

»Die Dunkle Energie gefährdet die Kultur der astronomischen Forschung«

In mehreren Großprojekten wollen Teilchenphysiker und Astronomen gemeinsam die so genannte Dunkle Energie vermessen, die drei Viertel der Energiedichte des Kosmos ausmacht und seine Ausdehnung beschleunigt. **Simon White**, Direktor am Max-Planck-Institut für Astrophysik in Garching, warnt seine Kollegen, dafür unbedacht den Arbeitsstil der Hochenergiephysik zu übernehmen.

Auch wenn sie sich für die Teilchenphysik als bedeutsam erweisen kann, sprechen für die Existenz der Dunklen Energie allein astronomische Beobachtungen. Bisherigen Messungen zufolge könnte es sich um die kosmologische Konstante handeln, einen Term, den Albert Einstein 1917 in die Feldgleichungen seiner Allgemeinen Relativitätstheorie einfügte. Das schien ihm notwendig, um aus dieser Theorie ein statisches Weltmodell abzuleiten, was damals als selbstverständlich galt. Als Ende der 1920er Jahre die Expansion des Weltalls entdeckt wurde, bedauerte Einstein seinen Schritt. Andere Kandidaten sehen Theoretiker in Abwandlungen von Einsteins Theorie, gänzlich neuen Gravitationstheorien, höheren Raumdimensionen oder so genannten Skalarfeldern, die man als eine bislang unbekannte Teilchenart deuten kann.

Zu den geplanten Projekten gehört der Dark Energy Survey, der in 500 Nächten mit dem 4-Meter-Teleskop auf dem Cerro Tololo (Chile) unter anderem

die Entfernungen von Tausenden von Supernovae und Millionen von Galaxien messen soll. Mehr als 100 Wissenschaftler aus 21 Instituten in den USA, Großbritannien, Spanien und Brasilien sind daran beteiligt. Auch neue Satelliten werden vorbereitet, darunter JDEM (*Joint Dark Energy Mission*), ein Unternehmen von Nasa und US-amerikanischem Energieministerium. Keines dieser Projekte kritisiert White direkt, er

»Astronomische Beobachtungen lassen sich nicht wie ein physikalisches Experiment kontrollieren«

sorgt sich vielmehr um langfristige Entwicklungen der Forschungslandschaft.

Spektrum der Wissenschaft: Herr Professor White, wie kann man die Eigenschaften der Dunklen Energie genauer bestimmen?

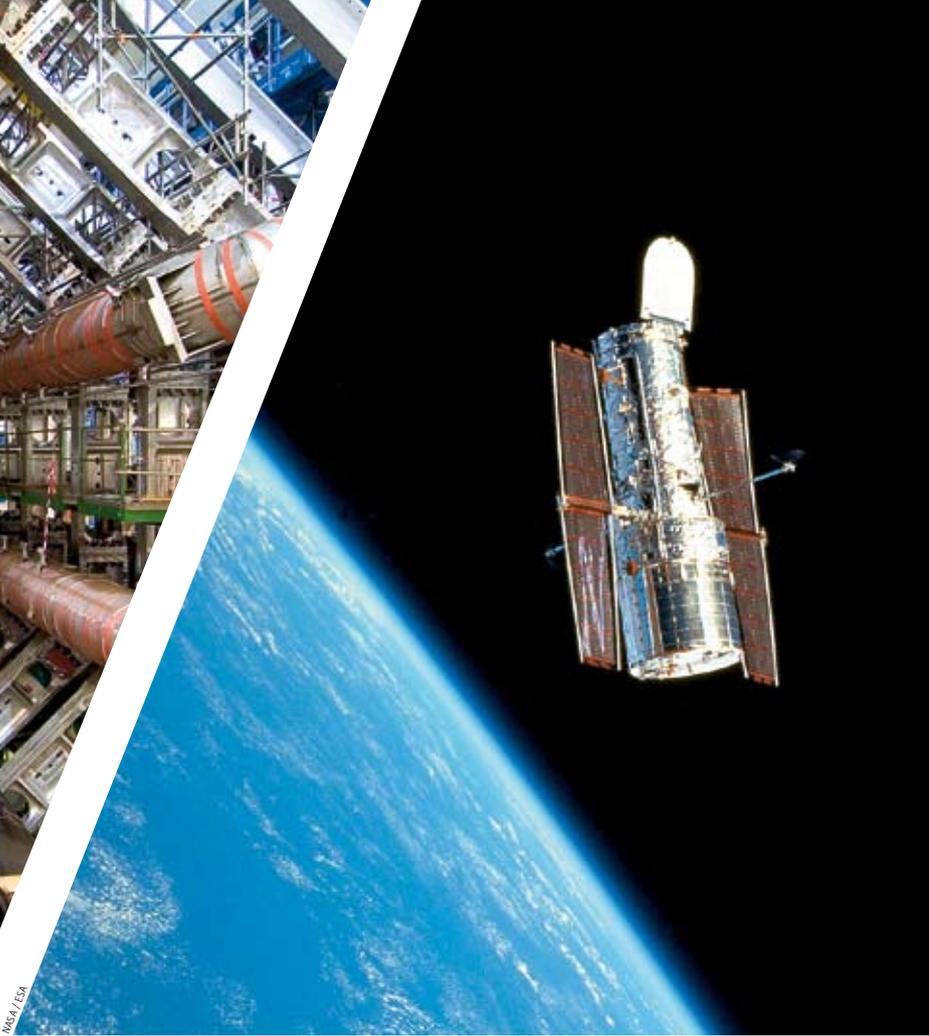
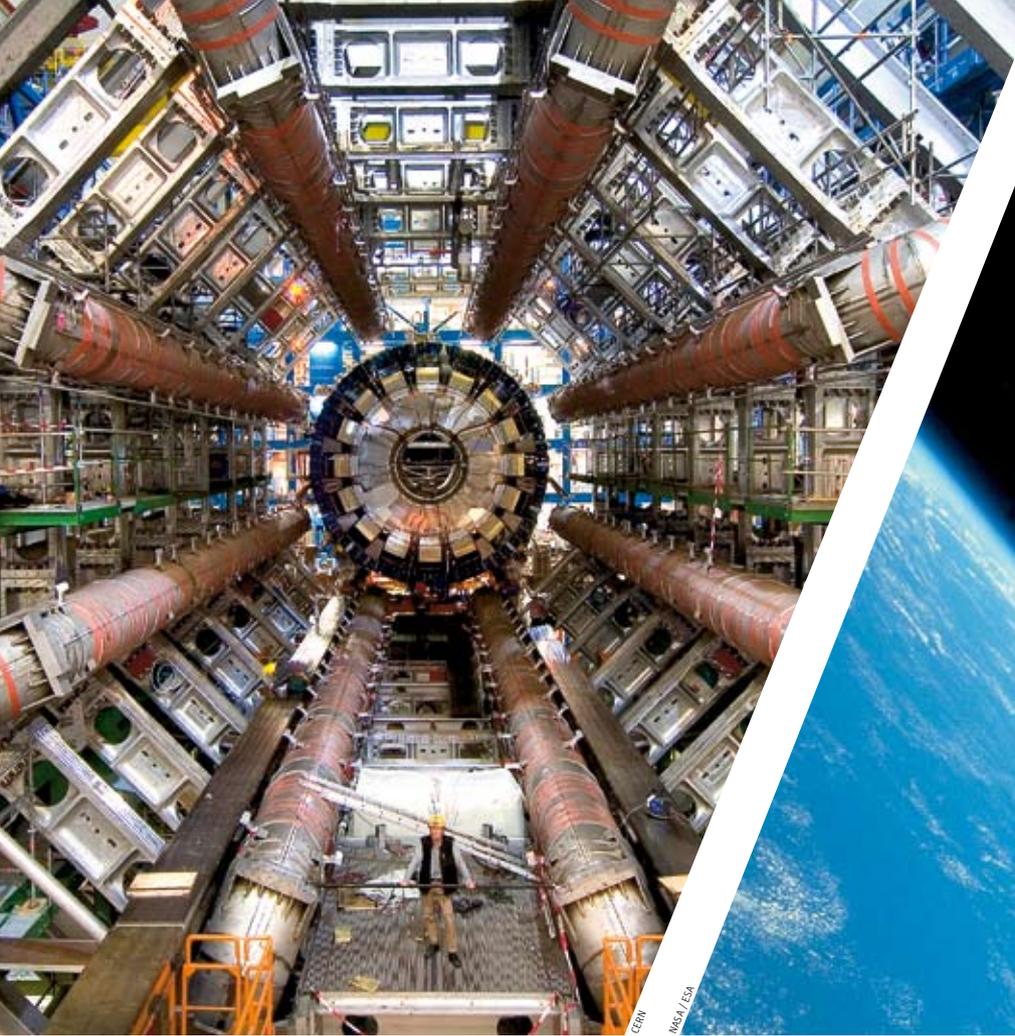
White: Prinzipiell kann man mit astronomischen Techniken zwei Funktionen

messen, die aufschlussreich sind. Das eine ist die Expansionsgeschichte des Universums. Sie beschreibt, wie es im Lauf der Zeit größer wurde. Die andere ist die Variation der Materiedichte von Ort zu Ort. Dieser so genannte Dichtekontrast vergrößert sich durch die anziehende Wirkung der Gravitation, doch die abstoßende Dunkle Energie wirkt dem entgegen. Aus der kosmischen Hintergrundstrahlung lesen wir ab, dass die

Materie kurz nach dem Urknall recht gleichförmig verteilt war. Seitdem sind die Dichtekontraste angewachsen und haben die Strukturen hervorgebracht, die wir heute beobachten.

Spektrum: Hängen diese Funktionen miteinander zusammen?

White: Wenn Einsteins Allgemeine Relativitätstheorie die Gravitation richtig be-



schreibt, folgt die eine Funktion aus der anderen. Wenn wir beide Funktionen separat messen, können wir sie vergleichen und so die Allgemeine Relativitätstheorie prüfen. Passen sie zueinander, scheint diese Theorie zu stimmen. Falls nicht, müssen wir sie zumindest modifizieren. Das ist der erste Schritt.

Spektrum: Und wie geht es weiter?

White: Gilt Einsteins Theorie, so können wir aus der Expansionsgeschichte erkennen, wie sich die Dunkle Energie im Lauf der Zeit entwickelt hat. Handelt es sich dabei um Einsteins kosmologische Konstante, muss sie zeitlich unverändert bleiben. Ist sie etwas anderes, könnte sie sich verändern, und das Ziel wäre dann, die Änderungsrate zu messen. Allerdings betrachten selbst führende Theoretiker die unterschiedlichen Theorien, die eine Änderung vorhersagen, als Versuche, die überraschende Entdeckung der Dunklen Energie ad hoc wiederzugeben, ohne dass die Physik dadurch wirklich verstanden wäre.

Spektrum: Was könnten die neuen Projekte ergeben?

White: Schon jetzt wissen wir aus anderen Beobachtungen, dass sich die Dunkle Energie in den letzten zwei Dritteln der Weltgeschichte nicht beträchtlich verändert hat. Die Beobachtungen sind mit der kosmologischen Konstante vereinbar, wobei es eine gewisse Unsicherheit gibt. Theoretiker charakterisieren die Dunkle Energie mit dem Zustandsparameter w . Handelt es sich um Einsteins kosmologische Konstante, so gilt für alle Zeiten $w = -1$. Bisherigen Messungen zufolge ist $w = -1,0 \pm 0,1$ und demnach schon jetzt bis auf 10 Prozent genau bekannt. Die neuen Großprojekte sollen w bis auf ein oder zwei Prozent bestimmen. Vielleicht finden sie heraus, dass $w = -1,00$ beträgt oder $w = -0,90$, jeweils mit einem Fehler von ein bis zwei Prozent. Das erste Ergebnis hätte kaum etwas Neues gebracht. Nur im letzteren Fall hätten wir wirklich etwas Wichtiges gelernt, denn die kosmologische Konstante scheidet dann aus.

Spektrum: Lässt sich mit astronomischen Beobachtungen die nötige Präzision erreichen?

▲ **Flagschiffe zweier Forschungskulturen: der Large Hadron Collider (links) und das Weltraumteleskop Hubble (rechts).**

White: Das hängt von Faktoren ab, welche die Teilchenphysiker ohne Erfahrungen im Umgang mit astronomischen Daten nicht richtig einschätzen können. Sie denken nur an die statistischen Fehler, übersehen jedoch, dass systematische Unsicherheiten kritisch sind, weil wir die Physik der entfernten Objekte einfach nicht genau genug kennen und sie nicht wie in einem Experiment kontrollieren können. Ob das eine Rolle spielt, werden wir erst wissen, wenn die Durchmusterungen abgeschlossen sind. Mag sein, dass es gelingt, den Parameter w genauer anzugeben. Vielleicht wissen wir dann aber nur, dass die beobachteten astronomischen Objekte komplizierter sind, als wir vorher dachten.

Spektrum: Hat man nicht in beiden Fällen etwas Neues gelernt?

White: Doch, schon. Die Frage ist bloß, ob wir bereit sind, einige hundert Milli- ▷

▷ onen Dollar auszugeben, um Neues über so etwas Spezielles wie Supernovae vom Typ Ia zu erfahren! Wenn man sehr viele ferne Supernovae beobachtet, um etwas über die Dunkle Energie zu erfahren, entdecken wir vielleicht, dass diese Sternexplosionen einander sehr ähneln, obwohl sie unterschiedlich weit entfernt sind. Dann taugen sie als so genannte Standardkerzen und wir haben das Glück, dass wir den Parameter w genauer bestimmen können. Wir könnten aber auch herausfinden, dass die Helligkeit der Supernovae im Lauf der kosmischen Geschichte auf ungewisse Weise variiert. Dann haben wir Pech gehabt und viel Geld für ein Ergebnis investiert, das nur Spezialisten interessiert. Die Frage ist einfach, wofür wir unser Geld ausgeben.

Spektrum: Anfang 2003 wurden die ersten Ergebnisse des Satelliten WMAP veröffentlicht, der das Muster der kosmischen Hintergrundstrahlung so genau wie nie zuvor vermaß – und deutliche Hinweise auf die Existenz der Dunklen Energie lieferte. Für die Zeitschrift »Science« war das damals der wissenschaftliche Durchbruch des Jahres. Lassen sich die Teilchenphysiker von diesem Erfolg blenden?

White: Diese Physiker sind es gewohnt, ihre Experimente genau zu kontrollieren. Die kosmische Hintergrundstrahlung passt in diese Vorstellung, denn auch wenn sie so kurz nach dem Urknall freigesetzt wurde, können wir ihre physikalischen Grundlagen ziemlich genau verstehen, weil das Universum damals noch weitgehend gleichförmig war. Noch bevor man das Muster dieser Strahlung am Himmel gemessen hatte, konnte man seine statistischen Eigenschaften vorhersagen. Die Beobachtungen bestätigten das, und man konnte so das Alter des Universums sowie seine Materie- und Energiedichte angeben. Das war natürlich eindrucksvoll. Dies ist jedoch bislang das einzige Beispiel, bei dem die Astronomie schlagartig so präzise Ergebnisse lieferte.

Spektrum: Sie warnen vor der Bedrohung der »Kultur der Astronomie« durch die neuen Großprojekte. Was meinen Sie damit?

White: Mit Großprojekten wie denen zur Dunklen Energie werden die Astronomen mit einer fremden Arbeitskultur konfrontiert, und das schafft Probleme. Viele wissenschaftliche Unternehmungen wachsen und werden immer komplexer. Entscheidend ist dann, wie man sie



strukturiert. Das ist eine Frage der Arbeitsteilung. Die Geschichte der menschlichen Zivilisation ist eine Geschichte davon, wie man Arbeit teilt. Ein Bauer auf dem Land kann sein eigenes Haus bauen, seine Nahrung anbauen und seinen eigenen Brunnen graben, doch in einer großen Stadt wie München geht das nicht mehr.

Spektrum: Die Großprojekte ähneln dann eher der Organisation einer Stadt?

White: In den großen Experimenten der Teilchenphysik ist die Arbeitsteilung enorm weit entwickelt. Ein einziges Experiment des Large Hadron Colliders, der demnächst in der Nähe von Genf in Betrieb gehen soll, ist größer und komplexer als anderswo ein ganzes Forschungsprogramm. Die einen Forscher entwickeln Magneten, andere bereiten die Signalerkennung vor, wiederum andere simulieren die Messdaten, und so weiter. Auch die Analyse der Daten ist in

viele Aufgaben unterteilt. Es ist nicht mehr so, dass jemand mit einer Nebelkammer ein Bild aufnimmt und es untersucht. Auf Grund der Arbeitsteilung ist es schwer zu erkennen, wer für ein Forschungsergebnis verantwortlich ist, und so sind es in der Teilchenphysik die Projektleiter, welche die Nobelpreise einheimen. Ich behaupte nicht, dass sie keine guten Wissenschaftler sind, doch wer ein dermaßen großes Projekt leitet, ist vor allem ein Manager.

Spektrum: Was ist in der Astronomie anders?

White: Zum Glück ist es bei uns noch nicht so weit gekommen. Hier wird die Arbeit meist anders aufgeteilt, und zwar zwischen denen, die Instrumente bauen, und denen, die sie benutzen. Das Weltraumteleskop Hubble etwa konnte nur dank enormer technischer Fertigkeiten der Ingenieure in Betrieb gehen – und doch kann jeder einzelne Forscher einen

Simon White

Nach Professuren in Berkeley (Kalifornien) und Tucson (Arizona) ist der Brite seit 1994 Direktor am Max-Planck-Institut für Astrophysik in Garching bei München.

- ▶ Aufsehen erregte er unter anderem mit Arbeiten über die Rolle der Dunklen Materie bei der Galaxienentstehung.
- ▶ Er ist federführend an der Millennium-Simulation beteiligt, der bislang größten Berechnung zur Entstehung kosmischer Strukturen.
- ▶ 2005 verlieh ihm die *Royal Astronomical Society* ihre Goldmedaille.

Antrag stellen und das Gerät benutzen. So gibt es einfach mehr Raum für individuelle, kreative Projekte. Diese lassen sich in viel kürzerer Zeit bearbeiten. Natürlich waren viele Leute mit unterschiedlicher Qualifikation nötig, um Hubble zu bauen. Dabei sollten jedoch die Ingenieure für ihre technische Leistung die ihnen gebührende Anerkennung finden, die Manager für die Organisation und die Wissenschaftler für ihre Forschung.

Spektrum: Hat der Trend hin zu großen Projekten mit Himmelsdurchmusterungen wie dem Sloan Digital Sky Survey und Cosmos (*Cosmic Evolution Survey*) nicht längst die Astronomie erreicht? Sind Sie ein Don Quichotte, der gegen Windmühlen kämpft?

White: In gewisser Weise bin ich das wohl. Tatsächlich gibt es viele Situationen, in denen Sie nur mit einem großen Projekt vorankommen können. Um das zu verwirklichen, brauchen Sie jedoch andere Leute als in einem kleinen Team. Sie brauchen Mitarbeiter mit verschiedenen Fertigkeiten, die damit zufrieden sind, Anweisungen zu befolgen. Sie müssen diszipliniert sein, um in einem großen Team etwas zu erreichen. So kann man auch in der Astronomie wichtige Fortschritte erzielen. Schwierig wird es allerdings, sobald dieser Arbeitsstil die astronomische Forschung dominiert. Dann kann sich der Charakter des Fachs ändern. In den letzten fünfzig Jahren war die Astronomie vor allem dann erfolgreich, wenn Wissenschaftler neue technische Entwicklungen kurzfristig und flexibel für ihre Zwecke nutzen konnten – das ist in großen Projekten unmöglich.

Spektrum: Was bedeutet das für die Forscher?

White: Spüren diejenigen, die unabhängig oder kreativ arbeiten oder »anarchistisch« – wie auch immer Sie das nennen wollen –, dass für sie in der Astronomie kein Platz mehr ist, dann werden sie das Fach wechseln. In der Praxis lassen sich die wichtigen Fortschritte in der Forschung nicht planen. Bei den großen Projekten tun Sie aber so, als ob das ginge. Doch weder Einstein hat so gearbeitet noch Maxwell oder Newton. Höchstens Tycho Brahe in seiner Sternwarte auf der Insel Hven. Da haben Sie also doch ein historisches Beispiel für diesen Stil ... (lacht)

Spektrum: Zukünftig wird es vermutlich mehr Doktoranden und Postdoktoranden geben, die sich auf Aspekte der Datenanalyse konzentrieren.

White: Ganz bestimmt. Ich spreche da vielleicht aus meiner eigenen Sicht. Aber ich persönlich finde es einfach ziemlich unattraktiv, in einem riesigen Team zu arbeiten. Da komme ich rein und verbessere dann eine bestimmte statistische Methode und weiß, dass es erst in zehn oder zwölf Jahren ein Ergebnis gibt. Vielleicht haben wir dann das Higgs-Teilchen gefunden oder die Dunkle Energie genauer vermessen. Sicherlich freuen sich die Projektleiter ganz besonders darüber, und zwar aus offensichtlichen Gründen.

»Wenn Großprojekte die Astronomie dominieren, werden kreative Forscher das Fach verlassen«

Spektrum: Die Mitarbeiter sehen das sicherlich anders ...

White: Sollte diese Arbeitskultur die Oberhand gewinnen, werden die wirklich kreativen und motivierten Leute dabei nicht mitmachen und sich lieber ein anderes Forschungsgebiet suchen, in dem sie in kürzerer Zeit einen wesentlichen Eigenbeitrag leisten können. Wenn Sie Mitte zwanzig sind, erscheinen Ihnen zehn Jahre als eine sehr lange Zeit. Sollte dieser Trend dominieren, verliert die Astronomie ihre kreativen Köpfe. Das ist eine ernste Gefahr.

Spektrum: Wenn der Trend hin zu großen Kollaborationen geht – können Astronomen davon nicht auch etwas Neues lernen?

White: Das schon. Stellen Sie diese Frage einem Teilchenphysiker, dann sagt er Ihnen, die Astronomen können lernen, wie man vernünftig mit großen Datenmengen umgeht und ein großes Projekt durchführt – und hat damit sogar Recht. Denn tatsächlich war der Sloan Digital Sky Survey, der die Helligkeiten, Farben und Spektren von einigen Millionen astronomischer Objekte misst, in Schwierigkeiten, solange ihn die Astronomen an der Universität von Chicago betreuten.

Spektrum: Was passierte dann?

White: Dann wechselte das Management zum Fermilab, einem Labor der Teilchenphysik. Die wussten, wie man mit so vielen Daten und einem so großen Haushalt umgeht. Und plötzlich funktionierte es, auch wenn die Astronomen das im Nachhinein nicht gerne hören.

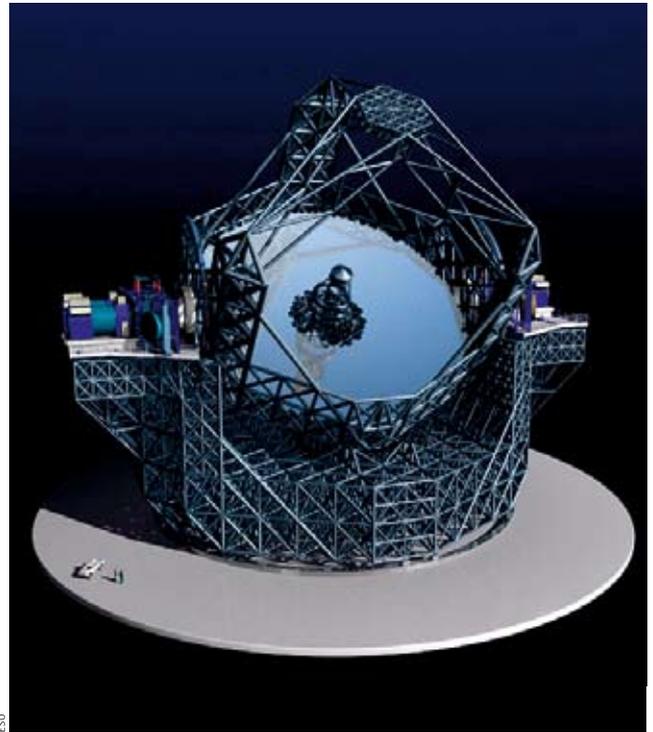
In dieser Hinsicht haben Sie also Recht. Doch bei jedem großen Projekt brauchen Sie ein gutes Management. Das gilt auch für das James Webb Space Telescope, das jetzt gebaut wird, und andere Satelliten. Sie müssen dafür nicht auch gleich das Beobachtungsprogramm festlegen. Das können Sie ruhig einem Komitee aus Fachleuten überlassen, so wie das heute beim Weltraumteleskop Hubble geschieht.

Spektrum: Über die Finanzierung von Großprojekten entscheiden Politiker ...

White: ... und genau aus diesem Grund

ist es für manche attraktiv, die Dunkle Energie zu erforschen! Um Geld zu bekommen, müssen Sie in wenigen Punkten formulieren können, was Sie tun wollen. Sie müssen auf einer halben Seite beschreiben können, warum man eine Milliarde Dollar für Ihr Projekt ausgeben sollte, weil es das wichtigste Ding auf der Welt ist. Die Dunkle Energie gibt Ihnen die Gelegenheit, das zu behaupten! Doch so wird verleugnet, wie die Forschung tatsächlich funktioniert, und das kann großen Schaden anrichten.

Spektrum: Müssen die neuen Großprojekte anders begutachtet und bewilligt werden, als es in der Astronomie bislang üblich ist? ▶



▷ **White:** Ich glaube schon, und die Praxis wird zunehmend der Finanzierung von Teilchenbeschleunigern ähneln. Früher benutzten Astronomen die Teleskope ihrer Universität, dann diejenigen ihres Staates und später die ihrer Nation. Heute gibt es internationale Einrichtungen, auch wir erreichen also Grenzen. In den USA führt das bereits zu einem Problem. Dort veröffentlicht die Nationale Akademie der Wissenschaften traditionell einen Zehnjahresbericht zur Lage der Astronomie und gibt Politikern Empfehlungen.

Inzwischen sind viele der größeren Projekte nach zehn Jahren noch längst nicht abgeschlossen. Auch größere Satellitenprojekte fallen aus diesem Rahmen heraus. Allerdings ist keines der bislang vorgeschlagenen Projekte zur Dunklen Energie so groß.

Spektrum: Dass die Astronomie bereits heute mit großen Instrumenten an die Grenzen des Machbaren stößt, zeigt doch das geplante Großteleskop E-ELT (European Extremely Large Telescope) der Europäischen Südsternwarte (Eso). Dessen geplanter Spiegeldurchmesser wurde nach einer im letzten Jahr veröffentlichten Machbarkeitsstudie von 100 Meter auf 42 Meter Durchmesser reduziert. Dennoch soll es fast eine Milliarde Euro kosten – und einen beträchtlichen Anteil des europäischen Astronomie-Haushalts verschlingen.

White: Das stimmt. Die US-amerikanische National Science Foundation reagierte auf die drohende Dominanz der Großprojekte damit, ein Drittel des Haushalts für Großprojekte zu investieren, ein Drittel für mittlere und ein Drittel für kleine Projekte. Auch wenn man in Europa noch nicht offen über eine solche Lösung diskutiert, würde man es hier sicher als unpassend empfinden, wenn die Eso ihr ganzes Geld in das E-ELT stecken würde.

Davon einmal abgesehen gibt es noch viele Fragen, die wir mit den 8-Meter-Teleskopen des Very Large Telescope beantworten können. Vor allem brauchen wir Teleskope, an denen man relativ kurzfristig innovative Instrumente entwickeln und einsetzen kann. Ein neues Instrument für das E-ELT zu entwickeln kostet viel Geld und dauert zehn Jahre. Um auf jeden Fall gute Ergebnisse erzielen zu können, wird man damit vielleicht nur ziemlich konservative Beobachtungen planen.

Spektrum: In einem Gespräch mit der Zeitschrift »Nature« staunt Matt Mountain über Ihre Meinung. Er ist als Direktor des Space Telescope Science Institute in Baltimore für den wissenschaftlichen Betrieb des Weltraumteleskops Hubble verantwortlich. Mountain behauptet, kein anderes Thema hätte ähnlich viel Reklame für die Astronomie gemacht wie die Dunkle Energie.

▲ **Das 2,5-Meter-Teleskop des Sloan Digital Sky Survey steht auf dem Apache Point (New Mexico; links). Bislang nur als Modell existiert das geplante European Extremely Large Telescope der Eso (rechts).**

White: Mich wundert, dass ausgerechnet er das sagt. Denn schließlich steht gerade Hubble für die Vielfalt in der Astronomie. Durch die Pressemitteilungen wirbt sein Institut besonders erfolgreich für unsere Wissenschaft. Nur wenige davon behandelten, wie man aus Hubble-Beobachtungen entfernter Supernovae auf die Dunkle Energie schloss. Das begeistert die Menschen, aber es ist nur eines von vielen spannenden Dingen, die Hubble beobachtet hat.

Spektrum: Auch unsere Leser fasziniert die Dunkle Energie besonders – sie war das Titelthema unseres Aprilhefts ...

White: Ich finde auch, dass die Dunkle Energie spannend genug ist, um darüber eine Titelgeschichte zu machen, aber wann können Sie die nächste bringen? Vielleicht in fünf Jahren! Doch schon im nächsten Monat brauchen Sie wieder ein neues Titelbild. Seien Sie bloß froh, dass es in der Astronomie neben der Dunklen Energie so viele andere schöne und interessante Dinge zu erforschen gibt! <

Die Fragen stellte **Götz Hoeppe**, Redakteur bei Spektrum der Wissenschaft.