

# Lichtmessung im Physiksaal

A. Holzinger, L. Mathelitsch, M. Sakulin

## Ausgangspunkt und Motivation

Die Ausgaben für elektrische Energie machen einen beträchtlichen Anteil eines Schulbudgets aus. Da die elektrische Energie, abgesehen von Warmwasserbereitung und fallweiser Raumbeheizung, zum überwiegenden Teil zur Beleuchtung verwendet wird, erhebt sich die Frage, ob bzw. welche Sparmöglichkeiten auf dem Beleuchtungssektor möglich sind, ohne die persönlichen Bedürfnisse und gesetzlichen Auflagen nach ausreichender Beleuchtung einzuschränken.

Diese Problematik wurde von der Direktion des BG und BRG Lichtenfelsgasse an das Institut für Elektrische Anlagen der TU Graz herangetragen und im Rahmen eines Projekts in Zusammenarbeit mit dem Institut für Theoretische Physik der Universität Graz, in Form zweier Diplomarbeiten [1, 2], bearbeitet.

## Datenaufnahme

Als erstes wurde der Tageslastgang der Schule vermessen (siehe Abb. 1).

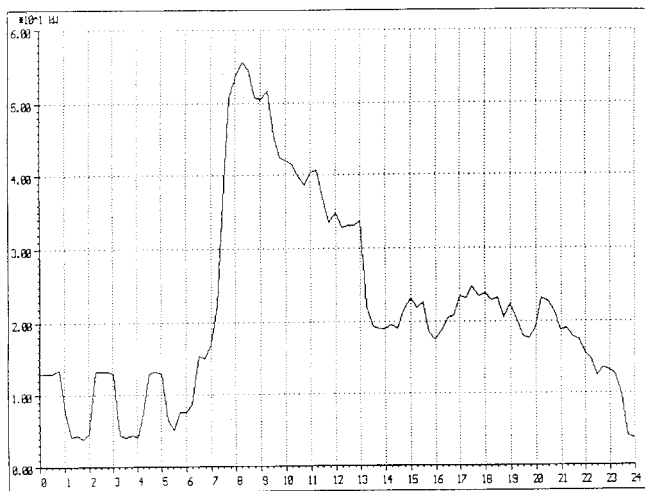


Abb. 1: Tageslastgang am BG und BRG Lichtenfelsgasse am 11. Jänner 1994

Neben dem erwarteten Anstieg des Stromverbrauchs während der Unterrichtszeit fallen periodische Schwankungen während der Nachtstunden und eine große Leistungsspitze von 55 kW nach 8 Uhr auf. Diese hohe Leistungsspitze war deshalb besonders schmerzlich, weil die Schule dadurch eine Grenzleistung von 50 kW (wenn auch nur zeitlich sehr begrenzt) überschritt und damit im Stromtarif in eine höhere Gebührenstufe fiel.

Um die Beleuchtungsverhältnisse über einen längeren Zeitraum feststellen zu können, wurde im Physiksaal von Novem-

ber bis Mitte Dezember 1994 eine Langzeit-Licht- und Energiemessung durchgeführt [2]. Lichtsensoren, die im Raum verteilt wurden, nahmen über Photodioden das Licht auf und wandelten es in ein, der Beleuchtungsstärke proportionales, elektrisches Signal. Dieses Signal wurde über einen Operationsverstärker zu einer Multiplexer-Meßbox geleitet. In diesem Gerät wurde über einen Analog-Digital-Wandler das analoge ankommende Signal digitalisiert und über eine RS-232 serielle Schnittstelle direkt zum seriellen Port eines 386-er Personal Computers geleitet. Dort wertete ein spezielles Analyseprogramm der Technischen Universität die Daten aller Sensoren aus und speicherte diese in Zeitabständen von fünf Minuten ab. Gleichzeitig wurde über Stromwandlerzangen der augenblicklich benötigte Strom für die Beleuchtung gemessen und über einen Leistungsmultiplexer ebenfalls an die Meßbox geleitet, digitalisiert, im PC ausgewertet und in Zeitabständen von fünf Minuten abgespeichert. Mit Hilfe dieser hohen Anzahl von Daten war es möglich, die Beleuchtungsverhältnisse im Langzeitverhalten zu studieren.

## Resultate

Abb. 2 zeigt den mittleren zeitlichen Verlauf der Beleuchtungsstärke sowie des Lampenstroms über 18 Stunden eines Tages. Bei der Beleuchtungsstärke ist die 500 Lux-Marke stärker hervorgehoben: Dies ist der Beleuchtungswert, der für Räumlichkeiten, wie für einen Physiksaal oder ein Klassenzimmer, als Richtlinie derzeit (früher 300 lx) empfohlen wird [3]. In Zeichensälen ist der Wert mit 1000 lx weit höher angesetzt. Man sieht, daß dieser Richtwert nur einmal kurzfristig überschritten, sonst aber meist nicht erreicht wird (wenn auch nur knapp). Im Vergleich mit dem zeitlichen Verlauf des Lampenstroms sieht man eine eindeutige Korrelation, d.h. ohne elektrische Beleuchtung könnte die gewünschte Beleuchtungsstärke nicht erreicht werden. Da der 500 lx Wert nur für kurze Zeit überschritten wurde, ergeben sich hier kaum Sparpotentiale.

Sparmöglichkeiten im Bereich der Beleuchtungstechnik ergeben sich durch Einsatz effizienter Lampen, durch lichteffiziente Gestaltung der Räume sowie durch Anpassung der Dienstleistung Licht an den Bedarf der Benutzer (d.h. Vermeidung von Verschwendungen). Durch Ersatz der alten Leuchtstoffröhren durch neue mit besseren Wirkungsgrad könnte eine Einsparung erzielt werden, vor allem aber auch durch den Einbau von geeigneten Reflektoren in den Lampenträgern und durch günstigere (d.h. niedrigere) Anbringung der Lampen.

## Aktivitäten der Schülerinnen und Schüler

Einen Teil der Diplomarbeit [1] bildete die Durchführung des Physikunterrichtes während dieses Projekts (im Rahmen des Unterrichtspraktikums) in der 7A Klasse. Es wurden mit den SchülerInnen die physikalischen, aber auch physiologischen und lichttechnischen Grundlagen von Licht und Beleuchtung

A. Holzinger, L. Mathelitsch, Inst. f. Theoretische Physik, Universität Graz,  
M. Sakulin, Inst. f. Elektrische Anlagen, TU Graz

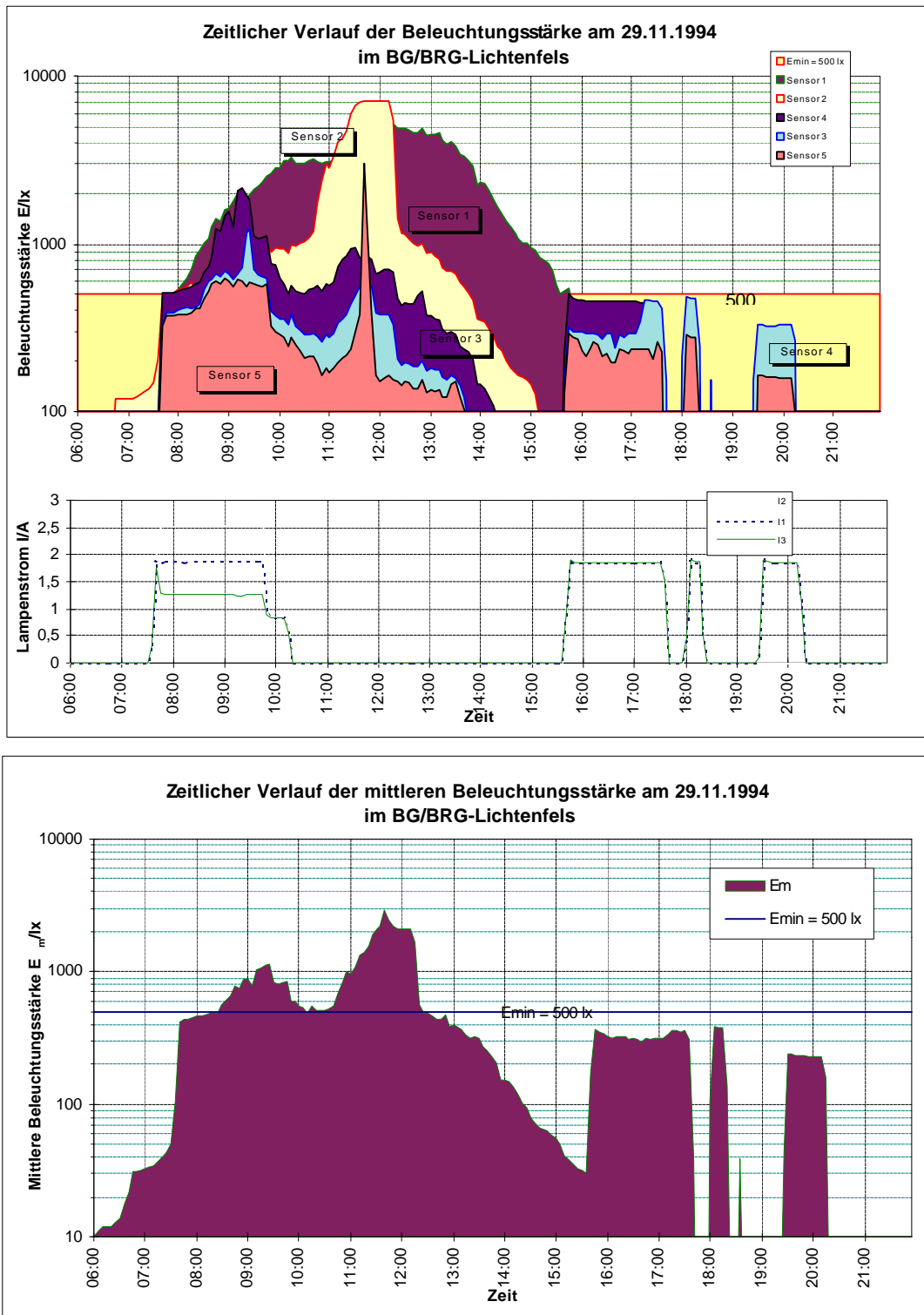


Abb. 2: Zeitl. Verlauf der Beleuchtungsstärke und des Lampenstroms im Physiksaal.

erarbeitet, die SchülerInnen wurden aber auch aktiv in die Datenaufnahme eingebunden. Dabei konnten die SchülerInnen während des Physikunterrichts selbst experimentell tätig werden. Sie führten Messungen mit digitalen und analogen Lichtmeßgeräten durch. Diese manuell ermittelten Meßwerte waren von besonderer Wichtigkeit, denn sie dienten als Vergleichswerte zur Kontrolle der automatisierten Meßdatenerfassung. Die Messung selbst wurde in Gruppen durchgeführt. Davor wurden die theoretischen Grundlagen für die Messungen erarbeitet: Die grundsätzliche Vorgangsweise bei der Meßdatenerfassung, das Erstellen des Meßprotokolls, die physikalischen

Grundlagen der Licht- und Beleuchtungstechnik und das Handling mit den verschiedenen Lichtmessgeräten. Abb. 3 und 4 zeigen die Begeisterung und den Eifer, mit dem die SchülerInnen die Messungen durchführten.

Unterlagen zur historischen Entwicklung und zu physikalischen, biologischen und psychologischen Grundlagen von Licht und Beleuchtung finden sich in der Diplomarbeit [1], worin auch Reflexionen des Verfassers über den von ihm gehaltenen Unterricht und über das Projekt, sowie eine Umfrage unter den SchülerInnen zum Benutzerverhalten von Licht und Beleuchtung enthalten sind.

## Zusammenfassung

Untersuchungen, wie die oben geschilderte, können für eine Schule aus mehreren Gründen von Interesse sein. Erstens kann die Beleuchtungssituation erhoben und kritisch untersucht werden. Dies kann zu Energieeinsparungen führen (sowohl durch Änderung des Benutzerverhaltens als auch durch Austausch von Beleuchtungskörpern oder durch einfache bauliche Veränderungen), kann aber auch Mängel der Beleuchtung in verschiedenen Räumen oder Teilen von Räumen aufzeigen und damit zu Verbesserungen Anlaß geben.

Zum zweiten kann durch die Einbindung von Schülerinnen und Schülern in ein derartiges Projekt das Interesse an dieser Problematik geweckt werden und damit die Motivation zu einer Behandlung dieses Lehrstoffes im Physikunterricht erhöht werden.

PS: Als Ursache für die Schwankungen, die sich in der Nacht besonders deutlich zeigten, aber auch zur hohen Tagesspitze beitrugen (siehe Abb. 1) konnte ein defekter Muffelofen festgestellt werden, der sich fortlaufend in der Werkstätte der Schule in periodischen Zeitintervallen von etwa 2 Stunden mit einer Leistung von etwa 10 kW ein- und ausschaltete. Ein

leicht zu behebender Fehler, der erst durch die Langzeitmessung sichtbar wurde.

Hinweis: Im Jänner 1998 erscheint eine interdisziplinäre Einführung [7].

## Literatur

- [1] Holzinger, Andreas (1995): *Energiesparpotentiale bei Licht und Beleuchtung: Implikationen im Physikunterricht*; Diplomarbeit an der Universität Graz.
- [2] Scherthaner, Gerhard (1995): *Energiesparpotentiale bei Licht und Beleuchtung*; Diplomarbeit an der Technischen Universität Graz.
- [3] Fischer, D. (1980): *PHILIPS-Lichthandbuch*; 2.Auflage; Eindhoven: Philips.
- [4] Bergmann, L.; Schaefer, C.(1993): *Experimentalphysik III: Optik*; 9.Auflage; Berlin: de Gruyter.
- [5] Hentschel, H. J.(1987): *Licht und Beleuchtung*; 3.Auflage; Heidelberg: Hüthig.
- [6] Prochazka, H. (1984): *Wissenswertes zur Lichttechnik: Hinweise, Neuerungen und Tendenzen*; Wien: Philips.
- [7] Holzinger, Andreas (1998): *Von der Wachskerze zur Glühlampe: eine fächerübergreifende Einführung und historische Entwicklung der Lichttechnik*. Verlag Harri Deutsch, Frankfurt/Main.

---

# Euromoon, Vigiwind und Lunarsat

## Weltraumvisionen für das 21. Jahrhundert

Peter Habison, Claudia Schlögl (Ed.)

*"Die Erde ist nicht die Welt, sondern die Welt ist das Universum und die Erde ist ein ganz kleines Raumschiff, das durch das Universum segelt."*

Im September 1997 fand an der Kuffner-Sternwarte ein Symposium zum Thema "Weltraumvisionen für das 21. Jahrhundert" statt. Internationale Experten aus Astronomie und Raumfahrt versammelten sich in Wien um gemeinsam über "himmliche" Projekte zu berichten und diskutieren. Die Wünsche hierbei sind nicht immer gerade bescheiden, aber die Astronomen, die Archäologen des Kosmos, meinten immer schon im Weltall Antworten auf existentielle Fragen zu finden und sind stetig auf der Suche, das Unsichtbare sichtbar zu machen. Woher kommen wir, wohin gehen wir? Wie ist unser Sonnensystem entstanden, wann hat das Universum begonnen? Roger Bonnet, Direktor des wissenschaftlichen Programms der Europäischen Weltraumorganisation, erwartet sich im 21. Jahrhundert sichtbare Belege für heutige Theorien:

*"Den sogenannten Urknall - wenn man überhaupt an ihn glaubt - hat ihn bisher schon jemand gesehen? Sicher nicht mit unseren Augen und sicherlich nicht mit Licht. Wir brauchen dazu eine neue Astronomie. Eine Astronomie, die nicht Licht, sondern andere Signale des Urknalls sammelt. So könnten zum Beispiel Gravitationswellen diese Signale sein. Diese Wellen*

*sind ein Teil von Einsteins Gravitationstheorie, aber sie wurden direkt noch nicht entdeckt. Die ESA baut derzeit ein großes Teleskop, mit dem man die Verzerrung von Raum und Zeit messen können. Zur Zeit des Urknalls gab es eine Menge Gravitationswellen und diverse Strahlungen, welche noch teilweise heute existieren. Wenn wir nun heute diese Strahlungen messen können, dann können wir zu Beobachtern des Urknalls werden. Das zu sehen würde mich natürlich sehr interessieren, vor allem deswegen, weil ich nicht an die Urknalltheorie glaube. Was ich noch gerne sehen möchte, was aber nicht zu sehen ist, sind Schwarze Löcher. Wir sehen nur die Manifestationen dieser Objekte, aber ich hoffe, daß die Röntgen-Astronomie uns mehr zeigen wird. Was ist heute noch unsichtbar? Planeten um andere Sterne herum, besonders Planeten wie die Erde. Ich denke, daß ich nicht übertreibe, wenn ich behaupte, sollten wir einmal eine andere Erde sehen, die um einen Stern kreist, dann wäre das eine Revolution. Eine Revolution nicht nur für die Wissenschaft, sondern für die gesamte Menschheit. Es wäre eine philosophische Revolution. Ich denke, daß es im nächsten Jahrhundert soweit sein wird."*

## Astronomie im 21. Jahrhundert

Als Moriz von Kuffner - Sproß einer wohlhabenden Industriellenfamilie, die unter anderem auch die Ottakringer Brauerei besaß - sich 1883 eine eigene Sternwarte bauen ließ, um den

---

Dipl.-Ing. Peter Habison ist Leiter der Kuffner-Sternwarte in Wien-Ottakring

Himmel zu vermessen, hätte er sich wohl kaum vorstellen können, 110 Jahre später die Landung eines Roboters am Mars live im Internet mitverfolgen zu können. 8468 Sterne haben die Wissenschaftler der Kuffner-Sternwarte um 1890 katalogisiert und veröffentlicht. Über eine Million Sterne ist die Ausbeute des europäischen Astrometrieesatelliten HIPPARCOS im Jahre 1997 und der Nachfolgesatellit GAIA, der im Jahr 2016 starten soll, wird bereits 500 mal mehr Sterne hundertmal genauer als HIPPARCOS vermessen. Trotzdem setzt man in der Astronomie beim Blick in das All auch weiterhin auf Bodenteleskope wie etwa das VERY LARGE TELESCOPE (VLT) der Europäischen Südsternwarte (ESO), das Anfang 1998 mit seinem ersten 8,2 m Spiegelteleskop der neuesten Generation am Cerro Paranal in Chile in Betrieb genommen wird. Vier Spiegel mit 8,2 m Durchmesser werden zum größten Spiegelteleskop der Welt vereint. Wird das Licht von diesen vier Teleskopen zusammengefaßt, dann erreicht man eine extreme Bildschärfe. Richard West, Astronom und Leiter der Abteilung für Öffentlichkeitsarbeit der ESO ist daher überzeugt: Bodenteleskope haben trotz der Satelliten immer noch eine große Zukunft vor sich:

*"Ich gehe davon aus, daß die neuen großen Teleskope, welche derzeit gebaut werden, bis zur Mitte des 21. Jahrhunderts schon sehr viel Neues herausgefunden haben werden. Es besteht große Hoffnung, daß wir jetzt mit diesen ganz großen neuen Spiegelteleskopen wirklich zum ersten Mal sehen können, was am Anfang des Universums wirklich passiert ist. Wir haben die Möglichkeit, ganz junge Galaxien zu erforschen, welche soeben erst entstanden sind und vielleicht werden wir dadurch auch erfahren können wie das Universum sich zu Beginn aller Zeiten entwickelt hat. Vor 15 Jahren hätte niemand gewagt vorauszusagen, daß es zur Jahrtausendwende so viele neue große Teleskope geben wird. Plötzlich jedoch versuchte man in zahlreichen Ländern, nicht nur hier in Europa sondern auch in Amerika, in Japan und Australien, große neue Teleskope zu finanzieren. Hier in Europa ist es gelungen, für den Bau des VLT eine Milliarde Mark zu bekommen. Damit kann man natürlich einiges machen!"*

*Wenn wir über das VLT und den visuellen Spektralbereich sprechen, dann gibt es überhaupt keinen Zweifel, daß die Spiegel hier auf der Erde viel größer als im Weltraum sein können. Das bedeutet, daß man am Boden viel mehr Licht sammeln kann und dadurch auch schwächere Objekte beobachten kann als vom Weltraum aus. Wenn es aber darum geht, Details zu beobachten, dann muß man sagen, daß dies auch vom Weltraum aus zu machen ist. Die Erdatmosphäre ist natürlich sehr turbulent und das bedeutet, daß die Bilder hier ein bißchen verwaschen sind. Allerdings muß ich hinzufügen, daß es in den letzten 10 Jahren mit einer neuen Technik, der sogenannten "adaptiven Optik", gelungen ist, das Teleskop auf der Erdoberfläche wieder zu fokussieren und die Turbulenzen in der Atmosphäre, auszugleichen. Die Bilder von der Erdoberfläche sind somit ebenfalls äußerst scharf."*

## **Sind wir allein im Universum?**

Vielleicht entdeckt man auf diesen scharfen Bildern neue Planeten um andere Sterne. 42 sogenannte transneptunische Planeten fand man in den letzten Jahren. Es sind dies Planeten, die weiter entfernt sind als Neptun und Pluto. Diese sind derzeit bloß erkennbar aus Störungen der Lichtstärke des Sterns wor-

aus man schließt, daß diese Körper so groß und massiv wie etwa Jupiter sein müssen. Dies bedeutet aber einen gasförmigen Körper, der keine feste Oberfläche und keine Chance für Leben bietet. Es sieht bei diesen Sternen weiters so aus, als wären die Planeten dem Zentralgestirn näher als die Erde der Sonne. Dies ist derzeit noch völlig unverständlich, berichtet Professor Siegfried Bauer vom Institut für Weltraumforschung:

*"In unserem Sonnensystem sind die massiven Planeten wie Jupiter und Saturn weit draußen, die kleineren Planeten mit einer festen Oberfläche wie Venus, Mars und Erde sind viel näher am Zentralgestirn. Bei diesen fernen Planetensystemen scheint alles verkehrt zu sein. Diese Situation versteht man noch nicht ganz. Es ist eine Tatsache, daß man bis heute noch keinen einzigen Planeten gesehen hat, der ungefähr von der Größe der Erde ist, einen vergleichbaren Abstand von der Sonne besitzt und wo man mit Gewißheit sagen kann, es sind nicht Gasbälle mit hoher Schwerkraft sondern Objekte mit fester Oberfläche. Wichtig hierbei jedoch ist, daß es Planeten um andere Sterne gibt. Der nächste Schritt ist - und das wird eine Herausforderung des nächsten Jahrtausends sein, mit verbesserten Beobachtungsmöglichkeiten diese kleineren Planeten zu entdecken. Hat man diese Objekte einmal gefunden, wird man nach den Voraussetzungen von Leben auf diesen fremden Himmelskörpern suchen. Fragen wie, gibt es Wasser, sind die Oberflächentemperaturen für Leben geeignet sind, findet man Kohlendioxid, Wasserdampf oder vielleicht sogar Ozon, werden wahrscheinlich im Mittelpunkt der Forschungen stehen. Das sind alles Dinge, die meiner Meinung nach sehr wohl im nächsten Jahrtausend von der Weltraumforschung zu erwarten sind. Wir Menschen sind natürlich daran interessiert zu erfahren, ob es anderswo im Universum Leben oder sogar Intelligenz gibt? Aber schon allein die Tatsache, irgendeine Form von einfachem Leben im All zu finden wäre eine ungeheure Leistung der Wissenschaft."*

An einem Nachweis dieser Art wäre auch Roger Bourke, Mitarbeiter am Marsprogramm des Jet Propulsion Laboratory der NASA, interessiert:

*"Die große Frage ist, gab es jemals Leben auf dem Mars? Wenn ja, was ist damit geschehen? Wenn nein, wo, wann und warum hat der Prozeß in Richtung Leben aufgehört? Die Geschichte des Mars ist eine sehr spannende wissenschaftliche Frage auf die wir gerne eine Antwort hätten."*

Zu den offenen Fragen gehört auch: Wohin verschwand das Wasser, das sich am Mars befunden haben muß, gibt es heute noch Stellen mit flüssigem Wasser? Der Mars wird im 21. Jahrhundert im Mittelpunkt zahlreicher Weltraumprojekte stehen. Bis zum Jahr 2005 wird die NASA jedes zweite Jahr Raumsonden zum Mars schicken. Dabei geht es nicht nur um die Sammlung von Marsgestein zwecks wissenschaftlicher Auswertung, sondern auch um die Kolonialisierung, die Eroberung und gleichsam Urbarmachung eines Teils unseres Sonnensystems. Nicht zufällig nennt sich jede menschliche Aktivität im Weltraum "Mission".

*"Ich halte eine menschliche Mission zum Mars in der zweiten Dekade des 21. Jahrhunderts für vernünftig und machbar. Das bedeutet aber nicht, daß sie auch stattfinden wird. Es sollte nur ein Besuch sein, keine permanente menschliche Präsenz. Die Menschen werden eineinhalb Jahre dort bleiben und dann zur Erde zurückkehren."*

Roger Bourke hat selbst keinerlei Ambitionen, die drei Jahre dauernde Reise zu Mars und wieder retour durchzuführen. Er ziehe es vor, den Marsroboter untertags von der Erde aus zu lenken und abends zu Hause im eigenen Bett zu schlafen.

## Rendezvous mit dem neuen Jahrtausend

Der Ausschuß für Langfristige Weltraumpolitik ("Long Term Space Policy Committee") der Europäischen Weltraumorganisation ESA hat Überlegungen darüber angestellt, wie Europa den Eintritt in das neue Jahrtausend mit einem Jubiläums-Raumfahrtprojekt gebührend feiern kann. Im Rahmen des Symposiums wurden auch jene Weltraumprojekte vorgestellt, die von diesem Gremium dafür ausgewählt wurden bzw. sich darum bewerben.

EUROMOON 2000: Virtuelle menschliche Präsenz zwar nicht auf dem Mars, aber immerhin auf dem Mond, sieht das Projekt EUROMOON 2000 vor. Es geht um die Eroberung des Südpols des Mondes. Dort am Rande eines Kraters befindet sich mit großer Wahrscheinlichkeit ein Punkt des "ewigen Lichts". So nennen die EUROMOON - Projektleute jene Stelle, die trotz Rotation des Mondes im ständigem Sonnenlicht liegt. Ein bestens geeigneter Landeplatz also für die mit Solarzellen ausgestatteten Mondroboter, da man sich dadurch die schwere Batterien zur Energiegewinnung spart. Dort, am Punkt des "ewigen Lichts" sollen im Jahr 2001 mechanische Abgesandte der ESA landen und europäische Präsenz markieren, wie es Peter Creola nennt. Dem Berater für Europäische Weltraumzusammenarbeit und Ideengeber für Euromoon 2000 schwebt ein virtuelles Monddorf vor:

*"Wir sitzen bequem hier herunter auf der Erde und fahren trotzdem oben den Mondkrater entlang. Wenn sie denken, was für ein Interesse die Mars Pathfinder Mission geweckt hat und welche Beziehung die Leute zu dem kleinen sechsrädrigen Gefährt aufgebaut hatten, dann ist das eine Weiterentwicklung. Wenn wir diese Art von Verbindung zwischen kleinen Maschinen, die am Südpol des Mondes operieren und den Menschen auf der Erde hier in Europa herstellen können, dann haben wir gewissermaßen ein Dorf gegründet, das durch diese Roboter-maschinen bewohnt wird. In dieses Dorf können sich die Menschen auf der Erde hineinversetzen, indem sie sich einen Helm aufsetzen und durch die Augen des Roboters virtuell durch die Landschaft rollen. Man kann das Gefühl haben, einen Felsbrocken zu erklimmen oder in einen Krater hinabzufahren."*

Peter Creola denkt weiters an ein von der Erde aus gesteuertes Roboterwettrennen zum Südpol des Mondes. Vermutlich kein Formel-1 Wettbewerb, sondern bloß ein Go-Kart-Rennen, aber immerhin. Schließlich, so seine Begründung, wurden vor 100 Jahren der Nord- und Südpol der Erde auch quasi in einem internationalen Wettbewerb erreicht. Warum nicht das nächste Jahrtausend mit einer virtuellen Mondralley beginnen?

*"Wissen Sie, der Mond ist gar nicht richtig Raumfahrt, das ist Vorortsverkehr. Der Mond ist eine Plattform, die uns die Natur gegeben hat und die viel besser ist als die Internationale Weltraumstation. Der Mond ist stabiler, größer und hat auf seiner Rückseite ein Gebiet, von welchem man völlig ungestört mit verschiedensten astronomischen Geräten das Universum erforschen kann. Er ist eine natürliche Weltraumstation, die zur Erde gehört und ich bin überzeugt, daß im nächsten Jahrhundert das Erde-Mond-System gewissermaßen eine Einheit sein*

*wird. Er ist nicht weit entfernt, rund 380 000 km, in 3 Tagen ist man dort. Wenn man denkt, daß frühere Entdeckungsreisen auf der Erde ein bis drei Jahre gedauert haben und daß es immer wieder Leute gab, die das Risiko dieser Expeditionen auf sich nahmen, dann wäre es eigentlich lächerlich, wenn man sich nicht einmal vorstellen könnte, daß man eben einen neuen Kontinent der jetzt 380 000 km von den bisher bekannten Kontinenten entfernt liegt einfach unerforscht läßt."*

VIGIWIND: Der scheinbar freie Raum des Universums sowie die Jahrtausendwende sind alles Nährstoffe für die menschliche Phantasie, um Weltraumvisionen wie zum Beispiel VIGIWIND und EUROSAIL zu entwerfen. Im Mittelpunkt stehen Sonnensegel - große leichte Flächen, die im Weltraum aufgespannt werden und verschiedene Umlaufbahnen einnehmen können. Da gibt es die Idee, das Sonnensegel nahe der Erde zu entfalten. Es würde dann von der Erde aus wie ein neuer Stern aussehen und wir auf der Erde könnten in kleinen Kontrollzentren diesen Stern für ein paar Minuten zum Erleuchten bringen. Bei VIGIWIND hingegen würde man das Sonnensegel etwa drei Millionen Kilometer von der Erde entfernt stationieren - als Vorposten, um die Erde vor Sonnenstürmen zu warnen. Solarstürme können Satelliten beschädigen und im Extremfall die Stromversorgung ganzer Gebiete zusammenbrechen lassen.

Das Hauptproblem bei der Realisierung dieser Projekte ist nicht die technische Durchführbarkeit sondern das Geld. Die Space Community beklagt die mangelnde Bereitschaft von Politik und Bevölkerung, für derartige Visionen Geld bereitzustellen. Bloß einen Dollar hätte die "PATHFINDER" Mission jeden Amerikaner gekostet, weniger als der Hollywoodfilm über den Untergang der Titanic. Nicht einmal ein Prozent des Bruttosozialproduktes mache die Raumfahrt aus. 500 Millionen Franken gebe die Schweiz für die Subventionierung von Milch und Käse aus, aber bloß 115 Millionen Franken gingen an die ESA, die Europäische Weltraumorganisation. Immer schon habe der Mensch Gebiete kolonialisert. Der Vergleich mit Columbus darf hier natürlich nicht fehlen. Hätte Isabella von Spanien damals nicht investiert, nicht auszudenken, wo wir heute wären. Die Frage, ob man das Geld für das Aufspüren von Wasser auf dem Mars nicht besser in die Wasserversorgung Afrikas stecken solle, ruft reflexartig die Aufzählung der positiven Errungenschaften der Raumfahrt hervor:

*"Denken Sie doch", sagt Nandasiri Jasentuliyana, Direktor des Weltraumbüros der Vereinten Nationen, "an all die Satelliten, ohne die unser Leben heute anders aussehe. Erdbeobachtung für die Umwelt, Kommunikation, Wettervorhersage, Innovationen im Gesundheitsbereich, das alles wird sich noch verbessern. Viele Diagnosetechniken entstanden beispielsweise aus der Raumfahrt. Oder denken Sie an Diabetiker. Früher mußten sie sich täglich eine Spritze geben. Heute gibt es ein Implantat, daß von selbst Insulin freisetzt. Oder der Herzschrittmacher, Erziehung, Bildung. In so großen Ländern wie Indien oder Brasilien können sie nicht in jedem kleinen Dorf eine Schule und Lehrer haben. Aber Dank der Satelliten gibt es Teleschulen. In tausenden indischen Gemeinden finden wir heute Kommunikationszentren nicht nur zwecks Schulbildung sondern auch als Informationsstelle für die Bauern oder für Familienplanung. Oder denken Sie ans Internet. Das alles wäre ohne Satelliten nicht möglich gewesen. Alles Dinge, die wir für selbstverständlich betrachten."*

## Überleben auf dem Planeten Erde

Die Weltraumindustrie also als Wohltäterin der Menschheit? Gewissermaßen sicher, Satelliten blicken wie gütige Eltern wachsam auf unser Treiben, sie warnen vor Wirbelstürmen, Flutwellen und Vulkanausbrüchen. Sie registrieren penibel die Abholzung der Regenwälder, das Fortschreiten der Wüsten und halten das Ozonloch unter konstanter Beobachtung. Ihnen verdanken wir unser Wissen über den Klimawechsel. Ein Temperaturanstieg von zwei bis zweieinhalb Grad erwartet die Erde in den kommenden 100 Jahren. Ichtiague Rasool, ehemaliger NASA-Wissenschaftler und jetzt an der Universität von New Hampshire, zeigt sich leicht beunruhigt:

*"Zwei Grad mehr, das klingt nicht sehr viel. Derzeit beträgt die durchschnittliche Erdtemperatur 15 Grad Celsius. Genauer gesagt 14,8°. Aber das Interessante ist, daß die Durchschnittstemperatur der Erde in den vergangenen 1000 Jahren gleichgeblieben ist. Um 15 Grad herum. Mehr oder weniger 0,2 oder 0,3 %. Zwei Grad mehr bedeutet also einen gewissen Sprung. Das letzte Mal hatten wir einen derartig großen Wechsel vor 20 000 Jahren, während der letzten Eiszeit".*

Rasool wünscht sich verbesserte Klimamodelle, damit es nicht wieder trotz aller Satelliten zur Mississippi-Pleite kommt. 1993 gab es eine riesige Überschwemmung entlang des Mississippi. Die Voraussagen für 1993 behaupteten damals, Mittelamerika bleibe trocken und der Südosten der USA werde feucht. Aber - so Rasool - genau das Gegenteil sei geschehen. Der Mississippi trat über die Ufer. Die Ursache dieser falschen Prognose sieht er darin, daß sich die Modelle nicht um die Bodenfeuchtigkeit kümmerten. Man müsse wöchentlich die Bodenfeuchtigkeit und Vegetation messen und sehen, wie sich diese zur Wolkenbildung, zum Regenfall usw. verhält. Wir wissen, sagt Rasool, daß der steigenden Temperaturen wegen der Wasserzyklus intensiver sein wird, aber es läßt sich derzeit nicht vorhersagen, welche Gebiete starke Regenfälle zu erwarten haben und entlang welcher Flüsse es zu Überschwemmungen kommen wird.

Für Peter Creola gibt es daraus nur eine Schlußfolgerung: *"Wir werden im nächsten Jahrhundert unser Raumschiff Erde nur dann in einigermaßen akzeptabler Art managen können, wenn wir Einblick in sein Funktionieren haben. Und dazu müssen wir hinaus gehen. Es ist eine lebenswichtige Mission, das Raumschiff Erde von außen zu beobachten und seine Systeme zu verstehen."*

Wird sie tatsächlich nur von außen - aus dem Weltall - kommen, die Lösung für das globale Klimaproblem? Reicht der Blick von oben und das Zusammentragen von Informationen über die Ursachen des Treibhauseffektes wenn CO<sub>2</sub> und FCKW-Ausstoß nicht maßgeblich reduziert werden? Stimmt die Rolle des Weltraums als Hoffnungsträger, Experimentierfeld, Hinterhof und Auslagerungsstätte für jene Industrien, die der Biosphäre schaden?

*"Eine typische Industrie, die unsere Natur belastet ist die Aluminiumindustrie. Die Aluminiumerzeugung ist sehr energieintensiv; auf der anderen Seite wir wissen, daß Aluminium als Mineral sehr häufig am Mond vorkommt. Wenn man im Wirtschaftssystem Erde - Mond denkt, dann haben wir die Möglichkeit, die Rohprodukte vom Mond zu beziehen und mit Energie aus dem Weltraums zu verarbeiten. Hier entfallen alle Verschmutzungsprobleme von der Mine, von der Energieproduktion bis zum halbfertigen Produkt."*

Marco Bernasconi, Ingenieur an der ETH Zürich sowie beim schweizer Örlicon-Konzern, trennt sauber zwischen Biosphäre und Weltall. Die Biosphäre bezeichnet er als unser Haus. Den Raum draußen als Werkstatt. Und er stellt die Frage: Warum die Arbeit mit ins Haus nehmen? Der Weltraum biete hervorragende räumliche und zeitliche Bedingungen um neue Ideen umzusetzen. Man könnte ihn als eine Art Lernwerkstätte betrachten. Eine der bedeutendsten Fragen des nächsten Jahrhunderts werde es sein, wie man Milliarden von Menschen mit ausreichend Energie versorgen kann. Die Antwort lautet, wie könnte es anders sein: durch Energieproduktion aus dem Weltraum. Denn dort draußen ist die Sonnenstrahlung kontinuierlicher als auf der Erde und wir haben beliebig viel Sonnenenergie zur Verfügung, die wir mit minimalen Verlusten zur Erde schicken können.

Das einfachste Modell, das schon vor über 30 Jahren von Peter Glaser vorgeschlagen wurde, ist die Idee eines möglichst großen Sonnenkollektor, der aus Sonnenlicht mittels Solarzellen Strom erzeugt. Dieser Strom wird dann in Mikrowellenstrahlung umgewandelt und zum Boden gesendet. Dort macht eine Empfangsantenne das Gegenteil - sie wandelt die einfallende Mikrowellenstrahlung in Strom um. Es gibt natürlich viele Varianten dieser Idee. Man könnte z.B. keinen einzelnen großen Satellit bauen, sondern auf der Mondoberfläche Kollektoren mit lokalen kleinen Sendern verteilen. Das hätte gewisse Vorteile, wie zum Beispiel daß der Mond schon einen festen Boden besitzt. Die Ressourcen für die Erstellung dieser Solarzellen könnten vielleicht einmal am Mond gewonnen werden. Hier denkt man bereits an kleine Roboter, die eben diese Solarzellen produzieren, aufbauen und in Betrieb nehmen.

### Der klare Durchblick

Die schöne neue Energiewelt könnte unter anderem aber den Nachteil haben, daß die großen Antennen sowie die leuchtenden Spiegel von der Erde aus mit bloßen Augen zu sehen wären. Einige Astronomen stehen daher diesen Vorschlägen abwartend gegenüber. Sehen sie doch die Dunkelheit des Nachthimmels in Gefahr. Die Zunahme an Wolken, der Treibhauseffekt und die Lichter der Großstädte erschweren schon jetzt den Blick ins All, kritisiert Richard West von der Europäischen Südsternwarte. Die Internationale Astronomische Union (IAU), der etwa 10.000 Fachastronomen aus der ganzen Welt angehören, hat daher bei ihrer letzten Tagung beschlossen, bei der UNESCO einen weitreichenden Antrag zu stellen.

*"Man hat sich überlegt, was man gegen die Ausbreitung der Lichtverschmutzung tun könnte. Leider gibt es darüber hinaus auch Pläne, im Weltraum Reklame zu machen, also irgendwelche Satelliten, die sehr hell sind, für Burgers und andere Dinge werben zu lassen. Diese fliegen dann um die Erde herum und können von vielen Leuten gesehen werden. Wir Astronomen sind der Meinung, so etwas gehört nicht an den Himmel. Wir sollten ihn schützen! Es gibt nur einen Himmel über uns und es gibt nur eine Möglichkeit hinauszublicken. Vielleicht könnte man den Himmel gleichsam wie andere Denkmäler hier auf der Erde, alte Städte, Paläste oder Kirchen, als "Kulturerbe der Menschheit" deklarieren und sagen: Es muß so bleiben, wie es ist und darf nicht verändert werden. Insbesondere darf es keine helle Reklame am Himmel geben!"*