies kein utopischer, sondern ein durchaus realistischer Fall ist. „Mehr Energie“ ist daher eine ethisch gerechtfertigte Option zur Lösung der aufgezeigten Umweltprobleme.

Natürlich ist die Diskussion hier verkürzt und man muss auch andere als die aufgezählten Umwelteinflüsse und selbstverständlich auch die Kostenauswirkungen einer jeden Entscheidung betrachten (wir können jeden Euro nur einmal ausgeben!). Man muss auch darüber diskutieren, was zu tun ist, wenn ein Mehreinsatz an Energie zwar das Klimaproblem verschärft, aber andere Umweltprobleme entschärft. Was passiert dann? Was hat dann Priorität? Ich kann die Diskussion hierüber aus Zeitgründen hier leider nicht führen, ich will nur abschließend nochmals festhalten, dass ein Mehreinsatz an Energie zur Lösung unserer Probleme nicht a priori verboten und von Haus

aus abzulehnen ist. Würde dies allgemein anerkannt, könnten wir die weitgehend festgefahrene öffentliche Diskussion an einem entscheidenden Punkt entkrampfen.

Meine Damen und Herren, lassen Sie mich bitte hier an dieser Stelle noch einen weiteren Gedankengang kurz einschieben: Sie wissen, dass nach dem Zweiten Hauptsatz der Thermodynamik jeder Eingriff in ein System, um dessen Entwicklung vom natürlichen Ablauf in eine erwünschtere Richtung hin zu lenken, nur unter Energiezufuhr erfolgreich sein kann. So wichtig Energiesparen unbestritten ist, wir müssen uns auch überlegen, ob und wo wir zur Richtungsbeeinflussung gezielt zusätzliche Energiebeträge einsetzen. „Mehr Energie“ kann auch aus Lenkungsgründen ein sinnvolles Vorgehen sein. Ich will das hier nicht weiter ausführen, aber in einem Workshop über Energieversorgung und Ethik darf dieser fundamentale Grundsatz m. E. nicht unerwähnt bleiben.

## **5. Wann ist ein Tun verantwortbar?**

Die kurz wiedergegebenen Überlegungen zu den globalen Umweltproblemen sind gewissermaßen das Fundament, auf dem unsere Sicherheits- und Umweltphilosophie für energietechnische Anlagen gegründet ist. Daraus abgeleitete Schlussfolgerungen müssen jedoch in Einklang stehen mit allgemeineren Auswahlregeln für ein bestimmtes Tun. Für solche Auswahlregeln gibt es keinen gesellschaftlichen Konsens. Ich möchte sechs mögliche Auswahlregeln nachfolgend kurz zur Diskussion stellen.

Ein bestimmtes Tun ist verantwortbar:

1. Wenn man das Risiko für akzeptabel hält.
2. Wenn das Risiko deutlich kleiner ist als andere akzeptierte Risiken.
3. Wenn das Risiko kleiner ist als das von Alternativen, die den gleichen Zweck erfüllen.
4. Wenn das Risiko deutlich kleiner ist als das auf anderen Teilschritten zum Erreichen des Zweckes real gegebene Risiko.
5. Wenn das Unterlassen insgesamt ein höheres Risiko mit sich bringt.
6. Wenn der erreichte Nutzen das Risiko rechtfertigt.

Die erste Auswahlregel ist diejenige, nach der wir Menschen wahrscheinlich fast immer in unserem normalen Leben vorgehen. Sie ist jedoch völlig subjektiv und damit ungeeignet, wenn wir für Dritte Verantwortung tragen sollen.

Die zweite Regel ist zwar wahrscheinlich objektiv gesehen berechtigt, ihre befriedigende Anwendung scheitert jedoch normalerweise am subjektiv unterschiedlich empfundenen Nutzen, der mit den unterschiedlichen Tätigkeiten verbunden ist. Bei großem (subjektivem) Nutzen werden auch große Risiken akzeptiert, ohne (subjektiv empfundenen) Nutzen auch die kleinsten nicht. So dürfte z. B. kaum jemand daran zweifeln, dass Autofahren risikoreicher ist als der Betrieb von Kernkraftwerken, aber alle akzeptieren das Erstere und nur relativ wenige das Letztere. Ursache hierfür ist höchstwahrscheinlich, dass viele Menschen das Autofahren mit einem großen subjektiven Nutzen verbinden, während sie den Nutzen der Kernkraftwerke nur bei den ohnehin schon reichen Wirtschaftsbossen angesiedelt sehen.

Die dritte Regel wird zwar im Grundsatz allgemein anerkannt, ihre befriedigende Anwendung scheitert jedoch häufig an unterschiedlichen Risikowahrnehmungen. So berufen sich z. B. sowohl Kernenergiebefürworter wie auch Kernenergiegegner auf diese Regel. Auf das Problem der Risikowahrnehmung komme ich später noch einmal zurück. Hier sei nur noch hinzugefügt, dass zur befriedigenden Anwendung dieser Regel die jeweiligen Risiken quantifiziert werden müssen. Auch hierzu später mehr.

Die vierte Regel ist wahrscheinlich etwas ungewöhnlich, sollte aber vielleicht doch Anlass zum Nachdenken geben. Würde sie in der Praxis befolgt werden, könnten wir uns manche fruchtlose

Diskussion ersparen. Sie besagt z. B., dass die Risiken von „Atomtransporten“ oder von Endlagern für radioaktive Abfälle akzeptiert werden müssen, wenn sie deutlich kleiner sind als die aus dem Betrieb der Kernkraftwerke (und Kernkraftwerke auch tatsächlich betrieben werden). Einen Beweis dafür, dass diese Risikorelation tatsächlich so besteht, kann ich hier aus Zeitgründen nicht führen. Er lässt sich aber führen und daher könnten wir – bei Befolgen der Regel vier – „Atomtransporte“ und Endlager wesentlich gelassener diskutieren.

Regel 4 besagt aber z. B. auch, dass das Risiko jeder Stromerzeugungstechnik akzeptiert werden muss, wenn es deutlich kleiner ist als das der Anwendung des Stroms beim Endverbraucher. Dass dies – zumindest bei Ausklammerung des Klimaproblems – für alle intensiv diskutierten Stromerzeugungstechniken so zutrifft, sei hier wieder nur als Aussage und aus Zeitgründen ohne Beweisführung angeführt. Wieder zeigt sich, welch großes Potential zur Reduzierung fruchtloser Diskussionen in der Regel 4 steckt. Ihrer praktischen Anwendung stehen nur leider wieder die Probleme der unterschiedlichen Risikowahrnehmung und der objektiven Risikoquantifizierung entgegen.

Auch die fünfte Regel wird theoretisch allgemein anerkannt, scheitert in der Praxis aber ebenfalls an den Problemen der Risikowahrnehmung und Risikoquantifizierung. Erschwerend kommt hier noch hinzu, dass meist zwei ungleiche Zustände miteinander verglichen werden, weil das Unterlassen meist auch zu einem anderen Zustand führt, die Risikobewertung also durch eine Präferenzbewertung der Zustände überlagert wird.

Die sechste Regel schließlich ist wieder eine Regel, nach der wir tagtäglich - bewusst oder unbewusst - handeln. Als allgemeingültige Handlungsvorschrift bei der Wahrnehmung von Verantwortung gegenüber Dritten scheitert sie m. E. aber eindeutig an der nicht möglichen Objektivierbarkeit der Frage, welcher Nutzen denn welches Risiko rechtfertigt.

Diese kurze Diskussion zeigt das Dilemma auf: In unserem Alltagsleben handeln wir meist nach Auswahlregeln (hier die Regeln Nr. 1 und 6), die sich als allgemeine Vorgaben für Verantwortungsträger nicht eignen, weil sie nicht ausreichend objektivierbar sind (wir tun das wahrscheinlich auch deshalb, weil die anderen Auswahlregeln viel komplizierter sind). Vor diesem Hintergrund ist es nicht verwunderlich, dass es so schwer fällt, sich auf allgemein verbindliche Auswahlregeln zu einigen (und diese dann auch zu befolgen!).

Als potentiell verbindliche Auswahlregeln bleiben nur die Regeln Nr. 3 und 4 und - mit Abstrichen - 5 übrig. Sie alle leiden an nicht befriedigenden Lösungen für die Risikoquantifizierung und an uneinheitlichen Risikowahrnehmungen. Diesen Problemen müssen wir uns also nachfolgend zuwenden.

## **6. Risikoquantifizierung**

Risiko wird in der Technik definiert als das Produkt aus der Wahrscheinlichkeit eines Schadens und dem Ausmaß des Schadens, wenn er denn eintritt. Beide Faktoren sind in der Praxis nur selten genau bestimmbar, man muss sich mit Näherungswerten begnügen. Solche seriös zu ermitteln, ist oft sehr aufwändig, und sich auf konkrete Werte zu einigen, ist oft schon schwer genug. Ganz wesentlich erschwert wird das Vorhaben der Risikoquantifizierung manchmal jedoch durch eine grundsätzliche Ablehnung dieser linearen Risikoformel. Es wird eine Höherbewertung seltener, aber schwerer Schäden, gegenüber häufigen, aber kleineren Schäden gefordert, meist durch Einführen eines „Aversionsfaktors“ in Form eines höheren Exponenten für das Schadensausmaß in der Risikoformel. Begründet wird dies - zumindest nach außen hin - damit, dass eine solche Bewertung auch dem „natürlichen“ Risikoempfinden der Menschen entsprechen würde. Darüber maße ich mir kein fachliches Urteil an. Es lässt sich aber mathematisch sehr leicht zeigen, dass bei jeder anderen Formel als Optimierungskriterium längerfristig ein insgesamt höheres Schadensausmaß entsteht als bei der „einfachen linearen“ Risikoformel. Nach meinem Empfinden fordert Verantwortung von uns eine Optimierung hin auf den langfristig geringsten Schaden, nicht hin auf ein – vielleicht auch real gegebenes – Risikoempfinden von Menschen.

## 7. Risikowahrnehmung

Unser Leben ist überall von Risiken umgeben. Manche sehen wir richtig, manche übertrieben, und vor manchen machen wir einfach die Augen zu. Wer hat nicht schon vom Flugpassagier gehört, der seine Frau vom Flughafen aus anruft, er sei glücklich gelandet, sie brauche keine Angst mehr zu haben, er setzt sich nur noch ins Auto und fährt nach Hause. Objektiv wissen wir, dass das Risiko der Autofahrt das des Fluges ganz wesentlich übersteigt. Aber subjektiv „fühlt sich das manchmal ganz anders an“.

Am Energiesektor ist das nicht anders:

- ◆ Objektiv können wir vorrechnen, dass das Risiko der Kernenergie um mehrere Größenordnungen kleiner ist als das fossiler Energien, aber viele wollen das ganz einfach nicht glauben.
- ◆ Objektiv können wir vorrechnen, dass die Sonnenenergie infolge ihrer geringen Konzentration real auf absehbare Zeit nicht in der Lage sein wird, einen entscheidenden Teil unserer Energieversorgung zu übernehmen, aber viele wollen das nicht wahrhaben und
- ◆ gegenüber dem Risiko, den Kampf gegen drohende Klimaänderungen erst recht zu verlieren, wenn wir im blinden Vertrauen auf die Sonne andere Maßnahmen zur Abwehr der Klimagefahren nicht rechtzeitig ergreifen, sind manche einfach blind.

Die Beispiele ließen sich fortsetzen.

Mit dem Versuch, ein Bisschen Systematik einzuführen, können wir die Risiken im Energiegebiet in vier Gruppen einteilen:

1. Risiken aus nicht ausreichender Verfügbarkeit bezahlbarer und handhabbarer Energie: Dieser Zustand existiert bereits jetzt (die Wahrscheinlichkeit hierfür ist also 1), die Folgen sind jetzt schon gravierend, und sie werden mit Sicherheit noch dramatisch zunehmen.
2. Risiken aus drohenden Klimaänderungen: Ob die derzeit zweifelsfrei beobachtbaren Klimaänderungen menschengemacht und nur ein Vorbote noch viel drastischerer Änderungen infolge unserer CO<sub>2</sub>-Freisetzungen sind, wird von manchen Wissenschaftlern vehement bestritten. Die Wahrscheinlichkeit dafür ist aber recht groß (vermutlich näher an 100 als an 50 %) und wenn die Mehrzahl der Experten Recht behält, werden auch die Folgen sehr groß sein.
3. Unfallrisiken aus dem Betrieb von Kernkraftwerken: Solche Unfälle können nicht ganz ausgeschlossen werden, aber die Wahrscheinlichkeit hierfür ist sehr klein (um Größenordnungen kleiner als die Wahrscheinlichkeit CO<sub>2</sub>-bedingter Klimaänderungen; letztere sind – wenn denn die Mehrzahl der Experten Recht hat – eine zwangsweise Folge des Normalbetriebes fossiler Energieanlagen, während Katastrophen bei der Kernenergie an die im einzelnen umstrittene, sicher aber sehr kleine Wahrscheinlichkeit schwerer Unfälle gebunden sind). Da außerdem auch das mögliche Schadensausmaß globaler Klimaänderungen dasjenige möglicher Kernkraftwerksunfälle bei weitem übersteigt, sprechen beide Risikokomponenten deutlich zugunsten der Kernenergie. Daran wird sich in Zukunft nur dann etwas ändern, wenn das Treibhausproblem wie eine Seifenblase platzt und das Klima sich als resistent gegen menschliche Eingriffe erweist. Das kann man zwar nicht ganz ausschließen, aber ich glaube, damit rechnet so gut wie niemand (dass aber auch dann der Risikovergleich zugunsten der Kernenergie ausginge, sei nur der Vollständigkeit halber und ohne ins Detail zu gehen erwähnt; am Gesamtergebnis würde auch ein Wegfall der Klimabedrohungen nichts Entscheidendes ändern, nur die Beweisführung wäre viel aufwändiger und die Abstände wären viel kleiner).
4. Risiken infolge falscher Wahrnehmungen bzw. falscher Erwartungen: Viele glauben, dass, wenn wir es nur wollten, Energiesparen und erneuerbare Energien allein unsere

Energieversorgung übernehmen könnten. Wir könnten daher auf die fossilen Energien und auf die Kernenergie gleichzeitig verzichten. Das sei nur eine Frage des Wollens, das Können würde sich dann von alleine ergeben. Wird dieser Weg im blinden Vertrauen auf seine Gangbarkeit eingeschlagen und erweist er sich dann als doch nicht akzeptabel (was nach heutigem Ermessen so gut wie sicher abzusehen ist, man darf nur die Augen nicht vor den Fakten verschließen), dürften die Folgen katastrophal im wahrsten Sinne des Wortes sein. Derart riskante Experimente ohne jegliches Netz sollten wir tunlichst vermeiden. Aussteigen dürfen wir erst, wenn wir gesichert wissen, wohin wir einsteigen können. Nährboden finden die falschen Erwartungen an die Leistungsfähigkeit von Sparen und Erneuerbaren auch in der Fehleinschätzung der Kernenergie Risiken: Je höher man diese einschätzt, desto eher ist man bereit, einen Weg ohne Kernenergie auch ohne kritische Überprüfung als gangbar zu akzeptieren. Orientiert sich die Risikobeurteilung der Kernenergie jedoch an den Fakten, ist das Gesamtrisiko bei Zulassen der Kernenergie um mehrere Größenordnungen kleiner als ohne sie, einen Weg nur mit Sparen und Erneuerbaren brauchen wir dann nicht. Die falsche Wahrnehmung der Risiken führt zu falschen Entscheidungen.

Legt man diese Gruppeneinteilung der Risiken zugrunde, so zeigt eine nüchterne Gesamtbetrachtung, dass die Risiken der Gruppe 3 vernachlässigbar klein sind gegenüber den Risiken der Gruppen 1 und 2, und die Erfahrung lehrt uns, dass die Risiken der Gruppe 4 wahrscheinlich die größten sind. Wenn wir denn scheitern, dann scheitern wir an unseren eigenen Unfähigkeiten, Richtiges von Falschem zu trennen, nicht an objektiv nicht vorhandenen Lösungsmöglichkeiten. Wir scheitern auch weniger an der Schwierigkeit einer Einigung auf anzuwendende Auswahlregeln für die „richtigen“ Energieformen (obwohl viele dazu neigen, nur solche Auswahlregeln zu akzeptieren, die ihre favorisierte Energieart als „richtig“ ausweisen), sondern wir scheitern am Wahrscheinlichsten an unseren unterschiedlichen Risikowahrnehmungen. Unterschiedliche Risikowahrnehmungen sind weitgehend eine Folge von Vorurteilen und schon Albert Einstein wusste, dass Vorurteile zu beseitigen schwerer ist als Atomkerne zu zertrümmern. Jeder fordert, dass wir eine Sicherheits- und Umweltphilosophie für energietechnischen Anlagen haben, aber die meisten akzeptieren diese nur, wenn sie das von ihnen favorisierte Ergebnis liefert. Das ist unser eigentliches Problem.

## **8. Lösungsansätze in den energietechnischen Anlagen**

Im Energiebereich haben wir also die vier eingangs angegebenen globalen Umweltprobleme, wir haben die angegebenen Auswahlregeln, wann ein Tun verantwortlich ist, und wir haben die sieben gezeigten vier Risikobereiche. Aus alledem kann man eine gewisse Vorabbewertung vornehmen, welche energietechnischen Anlagen bei nüchterner Betrachtung aus Sicherheits- und Umweltgründen bevorzugt werden sollen. Auf die Problematik der Akzeptanz dieses Ergebnisses habe ich schon hingewiesen.

Nicht explizit eingegangen bin ich bisher auf die technische und betriebliche Ausgestaltung der energietechnischen Anlagen selbst. Das ist für fossile Energieanlagen auch grundsätzlich berechtigt, weil deren Hauptproblem, das CO<sub>2</sub>, mittels Technik nur wenig beeinflussbar ist (heute noch utopische Rückhalteinrichtungen einmal außer Betracht gelassen). Die Vorabbewertung gilt mehr oder weniger für jede technische Ausführung. Ganz anders ist das bei der Kernenergie. Deren Hauptproblem, das grundsätzliche Gefährdungspotential durch denkbare Unfälle beim Betrieb von Kernkraftwerken, ist sehr wohl und massiv durch die Technik beeinflussbar. Kernenergie ist weder eine besonders sichere, noch eine besonders unsichere Energieform, es kommt vielmehr entscheidend darauf an, was und wie man es macht. Insofern sind der oben angegebene Risikovergleich und die darauf aufbauende Vorabbewertung keine Naturkonstante. Der gemachte Risikovergleich gilt auf der Basis westlicher Kernkraftwerke und sein Ergebnis ist eine Folge der dort gewählten technischen Ausführung. Dass es auch ganz anders geht, hat uns auf tragische Weise Tschernobyl bewiesen. Aber Tschernobyl war eine vollkommen andere Technik und daher kann Tschernobyl auch nicht beweisen, dass die obigen Ausführungen falsch sind. Auf einen Risikovergleich unter Einschluss von Tschernobyl kann ich aus Zeitgründen hier nicht eingehen.

Zumindest bei der Kernenergie kommt es also sehr wohl darauf an, dass die sicherheitstechnische Auslegung der Anlagen sorgfältig und „richtig“ gemacht wird. Wie kann man aber eine sicherheitstechnisch befriedigende Auslegung einer energietechnischen Anlage (konkret: eines Kernkraftwerkes) erreichen? Hierzu sind zunächst einmal zwei Vorgaben erforderlich:

1. Es wird stets eine möglichst hohe Qualität angestrebt.
2. Es wird unterstellt, dass trotzdem Fehler passieren und es wird gefordert, dass hieraus keine unzumutbaren Konsequenzen entstehen können.

Anders ausgedrückt: Es wird eine möglichst fehlerfreie, gleichzeitig aber eine fehlerverzeihende Technik gefordert. Alles Weitere sind dann eigentlich nur mehr logische Ableitungen aus diesen Vorgaben.

Der Erfolg dieses Vorgehens beruht dabei auf folgender Grundidee: Ein gravierendes Versagen von technischen Einrichtungen passiert nicht rein zufällig, sondern aufgrund einer Kette von Ursachen und Wirkungen. Sind diese Wirkungsketten bekannt, können Maßnahmen festgelegt werden, die diese Wirkungsketten unterbrechen und so das gravierende Versagen verhindern. Werden mehrere, hintereinander gelegene Unterbrechungsstellen vorgesehen und werden die Maßnahmen zur Unterbrechung für jede Stelle als unabhängig von den Maßnahmen für die anderen Unterbrechungsstellen eingeplant, ergibt sich ein insgesamt äußerst zuverlässiges System, in dem zwar Fehler passieren können, diese Fehler aber letztlich keine gravierenden Auswirkungen haben. Dabei ist es unerheblich, ob es sich bei diesen Fehlern um ein Fehlverhalten von Komponenten und Systemen („Versagen“, „technischer Fehler“), oder um Fehlhandlungen von Menschen („Bedienungsfehler“, „menschlicher Fehler“) handelt. Man spricht von einem „fehlerverzeihenden Sicherheitskonzept“.

Das Gefährdungspotential eines Kernkraftwerkes besteht in den großen Mengen radioaktiver Stoffe, die bei der Kernspaltung entstehen und die im wesentlichen im sgn. „Reaktorkern“ enthalten sind. Die Aufgabe der Reaktorsicherheit besteht also darin, den Einschluss dieser radioaktiven Stoffe und damit ihre Trennung von der „Außenwelt“ sicherzustellen. Gelingt dies, ist eine Gefährdung ausgeschlossen. Es wurde daher ein erstes und oberstes „Schutzziel“ definiert: „Einschluss radioaktiver Stoffe“.

Mit dieser Aufgabe hat das „fehlerverzeihende Sicherheitskonzept“ unserer Kernkraftwerke folgende grundlegende Merkmale:

- ◆ Isolation der radioaktiven Stoffe gegenüber der Umwelt durch ein System von mehreren sich umschließenden Barrieren („Barrierekonzept“)
- ◆ Gewährleistung der ausreichenden Funktion dieser Barrieren durch ein System gestaffelter Maßnahmen („Konzept der Sicherheitsebenen“)
- ◆ Sicherheitseinrichtungen zum Schutz der Barrieren, die auch bei unterstellten (technischen oder menschlichen) Fehlern ausreichend ihre Aufgabe erfüllen („Auslegungsprinzipien für Sicherheitseinrichtungen“)
- ◆ Gewährleistung eines selbststabilisierenden Verhaltens der Kettenreaktion („inhärente Sicherheit“).

Insgesamt sechs hintereinander gestaffelte Barrieren halten die radioaktiven Stoffe und ihre Strahlung zurück:

1. Das Kristallgitter des Brennstoffes selbst
2. Die gasdicht verschweißten metallischen Hüllrohre
3. Der Reaktordruckbehälter aus 25 cm dickem Spezialstahl
4. Der thermische Schild aus 2 m dickem Beton

5. Der gasdichte und druckfeste Sicherheitsbehälter („Containment“) aus 3 cm dickem Stahl
6. Die äußere Sicherheitshülle aus 1,5 m dickem Stahlbeton.

Bei Schäden an einem Teil der Barrieren können die anderen Barrieren den Einschluss der radioaktiven Stoffe übernehmen.

Eine potentielle Gefährdung der Barrieren ergibt sich vor allem aus einer Überhitzung (Durchschmelzen). Diese kann prinzipiell durch zu hohe Leistungserzeugung oder durch mangelnde Kühlung zustande kommen. Es wurden daher zwei weitere Schutzziele definiert: „Kontrolle der Reaktivität“ (also der Leistungserzeugung) und „ausreichende Kühlung der Brennelemente“.

Werden alle drei Schutzziele eingehalten, sind die Barrieren hinreichend intakt und eine Gefährdung der Umgebung durch unzulässigen Austritt ionisierender Strahlung ist ausgeschlossen. In der folgenden Tabelle 2 sind die Schutzziele und ihre unmittelbaren Zielsetzungen nochmals zusammengestellt. Wichtig erscheint mir noch der Hinweis, dass bei Verletzung eines Schutzzieles noch nicht notwendigerweise ein schwerer Unfall mit gravierenden Auswirkungen auf die Umgebung vorliegen muss. Werden die anderen Schutzziele eingehalten, können Verletzungen eines Schutzzieles meistens noch aufgefangen werden.

<b>Schutzziel</b>	<b>Unmittelbare Zielsetzung</b>
Einschluss radioaktiver Stoffe	Verhindern des Austritts in die Umgebung
Kontrolle der Reaktivität	Begrenzung der Leistungserzeugung
Ausreichende Kühlung	Verhindern des Durchschmelzens der Barrieren

*Tabelle 2: Schutzziele*

Die Einhaltung der Schutzziele und damit die Wirksamkeit des Barrierenkonzeptes wird durch ein System gestaffelter Maßnahmen gewährleistet, die den sgn. „Sicherheitsebenen“ zugeordnet sind. Es gibt insgesamt vier dieser Sicherheitsebenen. Der Grundgedanke dabei ist wieder, dass in jeder Ebene zunächst Fehler so unwahrscheinlich wie möglich gemacht werden, dann aber doch unterstellt wird, dass solche Fehler auftreten und dann in der nächsten Ebene Maßnahmen vorgesehen werden, die eine Beherrschung dieser Fehler erlauben.

Die erste Sicherheitsebene ist der Normalbetrieb des Kraftwerkes. Hier werden Störungen durch Qualität von Technik und Personal sowie durch (insbesondere leittechnische) Überwachungen und Kontrollen möglichst vermieden. Trotzdem wird unterstellt, dass Störungen auftreten.

In der zweiten Sicherheitsebene (anomalier Betrieb) werden dann die (postulierten) Störungen möglichst eingegrenzt und es wird vermieden, dass sie sich zu Störfällen ausweiten. Hierzu steht ein umfangreiches Instrumentarium zum Erkennen der Störungen und zu ihrer Eingrenzung zur Verfügung. Aber wieder wird unterstellt, dass diese Eingrenzung nicht gelingt und die Störung sich zu einem Störfall ausweitet.

Dieser (postulierte) Störfall wird dann in der dritten Sicherheitsebene (Störfallbeherrschung) durch speziell hierfür konstruierte und von den betrieblichen Einrichtungen völlig getrennte Sicherheitseinrichtungen beherrscht, wobei erschwerend unterstellt wird, dass noch zusätzliche Fehler und Ausfälle auftreten. Konkret werden hierfür zwei Kriterien vorgegeben:

- ◆ Das „Einzelfehlerkriterium“, das das Auftreten eines, vom auslösenden Ereignis unabhängigen Einzelfehler unterstellt, der Störfall muss auch dann beherrscht werden und
- ◆ Das „Reparaturkriterium“, das unterstellt, dass - zusätzlich zum Einzelfehler - eine Sicherheitsteileinrichtung sich gerade in Reparatur befindet und daher nicht zur Verfügung steht, auch dann muss der Störfall noch beherrscht werden.

Eine extrem hohe Zuverlässigkeit der Störfallbeherrschung wird zusätzlich durch folgende Prinzipien erreicht, ich nenne nur einige Schlagworte:

- ◆ Trennung von betrieblichen Einrichtungen: Die Störfallbeherrschung erfolgt unabhängig von betrieblichen Einrichtungen mit eigenen Sicherheitssystemen<sup>1</sup>.
- ◆ Redundanzprinzip: Es werden mehr Teileinrichtungen vorgesehen, als zur Erfüllung der jeweiligen Aufgabe notwendig sind
- ◆ Diversitätsprinzip: Es werden unterschiedliche physikalische Größen messtechnisch überwacht und Fabrikate unterschiedlicher Hersteller verwendet
- ◆ Räumliche Trennung bzw. baulicher Schutz gegen übergreifende Fehler: Ein Fehler soll nicht mehrere Sicherheitsteileinrichtungen gleichzeitig außer Betrieb setzen können
- ◆ „Fail-Safe-Prinzip“: Die Auslegung erfolgt nach Möglichkeit so, dass eventuell auftretende Fehler sich in die sichere Richtung auswirken
- ◆ Automatisierung („30 Minuten Konzept“): In den ersten 30 Minuten ab Störfalleintritt sind keine Handmaßnahmen notwendig.

Mit diesen Einrichtungen und Maßnahmen kann ein Ereignis mit gravierenden Auswirkungen nach außen „nach den Maßstäben der praktischen Vernunft“ ausgeschlossen werden. Trotzdem wird wieder unterstellt, dass die Störfallbeherrschung nicht gelingt.

In der vierten Sicherheitsebene (Anlageninterner Notfallschutz, Accident Management) werden dann unter Ausnutzung der Auslegungsreserven der Anlage Maßnahmen vorgesehen, mit deren Hilfe der Störfall dennoch auf die Anlage begrenzt oder wenigstens die Folgen für die Umgebung reduziert werden können. Ich nenne wieder nur einige Stichworte:

- ◆ Primär- und sekundärseitige Druckentlastung (Kühlmöglichkeit mit Niederdrucksystemen, Vermeiden einer Kernschmelze bei hohem Druck)
- ◆ Kühlung mit Flusswasser und Feuerwehrpumpe
- ◆ gefilterte Druckentlastung des Sicherheitsbehälters (zum Vermeiden eines Überdruckversagens)
- ◆ Wasserstoffrekombination (zum Vermeiden von Knallgasexplosionen).

Damit werden auch im extrem unwahrscheinlichen Fall eines nicht auslegungsgemäß beherrschten Störfalles die Auswirkungen so auf die Anlage oder die unmittelbare Umgebung beschränkt, dass gravierende Maßnahmen in der Umgebung (z. B. umfangreiche Evakuierungen) grundsätzlich nicht erforderlich sind.

In der folgenden Tabelle 3 sind die Sicherheitsebenen und ihre wesentlichen Aufgaben zusammengestellt. Es sei nochmals auf das Prinzip hingewiesen, eventuelle Fehler in einer Sicherheitsebene durch entsprechende Einrichtungen in der folgenden Sicherheitsebene aufzufangen.

Sicherheitsebene	Bezeichnung	Sicherheitstechnische Aufgabe
1	Normalbetrieb	Störungen vermeiden
2	Anomaler Betrieb	Störungen begrenzen, verhindern, dass sie sich zu

<sup>1</sup> Anmerkung: Hier gibt es einen echten Philosophieunterschied zu den USA: Dort wird z. B. eine betrieblich laufende Pumpe auch zur Störfallbeherrschung eingesetzt, etwa nach dem Motto: „Was schon läuft, das läuft“, während bei uns die betriebliche Pumpe abgeschaltet und eine eigens nur für die Störfallbeherrschung vorgesehene andere Pumpe neu gestartet wird. Unsere Philosophie scheint mir sicherheitstechnisch etwas vorteilhafter zu sein, weil im Falle der Vermaschung bei komplexen Systemen ein Übergreifen eventueller betrieblicher Fehler auf die Störfallbeherrschung nie wirklich vollständig ausgeschlossen werden kann.

		Störfällen auswachsen
3	Störfallbeherrschung	Störfälle beherrschen, verhindern, dass sie sich zu Unfällen weiterentwickeln
4	Anlageninterner Notfallschutz	Unfälle noch abfangen oder zumindest ihre Konsequenzen eindämmen

*Tabelle 3: Sicherheitsebenen und ihre Aufgaben*

Das mehrstufige, gestaffelte, fehlerverzeihende Sicherheitskonzept wird unterstützt durch eine Konstruktion des Reaktors, die ein inhärent sicheres Verhalten in allen Situationen gewährleistet. Das bedeutet, dass ein Leistungs- oder Temperaturanstieg allein aufgrund inhärenter physikalischer Gesetzmäßigkeiten, die nicht versagen können, immer zu einer rechtzeitigen Leistungsbegrenzung führt, erforderlichenfalls bis zur Unterbrechung der Kettenreaktion. Eingriffe von Hand oder von Automaten sind hierfür nicht erforderlich. Wie wichtig eine solche Reaktorauslegung ist, hat uns Tschernobyl gezeigt: Wäre der Reaktor inhärent sicher ausgelegt gewesen, wäre es nicht zur Explosion gekommen; auch bei allen anderen Unzulänglichkeiten des Reaktors hätte allein ein Befolgen dieses Auslegungskriteriums das Unglück verhindern können.

Aber Reaktorsicherheit ist nichts stationäres. Überprüft wird unser Auslegungskonzept durch probabilistische Sicherheitsanalysen, die neben einer Beurteilung des insgesamt erreichten Sicherheitsniveaus auch eine Aussage über die Konsistenz des Konzeptes (gibt es Ausreißer?) erlauben. Außerdem wird durch eine ständige Auswertung und Rückführung der in- und ausländischen Betriebserfahrungen eine ständige Weiterentwicklung betrieben. Auf diese Art ist die Sicherheit unserer Kernkraftwerke in den letzten 20 Jahren laufend weiter verbessert worden und dieser Trend wird ohne jeden Zweifel auch noch weiter anhalten.

Die hier vorgestellte Sicherheitsphilosophie gibt es in dieser Ausgereiftheit und Vollständigkeit sicher nur für Kernkraftwerke. Die Grundgedanken sind aber auch z. B. bei Wasserkraftwerken mit ihrem Schädigungspotential über Dammbüche und wahrscheinlich auch bei vielen anderen risikobehafteten Industrien zu finden. Wie weit man mit solchen Rezepten kommt, hängt von der Gründlichkeit ab, mit der man sie anwendet.

## **9. Schlussbemerkung**

Wie dargelegt besteht die Umwelt- und Sicherheitsphilosophie energietechnischer Anlagen aus einem äußeren Teil, mit dem im wesentlichen überlegt wird, welche Art energietechnische Anlagen denn gebaut werden soll, und aus einem inneren Teil, mit dem im wesentlichen überlegt wird, wie man die Anlage denn bauen soll. Das Ergebnis eines Teiles ist jeweils für den anderen Teil mitbestimmend. Nur in iterativer Näherung kann man das insgesamt beste Ergebnis erreichen. Auf Basis des geschilderten Vorgehens kommt man zu einem Ergebnis, das Dritten gegenüber verantwortet werden kann.

Mit dem Stichwort „Verantwortung“ möchte ich zu einer letzten Anmerkung kommen, die ich mir erlauben möchte, weil wir hier auf einem Ethik-Workshop sind. Vielleicht können wir diesbezüglich zu einer einheitlichen Auffassung kommen: Versucht man das Für und Wider verschiedener Energiesysteme ethisch zu diskutieren, so stößt man immer wieder auf die Frage, ob die Problemlösung denn unter gesinnungs- oder unter verantwortungsethischen Gesichtspunkten gesucht werden soll. Je mehr ich darüber nachdenke, desto weniger kann ich die gesinnungsethische Position verstehen. Erstens glaube ich nicht, dass man mit einer „guten“ Gesinnung allein irgendetwas rechtfertigen kann. Schon Berthold Brecht wusste, dass „gut gemeint das Gegenteil von gut ist“. Um auch noch ein Beispiel anzuführen: Wurden nicht auch die Hexenverbrennungen im Mittelalter gesinnungsethisch begründet? Und zweitens habe ich Zweifel, ob man die „wahre“ Gesinnung, die hinter einer Entscheidung oder Tat steht, jemals zuverlässig erfahren kann. So wie mir eine Gewissensprüfung bei Wehrdienstverweigerern problematisch erscheint, so erscheint mir auch eine Gesinnungsprüfung bei Tatbegründungen problematisch. Meine Ausführungen zur

„Umwelt- und Sicherheitsphilosophie energietechnischer Anlagen“ verstehe ich jedenfalls voll auf dem Boden verantwortungsethischer Betrachtungen.