

Über Sicherheit, Unsicherheit und Antisicherheit – Eine Exegese

Definitionen, Beziehungen und Beeinflussungsmöglichkeiten; eine Analyse, nicht ausschliesslich für Industrie-Chemiker

Kurt Käser*

Exegesis on Security, Insecurity, and Antisecurity

Abstract: The significance of the fundamental notion *security* is discussed in a context beyond chemistry. After attempting to give a definition of security, *danger* is recognized as insecurity. The parameters that characterize danger are severity, probability of occurrence, and the quality of the probability information. Some classification methods of danger used outside chemistry are presented. *Accidents* are identified as antisecurity. The decomposition of an incident into the four necessary components: energy potential, a sensitising element, trigger, and resulting damage is presented. Three examples illustrate this decomposition. Avoiding incidents and protection from damage is based on the reduction or elimination of at least one of the four components.

Keywords: Accident · Danger · Incident · Security

1. Einleitung

Sicherheit! Alle sprechen heutzutage gerne von Sicherheit. Wir alle wollen Sicherheit, am Arbeitsplatz, in der Freizeit, in der Gesellschaft, in unserem Land und auf der ganzen Welt. Das Bestreben nach Sicherheit ist eines der menschlichen Grundbedürfnisse, das befriedigt werden will. Aber was ist Sicherheit? Wie ist dieser Begriff zu verstehen? Was bedeutet die Negation von Sicherheit, also die Unsicherheit? Gibt es ein extremes Gegenteil der Sicherheit, also eine Anti-Sicherheit?

Paradoxerweise tragen Sicherheitsleute paramilitärische Uniformen und sind oft sogar bewaffnet. Unter dem Deckmantel der Wahrung von Sicherheitsinteressen lassen sich auch Aktivitäten durchführen, die sonst nicht vertretbar wären, weil sie als unrentabel, unpopulär, unethisch oder gar unmenschlich beurteilt würden. Denken Sie nur daran, was heutzutage alles auf der Welt „zur Wahrung der Nationalen Sicherheit“ getan wird.

Auch am Arbeitsplatz ist Vorsicht am Platz, wenn jemand viel und gern über Sicherheit spricht. Auch hier kann unter Umständen die folgende These zutreffen:

„Wer über Sicherheit spricht, will (vielleicht) etwas Gefährliches tun.“

Das Streben nach Sicherheit kann aber auch als arbeitspolitische Waffe eingesetzt werden. Will jemand in seinem Betrieb einen Prozess verhindern, muss er nur relevante Zweifel an seiner Sicherheit äussern. Er muss seine Sicherheitsbedenken nicht einmal beweisen, es genügt, wenn er lautstark oder sogar schriftlich seine Zweifel publik macht. Die Beweislast liegt dann bei dem, der den Prozess trotz manifestierter Bedenken durchführen wird. Und dies ist nicht leicht, kostet Zeit, Geld und Nerven. Wer solches aus unlauteren Gründen tut, ist ein Saboteur! Also Vorsicht:

„Wer über Sicherheit spricht, will (vielleicht) am liebsten gar nichts tun.“

Im Einführungsreferat des Symposiums „Sichere Prozessführung in der chemischen Industrie“ möchte ich gerne einige Gedan-



*Korrespondenz: Prof. Dr. K. Käser
Hochschule für Technik & Architektur Freiburg
Boulevard du Pérolles 81
CH-1705 Freiburg
Tel.: ++41 26 429 67 04
Fax.: ++41 26 429 66 00
E-Mail: kurt.kaeser@eif.ch
www.eif.ch/chimie

ken zu diesen Fragen formulieren und Ihnen zur Kritik vorlegen.

Die Struktur meines Referats versucht eine Analyse und eine Definition des Begriffs „Sicherheit“, kommt zwangsweise auf den Begriff der „Gefahr“, erläutert die Komponenten eines Schadensereignisses und wird mit einer Zusammenfassung enden.

2. Sicherheit und Gefahr

Schon die grundlegende Frage nach der Bedeutung des Begriffs „Sicherheit“ bietet Schwierigkeiten. Einerseits ist sein Verständnis fundamental, intuitiv klar und als evident akzeptiert, andererseits ist aber die Formulierung einer befriedigenden Definition alles andere als einfach. Mit eigenen Versuchen, eine vernünftige Definition für „Sicherheit“ zu kreieren, mehr als unzufrieden, wandte ich mich an meine Berufskollegen und an die Teilnehmer eines Nachdiplomkurses über „Thermische Sicherheit“, der diesen Frühling an unserer Schule stattfand. Die Aufgabe lautete: „Formulieren Sie einen Satz, der möglichst einfach und präzise den Begriff „Sicherheit“ definiert“. Eine Auswahl der erhaltenen Antworten sind in Fig. 1 zusammengestellt.

Bemerkenswert ist, dass die allermeisten Definitionsversuche negativ und ausschliessend formuliert sind. Der Grundtenor liegt im Ausschliessen oder in der Verminderung von Gefahr, oder in der Verhinderung von Schadensereignissen. Die Sicherheit wird offensichtlich direkt invers über ihre Kontrahenten Gefahr und Ereignis verstanden. Dies empfand ich als störend. Ich bat daher dieselben Berufskollegen um eine erneute Formulierung der Definition von Sicherheit, aber diesmal ohne inverse Begriffe wie „Gefahr, Ereignis, Verminderung von ..., Ausschluss von ..., Minimierung, etc.“ zu gebrauchen. Auch musste der Definitionssatz positiv, ohne Wörter wie „nicht, weder .. noch, Gegenteil, etc.“ formuliert werden. Die so modifizierte Aufgabe bereitete offensichtlich grosse Schwierigkeiten, die Kollegen stöhnten lautstark und die Ausbeute an sechs gelieferten Antworten war, bei über zwanzig Befragten, quantitativ sehr stark reduziert. Das Resultat ist in Fig. 2 zusammengefasst.

Auch qualitativ erschienen mir die Antworten nicht als „das Gelbe vom Ei“, weil zwar schöngeistig formuliert, aber für meinen Geschmack zu wenig konkret. Sind eventuell die Antworten unbefriedigend, weil die Aufgabe, eine positiv formulierte Definition der Sicherheit zu finden, unsinnig ist?

Konsultieren wir doch einfach einmal die Quellen geschriebener Weisheiten, wie Lexika und Wörterbücher. Eine nicht umfassende Suche nach den Begriffen „Sicherheit, sécurité, safety und security“ ergab das in Fig. 3 dargestellte Ergebnis. Das Resultat ist klar. Auch die Sprachwissenschaftler definieren die Sicherheit als Verminderung oder Ausschluss von Gefahr. Die Reduktion des Begriffes „Sicherheit“ auf „Abwesenheit von Gefahr“ und damit die Akzeptanz des Begriffes „Gefahr“ als Evidenz lässt uns folgende Schlussfolgerungen ziehen:

- „Sicherheit“ und „Gefahr“ sind komplementäre, sich ausschliessende Begriffe.
- „Sicherheit“ ist verstandesmässig abstrakter als „Gefahr“.

– „Gefahr“ aber ist konkret und evident verständlich.

Akzeptieren wir daher als Arbeitshypothese die folgende, qualitative Definition von Sicherheit:

„Absolute Sicherheit bedeute per Definition die Abwesenheit jeglicher Gefahr, relative Sicherheit bedeute die Minimierung der Gefahr.“

Somit wird die (abstrakte) Sicherheit und ihre Änderung auf die (konkrete) Gefahr und ihrer quantitativen Veränderung reduziert. „Sicherheit“ und „Gefahr“ bilden also ein Begriffspaar mit einem abstrakten und einem konkreten Term wie andernorts „Vakuum“ und „Druck“, „Kälte“ und „Wärme“ oder „Schatten“ und „Licht“.

- Sous le terme de sécurité, on entend communément un sentiment de confiance que l'on ressent en relation avec une situation pouvant présenter un danger.
- La sécurité c'est de pouvoir effectuer son activité de manière sûre, c'est-à-dire avec une probabilité faible que quelque chose grave se passe.
- La sécurité c'est dans un premier temps l'analyse des risques d'une situation puis la gestion de ces risques par la mise en place de mesures pour les réduire ou annuler.
- Sicherheit ist das minimale Risiko.
- Sicherheit ist die Abwesenheit jeglicher Gefahr (Drohung) für Mensch, Güter und Umwelt.
- Unter Sicherheit verstehe ich, wenn ich die Gefahr kenne.
- Sicherheit ist das Wissen oder die Annahme, dass gefährliche Situationen mit einer grossen Wahrscheinlichkeit nicht eintreten.
- Unter Sicherheit verstehe ich einen mir vertrauten und stabilen Zustand.
- Unter Sicherheit verstehe ich einen Zustand, der den Schutz des Lebens und der Umwelt gewährleistet.

Fig. 1 'Was bedeutet Sicherheit?' erste Antworten einer Umfrage

- Unter Sicherheit verstehe ich ein ruhiges Gewissen zu haben.
- Sécurité : Situation tranquille dans laquelle on se sent en confiance.
- La sécurité c'est connaître les limites d'un système.
- La sécurité, c'est l'évaluation du danger et la mise en place de mesures pour le diminuer ou l'éviter.
- On entend par sécurité un sentiment de confiance que l'on éprouve face à une situation pouvant présenter un danger que l'on a identifié.
- Sicherheit ist der Zustand grösster Umsicht bezüglich Mensch, Material und Umwelt.

Fig. 2. 'Was bedeutet Sicherheit?' Positiv formulierte Antworten auf eine Nachfrage

- Those activities that seek either to minimize or to eliminate hazardous conditions that can cause bodily injury. [1]
- The condition of being safe; freedom from danger or risks. [2]
- Freedom from risk. [3]
- Tranquillité d'esprit résultant du fait de se croire à l'abri de tout danger. [4]

Fig. 3. 'Was bedeutet Sicherheit?' Antworten aus Lexika

3. Die Gefahr als Unsicherheit: Ihre Wahrscheinlichkeit und Schwere

Was bedeutet aber der Begriff „Gefahr“? Ist seine Definition auch so begriffsproblematisch, wie die der Sicherheit? Nein, überhaupt nicht, der menschliche Geist akzeptiert den Begriff „Gefahr“ als Evidenz, wobei folgende Formulierung Zustimmung finden möge:

„Unter dem Begriff „Gefahr“ verstehe man per Definition die Möglichkeit des Eintretens eines Schadenereignisses.“

Unsicherheit (also auch unvollkommene Sicherheit) bedeutet die Existenz von mindestens einer Gefahr.

Aus der Definition ist auch ersichtlich, dass eine Gefahr aus zwei zusammenwirkenden Komponenten aufgebaut sein muss:

– Erstens muss ein Ereignis drohen, das Schäden an Gut, Leib und Leben anrichten kann. Die Schwere des Ereignisses wird als quantitatives Mass des drohenden Schadens verstanden.

– Zweitens wird das Ereignis mehr oder weniger häufig eintreten. Die zeitliche Häufigkeit wird durch eine Eintretenswahrscheinlichkeit quantifiziert. Da das Eintreten beliebiger denkbarer Schadensereignisse nie ganz ausgeschlossen werden kann, ist die Eintretenswahrscheinlichkeit jeder denkbaren Gefahr stets grösser als Null.

Ein Ereignis mit 100-proz. Eintretenswahrscheinlichkeit gilt als stattgefunden.

Infolge des Aufbaus aus den zwei unabdingbaren Komponenten „Ereignisschwere“ und „Eintretenswahrscheinlichkeit“ wird die Gefahr oft als formales Produkt aus Wahrscheinlichkeit und Schwere (= Risiko) quantifiziert. Lassen sich die Wahrscheinlichkeit und die Schwere in vernünftig gewählten Einheiten messen, ist die Verlockung gross, für das Risiko als Mass der Gefahr direkt das arithmetische Produkt aus Wahrscheinlichkeit und Schwere zu nehmen.

Risikoanalysen von chemischen Produktionsprozessen nach der HAZOP-Methode unterteilen die beiden Gefahrenkomponenten in je drei Klassen. Ein drohendes Schadensereignis kann von leichter, mittlerer oder grosser Schwere sein, seine Eintretenswahrscheinlichkeit kann klein, mittel oder gross sein. Risiken von Gefahren lassen sich somit in einer 3 × 3 Matrix klassieren und grob miteinander vergleichen.

Als praktizierende Chemiker ist Ihnen diese Klassifikation sicher bestens bekannt und ich kann Ihnen hiermit sicherlich nichts Neues bieten. Gerne möchte ich, hierauf aufbauend, noch andere Klassifikationssysteme vorstellen, solche, die Sie als Chemiker vielleicht noch nicht kennen.

Werden die Wahrscheinlichkeit und die Schwere nicht nur in je drei Klassen unterteilt, sondern als kontinuierliche Variablen verstanden und gemessen, wird eine direkte Erweiterung der HAZOP-Matrix erhalten. Wird das Risiko, das Mass der drohenden Gefahr, als arithmetisches Produkt aus Wahrscheinlichkeit und Schwere definiert, resultiert eine Darstellung, in der Zustände gleicher Risiken auf einer Hyperbel liegen. Obwohl nun die Parameterebene „Wahrscheinlichkeit“ × „Schwere“ mit einem kontinuierlich variierendem Gefahrenmass überdeckt ist, wird von den Benutzern dieser Darstellung oft ein Schritt zurück gemacht, indem das Risikogebiet durch die Wahl von beispielsweise zwei Hyperbeln in drei Risikozonen diskretisiert wird, z.B. in ein Gebiet akzeptabler Risiken, in eine kritische Risikozone und in eine Verbotszone.

Ähnliches findet sich im Anhang G des Handbuchs I der Schweizerischen Störfallverordnung [5]. Die dort verwendete Darstellung zeigt drei Zonen mit akzeptablen, kritischen und inakzeptablen Risiken. Die Trennlinie zwischen kritischen und inakzeptablen Risiken gilt dabei als Akzeptanzgrenze.

Als Mass der Schwere wird ein „Störfallwert“ mit Werten von 0 bis 1 verwendet. Zudem wird diese Schadensausmass-Achse in die drei Klassen „Unfall“, „Grossunfall“ und „Katastrophe“ unterteilt. Die zweite Parameterachse zeigt nicht wie gewohnt eine Wahrscheinlichkeit, sondern eine zeitliche Wahrscheinlichkeitsdichte in Form einer Anzahl eingetretener Ereignisse pro Betrieb und pro Jahr. Auch hier wird zur Plausibilisierung die Werteachse in die Klassenintervalle von „äusserst selten“, „sehr selten“, „selten“ bis „eher selten“ unterteilt.

Wie wird eigentlich die Eintretenswahrscheinlichkeit eines Ereignisses während eines Prozesses verstanden? Nehmen wir als Beispiel eine Reise von Fribourg nach London. Ein komplexer Prozess wird in eine Sequenz von Prozesseinheiten unterteilt. Zuerst gehe ich zu Fuss zu meinem Auto auf dem Parkplatz, fahre dann über die Autobahn nach Zürich Kloten, fliege anschliessend über den Atlantik, usw. Jeder dieser Teilschritte birgt eine Gefahr mit eigener Ereigniswahrscheinlichkeit in sich. Für die Autostrecke von Fribourg nach Zürich sind aus Erfahrung beispielsweise die Anzahl der Unfälle pro Stunde und pro 1'000 Fahrzeuge bekannt. Diese zeitliche Wahrscheinlichkeitsdichte kann zudem noch in Funktion der Uhrzeit variieren. Bekanntlich ist vor allem am späten Freitagnachmittag die Unfallhäufigkeit besonders gross. Die Unfallwahrscheinlichkeit meiner Autofahrt von Fribourg nach

Zürich wird somit zum Zeit-Integral der Wahrscheinlichkeitsdichte während der Fahrzeit. Die Ereigniswahrscheinlichkeit der gesamten Reise ist dann die Summe der Wahrscheinlichkeiten der einzelnen konsekutiven Teilreisen.

Nicht alle Teilprozesse wie eine Fahrt über die Autobahn lassen sich so leicht und sicher in Bezug auf Ereigniswahrscheinlichkeit beurteilen. Treten die Ereignisse relativ häufig auf, so liegt sicherlich ein grosses Erfahrungswissen vor und die Wahrscheinlichkeit kann objektiv und mit guter Qualität bestimmt werden.

Interessieren wir uns aber für Gefahren, die sehr selten eintreten, oder noch nie eingetreten sind, steht kein statistisches Beobachtungsmaterial zur Verfügung. Die Eintretenswahrscheinlichkeit lässt sich bestenfalls abschätzen oder wenigstens mit subjektiven Annahmen beziffern. Solche Wahrscheinlichkeitswerte sind wenig oder gar nichts wert; im Extremfall sind sie sogar eine eigene Gefahrenquelle, da die Qualität der Zahlen mehr als fraglich ist.

Mit der Beurteilung der Qualität der ermittelten Wahrscheinlichkeit erhält die Gefahrenparametrisierung eine dritte Dimension. Der „Wissenschaftliche Beirat der Deutschen Bundesregierung Globale Umweltveränderungen“ [6] hat in seinem Jahresgutachten 1998 weltweite Gefahren nicht nur nach Wahrscheinlichkeit und Schwere, sondern auch nach Qualität der Wahrscheinlichkeitsbestimmung klassiert (Fig. 4). Für jede dieser Risikogruppen wurde eine spezifische Minderungsstrategie vorgeschlagen. Die Risikoklassen werden dabei je nach Temperament mit Namen von Berühmtheiten der griechischen Mythologie benannt.

Weil **Damokles** neidisch auf den Luxus seines Herrn war, hängte der König Dionysios über seinem Thron ein Schwert an einem Pferdehaar auf und lud Damokles ein, auf seinem Thron zu speisen. Damit wollte er Damokles das gefährdete Glück eines Herrschers begreiflich machen. Damokles war auf dem Thron unter dem Schwert einer Gefahr ausgesetzt, deren Eintreten eine grosse Tragweite hätte, nämlich Damokles' Tod. Die Wahrscheinlichkeit des Reissens des Haares ist aber experimentell mit sehr guter Qualität als gering einzustufen.

Risiken mit katastrophalem Ausmass, aber mit kleiner, qualitativ sicherer Wahrscheinlichkeit sind Elemente der Damoklesklasse. Als Beispiele mögen Kernkraftwerke und Grossraffinerien genannt sein.

Zyklopen sind einäugige Riesen, die ihre Umwelt nur eindimensional wahrnehmen. Sie versinnbildlichen daher Risiken, deren Ausmass genau bekannt ist, aber deren Wahrscheinlichkeit im Dunkeln liegt.

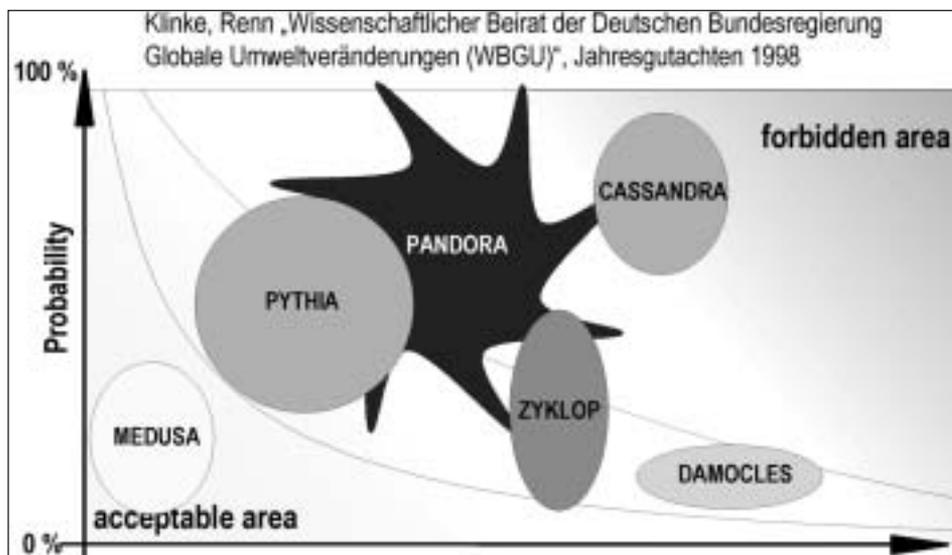


Fig. 4. Klassifikation weltweiter Risiken [6]

Es sind dies beispielsweise Erdbeben, Vulkanausbrüche, Überschwemmungen und das Auftreten von Aids.

Pythia, die blinde Seherin des Orakels von Delphi konnte zwar ihrer Klientel bevorstehende Gefahren vorhersagen, über das Eintreten und über das Ausmass blieb sie aber stets unklar und mehrdeutig. Risiken vom Pythia-Typ sind daher solche, deren Voraussagen über Schwere und Wahrscheinlichkeit sehr unsicher sind. Beispiele hierfür sind der Treibhauseffekt und die Freisetzung gentechnisch modifizierter Pflanzen.

Die schöne **Pandora** bestrafte die Menschen mit einer Büchse, aus der sich beim Öffnen lauter Übel ergoss und über die Erde verbreitete. Pandora-Risiken haben wenig bekannte Schadensausmasse und Wahrscheinlichkeiten; ihre Schäden verteilen sich aber weltweit und sind äusserst nachhaltig. Zu ihnen gehören beispielsweise Risiken, die von Plutonium, von Dioxinen und von fluorierten Kohlenwasserstoffen ausgehen.

Kassandra, die alte Seherin der Trojaner, prophezeite den Sieg der Griechen korrekt, aber niemand glaubte ihrem Rufen. Obwohl die Wahrscheinlichkeit von katastrophalen Folgen von Kennern als hoch eingeschätzt wird, wird vom Volk das Wissen um das kassandrische Risiko verdrängt, weil eine lange Verzögerungszeit zwischen dem Ereignis und den kausalen katastrophalen Folgen liegt. Der weltweite Verlust der Artenvielfalt und der durch die Menschheit verursachte Klimawandel werden zu dieser Risikogruppe gezählt.

Der Anblick der **Medusa**, eine der drei Gorgonenschwestern, liess jeden Betrachter vor Furcht zu Stein erstarren. Phänomene, die nach dem heutigen Wissen der

Experten kein grösseres akutes Risiko darstellen, können durch subjektive Wahrnehmung und durch Unkenntnis Angst und Schrecken auslösen. Als Beispiele mögen der Elektromog und Castortransporte genannt sein.

Ein letztes Rating-Beispiel sei das der Internationalen Atomenergie Kommission, die sogenannte **Internationale Nukleare Ereignisskala** [7]. Mit Hilfe eines Entscheidungsbaumes wird jedes anormale Ereignis in und um eine nukleare Anlage auf die Ereignisschwere analysiert, registriert und katalogisiert. Eine Skala von 0 bis 7 quantifiziert die Ereignisschwere als ganze Zahl. Beispielsweise wurde der Chemieunfall mit Uranyl-nitratlösung von Tokaimura, Japan (1999), als Stufe 4 bewertet, als Kritikalitätsunfall mit erheblicher Strahlendosisbelastung dreier Personen, jedoch ohne signifikante Gefährdung der Umgebung. Der schwerwiegende Unfall in Tschernobyl von 1986 rangiert verständlicherweise auf Stufe 7 (Fig. 5).

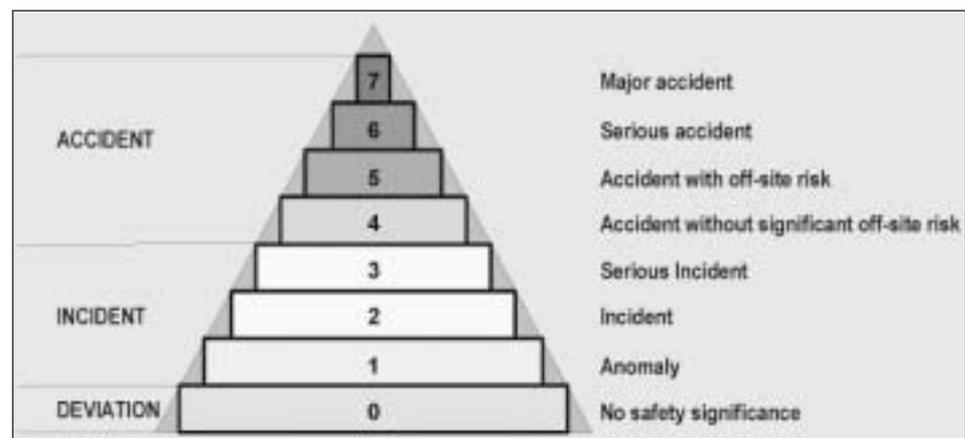


Fig. 5. INES-Klassifikation (Internationale Nuklear-Ereignis Skala)

4. Das Schadensereignis als Antisicherheit

Wie ist der Begriff der Gefahr, also der Unsicherheit, im Moment, in dem sie zum Ereignis wird, zu verstehen? Das Eintreten eines Schadenereignisses bedeutet die Existenz einer Gefahr mit momentaner 100-proz. Eintrittswahrscheinlichkeit. Ich nenne diesen Spezialfall von Unsicherheit hier Antisicherheit. Antisicherheit (oder verletzte Sicherheit) bedeutet per Definition das (100-proz.) Eintreten eines Schadenereignisses schlechthin. Also:

Antisicherheit: \leftrightarrow **Schadenereignis**

Schaden produzierende Ereignisse lassen sich in eine bestimmte Anzahl unabdingbar notwendiger Komponenten zerlegen. Dabei sind verschiedene Zerlegungsarten denkbar. In meinen heutigen Überlegungen möchte ich ein 4-Komponenten-System vorstellen:

These: Jedes Schadenereignis besteht genau aus vier Komponenten (Fig. 6), nämlich

- aus einem Energiepotential,
- aus einem Sensibilisator,
- aus einem auslösenden Prozess und schliesslich
- aus dem verursachten Schaden.

Bildlich bildet die Einheit von Energiepotential, Sensibilisator, Auslöser und Schaden einen Schadensereignis-Tetraeder.

4.1. Das Potential

Das notwendige **Energiepotential** charakterisiert die gespeicherte, im Ereignisfall freisetzbare Energie. Quantifiziert wird sie durch die umsetzbare Energiemenge. Die Speicherung befindet sich in einem Gleichgewichtszustand, sodass ohne äussere Beeinflussung keine Energiefreisetzung eintritt. Zudem sei das Gleichgewicht stabil, was heisst, dass infolge kleiner Störungen von aussen sich eine Ungleichge-

wichtslage einstellt, die rücktreibende, stabilisierende Kräfte erzeugt.

Energiemengen werden je nach Quantität und Herkunft in verschiedenen gängigen Einheiten dargestellt. In Fig. 7 ist die Energie verschiedener Ereignisse in den drei Einheiten „Energie in JOULE“, „Äquivalent in TNT“ und „Ruhmassen-Äquivalent“ nach Einstein dargestellt:

- die Geschossenergie der Schweizer Ordonnanz Munition 5.56 mm, bei 4.1 g Projektilmasse und 905 m/s Mündungsgeschwindigkeit,
- die Explosionsenergie der Schweizer Handgranate HG 86 mit 160 g TNT,
- die chemische Energie einer Reaktion mit einem Grignard-Reagens in einem Rührkessel mit 1.5 m³ Tetrahydrofuran entsprechend einem adiabatischen Temperaturanstieg von 410 °C,
- die Absturzenergie einer MD-11 mit 285 Passagieren, 273 to Masse, mit einer Reisegeschwindigkeit von 950 km/h in 11'000 m über Meer,
- und die Explosionsenergie der Hiroshima-Atombombe mit 15 kto TNT Äquivalent.

4.2. Der Sensibilisator

Als zweite Komponente ist ein *Sensibilisator* erforderlich. Seine Aufgabe ist, die Stabilität des Speichergleichgewichtes der disponiblen Energie zu verringern. Das Resultat seiner Wirkung ist ein geschwächtes, störungsanfälligeres stabiles Gleichgewicht, eventuell ein indifferentes Gleichgewicht, oder gar ein labiles Gleichgewicht, eines, das sogar durch das Husten einer Fliege unrettbar gestört werden könnte. Als Beispiele nenne ich:

- Chemische Katalysatoren, welche unüberwindbare Aktivierungsenergien abschwächen und damit die Reaktion ermöglichen können,
- die Lunte, welche den Zündfunken vom Streichholz durch die Kanonenrohrwand hindurch zur Pulverladung bringt,
- der Sicherungsmechanismus am Gewehr,
- die Übertragerladungen, die einen insensitiven Sprengstoff zur Explosion bringen,
- Drogen und Medikamente, welche die menschliche Hemmschwelle zur Gewaltbereitschaft abbauen.

Spezielle geometrische Konfigurationen können sensiblisierenden (oder inhibierenden) Einfluss haben:

Betrachten wir die Möglichkeit der chemischen Reaktion eines Grillfeuers von einigen Kilos Holzkohle mit genügend Luft. Durch geeignetes Zerkleinern kann man die Kohle als Pflasterstein grosse Briketts, als Stücke in der Grösse von Würfelzucker, als

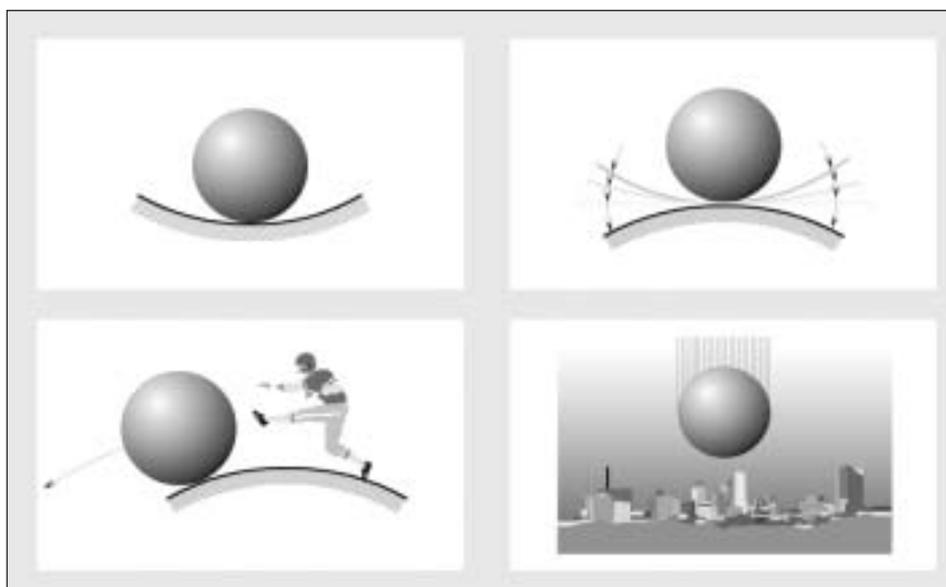


Fig. 6. Schadensereignis-Komponenten: Potential, Sensibilisator, Auslöser und Schaden

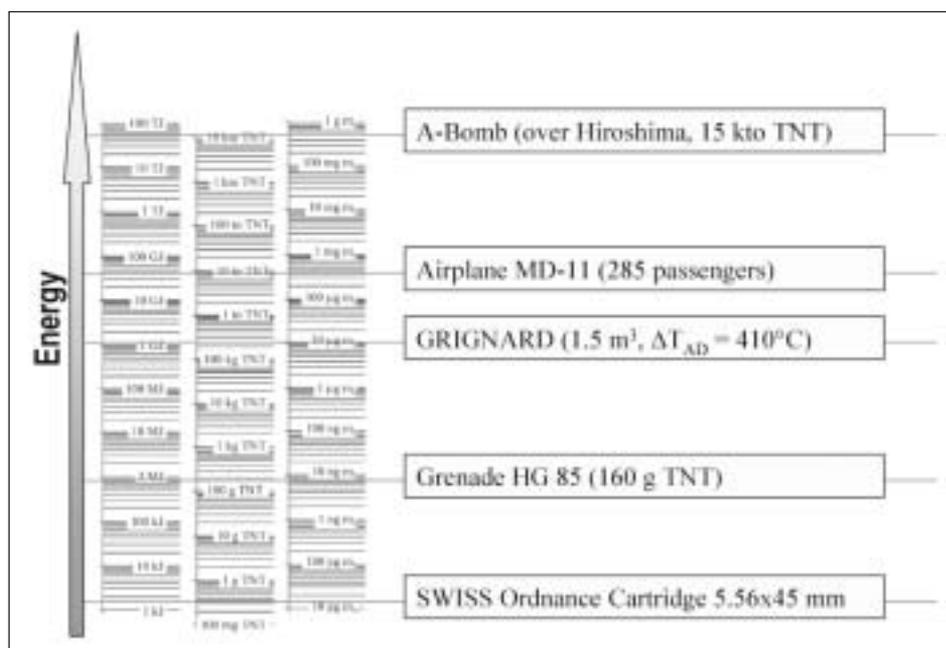


Fig 7. Energie einiger Beispiele

Kohlegries oder gar als feinstes Pulver mit genügend Luft in Kontakt bringen und versuchen anzuzünden. Je nach resultierendem Verhältnis aus reaktionsgeschwindigkeitsbestimmender Oberfläche pro energiespendendem Volumen ist das Grillfeuer mit zunehmender Feinheit der Körnung leichter zu zünden und schneller im Umsatz.

Auch der Begriff der kritischen Massenordnung hat mit geometrischer Sensibilisierung zu tun. Durch Zusammenschieben oder Auseinandernehmen der Holz-scheite lässt sich ein Lagerfeuer in bezug auf Brennleistung regeln.

In nuklearen Reaktoren oder Gefechtsköpfen muss spaltbares Material aus einer Menge nicht kritischer Bauteile zu einer

überkritischen Anordnung zusammengefügt werden, damit die Kettenreaktion lawinenartig anlaufen kann.

4.3. Der Auslöser

Durch die Wirkung des Sensibilisators allein verliert das Energiepotential sein Gleichgewicht noch nicht, nur seine Stabilität. Das Ereignis tritt erst ein, wenn noch ein *auslösendes Moment* als dritte Komponente zum Potential und Sensibilisator kommt. Diese Triggerfunktion stört unwiderruflich das Gleichgewicht des Energiespeichers. Ihre Wirkung manifestiert sich durch die Befreiung der gespeicherten Energie im zeitlichen Ablauf des Ereignisses.

Die Triggerfunktion wird in gewissen Fällen willentlich, vorsätzlich und bewusst ausgelöst. Dies ist der Fall bei der willentlichen Zugabe eines Polymerisationsstarters in die von Stabilisatoren befreite Monomermasse. Der Heckenschütze drückt zur Schussabgabe willentlich und bewusst auf den Abzug seines entschicherten Gewehrs, und wer ein brennendes Streichholz an eine Lunte hält, kann sich auch nicht auf ein Versehen berufen.

Das Manipulieren an einer ungesicherten, geladenen Waffe, aber auch die Durchführung exothermer Reaktionen mit hoher Kritikalität ohne adäquate Runaway-Verhinderungsmassnahmen kann leicht zu tragischen Unfällen führen, deren Auslösung natürlich ungewollt, aber fahrlässig zu taxieren ist.

Ist die Ursache der Auslösung bekannt und, wenigstens im Nachhinein verständlich, so sprechen wir von kausaler Auslösung. Die Reaktion begann, weil die Zündtemperatur erreicht wurde. Die Mine ging hoch, weil ein Mensch oder ein Tier sie unglücklich touchierte. Der Steinschlag im Winter wurde durch gefrierendes und wieder auftauendes Wasser verursacht.

Nicht immer ist aber die Ursache der Auslösung nachvollziehbar oder gar voraussagbar; wir sprechen dann von zufälliger Auslösung. Eine Reaktion mit einem Grignard-Reagens ohne Animpfung mit Organo-Magnesium-Halogenid, überalterte schlecht gelagerte Munition und lockere Felsbrocken in Steilhängen sind Beispiele von instabilen Energiepotentialen, deren Auslösung zum Ereignis nicht oder nur schwierig voraussagbar sind.

Eine genügend grosse, nuklear überkritische Masse wäre ohne natürliche Radioaktivität zwar höchst labil, aber hypothetisch noch kein Grund zum Ereignis. Erst der spontane Zerfall eines Atoms der Masse, oder ein von Aussen einfallendes Neutron wird die Kettenreaktion auslösen. Dies geschieht zwar innerhalb Bruchteilen von Mikrosekunden, ist aber doch stochastisch. Diese eventuell zu lahme Zündwilligkeit kritischer Massen kann durch Einbringen von starken Neutronenquellen verbessert werden.

Triggerfunktionen müssen unter Umständen einen höchst ambivalenten Charakter haben. Einerseits darf beim Lagern von modernen, panzerbrechenden Gefechtsköpfen während mindestens 20 Jahren = $6 \cdot 10^8$ s keine unkontrollierte Auslösung erfolgen. Andererseits muss beim Schuss der Auslösevorgang mit einer zeitlichen Präzision innerhalb von 100 ns einsetzen. Dass diese Randbedingung hohe qualitative Anforderungen an das Konstruktionskonzept stellt, liegt auf der Hand.

4.4. Der Schaden

Gefahren sind gemäss gängigem Verständnis Situationen, die mit Schadensereignissen drohen. Zum Ereignis gehört also als vierte Komponente die Erzeugung eines Schadens. Dabei handelt es sich um die Umsetzung freigesetzter Energie in Zerstörung, also um eine Auswirkung des Ereignisses auf die Umwelt. Schäden manifestieren sich beispielsweise

- durch verlorene oder verdorbene Produkte, an Anlagen und an Gebäuden der Produktionszone,
- aber auch an betroffenen Personen als körperliche Verletzung oder Kontamination mit eventueller Todesfolge sowie auch als traumatischer Schaden am mentalen Gleichgewicht,
- und leider auch an der Umwelt der näheren, weiteren, regionalen, nationalen kontinentalen, ja sogar weltweiten Umgebung.

Ein Ereignis, das sicher ohne Schadensfolge abläuft, interessiert in diesem Zusammenhang wenig. Selbst eine Atombombe, die hinter der Sonne im interplanetaren Raum explodiert, wird kaum eine Zeitungsschlagzeile auslösen.

4.5. Das Schutzkonzept

Wie können wir uns vor drohenden Gefahren schützen? Da wir die Gefahr als ein mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit eintretendes Ereignis, aufgebaut aus den vier Komponenten Potential, Sensibilisator, Auslöser und Schaden ansehen, basiert das Schutzkonzept auf Verminderung oder Elimination mindestens einer dieser Komponenten:

- Wir versuchen die Eintretenswahrscheinlichkeit zu reduzieren (beispielsweise durch Ausbildung und Training der Mitarbeiter, durch kontinuierliche Verbesserung der Arbeitsvorschriften, durch Prozessfehleranalysen, usw.)
- Wir reduzieren das Energiepotential (durch den Einsatz kleinvolumiger Conti-Reaktoren mit grossem Durchsatz anstelle grossvolumiger Batch-Rührkessel, durch dosierungskontrollierte Zugabe exothermer Edukte, durch Substitution hochenergetischer Prozesse durch sanftere Chemie, usw.)
- Wir stören die Wirkung des Sensibilisators (durch Zugabe eines Katalysatorgiftes, durch zusätzliche Verwendung eines Stabilisators, durch Trennen von Zünder und Ladung, durch Aufbau physikalischer oder moralischer Hemmungen, usw.)
- Wir verhindern die Auslöseaktion (durch systematisches Eliminieren aller auslösenden Prinzipien, usw.)
- Wir schützen uns und die Umwelt

vor den Auswirkungen des trotz allem hin und wieder eintretenden Ereignisses (durch Schutzmassnahmen, durch räumliches Trennen vom Ort des möglichen Ereignisses, durch Einkapselung des Ortes der Gefahr, usw.)

4.6. Drei Beispiele

Meine etwas theoretischen Überlegungen möchte ich gerne anhand dreier Beispiele etwas konkretisieren. In jedem Fall versuche ich die Wahrscheinlichkeit und die vier Ereigniskomponenten „Energie, Sensibilisator, Auslöser und Schaden“ zu identifizieren und kurz Einflussmechanismen vorzuschlagen. Bricht hin und wieder trotz dem tödlichen Ernst der Sachlage etwas Ironie durch, möge mir dies verziehen werden.

4.6.1. Damokles unter dem Schwert

Die Ereigniswahrscheinlichkeit lässt sich experimentell durch Aufhängen von einigen hundert Schwertern an Pferdehaaren und durch Beobachtung während einiger Tage ziemlich zuverlässig als sehr klein bestimmen. Damokles kann seine Sicherheit erhöhen, indem er das Pferdehaar durch eine Stahlkette substituiert.

Das Potential liegt in der Masse und der Fallhöhe des Schwertes. Das Ersetzen des Eisenschwertes durch ein Kartonschwert würde das Potential und die Gefahr drastisch reduzieren, aber auch das Problem trivialisieren.

Die Sensibilisierung kommt, wie Erich Käster bemerkte, durch die Spitze und die Schärfe des Schwertes. Nimmt man ihm die Schärfe und die Spitze, ist ein Ereignis mit stumpfem Schwert mit kleinerem Schaden überlebbar.

Die Triggerfunktion ist quasi stochastisch, sie ist vielleicht erklärbar durch Vibrationen in der Fadenaufhängung. Das wilde Tanzen im Obergeschoss möge verboten werden, gegen erdbebenbedingte Gebäudevibrationen helfen die Verbote jedoch nicht.

Als Schaden riskiert Damokles unzweifelhaft den Tod. Trägt er einen Helm oder besser, verschiebt er den Thron ein wenig aus der Gefahrenzone, so kann das Ereignis eintreten, ohne dass Damokles ums Leben kommt.

Zur Wahrung der Gerechtigkeit gegenüber der Geschichte, muss ich doch klar festhalten, dass alle von mir vorgeschlagenen Risikominderungen wohl keine Akzeptanz von Dionysios gefunden hätten.

4.6.2. Der panzerbrechende Gefechtskopf TOW 96

Beim Auftreffen der Geschosspitze auf die Panzerung des angreifenden Tanks explodiert die Hauptladung. Als Hohlladung

deformiert die Explosion den becherförmigen metallischen Liner zu einem hochkomprimierten Metallklumpen. Wie der Saftstrahl aus einer Zitrone unter Druck schießt ein dünner Metallstrahl mit 12 km/s Geschwindigkeit hervor. Dieser Strahl kann die Panzerung durchbohren und damit den Panzer ausser Gefecht setzen.

Die Wahrscheinlichkeit eines Treffers ist eine Funktion der Anzahl angreifender Tanks, der Anzahl Verteidiger und auch der Nervenstärke des Panzerabwehrsoldaten. Ein Panzer, der sich vor einem Abwehrbeschuss schützen möchte, wird daher mit Lärm, Nebel, Blend- und Blitzlicht und durch Beschuss den Abwehrsoldaten im genauen Zielen zu stören suchen. Das Potential liegt klar in der Hohlladung aus 2.5 kg Oktogen. Gegen die Explosionsenergie hilft eine verstärkte und verbesserte Panzerung.

Eine einfache Explosion von 2.5 kg Oktogen beeindruckt eine Panzerplatte von 30 cm nicht besonders. Aber das Hohlladungsprinzip funktioniert hier als Sensibilisator, indem es die Explosionswirkung in einen bohrenden Strahl umsetzt und auf eine kleine Angriffsfläche der Panzerung fokussiert. Der Panzer versucht sich vor dem Bohrstrahl mit einer Reaktiv-Panzerung zu schützen. Dabei handelt es sich um eine Sprengstoffschicht auf der Panzeroberfläche, die beim Treffer selber explodiert und damit die Bildung des Bohrstrahls der Hohlladung stört.

Das auslösende Moment ist das Auftreffen der Geschosspitze auf der Panzerung. Genau dann hat der Zünder die Explosion auszulösen, sodass die Hohlladung noch etliche Zentimeter vor der Panzerung ihre Wirkung optimal entfalten kann. Der Panzer schützt sich mit möglichst runden Oberflächen gegen ein rechtwinkliges Auftreffen des Geschosses und erhöht so die Wahrscheinlichkeit eines Abprallers. Auch Panzerschürzen mit dahinter liegenden Hohlräumen schützen die Panzerung vor dem Bohrstrahl.

Der entstehende Schaden liegt in der Bohrleistung des Hohlladungsstrahles. Der Strahl kann bis 1.6 m Qualitätspanzerstahl durchdringen! Welcher Schutz ist gegen ein derartiges Antitankgeschoss wirksam? Am besten ist, auf Offensivwaffen, wie Panzer zu verzichten und zur Konfliktbewältigung gewaltfreie, politische, diplomatische Methoden einzusetzen.

4.6.3. Fussballmatch

Ein Fussballspiel ist wie ein Stierkampf oder ein Gladiatorenkampf eine Art Unterhaltungsdroge für die Zuschauer. Gehen dabei die Emotionen hoch und sind unter

den Zuschauern zudem noch gewaltbereite Hooligans gleich welchen Couleurs, so stellt eine derartige Massenveranstaltung, wie in Zeitungsberichten zu lesen ist, eine nicht zu vernachlässigende Gefahr dar.

Die Wahrscheinlichkeit der potentiell möglichen Entartung eines Spieles ist leider relativ hoch, vor allem wenn durch Vorgeschichten, Nationalismus oder Rassistismus sensibilisierte Teampaare mit ihren emotionsschwangeren Zuschauerhorden zusammentreffen. Eine Gegenmassnahme wäre die Vermeidung der Spiele zwischen sensiblen Teamparen.

Die Energie liegt in den x-zehntausend mehr oder weniger angeregten Zuschauern mit einer latenten Bereitschaft zur eigenen körperlichen Betätigung zum falschen Zeitpunkt. Spiele ohne direkte Zuschauer, ausschliesslich per Television und Radio übertragen, würden nicht unter diesem Damoklesschwert liegen.

Als Sensibilisator wird heisses Wetter, übermässiger Alkoholkonsum, der Herdeninstinkt und Massenhysterie die Hemmschwelle einzelner Zuschauergruppen mehr oder weniger senken. Dies wäre mit Beschattung der Zuschauerränge und mit einer Apfelsaft-statt-Bier-Kampagne zu mildern.

Als auslösendes Element braucht es nur noch einen echten oder vermeintlichen Schiedsrichter-Fehlentscheid, oder einen falschen Spruch des Moderators am Mikrofon, und schon beginnt die Masse zu Kochen. Gut instruierte und trainierte Schiedsrichter mit überzeugendem Auftreten vermindern diese Triggerfunktion.

Beginnen aber trotz allem einzelne Zuschauergruppen aktiv ins Spiel einzugreifen, den Schiedsrichter oder andere Fangruppen zu verprügeln, dann gibt es schnell Sachbeschädigungen und Verletzte, in eskalierenden Fällen sogar Panik, Schwerverletzte und Tote. Abschränkungen und Unterteilungen der Zuschauerzone in kleine, von Zäunen umfasste Teilbereiche könnten da etwas Abhilfe schaffen.

Leider sind auch hier die wenigsten der vorgeschlagenen gefahrenmindernden Massnahmen fördernd für die gute Stimmung im Stadion und somit kaum durchsetzbar.

5. Zusammenfassung

- Sicherheit ist abstrakt wie Vakuum und Kälte, existiert an sich nicht, sondern ist vielmehr nur ein konkretes Gefühl der Abwesenheit von Gefahren.

- Gefahren sind konkret, benennbar, abzählbar. Sie lassen sich einzeln, eine nach der andern abschätzen, reduzieren oder gar eliminieren.

- Gefahren werden parametrisiert durch Angabe der Schwere und der Eintrittswahrscheinlichkeit des drohenden Ereignisses, sowie durch die Qualität der Wahrscheinlichkeitsinformation.

- Ein Schadensereignis ist die Konsequenz des Zusammenwirkens eines Energiepotentials, eines Sensibilisators, eines Auslösers und einer Schadenwirkung.

- Schadensverhinderung und Schutz basiert einerseits auf der Verminderung der Wahrscheinlichkeit und andererseits auf der Reduzierung oder Eliminierung von Energie, Sensibilisierung und Trigger sowie der Wechselwirkung mit der Umwelt.

Received: October 3, 2003

- [1] Encyclopædia Britannica, retrieved January 16, 2003, from Encyclopædia Britannica Online.
- [2] 'The Oxford American Dictionary of Current English', Oxford Reference Online, Oxford University Press, 16 January 2003.
- [3] 'A Dictionary of Computing', Oxford Reference Online. Oxford University Press. January 16, 2003.
- [4] Quillet Flamarion 'Dictionnaire usuel', éditeurs Quillet-Flamarion Paris, 1963.
- [5] StFV, 'Störfallverordnung, Handbuch I zur ...' herausgegeben vom Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bezugsquelle: EDMZ, 3000 Bern, 1991.
- [6] H.-J. Schellnhuber, „Welt im Wandel: Strategien zur Bewältigung globaler Umwelttrisiken“, WBGU-Jahresgutachten 1998, ISBN 3-540-67106-4, Springer, Heidelberg, 1999.
- [7] H.-R. Völkle, BAG Strahlenschutz, Leiter SueR, Privatmitteilung, 2002.