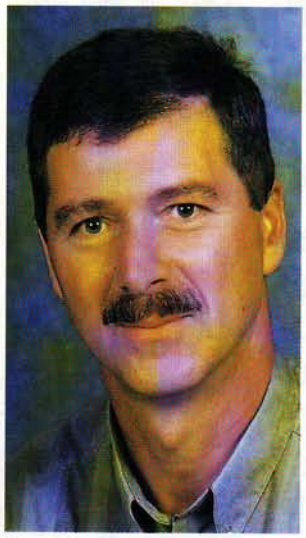
Im Spiegel des Meeres

Das Auf und Nieder der Weltmeere. Im Laufe der Erdgeschichte hat der Meeresspiegel gewaltige Schwankungen durchgemacht. Wie es dazu kam und was das für unser Klima heute bedeutet, erläutern Prof. Reinhold Leinfelder und Prof. Hartmut Seyfried vom Institut für Geologie und Paläontologie der Universität Stuttgart. Die Autoren haben im Februar 1992 eine Tagung zu diesem Thema geleitet.

Prof. Reinhold Leinfelder



Prof. Hartmut Seyfried

Der Wasserspiegel der Weltmeere schwankt seit jeher – insgesamt um mehrere hundert Meter. Seit der Industrialisierung hat auch der Mensch dabei seine Hand im Spiel.

Die genaue Registrierung der Gezeitenpegel zeigt, daß der Meeresspiegel von 1880 bis 1980 weltweit im Mittel um zehn Zentimeter gestiegen ist. In den letzten fünfzig Jahren hat er sich – nach Schätzungen – um etwa 1,3 bis 3,3 Millimeter pro Jahr gehoben. Dieser Anstieg verläuft parallel zur Erhöhung der CO_2-Konzentration in der Troposphäre, so daß er sehr wahrscheinlich mit dem weltweit zugenommenen Energieverbrauch zusammenhängt.

Mehr Kohlendioxid in der Atmosphäre erhöht bekanntlich die Temperatur auf der Erde. Projiziert man den bisherigen globalen Temperaturverlauf in die Zukunft, so zeigt sich, daß die Temperatur zwischen 1990 bis 2100 auf jeden Fall weiter steigen wird: Um 2,5 Grad Celsius, wenn der Energieverbrauch im gleichen Maß zunimmt wie bisher, um 1,5 Grad Celsius, wenn er konstant bleibt.

Diese Daten deuten darauf hin, daß wir uns mit einer Änderung des Meeresspiegels abfinden müssen. Ursachen dafür sind im wesentlichen der Schwund der Eismassen des alpidischen Gebirgsgürtels, die Veränderung der grönländischen und antarktischen Eiskalotten, die Erwärmung des Ozeanwassers und die Grundwasserverluste der Kontinente. Die derzeit aktuellen Voraussagen errechnen einen Mittelwert für den Anstieg des Meeresspiegels von 34 Zentimeter bis zum Jahr 2050.

Bedroht wären in erster Linie Tiefländer wie Holland oder Bangladesch, auch das Risiko von Sturmfluten in Ländern wie den Nordsee-Anrainerstaaten wäre größer. In einem so kurzen Zeitraum sind die Regelkreise des Planeten Erde nicht imstande, einen Anstieg des Meeresspiegels zu kompensieren.

Wie die Ergebnisse der UNO-Umwelt-Konferenz in Rio de Janeiro gezeigt haben und wie ein Rundblick über die einschlägige Literatur der letzten zwei Jahre lehrt, ist kaum damit zu rechnen, daß sich das Verhalten der Menschen in den nächsten Jahren – und damit auch der Trend der Meeresspiegelhöhe – grundsätzlich ändern wird.

Deshalb stecken übereifrige Forscher viel Energie in futuristische Untersuchungen. Das Ziel sind Lösungen, die der eigenen Bequemlichkeit möglichst wenig weh tun.

Ein paar Beipiele:

- Die Südpolarmeere sollen mit Eisen gedüngt werden, um über ein verstärktes Planktonwachstum CO_2 aus der Atmosphäre zu nehmen.
- Atmosphärisches CO_2 soll direkt in die Ozeane gepumpt werden.
- Oder: Die Meere sollen gleich mit Phosphat gedüngt werden.
- Aerosole wie SO_2 sollen in der Stratosphäre verteilt werden, um die Rückstrahlung dort zu verstärken und damit die Temperatur zu senken – ähnlich wie nach einem Vulkanausbruch.
- Die Billiglösung: Indem man mehr schwefelreiche Kohle verheizt, soll schon in der Troposphäre für den nötigen Ausgleich gesorgt werden.
- Und die Luxuslösung: Aluminiumschirme sollen in erdnaher Umlaufbahn aufgespannt werden.
- Oder: Man plaziert einen riesigen Schirm von 2000 Kilometer Durchmesser im Lagrange-Punkt zwischen Erde und Sonne, wo sich die Gravitationskräfte der beiden Himmelskörper aufheben.

Unangenehme Überraschungen hält die Erde ohnehin bereit. Studien an Bohrkernen aus dem grönländischen Eis belegen, daß es während der letzten Eiszeit ohne erkennbare Periodizität zu Temperatursteigerungen bis zu sieben Grad Celsius kam, und zwar innerhalb weniger Jahrzehnte.

Andererseits reichte wahrscheinlich ein einziger zweiwöchiger gigantischer

Vulkanausbruch – Toba in Sumatra vor 73 500 Jahren –, um durch die in die Stratosphäre geschleuderten „Kühlhaus-Aerosole" innerhalb weniger Jahre den Beginn der letzten Eiszeit auszulösen.

Wir wissen, daß es im Laufe der Erdgeschichte zahlreiche Meeresspiegelschwankungen unterschiedlichen Ausmaßes gab und wann sie auftraten. Man unterscheidet Zyklen verschiedener Dauer: Größenordnung 10^8 Jahre (1. Ordnung), 10^7 Jahre (2. Ordnung) bis zu 10^4 Jahre (5. Ordnung). Es sind auch Zyklen niedrigerer Ordnung bekannt, aber mit den Methoden der geologischen Altersbestimmung sind sie nur innerhalb der allerjüngsten geologischen Vergangenheit – bis zur letzten Eiszeit – nachweisbar. Zyklen 1. und 2. Ordnung kennt man mittlerweile zuverlässig aus dem gesamten Zeitraum der vergangenen 600 Millionen Jahre, in dem höheres Leben auf unserer Erde existiert. Die fossilen Meeresspiegelschwankungen zeigen Ausschläge nach unten und oben zwischen plus 270 Meter und minus 150 Meter gegenüber dem heutigen Niveau.

Am einfachsten erkennt man Meeresspiegelschwankungen mit der „paläogeographischen" Methode: Bei einem Anstieg des Meeresspiegels verschiebt sich der Sedimentationsgürtel zwischen Festland und Schelf in Richtung Kontinent. Eine solche landwärtige Verschiebung wird Transgression genannt. Bei einem Abfall des Meeresspiegels dagegen verschiebt sich der Sedimentationsgürtel in Richtung Schelfrand, man spricht von einer Regression.

Die Ursachen der Schwankungen lassen sich zwei Kategorien zuordnen, die allerdings in der Praxis nur schwer auseinanderzuhalten sind:

- Meeresspiegelschwankungen, die durch das Klima (also durch eine Veränderung des Meerwasservolumens) ausgelöst werden und
- Meeresspiegelschwankungen, deren Ursache in Erdkrustenbewegungen liegt, die eine Änderung der Ozeanbecken zur Folge haben.

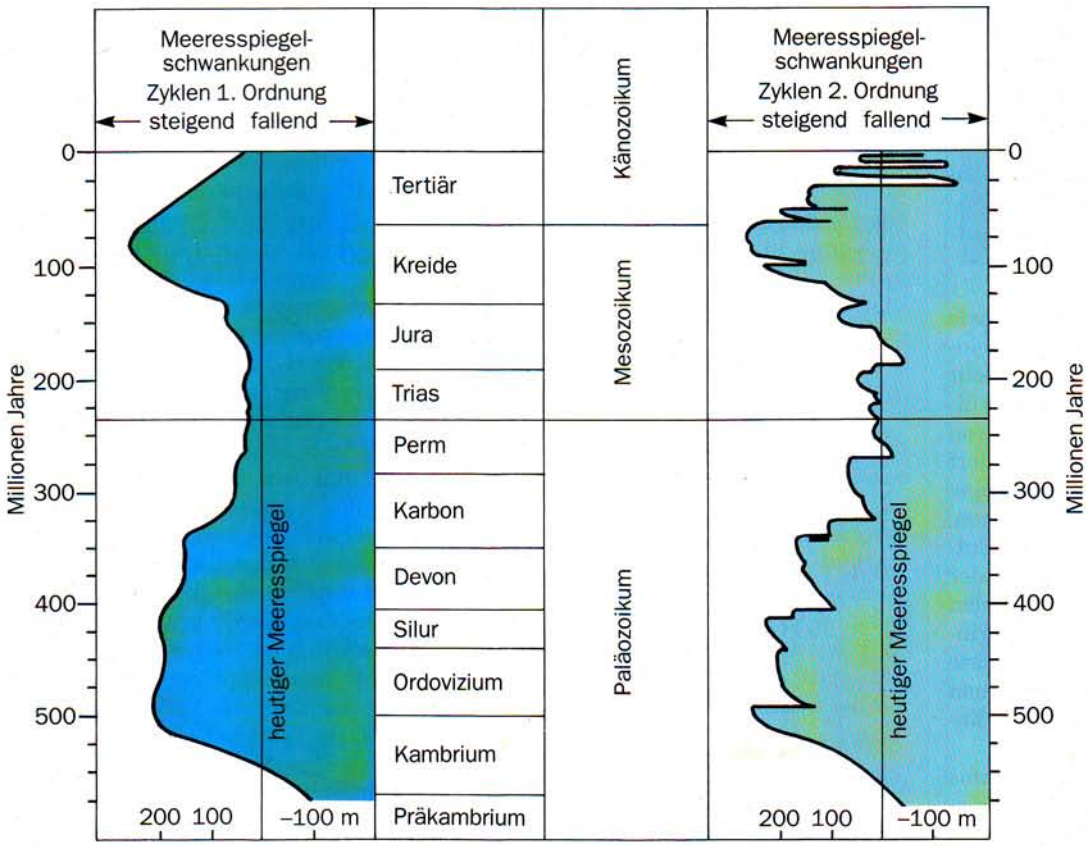
Die Menge des als Grundwasser speicherbaren oder in Flüssen und Seen zirkulierenden Wassers ist im Verhältnis zu dem enormen Volumen des als Eis fixierbaren Wassers vernachlässigbar gering. Wachsen oder Abschmelzen der polaren Eiskappen und eventueller Inlandsvereisungen ist demnach am ehesten in der Lage, das Volumen des Meerwassers beträchtlich und schnell zu verändern. Während der letzten Hauptvereisung vor 18 000 Jahren zum Beispiel lag der Meeresspiegel 130 Meter tiefer als heute. Man bezeichnet diese Art von Schwankungen als glazioeustatisch.

Die Form von Ozeanbecken kann sich ändern, wenn sich die tektonischen Erdkrustenplatten verschieben. Die dadurch bedingten „tektonoeustatischen" Meeresspiegelschwankungen haben meist Zyklen der 2. bis 4. Ordnung.

Bei beiden Arten von Meeresspiegelschwankungen überlagern sich die höherfrequenten Schwingungen den niedrigerfrequenten. Dies führt zu unterschiedlich lange dauernden Verstärkungen, Aufhebungen oder gar Umkehrungen des jeweils vorherrschenden Trends. Mit anderen Worten: Auch während längeren Hochständen kann es lokal oder regional zu Regressionen kommen und umgekehrt während Tiefstandszeiten zu Transgressionen.

Die langperiodischen Schwankungen lassen sich gut mit dem einstigen Klimaverlauf vergleichen, der aus Sedimenten abzulesen ist. Besonders tief lag der Meeresspiegel zu Ende des Präkambriums, im späten Ordovizium, an der Karbon-Perm-Grenze sowie seit dem Tertiär bis heute. Diese Zeiten sind durch große polare Eiskappen sowie Inlandvereisung als „Kühlhaus"-Phasen gekennzeichnet. Die dazwischenliegenden „Treibhaus"-Phasen entsprechen Zeiten während denen durch die Bewegung tektonischer Platten Ozeane auf die Festländer „überschwappten", wodurch der Meeresspiegel insgesamt stieg.

Unklar, ist, ob dabei die weitflächigen



Die langperiodischen Schwankungen des Meeresspiegels haben Größenordnungen von 10^8 Jahren (Zyklen 1. Ordnung) und 10^7 Jahren (Zyklen 2. Ordnung).

Schelfmeere für ein weltweit ausgeglicheneres, maritimeres Klima sorgten und damit für den Rückgang der Eiskappen verantwortlich waren oder ob von Vulkanen ausgestoßenes CO_2 die Ursache war.

Aus der jüngsten Kühlhaus-Phase der Erdgeschichte – die schon über dreißig Millionen Jahre dauert und zu der trotz des augenblicklichen Temperaturanstiegs auch die Jetztzeit gehört –, sind Wechsel von Warm- und Kaltzeiten genau bekannt. Bis zu einem gewissen Grad verantwortlich für diesen Wechsel sind sicherlich auch Schwankungen der Solarkonstante, die ein Maß für die Sonnenenergie ist, oder auch die Milankovitch-Zyklen, die aus Veränderungen der Umlaufbahn der Erde um die Sonne resultieren. Doch die Hauptursachen sind sicherlich plattentektonische Vorgänge und Selbstverstärkungsmechanismen. In der känozoischen Kühlhaus-Phase ist diese Wechselwirkung deutlich nachvollziehbar.

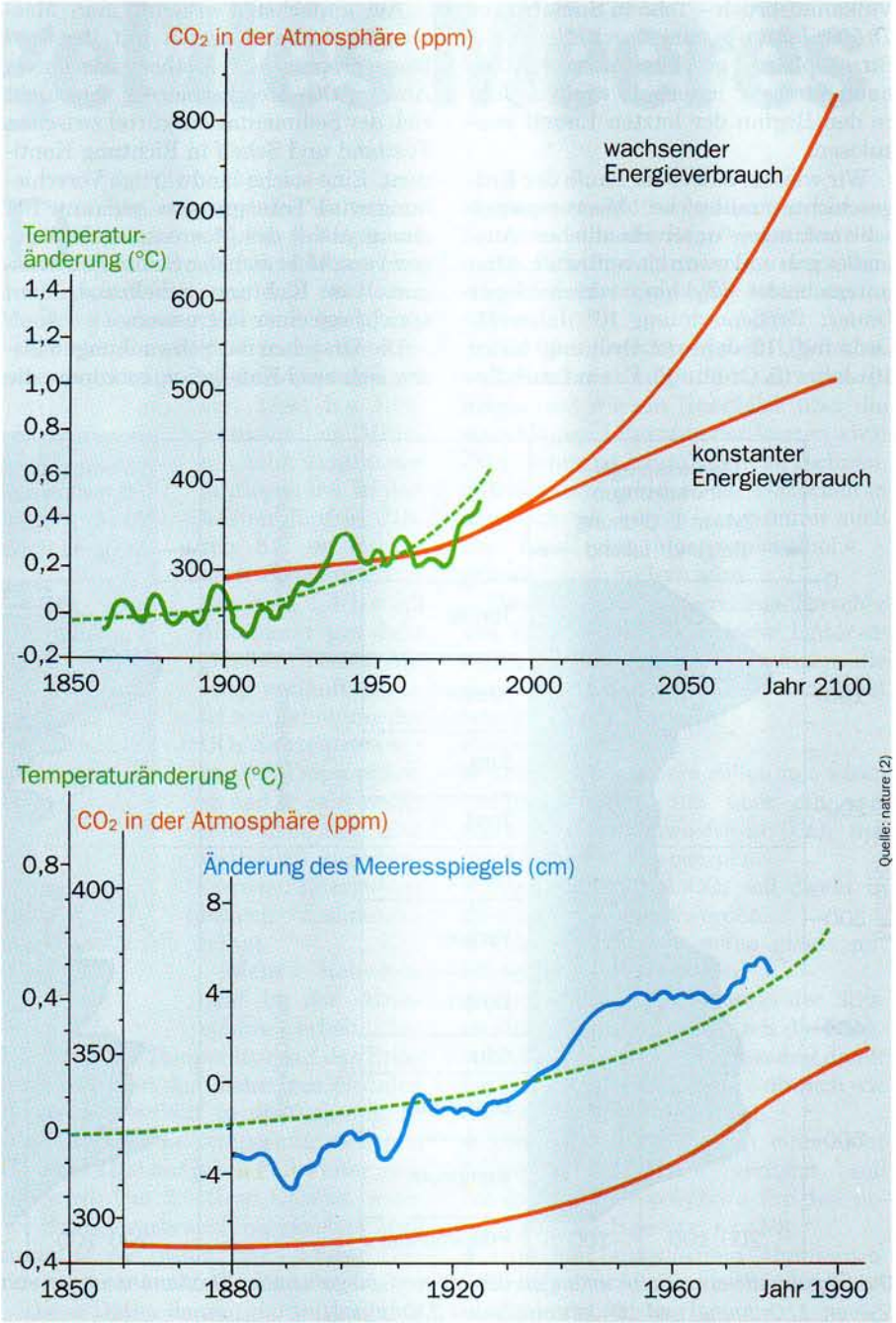
Die Erdgeschichte bot über viele hundert Millionen Jahre ein einzigartiges Versuchslabor. Sehr viele Daten sind in den Sedimentabfolgen gespeichert und können von Geologen und Paläontologen entziffert und interpretiert werden. Eine „Angewandte Historische Geologie" hingegen, also eine Vorhersage der Klima-Entwicklung aus den Erfahrungen der Erdgeschichte heraus, wird von vielen Geowissenschaftlern wegen der geringen Quantifizierbarkeit der Ergebnisse abgelehnt. Trotzdem ist alleine schon die Qualität dieser Aussagen für die Zukunftsforschung wichtig.

Spätestens seit Ende des Kambriums ist die damalige Welt mit der heutigen in den Grundzügen vergleichbar. Der hohe Entwicklungsstand der damaligen Lebewesen zeigt, daß die Atmosphäre und die im Meerwasser gelösten Gase ähnlich zusammengesetzt waren wie heute, und daß die Nahrungsketten, zumindest im Meer, ähnlich wie heute verknüpft waren. Auf dem Lande stellten sich diese Verhältnisse etwas später ein, da sich die ersten Landpflanzen erst im Silur entwickelten. Meeresspiegelschwankungen sind seit dem Kambrium gut belegt und waren sicher bereits im Präkambrium, welches sich durch mindestens zwei lange Eiszeitphasen auszeichnet, von Bedeutung.

Auch die Erdwissenschaftler können die Frage nach „Henne oder Ei"– hier: ob Meeresspiegelschwankungen Klimaschwankungen verursachen oder umgekehrt – nicht beantworten. Sie können aber die Wechselbeziehungen zwischen Prozeß und Produkt zum Teil sehr gut nachweisen und daher auch die Auswirkungen von Klima- und Meeresspiegelschwankungen auf die unbelebte und belebte Welt nachvollziehen.

Meeresspiegelschwankungen waren stets von biologischen Veränderungen und Krisen begleitet. Viele dieser Krisen sind an Abkühlungsphasen und damit an einen niedrigen Meeresspiegel gekoppelt. Arten, die an das Leben in vormals heißen niederen Breiten angepaßt waren (zum Beispiel Riffbewohner), waren in der Regel die ersten Opfer eines solchen globalen Temperatursturzes: Sie konnten nirgendwohin ausweichen.

Umgekehrt gab es auch Zeiten, in denen weltweit Lebewesen ausstarben, weil sich das Klima durch einen Anstieg des Meeresspiegels änderte – zum Bei-



Die Temperaturänderung verläuft analog zur CO_2-Konzentration in der Luft (oben). Unten: Der Meeresspiegel variiert mit der gleichen Tendenz wie Temperaturänderung und CO_2-Gehalt.

spiel während des oberen Devons, in dessen Verlauf weltweit Korallenriffe zugrunde gingen. Ursache war nicht etwa das „Ertrinken" dieser Riffe. Denn wie die raschen und extrem starken Meeresspiegelschwankungen während der letzten Eiszeiten klar gezeigt haben, können Riffe durch ihr schnelles Höhenwachstum mit praktisch jedem Meeresspiegelanstieg schritthalten.

Fatal wird es erst, wenn während einer solchen Phase andere Faktoren dazu kommen. Ein steigender Meeresspiegel bewirkt durch die kleiner werdenden Kontinentalflächen ein immer ausgeglicheneres Klima: Aride Klimate werden feuchter, die Temperaturen von hohen und niederen Breiten nähern sich einander an. Das Schmelzen der Polkappen reduziert die Zirkulation von kaltem Tiefenwasser und bremst die globale Wasserumwälzung; in vielen Meeresbereichen kommt es dadurch zu Sauerstoffmangel und später zum Umkippen mariner Ökosysteme.

Die durch das Aussterben der Dinosaurier und Ammoniten sehr populär gewordene Krise am Ende der Kreidezeit vor 65 Millionen Jahren wurde zwar mit großer Wahrscheinlichkeit durch die verheerenden Folgen des Zusammenpralls eines Asteroiden mit der Erde ausgelöst. Doch in letzter Zeit ist immer deutlicher geworden, daß viele Organismengruppen schon einige Zeit vor diesem Ereignis ausgestorben waren.

Zum Ende der Kreidezeit hatte die Erde eine hundert Millionen Jahre währende Treibhausphase hinter sich, die durch ihre Länge das gesamte biologische und hydrologische System des Planeten nivellierte. In diesem Dauertreibhaus entwickelte sich ein extrem differenziertes und durch enorme Nischenaufsplitterung überangepaßtes globales Ökosystem, dessen Erneuerungs- und Diversifizierungsmöglichkeiten am Ende der Kreidezeit ausgereizt waren. Der Aufprall des Himmelskörpers und der dadurch ausgelöste – mindestens zehnjährige – weltumspannende Winter hat dann dieses bereits vorgeschädigte System schlagartig zusammenbrechen lassen.

Die auf dieses Massensterben folgende explosive Entfaltung neuer Arten stellte die Innovationsfähigkeit der Biosphäre wieder her und schuf neue, widerstandsfähige Ökosysteme, in denen nun modernere Organismengruppen wie die Säugetiere oder die Gräser führende Rollen übernahmen.

Aus der Erdgeschichte lassen sich wichtige Lehren ziehen. Zunächst einmal: Bescheidenheit. Meeresspiegelschwankungen und die damit verbundenen klimatischen Veränderungen sind Bestandteil eines Regelkreises, in dem Lithosphäre, Hydrosphäre, Biosphäre und Atmosphäre vernetzt sind. Die Wechselwirkungen zwischen den steuernden Faktoren und die autozyklische Natur gewisser Vorgänge sind so komplex, daß sie im Augenblick allenfalls qualitativ beschrieben werden können und ein Eingriff in dieses System einem Russischen Roulette gleichkommt.

Zweitens: Die natürlichen Veränderungen der Erdoberfläche laufen so langsam ab, daß sie, für sich allein genommen, selbst in Jahrtausenden weder den Fortbestand der Menschheit noch die Existenz der Ökosysteme gefährden würden.

Drittens: Die Regelprozesse und Pufferungsmechanismen unserer Erde sind vielfältig und mächtig, aber endlich in ihrer Elastizität. Wird ein Puffer – etwa die CO_2-Aufnahmefähigkeit der Weltmeere – bis an seine Grenzen beansprucht, so kann der Umschwung zum neuen Gleichgewichtszustand unter Umständen sehr rasch erfolgen.

Viertens: Unsere Erde befindet sich augenblicklich in einer Kühlhaus-Phase – der heutige Meeresspiegelstand ist enorm niedrig, die Eiskappen sind groß, das Nordmeer ist vereist, die plattentektonische Aktivität ist gering. Wir stehen entweder am Ende der känozoischen Kühlhaus-Phase oder leben in einer Zwischeneiszeit. Das Risiko schneller Veränderungen ist in einer solchen Situation schon von Natur aus ziemlich groß.

Fünftens: Bis vor kurzem befanden sich die CO_2-Puffer unserer Erde noch in optimalem Zustand. Regenwälder, Riffe und Karbonatplattformen hatten eine gewaltige Kapazität, CO_2 zu fixieren und bei Bedarf auch wieder CO_2 abzugeben. Sobald wir es geschafft haben, die Regenwälder und Riffe vollends zu zerstören, berauben wir uns eines bewährten und sehr effizienten natürlichen Kontrollmechanismus.

Sechstens: Der CO_2-Gehalt der Atmosphäre liegt heute bei einem Wert, wie er für die Treibhauszeit der Mittelkreide mit ihrem fast 300 Meter höheren Meeresspiegel angenommen wird.

All das läßt mit Spannung in die Zukunft blicken.

Shooting Sta

Sein Terminkalender ist randvoll. Als nächstes Shooting in Mailand, dann Werksreportage i Stuttgart, dazwischen die Architekturserie für die Großbank. Gut, daß sein Equipment so flexibel i

Die **Rolleiflex 6008 professional SRC 1000** ist die neue Universalkmera für alle Bereiche der klassischen Fotografie. Mit variablem, voll integriertem Belichtungsmeßsystem, motorischem Filr transport, schieberlosem Filmschnellwechselsyste und 23 Zentralverschlußobjektiven von Zeiss und Schneider-Kreuznach bis zur 1/1000 Sek.

Überlegene Ausstattung und perfekter Bedienungskomfort: der ideale Partner für alle Fotografen, bei denen es heiß hergeht.

Rollei fototechnic

Flexibilität von Rolle

Erbitte ausführliche Informationen zur Rolleiflex 6008 professional SRC 10

Rollei Fototechnic GmbH & Co. KG · PF 32 45 · 3300 Braunschweig
Österreich: Orator Foto · Westbahnstraße 23 · A-1070 Wien
Schweiz: Ott & Wyss AG · Napfweg 3 · CH-4800 Zofingen

Name
Straße
Wohnort

BW–A