

Düstere Prognose für die Propheten der Apokalypse – heitere Prognose für Chemiker

Ehud Keinan*

„Das sind schlechte Entdecker, die da glauben, dass es kein Land gibt, wenn sie nichts als das Meer sehen“

Francis Bacon (1561–1626)

Wird der Homo sapiens zu einer vom Aussterben bedrohten Art?

In seiner berühmten „Abhandlung über das Prinzip der Bevölkerung“, die zuerst im Jahre 1798 veröffentlicht wurde, prophezeit Thomas Robert Malthus eine düstere Zukunft für die Menschheit, „die Macht der Bevölkerung ist der Kraft der Erde, für ihren Lebensunterhalt zu sorgen, so weit überlegen, dass ein vorzeitiger Tod in der einen oder anderen Form das menschliche Geschlecht heimsuchen muss“.^[1] Um den Schrecken der Hungersnot, Seuchen und Kriegen zu entkommen, schlug Malthus vorbeugende Maßnahmen wie Abtreibung, Geburtskontrolle, Prostitution, Zurückstellung der Ehe und Zölibat vor.

Malthus kritisierte die Vorstellung, dass die landwirtschaftlichen Verbesserungen unbegrenzt erweitert werden könnten, und anstatt dessen prophezeite er verheerende Folgen bei einem Bevölkerungswachstum von nur 10%. „Die Lebensmittel, die zuvor 7 Millionen ernähren mussten, müssen nun unter 7,5, oder 8 Millionen Menschen aufgeteilt werden“. Dabei wurden diese apokalyptischen Vorhersagen bei einer Bevölkerung von 150 Millionen Menschen in Europa und einer Weltbevölkerung von 750 Millionen getroffen; dies ist weniger die gegenwärtige Bevölkerung Europas.

Der Malthusianismus beeinflusste viele Generationen von Wirtschaftlern, Politikern, Sozial- und Naturwissenschaftlern, wie Charles Darwin und Russel Wallace, bei der Entwicklung ihrer Ideen bezüglich der natürlichen Auslese. Malthus war jedoch nicht der Erste, der solche Bedenken äußerte, und wird sicher auch nicht der Letzte sein. Benjamin Franklin schlug schon im Jahre 1751 den Engländern vor, ihre Macht auszubauen und ihr Bevölkerungswachstum zu erhö-

hen, indem sie sich in Amerika ausbreiten, da er annahm, Europa sei bereits überfüllt.^[2]

1898 erkannte Sir William Crooks trotz seines Pessimismus, dass Chemiker helfen können: „England, sowie allen anderen zivilisierten Ländern droht die tödliche Gefahr des Hungerns. Im gleichen Ausmaß wie sich die Münder vermehren, schwinden die Lebensmittelressourcen. Es ist der Chemiker, der zur Rettung der bedrohten Gemeinden kommen muss. Letztendlich kann der Hunger durch das Labor in Überfluss umgewandelt werden.“

Eine neuere Version der malthusianischen Prophezeiung, nämlich „Die Grenzen des Wachstums“ (1972), fand großen Zuspruch, denn es wurden 30 Millionen Exemplare in 30 verschiedene Sprachen verkauft.^[3] Das Buch behauptet, dass „wenn die derzeitigen Wachstumstrends der Weltbevölkerung, der Industrialisierung, der Umweltverschmutzung, der Nahrungsmittelproduktion und des Ressourcenverbrauchs weiterhin unverändert bleiben, dann werden die Grenzen des Wachstums auf der Erde bereits innerhalb der nächsten 100 Jahre erreicht werden. Die voraussichtliche Folge wird ein unkontrollierbarer Rückgang der Bevölkerung sowie der industriellen Kapazitäten sein“.

Das theoretische Gebilde, das den „Grenzen des Wachstums“ zugrunde liegt, ist sehr elegant, mathematisch schlüssig, und die Simulationen erscheinen sinnvoll. Sie sind einfach zu verstehen und zu erklären, jedoch völlig falsch. „Die Grenzen des Wachstums“ irrt sich aus den gleichen Gründen wie sich John Malthus geirrt hat und sich viele andere Weltuntergangspropheten irren. Darunter auch diejenigen, die gelegentlich den Weltuntergang von einem Schemel im Speakers' Corner des Hyde Park prophezeien.

Es ist durchaus verständlich, warum diese naiven Ideen Ende des 18. Jahrhunderts, als fast jedermann mit der Produktion von landwirtschaftlichen Gütern beschäftigt war, sinnvoll erschienen. Es ist aber viel weniger verständlich, warum sich diese Ansichten nach zwei Jahrhunderten und einem Bevölkerungswachstum von etwa 1000% immer noch einer solchen Beliebtheit erfreuen, obwohl die meisten Indikatoren der globalen Entwicklung in den letzten 60 Jahren in die entgegengesetzte Richtung zeigen.^[4] Nicht nur die Lebenserwartung und der Lebensstandard nahmen ständig zu, sondern auch der Welt-BIP pro Kopf, die Nahrungsmittelproduktion pro Kopf, der Zugang zu sauberem Wasser, die Gesundheit, persönliche Freiheit und die Menschenwürde. Gleichzeitig gab es eine rapide Abnahme der negativen Indikatoren, wie Analphabetismus bei Erwachsenen, Kriegs-

[*] Prof. E. Keinan
The Schulich Faculty of Chemistry
Technion—Israel Institute of Technology
Technion City, Haifa 32000 (Israel)
und
The Scripps Research Institute
10550 North Torrey Pines Road, La Jolla, CA 92037 (USA)

opfer und extreme Armut. So ist im Zeitraum zwischen 1980 und 2001 die Anzahl der Armen, die mit weniger als 1\$ täglich auskommen müssen, von 40 % auf 20 % gesunken.^[5]

Heutzutage sind nur 2 % der Bevölkerung in den entwickelten Ländern mit der Erzeugung von landwirtschaftlichen Gütern beschäftigt, wobei sie nicht nur ihre eigene Gesellschaft versorgen, sondern auch die Bevölkerung in weniger entwickelten Ländern. Malthus hätte nicht vorhersagen können, dass Gras zu dem verbreitetsten bewässerten Gewächs in den USA werden würde. Gras nimmt über 40 Millionen Hektar ein (1.9 % der Landesfläche) und erstreckt sich über den Rasen von Häusern, Golfplätzen und Parks.^[6] Tatsächlich nimmt der Rasen in den USA mehr Landesfläche ein als alle anderen bewässerten Gewächse zusammengekommen, einschließlich Mais, Gemüse, Sojabohnen, Obstbäumen, Weinbergen, Luzernen, Heu, Weiden und Baumwolle. Dies ist offensichtlich kein Indikator für eine hungernde Welt.

Unsere Hauptprobleme

Es ist wahr, dass die Menschheit mit schwierigen globalen Herausforderungen und Problemen konfrontiert wird. Diese wirken abschreckend, da sie sich nicht einfach mit der derzeitigen Technologie lösen lassen. Die folgenden sechs Probleme sind durch den Plan der EuCheMS definiert:^[7]

Energie. Wir verbrauchen enorme Energiemengen in Form von Treibstoffen, Heizung und Strom. Derzeit wird über 85 % des weltweiten primären Energieverbrauchs durch fossile Brennstoffe (81 %) und Uranmineralien (5.9 %) zur Verfügung gestellt.^[8] Der weltweite Energieverbrauch wird sich voraussichtlich bis 2050 verdoppeln, da ein Bevölkerungszuwachs von 7 auf 9 Milliarden Menschen erwartet wird, was sich auf das Wirtschaftswachstum in den Entwicklungsländern zurückführen lässt. Allerdings werden die fossilen und spaltfähigen Ressourcen bis 2050 beinahe erschöpft sein, obwohl die Kohlevorkommen für viele hunderte Jahre ausreichen werden und die fossilen Brennstoffe, die im Schiefer und Sand eingeschlossen sind, in ausreichender Menge vorhanden sind. Der Umstieg auf Thorium als spaltbarem Kernbrennstoff könnte uns hunderte von Jahren mit Kernenergie versorgen.

Rohstoffe. Während die Bedeutung des Erdöls und Erdgases oft hervorgehoben wurde, hat die zentrale Rolle der Ressourcen, die nicht zur Energiegewinnung genutzt werden, wie Mineralien und Metalle, weniger Aufmerksamkeit gefunden. Fast jede nachgelagerte Industrie ist von diesen Materialien abhängig. So brauchen Autos, Flachbildschirme und unzählige andere Produkte Antimon, Cobalt, Lithium, Tantal, Wolfram und Molybdän. Solarkollektoren benötigen Indium, Gallium, Selen und Tellur. Viele Katalysatoren basieren auf Nickel, Palladium, Platin und anderen Metallen, und die Nachfrage nimmt ständig zu. In den letzten 25 Jahren hat der globale Abbau der natürlichen Ressourcen um 45 % zugenommen.^[7] Aufgrund der mangelhaften Rückgewinnung und Wiederverwertung werden viele Elemente in abgelegten Produkten und Deponien liegengelassen, oder sie werden in kleinen Mengen, die nicht wiederverwertbar sind, in die Umwelt verteilt. Darüber hinaus sind die Ressourcen nicht

gleichmäßig verteilt. So stammen über 90 % der Seltenen Erden und des Antimons sowie 75 % des Germaniums und Wolframs aus China, 90 % des Niobs aus Brasilien und 77 % des Platins aus Südafrika. Die EU hat bereits 14 Elemente als „bedrohte Art“ deklariert. Diese Engpässe könnten enorme wirtschaftliche Auswirkungen haben.^[9]

Wasser. Obwohl 71 % der Erdoberfläche mit Wasser bedeckt ist, sind 97 % hiervon Salzwasser, und die derzeit verfügbare Meereswasserentsalzungs-technologie ist zu kostspielig für den Großteil der Welt. Die restlichen 3 % sind Süßwasser, von denen sich 90 % in Gletscher, Polarkappen und in unzugänglichem Grundwasser befinden. Daher muss der wachsende Bedarf der Menschheit an Wasser mit nur 0.3 % des Wassers auf der Erde gedeckt werden. Diese erneuerbaren Wasserressourcen befinden sich in Grundwasserleitern, Oberflächenwasser und in der Atmosphäre. Über 80 % der Weltbevölkerung lebt in Gebieten mit unsicherer Wasserversorgung.^[10] Diese Gebiete schließen Regionen mit intensiver Landwirtschaft und dichter Bevölkerung in den USA und Europa mit ein. Über 1.8 Millionen Menschen sterben jährlich, weil sie verschmutztes Wasser trinken, und viele mehr sterben durch den Wassermangel für Kulturpflanzen und Nutztieren.

Lebensmittel. Die Wasserknappheit hat einen direkten Einfluss auf die Nahrungsmittelsicherheit. In der Tat können viele Länder bewässerte Landwirtschaft nicht ausreichend unterhalten, um ihre wachsende Bevölkerung zu ernähren. Bodenerosion und Bodenabtragung, vor allem in den tropischen und subtropischen Gebieten, stellen ebenfalls eine Bedrohung für die Ertragsfähigkeit landwirtschaftlich genutzter Flächen dar. Überfischung bedroht den Fischbestand, sodass in vielen Entwicklungsregionen die Gefahr des Wegfalls einer wichtigen Eiweißquelle besteht. Dennoch deuten die neuesten Einschätzungen darauf hin, dass die globale Nahrungsmittelproduktion die steigende Nachfrage übersteigt.^[11] Die Aussichten, die Unterernährung zu reduzieren, sind jedoch weniger optimistisch. Obwohl die weltweite Nahrungsmittelversorgung gedeckt ist, bedeutet die Unfähigkeit armer Länder und Familien, den Preis für importierte Lebensmittel zu zahlen, dass viele Menschen weiterhin hungern müssen. Hinzu kommen Schwierigkeiten bei der Verteilung der Nahrungsmittel aufgrund politischer Umwälzungen. Die UN Food and Agriculture Organization (FAO) identifizierte 27 Länder mit niedrigen oder kritischen Ernährungssicherungsindizes.^[12]

Gesundheit. Die allgemeinen Indikatoren zur Beschreibung der menschlichen Gesundheit belegen, dass in den letzten Jahrzehnten Menschen gesünder und wohlhabender sind, und dass sie länger leben.^[13] Allerdings ist der verbesserte Gesundheitsstand in vielen Teilen der Welt mit einer wachsenden Ungleichheit in unterentwickelten Ländern gekoppelt. Die Art der gesundheitlichen Probleme ändert sich ebenfalls. Vergreisung und die Auswirkungen der nicht durchdachten Urbanisierung und Globalisierung beschleunigen die weltweite Übertragung von Krankheiten und erhöhen die Belastung durch chronische Krankheiten. Ein fünftel der Todesfälle weltweit werden durch Infektionskrankheiten verursacht.^[14] Neben dem Auftreten neuer Infektionskrankheiten wie SARS und der Verschlimmerung bereits existie-

render Krankheiten durch klimatische Veränderungen, stehen wir vor dem Problem der Antibiotikaresistenz. Chronische Krankheiten wie Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Krebs, chronische Atemwegserkrankungen, Diabetes, neurodegenerative Erkrankungen, Erkrankungen des Gehirns und andere verursachten weltweit 35 Millionen vorzeitige Todesfälle im Jahr 2005, wobei sich diese Zahl in naher Zukunft voraussichtlich erhöhen wird.^[15]

Luft. Die wichtigsten Auswirkungen der Luftverschmutzung auf die Umwelt sind die Versäuerung der Meere und des Bodens sowie die klimatischen Veränderungen durch den Treibhauseffekt, der durch Kohlenmonoxid, Methan, Fluorchlorkohlenwasserstoffe, Stickoxide und Ozon verursacht wird. Luftverschmutzung stellt einen bedeutenden Risikofaktor für viele Erkrankungen dar, vor allem für Infektionskrankheiten der Atemwege, Herzerkrankungen und Lungenkrebs. Die am weitesten verbreiteten Luftschadstoffe sind Feinstaub, Ozon, Stickstoffdioxid und Schwefeldioxid. Nach Angaben der Weltgesundheitsorganisation (WHO) sterben 2.4 bis 3.3 Millionen Menschen jährlich an Krankheiten, die direkt auf die Innen- und Außenluftverschmutzung zurückzuführen sind.^[16] Zu den Todesursachen zählen Asthma, Emphysemie, Lungen- und Herzerkrankungen, Schlaganfälle sowie Allergien, die in den Atemwege zum Tragen kommen. In der Tat werden mehr Todesfälle durch Luftverschmutzung als durch Verkehrsunfälle verursacht.^[17] Laut Angaben der WHO wird die höchste Feinstaubkonzentration in Ländern mit niedriger Wirtschaftskraft und hoher Armut festgestellt. Trotz des Gesetzes zur Luftreinhaltung von 1970 lebten im Jahre 2002 mindestens 146 Millionen US-Amerikaner in Gebieten, in denen die Konzentration bestimmter Luftschadstoffe die Bundesstandards überschritt.^[18] Darüber hinaus kann die globale Erwärmung als eine Folge der CO₂-Emissionen zu unvorhersehbaren wirtschaftlichen und sozialen Auswirkungen führen.^[19]

Der Hinweis ist nötig, dass die obigen Probleme zwar getrennt geschildert wurden, aber dennoch miteinander verbunden sind. So würden z.B. neue Ansätze zur Herstellung kostengünstiger Energie zu einer kostengünstigen Meeresswasserentsalzung führen, die wiederum die Nahrungsmittelherstellung beeinflussen würde, und so weiter.

Die Unvorhersehbarkeit der Wissenschaft

Dies sind in der Tat schwerwiegende Probleme. Doch ist der Hauptgrund für meinen Optimismus das Vertrauen darauf, dass diese Herausforderungen durch bisher unbekannte und unvorhersagbare Technologien gemeistert werden können. Zur Zeit eines Malthus war der unvorhersehbare Charakter der Wissenschaft weit weniger offensichtlich als heute. Wir alle, einschließlich berufsmäßiger Zukunftsforscher, haben nicht die geringste Ahnung, wie unsere Welt in 50 oder gar 100 Jahren aussehen wird. Dies gilt auch für kommerzielle Produkte. Vor 1990 hätte niemand etwas wie das World Wide Web (Internet) vorhersagen können. Niemand hätte vor fünf Jahren vorhersagen können, dass Apple 500 Millionen iPhones und iPads verkaufen würde – ein Produkt, das vor 2007 noch nicht erfunden war.

Die meisten der bedeutendsten Erfindungen des 20. Jahrhunderts, die unser Leben für immer verändert haben, wurden durch Zufälle entdeckt.^[20] Röntgenstrahlen, Radioastronomie, Lithiumionentherapie gegen manische Depression, das Krebsmittel Cisplatin, elektrisch leitende Polymere, der genetische Fingerabdruck, PCR-Technologie und ladungsgekoppelte Sensoren, um nur einige Beispiele zu nennen.

Politiker, die immer noch glauben, Fachausschüsse könnten wissenschaftliche und technologische Entwicklungen vorhersagen, sollten einen Blick auf die 1937 von Präsident Roosevelt eingesetzte Expertenkommission werfen, die die Aufgabe hatte, ihn über die wichtigsten technischen und industriellen Neuerungen der nächsten 30 Jahren zu beraten. Roosevelts Ausschuss scheiterte in der Vorhersage aller wichtiger Entdeckungen, einschließlich der Kernenergie durch Kernspaltung und Kernfusion, Radar, Laser, Transistoren, integrierte Schaltungen, Kernspintomographie, Computertomographie, Computer, Laser-Discs, CD, Düsenflugzeuge, Raketentechnik, Raumfahrt, Faxgeräte, Handys, Synchrotronstrahlung, Polyethylen, Polypropylen und der meisten anderen Polymere, der Umwandlung von Erdgas in flüssige Treibstoffe, Antibiotika, Biotechnologie, Protein-Engineering, der Struktur der DNA, molekulare Genetik, Genomik, molekulare Antikörper, der Antibabypille, GPS – die Liste könnte endlos weitergeführt werden.

Auf einer anderen langen Liste stehen Meister ihres Fachs, die zutiefst falsche Vorhersagen getroffen haben.^[21] Lord Kelvin behauptete im Jahre 1885, dass „*fliegende Maschinen, die schwerer sind als Luft, unmöglich sind*“, und Lord Rayleigh wiederholte 1889, er habe „*nicht das geringste Molekül an Vertragen in eine andere Art von Luftnavigation als Heißluftballons*“. Der Nobelpreisträger Lord Rutherford meinte 1933, nur wenige Jahre vor dem Manhattan-Projekt, „*wer von der Umwandlung der (Kerne der) Atome eine Energiequelle erwartet, spricht Unsinn*“. Der Astronom Richard Woolley („*Raumfahrt ist völliger Unsinn*“) und der Nobelpreisträger George P. Thomson („*Die Möglichkeiten der Raumfahrt scheinen sich eher für Schuljungen als für Wissenschaftler zu eignen*“) sprachen diese Sätze 1956, nur ein Jahr vor dem Start der Sputnik und fünf Jahre vor Yuri Gagarins Raumflug.

Unsere Unfähigkeit, die Zukunft vorherzusagen, führt jegliche Prophezeiung, und besonders alle Weltuntergangspropheten, ad absurdum. Wir dürfen nicht vergessen, dass wir längst nicht mehr nur mit dem Leben, was uns die Natur mitgegeben hat. Schätzungsweise kommen 50% aller Stickstoffatome in unserem Körper aus der industriellen Stickstoff-Fixierung mit dem Haber-Bosch-Verfahren. Bis auf einige wenige Jäger, Sammler und Höhlenbewohner leben wir alle in künstlichen Umgebungen, essen gentechnisch veränderte Pflanzen und Tiere, tragen Kleidung aus synthetischen oder gentechnisch veränderten Fasern und benutzen von Menschenhand gebaute Fahrzeuge zum Reisen. Wir alle leben von den Produkten der menschlichen Vorstellungskraft und Kreativität. Und im Gegensatz zu den natürlichen Ressourcen sind die der Vorstellungskraft und Kreativität keine Grenzen gesetzt.^[22] Natürlich sollten wir alle unsere natürliche Umwelt mit mehr Respekt behandeln, die Artenvielfalt

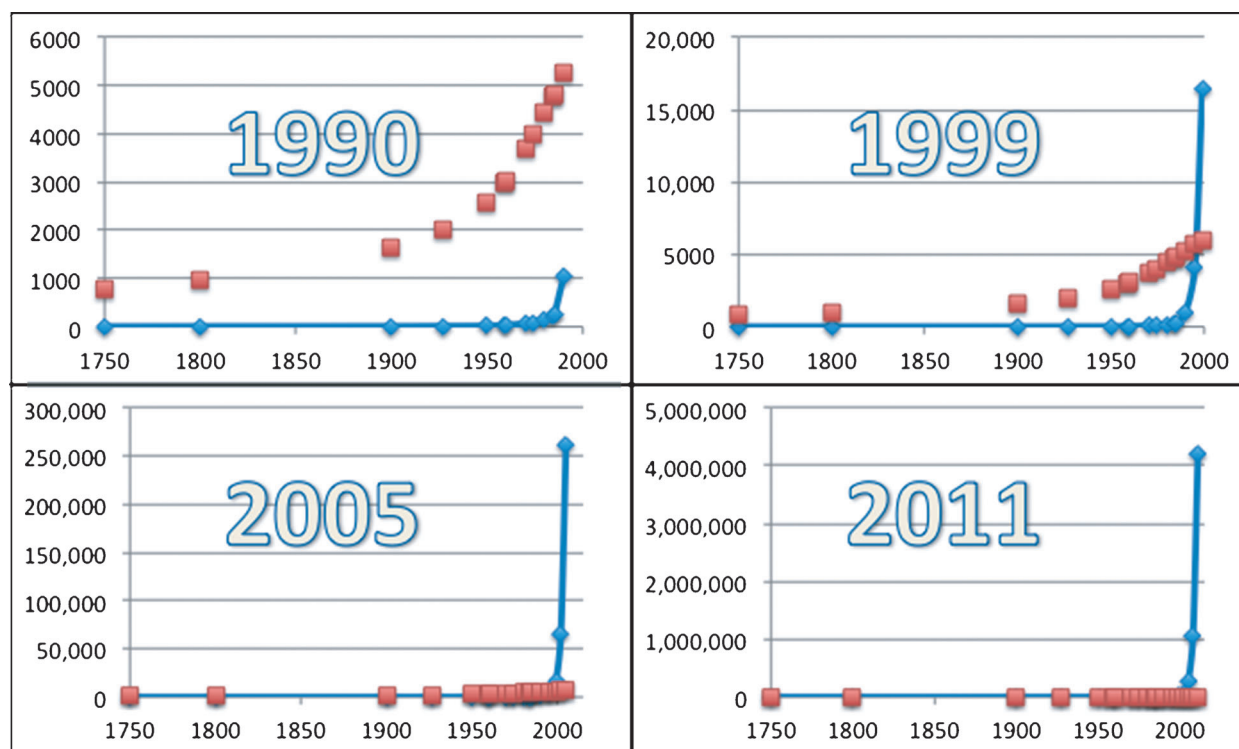


Abbildung 1. Auftragungen der Weltbevölkerung (in Millionen, rote Rechtecke) gegen das menschliche Wissen (auf den Wert 4 gesetzt im Jahr 1750; blaue Rauten) im Zeitraum von 1750 bis 2011.

erhalten und die Wälder retten, aber dies allein reicht nicht aus, um die oben beschriebenen Probleme zu lösen.

Bevölkerungsexplosion kontra Wissensexplosion

Die menschliche Bevölkerung wächst in der Tat exponentiell an und verdoppelt sich ungefähr alle 50 Jahre.^[23] Diesem Anstieg ist jedoch der sehr viel steilere exponentielle Anstieg des menschlichen Wissens gegenüberzustellen, das sich alle 1.5 Jahre verdoppelt (Abbildung 1).^[24] Setzt man die „Menge an Wissen“ zur Zeit des Römischen Reichs auf den Wert 1, so verdoppelt sich die Zahl bis zur Zeit Leonardo da Vincis (um 1500), verdoppelt sich dann nochmals auf den Wert 4 bis zur Französischen Revolution, und so geht es weiter: 8 im Jahr 1900, 16 im Jahr 1950, 32 im Jahr 1960; heute verdoppelt sich das Wissen alle 1.5 Jahre.

Im Vergleich mit dem explosionsartigen Wachstum des menschlichen Wissens ist das Wachstum der menschlichen Bevölkerung, das auf den ersten Blick monströs erscheint, tatsächlich unbedeutend und kann in vielerlei Hinsicht sogar als negativ betrachtet werden. Die Angabe von 1.5 Jahren für die Verdoppelung des Wissens mag nur eine grobe Schätzung sein, an den Konsequenzen ändert die genaue Prozentzahl aber nichts. Selbst wenn die Schätzung einen Fehler von 10 %, 100 % oder gar 1000 % hat (Verdoppelung des Wissens alle 15 Jahre), bedeutet das immer noch, dass das Wachstum der Weltbevölkerung viel langsamer ist. Es ändert nichts an der Tatsache, dass es heute weltweit über 50 Millionen Wissenschaftler und Ingenieure gibt und dass sich ihre Zahl alle

15 Jahre verdoppelt. Es ändert nichts an der Tatsache, dass von allen Wissenschaftlern, die jemals in der Menschheitsgeschichte lebten, 80 bis 90 % immer noch leben und aktiv sind!

Diese qualitative Analyse führt zu dem bestimmten Schluss, dass unsere bereits genannten Probleme durch zukünftige Technologien gelöst werden und die Menschheit für viele Jahre glücklich auf diesem Planeten überleben wird.^[25] Unsere wirklichen Probleme sind also nicht Energie, Nahrung, Wasser und so weiter, sondern die zunehmende Kluft zwischen den entwickelten Gesellschaften und den Gesellschaften, die in der Dunkelheit der wissenschaftlichen und technologischen Unwissenheit zurückgelassen werden.

Alles dreht sich um die Chemie

Chemie ist überall, weil alle Wissenschaften, außer der theoretischen Mathematik, sich mit Materie beschäftigen, weil alle Materie aus Molekülen besteht und weil das Erforschen eines jeden Systems, ob belebt oder unbelebt, an den kleinsten Bausteinen der Materie ansetzt. Das Gleiche gilt auch für das innovative, rationale Design neuer Systeme. Chemie als die „zentrale Wissenschaft“ besitzt die Kraft, andere Disziplinen anzutreiben, einschließlich den technologischen und industriellen Sektor.

George M. Whitesides schrieb 2004:^[26] „Die Chemie war stets fast blind reduktionistisch. Mir wird immer wieder gewahr, dass ‘Chemiker sich mit Molekülen befassen’, als ob jede andere Tätigkeit suspekt wäre. Natürlich befassen sich Che-

miker mit Molekülen – sie sollen es auch; ihr Interesse soll aber auch dem Nutzen von Molekülen gelten sowie Problemen, für die Moleküle nur ein Teil der Lösung sind. Die Chemie war stets die ‘unsichtbare Hand’, die die Werkzeuge aufbaut und betätigt und die Infrastruktur aufrechterhält. Sie kann aber mehr sein. Wir halten uns für Fachleute im Herausbrechen von Steinblöcken aus Granit; wir haben aber nie daran gedacht, Kathedralen daraus zu bauen.“

Niemand kann vorhersagen, wie und wann die oben beschriebenen Probleme zufriedenstellend gelöst werden. Wir können jedoch mit Sicherheit vorhersagen, dass jede Lösung Chemie als einen wesentlichen Bestandteil beinhalten wird, da all diese Probleme sich mehr auf die Chemie beziehen als auf jede andere Wissenschaft. Im Folgenden soll verdeutlicht werden, dass die Chemie weiterhin eine bedeutende Rolle in unserer Reise bei der Lösung dieser Probleme spielt.

Energie. Die Erde absorbiert im Jahr Sonnenstrahlung entsprechend einer Energiemenge von 3850 000 Extrajoule (EJ). Das bedeutet, in einer Stunde wird mehr Energie absorbiert als die ganze Menschheit jährlich verbraucht.^[27] Photosyntheseorganismen erfassen jährlich nur 3000 EJ dieser Energie.^[28] Wenn wir einen Weg gefunden haben, diese Energie mit ähnlicher Effizienz zu nutzen, werden fossile Brennstoffe und Kernenergie nicht mehr benötigt werden. Folgerichtig konzentriert sich die wissenschaftliche und technologische Forschung gegenwärtig auf Solarenergie, Solarstrom, Energiegewinnung aus Biomasse, Solarkraftstoffe, Wind- und Meeresenergie, Energieumwandlung (Brennstoffzellen, Wasserstoff, Energieeffizienz, fossile Brennstoffe, Kernenergie) und Energiespeicher (Batterien, Superkondensatoren).

Rohstoffe. Chemiker haben das Wissen zur Entwicklung neuer Verfahren, um Ressourcen effizient und wirtschaftlich aus unzugänglichen Reserven zu extrahieren, z.B. die Gewinnung von Metallen aus dem Meereswasser. Der Einsatz alternativer Technologien könnte dabei helfen, unsere Abhängigkeit von seltenen Elementen zu reduzieren. Die Rückgewinnung wird dabei helfen, Ressourcen wo immer möglich wiederzuverwerten. Dabei konzentriert sich die aktuelle Forschung auf die Verringerung der Rohstoffmengen, die Wiederverwertung und die Erschließung neuer Ressourcen.

Wasser. Die aktuelle Forschung gilt der Deckung des Wasserbedarfs, der Trinkwasserqualität und der Entwicklung von Bewässerungssystemen. Eine funktionierende Wassertechnologie muss hierbei den gesamten Wasserkreislauf im Auge haben und auch die Auswirkungen auf das Ökosystem, das Wirtschaftswachstum und die soziale Gerechtigkeit mit einbeziehen. Es ist erfreulich, dass in Entwicklungsländern der Zugang zu sauberem Wasser schneller wächst als die Bevölkerung.^[29]

Nahrungsmittel. Die Deckung des Energie-, Nahrungsmittel- und Wasserbedarfs mit den begrenzten natürlichen Ressourcen, ohne die Umwelt nachhaltig zu schädigen, ist zu einer globalen technologischen Herausforderung geworden. Die Chemie kann hier auf vielerlei Weise zum Tragen kommen, z.B. zur Produktivitätssteigerung in der Landwirtschaft, in der Schädlingsbekämpfung, den Pflanzenwissenschaften, der Bodenkunde, der Vieh- und Aquakultur, der gesunden

Ernährung, der Lebensmittelsicherheit, der Prozesseffizienz, der Kostensenkung und der Versorgungskette.

Gesundheit. Die Chemie wird eine zentrale Rolle bei der Entwicklung neuer Technologien im Gesundheitswesen spielen – Stichworte Alterung, Diagnostik, Hygiene und Infektionskontrolle, Materialien und Prothetik, Arzneimittel und Therapien, personalisierter Medizin. Einige spezifische Herausforderungen sind die Förderung der Teilnahme alternder Menschen an der Gesellschaft bei gleichzeitiger Verbesserung ihrer Lebensqualität, Prävention, Erkennung und Behandlung chronischer Krankheiten wie Krebs, Alzheimer, Diabetes, Demenz, Fettleibigkeit, Arthritis, Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Parkinson und Osteoporose. Auch die Erforschung relevanter Biomarker und empfindlicher analytischer Instrumente zur frühzeitigen Diagnose sowie die Entwicklung neuer Materialien für kostengünstige Hochleistungsprothesen, künstliche Organe, Gewebe und Augenlinsen, Verbesserung der Pharmakotherapie gehören zum Fachgebiet der Chemie.

Luft. Die Erfahrung der Industrieländer im vergangenen Jahrzehnt zeigt, dass sobald eine Verbesserung der Luftqualität zu einem zentralen Anliegen der Öffentlichkeit, der politischen Entscheidungsträger und Regierungsbehörden wird, innovative Lösungen gefunden und rasch umgesetzt werden. Laut dem European Pollutant Release and Transfer Register (E-PRTR) und dem European Chemical Industry Council (CEFIC) sanken im Zeitraum zwischen 2004 und 2009 in Europa die Emissionen von Ammoniak, Schwefel- und Stickoxiden um 14 %, trotz einer stetigen Zunahme der Gesamtproduktion. Verschiedene staatliche und freiwillige Organisationen arbeiten zusammen, um die negativen Auswirkungen von Luftschadstoffen auf die Gesundheit und Umwelt zu reduzieren und um Strategien zur Luftreinhaltung auszuarbeiten. Einige dieser Organisationen sind Clean Air for Europe (CAFE), die Industrial Emissions Directive (IED) und die Freiwilligenorganisation Responsible Care.^[30] Es ist wahrscheinlich, dass Chemiker und Chemieingenieure damit fortfahren werden, langfristige Lösungen für die Probleme der Luftqualität zu entwickeln.

Bei allem dürfen wir aber nicht vergessen, dass die derzeitige globale Forschung auf Themen abzielt, die jetzt und heute aktuell sind. Aus den Erfahrungen der Vergangenheit können wir annehmen, dass neue revolutionäre Entdeckungen in der Grundlagenforschung die Prioritäten unserer Forschung vollständig umkehren können. Große technische Innovationen und clevere Produkte, die uns heute als der Gipfel der menschlichen Kreativität erscheinen, könnten morgen, neben all ihren Vorgängern, auf dem Schrottplatz der Geschichte landen.

Schlussfolgerungen

Als Folge des Bevölkerungswachstums steht die Menschheit vor schwierigen Problemen (Energie, Rohstoffe, Nahrungsmittel, Wasser, Gesundheit, Luft), die auf den ersten Blick gewaltig erscheinen, weil sie auf dem heutigen Stand der Technik nicht gelöst werden können. Es ist aber wahrscheinlich, dass noch unbekannte, zukünftige Technologien

diese Herausforderungen meistern werden. Die Zukunft der Menschheit erscheint heute heller als je zuvor, und zwar aus zwei Gründen: 1) dem bemerkenswert schnellen Anwachsen des menschlichen Wissens und 2) der Unvorhersehbarkeit der Wissenschaft. Thomas Malthus und seine Anhänger haben beides ignoriert.

Politische Entscheidungsträger waren ewig von dem Wunsch getrieben, große Probleme so früh als möglich zu lösen. Leider wäre es zwecklos, würde die Politik Wissenschaftlern Anweisungen geben, was sie tun sollen, denn wir wissen nicht, wohin sich die Wissenschaft entwickeln wird. Das Beste ist es, Wissenschaftler mit ordentlichen Laboratorien auszustatten und High-Risk-High-Gain-Projekte zu unterstützen. Ein gutes Beispiel hierfür ist die Politik des European Research Council (ERC) und dessen Förderung neugiergetriebener Grundlagenforschung. Explorative Wissenschaft wird letzten Endes überraschende Entdeckungen und technologischen Fortschritt hervorbringen.

Die Menschheit wird wahrscheinlich noch viele Jahre auf diesem Planeten überleben, die oben aufgeführten Probleme werden gelöst werden, und die Chemie wird dabei eine zentrale Rolle spielen. Das wahre Problem ist aber die zunehmende Kluft zwischen den entwickelten Gesellschaften und denjenigen, die in der Dunkelheit der wissenschaftlichen und technologischen Unwissenheit zurückgelassen werden. Als Wissenschaftler liegt es in unserer Verantwortung, diese Lücken zu schließen, wenigstens in unserem Einflussbereich.

Eingegangen am 23. November 2012

Online veröffentlicht am 23. Januar 2013

- [1] T. R. Malthus, *An Essay on the Principle of Population*, St. Paul's Churchyard, London, **1798**.
- [2] B. Franklin, *Observations Concerning the Increase of Mankind, Peopling of Countries, etc.*, Boston, **1751**.
- [3] D. H. Meadows, D. L. Meadows, J. Randers, W. W. Behrens III, *The Limits to Growth*, Universe Books, New York, **1972**.
- [4] World Development Indicators, The World Bank: <http://data.worldbank.org/data-catalog/world-development-indicators>.
- [5] „How have the world's poorest fared since the early 1980s?“, S. Chen, M. Ravallion, World Bank Policy Research Working Paper 3341, **2004**.
- [6] „Mapping and Modeling the Biogeochemical Cycling of Turf Grasses in the United States“, C. Milesi, S. W. Running, C. D. Elvidge, J. B. Dietz, B. T. Tuttle, R. R. Nemani, *Environ. Manage.* **2005**, 36, 426–438.
- [7] *Chemistry—Developing Solutions in a Changing World*. European Association for Chemical and Molecular Sciences (EuChMS), Brüssel, **2011**.
- [8] International Energy Agency, *Key World Energy Statistics*, <http://www.iea.org/>, **2010**.
- [9] Critical raw materials for the EU: Report of the Ad-hoc Working Group on defining critical raw materials. European Commission, **2010**. http://ec.europa.eu/enterprise/policies/raw-materials/files/docs/report-b_en.pdf.
- [10] C. J. Vörösmarty, P. B. McIntyre, M. O. Gessner, D. Dudgeon, A. Prusevich, P. Green, S. Glidden, S. E. Bunn, C. A. Sullivan, C. Reidy Liermann, P. M. Davies, *Nature* **2010**, 467, 555–561.
- [11] World Resources Institute calculation using data from Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), FAO-STAT Statistical Database (FAO, Rome, **1997**).
- [12] The State of Food Insecurity in the World Addressing food insecurity in protracted crises. Food and Agriculture Organization (FAO) of the UN, Rome, **2010**.
- [13] The world health report 2008: Primary healthcare—Now more than ever, World Health Organisation, **2008**.
- [14] Foresight. Infectious diseases: Preparing for the future, Office of Science and Innovation, **2006**.
- [15] Preventing chronic diseases: A Vital investment, World Health Organisation, **2005**.
- [16] Estimated deaths & DALYs attributable to selected environmental risk factors, by WHO Member State, 2002. WHO, January **2007**.
- [17] Collins, Nick (April 18, **2012**). „Exhaust fumes are twice as deadly as roads, study claims“. The Telegraph.
- [18] „Ambient Air Pollution: Health Hazards to Children“. Committee on Environmental Health, *Pediatrics* **2004**, 114, 1699–1707.
- [19] U.N. Intergovernmental Panel on Climate Change, *Ippc Fourth Assessment Report: Climate Change*, <http://www.ipcc.ch>, **2007**.
- [20] „Unpredictability and chance in scientific progress“. J. M. Thomas, *Prog. Informatics* **2007**, 4, 1–4.
- [21] W. A. Sherden, *The Fortune Sellers: The Big Business of Buying and Selling Predictions*, Wiley, New York, **1997**.
- [22] J. L. Simon, *The Ultimate Resource 2*, Princeton University Press, Princeton, **1996**.
- [23] U.S. Bureau of the Census, Current Population Projections.
- [24] T. R. Tritten, *The Story of Chemistry from the 18th Century to Today: Great Names, Great Steps*, Launch of the International Year of Chemistry, Jan 27, 2011, UNESCO, Paris.
- [25] M. Jahoda, H. Cole, C. Freeman, K. Pavitt, *Thinking about the Future, a Critique of „The Limits to Growth“*, Sussex University Press, Londres, **1973**.
- [26] „Assumptions: Taking Chemistry in New Directions“. G. M. Whitesides, *Angew. Chem.* **2004**, 116, 3716–3727; *Angew. Chem. Int. Ed.* **2004**, 43, 3632–3641.
- [27] „Solar energy: A new day dawning? Silicon Valley sunrise“. O. Morton, *Nature* **2006**, 443, 19–22.
- [28] *Renewable biological systems for alternative sustainable energy production*, Vol. 128 (Hrsg.: K. Miyamoto), FAO Agricultural Services Bulletin, **1997**, Kap. 2.
- [29] *The Millennium Development Goals Report*, United Nations, New York, **2008**, S. 42.
- [30] ICCA Responsible Care Progress Report 2002–2012 <http://www.cecic.org/Documents/Other/Annual%20reports/ICCA%20RC%20annual%20report2002-2012.pdf>.