

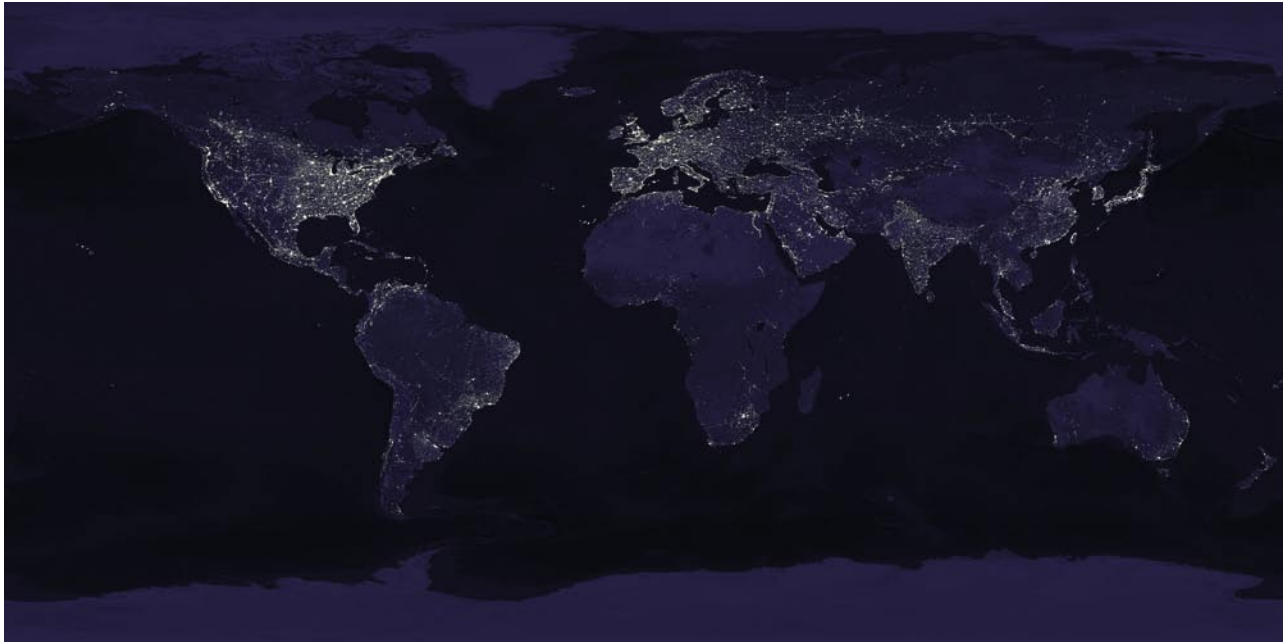


Sturmzeichen - Können wir die Vorboten von Blackouts rechtzeitig erkennen?

Dr. Thomas
Fritsch

Sonderdruck
Ausgabe
09/2006





Sturmzeichen - Können wir die Vorboten von Blackouts rechtzeitig erkennen?

Das Thema dieses Essays ist die Vielfalt der Möglichkeiten in Wissenschaft und Technik, die *Vorboten* von Katastrophen rechtzeitig zu erkennen, diese „richtig“ zu interpretieren und die extremen Ereignisse, deren Vorläufer sie sind, „gut“ vorherzusagen. Der Schwerpunkt der Darstellung liegt hierbei auf den Blackouts in den Netzen zur Versorgung mit elektrischer Energie, für welche es in den bisherigen wissenschaftlichen Ansätzen bislang keine hinreichende und wirklich das Phänomen erklärende Theorie gab. Eine der wenigen Ausnahmen hiervon stellen die Ergebnisse der langjährigen Forschung von Dr. Michael Fette zu den Entstehungsursachen von Blackouts dar, die in diesen Tagen durch die Vorstellung eines Geräts zur Vorhersage von Blackouts gekrönt wird, welches von der Firma A.Eberle GmbH & Co. KG in Zusammenarbeit mit Dr. Fette entwickelt wurde und bereits internationale Anerkennung fand.

Ein wichtiges Ziel des vorliegenden Essays besteht darin, das Verständnis der hierbei auftretenden komplizierten Zusammenhänge dadurch zu erleichtern, indem von unterschiedlichsten Bereichen aus Natur, Technik und Gesellschaft über inhaltliche Analogien das „Terrain aufbereitet“ wird. Der Autor ist sich der Stärken und der Aussagekraft von Analogien ebenso bewusst wie über deren Schwächen. Eine Gratwanderung ist ein solches Vorgehen allemal. Dennoch – die Komplexität des Gegenstands dieses Essays gebietet unkonventionelle Wege. Letztlich möchten wir hierdurch den Worten des großen „philosophischen Physikers und Kybernetikers“ Heinz v. Foerster folgen, dessen Maxime es war, dass es bei der Kommunikation immer auf das Verständnis der Bedeutung einer Botschaft beim *Empfänger* ankommt, aber kaum auf die Intention der Botschaft beim *Sender*. Der Autor hofft, mit diesem Essay ein gutes und erfolgreiches Beispiel für die Gültigkeit dieser Maxime geliefert zu haben.

Die Welt als Polder

„Katrina hat New Orleans nicht zerstört, sie hat lediglich die Zerbrechlichkeit der technologischen Macht gegenüber der Macht der Natur offenbart.“

(La Repubblica, 30.8.05)

Dieser Einschätzung muss man zustimmen, wenn man die Zerbrechlichkeit unserer Infrastrukturen während dieser Katastrophe in vollem Umfang wahrnimmt. Die Fluten griffen nicht nur Gebäude und Menschen an, sondern unterspülten auch die vielschichtigen lebensnotwendigen Netzwerke gesellschaftlicher und technischer Art. Und gerade durch diesen „*deep impact*“ wurde die Stadt New Orleans besonders empfindlich getroffen. Es wurde in schmerzhafter Weise deutlich, wie überaus verletzlich eine wichtige Lebensader der Nation war und auch weiterhin ist: die „Aorta“ des Warentransports aus den und in die USA! Denn „Katrina“ hat auch im Golf von Mexiko gewütet. Von 645 Ölförderstationen wurden 58 losgerissen und bis zu 30 sind einfach verschwunden. Ein Viertel der Exporte der USA geht über Gulfport, Louisiana, in die Welt. Das Öl aus dem Golf, immerhin ein Viertel des in den USA verbrauchten Öls, wird in Raffinerien direkt vor Ort zu Benzin verarbeitet. So war eine der Folgen des Hurrikans, welche sich rasch weltweit auswirkte, eine sich immer mehr verschärfende Verknappung des Erdölangebots im Herbst 2005. Der Benzinpreis erreichte in Deutschland zeitweilig die magische Grenze von 1,50 € und erhöhte sich natürlich auch permanent in den USA. Durch die Verteuerung der Importe ergab sich damals bereits eine negative Wirkung auf die Wirtschaftsentwicklung Deutschlands. Der Preis für ein Barrel Öl erreichte allerdings schon in der Zeit lange vor dem Hurrikan Bereiche, die man sich ein Jahr vorher einfach nicht vorstellen konnte.

Es ist ganz offenkundig der weltweite „Heiß-Hunger“ nach Energie, welcher zu Krisen führt, die sich zu Katastrophen entwickeln können. Der heutige Primärenergieverbrauch übertrifft bei weitem die Prognosen, die man zwischen 1970 und 1980 für das Jahr 2000 machte, welche damals aber oft als „Aberglaube“ titulierte wurden, siehe hierzu *Wilfrid Bach* in seinem Buch „*Gefahr für das Klima*“ aus dem Jahre 1982. Die *IEA* (Internationale Energie-Agentur) warnte mittlerweile eindringlich vor einer neuen „Energie-Krise“, die weltweit fatale Auswirkungen haben könnte. *Dr. Campbell*, ein langjähriger Berater der Öl-Industrie, sagte diese Entwicklung bereits vor 5 Jahren voraus. Nach seinen Analysen wird die Spitze der Welterdölproduktion (*peak-oil*) schon im Zeitraum 2005-2010 erreicht werden. Unter dieser Prämisse kann von dem Zeitpunkt an, wenn der *peak-oil* erreicht werden wird, die Förderung von Öl nur noch teurer werden, da der technische Aufwand hierfür in nichtlinearer Weise wächst. Diese Entwicklung scheint nun schon längst in Gang gesetzt zu sein, was mittlerweile auch *M. Simmons*, ein in Angelegenheiten der Energie eher moderat konservativer Berater der US-Regierung, in seinem Buch „*Twilight in the Desert*“ konstatiert.

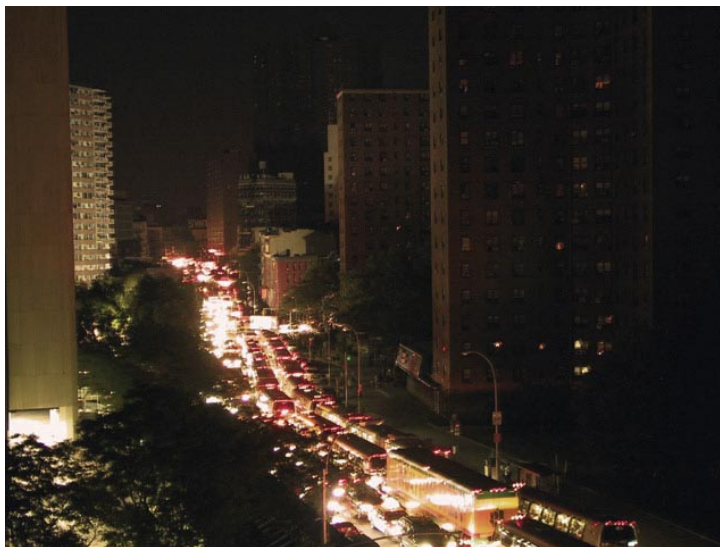


Abb. 1: Blackout in New York 2003.

Das industrielle Wachstum ist direkt mit dem steigenden Bedarf nach elektrischer Energie gekoppelt. Bei einem Wirtschaftswachstum von 10% pro Jahr sowohl in China und Indien führte dies dort zu einem ständigen Mangel an elektrischer Energie, der seit 2004 in vielen Strom-Abschaltungen ganzer Bundesstaaten in Indien und insbesondere auch in der „Boomtown“ Shanghai in China endete. Im August 2005 fanden in Kalifornien wieder „rotierende“ Blackouts statt, die über 500.000 Menschen vom Strom abschnitten. Man wird in fataler Weise an den heißen „Jahrhundertsommer“ im August 2003 erinnert, als 50 Millionen Menschen im Nordosten der USA und Kanadas teilweise bis zu einer Woche ohne Strom auskommen mussten, nachdem sich ein kleiner Störfall zu einer großen Katastrophe, dem Blackout vom 14.8.2003, entwickelte. Dieser Blackout zeigte ebenso wie „Katrina“, wie hoch die Abhängigkeit einer großen Wirtschafts-Nation von ihrer rund um die Uhr funktionierenden Infrastruktur ist.

Indes - die Kosten des Blackouts vom August 2003 waren zwar mit 6 Mrd. US-\$ sehr hoch, aber dennoch nicht vergleichbar mit denen, die der Hurrikan „Katrina“ verursachte. Die Zerstörungen durch den Hurrikan und die nachfolgende Überflutung der Stadt New Orleans erreichten ein bislang in der Geschichte der USA und wahrscheinlich auch weltweit bei allen bisherigen Hurrikans und Tornados nicht gekanntes Ausmaß. Man schätzte den Schaden bereits zwei Wochen nach der Katastrophe auf über 200 Mrd. €. Experten beim DIW, dem „*Deutschen Institut für Wirtschaft*“, schätzten mittlerweile bis zu 600 Mrd. € einschließlich der Folgeschäden, wodurch somit das Jahr 2004 als bislang teuerstes Jahr der Versicherungswirtschaft übertroffen wurde. Die Menschen in den USA und auch in Europa standen und stehen der Katastrophe fassungslos gegenüber. „So etwas habe ich noch nicht erlebt“ wurde zum ständig wiederholten Ausdruck der Hilflosigkeit vieler Menschen gegenüber den immensen Naturgewalten.

Das Problem liegt allerdings tiefer, als es zunächst den Anschein hat. Das angesehene US-Umweltinstitut „*World Watch*“ hat ein radikales Umdenken bei Entscheidungsträgern in der internationalen Umweltpolitik gefordert, denn, so Direktor *Christopher Flavin* - „*Wenn die Welt den jetzigen Kurs fortsetzt - massive Eingriffe in die Natur und wachsender Ölverbrauch - werden Desaster vom Ausmaß des Hurrikans „Katrina“ für künftige Generationen zum Alltag gehören*“. So bewirkte z.B. die Abholzung der Mangrovenwälder an der Küste vor New Orleans, dass deren dämpfende Pufferwirkung bei Hurrikans verloren ging. Derartige Eingriffe in die Natur sind leider weltweit zum „Normalfall“ geworden. Die globale Erwärmung, der Hunger nach Energie aufgrund ungebremsen Wachstums der Bevölkerung und der Wirtschaft, der Ölpreis und die Krisen der Energieversorgung sind eng miteinander verknüpft. Der Wissenschaftler und Pulitzerpreisträger *Jared Diamond* hat in seinem Buch „*Kollaps – Warum Gesellschaften überleben oder untergehen*“ das Schlusskapitel mit „*Die Welt als Polder*“ benannt. In der Tat leben wir alle in einer Polderlandschaft, umgeben von den Deichen unserer Technologie, denen wir auch weiterhin zutrauen, insbesondere dann zu halten, wenn „draußen“ die Stürme intensiver und heftiger werden als je zuvor.

Es erhebt sich also die Frage, ob wir derartige Katastrophen „voraussehen“ oder zumindest deren Vorboten erkennen und richtig deuten können. An Vorhersagen eines derart gefährlichen Hurrikans wie „Katrina“ und an realistischen Abschätzungen der zerstörerischen Folgen auch für New Orleans hat es bis dahin nicht gemangelt; die letzte kam nur wenige Monate vor der Katastrophe. So berichtete *Kerry Emanuel* vom *Massachusetts Institute of Technology (MIT)* über seine Analysen der Wetteraufzeichnungen der letzten 30 Jahre in dem Wissenschafts-Journal „*Nature*“ Anfang August 2005, dass sich die Dauer wie auch die höchsten Windstärken der tropischen Wirbelstürme in den letzten 50 Jahren verdoppelt habe. Die Stürme würden zwar nicht an Zahl, wohl aber an Intensität zunehmen. *Emanuel* führte im Detail aus, „*dass eine weitere Erwärmung in der Zukunft zu einem ansteigenden Trend des destruktiven Potentials von Hurrikannen führen kann und ... (zu) einem substanziellen Anstieg der Schäden...*“ In Bezug auf New Orleans war diese Aussage nahezu prophetisch.

Prognosen zur Ölpreisentwicklung verfehlen hingegen mit systematischer Regelmäßigkeit die reale Entwicklung. So wurde in der ebenfalls zu Beginn des Sommers 2005 veröffentlichten Studie des Hamburger Weltwirtschafts-Institut (HWWI) zur Entwicklung des Ölpreises von linearen Steigerungen von umgerechnet 2,5\$ pro Jahr ausgegangen, was schließlich im Jahr 2030 einen Endpreis von 120\$ er-

geben würde. Wie es den Anschein hat, werden wir diesen Preis sicherlich wesentlich früher erreichen. Ölpreis-Prognosen scheitern meist an derartig unrealistischen Annahmen, wie eben der unterstellten Linearität des Preisanstiegs, welcher tatsächlich empfindlich von einer Vielzahl miteinander in Wechselwirkung stehender, z.B. auch politischer Faktoren abhängig ist.

Vorhersagen auf Basis der Unterstellung von linearen Entwicklungen in Natur und Technik sind sicherlich einfacher zu berechnen als solche, die Nichtlinearitäten berücksichtigen müssen, wie sie oft durch Rückkopplungen bewirkt werden. Im komplexen Netz der elektrischen Energieversorgung entstehen solche Nichtlinearitäten daher ganz zwangsläufig. Könnten also auch Blackouts hierdurch verursacht werden? Und wenn ja, lassen sich diese dann vorhersagen? Das ist das zentrale Thema dieses Essays, den wir mit der Auseinandersetzung mit dem Problem des nicht-linearen Wachstums fortsetzen wollen, denn der in Zukunft zu erwartende Stromverbrauch wird bei der momentanen Dynamik der Weltwirtschaft um etliche Größenordnungen höher liegen als heutzutage. Alleine aus diesem Grunde schon sind die zukünftigen enormen Probleme der Energieversorgung weltweit bereits jetzt klar abzusehen.



Abb. 2: Die Nanjing-Road in Shanghai.

Ungebremstes Wachstum

Als vor 146 Jahren der englische Farmer *Thomas Austen* 12 Kaninchen-Paare nach Australien brachte, weil er die Kaninchen-Jagd vermisste, waren ihm die Konsequenzen dieser sich zu einer der größten Katastrophen in der „Naturgeschichte“ Australiens entwickelnden Tat sicherlich nicht bewusst. Die mitgebrachten Kaninchen hingegen vermehrten sich konsequent und unbeirrt durch natürliche Feinde in einem exponentiellen Ausmaß. Bereits nach 70 Jahren, in den 30ern des 20. Jahrhunderts, war der Höhepunkt erreicht. Die Kaninchenpopulation war auf Milliardengröße angewachsen und die australischen Farmer waren in ihrer Existenz massiv bedroht. Die Kaninchenjagd wurde dabei ein einträgliches Geschäft. Allerdings gingen die Jäger zur Ausweitung dieses Geschäfts so weit, Kaninchen auch in Gebiete auszusetzen, die diese bis dahin noch gar nicht besiedelt hatten. Die negativen Konsequenzen dieses unverantwortlichen Handelns dauern bis zum heutigen Tag an. Die Kaninchen selbst sind sicher nicht „schuld“ an der ökologischen Misere. Sie folgten schließlich einfach ihrer Natur und vermehrten sich dabei *ungehemmt*. Australien erlitt dadurch aber fast einen ökologischen Kollaps. Zur viktorianischen Lebenswelt gehörte die Kaninchenjagd schließlich einfach dazu. Man exportierte diese Lebenswelt mit den Menschen in das weltweite Empire, ohne die Folgen zu bedenken.

Dass die natürlichen Wechselbeziehungen zwischen den unterschiedlichen Spezies z.B. in Australien nur in einem sehr engen Spielraum stabil existieren können, war den Menschen lange Zeit nicht bewusst. Es herrschte die Vorstellung vor, die Natur sei prinzipiell erklärt, bzw. erklärbar und damit auch beherrschbar. Dass „eherne physikalische Gesetze“ die Natur, den Menschen und selbstverständlich auch die vom Menschen geschaffenen technischen „Wunderwerke“ regieren, gehörte zum Selbstverständnis dieser Zeit. Die rasante Entfaltung der technischen Zivilisation hatte immer stärker werdende Eingriffe in die natürliche Umwelt der Menschen zur Folge. Deren zielgerichtete Umgestaltung nach ökonomischen Kriterien bewirkt gefährliche Rück- und Wechselwirkungen, wie wir am „Kaninchenkrieg“ sehen konnten. Das hierbei sichtbar gewordene ungebremsste Wachstum erscheint aufgrund seiner negativen Folgen letzten Endes wie ein Krebsgeschwür, durch das die empfindliche Ordnung des Körpers und dessen Funktionsfähigkeit mehr und mehr zerstört wird. Die brennende Frage, die sich daher angesichts der eingangs beschriebenen kritischen Entwicklungen aufdrängt, kann folglich so formuliert werden: Ist die Stabilität der menschlichen Lebenswelt durch ihr eigenes rasantes nichtlineares Wachstum existenziell gefährdet?

Chaos und Ordnung

Die Frage nach der „Stabilität unserer Welt“ beunruhigte bereits *König Oscar II.* von Schweden. Er stiftete 1887 einen Preis von 2.500 Kronen für die Beantwortung der Frage „Wie stabil ist unser Sonnensystem?“. Dieses Problem ist bis heute nicht gelöst worden, denn bei mehr als 2 Körpern existiert keine exakte Lösung der zugrunde liegenden Gravitationsgleichungen. Dies konnte *Henri Poincaré*, das mathematische Pendant zu *Albert Einstein*, damals zeigen. Er bekam den Preis auch ausbezahlt, denn trotz aller Unsicherheiten konnte er den König zumindest dahingehend beruhigen, dass sich unsere Erde noch für eine absehbar lange Zeit stabil um die Sonne bewegen würde. Allerdings ist die Gültigkeit jener Vorhersage nach neuesten Berechnungen „nur“ auf maximal vier Millionen Jahre beschränkt. Über diesen Zeitraum hinaus sind nur unbestimmte Aussagen über die Stabilität der Himmelsbahnen der Planeten möglich.

Ein gutes Beispiel für die Grenzen der Vorhersagbarkeit ist sicherlich das Wetter. Nur für fünf bis sechs Tage sind Wetterprognosen überhaupt verlässlich. Denn bereits kleinste Veränderungen in den Ausgangsbedingungen der Modellberechnungen bewirken völlig unterschiedliche Resultate. Diesen wesentlichen Kern der heutigen Chaos-Theorie hat *Poincaré* bereits vor 100 Jahren im Rahmen der Theorie nichtlinearer dynamischer Systeme untersucht und veröffentlicht. Um eine seriöse, langfristige Vorhersage des *Klimas* erstellen zu können, müssen daher Supercomputer sehr lange alle Variationen für ein bestimmtes Klimamodell durchrechnen.



Abb. 3: Ringe des Saturn mit Mond Mimas.

Die unmittelbare Nachbarschaft von Zonen der Ordnung und Zonen des Chaos ist ein weiteres wichtiges Merkmal chaotischer dynamischer Systeme. Der Saturn mit seinen Ringen und Monden ist ein Modell unseres Sonnensystems im Kleinen, siehe Abb. 3. Die Zonen des Chaos sind hier deutlich sichtbar. Es sind die Lücken im Ringsystem des Saturn. In diesen ist aufgrund der Kräfte *aller* Körper im Gravitationsfeld, insbesondere des Einflusses des Mondes Mimas, *keine* stabile Umlaufbahn möglich. Verblüffend ist jedoch, dass selbst bei einem Hurrikan oder Tornado, den Inbegriffen des Chaos, ebenfalls völlig intakte Gebiete (der Ordnung) unmittelbar neben Zonen der Zerstörung (des Chaos) liegen. Der Tornado-Forscher *Josh Vernon* hat sich zur Untersuchung dieses Phänomens mitten ins Auge des Hurrikans „Charley“ begeben, welcher im August 2004 die Küste von Florida heimsuchte. Mit Hilfe eines Doppler-Radars konnte er erstmals den Grund für die unmittelbare Nachbarschaft von zerstörten und intakten Gebieten (siehe Abb. 4) ermitteln. Es sind auf dem Doppler-Radar (in weißer Farbe, siehe Abb. 5) erkennbare streifenförmige Fallwinde, also Böen mit sehr hoher Geschwindigkeit, die mit ihrer gebündelten Energie die Zonen der Zerstörung hervorrufen. Der Unterschied zu den Saturn-Ringen liegt somit nur im zugrunde gelegten Zeitmaßstab. Das Muster der benachbarten Zonen des Chaos und der Ordnung ist aber in beiden Fällen strukturell ähnlich.



Abb. 4: Hurrikan Charley 2004 in Punta Gorda.

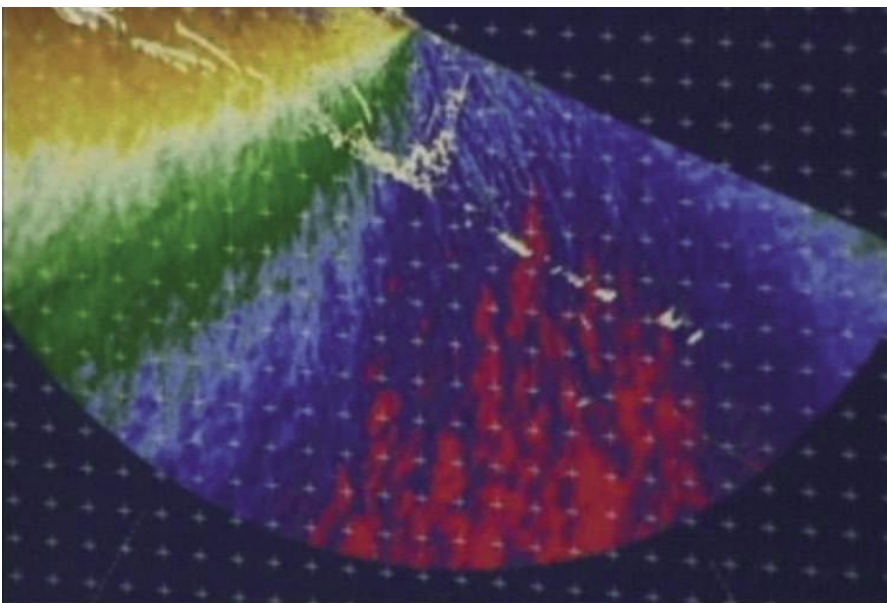


Abb. 5: Doppler-Radar mit Fallböen (in weißer Farbe).

Sibirien und der „Golfstrom“

Der Permafrostboden in Sibirien (wie auch in Kanada und Alaska) „schmilzt“ seit mehreren Jahren immer schneller und in immer größerem Umfang. Haben wir uns Sibirien bislang als einen „Eisblock“ vorgestellt, der durch nichts zu erweichen sei, so müssen wir dieses Bild wohl bald revidieren. Die dramatischen Änderungen des arktischen Klimas und deren weitreichende Folgen - auch für unser zukünftiges Wohlergehen - hat in drastischer Weise der Bericht von über 300 Wissenschaftlern namens „*Arctic Climate Impact Assessment*“ (ACIA) deutlich gemacht. Prof. Stefan Rahmstorf vom Potsdamer Institut für Klimaforschung (PIK) hat hierüber in einer Rede für den Deutschen Kirchentag 2005 in eindringlichen und einfühlsamen Worten gesprochen. Besonders hat ihn die Schilderung von Vertretern der Inuit berührt, die über die Vorgänge in ihrer Heimat berichteten. „Seen verschwinden, weil der Permafrostboden taut. Stürme erodieren die Küsten, weil der Schutz der Eisdecke fehlt. Sie berichten von Freunden, die ihre Beine oder auch ihr Leben verloren haben, weil sie auf seit Generationen benutzten Jagdrouten durch das Eis gebrochen sind.“ *Rahmstorf* ist ein Mahner, der die Sturmzeichen früh erkannt hat.

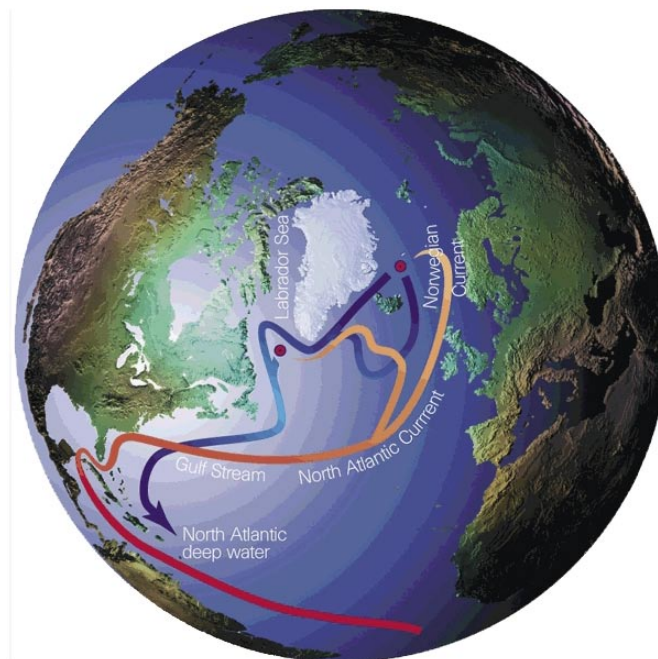


Abb. 6: „Golfstrom“-Zirkulation (THC)

In Potsdam hat man auch die empfindliche Abhängigkeit der Strömungs-Zirkulation im Atlantik (THC-*thermohaline circulation*, siehe Abb. 6) von der Süßwasserzufuhr in der Arktis untersucht. Die Salinität (der Salzgehalt) des Meerwassers steuert dabei den „Antrieb“ der „Golfstrom“-Zirkulation, dessen Mechanismus als sich selbst aufrechterhaltende Pumpe angesehen werden kann. Denn je stärker durch das Absinken des schwereren, weil dichteren, kalten Salzwassers vor der Küste Grönlands Druck auf das Tiefenwasser ausgeübt wird, desto mehr wird wie „in einer Badewanne“ an der Oberfläche salzreiches und wärmeres Wasser aus den Subtropen angezogen. Durch vermehrte Süßwasserzufuhr aus Grönland und Sibirien aufgrund des Abschmelzens von Inlandeis oder der Permafrostböden gerät diese Pumpe aber mehr und mehr ins Stocken. In der Theorie bedeutet dies, dass sich im Klima-Modell der Zustand des Golfstroms von einem von *zwei stabilen Zuständen* (Süd-Nord- oder Nord-Süd-Strömung) zu einer *Zone der Instabilität* hinbewegt, bei der ab einem *bestimmten* Punkt (einem *Gabelungs-* oder auch *Bifurkationspunkt*) die bislang stabile „Golfstrom“-Zirkulation (korrekter: der Nordatlantik-Strom) zusammenbrechen kann, bzw. sich deren Richtung umkehrt. Bedenkt man, dass dies nur von der Süßwasserzufuhr in der Arktis abhängt, dann beunruhigt es doch sehr, dass nach *Wally Broecker* von der Columbia-Universität die drei sibirischen Flüsse Ob, Lena und Jenissej ihre Wasserzufuhr in die Arktis in den letzten Jahren verdoppelt haben. Den jährlichen Süßwasserzufluss in die Arktis gibt Abb. 7 wieder (aus ACIA-Report).

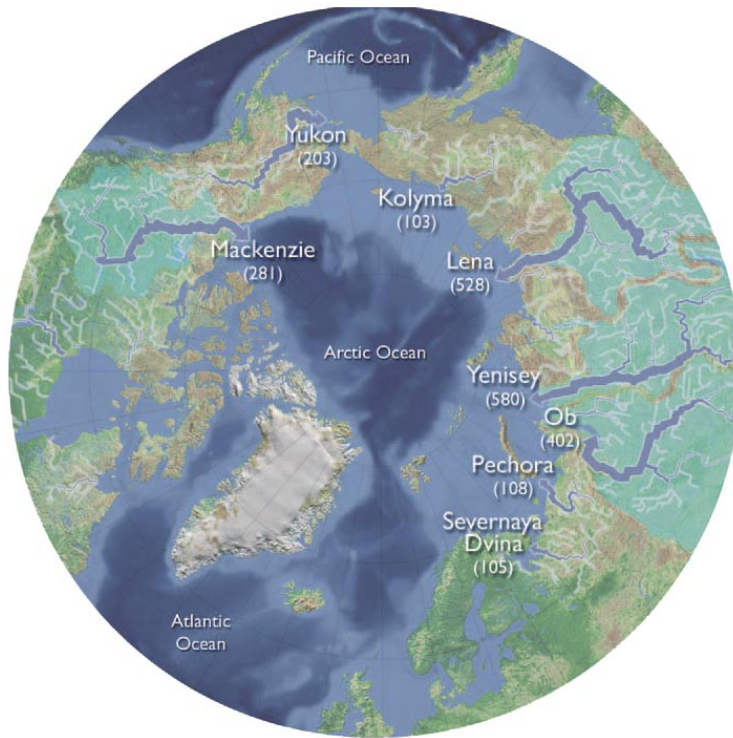


Abb. 7: Arktis: Süßwasserzufluss in km³.

Alleine die drei oben genannten Flüsse führen 20-mal mehr Süßwasser in die Arktis, als alle kalbenden Gletscher von Grönland zusammen, wobei auch hier in den letzten 17 Jahren laut ACIA das Schmelzwasser um 30% zugenommen hat. Die Veränderung des Salzgehalts im Nord-Atlantik wird durch die folgenden Grafiken aus ACIA (siehe Abb. 8) deutlich.

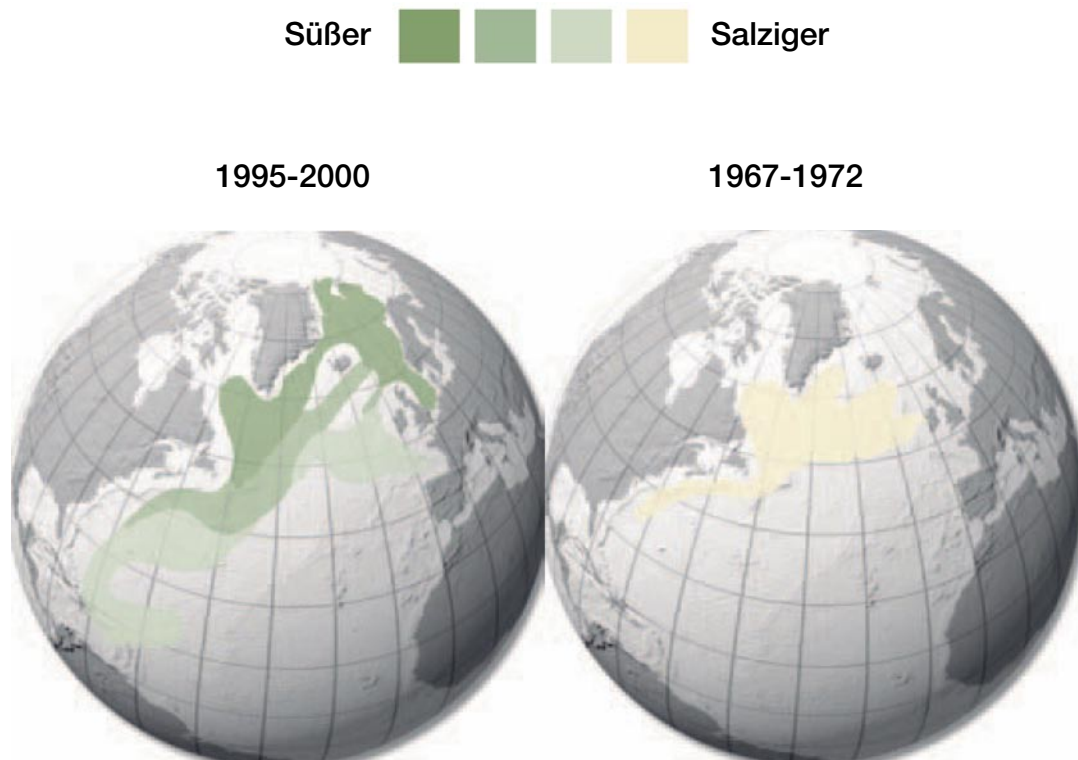


Abb. 8: Veränderung der Salinität.

Das weitere rapide Auftauen des Permafrostbodens in Sibirien (New Scientist No. 2512 v. 13.8.05) lässt uns an die möglichen Folgen für den Golfstrom denken, der uns die Wärme spendet, ohne die wir uns mit Temperaturen wie in Kanada zufrieden geben müssten. Ob es in diesem Jahrhundert noch zu einer wesentlichen Abschwächung des Golfstroms mit fatalen Folgen für unser Klima kommen kann, hängt empfindlich vom weiteren Verhalten der Menschen weltweit ab. Das Zeitfenster für ein „Eingreifen zum Besseren“ ist zwar begrenzt, aber momentan noch weit genug. Indes - die Dringlichkeit des Handelns hat auch eine vom DIW (Deutsches Institut für Wirtschaft) publizierte Klimastudie hervorgehoben. Das ist ein guter Anfang.

Kollaps der Tacoma Narrows - Brücke

Ein mittlerweile klassisches Beispiel für die katastrophalen Folgen des blinden Glaubens an die unbedingte Überlegenheit der Technik ist der Kollaps der Tacoma Narrows-Brücke. Hier zeigten sich die Folgen des „Nicht-zu-Ende-Denkens“ am Beispiel einer technischen Konstruktion besonders deutlich.

Am 1. Juli 1940 wurde im U.S. Bundesstaat Washington die Brücke von Tacoma Narrows vollendet und für den Verkehr freigegeben. Schon vom ersten Tag ihrer Benutzung an begann die Brücke immer stärker auf- und abzuschaukeln, ein Umstand, der ihr bald den Spitznamen „Die galoppierende Gertie“ eintrug. Aber seltsamerweise wuchs der Brückenverkehr gewaltig an. Hunderte von Meilen weit reisten die Leute an, um sich dem Nervenkitzel auszusetzen, über eine „galoppierende“, schwankende Brücke gefahren zu sein. Das Vertrauen der Behörden in die Zuverlässigkeit dieser Brücke wuchs indes umso mehr, so dass allen Ernstes bereits geplant wurde, die für die Brücke abgeschlossene Versicherungspolice zu kündigen. Am Morgen des 7. November 1940, etwa ab 7 Uhr, begann „Gertie“ sich wellenförmig zu bewegen (siehe Abb. 9) und schwang etwa drei Stunden lang hartnäckig weiter. Manche Abschnitte des Brückenbogens bewegten sich periodisch bis zu einem Meter auf und ab. Gegen 10 Uhr schien irgendetwas zu reißen. Nun vollführte die Brücke heftigere Schwingungen. Von einem Augenblick zum nächsten begann die Fahrbahn zwischen den Brückenenden hin und her zu schwingen: das jeweilige Ende der Brücke lag eben noch etwa achteinhalb Meter höher, aber schon im nächsten Augenblick achteinhalb Meter tiefer als das andere. Um 1030 Uhr etwa begann die Brücke zu bersten und brach schließlich um 11.10 Uhr ganz zusammen.



Abb. 9: Die schwingende Tacoma-Brücke.

Ursache des Brückeneinsturzes von Tacoma Narrows war letztlich das „Nicht-zu-Ende-Denken“ ihrer aerodynamischen Eigenschaften. Die Behauptung, dass die Brücke durch eine *Resonanzkatastrophe* aufgrund einer über sehr lange Zeit kontinuierlichen *periodischen* Anströmung des Windes, dem die Brücke ausgesetzt war, zusammenbrach, stimmt definitiv nicht, siehe *Scanlan* und *Billah*. Da die Tacoma-Brücke aber bautechnisch zu „weich“ konstruiert wurde, geriet sie aufgrund der kontinuierlich wirkenden Windkraft und ihrer eigenen strukturellen Instabilität in einen sogenannten „Selbsterregungs“-Mode mit negativer Dämpfung, der zu den bekannten Verdrillungen der Brücke führte. Als sich die antreibende Windkraft im Herbst verstärkte, wurde am 7. 11. 1940 ein Punkt erreicht, von dem ab der Kollaps der Brücke unvermeidlich war.

Der Einsturz der Brücke entbehrte nicht einer Reihe lustiger Begleitumstände. Auf das Einsetzen der heftigen Brückenbewegungen hin hatten die Behörden *Prof. F.B. Farquharson* von der Universität Washington verständigt. *Prof. Farquharson* hatte ein der Brücke nachgebildetes Modell zahlreichen Prüfungen unterzogen und jedermann davon in Kenntnis gesetzt, dass die Brücke an Stabilität nichts zu wünschen übrig lasse. Und eben dieser Professor hatte die Brücke als letzter verlassen. Selbst dann noch, als der Brückenbogen schon achteinhalb Meter hohe Wellen schlug, erhob er gewissenhaft seine Befunde und prognostizierte, dass die Brücke keinesfalls in den nächsten Augenblicken einstürzen werde. Als die Brückenschwingungen aber orkanartige Ausmaße erreichten, brachte er sich dann doch rasch in Sicherheit. Niemand war denn auch nur annähernd so erstaunt wie der Herr Professor, als der Brückenbogen krachend in die Tiefe stürzte. Der Gouverneur des Staates Washington gab nun öffentlich nach dem Brückeneinsturz kund: „*Genau die gleiche Brücke werden wir wieder bauen, genauso wie zuvor.*“ Der bei Konstrukteuren und in der Strömungsdynamik bekannte Ingenieur *von Karman* telefonierte unverzüglich zurück: „*Wenn Sie genau die gleiche Brücke genauso bauen wollen, wie die vorige, dann wird sie mit derselben Genauigkeit auch in genau denselben Fluss fallen.*“ (nach *M. Braun*: Differentialgleichungen und ihre Anwendungen).

In seinem Buch „Kollaps“ geht *Jared Diamond* auch der Frage nach, wie die Stabilität komplexer Gesellschaften von deren Fähigkeit abhängt, mit Hilfe ihrer gesellschaftlichen und technologischen Strukturen auf massive Anforderungen von „außen“, die ihr Überleben gefährden, angemessen zu antworten. Die Anwendung von in der Naturwissenschaft sich gründenden Konzepten, wie z.B. der „Komplexität“, auf gesellschaftliche Probleme ist i.a. immer schwierig. Es zeigte sich aber in der Geschichte oft genug, dass es offensichtlich meist nur *kleine Änderungen* in allerdings zentralen Anforderungen an die Gesellschaft sind, die in Krisensituationen zu einem Kollaps führen können, wenn das betrachtete gesellschaftliche System bereits eine strukturelle Instabilität aufweist. So wird gerne zum Beleg dieser Aussage der „Kollaps der Sowjetunion“ aufgeführt. Aber auch in unserer vermeintlich „stabilen“ westlichen Gesellschaft existieren Strukturen, deren Eigenschaften alles andere als „strukturelle Stabilität“ beinhalten, wie wir insbesondere an der Abhängigkeit unserer Industrie-Gesellschaft von Energie erkennen können. Eine Abhängigkeit, die überraschenderweise jüngst auch von *G.W. Bush* als „Sucht“ bezeichnet wurde; eine Sucht, welche allerdings bereits *Jimmy Carter* in seiner „Malaise Speech“ vom 15. Juli 1979 angeprangert hat, für deren Bekämpfung er *ernste* Konsequenzen einforderte.

Der Blackout - Infarkt der Versorgung mit elektrischer Energie

Der Sommer 2003 bewies uns nicht zum ersten Mal, dass wir in einer fragilen technologischen Welt leben. Am 14.8.2003 fand im Nordosten der USA und Kanadas der bislang größte „Blackout“ der Geschichte statt. Innerhalb kürzester Zeit, beginnend um 16.06 Uhr Ortszeit brach das gesamte Stromnetz für 50 Millionen Menschen in acht Staaten und zwei Provinzen bis 16.13 Uhr zusammen. Darunter befanden sich Metropolen wie New York und Toronto. Nahezu 65 GW Leistung fehlten plötzlich zur Versorgung eines für die USA maßgeblichen Wirtschaftsraumes. Die Folge war der Zusammenbruch nicht nur des geschäftlichen Alltags in dieser Region. Es ereignete sich in der Tat ein „Herzinfarkt“. Das gewohnte Leben, welches nur funktioniert, wenn als Voraussetzung die Versorgung mit elektrischer Energie gewährleistet ist, kam zum Erliegen, siehe Abb. 10.



Abb. 10: Blackout in Toronto 2003.

Für viele Menschen innerhalb und außerhalb der USA war dies ein Schock. Blackouts waren allerdings bereits aus der „Energiekrise“ Kaliforniens im Jahre 2001 wohlbekannt. Man verständigte sich dort darauf, im Falle eines unmittelbar bevorstehenden drastischen Versorgungsmangels mit elektrischer Energie einen kontrollierten „rollenden“ oder besser „rotierenden“ Blackout einzurichten. Dieses Vorgehen schafft aber als Maßnahme zum quasi-kontrollierten Umgang mit der ständig wachsenden Lücke zwischen dem Bedarf (z.B. Klimaanlage) und der verfügbaren Leistung der Stromversorgungsbetriebe nur eine kurzfristige „Verschnaufpause“ und keine wirkliche Abhilfe aus dem prinzipiellen Versorgungsdilemma. Denn es werden in diesem Fall ja nur Verbrauchs-„Blöcke“, die z.B. dem Verbrauch ganzer Stadtviertel entsprechen, abwechselnd („rotierend“) und gezielt vom Stromnetz genommen. Ein solches Vorgehen kann mit dem Weiterreichen einer „heißen Kartoffel“ verglichen werden, wenn man die fehlende elektrische Leistung als die „heiße Kartoffel“ betrachtet. Auch im Sommer 2005 ereigneten sich in Kalifornien wieder rotierende Blackouts. Das Problem konnte also zwischenzeitlich offensichtlich nicht gelöst werden.

Wenn wir einen Blackout mit einem Herzinfarkt vergleichen, müssen wir uns das System der Stromerzeugung, der Stromverteilung und des Stromverbrauchs und deren wechselseitige Abhängigkeiten vor Augen führen. Es muss zu jedem Zeitpunkt genau so viel elektrische Leistung bereitgestellt werden, wie sie verbraucht wird. Dies gilt auch in umgekehrter Richtung! Damit das ganze System stabil funktionieren kann, ist eine detaillierte Planung erforderlich, welche die Kenntnis von z.B. typischen Verbrauchs-Maxima zu bestimmten Zeiten beinhaltet. So muss beispielsweise eine höhere Kraftwerksleistung für jeden Zeitraum eines vorhersehbaren Mehrbedarfs im o.g. Sinne geplant bereitgestellt werden.

Das Versorgungssystem mit elektrischer Energie ist in einem entwickelten Industrieland ein komplexes Gebilde. Wie tolerant kann ein solches System auf technische Störungen oder auch Veränderungen struktureller Art, wie z.B. der Einführung des freien Stromhandels reagieren? Wenn wir also triftige Gründe für Blackouts ausfindig machen wollen, sollten wir demnach nicht nur einen Faktor, wie den ständig wachsenden Bedarf an elektrischer Energie, als Ursache vermuten. Man muss auch die zugrunde liegende Infrastruktur betrachten, in der ein Blackout stattfindet, *und* es müssen die Veränderungen auf Verbraucherseite berücksichtigt werden. Laut „Spiegel“ vom 18.08.03 hatte *Thomas Kuhn*, der Präsident des Washingtoner *Edison Electric Institute* nur wenige Wochen vor dem Blackout das drohende Unheil vorhergesagt: „Die Investitionen in die Infrastruktur des Elektrizitätssystems reichen nicht aus, um mit der wachsenden Nachfrage nach Energie und mit dem steigenden Bedarf nach Nutzung des Übertragungsnetzes Schritt zu halten.“ Auf die notwendigen Investitionen wurde in der Tat seit langer Zeit verzichtet. Ein Paradebeispiel für einen strukturellen Kurzschluss im Energieversorgungssystem stellt Kalifornien dar, wie wir bei den „rotierenden Blackouts“ bereits gesehen haben. Und es kann doch kaum an einer irgendwie gearteten „Technologieschwäche“ liegen, wenn im „*sunshine state*“, der Heimat des „*Silicon Valley*“, immer wieder die Lichter ausgehen.

Im Jahre 1996 trat das Deregulierungsgesetz für die Stromwirtschaft in Kalifornien in Kraft. Es sollte dadurch der Weg bereitet werden für die nationale Liberalisierung in der Stromwirtschaft. Hierbei lag der Fokus der Bemühungen darauf, einen neuen Markt für elektrischen Strom zu schaffen. Die FERC (*Federal Energy Regulatory Commission*) „*unternahm 1996 einen großen Schritt zur Förderung des Wettbewerbs mit der Vorschrift zum open-access, die weitergehenden Zugang zum nationalen Überlandnetz schuf [...]* Um Wettbewerb auf der Großhandelsebene zu fördern, verpflichtete FERC Versorgungsunternehmen mit eigenem Netz, ihre Leitungs- und Verkaufsfunktionen voneinander zu trennen und anderen Versorgern sowie unabhängigen Kraftwerksbetreibern freien Zugang zu ihrem Leitungsnetz zu verschaffen ...“ (*National Energy Policy Development Group, 2001*). Seitdem ist der freie Handel mit Elektrizität ein weiteres einflussreiches Moment im komplexen Geflecht des Systems der elektrischen Energieversorgung geworden, von dem der frühere Energieminister der USA, *Spencer Abraham*, einmal sagte, „*Dieses komplizierte Netz am Laufen zu halten, ist ein Wunderwerk moderner Ingenieurskunst, das 24 Stunden lang das ganze Jahr über funktioniert. Es ist zweifelsohne das komplexeste Stück Infrastruktur, das wir haben, und es ist ebenfalls das wichtigste. Ohne Elektrizität gibt es keine US-Wirtschaft; wenn das Licht ausgeht, kommt das moderne Leben, das wir kennen, zum Stillstand.*“

Es ist jedoch verwunderlich, dass man glaubte, die Komplexität dieses historisch gewachsenen „Stücks Infrastruktur“ durch den freien Stromhandel problemlos erhöhen zu können. Dies ist auch für die europäischen Länder eine große Herausforderung, wie man es in Abb. 11 sehen kann. Wenn in den Niederlanden 100 MW elektrische Leistung aus der Schweiz bestellt werden, dann muss diese von allen im Verbund des europäischen Stromverbundnetzes UCTE (*Union for the Coordination of Transmission of Electricity*) befindlichen Mitgliedern zu diesem Zeitpunkt in unterschiedlichen Größenordnungen gemeinsam geliefert werden. Dies erfordert ein beträchtliches Maß an Planung, ständige Bedarfsanalysen und Kommunikation in erheblichem Umfang.

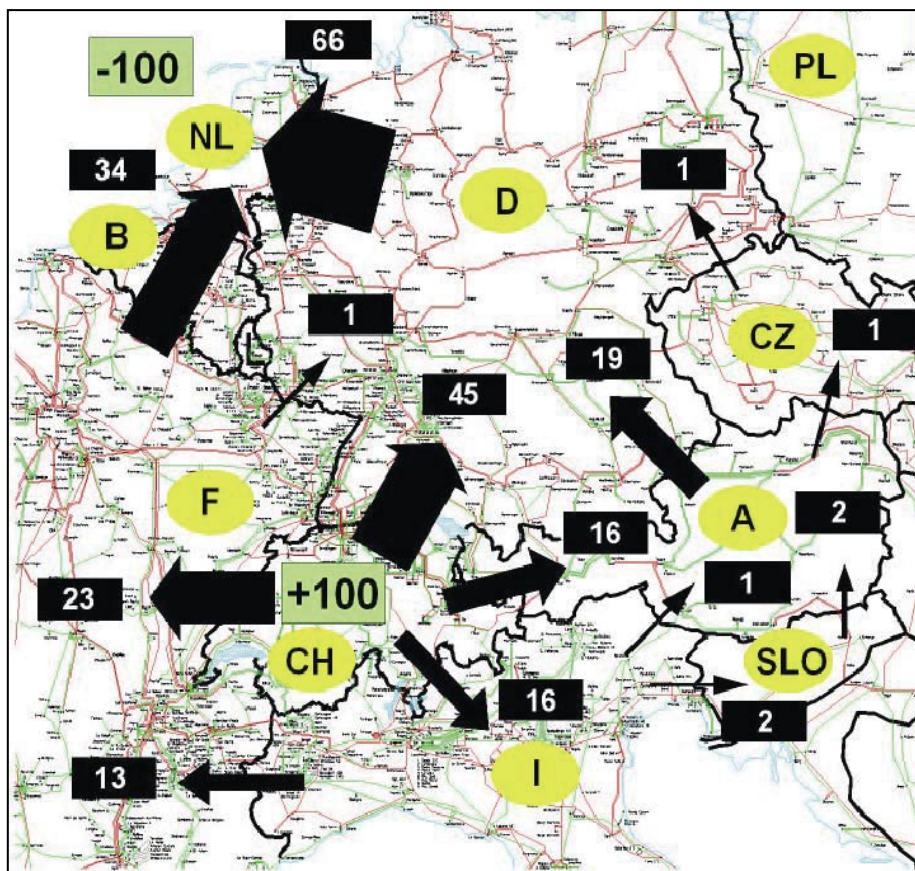


Abb. 11: UCTE-Stromnetz in Europa am 3.7.2001 3.30 Uhr. Verkauf von 100 MW aus der Schweiz in die Niederlande (nach ETRANS AG, Schweiz).

Die deutsche Energiewirtschaft versicherte, dass sich in Europa und speziell in Deutschland Blackouts wie in den USA aufgrund der Sicherheitsreserven im „nicht voll ausgelasteten Europäischen Verbundsystem“ nicht ereignen könnten. Dennoch fanden Ende August und im September 2003 im Bereich des „Europäischen Verbundsystems zur Versorgung mit elektrischem Strom“ (UCTE) gleich drei Blackouts statt; am 28.8.03 in London, am 23.9.03 in Südschweden und Dänemark und der schwerwiegendste am 28.9.03 in Italien, siehe Abb. 12. Bei diesem konnte die vollständige Wiederversorgung erst nach 20 Stunden erreicht werden; insgesamt waren 50 Millionen Einwohner betroffen.



Abb. 12: Blackout in Italien 2003.

Als offizielle Ursachen wurden von Seiten von UCTE die ungenügenden Stabilitätsreserven des italienischen Stromnetzes benannt, in dessen Infrastruktur in den letzten Jahren nur sehr wenig investiert worden sei. Des Weiteren wurde der Ausfall einer hochbelasteten 380-kV-Leitung aus der Schweiz aufgrund einer Baumberührung genannt, dem der Ausfall einer weiteren Leitung aus der Schweiz wegen der sich ergebenden Überlast folgte. Als zusätzliche Ursache des Blackouts wurde die zu spät erfolgte Kommunikation der Systemleiter in der Schweiz und in Italien angegeben. Nach dieser offiziellen Erörterung der Ursachen bleibt aber dennoch das schale Gefühl einer „zufälligen“ *Störung* zurück, welche sich zwar als ein „extremes Ereignis“ äußerte - denn das ist ein Blackout zweifelsohne - über deren eigentlichen Vor- und Verlauf im Stromnetz man „aber noch völlig im Dunkeln tappt“.

Der Stromverbrauch in Deutschland ist von 550 TWh im Jahre 1997 auf 600 TWh im Jahre 2004 angewachsen. Nach Angaben der Firma ABB wurden die Investitionen in die Infrastruktur der Strom-Netze in Deutschland von 7,3 Mrd. € im Jahre 1995 auf 3,9 Mrd. € im Jahre 2003 gedrosselt, mit einer weiterhin fallenden Tendenz. Insoweit verwundern uns verschiedenste Aussagen der Betreibergesellschaften doch erheblich, dass die Stabilität des Netzes durch den wachsenden Stromhandel nicht gefährdet sei. Das wird allerdings in Ländern wie Belgien, die mittlerweile Gefahr laufen, sich zum reinen „Transitland“ (siehe Abb. 11) zu entwickeln, ganz anders gesehen. Man überlegte dort bereits ernsthaft den Austritt aus dem Netz der UCTE, da befürchtet wurde, dass die technische Infrastruktur des Landes aufgrund des wachsenden Stromtransfers durch Belgien strukturell gefährdet sei! Die jetzige Infrastruktur ist ohne erhebliche Investitionen in die Stabilität der Netze kaum geeignet, den freien Stromhandel auch in Zukunft problemlos zu gewährleisten. In den Ländern mit dem größten Wirtschaftswachstum weltweit, in China und Indien, sind diese Probleme zur Zeit im rasanten Schnelldurchgang zu beobachten. In Indien ereignen sich Blackouts mehrmals im Jahr mit insgesamt bis zu 200 Millionen Betroffenen. In Shanghai sind Blackouts mittlerweile fast der „Normalfall“, siehe Abb. 13. Als eine von vielen notwendigen Konsequenzen ist in China seit Januar 2006 das neue Gesetz über Erneuerbare Energien in Kraft getreten. Dies ist immerhin ein erfreulicher Anfang.



Abb. 13: Blackout in Shanghai 2004.

Wie werden Blackouts in der Wissenschaft erklärt?

Im Bericht „Voltage Stability Assessment“ der IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) aus dem Jahre 2002 haben ca. 30 Wissenschaftler ihren Stand des Wissens über die möglichen Entstehungsursachen von Blackouts zusammengefasst. Demnach finden unmittelbar nach der Systemstörung, die als den Kollaps auslösende Ursache angesehen wird, starke Oszillationen der Systemleistung, der Systemfrequenz und der Spannung im Sekundenbereich statt. Aber erst nach einer sich hieran anschließenden längeren „Driftphase“ mit einem nur langsamen Abfall aller drei Systemgrößen steigt die Systemfrequenz plötzlich in extremer Weise an und verursacht dadurch den abrupten Zusammenbruch der Spannung und der Systemleistung. In den Abbildungen 14 und 15 wird der Verlauf dieser Größen über die Zeit (x-Achse nicht aufgeführt) dargestellt.

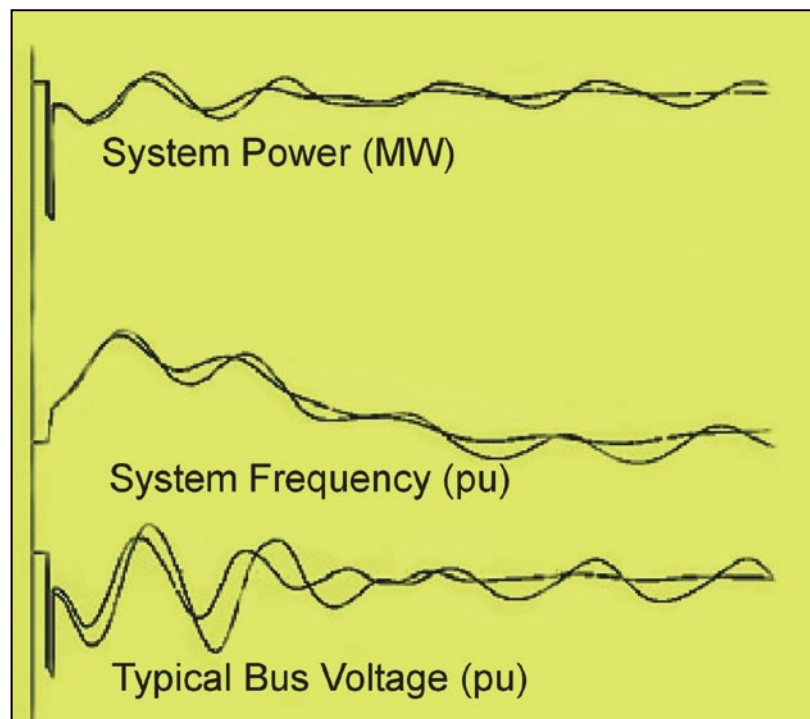


Abb. 14: Oszillationen unmittelbar nach kollaps-auslösendem Ereignis (nach IEEE-Bericht).

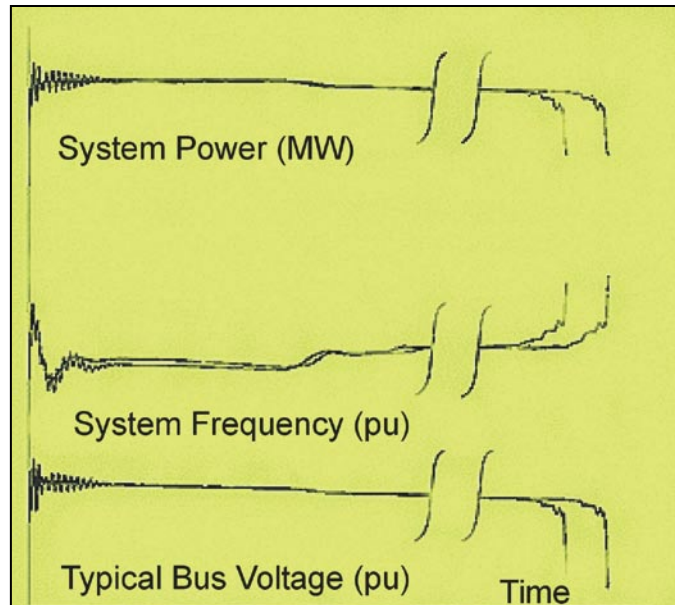


Abb. 15: langfristige Drift bis zum Kollaps (nach IEEE-Bericht).

Es handelt sich hierbei jedoch um eine Simulation, der nur eingeschränkte Modellannahmen zugrunde liegen. Es existieren zwar theoretische Modelle zur Erklärung von Blackouts und deren Dynamik, aber es gibt bislang keine umfassende Theorie des Kollaps. Man ist sich des nichtlinearen Charakters des Systems wohl bewusst, so ist beim o.g. IEEE-Bericht von „*large dynamical systems with significant nonlinearities*“ die Rede. Es wird in diesem Zusammenhang gerne von „Chaos im Netz“ gesprochen und es werden dabei auch die Erkenntnisse der Chaos-Theorie und der Nichtlinearen Dynamik bemüht. Diese haben sich immerhin bislang bei Naturphänomenen wie dem Wetter, chemischen und biologischen Rhythmen sowie bei Turbulenz-Phänomenen, z.B. bei Flugzeugen und Brücken, erfolgreich als Erklärungsansatz bewährt. Die theoretischen Voraussagen und Analysen der Wissenschaftler der IEEE, z.B. hinsichtlich der Veränderungen der Dynamik der Spannungssignalform während eines Blackouts, unterscheiden sich noch erheblich von den während des Blackouts 2003 in den USA tatsächlich gemessenen Signalverläufen, die von einem „normalen Wechselspannungsverlauf“ (Sinuskurve) deutlich sichtbar abweichen (siehe Abb. 16).

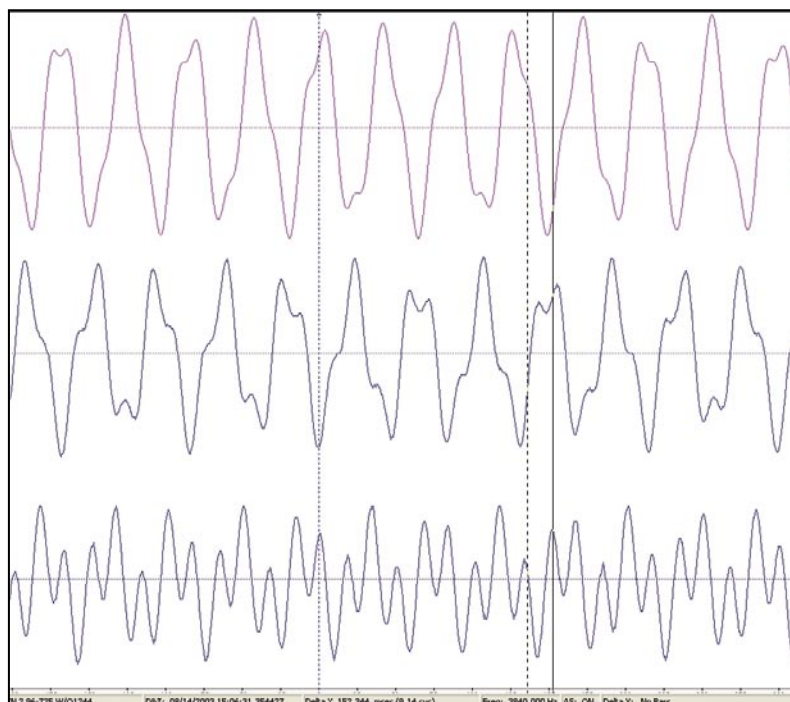


Abb. 16: Signalmuster während des Blackouts in den USA 2003.

Einen *klaren* Zusammenhang zwischen dem eigentlichen Kollaps, dessen „Ursache“ in Form eines „auslösenden Ereignisses“, der im Netz zu diesem Zeitpunkt wirkenden Dynamik und deren „Vorgeschichte“, der Dauer der Driftphase, in der sich die Systemparameter offenbar nur langsam ändern, und der dabei insgesamt zugrundegelegten technischen Infrastruktur können die Wissenschaftler zum *jetzigen* Zeitpunkt nicht angeben. Für praktische Zwecke, d.h. für Planung und Betrieb eines Stromnetzes, wären natürlich klare Aussagen über Ursache und Verlauf eines Blackout außerordentlich hilfreich. Denn derartige Planungs-Vorgaben sind unbedingt erforderlich, will man einen Blackout möglichst rechtzeitig vermeiden. Die vorhandenen Planungsinstrumente erlauben dies aber nicht in dem eigentlich notwendigen Umfang und der gewünschten Genauigkeit. Das ist ihnen auch nicht unbedingt als Mangel anzulasten, denn sie wurden auf Basis von Modellannahmen konzipiert, die auf den klassischen Methoden der Mathematik beruhen. Deren Linearisierungen können die nichtlineare Dynamik des Kollaps nicht bzw. nicht in angemessener Weise berücksichtigen. Eine umfassende Theorie des Kollaps existiert, wie bereits festgestellt wurde, zur Zeit jedenfalls noch nicht. Dennoch ist es möglich, die zentralen praktischen Anforderungen zu benennen, die eine solche Theorie auf jeden Fall erfüllen müsste.

Die *erste zentrale Forderung* ist die nach frühzeitiger Erkennung von für den Kollaps spezifischen „Mustern“ in unterschiedlichen physikalischen Domänen. Im Unterschied zum „Auslöser“ ist der Kollaps selbst kein „zufälliges Ereignis“, sondern besitzt eine Vorgeschichte und eine mit mathematischen Methoden beschreibbare Verlaufsform. Diese, so ist die Annahme, muss sich durch bestimmte Signalformen und Frequenzen im Stromnetz kenntlich machen, die es zu entdecken gilt. Auch bei anderen Katastrophen kann man natürliche „Frühwarnsysteme“ finden. So spüren viele Tiere lange vor einem *extremen Ereignis*, dass dieses in naher Zukunft stattfinden wird. Das konnte bisher z.B. bei vielen Erdbeben und Tsunamis beobachtet werden. Von diesen von Tieren „gespürten“ Signalen ist mittlerweile bekannt, dass sie meist von Veränderungen des elektrischen Feldes und Gasaustritten herrühren und oft für Menschen unmerkliche Schwingungen in spezifischen sensorischen Wahrnehmungsbereichen darstellen.

Eine interessante Analogie zum Gedanken der technischen Realisierung eines solchen Frühwarnsystems findet sich hierzu in der „kleinen Eiszeit“ im 17. Jhdt. in Süd-Frankreich in den Cevennen und der Auvergne. Sie betrifft die sogenannten „Wolfsziegel“. Das waren spezielle Ziegel in bestimmten Häusern im Dorf, welche in einer ganz bestimmten signifikanten Tonart piffen und sirrten, und dies immer genau dann, wenn die eiskalten Sturmböen von den Bergen durch die Ortschaft fielen. Dieses Pfeifen war nun für die Einwohner ein Warn-Signal, dass „bald“ die Wölfe von den Bergen ins Dorf kommen würden. Es gab ihnen daher noch hinreichend Zeit, sich rechtzeitig zu verbarrikadieren und dadurch das schlimmste abzuwenden.

Die *zweite zentrale Forderung* betrifft eine möglichst umfassende und realistische theoretische Abbildung der tatsächlichen Infrastruktur, d.h. des vorhandenen Netzwerks aus Generatoren, Reglern, Transformatoren, Übertragungsleitungen und der Vielfalt von Verbrauchern sowie auch den zukünftig häufiger auftretenden „dezentralen Einspeisern“, z.B. aus Photovoltaik-Solaranlagen und Windkraft, in die jeweiligen Planungsmodelle. Dieses komplizierte Netzwerk kann sicherlich nicht *vollständig* durch ein theoretisches Modell repräsentiert und sein tatsächliches Verhalten kann auch nicht permanent im „Echtzeitbetrieb“ beobachtet werden. Es werden vielmehr praktisch handhabbare Ersatzmodelle benötigt, welche aber den Kern des dynamischen Geschehens im Netz möglichst korrekt widerspiegeln, d.h. *vor allem* dessen nichtlinearen Charakter klar erfassen.

Die weitere mögliche Entwicklung der Infrastruktur des europäischen Stromnetzes unter den Bedingungen des freien Stromhandels und der energiepolitischen Erfordernisse der Zukunft wurde in der NZZ vom 14.9.05 besprochen. Beispielsweise hat das Projekt „*Vision of Future Energy Networks*“ einer Forschergruppe an der ETH Zürich ein zukünftiges „Energieverteilungsnetz“ zum Ziel, welches die Verbraucher nicht nur mit elektrischem Strom versorgen soll, sondern auch mit chemischer und thermischer Energie in Form von Erdöl, Erdgas und Wasserstoff sowie Fernwärme. Synergien entstehen hierbei durch eine gemeinsame Nutzung der netzwerkartigen Verteilung der Energie an die Konsumenten. Die zentrale Stellung, die der Verbraucher in diesem Konzept einnimmt, sollte eigentlich in allen in der Praxis eingesetzten Modellen zur Planung der Energieversorgung gelten.

Sind frühzeitige Vorhersagen von Blackout tatsächlich möglich?

An der Universität Paderborn und im Unternehmen System & Dynamik arbeitet *Dr. habil. Michael Fette* nunmehr seit gut 15 Jahren daran, für Probleme in Energieversorgungs-Systemen mit Hilfe von Methoden aus der Nichtlinearen Dynamik, der Chaos-Theorie sowie der Katastrophentheorie von *René Thom* (siehe Abb. 17) Lösungen zu finden, die auch den immer komplexer werdenden praktischen Anforderungen gerecht werden. Ausgangspunkt ist hierbei die Überlegung, dass der nichtlineare Charakter solcher Systeme es auch erfordert, dass sie mit nichtlinearen Theorien analysiert werden. Es gibt nicht gerade viele Wissenschaftler, die sich in dieser Weise mit der Problematik beschäftigen. Noch weniger sind allerdings in der glücklichen Lage, dass sie ihre wissenschaftlichen Forschungsergebnisse in Form eines praktisch einsetzbaren Gerätes realisiert sehen können. Das mittelständische Unternehmen A.Eberle GmbH & Co. KG aus Nürnberg entwickelt derzeit in Gemeinschaftsarbeit mit *Dr. Fette* ein Gerät zur Vorhersage von Blackouts auf der Basis seiner Theorien zur Entstehung von Blackouts. Im folgenden soll diese „Erfolgsstory“ anhand von zwei Interviews dokumentiert werden.

Die Sichtweise *Dr. Fettes* auf das Problem des Blackouts erschließt sich am besten durch einen bildhaften Vergleich unseres „Heißhungers“ nach Energie mit der Zwanghaftigkeit, wie sie bei der Bulimie auftritt:

„Die „bulimia nervosa“ ist eine psychogene Störung, in der exzessive Nahrungsmengen mit hohem Kaloriengehalt in kürzester Zeit zugeführt und anschließend Maßnahmen ergriffen werden, das Körpergewicht in einem (sub)normalen Rahmen zu halten...“ (Pschyrembel, Klinisches Wörterbuch).

Diese Maßnahmen sind zum Teil lebensgefährlicher Art. Betroffene berichten von einem ständigen Kreislauf zwischen Heißhungerattacken, den „kompensatorischen“ Maßnahmen wie z.B. erzwungenes Erbrechen, dem Aufkommen einer Schwächung des Selbstwertgefühls, gefolgt von Diäten, die dann wieder zur Krise, der (Fress)-Attacke führen. *„Ess-Störungen beginnen im Kopf“*, so die Einleitung einer von einer Betroffenen geschriebenen Arbeit zu diesem Thema. Man kann bereits hier eine Analogie zum Verbrauch von elektrischem Strom in den Industrie-Gesellschaften erkennen. Denn auch dort existiert ein Heißhunger nach elektrischer Energie, der zu den bereits beschriebenen Krisen führt. Auch dort erkennen wir die Ursache in „den Köpfen“. Elektrischer Strom ist ein Wirtschaftsgut, eine Ware, die verkauft werden soll. Steigender Stromverbrauch ist somit ein wirtschaftliches Ziel, zumindest für die Anbieter, d.h. für die Versorgungsunternehmen. Dass die Infrastruktur „schlank“ bleiben soll, ist allerdings ebenfalls ein Ziel, bzw. sogar eine *Voraussetzung* eines erfolgreichen Geschäfts mit elektrischem Strom. Den „Diäten“ entsprechen in dieser Analogie die immer geringer werdenden Investitionen in die Infrastruktur. Die „kompensatorischen Maßnahmen“, die nach den Krisen, den Blackouts, ergriffen werden, sind wie bei der Bulimie nur *zeitweilig* wirksam, denn der wachsende Hunger nach Energie ist selbst ein wesentlicher Konstruktions-Bestandteil des Systems der elektrischen Energieversorgung, ja dessen als unabdingbar gesehene Voraussetzung.

Daher sind die Krisen der Energie-Versorgung Energie fast immer „hausgemacht“ und man muss deren Dynamik verstehen, wenn man sie in Zukunft wirklich vermeiden will. *Dr. Fette* hat zu den Ursachen und der Verlaufsform der strukturellen Krisen bei der Versorgung mit elektrischem Strom, die letztlich in den Kollaps, den Blackout mündet, eine Theorie entwickelt, deren Umsetzung in ein technisches Gerät durch die Firma A.Eberle GmbH & Co. KG gleichzeitig der „*proof-of-concept*“ dieser Theorie ist.



Abb. 17: „Katastrophe“, von Salvador Dali dem Mathematiker René Thom gewidmet.

Interview mit Dr. Michael Fette

TF: *Herr Dr. Fette, Sie behaupten, mit Ihrer Theorie Blackouts vorhersagen zu können. Was macht Sie dabei so sicher?*

MF: Wenn wir uns überlegen, welches Wissen wir überhaupt über die charakteristischen Parameter der Betriebsmittel in elektrischen Energieversorgungssystemen haben, ergibt sich eine Abstufung. Nur im Hochspannungsbereich liegen detaillierte Kenntnisse über einzelne Betriebsmittel und deren Charakteristiken vor. Im Mittelspannungsbereich wird das Wissen hierüber schon recht dürftig. Und auf Verbraucherseite, also im Niederspannungsbereich, wo sehr viele verschiedene Geräte im Stromnetz betrieben werden, können wir über deren Charakteristik trotz ausgefeilter statistischer Methoden nur wenig sagen. Die für die Planung von Stromnetzen angewandten aufwändigen Rechenmodelle berücksichtigen die Nichtlinearitäten, welche im System auftreten, üblicherweise nur in einer „punktuellen“ Form, die es nicht gestattet, deren Zusammenspiel als Ganzes zu analysieren. Die Nichtlinearitäten entstammen nun aber gerade dem Bereich des „Verhaltens der Verbraucher“. Über deren Dynamik wissen wir bisher leider ebenfalls nur wenig.

Um dieses Defizit auszugleichen, haben meine Mitarbeiter und ich mathematische Modelle auf Basis der Theorie nichtlinearer Systeme entwickelt, die sich strikt an der Beschreibung der im elektrischen Energieversorgungs-System auftretenden physikalischen Effekte orientieren. Dadurch ist es uns möglich, auf Basis der klassischen Modelle *und* deren Erweiterung im oben genannten Sinne die Entfaltung der Nichtlinearitäten gerade im Last-Bereich zu beobachten und deren charakteristische Eigenschaften zu bestimmen. Das haben wir gemacht und die Resultate haben uns die Sicherheit gegeben, nach der Sie mich fragen.

TF: Welche Fehler wurden denn begangen, so dass Blackouts überhaupt entstehen konnten?

MF: Man bekommt von mathematischen Modellen und deren Software-Umsetzungen in Planung und Betrieb von Strom-Netzen immer nur Antworten auf die Fragen, die man stellt und die man im Rahmen des Modells stellen kann. Praktisch war es beim Blackout in den USA 2003 so, dass in den Leitzentralen die Computer bis kurz vor dem Kollaps „Alles in Ordnung“ meldeten, weil in den Planungsmodellen und dementsprechend der Software in den Leitzentralen der Fall gar nicht vorgesehen war, dass ein Blackout stattfinden könnte. Woher sollten sie dies auch wissen? Die klassischen Rechen-Modelle können diese Vorhersage auch nicht leisten. Den Operator selbst trifft dabei keine Schuld.

TF: Können Sie uns Ihre Theorie für den Blackout in wenigen Sätzen schildern?

MF: Legt man die heute existierende technische Infrastruktur als übergeordneten Basis-Parameter zugrunde, dann ergibt sich, wie die grafische Darstellung unserer Berechnungen (siehe die „Nasenkurve“ in Abb. 18, TF.) zeigt, bei Variation der Last (des Verbrauchs, der Leistung) das bekannte Verhalten, dass die Spannung mit steigender Last abfällt. Allerdings existieren auf dieser Kurve zwei Bereiche vor und nach einer sogenannten (Hopf-)„Bifurkation“, also einem „Gabelungspunkt“ H. Die Lage dieses Punktes hängt von der o.g. nichtlinearen Charakteristik des Systems ab, ändert sich demnach mit dessen Dynamik. Nähert man sich diesem Punkt von der „stabilen“ Seite her an, treten immer häufiger Frequenzveränderungen auf, die aber noch „gutartig“ sind. Wird allerdings durch Veränderung des Lastverhaltens dieser Punkt überschritten, dann werden diese Frequenzveränderungen mehr und mehr „böartig“ und verstärken sich in zunehmendem Maße. Während der längeren Phase des „Driftens“ des Systems verändert sich auch dessen nichtlineare Dynamik, bekommt diese eine andere strukturbedingte Ausprägung und gerät in Konsequenz hiervon mehr und mehr in Konflikt mit der tatsächlich vorhandenen physischen Infrastruktur, welche ja in letzter Instanz diese Transformation „aushalten“ muss. Dies führt dazu, dass bei weiteren, selbst kleinsten Änderungen des Lastverhaltens zwangsläufig der System-Kollaps eintritt, den wir Blackout nennen.

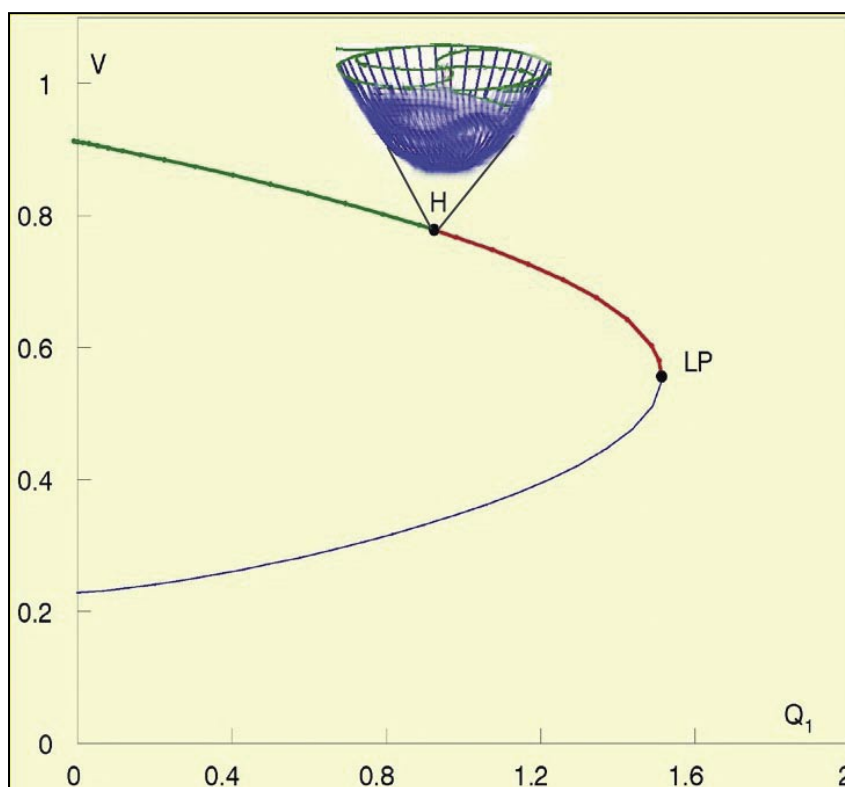


Abb. 18: „Nasenkurve“ (Spannung V vs. Leistung Q) mit 2 Zustandsregionen: grün = stabil; Hopf-Bifurkation bei H; rot = instabil.

TF: *Worin unterscheidet sich nun Ihre Theorie von dem in der Praxis üblichen Vorgehen?*

MF: Der entscheidende Unterschied liegt darin, dass wir die in den Systemen stattfindenden Veränderungsprozesse z.B. der Dynamik, welche die Veränderung der Charakteristik des Last-Bereichs beschreibt, *jetzt* analysieren können. Dies betrifft also die Art und Weise, wie die Nichtlinearitäten zusammenwirken. Diese Analyse war vorher nicht möglich, denn es wurden bei konkreten Planungsaufgaben für das Stromnetz für jeden Spannungs-Bereich neue Modelle entwickelt, welche nur linearisierte Teilaspekte betrachteten. Wir wollen aber ALLE Lösungen in einem Modell erhalten, welches die charakteristischen nichtlinearen Eigenschaften des Systems strukturell richtig widerspiegelt.

TF: *Das klingt ja alles recht kompliziert. Ist da die technische Umsetzung nicht schwierig?*

MF: Es kommt darauf an, die richtigen Signale so früh zu erkennen, dass man noch rechtzeitig geeignete Maßnahmen ergreifen kann. Wir können mit unserem Gerät sehr hoch auflösend einen Frequenzbereich beobachten, in dem signifikante „Fingerabdrücke“ derjenigen Frequenzen auftreten, die einen kommenden Blackout ankündigen, (*siehe eine Simulation hierzu in Abb. 19, TF.*), wobei die „Dellen“ in der Signalform das tatsächliche Signalverhalten beim Blackout (*siehe S. 16, TF.*) gut widerspiegeln, wenn man die tatsächlichen Messungen während des Blackouts in den USA 2003 berücksichtigt. Diese Frequenzanalyse muss jedoch immer gemeinsam mit der permanenten Analyse der Veränderungen der nichtlinearen Dynamik des Gesamtsystems erfolgen. Das detaillierte Bild, welches wir dadurch erhalten, gibt uns z.B. die Möglichkeit, die Wirksamkeit sämtlicher Reglereinrichtungen im Netz im Zusammenspiel zu beobachten. Das Dämpfungsverhalten aller beteiligten technischen Elemente im Stromnetz könnte daher mit hochauflösender Frequenzanalyse ermittelt werden. Das wäre ein echter Fortschritt, denn das tatsächliche Dämpfungsverhalten im Netz ist uns aus den bekannten Mängeln der in der Planung und Analyse von Stromnetzen eingesetzten Verfahren nicht einmal annähernd bekannt. Für die Betreiber würde dies aber in der Praxis eine „rote Lampe“ für deren Planungsvorhaben darstellen. Diese Lampe könnte immer dann aufleuchten, wenn z.B. eine Handlungsoption im freien Stromhandel ausgeübt werden soll, die im Stromnetz zu diesem Zeitpunkt gar nicht möglich ist, da hierdurch eine „Entdämpfung“ mit fatalen Folgen für das Gesamtsystem stattfände. Ein gezieltes Eingreifen in das Stromnetz, um z.B. ein falsches Reglerverhalten zu korrigieren, wenn es um die Vermeidung eines Blackout geht, ist aber erst unter der Voraussetzung sinnvoll möglich, wenn man das Dämpfungsverhalten und die Grenzen des Systems, dessen neuralgische Punkte, tatsächlich kennt. Unter diesem Gesichtspunkt sind die bisherigen Maßnahmen da eher kontraproduktiv.

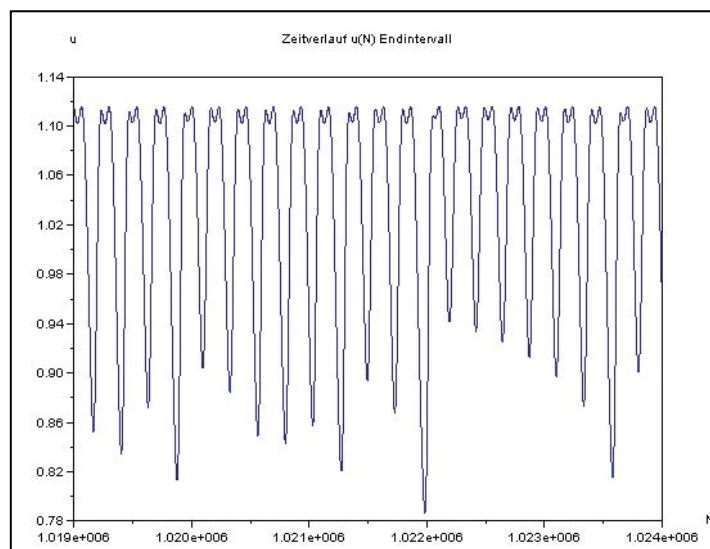


Abb. 19: Frequenz-Muster kurz vor dem „Blackout“.

TF: *Dr. Fette, Wie sehen Sie die Zukunft?*

MF: Die Betreiber von Stromnetzen geraten zusehends in die Defensive. Der physikalischen Infrastruktur wird in Zukunft aufgrund des freien Stromhandels und der verstärkten dezentralen Einspeisung aus erneuerbaren Energien noch sehr viel mehr abverlangt werden als bisher. Erforderliche Investitionen in diese Infrastruktur sind die eine Seite. Dass nicht nur die Energiemenge zu berücksichtigen ist, sondern auch die veränderte nichtlineare Charakteristik im Netz, gekoppelt mit steigender eingespeister Leistung, ist die andere Seite. Gerade diese Kopplung wird die Betriebsführung sehr komplizieren, denn es soll ja für die Kunden eine qualitativ hochstehende Versorgungsleistung bereitgestellt werden. Beachtet man dies nicht, werden wir ein ernsthaftes Problem haben.

Interview mit Lothar Mayer, Geschäftsführer der A.Eberle GmbH & Co. KG

TF: *Herr Mayer, Sie haben in Zusammenarbeit mit Dr. Fette ein Gerät entwickelt, welches einen Blackout vorhersagen kann. Was ist der praktische Nutzen Ihres Collapse Prediction Relay (CPR-D)?*

LM: Unser Collapse Prediction Relais soll den Abstand zur Stabilitätsgrenze eines Netzes der elektrischen Energieversorgung ermitteln. Mit anderen Worten, es trifft eine robuste Aussage darüber, wie groß die Stabilitätsreserven im Netz noch sind.

TF: *Und was passiert, wenn sich ein Blackout in dieser Weise ankündigt?*

LM: Aus den Messergebnissen lassen sich eine Vielzahl von verschiedenen Handlungsalternativen ableiten. Die zu ergreifende Maßnahme hängt dabei ganz von der Netztopologie und vielen anderen Randbedingungen ab. Das beginnt üblicherweise mit dem allgemeinen „Lastabwurf“, der nun aber frühzeitig stattfinden kann und endet bei der „Inselung“ einzelner Netzbereiche, die überschaubar sind und somit einfacher zu kontrollieren. Die Strategie wird von Fall zu Fall anders aussehen. Aber wir haben im Unterschied zu früher einfach mehr Zeit, denn wir sehen die Gefahr eher und können daher angemessen reagieren.

TF: *Haben Sie schon Interessenten? Wie ist die Kundenresonanz?*

LM: Das Interesse ist genauso groß, wie die Probleme, denen sich unsere Volkswirtschaften in diesem Bereich im Moment gegenübersehen. Wenn Sie bedenken, welche enormen Schäden mit Netzzusammenbrüchen verbunden sind, kann man sich das Interesse an einer relativ preiswerten Einrichtung, die den Zusammenbruch verhindern hilft, leicht vorstellen.

TF: *Können Sie den wirtschaftlichen Nutzen für Ihre Kunden durch das CPR-D beziffern?*

LM: Ich kann im Moment nur mit Zahlen aus Österreich dienen, die aber für Deutschland sicher ganz ähnlich aussehen. Fällt z. B. eine 110-kV-Gruppe aus, kostet das etwa zwei Mio. € pro Stunde. Bei einer 380-kV-Gruppe rechnet man sogar mit bis zu 40 Mio. € pro Stunde. Stellen Sie sich vor, dass eine 110-kV-Gruppe ausfällt und es einige Stunden dauert, bis das Netz wieder bereitsteht. Dann hat man es sehr schnell mit einem zweistelligen Millionenbetrag zu tun.

TF: Was bedeutet eine solche Erfindung für ein mittelständisches Unternehmen wie das Ihre?

LM: Wir sehen unsere Aufgabe darin, zu erfinden. Innovationen haben unseren Aufstieg in den letzten 10 Jahren begründet und so soll es auch weiterhin bleiben. Das Risiko dieser Entwicklung ist groß, aber kalkulierbar. Wir haben ja unseren Mitarbeitern gegenüber eine große Verantwortung und dürfen die Existenz des Unternehmens nicht leichtfertig aufs Spiel setzen, sei die Idee auch noch so genial. Wenn es allerdings gelingt, das Produkt zur Zufriedenheit unserer Kunden auf dem Markt zu platzieren, hat das sicher einen großen positiven Einfluss auf unser Exportgeschäft. Zunächst weniger mit Blick auf den Umsatz, als vielmehr auf unser Image. Eine Erfindung in dieser Kategorie schafft zunächst einmal Meinungsanteile. Hat man die, braucht man sich über Marktanteile keine Sorgen mehr zu machen.

TF: Der Hunger nach Energie wächst weltweit ungebremst. Sehen Sie daher Ihre wirtschaftliche Zukunft rosig?

LM: Ich sehe unsere geschäftliche Zukunft nicht rosig, bin aber doch sehr optimistisch. Auf längere Sicht und gesellschaftlich gesehen bin ich der Meinung, dass der aktuelle Energiehunger der Welt zu keinem guten Ergebnis führen kann. Ich möchte hier nicht die Argumente wiederholen, die jeder halbwegs gebildete Mensch ohnehin parat hat. Ich gebe aber zu, dass meine persönliche Einstellung sich zunehmend mit der Auffassung des kürzlich verstorbenen Philosophen und Schriftstellers *Carl Amery* deckt, der in den Katastrophen unserer Zeit Zeichen dafür sieht, dass die Evolution gerade damit beschäftigt ist, sich eines - als Sackgasse erkannten - Warmblütlers zu entledigen. Jedenfalls ist unser Heiß-Hunger nach Energie doch nichts anderes als ein des Menschen unwürdiger, weil halbblinder, Marsch in eine Zukunft, in der Leben und Überleben sehr schwer werden wird. Ob es sich dann überhaupt noch *lohnt* zu leben, steht auf einem anderen Blatt geschrieben.

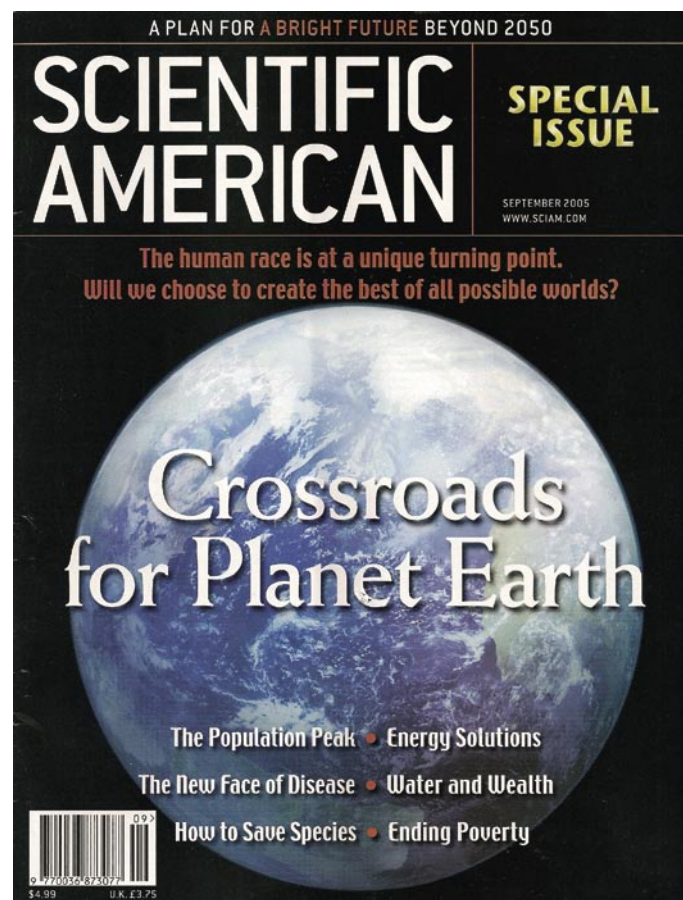


Abb. 20: „Menschheit am Scheideweg“ (Spektrum).

Menschheit am Scheideweg

Der Tenor am Schluss des obigen Interviews klingt ein wenig nach der Gaia-Hypothese von *James Lovelock* und *Lynn Margulies*, die (nach Wikipedia) besagt,

„dass die Erde selbst ein lebender Organismus ist. Begründet wird dies damit, dass die Gesamtheit aller lebenden Organismen und aller nichtlebendigen Teile der Erde Teile eines dynamischen Systems sind, das die gesamte Biosphäre durch Rückkopplung stabil hält.“

Offenkundig wird diese dynamische Stabilität aber durch die wirtschaftlichen und technischen Aktivitäten der Menschheit, die „das Wachstum“ ins Zentrum aller Aufmerksamkeit gestellt haben, massiv gestört. Dabei würde ein „nachhaltiges Wachstum“ doch sehr gut in das Konzept der dynamischen Stabilität der Erde passen. Die Vielfalt des Lebens ist ja selbst ein Resultat der Evolution und ein gutes Beispiel dafür, dass dem unvermeidlichen physikalischen Gesetz des „Abstiegs“, der Zunahme der Entropie, ein „Schnippchen“ geschlagen werden kann. Der Chemiker und Nobelpreisträger *Ilya Prigogine* hat sich sein Leben lang bemüht, den Gedanken zu vermitteln, dass sich „dissipative“ Systeme (wie die Biosphäre der Erde und deren Subsysteme, die nur existieren können, wenn von „außen“ Energie zugeführt wird) durch *höhere Komplexität* zumindest für einen gewissen Zeitraum dem Streben aller Materie hin zum „thermodynamischen Tod“ entziehen können. Das geschieht im Wechselspiel von Krisen und struktureller Erneuerung.

Die Krisen, so wollten wir es in diesem Essay darstellen, entstehen durch die Entfesselung der den komplexen Systemen innewohnenden Dynamik, die an die Grenzen der vorhandenen (Infra-)Strukturen stößt und diese dabei umwandelt, ihnen eine neue Struktur gibt, bzw. geben kann. Dies findet bei dem aktuellen Stand der technischen Entwicklung heute im globalen Maßstab statt. Der Schlüssel zum Verständnis der bewussten Gestaltung dieser strukturellen Transformation unseres Lebensraums ist die Einsicht in das Verhältnis von Freiheit und Notwendigkeit auf der Basis unserer Fähigkeit, Verantwortung zu erkennen und auch aktiv zu übernehmen. So sind die heutzutage noch plausiblen energiepolitischen Konsequenzen des Amerikaners *Barry Commoner* aus seinem 1976 geschriebenen Buch „Energieeinsatz und Wirtschaftskrise“ erschreckend aktuell. Haben wir also nichts dazu gelernt?

Wir haben diesen Planeten unwiderruflich den herrschenden Kriterien unserer menschlichen Gesellschaften unterworfen. Der Hunger nach Energie und deren profitable Nutzung war und ist die entscheidende Triebkraft für den dabei stattfindenden Transformationsprozess der Natur in eine zweckrationale organisierte technisierte Lebensumwelt. Insbesondere die Anwendung der Erkenntnisse aus der Naturwissenschaft in der Technik haben uns ungeahnte Möglichkeiten und Freiheiten eröffnet, welche die vorhergehenden Generationen sich niemals hätten vorstellen können. In nur 100 Jahren wurde die Erde viel stärker durch den Menschen verändert, als in den 10.000 Jahren zuvor. Doch heute steht die Menschheit tatsächlich an einem Wendepunkt. Und dieser existiert nicht nur in den Vorstellungen idealistischer Romantiker. Nein, es gibt hierüber einen breiten Konsens unter Wissenschaftlern der verschiedensten Disziplinen weltweit.

Die renommierte Wissenschaftszeitung „*Scientific American*“ („Spektrum der Wissenschaft“ in Deutschland) selbst hat diesem neuen Verständnis der Komplexität unserer Welt eine Plattform gegeben. In ihrer September-Ausgabe 2005 (siehe Abb. 20) wurde dem Thema ein Sonderheft mit dem Titel „*Crossroads for Planet Earth*“ („Menschheit am Scheideweg“ in „Spektrum der Wissenschaft“, Okt. 2005) gewidmet und der Untertitel „*The human race is at a unique turning point. Will we choose to create the best of all possible worlds?*“ gewählt. Diese Erkenntnis sollte auch hier beispielhaft an den Versorgungskrisen mit elektrischer Energie illustriert werden. Dass die „Deiche unserer Technologie“ dünn gebaut sind, dass sie selbst durch bereits kleinste Krisen erschüttert werden können, ist ein beunruhigendes Faktum, das zum Handeln drängt. Aufzuzeigen, dass es Möglichkeiten gibt, durch Erfindungskraft und Beschreiten neuer und ungewohnter Wege dem „Gesetz des Abstiegs“ im Sinne von *Prigogine* „ein Schnippchen“ zu schlagen, war *ebenfalls eine Absicht* dieses Essays.

Wie sich immer wieder herauskristallisiert hat, können wir offenen Auges als *Strukturprinzip* erkennen, dass Chaos und Ordnung in jedem zeitlichen und räumlichen Maßstab in dieser Welt eng benachbart nebeneinander liegen. Es genügt daher meist nur ein „kleiner Schritt“, um von einer „Zone“ zur anderen zu wechseln. Dies wurde an den hier aufgeführten Beispielen deutlich: vom Hurrikan „Katrina“ bis hin zum Blackout. Dass dennoch die „Vorboten der Katastrophen“ erkannt werden können, dass sich die Bereitschaft findet, hierfür Verantwortung und dabei auch Risiko zu übernehmen, ist am „Ende des Tages“ doch ermutigend.

Dies hätte ein schönes Schlusswort sein können. Indes - man sollte auch den Faktor des „Irrationalen“ in Betracht ziehen, wenn es um Vorhersagen für die Zukunft geht, seien diese positiv oder negativ gestimmt. Auch die Terrorattacken des 11. September 2001 offenbarten die Verletzlichkeit der westlichen Zivilisation und die entmutigende Unzuverlässigkeit u.a. unserer hochentwickelten Technologie in sehr schmerzhafter Weise. Diese Technologie und deren gesellschaftliches Umfeld findet ihre Grenzen an diametralen Gegenentwürfen zum Selbstverständnis der westlichen Gesellschaftsform. Hiermit wird auch die Fähigkeit, im Rahmen des Entwicklungsgangs dieser Gesellschaft plausible Vorhersagen für deren Zukunft zu treffen, selbstverständlich an ihre Grenzen geführt. Die Diskussion eines Beispiels aus der persönlichen Erfahrung des Autors und dessen Konsequenzen für die Beantwortung der Frage nach der Vorhersagbarkeit von gesellschaftlichen Entwicklungen und der Übernahme von Verantwortung hierfür soll den Abschluss dieses Essays bilden.

Freier Wille oder Determinismus?

„Eine Explosion erschüttert das „Maison de France“ in Berlin. Es ist Donnerstag, der 25.8.1983. Ein Betonblock aus der Decke fällt nur zwei Meter neben die junge Frau, die normalerweise die Gäste des „Maison de France“, dem französischen Konsulat in Berlin, empfängt. Ihr Name ist Cathérine und sie ist schwanger. Einer der Deckenbrocken fliegt während der Explosion in ihre Richtung und zerquetscht ihr den Fuß. Eine Operation zur Rettung des Fußes ist wegen der fortgeschrittenen Schwangerschaft nicht möglich. Mit einem Schlag ändert sich der Lebensweg vieler Menschen. Auch solcher, die „aus einer Fügung des Schicksals“ heraus von dem Attentat der terroristischen Gruppe „Carlos“ in Berlin verschont geblieben sind. Wie Marianne, die eigentlich an Cathérines Stelle wie immer ihren Job hätte erledigen müssen. Doch eine Woche vorher entschloss sie sich kurzfristig, ihren Urlaub in ihrem eigentlichen Zuhause - Marseille - zeitlich vorzuziehen. Sie bat Cathérine, sie ebenso kurzfristig zu vertreten. Marianne machte später eine Ballett-Ausbildung und ist heute noch voller Begeisterung in ihrem Beruf tätig. Hätte sie sich an den offiziellen Urlaubsplan gehalten, wäre ihr Leben völlig anders verlaufen und sie hätte dem Autor ihre Geschichte auch sicherlich nicht erzählen können.“



Abb. 21: Das „Maison de France“ in Berlin.

Dass unerwartete und auch für den Einzelnen unvorhersehbare Ereignisse unsere Lebenswege dramatisch ändern können, ist nichts Neues. Es sind aber offenkundig weniger die Ereignisse selbst, sondern unsere kleinen, eher unscheinbaren Entscheidungen, die für unser „Schicksal“ den bestimmenden Rahmen vorgeben. Das vorige Beispiel zeigt, dass wir nur an kleinen „Schrauben“ der uns eigentlich unbekanntem Maschine drehen können, dies aber als „freien Willen“ ansehen. Die Diskussion über den „freien Willen“ ist heutzutage wieder voll entfacht. Der Grund liegt u.a. darin, dass die Resultate der modernen Hirnforschung mit Hilfe von 3D-Bildern der Hirnaktivitäten eindrucksvoll die Behauptung belegen, dass unsere geistige Aktivität und damit auch unser Wille *wesentlich* durch physiologische Prozesse „determiniert“ sei.

So sind z.B. bei Mördern signifikante Veränderungen des Stirnhirns feststellbar. Das ist bei diesen Menschen mit einer ausgeprägten Gefühllosigkeit gegenüber ihren Opfern verbunden, denn im Stirnhirn befindet sich ein Neuronen-Areal (ein komplexes Netzwerk aus Nervenzellen), welches bei den allermeisten Menschen mit der Entwicklung von Mitgefühl assoziiert ist. Müssen wir also das Strafrecht ändern, weil nicht der freie Wille eines Menschen, sondern dessen Hirn für seine Taten verantwortlich sei, wie es eine populärwissenschaftliche Zeitschrift suggeriert?

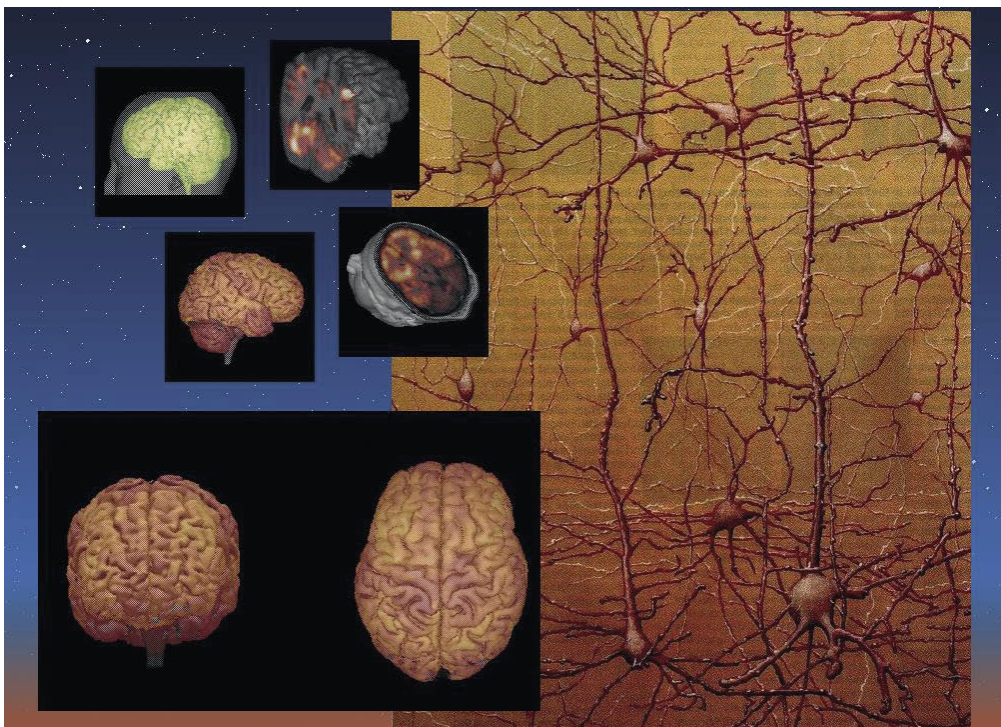


Abb. 22: Die Vernetzung des Gehirns.

Diese Diskussion würde den Rahmen des vorliegenden Essays sprengen. Letzten Endes geht es aber doch auch hier um die Übernahme von Verantwortung für unsere Handlungen. Die Frage ist, inwieweit man, ob nun rational oder intuitiv, die möglichen Konsequenzen der eigenen Handlungen schon im Vorfeld wirklich begriffen und verstanden hat. Der Farmer, der die Kaninchen nach Australien brachte, tat dies sicher aus freiem Willen. Es ist auch anzunehmen, dass er geistig gesund war, als er den Willen verspürte, auch in Australien dem „Sport“ des Kaninchenjagens zu frönen. Es bleibt dennoch die Frage offen, ob man ihm für die Folgen seines vom heutigen Standpunkt aus unbedachten Handelns die Verantwortung zuweisen kann? Dass der *freie Wille* nicht so frei sein kann, wie es in der Diskussion oft unterstellt wird, argumentieren die Philosophen *Peter Bieri* und *Wolfgang Detel*, denn eine „unbedingte“ absolute Freiheit könne es ohnehin nicht geben. Frei handeln wir demnach, „*wenn unsere Handlungen überwiegend durch gute Gründe bedingt sind*“ (*Detel*). Unfrei dagegen sind wir, wenn unser Urteil und unser Wille auseinanderfallen und wir sie nicht zur Deckung bringen können - wie zum Beispiel bei einem Süchtigen oder Serienmörder, der wider besseren Wissens einem Zwang unterliegt.



Abb. 23: Tödliche Zwanghaftigkeit am Beispiel des „Vampir“ (E. Munch).

Ein solches zwanghaftes Verhalten lag z.B. bei dem Serienmörder *Sergej N.* aus der Ukraine vor, der sich im Jahr 2005 nach 20 Jahren und 50 ermordeten Frauen den Polizeibehörden mit den Worten stellte:

*„Ich möchte dem ein Ende bereiten. Ich hasse mich, für das, was ich getan habe.
Ich bin schlimmer als eine Bestie.“*

Sergej N. hat in einer Phase, in der sein Wille offenbar „frei“ war, die Konsequenzen seiner Handlungen erkannt. Für sein zwanghaftes Verhalten könnten die Hirnforscher sicherlich entsprechende Veränderungen in seinem Gehirn lokalisieren. Unabhängig hiervon ist seine Aussage bei seiner Selbstanzeige dennoch bemerkenswert, denn sie widerspricht eigentlich einem neurobiologischen Determinismus, den man der Logik seiner Handlungen ja zugrunde legt. Man kann sein „bewusstes“ Verhalten als einen ständigen Wechsel zwischen zwei Zuständen auffassen: einem Zustand der deterministischen „Ordnung“, des Zwangs, der zwangsläufig zur Tat, der katastrophalen „Befreiung“, also dem Mord, führt; und einem Zustand des „Chaos“ (der „Freiheit“) *nach* der Tat, in dem ihm die Konsequenzen seines Handelns bewusst wurden und er sich „selbst“ als Täter, als einen „Anderen“, eine Bestie, sieht. Das ist eine Erkenntnis an der Grenze des vorgeblich „Irrationalen“. Das Zeitfenster für diese Erkenntnis war und ist indes sehr schmal, denn die Phase der Zwanghaftigkeit, für die es sicherlich eine neurobiologische Basis gibt, dominierte ganz offensichtlich über sehr lange Zeit. Betrachtet man sein Verhalten als Ganzes, so wird deutlich, dass „Ordnung“ hier einen *unerbittlichen* Determinismus bedeutet, der nur einen einzigen Handlungsweg kennt. Das „Chaos“ als Gegensatz-Begriff hat per Definition viel mehr Handlungsalternativen und stellt sich in diesem Falle als kurze Phase der Freiheit dar. *Sergej N.* hat während dieser Phase *letztlich* Verantwortung für sein Tun übernommen, als er, sich selbst erkennend, der Polizei stellte und damit „den Knoten“ löste.

Auch bei „normalen“ Menschen existieren offenkundig diese beiden Phasen bzw. „Zonen“ der Freiheit und des Determinismus. Sie sind allerdings sicherlich nur anders verteilt, sind vielschichtiger, haben mehr „Freiheitsgrade“, wie es in der Physik heißt, haben komplexere Gewichte und eine andere Geschichte. Viele Determinismen unseres persönlichen Lebens entstammen aber in den meisten Fällen unserer sozialen Wirklichkeit, die uns oftmals das Gefühl vermittelt, wie in einem Strom zu schwimmen, dem man nur schwer entkommen kann.



Abb. 24: Der Eisstrom des Baltoro-Gletschers in Pakistan.

Die beiden Lebenswege

Der Anblick des Eisstroms eines Gletschers, wie in Abb. 24 der des *Baltoro* in Pakistan, vermittelt uns hingegen das Gefühl von Ruhe und Beständigkeit. Tatsächlich sind aber auch hier alle Eismoleküle in diesem Strom in ständiger Bewegung und in dieser Bewegung von einander abhängig. Die Zeitskala allerdings, in der diese Bewegung stattfindet, ist nun sicherlich nicht die unsere. Deshalb drängt sich uns das Gefühl auf, dass die Bewegung des Eisstroms vorhersagbar sei, dass hier ein strenger Determinismus walten würde. Dies erweist sich aber als ein Trugschluss, denn auch hier wirkt, wie wir vermuten können, eine nichtlineare Dynamik, wenngleich eine unseren Sinnen verborgene. Diese Dynamik in den Phänomenen der Natur, der Gesellschaft, unseren technischen Errungenschaften, und nicht zuletzt in unseren persönlichen Lebenswegen zu entdecken und zu erkennen, obgleich sie unseren Gewohnheiten und unserem „normalen“ Denken oft scheinbar widerspricht, wäre ein erster Schritt.

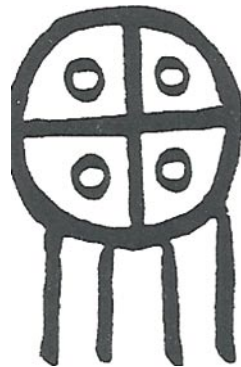
Einen der vielen möglichen zweiten Schritte haben z.B. die Initiatoren der Stiftung „Forum für Verantwortung – Stiftung für wissenschaftliche, nachberufliche Bildung“ mit ihrer Veranstaltung „Die Zukunft der Erde – Was verträgt unser Planet noch?“ im März 2005 in der Europäischen Akademie in Otzenhausen/Saarland getan. Das vierte Kolloquium des Forums in Folge „ergriff die (rund 180, TF.) Zuhörer stärker und machte sie nachdenklicher, als alle Veranstaltungen zuvor dies getan haben. Wie die Teilnehmer erfahren mussten, [...], gibt es zum einen den zunehmenden wissenschaftlichen Konsens, der sich mit der Aussage zusammenfassen lässt, dass sich die globale Gesellschaft einer wachsenden Bedrohung gegenüber sieht, die durch Aktivitäten der Menschen verursacht werden. Zum andern wurde in den vergangenen 15 Jahren der wissenschaftliche Nachweis erbracht, dass die Erde zusammen mit ihrer Biosphäre ein vernetztes System bildet, in das man nicht ohne unvorhersehbare Folgen eingreifen kann.“ (Vorwort der Hrsg. *Ernst Peter Fischer* und *Klaus Wiegandt*).

Wie südafrikanische Wissenschaftler im April 2006 der Zeitung „*Sunday Times*“ berichteten, ist auf dem 1770 km südöstlich von Port Elizabeth (South Africa) gelegenen „*Marion Island*“ im Zuge einer dort ungewöhnlichen Erwärmung eine Ratten- und Mäuseplage ausgebrochen. „*Marion Island* hat einen ähnlichen *Frühwarneffekt* wie einst der Kanarienvogel für die Kohlegruben.“, erklärte der Wissenschaftler *Guy Midgley* der Zeitung. Welche Konsequenzen werden wir hieraus ziehen?

Im Reservat der Hopi-Indianer in Arizona, die sich als „Bewahrer der Erde“ verstehen, befindet sich in der Nähe des „Kulturdenkmals“ Alt-Oraibi auf der dritten Mesa (einem Tafelberg) eine Felszeichnung aus sehr alten Zeiten, die zwei Lebenswege der Menschheit darstellt. Der eine ist ein Weg der Gewalt und der Zerstörung, welcher im Untergang der Menschheit endet. Der andere, so wurde dem Autor 1993 von *Thomas Banyacya*, einem der *spiritual elders of the Hopi Nation*, mündlich mitgeteilt, ist ein spiritueller Weg der Erkenntnis, welcher die Übernahme von Verantwortung für diese Welt und alle Lebewesen als zentralen Kern sieht. Er ist dadurch ein Weg der Befreiung aus der *Zwanghaftigkeit*.

„The Hopi Way of Life is the Way of Peace“ (Andrew Hermequaftewa)

Mit dieser kleinen abschließenden Botschaft hat der Autor ein persönliches Versprechen erfüllt und, so hofft er, auch ein wenig Verantwortung übernommen.



„DAS UNHÖRBARE HÖREN“

Im 3. Jhdt. v. Chr. schickte König Tsao seinen Sohn zum Meister Pan Ku in die Lehre. Dieser sollte den Jungen alles lehren, was nötig wäre, um ein guter Herrscher zu werden. Der Prinz wurde für 1 Jahr in den Ming-Li-Wald geschickt, um den Klang des Waldes zu erkennen. Nach seiner Rückkehr sollte er das Gehörte schildern. „Meister“, sprach der Prinz, „ich konnte hören, wie der Kuckuck ruft, die Blätter rauschen, die Kolibris surren, Grillen zirpen, das Gras wächst und der Wald flüstert und tobt“. Daraufhin wurde er vom Meister erneut in den Wald geschickt, um noch mehr zu erlauschen. Das verwirrte den Prinzen. Hatte er denn nicht alles wahrgenommen, was zu hören war? Tag für Tag, Nacht für Nacht saß er nun allein im Wald und lauschte, hörte aber keine anderen Klänge als vorher. Eines Morgens jedoch saß der Prinz still unter den Bäumen -und plötzlich drangen ganz schwache Laute zu ihm, wie er sie noch nie zuvor gehört hatte. Und je genauer er hinhörte, desto klarer wurden sie. Die Empfindung, erleuchtet zu sein, ergriff den Jungen. Beim Meister zurück fragte ihn dieser, was er noch gehört habe. „Meister“, antwortete der Prinz, ehrfürchtig, „als ich ganz genau lauschte, konnte ich vorher nie Gehörtes hören - den Klang sich öffnender Blumenblüten, den Klang der Sonne, die die Erde wärmt, und den Klang des Grases, das den Morgentau trinkt.“ Der Meister nickt anerkennend. „Das Unhörbare hören zu können“ bemerkte Pan Ku, „ist als Fähigkeit bei einem guten Herrscher unabdingbar.“

Referenzen, Links und weiterführende Literatur

Die verwendete Literatur und ggf. erreichbare Links im Internet werden in der Reihenfolge ihres Auftretens im Text nachfolgend aufgeführt, weiterführende Literatur am Ende.

- Zu **Heinz v. Foerster**, siehe <http://beat.doebe.li/bibliothek/p00005.html>
- **Wilfrid Bach**: *Gefahr für unser Klima – Wege aus der CO₂-Bedrohung durch sinnvollen Energieeinsatz*, Verlag C.F. Müller GmbH, Karlsruhe, 1982
- **Claude Mandil**: *Weltweite Energiekrise möglich – IEA warnt*, zitiert bei n-TV.de, <http://n-tv.de/575088.html>, 3.9.2005
- **Dr. Colin J. Campbell**: *Die Erschöpfung der Welterdölreserven*, Vortrag an der TU Clausthal <http://www.geologie.tu-clausthal.de/Campbell/vortrag.html>
- **Matthew R. Simmons**: *Twilight in the Desert – The coming Saudi Oil Shock and the World Economy*, John Wiley & Sons Inc., Hoboken NJ, 2005
- **DIW**: *Deutsches Institut für Wirtschaft: Katrina verursacht 600 Milliarden Dollar Schaden*, zit. bei RP-Online, <http://www.rp-online.de/public/article/nachrichten/wissenschaft/special/klimawandel/klimapolitik/106068/klimawandel/klima-politik/106068>, 8.9.2005
- **Christopher Flavin**: *World Watch schlägt Alarm – Katastrophe war „Weckruf“*, zitiert bei n-TV.de, <http://n-tv.de/575079.html>, 2.9.2005
- **Jared Diamond**: *Kollaps – Warum Gesellschaften überleben oder untergehen*, S. Fischer Verlag GmbH, Frankfurt am Main, 2005
- **Kerry Emanuel**: *Increasing destructiveness of tropical cyclones over the past 30 years*, Nature Vol. 436, p. 686-688, 4.8.2005, <ftp://texmex.mit.edu/pub/emanuel/PAPERS/NATURE03906.pdf>
- **HWWI**: *Ölpreis bei 120 Dollar?* Studie des Hamburgischen Weltwirtschafts-Instituts (HWWI) zur Ölpreisentwicklung, zitiert bei n-TV.de, 14.7.2005, <http://n-tv.de/555978.html>
- **Josh Vernon** in „*Im Auge des Sturms*“, Film gezeigt im ZDF am 11.10.05 zitiert nach <http://www.zdf.de/ZDFde/inhalt/31/0,1872,2382879,00.html>, weitere Links zum Thema: <http://coastal.er.usgs.gov/hurricanes/charley/> und http://www.g-o.de/index.php?cmd=focus_detail2&f_id=164&rang=8
- **Joachim Bublath**: *Chaos im Universum*, Droemersch Verlagsanstalt Th. Knauer Nachf., München, 2001
- **Susan Hoy Hassol (ACIA)**: *Der Arktis-Klima-Report*, Convent-Verlag GmbH, Hamburg, 2005 weitere Links: <http://www.acia.uaf.edu/> und <http://www.acia.uaf.edu/pages/overview.html> (freier download) sowie Meldung über Auftauen des Permafrostbodens <http://n-tv.de/565585.html>
- **Stefan Rahmstorf**: *Treibhaus Erde*, Buchbeitrag zum Kirchentag 2005, zitiert nach PDF-Dokument auf der Homepage <http://www.pik-potsdam.de/~stefan/> unter dem angegebenen Titel, freier download der Datei möglich
- **Wally Broecker**: Homepage <http://www.aip.org/history/climate/index.html>
- **Claudia Kemfert**: *Weltweiter Klimaschutz: sofortiges Handeln spart hohe Kosten*. Wochenberichte des DIW Berlin, 72. Jahrgang, Nr. 12-13, S. 209-215, 23.3.2005, http://www.wind-energie.de/fileadmin/dokumente/Themen_A-Z/Klimafolgen%20und%20Klimaschutz/DIW_Klimastudie.pdf
- **Tacoma Narrows Informationsmaterial** aus Wikipedia und weitere Links <http://de.wikipedia.org/wiki/Tacoma-Narrows-Br%C3%BCcke> und <http://www.enm.bris.ac.uk/anm/tacoma/tacoma.html>
- **K. Yusuf Billah** u. **Robert H. Scanlan**: *Resonance, Tacoma Narrows bridge failure, and undergraduate physics textbooks*, American Journal on Physics, 59(2), p. 118-124, <http://www.ketchum.org/billah/Billah-Scanlan.pdf> February 1991
- **Martin Braun**: *Differentialgleichungen und ihre Anwendungen*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, 1994
- **Jimmy Carter**: *The Malaise Speech*, 15 July 1979, in: *American Political Speeches*, S. 91-102, Philipp Reclam jun., Stuttgart, 2005, siehe auch http://www.pbs.org/wgbh/amex/carter/filmmore/ps_crisis.html
- **Der Spiegel**: *Weltmacht ohne Strom*, S. 96-111, Nr. 34, 18.8.2003
- **Der Gegenstandspunkt**: *Blackout: Die politische Ökonomie marktwirtschaftlicher Stromversorgung*, Gegenstandspunkt-Verlag, München, Nr. 04-03, S. 109-124, 2003 – hieraus entnommen die Zitierung der *National Energy Policy Group* und von *Spencer Abraham* auf S. 13 des Textes
- **Eberhard Thöne** u. **Dr. rer. pol. Ulrich Fahl**: *Energiewirtschaftliche Gesamtsituation*, BWK - Das Energie-Fachmagazin, Bd. 57 Nr. 4, Springer VDI-Verlag, Düsseldorf, S. 28-43, 2005, <http://www.ebwk.de/bwk/>
- **Johannes Eber**: *Dem Blackout ein Stück näher*, Südkurier vom 5.12. 2003, siehe auch <http://www.abb.com/global/abbzh/abbzh251.nsf!OpenDatabase&db=/global/gad/gad02181.nsf&v=10E&e=us&m=100A&c=688DA9E7938642E5C1256DF80032378E>

- **IEEE/PES Power System Stability Subcommittee Special Publication** *Voltage Stability Assessment: Concepts, Practices and Tools, Final Document, Ch.2*, August 2002, <http://eceserv0.ece.wisc.edu/~dobson/PAPERS/WGchapter02.pdf>
- **NZZ Online:** *Vom Stromnetz der Gegenwart zum Energienetz der Zukunft*, 14.9.2005, <http://www.nzz.ch/2005/09/14/ft/articleD2WT7.print.html>
- **Dr. Michael Fette:** *Informationen siehe seine Homepage* <http://www.systemdynamik.de/index.html>
- **Bulimie – die Facharbeit einer Betroffenen** (anonym) von der Seite <http://www.heisshunger.net/> unter der Adresse http://www.heisshunger.net/Navigation/Uber_uns/Nina/Facharbeit/komplett.doc
- **Carl Amery und Hermann Scheer:** *Klimawechsel – Von der fossilen zur solaren Kultur*, Verlag Antje Kunstmann GmbH, München, 2001
- **Scientific American/Spektrum der Wissenschaft** *Special Issue: Crossroads for Planet Earth*, September 2005 http://www.sciamdigital.com/index.cfm?fa=Products.ViewIssuePreview&ARTICLEID_CHAR=A2249472-2B35-221B-6582E19333D9E336 und vom Oktober 2005 http://www.wissenschaft-online.de/spektrum/pdf/frei/SDW_05_10_S003.pdf
- **Gaia-Hypothese** *Erklärung nach Wikipedia* <http://de.wikipedia.org/wiki/Gaia-Hypothese>, Stand April 2006
- **Ilya Prigogine und Isabelle Stengers:** *Dialog mit der Natur – Neue Wege naturwissenschaftlichen Denkens*, Serie Piper, Piper-Verlag, München Zürich, 1993
- **Barry Commoner:** *Energieeinsatz und Wirtschaftskrise*, Rowohlt-Verlag, Reinbek bei Hamburg, 1977
- **Michael Mielke:** *Berlins Osama bin Laden*, Welt am Sonntag, 2.3.2003 <http://www.wams.de/data/2003/03/02/46964.html>
- **Stefan Suchalla:** *Maison de France*, EIKON Media, Berlin, 2003 http://www.german-cinema.de/archive/film_view.php?film_id=1248 und http://www.indifilm.de/deutsch/projects_maisondefrance.html
- **Christian Geyer (Hrsg.):** *Hirnforschung und Willensfreiheit*, edition suhrkamp 2387, Suhrkamp-Verlag, Frankfurt am Main, 2004
- **Peter Bieri:** *Das Handwerk der Freiheit – Über die Entdeckung des eigenen Willens*, S. Fischer Verlag GmbH, Frankfurt am Main, 2005
- **Florian Staeck:** *Hirnforschung und die Vermessung des freien Willens*, Ärzte Zeitung online, 10.2.2005, siehe nachfolgenden Link <http://www.aerztezeitung.de/docs/2005/02/10/024a0801.asp?cat=>
- **Spiegel Online:** *Ich bin schlimmer als eine Bestie – Serienmörder in der Ukraine*, 15.8.05, <http://www.spiegel.de/panorama/0,1518,369847,00.html>
- **Hermann Haken u. Günter Schiepek:** *Synergetik in der Psychologie*, Hogrefe-Verlag, Göttingen, 2005
- **Ernst Peter Fischer u. Klaus Wiegand (Hrsg.):** *Die Zukunft der Erde*, Fischer Taschenbuch Verlag, Frankfurt am Main, März 2005
- **Bobby Jordan:** „*There’s no doubt about it that we’re warming up the climate. We’re making a really big problem*“, Sunday Times South Africa, 2.4.2006, <http://www.suntimes.co.za/Articles/TarkArticle.aspx?ID=1976680>
- **Alexander Buschenreuther:** *Unser Ende ist euer Untergang*, Lamuv-Verlag, Göttingen, 8. aktualisierte Auflage, Juni 2004
- **Thomas Banyacya Sr.:** *The Hopi Message to the United Nations General Assembly*, December 10 1992, Einzeldruck, erhältlich über den Autor
- **Roswita Königswieser u. Jürgen Gebhardt:** „*Das Unhörbare hören*“ in *Teamplayer trotz Schleudersitz?* Web-Essay, S. 15, in http://coachingdachverband.at/downloads/Artikel_Teamplayer_Koenigswieser.pdf
- **John Brockman (Hrsg.):** *Die nächsten fünfzig Jahre – Wie die Wissenschaft unser Leben verändert*, Ullstein List-Verlag, München, 2002
- **James Gustave Speth:** *Wir ernten, was wir säen*, C.H. Beck Verlag, München, 2005
- **Richard Heinberg:** *The Party’s Over*, Riemann Verlag, München, 2004
- **Franz Hinkelammert:** *Kultur der Hoffnung*, Matthias-Grünwald-Verlag, Mainz, Edition Exodus, Luzern, 1999
- **Hermann Scheer:** *Energieautonomie*, Verlag Antje Kunstmann, München, 2005
- **Jeremy Leggett:** *Peak-Oil - Die globale Energiekrise, die Klimakatastrophe und das Ende des Ölzeitalters*, Kiepenheuer & Witsch, Köln, 2006
- **Ronald Wright:** *Eine kurze Geschichte des Fortschritts*, rowohlt-Verlag, Reinbek bei Hamburg, 2006
- **Hans-Josef Fell, Carsten Pfeiffer (Hrsg.):** *Chance Energiekrise - Der solare Ausweg aus der fossil-atomaren Sackgasse*, SOLARPRAXIS AG, 2006

Der vorliegende Essay dient ausschließlich NICHT-kommerziellen Zwecken, insbesondere aber der Information über den kritischen Zustand unserer Welt. Kopien, Zitierung und Weitergabe des Textes sind daher nicht nur erlaubt, sondern ausdrücklich erwünscht.

Dennoch gilt: *Copyright by Dr. Thomas Fritsch*

Danksagungen:

Mein Dank gilt der NASA für das Titelbild auf S.1 und S.2 sowie für die Saturnringe in Abb. 3. Für das Blackout-Bild in Abb. 1 geht mein Dank an John Wehr (NY), für das in Abb. 10 (Toronto) an A. Stawickie (CP/AP) und den SPIEGEL. Für die Hurrikan-snapshots in Abb. 4 und 5 bedanke ich mich bei Josh Vernon, für die Bilder zum Klimadrama in der Arktis (Abb. 6-8) bei Prof. Rahmstorf und der Organisation ACIA. Mark Ketchum danke ich für die Bereitstellung der Tacoma-Narrows-Brücken-Bilder (von dort Abb. 9). Der ETRANS AG (Schweiz) danken wir für die freundliche Genehmigung zum Abdruck der Grafik in Abb. 11. Mein besonderer Dank gilt jedoch Dr. Michael Fette, der nicht nur die Abb. 14-16, 18 und 19 beisteuerte, welche ich nur geringfügig zu ändern hatte, sondern mir in vielen Diskussionen im Lauf des letzten Jahres seine Zeit und sein Wissen schenkte. Recht herzlich bedanke ich mich auch bei der Kunsthalle Würth in Künzelsau für ein Foto des „Vampir“ (Abb. 23). Bei Travelsphere (www.travelsphere.co.uk) bedanke ich mich für das kostenfreie Bild der Nanjing Road in Shanghai (Abb. 2). Dem team von nano bei 3sat danke ich für die Filmsequenz über Blackouts in Shanghai, der ich Abb. 13 entnahm. An Stefan Suchalla besten Dank für seinen Film „Maison de France“ (Abb. 21). Dem „Scientific American“ danke ich für das Themenheft zu „Crossroads für Planet Earth“ (Abb. 20) und abschließend möchte ich meinen tiefen Dank an Thomas Banyacya Sr. (welcher am 6.2.1999 starb) für die Inspiration ausdrücken, die er mir an einem Nachmittag am 12. April 1993 gab.



BRAIN² - Soft Computing & Consulting
Dr. rer. nat. Dipl.-Math. Thomas Fritsch
Katharinengasse 4a
D-97286 Sommerhausen
email: TFritsch@brainn.de

Der Firma A.Eberle GmbH & Co. KG und insbesondere Herrn Lothar Mayer bin ich sehr zu Dank verpflichtet für die kostenlose Plattform, die sie mir mit diesem Sonderdruck zur Verfügung stellen, wodurch es mir möglich ist, meine Gedanken einem breiteren Publikum zu unterbreiten. Dafür und auch für die langen und intensiven Diskussionen nochmals herzlichen Dank! Darüber hinaus haben noch viele andere Menschen durch verschiedenste Vorschläge und Hilfen zum Zustandekommen dieses Essays beigetragen. Ich möchte mich daher bei den vielen Menschen bedanken, die mir beim Verfassen dieses Essays geholfen haben, sei es mit Kritik und Ratschlag, sei es auch alleine durch ihre Meinung zum Thema. Vielen Dank für das kritische Lesen und Korrigieren sowie die zahlreichen Verbesserungstipps insbesondere an Dr. Reinhart Lemke (verstorben am 8.5.2006), Mathias Nölke, Angelika Winkler, Werner Haussel, Martin Hofbeck, Annemarie Schneider und Werner Lang.

September 2006, Thomas Fritsch

A.Eberle GmbH & Co. KG

Aalener Str. 30/32
D-90441 Nürnberg
Tel.: +49 (0) 911 / 62 81 08-0
Fax: +49 (0) 911 / 62 81 08 96

<http://www.a-eberle.de>
info@a-eberle.de