

<b>Zeitschrift:</b>	Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses
<b>Herausgeber:</b>	Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen
<b>Band:</b>	65 (1974)
<b>Heft:</b>	8
<b>Artikel:</b>	Wirtschaftswachstum und Umwelt
<b>Autor:</b>	Speiser, A.P.
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-915386">https://doi.org/10.5169/seals-915386</a>

### 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>**

## Elektrotechnik – Electrotechnique



### Wirtschaftswachstum und Umwelt<sup>1)</sup>

Von A. P. Speiser

Seit dem Erscheinen des Buches «The Limits of Growth» von D. L. Medows hat sich in der Beurteilung der Zukunftsaussichten in Wirtschaft und Politik eine tiefgreifende Wandlung abgespielt. Die Ölkrise hat das Ihre dazu beigetragen, dass die Frage der Wechselwirkung zwischen Wirtschaftswachstum, Erschöpfung der Rohstoffe und Umweltverschmutzung heute ernsthaft studiert und in die Formulierung von Unternehmensplänen und politischen Programmen einbezogen wird. Dabei werden leider oft konkrete und gesicherte Fakten und Prognosen mit Spekulationen, denen jede seriöse Grundlage fehlt, vermischt. Die neue Situation führt zu einer weltweit veränderten Gewichtung in Forschung und Entwicklung. Für die Erstellung eines überzeugenden Zukunftsprogrammes müsste man freilich wissen, welche Ziele sich die Menschheit überhaupt zu setzen wünscht, eine Frage, auf die eine Antwort nicht leicht erhältlich ist.

Die Feststellung, dass der technische Fortschritt nicht wie ehedem von den meisten Menschen als segensreich und zukunftssichernd betrachtet wird, ist heute nicht mehr sehr originell – wir brauchen nur die Programme der politischen Parteien durchzusehen, um uns mit Nachdruck vor Augen zu führen, dass die technische Neuerung von der Öffentlichkeit mit grossen Vorbehalten verfolgt wird. Darin zeigt sich eine Wandlung, die man vor nicht allzulanger Zeit kaum für möglich gehalten hätte. Jeder von uns kann sich an die Periode erinnern, als man den Atomkern für eine Quelle hielt, die dem Menschen Energie in unbegrenzter Menge fast beliebig billig zugänglich machen würde. Wie hat sich diese Sicht geändert! Im technischen Fortschritt und im Wirtschaftswachstum erblicken wir heute nicht mehr wie früher den Schlüssel zur Lösung aller Probleme; das haben alle jene von uns, die sich das Ziel gesetzt haben, sich mit ihrer ganzen Kraft für den technischen Fortschritt einzusetzen, schmerzlich erkennen müssen. Sie müssen ihre Ziele neu überdenken. Damit übernehmen wir aber eine Aufgabe, die mit etwelchen Schwierigkeiten verbunden ist. Je mehr man über Sinn und

330.35 : 502

Depuis la parution du livre «The Limits of Growth» de D. L. Medows, l'estimation des perspectives d'avenir en économie et en politique s'est grandement modifiée. La crise du pétrole exige maintenant d'examiner sérieusement la question de l'interaction entre la croissance économique, l'épuisement des matières premières et la pollution de l'environnement, et à en tenir compte dans les plans d'entreprises et les programmes politiques. Ce faisant, des faits et pronostics concrets et sûrs sont malheureusement souvent entachés de spéculations dépourvues de toute base sérieuse. La nouvelle situation conduit à une pondération mondiale modifiée dans la recherche et le développement. Pour pouvoir établir un programme d'avenir convaincant, il faudrait évidemment connaître les buts que désire réellement atteindre l'humanité, question à laquelle il est toutefois malaisé de répondre.

Zukunft des technischen Fortschritts nachdenkt, desto stärker wird die Überzeugung, dass man über die neuen Prioritäten in der Technik nicht mehr reden kann, ohne sich mit der fundamentalen Frage auseinanderzusetzen, welche Ziele sich die Menschen überhaupt setzen wollen. Die Beantwortung dieser Frage ist viel schwieriger als die Lösung eines technischen Problems. Stellen wir uns vor, wir müssten für die Schweiz zwischen drei Dingen wählen:

- Entweder ein Zweitwagen für jede Familie, oder
- eine radikale Erneuerung und Erweiterung aller Spitäler und Heilanstalten, oder
- eine garantiert reine, unverschmutzte Luft, auch in den Städten.

Welches ist vorzuziehen? Die Antwort ist nicht leicht erhältlich; und doch sind Antworten dieser Art als Entscheidungsgrundlage unerlässlich.

#### Grenzen des Wachstums

Die meisten Leute sind heute mit ihrem Schicksal und mit der Welt, in der sie leben, weniger zufrieden als vor 10 oder 20 Jahren – zumindest bekommt man dieses Gefühl, wenn man die Zeitung liest und das Fernsehen verfolgt. Die Welt

1) Vortrag, gehalten vor der Technischen Gesellschaft Baden und der Ortsgruppe Baden der GEP.

ist nicht mehr wie früher: Die ältere Generation wird von der Nostalgie befallen, und die junge steigt auf die Barrikaden. Und beinahe ist man versucht zu sagen: «Auch die Zukunft ist nicht mehr das, was sie früher war.» Spätestens seit dem Erscheinen des berühmten Buches «The Limits of Growth» von D. L. Meadows ist man veranlasst, die Zukunft der Menschheit in den schwärzesten Farben zu sehen.

Es ist heute schlechthin unmöglich, über Wirtschaftswachstum und Zukunftsfragen zu reden, ohne auf dieses Buch, das von einer Studiengruppe am MIT in Cambridge (USA) verfasst wurde, einzugehen. Jeder hat über das Buch gelesen, denn es hat sich seit seinem Erscheinen vor zwei Jahren eine immense Sekundärliteratur gebildet; aber nicht jeder hat das Buch selbst gelesen. Was besagt es? Seine wesentliche Aussage ist einfach und lässt sich in drei Thesen zusammenfassen:

1. Wenn die gegenwärtige Zunahme der Weltbevölkerung, der Industrialisierung, der Umweltverschmutzung, der Nahrungsmittelproduktion und der Ausbeutung der Rohstoffe anhält, werden die absoluten Wachstumsgrenzen auf der Erde im Laufe der nächsten hundert Jahre erreicht. Mit grosser Wahrscheinlichkeit führt das zu einem ziemlich raschen und nicht aufhaltbaren Absinken der Bevölkerungszahl und der industriellen Kapazität.

2. Es ist möglich, diese Wachstumstendenzen zu ändern und einen Zustand der langfristigen Stabilität herbeizuführen.

3. Wenn sich die Menschen für diese zweite Möglichkeit anstatt der ersten entscheiden sollten, so sind die Erfolgsaussichten desto besser, je schneller wir uns an die Arbeit machen, um die nötige Änderung herbeizuführen.

Das ist die wesentliche Aussage des Buches. Es ist gut, sich das zu vergegenwärtigen; die viele Kritik, die an dem Buch geübt wurde und wird, hat nämlich diese Schlussfolgerung nie ernstlich in Frage gestellt, und an ihrer Richtigkeit sind kaum Zweifel möglich.

Wie sind die Verfasser zu ihren Schlüssen gekommen? Sie verwenden ein Verfahren, das man *Systemdynamik* oder *Systemanalyse* nennt. Für ihre Berechnungen führen sie fünf ökonomische Größen ein:

- Bevölkerung;
- Agrarproduktion;
- Natürliche Rohstoffe;
- Industrieproduktion;
- Umweltverschmutzung.

Auf Grund umfangreichen Materials sind zwischen diesen Größen Zusammenhänge ermittelt worden, die sich qualitativ wie folgt beschreiben lassen:

- Die Bevölkerung nimmt überexponentiell zu (das heisst exponentiell mit einem steigenden Exponenten);
- Die Bevölkerung braucht die Agrarproduktion zu ihrer Ernährung;
- Die Bevölkerung braucht die Industrieproduktion zur Deckung der Lebensbedürfnisse;
- Die Industrieproduktion braucht Rohstoffe;
- Die Bevölkerung und die Industrieproduktion verursachen Umweltverschmutzung.

Diese Zusammenhänge sind durch ein System von Differentialgleichungen beschrieben worden, die gewissermassen ein globales Weltmodell darstellen und die so angepasst sind, dass sie von 1900 bis 1965 den tatsächlichen Verlauf der Dinge richtig wiedergeben. Die Rechnung wird dann, unter Zugrundelegung der gleichen Formeln und unter gewissen Annahmen, die plausibel erscheinen, bis zum Jahr 2100 weitergeführt. Fig. 1 zeigt eine der Varianten, von den Verfas-

sern als «Standard Run» bezeichnet. Alle Parameter (ausser den Rohstoffreserven) steigen weiter, bis folgende Ereignisse eintreten:

- Schwindende Rohstoffe erzwingen einen Stillstand im Industriewachstum;
- Die Bevölkerung schrumpft, weil Nahrungsmittelknappheit, schlechte Gesundheitspflege und Umweltverschmutzung eine drastisch erhöhte Sterblichkeit zur Folge haben.

Dasselbe Modell ist unter verschiedenen Annahmen durchgerechnet worden. Als Folge dieser Alternative ergibt sich die bereits angeführte Schlussfolgerung, dass mit Gegenmassnahmen möglichst schnell begonnen werden muss, wenn die Katastrophe des teilweisen Aussterbens der Menschheit abgewendet werden soll. – Wichtig an dieser Analyse ist nicht so sehr der genaue Zeitpunkt der Katastrophe, als vielmehr der Beweis ihrer Unabänderlichkeit, wenn nicht gezielte Massnahmen Platz greifen.

Soweit zur Aussage des Buches «Grenzen des Wachstums». Bei allen Schwächen, die einer so vereinfachten Betrachtung innewohnen, muss diese Studie doch als eine historische Tat gewertet werden; denn sie ist eine in präzise Form gekleidete Darstellung von Vorgängen, von denen man schon seit Jahren vermutete, dass sie den Keim zu weltweiten Erschütterungen in sich tragen, ohne dass man indessen für diese Befürchtungen eine konkrete Basis gehabt hätte. Das technische und politische Denken auf der ganzen Welt, wie auch manche Aspekte der gegenwärtigen Energiekrise, sind durch dieses Buch tiefgreifend beeinflusst worden. Bekanntlich ist die Studie im Auftrag des «Clubs von Rom» ausgeführt worden, einer losen Partnerschaft von etwa 70 Persönlichkeiten des wissenschaftlichen, wirtschaftlichen und politischen Lebens unter Führung des italienischen Industriellen *Aurelio Peccei*. Der Club von Rom legt Wert auf die Feststellung, dass die vorgelegten Ergebnisse nicht unbedingt seiner eigenen Sicht entsprechen; es ist nicht ein Bericht des Clubs von Rom, sondern für den Club von Rom.

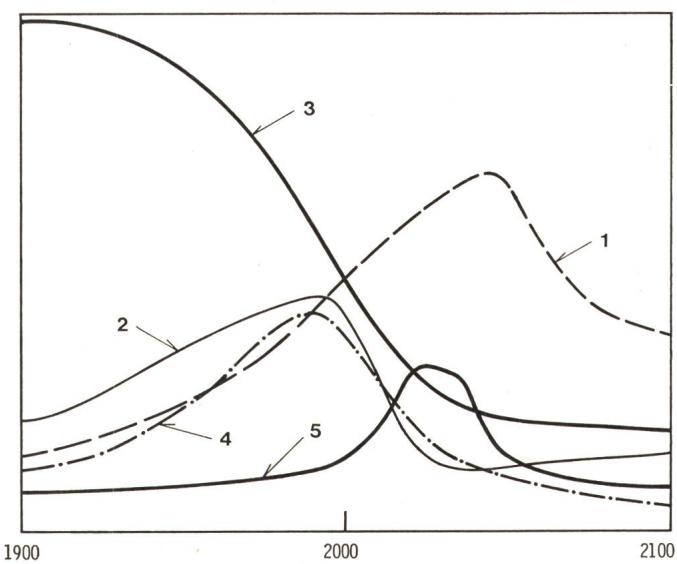


Fig. 1 «Standard Run» auf Grund des Weltmodells

- 1 Bevölkerung
- 2 Agrarproduktion
- 3 Rohstoffe
- 4 Industrieproduktion
- 5 Umweltverschmutzung

## Kritik

Es muss als selbstverständlich betrachtet werden, dass an einem Buch, das derartig weite Verbreitung gefunden und auf das Denken seiner Zeit einen so starken Einfluss genommen hat, auch Kritik geübt wird. Es sind hauptsächlich sechs Punkte, die von kritischen Beobachtern bemängelt werden:

1. Das Weltmodell ist zu einfach; fünf Variable genügen nicht. Beispielsweise können die Rohstoffe nicht durch nur eine einzige Zahl dargestellt werden; es wäre zu unterscheiden zwischen Öl, Kohle, Eisen und so weiter.

2. Die globale Betrachtungsweise hätte durch eine regionale ersetzt werden sollen, weil die fünf Merkmale sehr verschieden auf die Regionen der Erde verteilt sind: Rohstoffe, Nahrung und Bevölkerung sind nicht beliebig verschiebbar. Es kommt vor, dass an einem Ort Überfluss, gleichzeitig anderswo Mangel besteht.

3. Die Annahmen über die Rohstoffvorräte sind ungenau. Die existierenden Abschätzungen sind mit grossen Unsicherheiten behaftet, und die Verfasser haben ausgesprochen pessimistische Annahmen gemacht.

4. Das Buch huldigt einem *technologischen Pessimismus*; es lässt die Möglichkeit, dass die schlimmen Ereignisse durch Fortschritte in Wissenschaft, Technik und Medizin gemildert werden können, ausser acht.

5. Im mathematischen Modell kommen Ausdrücke von der Form  $a_1 - a_2$  vor, wobei  $a_1$  und  $a_2$  gross, die Differenz aber klein ist. Geringfügige Ungenauigkeiten in den Annahmen können auf die Differenz einen grossen Einfluss haben; sogar das Vorzeichen kann sich umkehren. Dadurch wird die Aussagekraft der Ergebnisse stark herabgemindert.

6. Das Buch weist zwar eindrücklich darauf hin, dass jetzt etwas getan werden muss, sagt aber kaum, welche Massnahmen zu ergreifen sind, um das stabile Weltmodell herbeizuführen.

Diese Kritiken haben sogar dazu geführt, dass die Studie gelegentlich als «wissenschaftlich kaum akzeptabel» bezeichnet wurde. Dieser Vorwurf ist *nicht gerechtfertigt*. Die Verfasser haben genau angegeben, auf welche Weise sie zu ihren Ergebnissen gelangt sind, und sie haben auf die Grenzen der Aussagekraft ihrer Resultate hingewiesen. Unwissenschaftlich ist nicht das Buch, sondern die Folgerungen, die viele Kommentatoren daraus gezogen haben. Richtig ist, dass für eine exakte Analyse ein sehr stark verfeinertes Weltmodell erstellt und durchgerechnet werden muss. Der nötige Aufwand dazu ist gross, und die Resultate werden so kompliziert, dass sie sich nicht mehr übersichtlich darstellen lassen.

Die geäusserten Kritiken sind zum Teil berechtigt; sie ändern aber nichts an der prinzipiellen Richtigkeit der Aussage, noch daran, dass es dringend notwendig war, in diesem Zeitpunkt eine solche Studie auszuführen.

## Grenzen der exponentiellen Extrapolation

Nicht alle Zukunftsbilder, die von der Welt des nächsten oder des übernächsten Jahrhunderts gezeichnet werden, beruhen auf einer so sorgfältigen Analyse wie jene der «Grenzen des Wachstums». Oft nimmt man einfach an, eine bestimmte Grösse (etwa der Energieverbrauch eines Landes) nehme jedes Jahr um eine konstante Zahl von Prozenten zu, und legt für die Wachstumsgeschwindigkeit eine Erfahrungszahl aus der Vergangenheit zugrunde. Dieses Verfahren nennt man *exponentielle Extrapolation*.

Die verfehlte und kritiklose Anwendung der exponentiellen Extrapolation hat schon viel Verwirrung gestiftet und gelegentlich sogar politischen Sprengstoff erzeugt; sie hat außerdem dem Ansehen des «Technological Forecasting»

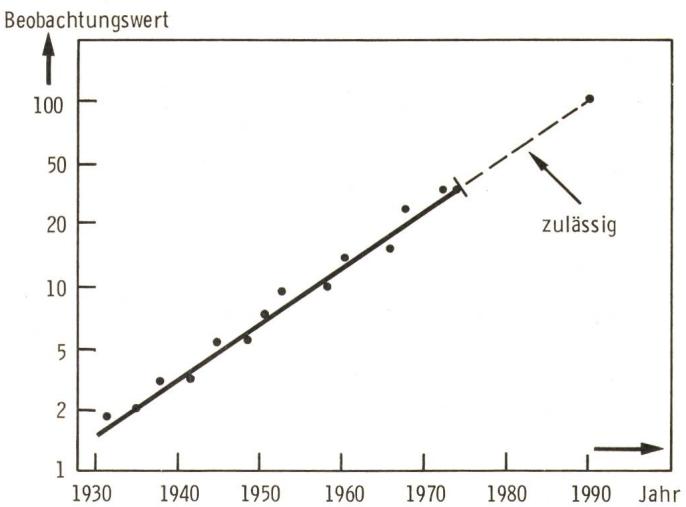


Fig. 2 Exponentielles Wachstum und zulässige Extrapolation

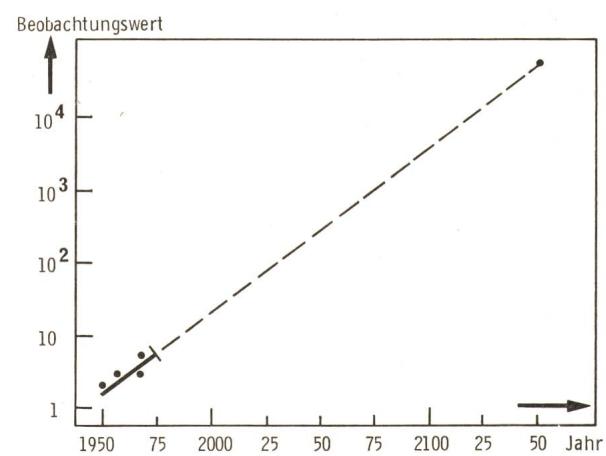


Fig. 3 Unzulässige Extrapolation

Ein Trend, der seit 25 Jahren bestanden hat, wird auf 175 Jahre fortgesetzt

(der technischen Prognose), eines an sich seriösen Arbeitsgebietes, geschadet.

Um mittels der exponentiellen Extrapolation eine Prognose zu erstellen, muss man möglichst viele Beobachtungspunkte der betrachteten Grösse in halblogarithmischem Maßstab auftragen (Fig. 2). Wenn es gelingt, durch diese Punkte mit einiger Genauigkeit eine Gerade zu legen, so handelt es sich um ein exponentielles Wachstum. «Extrapolieren» bedeutet, die Gerade über den bekannten Teil hinaus in die Zukunft zu verlängern. Diese Verlängerung darf aber nicht beliebig weit erfolgen; im besonderen sind zwei Einschränkungen zu beobachten (Fig. 3):

1. Eine Prognose ist nur möglich über eine Periode, die wesentlich kürzer ist als die *Referenzperiode*, während welcher der Trend in der Vergangenheit bestanden hat. Wenn beispielsweise eine Beobachtungsgrösse seit 30 Jahren um 7 % pro Jahr wächst, so kann man schliessen, dass das noch 10 Jahre lang der Fall sein werde. Für eine weitergehende Voraussage besteht keine sichere Grundlage.

2. Auf keinen Fall darf eine Prognose bis über eine Verzehnfachung der Beobachtungsgrösse hinaus ausgedehnt werden; denn die Verzehnfachung irgendeiner technischen Grösse hat nicht nur einen quantitativen, sondern auch einen qualitativen Aspekt und wird zu vollständig veränderten Wachstumsbedingungen führen. Als Beispiel sei folgende Aussage angeführt:

«Wenn der Energieverbrauch weiter um 7 % pro Jahr steigt, so wird im Jahr 2124 die künstlich erzeugte Wärme gleich gross wie die Sonneneinstrahlung auf die Erde sein; das wird so grosse klimatische Veränderungen zur Folge haben, dass Menschen und Tiere aussterben werden.» Diese Überlegung ist zwar mathematisch richtig, aber es fehlt ihr *jeder nützliche Aussagewert*.

Schliesslich ist zu bedenken, dass die exponentielle Extrapolation von der Annahme ausgeht, dass die äusseren Wachstumsbedingungen unverändert weiter bestehen. Gerae diese Bedingung ist aber heute in manchen Gebieten nicht erfüllt: Die gegenwärtige Ölkrise – welches auch immer ihre Ursache sein mag – wird in vielen Wachstumskurven einen Knick zur Folge haben. Angesichts dieser Tatsache muss beispielsweise heute jede Prognose über den Energieverbrauch der Schweiz (oder irgendeines anderen Landes) im Jahre 2000 mit einer gewissen Unsicherheit behaftet sein.

### **Umweltschutz in der Schweiz**

Die Umweltdiskussion wird dadurch enorm erschwert, dass allzu oft Gegenwart und Zukunft durcheinander gemischt werden: In einem Atemzug werden reale, durch exakte Messungen bestätigte Zustände neben Schreckensbildern aus dem Jahre 2150 geschildert. Die *Gegenwart* enthält überprüfbare Tatsachen, die unabänderlich festliegen; über die Zukunft können wir nur Vermutungen anstellen.

Welche Arten der Umweltbelastung machen uns *heute* viel zu schaffen? Es ist nicht schwer, eine Aufzählung zu geben. Der Einfachheit halber beschränken wir uns auf die Schweiz.

– Am meisten Sorgen machen uns die Gewässer, die an manchen Orten hoffnungslos verschmutzt sind und die ausserdem durch unfallartige Ereignisse immer wieder vergiftet werden.

– An einzelnen Verkehrsadern übersteigt der Gehalt der Luft an giftigen Abgasen das zugelassene Mass.

– Der Lärm für die Einwohner an Verkehrsadern und in der nächsten Umgebung von Flughäfen ist unerträglich.

– In einzelnen Gegenden bilden sich Nebelzonen, die den Charakter von «Smog» haben.

Diese Dinge sind schlimm, und es muss Abhilfe geschaffen werden. Es sei aber eine viel schlimmere Auswirkung der Technik genannt, die zudem die merkwürdige Eigenschaft hat, dass sie die Öffentlichkeit wenig kümmert: Pro Jahr bringen wir in der Schweiz 1700 Menschen in Verkehrsunfällen ums Leben – genauer wäre es, zu sagen «wir schlachten sie». Wem es wirklich daran gelegen ist, die Menschheit vor den ungünstigen Auswirkungen der Technik zu schützen, der sollte *dort* ansetzen und erst in zweiter Linie an den vielen anderen Stellen, die die Leute heute so stark beschäftigen.

Es besteht kein Zweifel – die Gegenwart demonstriert uns, dass die Schädigung der Umwelt durch die Technik schon jetzt einen Grad erreicht hat, der in manchen Gebieten untragbar ist und der dringend nach Gegenmassnahmen verlangt.

Noch niemand hat für die Schweiz ein konkretes Paket von Massnahmen für den Umweltschutz ausgearbeitet, das auf nüchterner und realistischer Überlegung beruht und das ernsthaft nach Wichtigkeit geordnet ist. Wenn es aber ein solches gäbe, so würde es wahrscheinlich folgende Elemente enthalten:

1. Eine Reduktion der Innentemperaturen während der Heizperiode um 4 °C, also etwa von 23 °C auf 19 °C, würde eine jährliche Ersparnis von 100 000 t Öl erbringen. Das wäre ein

enormer Beitrag zum Umweltschutz und liesse sich zudem kurzfristig und ohne jede Investition realisieren.

2. Die konsequente Installation von Kläranlagen für alle Siedlungen würde unsere Wässer fast vollständig sanieren. Das ist vorwiegend Sache der Gemeinden. Ein Gesetz, das den Gemeinden jegliche Investitionen für Bauten und andere Zwecke verbietet würde, solange nicht die nötigen Abwasseraufbereitungsanlagen erstellt sind, würde unsere Umweltprobleme in wenigen Jahren drastisch mildern.

3. Der Staat müsste an öffentlichen Gewässern Überwachungsanlagen installieren, die kontinuierlich den Verschmutzungsgrad messen und durch Registrierung festhalten. Dadurch könnten die Verschmutzer, die heute oft unerkannt bleiben, ermittelt und zur Rechenschaft gezogen werden, was eine grosse Entlastung zur Folge hätte. Es kann nicht genug betont werden, dass die gesetzlichen Grundlagen zum Schutz der Gewässer schon heute vorhanden sind; es fehlen dem Staat die Mittel, um ihnen Nachachtung zu verschaffen.

Nachfolgend seien fünf weitere Punkte aufgezählt, die nicht konkrete Massnahmen, sondern allgemeine Richtlinien zum Inhalt haben; konkrete Massnahmen müssten daraus abgeleitet werden.

4. Sowohl bezüglich Energieverbrauch als auch bezüglich Materialverschleiss ist der *Schienenverkehr* weitaus günstiger als der Strassen- und der Luftverkehr. Jede Massnahme, die den Verkehr für kurze Distanzen von der Strasse auf die Schiene verlegt (und für grössere Distanzen von der Luft auf die Schiene, was aber für innerschweizerische Verbindungen ohne Bedeutung ist), dient dem Umweltschutz. Und zwar liegt die Zukunft nicht so sehr in originellen Lösungen wie Luftkissen- oder Magnetkissenbahn, sondern im altbewährten System Stahlrad – Stahlschiene, welches bis zu Geschwindigkeiten von etwa 300 km/h in jeder Hinsicht überlegen ist.

5. Die gleichzeitige Erzeugung von Elektrizität und Wärme und das Konzept der fernbeheizten Schweiz verdienen es, energetisch studiert und gefördert zu werden.

6. Gegenwärtig werden 55 % unseres Energiebedarfes durch Heizöl gedeckt. Jede Massnahme, die diesen Anteil reduziert, dient dem Umweltschutz und hilft gleichzeitig, die begrenzten Rohstoffvorräte der Welt zu schonen. Als Ersatz kommt *nur Kernenergie* in Frage.

7. Je höher die Temperaturen in einem Kraftwerk sind, desto besser ist der Wirkungsgrad, das heisst, desto geringer ist die Abwärme. Die Entwicklung der Kraftwerke in Richtung höherer Temperaturen ist daher umweltfreundlich. Die Zielsetzungen einer internationalen Partnerschaft, der auch die Schweiz angehört und die einen Hochtemperatur-Helium-Kreislauf anstrebt, laufen in dieser Richtung.

8. Schliesslich muss ich gestehen, dass es in meinen Augen das weitaus dringlichste Anliegen des Umweltschutzes sein sollte – dringender noch als alle aufgezählten Punkte –, dass den Verkehrsunfällen zu Leibe gerückt wird. Fast 2000 Tote pro Jahr in unserem Land sind schlimmer als ein gelegentliches Absterben von Fischen. Das würde freilich Eingriffe in unsere persönliche Freiheit erfordern, die dem genau entgegenlaufen, was die Menschen sich heute wünschen: Was heute verlangt wird, ist eine Befreiung von äusseren Pressionen, nicht eine Verstärkung derselben. Beinahe scheint es, dass die Bevölkerung heute den Verkehrsstod zu den natürlichen, nicht vermeidbaren Todesursachen zählt.

Soweit ein mögliches Paket von Massnahmen und Richtlinien. Wie steht es mit seiner Realisierbarkeit? Die Antwort ist: Unterschiedlich. Für eine Verschärfung von gesetzlichen Bestimmungen ist der Bürger heute nicht zu begeistern. Ausserdem sind einzelne der Massnahmen kostspielig: Umweltfreundliche Energie ist teurer als umweltschädliche. Wenn man beobachtet, welche Grundwelle von Opposition jede Erhöhung der Tarife der öffentlichen Versorgungsbetriebe heute hervorruft, so muss man sich fragen, woher denn das Geld für umweltfreundliche Verfahren kommen soll.

Fast alle diese Massnahmen haben eines gemeinsam: Sie haben einen *enttäuschend kleinen Originalitätswert* – es sind Dinge, die schon längst bekannt sind und hätten getan werden können. Es ist mit dem ganzen Umweltschutz so: Wir werden uns an die Arbeit machen und Massnahmen einleiten müssen, von denen die wenigsten später als technische Pionierataten gefeiert werden.

### Sonderfall Energie

Die Erdölkrisen der vergangenen Monate, deren wahre Hintergründe allerdings nur teilweise erkenntlich sind, hat der Welt drastisch vor Augen geführt, welche Risiken die einseitige Abhängigkeit vom Öl als Energiequelle in sich birgt, und die Diskussion darüber hat zeitweise sogar das Thema Umweltschutz in den Schatten gestellt. Es ist zweifellos klar geworden, dass im Energiehaushalt der Welt und im Zusammenspiel der verschiedenen Energiequellen und -träger tiefgreifende Änderungen beginnen müssen, und dass sich die technische Entwicklung wesentlich anders abspielen wird, als es noch vor kurzem vermutet wurde.

Welches sind die Schwerpunkte und Prioritäten, die jetzt gesetzt werden müssen? Eine realistische Betrachtung, die die Energiebilanz als Ganzes nimmt und die sich nicht in einer Studie von solchen Einzelmaßnahmen erschöpft, die zwar technisch originell, in ihrer Auswirkung aber sehr begrenzt sind, führt absolut zwingend zu dieser Schlussfolgerung: *Nachhaltige Abhilfe kann nur von einem Ersatz fossiler Energie durch Kernenergie herkommen*. Daher ist der Bau von Kernkraftwerken das oberste Gebot zur Überwindung der Energiekrise. Alle anderen Massnahmen haben daneben nur sekundäre Bedeutung.

Parallel zur Weiterentwicklung der Kernkraftwerke muss die Verwertung der Abwärme studiert und in Angriff genommen werden. Pro kWh erzeugte Elektrizität werden heute rund 2 kWh Wärme an die Umgebung abgegeben – das ist beinahe gleichbedeutend mit weggeworfenem Heizöl. Diese Wärme sollte in erster Linie zur Raumheizung verwendet werden; für andere Anwendungen (Prozesswärmе) sind die Temperaturen vorläufig zu niedrig.

Auf lange Frist müssen zusätzliche Massnahmen ins Auge gefasst werden, die weniger darauf hinzielen, mehr Energie zu erzeugen, sondern den Wirkungsgrad ihres Transportes zu verbessern und eine gewisse Speicherfähigkeit zu sichern; es ist ja ein grosser Mangel der Elektrizität, dass ihre Speicherung so schwierig ist. In Betracht kommen bis jetzt fast nur Pumpspeicherwerke, die aber nur dort gebaut werden können, wo die geographischen Voraussetzungen gegeben sind. Dabei wäre eine bessere Anpassung der stark schwankenden Verbraucherstrukturen an die konstante Energieerzeugung der Kernkraftwerke eine Massnahme, die den Energiehaushalt erheblich verbessern würde.

Als ernst zu nehmende Möglichkeit zeichnet sich die Verwendung von *Wasserstoff als Energieträger* ab. Der Wasserstoff verbrennt zu Wasser und ist daher in seiner Verwertung ideal umweltfreundlich. Er könnte verwendet werden, um Gebäude zu heizen, ähnlich wie heute schon viele Bauten mit Erdgas geheizt werden, ferner um Automotoren anzutreiben, vielleicht sogar zur Erzeugung von Elektrizität mittels Brennstoffzellen. Seine *Erzeugung* geschieht in Kernkraftwerken – entweder elektrolytisch aus Elektrizität oder mittels thermi-

scher Prozesse, die sich freilich noch im Forschungsstadium befinden, indem die benötigten hohen Temperaturen vorläufig aus Reaktoren noch nicht erhältlich sind. Der *Transport* des Wasserstoffs geschieht durch Rohrleitungen, ähnlich wie heute Erdgas über grosse Strecken von der Quelle bis zum Endverbraucher gebracht wird. Die *Speicherung* kann durch Verflüssigung und Aufbewahrung in Tankanlagen bewerkstelligt werden. Es zeichnet sich ferner die Möglichkeit ab, den Wasserstoff gasförmig in festen Körpern (Metallhydriden) aufzulösen und so zu speichern. Dieses Verfahren befindet sich noch tief im Forschungsstadium, doch dürfte der Antrieb von Autos mittels Wasserstoff nur dann realisierbar sein, wenn eine solche Lösung gefunden werden kann.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die «Wasserstoffökonomie» zwar noch viele offene Fragen enthält, dass man ihr aber eine reelle Chance geben muss, in den 80er Jahren zur Wirklichkeit zu werden.

Alle anderen Entwicklungsrichtungen, über die so oft gesprochen wird, sind in bezug auf ihre Realisierbarkeit im Sinne eines ins Gewicht fallenden Beitrags an die Energiebilanz der Welt höchst fragwürdig. Ein Beispiel ist die *Sonnenenergie*. Zunächst ist daran zu erinnern, dass fast die ganze Elektrizitätserzeugung unseres Landes auf Sonnenenergie beruht, indem die Sonne als die Energiequelle der Wasserkraftwerke zu betrachten ist; Kollektor ist der Ozean mit seiner riesigen Oberfläche. Heute wird aber von einer direkten Ausnutzung der Sonnenstrahlung zur Erzeugung von Wärme oder Elektrizität gesprochen. Dieses Vorhaben scheitert aber an der geringen Energiedichte. Im Maximum sendet die Sonne auf die Erdoberfläche eine Leistung von 1 kW/m<sup>2</sup>, in unseren Breiten und gemittelt über das ganze Jahr jedoch nur etwa 120 W/m<sup>2</sup>. Solarzellen zur Erzeugung von Elektrizität haben einen Wirkungsgrad von 10 %. Für ein Kraftwerk von 1000 MW wären also 80 km<sup>2</sup> Landoberfläche erforderlich. Allein die Solarzellen würden das Vielfache eines Kernkraftwerkes kosten. Zudem müssten wegen der unregelmässigen Energieerzeugung enorme Elektrizitätsmengen gespeichert werden. Es ist *unrealistisch*, solche Kraftwerke ins Auge zu fassen.

Etwas günstiger werden die Aussichten der Ausnutzung der Sonnenenergie, wenn man als Kollektor die gesamte Oberfläche der tropischen Meere verwendet, indem man die Temperaturdifferenz zwischen Oberflächenwasser und Wasser aus einigen hundert Metern Tiefe, die etwa 20 °C beträgt, zum Antrieb von Wärmekraftmaschinen verwendet. Eine solche Anlage hätte zwar einen sehr schlechten Wirkungsgrad (weniger als 5 %), doch ist der Wirkungsgrad nicht als Qualitätsmaßstab zu betrachten, weil ja die Energie in beliebiger Menge zur Verfügung steht. Was zählt, ist vielmehr die Investition pro installiertes kW. Studien zeigen, dass solche Kraftwerke zwar sehr spekulativ, aber immerhin weiterer Untersuchung wert sind. Für eine Leistung von 1000 MW müssten ganz ungeheure Wassermengen durch die Wärmetauscher gepumpt werden, was allein einen erheblichen Teil der erzeugten Leistung wieder verschlingen würde. Offen bleibt ferner der Transport der erzeugten Elektrizität an die Verbrauchsorte, die grösstenteils eben nicht in der Nähe der tropischen Meere liegen.

Zur Energiefrage sei noch eine Schlussbemerkung angebracht: Amerika ist das Land mit dem weitaus grössten Energiekonsum pro Kopf der Bevölkerung, und das wird oft als Zeichen seines hohen Entwicklungsstandes angesehen. Das ist aber nur bedingt richtig – es liegt auch ein Element der Verschwendug darin, besonders durch zu grosse Autos, Klimaanlagen mit schlechtem Wirkungsgrad und überstarke Raumheizung. Als *Qualitätsmaßstab für die Energieverwertung* könnte man sich folgende Frage stellen: Wie viele Franken Bruttosozialprodukt kann ein Land pro verbrauchte kWh (alle Energieformen zusammengenommen) erbringen? Hier liegt die Schweiz weitaus an der Spitze aller Länder mit rund 70 Rappen; die USA bringen es nur auf rund 20 Rappen. Fast alle anderen Industrieländer liegen zwischen diesen beiden Zahlen. Natürlich gibt es auch andere Gründe als nur die Verschwendug für diesen grossen Unterschied; dazu gehören Klima, Art der Industrieproduktion, grosse Reisedistanzen und dergleichen. Der Gedanke aber, dass einmal die ganze Welt, einschliesslich Entwicklungsländer, auf das amerikanische Niveau des Energiekonsums kommen könnte oder sollte, ist *total verfehlt*. Die Entwicklung muss und wird in einer anderen Richtung gehen.

#### **Weltweit veränderte Gewichtung der Forschungssakzente**

Es ist anzunehmen, dass die gegenwärtige Neubestimmung der Ziele der Technik, die durch die Stichworte «Grenzen des Wachstums, Umweltschutz, Energiekrise» gekennzeichnet ist, einen tiefgreifenden Einfluss auf die Zukunft haben wird und dass nicht nur die Wachstumskurven einen Knick haben werden, sondern dass auch eine deutliche Neuorientierung in den Forschungsrichtungen Platz greifen wird – es wird sich gewissermassen ein qualitativer Knick ergeben. In den letzten 20 Jahren sind eine Anzahl von Forschungsgebieten deutlich im Brennpunkt des Interesses gestanden: Weltraumtechnik, Flugzeuge, Computer, integrierte Schaltungen, nachrichtentechnische Systeme. Diese Gebiete wurden von den Hochschulen und den Regierungen bevorzugt gefördert, und die begabtesten Forscher und Ingenieure fühlten sich zu ihnen hingezogen – am ausgeprägtesten in den USA, die sich einen so grossen Vorsprung verschafften, dass man sich ernste Sorgen um den sogenannten «Technological Gap» machte. Diese Tendenzen gehen zum Teil auf 1940 zurück, als vor dem Kriegseintritt der USA zur Erhaltung der nationalen Unabhängigkeit eine grosse Anstrengung gemacht werden musste; eine neue Belebung brachte der Sputnik (der erste russische Erdsatellit) 1957. Die Gebiete, die mit der Energie zu tun haben, wurden arg vernachlässigt. Ein bedeutender amerikanischer Wissenschaftler forderte im Jahr 1965 sogar, dass die elektrische Energietechnik von den Hochschulen überhaupt verschwinden müsse, um mehr Platz für Nachrichtentechnik und Informatik zu schaffen!

Vieles deutet darauf hin, dass die jetzige Energiekrise einen «Sputnik-Effekt» von lange dauernder Wirkung auslösen könnte und dass, ausgehend von den USA, die Forschungsschwerpunkte in Richtung Energie verlagert werden. Wenn sich die Amerikaner ernsthaft und nachhaltig mit ihrem ganzen wirtschaftlichen Potential, ihrer unternehmerischen Beweglichkeit und ihrer unübertroffenen Gabe, wissenschaftliche Resultate schnell in die Praxis überzuführen, für diesen Weg entscheiden sollten, so müsste die übrige

Welt aufpassen, dass sich nicht ein neuer «technological gap» auftut auf einem Gebiet, in welchem wir es nicht gewohnt sind, an einen Vorsprung der Amerikaner zu glauben.

#### **Die Triebkräfte des Wachstums**

Wir haben in den vorangegangenen Abschnitten viele Aspekte des Wachstums betrachtet, ohne uns dabei die Frage zu stellen, welches die *Triebkräfte dieses Wachstums* sind. Das widerspricht eigentlich ingenieurmässigem Denken: Wenn man einen Vorgang in den Griff bekommen und beeinflussen will, so sollte man als Ingenieur zuallererst fragen, welches die auslösenden Kräfte dieses Vorganges sind. Wo sitzt der Motor des Wachstums?

Kürzlich fand eine Tagung über Wirtschaftswachstum und Umweltschutz statt. Eine Diskussionsrunde war der Frage gewidmet, welches die Triebkräfte des Wachstums seien.

Der erste Diskussionsredner sagte: Die Unternehmer sind am Wachstum schuld. Ihr Profitstreben veranlasst sie, immer weiter zu expandieren. Durch die steigenden Kosten werden sie gezwungen, immer grössere Serien zu produzieren, um einen Profit erwirtschaften zu können: Das ist der Teufelskreis des Wachstums.

Der zweite Redner sagte: Die Werbung ist an allem schuld. Mit psychologischer Raffinesse manipuliert sie das Unterbewusste der Menschen und zwingt sie, Dinge zu kaufen, die sie nicht wollen und die sie nicht brauchen.

Der dritte sagte: Der wirkliche Sünder ist der Staat. In seiner Ausgabenfreudigkeit baut er Paläste von Schulhäusern, Spitäler und Verwaltungsbauten in Gemeinde, Kanton und Bund, obschon es mit viel kleinerem Aufwand ginge.

Der vierte: Nicht der Staat ist es, sondern der Stimmbürger. Er wählt jene Parlamentarier, die die grösste Ausgabenfreudigkeit an den Tag legen. Der Bundesrat hat die Autobahnen dem Schweizer Volk nicht aufgezwungen – es hat sie selbst gefordert.

Der fünfte: Die wirklichen Triebkräfte des Wachstums sind die Gewerkschaften. Ihre dauernden Forderungen nach Reallohnheröhung, die sie in unseren Nachbarländern mit rücksichtslosen Streiks durchsetzen, können nur auf der Grundlage einer dauernd wachsenden Wirtschaft befriedigt werden.

Der sechste sagte schliesslich: Schuld ist das konsumierende Publikum. Es kauft alles und jedes, wenn es nur in schöner Verpackung präsentiert wird. Die Leute schauen nicht auf die Qualität und sind bereit, jeden Preis zu zahlen. Das Sparen, das heisst, das Geld auf die Bank zu tragen, ist aus der Mode gekommen; man scheint nichts eiliger zu haben, als sein Geld loszuwerden – am allerschlimmsten die Jugendlichen.

Da meldete sich ein weiser Mann zum Wort und sagte: Es ist wie immer mit dem Wachstum und dem Umweltschutz: Keiner ist schuld; jeder schiebt dem anderen den schwarzen Peter zu. Was wir brauchen, ist ein *Anwalt des Gemeinwohls*.

Darauf erfolgte grosser Applaus. Da sagte der Vorsitzende zum Weisen: Herr Professor, Sie haben den Applaus gehört: Wir brauchen einen Anwalt des Gemeinwohls. Ich erenne Sie zum Anwalt des Gemeinwohls, und ich bitte Sie, für die Dauer unserer Diskussion diese Rolle zu spielen.

Aber vom weisen Herrn hat man während dieser Diskussion fast nichts mehr gehört. Das sollte uns nicht wundern: Es ist eben eine der Krisenerscheinungen unserer Zeit, dass es das Gemeinwohl nicht mehr gibt. Es gibt nur noch eine Menge von «Einzelwohnen» und «Gruppenwohnen», aber nicht mehr ein wirkliches Gemeinwohl. Deshalb kann der, der zum Anwalt des Gemeinwohls ernannt wird, nichts sagen.

Und wie steht es nun mit den Triebkräften des Wachstums? Wer von den sechs Rednern hatte recht? Ist der Unternehmer schuld oder der Werbepsychologe, oder die ausgabenfreudige Hausfrau? Die Antwort ist einfach: Alle haben recht, aber keiner hat für sich allein die volle Wahrheit gesagt. Triebkräfte des Wachstums sind *wir alle* – als Ingenieure, Unternehmer, Behördemitglieder, Stimmbürger und Konsumenten. Es wäre verfehlt, den Motor des Wachstums anderswo als in uns selbst zu suchen.

### Qualität des Lebens

Damit stellt sich nun aber gebieterisch die Frage: Was wollen wir eigentlich? Wir alle fördern das Wachstum, und gleichzeitig finden wir alle, eben dieses Wachstum könnte nicht so weitergehen. Welche Ziele sollen sich die Menschen setzen? Es ist nicht Komfort oder Lebensstandard, die anzustreben sind – es ist die *Qualität des Lebens*. Darauf kann man sich einigen; das ist eine gute Zielsetzung, dagegen opponiert niemand. Was aber heisst Qualität des Lebens?

- Heisst es gut geheizte Wohnungen oder weniger Luftverschmutzung?
- Heisst es noch schnellere Sportwagen oder weniger Straßenverkehr?
- Erschliessung weiterer Skigebiete durch Skilifte und Bergbahnen, oder Erhaltung der Natur zum ungestörten Wandern?
- Eine Zweitwohnung in den Bergen oder ein Stopp der Überbauung der Berglandschaft?
- Arbeitssparende Maschinen für die Hausfrau oder weniger Elektrizitätsverbrauch?
- Noch billigere Reisearrangements ans Mittelmeer mit dem Flugzeug, oder weniger Fluglärm?

Was dem einen Qualität des Lebens bedeutet, ist für den anderen unerwünschtes Wirtschaftswachstum oder lästige Umweltverschmutzung.

Im Grund meinen wir mit Qualität des Lebens nämlich das subjektive, persönliche Glücksempfinden. Dazu braucht es sicher gewisse äussere, technische Voraussetzungen: Wer hungert oder friert, kann sich kaum wohl fühlen. Darüber hinaus aber steht eines ausser Zweifel: Arbeit und Wohlbeinden sind zwei Partner, die zusammengehören. Ohne das eine kann das andere nicht gedeihen; ohne Arbeit stellt sich das Glück nicht ein. Wir sollten deshalb gegen die Verteufe-

lung des Leistungsprinzips, der wir manchmal begegnen, ankämpfen, sonst werden wir keine Verbesserung der Lebensqualität erreichen.

Im übrigen sollten wir uns Rechenschaft darüber geben, dass es zwar für das Wohlbefinden äussere Voraussetzungen braucht, dass aber die wirkliche Basis von der geistigen und nicht von der materiellen Seite her kommt. Eines der schlimmsten Übel unseres Zeitalters liegt darin, dass wir der technischen Neuerung gegenüber der geistigen Neuerung zuviel Gewicht beigemessen haben. Unser Jahrhundert hat mit Relativitätstheorie, Atomenergie, Computer und Weltraumfahrt Errungenschaften erbracht, die auf das Bild der Welt auf Jahrhunderte hinaus einen bestimmenden Einfluss haben werden. Wo sind, als Gegengewicht, die geistigen Errungenschaften? Es scheint, dass unsere Zeit der technischen Erneuerung gegenüber der geistigen den Vorrang gegeben hat. In früheren Jahrhunderten war das nicht so – da waren die Möglichkeiten, mittels der Technik die Welt zu verändern, ganz begrenzt, und wer etwas Weitreichendes tun wollte, musste sich auf die geistige Ebene verlegen. Als Beispiele und um zu zeigen, was mit «geistiger Erneuerung» gemeint ist, seien einige der Impulse aufgezählt, die von unseren Vorfahren ausgegangen sind und die die Jahrhunderte, ja sogar die Jahrtausende überdauert haben: das römische Recht, das Christentum, die gothischen Kathedralen, das Werk eines Shakespeare, die Reformation, die barocke Musik, die Proklamation der Menschenrechte.

Wenn es uns nicht gelingt, das Gleichgewicht zwischen dem technischen Fortschritt und der geistigen Neuerung wiederherzustellen, so werden wir die so begehrte Qualität des Lebens nicht finden.

Wenn es uns aber gelingt, so werden wir es erreichen, dass alle jene, die das Wirtschaftswachstum ankurbeln, es in Zukunft massvoller tun werden. Das ist die erste Schlussfolgerung. Die zweite: In der Eindämmung der nachteiligen Auswirkungen der Technik muss der Staat seine ordnungspolitische Funktion besser erfüllen, und der Bürger darf ihn daran nicht hindern, weder mit dem Stimmzettel noch durch Passivität und Gleichgültigkeit. Und die dritte Folgerung: Wir brauchen weiteres Wirtschaftswachstum, und wir brauchen Forschung, um die grossen anstehenden Probleme zu lösen. Es wäre eine Illusion, zu glauben, ohne Wirtschaftswachstum und ohne technische Neuerung seien die grossen Begehren, die an die Sozialversicherung, an das Bildungswesen und an den Umweltschutz gestellt werden, in der Zukunft erfüllbar.

### Adresse des Autors:

Prof. Dr. A. P. Speiser, Forschungsdirektor der BBC AG Brown, Boveri & Cie., Baden.