

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 89 (1971)  
**Heft:** 13

**Artikel:** Umweltprobleme aus der Sicht der technischen Entwicklung  
**Autor:** Basler, E.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-84805>

#### Nutzungsbedingungen

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

#### Conditions d'utilisation

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

#### Terms of use

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

**Download PDF:** 21.02.2026

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

## Umweltprobleme aus der Sicht der technischen Entwicklung

DK 502.7:130.2

Von Dr. sc. techn. E. Basler, Zürich. Erweiterte Fassung eines Vortrages, der im Rahmen des Symposiums «Schutz unseres Lebensraumes» an der ETH Zürich vom 10. bis 12. November 1970 gehalten wurde<sup>1)</sup>

### 1. Einleitung

Lokale Umweltprobleme wie Luft- und Gewässerverschmutzung, Lärm, Klimaveränderungen, Aussterben von Tieren und Pflanzen erscheinen noch heute den meisten Menschen wie Schmutzflecken am sonntäglichen Kleid unserer Kulturlandschaft. Wir trösten uns mit der Feststellung, dass unsere Umwelt verschmutzt wurde seit es Menschen gibt, und dass das unsauberste Quartier im zwanzigsten Jahrhundert hygienisch immer noch viel besser dran ist als die ummauerten Städte des Mittelalters. Dieselbe Technik, so pflegen wir zu sagen, die eine Umweltbeeinträchtigung verursacht, ist auch in der Lage, diese zu mildern, vorausgesetzt, dass hiefür die finanziellen Mittel verfügbar gemacht werden. Die meisten Menschen fassen deshalb die unangenehmen Begleiterscheinungen unserer technisch-wirtschaftlichen Entwicklung etwa so auf, als würde der feierlichen Prozession des Fortschritts in die Zukunft ein etwas lästiger und ungepflegter Hund folgen, der zur Ordnung zu bringen es nur einiger ernsthafter Anstrengungen in Verwaltung und Gesetzgebung bedürfe.

Dieses Bild trügt. Wer immer sich bemüht, tiefer in das Wesen der sich abzeichnenden weltweiten Umweltveränderungen einzudringen, muss mit Erschrecken erkennen, dass es dabei um nichts geringeres geht als darum, dass der Mensch auf unserem Planeten bereits zahlreich und mächtig genug geworden ist, um Prozesse einzuleiten, die von der gleichen Größenordnung sind, wie die Kräfte der Natur. Vorerst freilich wird die Natur von uns nur begrenzt überfordert. Sie erfährt durch unsere Tätigkeit Überbeanspruchungen, die im Hinblick auf noch brachliegende Reserven zugelassen werden könnten. Die Ungeheuerlichkeit unserer Eingriffe wird erst erkennbar, wenn uns Geschwindigkeit und Wucht unseres so genannten Fortschrittes bewusst wird. Deshalb soll im folgenden versucht werden, mit ein paar Begriffen und Modellen gewisse Ursachen des Wachstums zu ergründen und die zeitliche Veränderung der Umwelt unsbewusster zu machen.

<sup>1)</sup> Der Gesamtbund mit allen Vorträgen dieses Symposiums wird demnächst im Verlag Huber & Co., Frauenfeld, erscheinen.

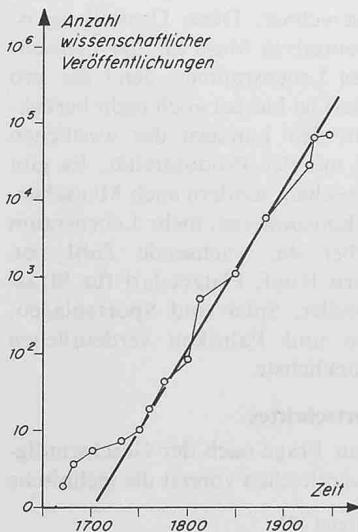


Bild 1 (links). Das quantitative Wachstum der Wissenschaften als Funktion der Zeit

### 2. Wissenschaft und Technik als Voraussetzungen der Umweltveränderungen

Nach herkömmlicher Vorstellung besteht der Fortschritt darin, dass wir unsern Lebensstand, zum Beispiel das Brutto-sozialprodukt pro Kopf, dauernd steigern. «You never had it so good» lautete der alle vier Jahre in den USA wiederkehrende Wahlschlager der regierenden Parteien. Wirtschaftswissenschaftler und Ingenieure sind sich darüber einig, dass diese gewaltige Steigerung des Wohlstandes in den letzten Jahrhunderten nur möglich war dank dem «technischen Fortschritt», der auf Erfindungen, Entdeckungen und Rationalisierungen beruht. Seit gut 250 Jahren wird diese Entwicklung aber nicht mehr dem Zufall überlassen, sondern systematisch gemehrt. Hiebei nimmt die *Wissenschaft*, welche Forschung und Lehre umschliesst, die erste Stelle ein. Forschung insbesondere ist die geistige Tätigkeit mit dem Ziel, zu neuen Erkenntnissen zu gelangen. Die *Technik* als eine Tochter der Wissenschaft setzt die Kenntnis der Naturgesetze voraus und umfasst alle Mittel und Tätigkeiten, mit denen der Mensch seine Umwelt gestaltet, die Natur in seinen Dienst stellt, nützt, ausnützt, sogar abbaut und zerstört. Wenn wir nicht bis auf die geistigen Ursachen zurückgehen wollen, so können wir Wissenschaft und Technik somit als Treibkräfte ansehen, welche unsere Umwelt umgestalten und zugleich dem Menschen zunehmende Macht über die Natur verleihen. Die *Heilkunde*, eine weitere Tochter der Wissenschaft, hat außerdem das frühere Gleichgewicht von Geburt und Tod verändert, so dass, weltweit gesehen, auch ein rasches Bevölkerungswachstum eingesetzt hat.

Die Bilder dieses Aufsatzes sollen uns vergegenwärtigen, wie sich die für die Umweltveränderung entscheidenden Faktoren im Lauf der Zeit gewandelt haben. Bild 1 zeigt ein Ergebnis aus Untersuchungen von De Solla Price [1] über das weltweite Wachstum der Wissenschaften. Es ist hier in logarithmischem Massstab die Zahl der wissenschaftlichen Zeitschriften in Abhängigkeit von der Zeit aufgetragen. Man beachte die

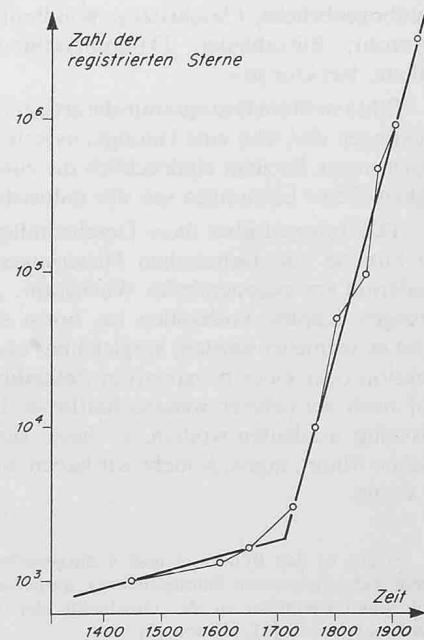


Bild 2 (rechts). Die Zahl der registrierten Sterne als ein Mass für das menschliche Umweltbewusstsein und der wissenschaftlichen Leistung

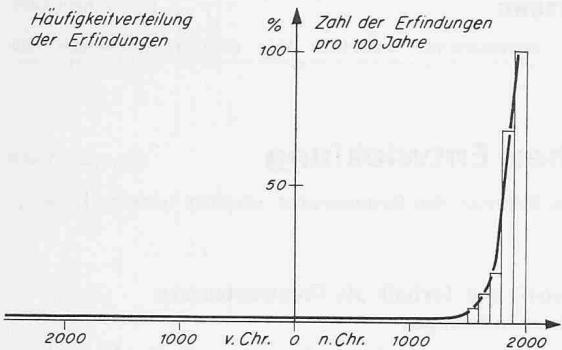


Bild 3. Häufigkeitsverteilung der wichtigsten Erfindungen. Prozentuale Zahl der Erfindungen in hundert Jahren

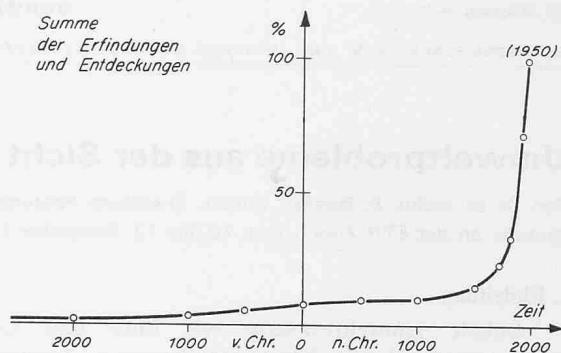


Bild 4. Die kumulierte Summe von Erfindungen und Entdeckungen als Funktion der Zeit. Diese Summe kann bis zu einem gewissen Grad als Mass angesehen werden für die Macht des Menschen, die Natur zu nützen, sie zu unterwerfen

**Zuwachsraten:** Seit dem Erscheinen der «Philosophical Transactions» 1662 in London, in denen Newton kurz vor 1700 seine Gravitationsgesetze veröffentlichte, hat sich diese Zahl ungefähr alle 15 Jahre verdoppelt oder alle 50 Jahre verzehnfacht. Es ergeben sich dieselben Zuwachsraten, wenn andere Massenzahlen für das Wachstum der Wissenschaften untersucht werden, beispielsweise die Zahl der Publikationen oder die momentane Anzahl der in Forschung und Entwicklung tätigen Personen.

In Bild 2 ist die vom Menschen registrierte Zahl der Sterne dargestellt [2]. Wie ersichtlich, trug das Mittelalter noch wenig zur Vergrößerung dieser Zahl bei, die für das Umweltbewusstsein kennzeichnend ist. Erst um 1700 hat mit dem Zeitalter der Aufklärung ein schnelleres Wachstum eingesetzt, und zwar mit einer Verdoppelung alle 19 Jahre. Um diese Zeitwende hat die organisierte, systematische Mehrung der Erkenntnisse, also die von der Öffentlichkeit getragene wissenschaftliche Forschung eingesetzt. Der Funktionsverlauf wäre ähnlich, wenn zum Beispiel die Zahl der kartographisch registrierten Teile unserer irdischen Umwelt aufgetragen würde.

Die nächsten Bilder beziehen sich bereits auf Leistungen der Technik in einem Zeitraum von sechs Jahrtausenden. Rund 250 der wichtigsten Erfindungen, Entdeckungen und Entwicklungen sind hierbei ausgewertet worden. Jede einzelne Leistung stellt bis zu einem gewissen Grad ein Markstein in der Fähigkeit dar, die Natur dem Menschen untertan zu machen [3]. Beispiele hierzu sind das Rad, die Bronzelegierung, Steinbogenbrücke, Flaschenzug, Windmühlen, Schwarzpulver, Fernrohr, Blitzableiter, Dampfmaschine, Auto, Flugzeug, Rakete, Reaktor usw<sup>2)</sup>.

Bild 3 stellt ein Histogramm derartiger Erfindungen und Entdeckungen dar, also eine Häufigkeitsverteilung der technischen Neuerungen. Es zeigt eindrücklich die zunehmende Geschwindigkeit dieser Leistungen seit der industriellen Revolution.

Das Integral über diese Geschwindigkeiten (Bild 4), also die Summe von technischen Neuerungen zeigt naturgemäß wiederum ein exponentielles Wachstum: Je mehr von diesem geistigen Kapital vorhanden ist, umso schneller und besser kann es vermehrt werden, vergleichbar etwa mit einer Kettenreaktion oder einer progressiven Zellteilung. – Wenn wir den Ruf nach vermehrter wissenschaftlicher Unterstützung etwas böswillig umdeuten wollten, so liesse sich, in Analogie zum reichen Mann, sagen, je mehr wir haben, umso mehr haben wir zu wenig.

<sup>2)</sup> Die in den Bildern 3 und 4 dargestellten Größen wurden in einem betriebsinternen Seminarbeitrag ausgewertet. Angabe über die wichtigsten Ereignisse in der Geschichte der Zivilisation finden sich unter anderem in [3], [4] und [5].

### 3. Die unmittelbaren Ursachen der Umweltbelastung

Bild 5 vergegenwärtigt ein exponentielles Wachstum in einem Zeitraum von etwa 8 Generationen oder 200 Jahren. Die jährliche Zuwachsrate wurde hierbei zu 3,3% angenommen; sie entspricht dem mittleren Wachstum des realen Bruttonsozialproduktes der Vereinigten Staaten seit ihrer Unabhängigkeit und auch ungefähr dem der übrigen zivilisierten Länder. Vergleichsrechnungen zeigen, dass die für die Umweltbelastung massgebenden Größen im Mittel ebenso schnell ansteigen wie das reale Bruttonsozialprodukt einer Nation. Als Beispiele hierfür könnten angeführt werden: die Ausbeutung von Erzen und Energieträgern, der Verbrauch von Wasser, die Veränderungen der Bodenoberfläche, die Größe des Zivilisationslärmes, die Gesamtmenge von Düngemitteln, Schädlingsbekämpfungsmitteln und anderes mehr. Einige dieser Größen übersteigen die hier wiedergegebenen Zuwachsraten noch wesentlich.

Bild 6 zeigt das weltweite Bevölkerungswachstum in einem Zeitraum von 12 000 Jahren<sup>3)</sup>. Auch in dieser Kurve spiegelt sich das explosive Wachstum wieder, das nach der industriellen Revolution einsetzt. Die gestrichelte Linie ist die Prognose für die nächsten 35 Jahre, falls es nicht gelingt, die gegenwärtige jährliche Zuwachsrate von 2% zu verringern. Die wesentlichen Ursachen für diese Entwicklung liegen in der Steigerung des Wohlstandes über das physiologisch notwendige Existenzminimum hinaus und in den Errungenschaften der Medizin und Pharmazeutik.

Vielleicht noch eindrücklicher zeigt Bild 7 die zunehmende Verknappung des individuell verfügbaren Lebensraumes: Während 7000 Jahre vor Christus noch eine Landfläche von 15 km<sup>2</sup> pro Person verfügbar war, sind es heute im Mittel nur noch 0,043 km<sup>2</sup> pro Person; Wüste, Gebirge, Eis, Wald, Tundra und Steppen miteingerechnet. Diese Darstellung ist aber immer noch kein repräsentatives Mass für die Umweltbelastung oder Verengung des Lebensraumes, denn der pro Person zunehmende Raumbedarf ist hierbei noch nicht berücksichtigt. Dieser steigt aber in den Ländern der westlichen Zivilisation fast proportional mit der Produktivität. Es gibt also nicht nur immer mehr Menschen, sondern auch Menschen, die mehr wollen, mehr Güter konsumieren, mehr Lebensraum beanspruchen. Statistiken über die wachsende Zahl von beispielsweise Wohnflächen pro Kopf, Platzbedarf für Straßen, Parkplätze, Garagen, Spitäler, Spiel- und Sportanlagen, Zweitwohnungen, Kiesgruben und Fabriken verdeutlichen diesen Sachverhalt aufs eindrücklichste.

### 4. Zur Geschwindigkeit des Fortschrittes

Kehren wir nun zurück zur Frage nach der Geschwindigkeit dieser Wandlungen, und vergleichen vorerst die technische

<sup>3)</sup> Gemittelte Werte aus [6] und [7].

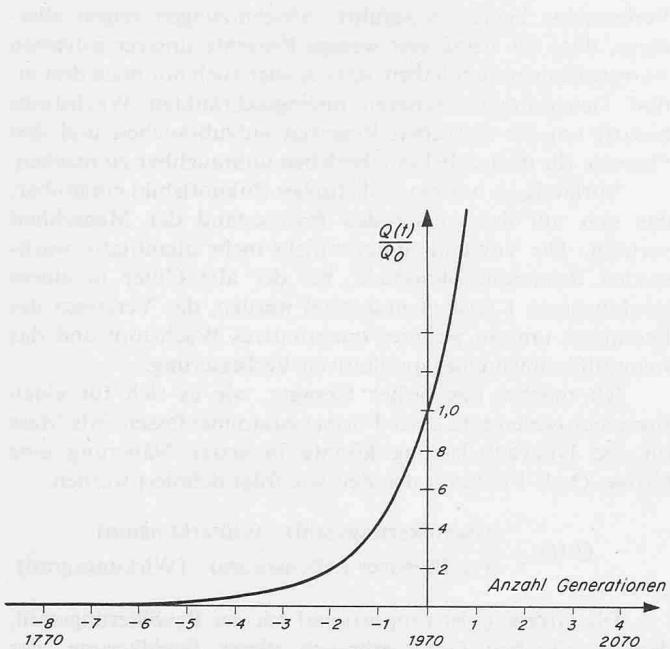


Bild 5. Ein exponentielles Wachstum im Zeitraum von acht Generationen bei einer 3,3prozentigen jährlichen Zunahme. Die für die Umweltsbelastung massgebenden Größen steigen im Mittel ebenso schnell an

Entwicklung (Bild 3) mit jener der natürlichen Umwelt. Um diese Geschwindigkeiten vergleichbar und bewusster zu machen, nehmen wir an, dass der Zeitraum von 170 Millionen Jahren in ein einziges Jahr komprimiert würde<sup>4)</sup>. Der Beginn dieser Zeitspanne in der Erdgeschichte wurde hier bewusst sehr spät gewählt, weil in der Triaszeit, bzw. im Januar unseres Modelljahres bereits eine dichte Vegetationsdecke unsere Kontinente überzog und auf dem Festland die Entwicklung der Säugetiere beginnt. Im März erscheinen die ersten Vogelarten. Im Mai neue Laubbäume wie Feigen, Magnolien, Pappeln. Der Juli bringt den Höhepunkt der Riesenreptilien. Im September sterben die Dinosaurier aus. Im Oktober beginnt die Entwicklung der Primaten und in der zweiten Novemberwoche diejenige der Hominiden, der Menschenaffen. Am 30. Dezember erscheinen unsere aufrecht gehenden und Steinwerkzeuge benützenden Vorfahren. Am 31. Dezember um 20 Uhr abends stirbt die Neandertaler-Gruppe aus. 30 Minuten vor Mitternacht beginnt der Mensch mit Agrikultur die Erdoberfläche erstmals zu beeinflussen. Innerhalb 20 Minuten hat sich all das abgespielt, was wir vorhin an technischen Leistungen seit der Erfindung des Rades kennengelernt haben.

Die zweite Expansion, nach derjenigen der Agrikultur, die mit der industriellen Revolution einsetzt, begann 36 Sekunden vor Mitternacht, Auto und Flugzeuge sind 12 Sekunden alt,

<sup>4)</sup> Der Gedanke eines Modelljahres wird dem Astronomen Heinrich Siedentopf zugeschrieben. Es gibt aber grundsätzlich sehr viele Möglichkeiten, um schwer vorstellbare Zeiträume, Entfernung oder Geschwindigkeiten linear in Modelle umzuwandeln, die unsern Sinnen bzw. der menschlichen Erfahrung zugänglich sind. Der tägliche Arbeitsweg ergibt ein besonders einprägsames Modell, hat aber den Nachteil, dass er individuell verschieden ist.

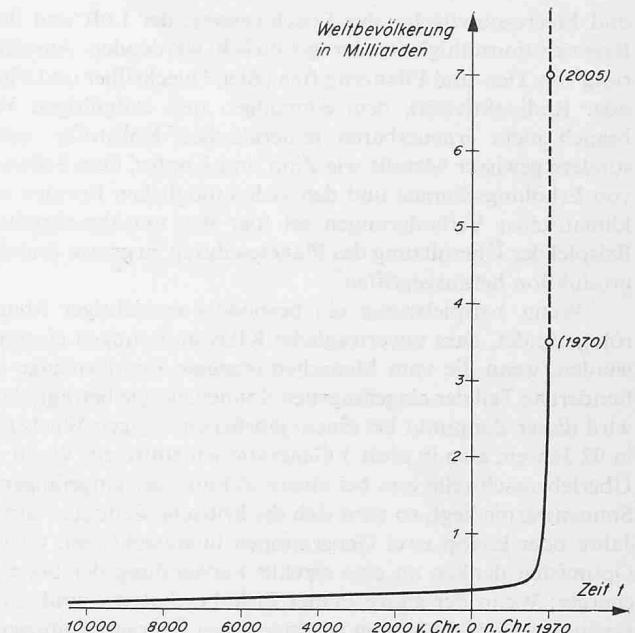


Bild 6. Das weltweite Bevölkerungswachstum in einem Zeitraum von 12 000 Jahren

und der Mensch ist im Begriff in weniger als 30 Sekunden alle flüssigen und gasförmigen fossilen Brennstoffe zu verbrennen, also das zu verbrauchen, was die Natur während diesem Jahr kontinuierlich abgelagert hat. Alle 4 Sekunden verdoppeln wir die gesamte bisher erreichte Produktion an Zivilisationsgütern – das entspricht dem früher erwähnten jährlichen Wachstum unseres realen Bruttonsozialproduktes von 3,3% — und alle 6,3 Sekunden verdoppelt sich eine irdische Spezies, nämlich der Homo sapiens.

Demgegenüber sind seit Christi Geburt, also innerhalb weniger als 6 Minuten, 200 Tierarten durch den Menschen ausgerottet worden, wovon 70 in unserem Jahrhundert, das sind 13 Sekunden im Modelljahr. Laut Angaben des World Wildlife Fund (WWF) sind 627 Vogel- und Säugetierarten von der unmittelbaren Ausrottung bedroht. Mit den Fischen, Amphibien, Reptilien und wirbellosen Tieren sollen es weit über tausend sein.

Von einem Interesse, besonders für unsere Jugend, dürfte die Frage sein, wann die expandierende menschliche Tätigkeit sich mit der Endlichkeit unseres Planeten nicht mehr verträgt. Diese Berechnungen mögen dem Laien fragwürdig erscheinen, weil wir wohl die gegenwärtigen Wachstumsraten, nicht aber jene Grenzwerte kennen, bei denen die Nutzungsmöglichkeiten erschöpft sein werden. Wer aber selber mit solchen Zahlen operiert hat, stellt fest, dass die Annahmen über das zulässige Tragvermögen einer Umweltbeanspruchung in weiten Grenzen variieren dürfen, ohne den Zeitpunkt der Erschöpfung dadurch wesentlich zu verschieben.

Von vielen möglichen Schranken unseres irdischen Lebensraumes wie etwa die gegebene Menge unserer Festland-

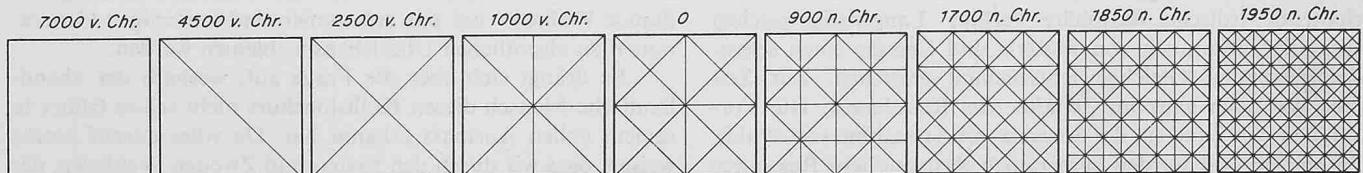


Bild 7. Bildliche Darstellung der Verknappung unseres irdischen Lebensraumes: Während 7000 Jahre vor Christus noch rund 15 km<sup>2</sup> Landoberfläche pro Person entfiel, sind es heute noch 0,043 km<sup>2</sup>. Hiebei ist der für die Umweltsbelastung und Verengung des Lebensraumes so wichtige, pro Person zunehmende Güter- und Raumbedarf noch nicht berücksichtigt

und Meeresoberfläche, des Frischwassers, der Luft und ihrer Regenerationsfähigkeit; der gefährlich werdenden Anreicherung von Tier- und Pflanzengiften (Blei, Quecksilber und Fluor oder Radioaktivität), dem einmaligen und endgültigen Verbrauch nicht erneuerbaren mineralischen Rohstoffe, insbesondere gewisser Metalle wie Zinn und Kupfer, dem Schwund von Erholungsräumen und den vielen möglichen Formen von klimatischen Veränderungen sei hier das unwahrscheinliche Beispiel der Überhitzung des Planeten durch zu grosse Energieproduktion herausgegriffen.

Wenn beispielsweise ein besonders vorsichtiger Meteorologe findet, dass unverträgliche Klimaänderungen eintreten werden, wenn die vom Menschen erzeugte Energiemenge der hundertste Teil der eingefangenen Sonnenenergie beträgt, dann wird dieser Zeitpunkt bei einem jährlichen 5%igen Wachstum in 92 Jahren, also in etwa 3 Generationen eintreten. Wenn die Überlebensschwelle erst bei einem Zehntel der eingefangenen Sonnenwärme liegt, so wird sich die kritische Zeidauer um 46 Jahre oder knapp zwei Generationen hinausschieben. Grosse Optimisten denken an eine direkte Verwendung der Sonnenenergie: Wenn der ganze Planet Erde beschattet – und somit verfinstert würde, könnten wir hier soviel Energie produzieren wie vorher von der Sonne eingefangen würde, ohne das Temperaturgleichgewicht zu stören. Leider bringt aber ein solcher Kunstgriff nur einen Grenzverzug von weiteren 46 Jahren, bzw. 8,3 Sekunden im Zeitraum unseres Modelljahres, vorausgesetzt natürlich, dass die jährliche Zuwachsrate dieselbe geblieben ist wie das im Mittel der letzten zwei Jahrhunderte der Fall war.

Noch haben wir eine letzte Hoffnung auf Ausflucht aus diesem verhängnisvollen Käfig, der uns so viele Schranken für das weitere Wachstum auferlegt, nicht gestreift: Die Hoffnung nämlich, dass es dem Menschen gelingen werde, unseren Sonnentrabanten zu verlassen und sich auf dem Mond oder einem andern Planeten häuslich niederzulassen. Um der heiklen Diskussion zu entgehen, wann das irdische Boot voll sei, soll hier ein anderer Weg der Argumentation eingeschlagen werden, um wenigstens zu zeigen, dass auch die unbeschränkte Vermehrung der Menschen früher oder später unter Kontrolle gebracht werden muss, wobei es uns sinnvoller erscheint, die Geburtenzahl zu beschränken als die Sterblichkeit mittels Krieg, Hunger, Seuchen oder Umweltvergiftungen und Zivilisationsschäden zu beschleunigen. Nehmen wir an, am Tage X in der Zukunft hätte das Raumschiff Erde seine Belastungsgrenze erreicht und alsdann flögen alle Überzähligen auf den nächsten Planeten. Mit einem fortwährenden zweiprozentigen Wachstum – wie das heute der Fall ist – wäre ein gleich grosser zweiter Planet in 35 Jahren auch gleich dicht gefüllt wie die Erde, denn wir verdoppeln uns ja innerhalb dieser Zeitspanne. In weiteren 35 Jahren wären vier Planeten voll, und in dreimal 35 Jahren bereits alle acht, und damit wäre auch das Sonnensystem, um im Zeitmaßstab unseres Modelljahres zu sprechen, innerhalb 19 Sekunden zu eng geworden.

## 5. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Was immer wir unternehmen, so ist festzustellen, dass unbeschränktes Wachstum auf beschränktem Raum unverträglich ist mit dem hoffentlich noch stärkeren Wunsch, dass der Mensch für ungezählte Generationen über eine lebenserhaltende irdische Biosphäre verfügt. Langfristig gesehen muss aller Verbrauch von Materie und Energie einen selbstregenerierenden Gleichgewichtszustand erreichen. Zur Zeit leben wir noch ganz im Zeitalter des Raubbaues: Die Vorkommen von Land (in der Schweiz mit Ausnahme von Wald), Wasser und Luft werden immer noch als unendliche Ressource angesehen, die man sich unbeschränkt nutzbar machen darf. Weiter benutzt man Luft und Wasser nicht nur als herrenloses Gut, sondern auch als Schuttstein, dem man alles

Verbrauchte kostenlos zuführt. Abschätzungen zeigen allerdings, dass wir heute erst wenige Prozente unserer irdischen Vorräte beansprucht haben, dass es aber auch nur noch drei bis fünf Generationen weiteren uneingeschränkten Wachstums bedarf, um die restlichen Reserven aufzubrauchen und den Planeten für menschliches Überleben unbrauchbar zu machen.

Vorläufig ist nur ein realistisches Zukunftsbild erkennbar, das sich mit dem dauernden Fortbestand der Menschheit verträgt: Die Vorstellung einer nicht mehr quantitativ wachsenden Raumschiffökonomie, bei der alle Güter in einem geschlossenen Kreislauf umgesetzt werden, das Verlassen des Bemühens um ein weiteres quantitatives Wachstum und das Inangriffnehmen einer qualitativen Verbesserung.

Ich möchte das bisher Gesagte, wie es sich für einen Ingenieur geziemt, in einer Formel zusammenfassen. Als Mass für die Umweltbelastung könnte in erster Näherung eine Grösse  $Q$  als Funktion der Zeit wie folgt definiert werden

$$Q(t) = \frac{(\text{Bevölkerungszahl}) \times (\text{Güterkonsum})}{(\text{verfügbarer Lebensraum}) \times (\text{Wirkungsgrad})}$$

Die Grösse  $Q$  ist proportional mit der Bevölkerungszahl, dem spezifischen Güterverbrauch dieser Bevölkerung, der vorläufig noch proportional zur Produktivität wächst. Sie ist umgekehrt proportional zum verfügbaren Lebensraum und einem Wirkungsgrad, der zum Ausdruck bringen soll, wie weit diese Bevölkerung es verstanden hat, sich umweltgerecht zu verhalten; später würden wir sagen wie fortschrittlich oder zukunftsorientiert sie ist. Da wir den verfügbaren Lebensraum durch Massenauswanderung auf andere Planeten mindestens für die nächsten paar entscheidenden Generationen nicht wesentlich erweitern können, bleiben uns nach dieser Formel noch drei Faktoren, um diese Masszahl der Umweltbelastung in tragbaren Schranken zu halten:

Erstens ist die weitere weltweite Bevölkerungsvermehrung zum Stillstand zu bringen,

Zweitens ist der Güterkonsum zu drosseln; es sind also weniger materielle Güter zu verbrauchen, dafür mehr Gewicht auf die Umwelt nichtbelastende Tätigkeiten zu legen wie Kunstschaffen und Kunstgenuss, Bildung, Sport, Freizeitgestaltung (allerdings ohne Motoren),

Drittens ist der Wirkungsgrad unserer zivilisatorischen Tätigkeit in Bezug auf die Umweltbeanspruchung zu verbessern, beispielsweise durch Abbau oder Neutralisation der Abfälle (Kläranlagen, Müllverwertung), haushälterischer Umgang mit Boden, Luft und Wasser, sparsamer und vorsichtiger Einsatz von Schädlingsbekämpfungsmitteln, Entwicklung wirksamerer Verbrennungsmotoren, sinnvollere Nutzung des verfügbaren Lebensraumes aufgrund planerischer Massnahmen in Bereichen der weiteren Besiedlung, Industrialisierung, Verkehrserschliessung und Energieerzeugung, aktiver Landschaftspflege und anderes mehr.

Zusammenfassend lässt sich erkennen, dass die Umweltprobleme nichts anderes darstellen, als erste Kollisionserscheinungen einer expandierenden menschlichen Tätigkeit auf beschränktem Lebensraum. Es dürfte aus der Sicht der technischen Entwicklung klar geworden sein, dass Umweltschutz kein blosses Mode- oder Schlagwort ist, sondern Probleme beinhaltet, die – wie am Horizont aufsteigende dunkle Wolken – auf uns zukommen und in wenigen Generationen zu eigentlichen Überlebensproblemen werden.

Es drängt sich aber die Frage auf, weshalb der abendländische Mensch diesen Kollisionskurs nicht schon früher in seinem vollen Ausmass erkannt hat. Da wäre darauf hinzuweisen, dass wir durch den Ersten und Zweiten Weltkrieg, der dazwischenliegenden Krise, der anschliessenden Produktion von Massenvernichtungswaffen in unserer Existenz unmittelbar so stark bedroht waren, dass wir den Blick nicht frei hatten

für die längerfristigen Entwicklungen. Dazu gesellt sich noch der Umstand, dass erst die Raumfahrt mit den Bildern unseres Planeten Millionen von Menschen zum Bewusstsein gebracht hat, wie eng begrenzt und klein sich unser einsames, kostbares Raumschiff in dieser Öde des Weltraumes ausnimmt. Dieser farbenprächtige Ball ist alles, was uns gegeben wurde und auf ihm leben wir entweder noch für ungezählte Generationen oder gehen gemeinsam zu Grunde. Die Tatsache, dass der Mensch bei weiterem Raubbau, also ohne Rücksichtnahme auf die Regenerationsfähigkeit unserer Biosphäre, einem Schmarotzer gleicht, der allmählich so zahlreich und gierig wird, dass er den Wirt zerstört, auf dem er lebt, ist uns erst jetzt zum Bewusstsein geworden.

Was können wir tun, um das auf uns zukommende Unheil abzuwenden? Sicher liegt es nicht in unserem Vermögen, das vorwärtsstürmende Ungeheuer des wirtschaftlichen Wachstums plötzlich abzubremsen, bzw. umzulenken. Es wird noch einige Zeit dauern, noch weit grösserer Umwelt- und Zivilisationsschäden bedürfen, ein allgemein spürbares Absinken der Qualität unseres Lebens eintreten, bis wir die ursprünglich sicher gerechtfertigte, inzwischen aber zur heiligen Kuh gewordene Steigerung des quantitativen Wachstums durch neue, umweltverträgliche Zielsetzungen ersetzen. Ziele, die – wie man so schön sagt – den Menschen wieder mit all seinen Empfindungen und Bedürfnissen in den Mittelpunkt setzen, die nicht nur auf den quantifizierbaren Wohlstand, sondern umfassender, des Menschen Wohlfahrt ausgerichtet sind. Ziele, die den Menschen von Raubbau und kurzfristigem Gewinnstreben weg und zur Harmonie mit der natürlichen Umwelt führen und die verträglich sind mit seiner Verantwortung gegenüber den kommenden Generationen.

Für diese Zielsetzungen können wir uns als Staats- und Weltbürger einsetzen. Als Ingenieure, Architekten, Planer und Unternehmer haben wir aber die Möglichkeit, wenigstens unseren täglichen Entscheidungsspielraum auszunützen in der Hoffnung, dass steter Tropfen auch diesen Stein aushöhlt. Eine gemeinsame Leistung, die zum Beispiel der Schweizerische Ingenieur- und Architekten-Verein an die Hand nehmen könnte, wäre ein «Handbuch für umweltgerechtes Bauen». Eine Sammlung von erkannten Einflussfaktoren, konstruktiven

Möglichkeiten und Ideen, um das von uns geforderte Bauvolumen wenigstens so rücksichtsvoll wie möglich in unsere natürliche Umgebung einzupassen. Dass eine solche Kommissions- oder Gemeinschaftsarbeit, an der sinnvollerweise Bauingenieure, Architekten, Planer, Kultur- und Forstingenieure, Biologen und Mediziner zusammenarbeiten sollten, ein grosses Umdenken in unseren Berufskreisen zur Folge haben könnte, dürfte eine der positivsten Auswirkungen sein.

Wenn der alternde Faust die sinnvollste irdische Tätigkeit darin sah, Land urbar zu machen, zu kolonisieren, Dämme und Kanäle zu bauen und Philemon zu seiner Baucis sagen konnte:

Kluger Herren kühne Knechte  
gruben Gräben, dämmten ein  
schmälerten des Meeres Rechte,  
Herr an seiner Statt zu sein

so wird uns Bauleuten an der Schwelle des dritten Jahrtausends die Aufgabe zufallen, des Meeres Rechte zu vertreten, als Anwalt der Natur zu amten und dafür zu sorgen, dass wir auf die Dauer in Harmonie mit ihr leben können.

Während Jahrtausenden war die Eroberung der Natur des Menschen höchstes Ziel. Können wir die archetypischen Vorbilder, die kulturellen Vorstellungen, die sich im Laufe der Zeit gebildet haben, den neuen Verhältnissen anpassen? Wenn wir die gleiche Schaffenskraft, Erfindungsgabe und Ausdauer für die neuen Aufgaben aufwenden, die uns diesen gewaltigen Triumph über die Kräfte der Natur ermöglicht haben, so braucht auch die Zukunft für unsere Jugend nicht zu einer bedrückenden Vision zu werden, sondern viel eher zu einer hoffnungsvollen Herausforderung.

Adresse des Verfassers: Dr. E. Basler, Ingenieurbüro Basler & Hofmann, Forchstrasse 395, 8008 Zürich.

#### Literaturverzeichnis

- [1] De Solla Price: Little Science, big Science. Columbia University Press 1963.
- [2] Bertaux Pierre: Mutation der Menschheit, Scherz Verlag 1963.
- [3] Great Ages of Man. Time-Life Book Series.
- [4] U. Eco and G. B. Zorzoli: The Picture History of Inventions. New York 1963, Macmillan.
- [5] Singer, Holmyard, Hall and Williams: A History of Technology. University Press 1958.
- [6] «Futures», Vol. 1, No. 4, June 1969, p. 341.
- [7] F. Baade: Der Wettkauf zum Jahr 2000.

## Zur Optimierung und Regelung von elektrischen Verbundnetzen unter Einsatz von Prozessrechnern

DK 621.311.1:681.31

Von H. Bühler, Ciona di Carona

### 1. Einleitung

Ein interessantes Anwendungsgebiet für die modernen Optimierungsverfahren und den Einsatz von Prozessrechnern stellt der Betrieb von grossen elektrischen Verbundnetzen dar. Hier ist die Energieproduktion in den einzelnen Kraftwerken so zu steuern, dass die Kosten für die Energieproduktion minimal werden. Beim Verbundbetrieb von hydraulischen und thermischen Kraftwerken kann man mehrere einander übergeordnete Optimierungsstufen unterscheiden und zwar:

- Langzeit-Optimierung
- Mittelzeit-Optimierung
- Kurzzeit-Optimierung
- Momentan-Optimierung

Die Langzeit-Optimierung erstreckt sich über ein Jahr, wobei der voraussichtliche Wasserhaushalt so eingeteilt wird, dass die in den thermischen Kraftwerken zu erzeugende Energie mit minimalen Kosten produziert werden kann. Die Mittelzeit-Optimierung umfasst einen Zeitraum von einer Woche bis einen Monat. Es werden die Ergebnisse der Langzeit-Optimierung den laufenden Verhältnissen angepasst und bestimmt, welche Kraftwerke zu welchen Zeitabschnitten in Betrieb zu nehmen sind. Bei der Kurzzeit-Optimierung wird das

Betriebsprogramm für den folgenden Tag festgelegt, und zwar so, dass die voraussichtliche Last optimal auf die einzelnen Kraftwerke verteilt wird, das heisst, dass die Produktionskosten minimal werden. Bei der Momentan-Optimierung wird die Leistung der einzelnen Kraftwerke so beeinflusst, dass die Produktionskosten in jedem Moment minimal sind.

Die Momentan-Optimierung als Netzregelung ist im «On-line»-Betrieb, das heisst prozessgekuppelt mit einem Prozessrechner durchzuführen. Die anderen, übergeordneten Optimierungsstufen können dagegen «Off-Line», das heisst unabhängig vom Prozess berechnet werden. Nachstehend wird näher auf Kurzzeit-Optimierung und Momentan-Optimierung, das heisst Netzregelung eingegangen.

### 2. Kurzzeit-Optimierung

#### 2.1 Die Grundbeziehungen

Wie bereits erwähnt, wird bei der Kurzzeit-Optimierung das Betriebsprogramm für den folgenden Tag festgelegt.

Vorgegeben sind dabei die im Verlauf des Tages in den einzelnen Knotenpunkten des Netzes abgenommenen Verbraucherleistungen und die in den hydraulischen Kraftwerken pro Tag zu verbrauchende Wassermenge. Die letztere wird