

Einführung

Die Menschen und mit ihnen alle anderen Lebewesen auf der Erde können seit der Industrialisierung der Produktion in zunehmendem Maße erleben, wie es ist, der Belastbarkeitsgrenze der überlebensnotwendigen natürlichen Ressourcen unseres Planeten näherzukommen [IPCC, 2001]. Der Chemie-Nobelpreisträger Prof. Paul J. Crutzen, ein führender Wissenschaftler auf dem Gebiet der Klima- und Umweltforschung, hat für unser Erdzeitalter den Namen „Anthropozän“ vorgeschlagen. Er will damit auf den dominierenden Einfluss der Menschheit auf die Entwicklung unseres Planeten aufmerksam machen. Erdzeitalter dauern für gewöhnlich zehntausende Jahre. Die Warmzeit der vergangenen zehn- bis zwölftausend Jahre wird Holozän genannt. Sie folgte auf eine ca. einhunderttausend Jahre dauernde Eiszeit mit extremen Schwankungen der Temperatur, des CO₂-Gehalts und anderer Parameter der Atmosphäre. Nicht zuletzt wegen dieser ausgesprochen günstigen Bedingungen in der letzten Zeit eroberten verschiedene hochentwickelte Lebensformen fast den gesamten Planeten und passten sich den regionalen, stabilen Lebensbedingungen an. Während der letzten 6 Jahrhunderte hat sich die Anzahl der Menschen verzehnfacht und nun die Marke von 6 Milliarden erreicht. Der Verbrauch natürlicher Ressourcen wuchs noch schneller als die Menschheit. Einige Generationen werden die fossilen Brennstoffe verbraucht haben, die hunderte Millionen Jahre für ihre Entstehung brauchten. Dabei werden Mengen an CO₂ und anderen anthropogenen Stoffen produziert, die alles bisher Dagewesene überbieten und das in einer Zeitspanne, die weit unterhalb des Auflösungsvermögens der Bestimmungsmethoden atmosphärischer Parameter vergangener Epochen liegt. Die Menge des durch Menschen erzeugten Schwefeldioxids von ca. 160 Teragramm/Jahr übersteigt die natürlichen Schwefelquellen bereits um über das Doppelte [Houghton et al., 1990]. Die Beispiele ließen sich fortsetzen, doch hier ist nicht der richtige Ort dafür. Sie sollen nur verdeutlichen, in welchem beängstigendem Maße menschliche Aktivitäten in der Lage sind, die Entwicklung der Erde mitzubeeinflussen.

Die Reaktion auf die beschriebenen Gefahren reicht von unsinniger Panik bis zu völliger

Ignoranz. Letzteres trifft insbesondere auf einige Regierungen zu, die den „Glauben“ an die Erhaltung des Lebensstandards Weniger durch Fortschritte in der technischen Entwicklung und rückhaltlose Ausbeutung natürlicher Ressourcen propagieren und damit angeblich auch die Mehrheitsmeinung ihrer Bevölkerung repräsentieren. Andere betrachten das Problem differenzierter und verlangen nach möglichst genauen Statusberichten und Vorhersagen der Zukunft unseres Planeten, damit ihre Entscheidungen effektiv Veränderungen herbeiführen, und sie nicht durch Fehlversuche die Unterstützung der Mehrheit der Bevölkerung auf diesem Weg verlieren.

Die Komplexität dieser Thematik erfordert eine fachübergreifende Behandlung. Verschiedene Naturwissenschaftler müssen ihre Analyseergebnisse und Messwerte in die Diskussion der Gesellschaftswissenschaften einbringen. Schon die Bearbeitung eines kleinen Teilproblems in der Atmosphärenforschung erfordert interdisziplinäres Arbeiten. Einerseits kann eine Methode zur Messung eines Parameters nur dann wirklich von Nutzen sein, wenn auch jemand danach fragt. Andererseits erfordert die Entwicklung der Methode auch ein umfangreiches Wissen über den Gegenstand der Messung, was aufgrund der hohen Spezialisierung, deren Grundstein in den modernen Naturwissenschaften bereits in der Ausbildung gelegt wird, nicht unbedingt vorausgesetzt werden kann. An dieser Schnittstelle sehe ich meine Verantwortung als Physiker, der ich mit dieser Arbeit versuche, gerecht zu werden.

Der Gegenstand meiner Untersuchungen ist die planetare Grenzschicht. Sie bildet den Übergang zwischen der vergleichsweise starren Erdkruste und der Atmosphäre und zeichnet sich im Vergleich zu anderen Schichten der planetaren Lufthülle durch eine besondere Vielfalt an Inhaltsstoffen und deren Vermischung durch Turbulenz aus. In ihr liegt der größte Teil der Biosphäre, die auch unser Lebensraum ist.

Als Messverfahren verwende ich die Laser-Fernerkundung zur räumlich aufgelösten Bestimmung von Aerosol-Eigenschaften, Spurengaskonzentrationen und Temperatur. Durch eine Analyse der Eigenschaften sowohl der planetaren Grenzschicht als auch der physikalischen Wechselwirkungen und der technisch-physikalischen Umsetzung in Messinstrumente sollen die bestehenden Grenzen der Methode ausgeleuchtet und gegebenenfalls erweitert werden.

Das *erste Kapitel* der Arbeit widmet sich Begriffen und Methoden zur Beschreibung der planetaren Grenzschicht und ihrer Einordnung in die Atmosphäre. Dabei bleibt es auf die

Themen beschränkt, die einen Einfluss auf die Entwicklung der Messmethode oder die Auswertung von Messergebnissen haben.

Die Turbulenz der Strömung sorgt in der planetaren Grenzschicht für eine Mischung der Luft mit Stoffen und Energie vom Erdboden. Dabei entsteht eine Struktur in der Verteilung, die insbesondere von regionalen Bedingungen und von der Tages- und Jahreszeit abhängig ist. Ab einer bestimmten Höhe wird die Atmosphäre dann wieder viel homogener und auch sauberer. Wegen ihrer Inhomogenität ist gerade der Zustand der planetaren Grenzschicht schwer durch einzelne Punktmessungen zu bestimmen.

Das *zweite Kapitel* ist der Laser-Fernerkundung gewidmet, deren Domäne die orts aufgelöste Messung von Zeitreihen einer Vielzahl von Parametern der Atmosphäre ist. Sie wird im Rahmen dieser Arbeit dazu benutzt, die sich ändernde dreidimensionale Struktur der planetaren Grenzschicht anhand von Aerosol, Spurengasen und Temperatur sichtbar zu machen. Dabei liegt der Schwerpunkt auf Methoden zur Trennung der sich unvermeidlich überlagernden Wechselwirkungen des verwendeten Lichts mit den unterschiedlichen Bestandteilen der Atmosphäre.

Wie in der Experimentalphysik üblich, beansprucht auch in der Laser-Fernerkundung die Entwicklung und der Aufbau der Messapparatur die meiste Arbeitszeit. Um die Besonderheiten der erforderlichen Laser, Optik und Elektronik geht es im *dritten Kapitel*. Außergewöhnlich für diese Art der Laser-Spektroskopie ist insbesondere, dass die Geräte nicht nur im Labor verwendet werden. Die eigentliche Messung findet nicht selten unter erschwerten äußeren Bedingungen statt und sie ist auch nicht unter ähnlichen Bedingungen wiederholbar, da die Atmosphäre nicht entsprechend beeinflussbar ist. Diesem Problem lässt sich nur durch konsequente Umsetzung der besten Ideen der angewandten Physik in handhabbare Technik begegnen.

Jeder Fehler bei der technisch-physikalischen Umsetzung wird sehr bald sichtbar, wenn mit dem Gerät gemessen wird. Deshalb, und um die Verwendung der Messergebnisse für Meteorologen und Chemiker zu demonstrieren, werden im *vierten Kapitel* einige Resultate präsentiert und mit den im ersten Kapitel vorgestellten Konzepten verglichen. Erst wenn die Ergebnisse und deren Fehlerbereiche die Anwender überzeugen können, ist das Ziel der Arbeit erreicht.

