

Ausgabe Nr. 78 04/2007

Junge Wissenschaft

Jugend forscht in Natur und Technik



Themen diesmal:

- Die Zauberflöte ■ Eiskaltes Geheimnis ■ Regen ist nicht gleich Regen
- Emerging Behaviors in Braitenberg-type Robotic Vehicles
- Besser Hören im Klassenzimmer ■ Mikrometallbäume

Außerdem: Neues aus der Welt der Wissenschaft, Buchrezensionen u.v.m.

Young Researcher

The Journal of Science and Technology

Informationstechnik

Neue Datendichte auf CD möglich

Mit Hologrammen bis zu 500 Gigabyte Daten auf einer CD speichern

Während erste Geräte mit BluRay oder HD-DVD-Technologie mit einer Speicherkapazität von bis zu 50 Gigabyte nun die Läden erreichen, wird weltweit bereits an der nächsten Generation optischer Datenspeicher gearbeitet, den sogenannten holographischen Speichern: Forscher bei Bayer MaterialScience testen mit Partnern wie InPhase Technologies aus den USA bereits eine Disc mit 300 Gigabyte. Dagegen hat das Team Optische Technologien (OptTech) an der TU Berlin im Projekt "MICROHOLAS" ein neuartiges System entworfen und realisiert, das etwa 500 Gigabyte an Daten auf eine Disk der bekannten Größe speichern kann.

Bisher werden Daten lediglich an der Diskoberfläche abgelegt. Hologramme jedoch lassen sich unabhängig voneinander auch in die Tiefe eines Speichermediums schreiben, in mehreren Ebenen gewissermaßen "stapeln", was die Kapazität einer Standard-Disk vervielfacht.

Winzig kleine Hologramme werden durch zwei gegenläufige Laserstrahlen in einem fotosensitiven Medium geschrieben, sogenannte Mikrogitter, die fast unsichtbar für Lichtstrahlen sind. Dadurch beeinflussen sie sich nicht in übereinander liegenden Schichten. Eine einzige Hologrammschicht speichert die Daten einer DVD.

Nun gelang es dem interdisziplinären, international besetzten OptTech-Team unter Leitung von Professor Susanna Orlic, auf mittlerweile 50 gestapelten Datenebenen, Rekordspeicherdichten von 500 Gigabyte auf einer üblichen 12-Zentimeter-Disk statt der ursprünglich angepeilten 150 Gigabyte zu erreichen. Und dieser Wert verdoppelt sich nun noch einmal mit dem Wechsel von grünem zu blauem Laserlicht.

Für das neue optische Speicherverfahren muss nun ein völlig neuartiges Laufwerk konzipiert werden. Zahlreiche optische und elektronische Komponenten müssen entwickelt und mit Verfahren zur Datenkodierung und Signalverarbeitung in ein kompaktes und robustes System integriert werden- auch dieses

hat sich die Gruppe – mit finanzieller Unterstützung der europäischen Kommission – nun vorgenommen.

Wussten Sie schon, dass...

...erst mit der Entwicklung des Kunststoffes Makrolon von Bayer die Massenproduktion der CD möglich wurde? Dieser Kunststoff weist eine hohe Fließfähigkeit auf und ist kristallklar.

...zwischen 1992 und 2006 weltweit circa 90 Milliarden Datenträger aus Makrolon hergestellt wurden? Alle optischen Datenträger aufgefädelt auf einer Kette würden den Äquator 2,7 mal umspannen.

...die kleinste niederländische Münze die Lochgröße im Zentrum der CD bestimmt hat?



Reichlich Speicherplatz für brillantes HD-TV: Blu-ray Disc und HD-DVD (Hintergrund: Makrolon®-Granulat). Quelle: Bayer MaterialScience

Biologie

Schimpansen zeigen selbstloses Verhalten

"Affen sind egoistisch", so lauteten die bisherigen Ergebnisse von Verhaltensforschern. Max-Planck-Forscher vom Institut für evolutionäre Anthropologie haben diesen Trugschluss jetzt widerlegt: Nicht nur der Mensch verhält sich selbstlos und uneigennützig.

Was macht einen Schimpansen zum Helfer? Bisher galt eine sehr einfache Antwort: der unmittelbare eigene Nutzen. Ähnlich wie beim Menschen, soll der Affe eine Kosten-Nutzen-Rechnung aufstellen. Dieses Bild vom egoistischen Primaten konnten jedoch Felix Warneken und seine Kollegen entkräften: "Wir wollten herausfinden, ob Schimpansen und Kleinkinder helfen, um dafür eine sofortige Belohnung zu erhalten, oder ob sie helfen, weil die andere Person ein Problem hat". Das Forscherteam konzipierte drei Aufgaben für die 36 Schimpansen aus dem Ngamba Schutzgebiet in Uganda und führte diese gleichzeitig mit einer Gruppe von 36 Kleinkindern durch.

In der ersten Aufgabe sah der Schimpanse zu, wie eine unbekannte Person sich vergeblich bemüht, nach einem Stock zu greifen. Der Stock war außerhalb der Reichweite des Menschen, befand sich aber in Reichweite des Schimpansen. Nach seinen verzweifelten Versuchen nahm der Mensch Blickkontakt mit den Affen auf. 12 von 18 Schimpansen hoben den Stock daraufhin auf und reichten ihn weiter, obwohl sie keine Belohnung dafür erhielten. Auch 16 von 18 Kindern halfen selbstlos der Person, indem sie ihr den Gegenstand gaben. Wichtig war aber offenbar der Faktor Hilflosigkeit. "Wenn der Gegenstand außer Reichweite war, die betroffene Person aber gar nicht versuchte, ihn aufzuheben, so boten Schimpansen und Kinder dem Gegenüber den Gegenstand auch nicht an", sagt Warneken. Offensichtlich helfen sowohl Affen als auch Kleinkinder nur in Problemsituationen. Für beide gilt: Sie sind in der Lage zu erkennen, wann jemand Hilfe benötigt, und helfen dann ohne unmittelbaren Eigennutz - in der vorliegenden Studie bis zu zehnmal hintereinander. Verblüffend war auch, dass eine Belohnung die Helfer-Rate nicht weiter erhöhte.

In der zweiten Versuchsanordnung steigerten die Forscher den Schwierigkeitsgrad. Sie wollten herausfinden, wie viel Mühe Schimpansen und Kleinkinder auf sich nehmen, um zu helfen. Die Schimpansen mussten dazu eine zweieinhalb Meter hohe Rampe hinaufklettern, um den Stock reichen zu können, die Kinder einen Hindernisparcours durchlaufen. Trotz der großen Anstrengungen halfen mehr als die Hälfte der Schimpansen und Kinder gleichermaßen, ohne dafür belohnt zu werden. "Allerdings müssen wir berücksichtigen, dass die Affen und Kinder möglicherweise bereits in der Vergangenheit für ähnliches Verhalten von einem Menschen belohnt wurden", schränkt Warneken die Aussagekraft dieser Versuche ein. "Denn die Schimpansen halfen in diesem Fall Menschen, aber nicht Artgenossen."

Die Forscher lösten sich daher vom Faktor Mensch und untersuchten, ob die Affen auch nicht verwandten Artgenossen zur Hand gehen. Der Versuchsaufbau sah dabei wie folgt aus: Futter wurde hinter einer Tür platziert, die versperrt war. Ein Affe stand vor der Tür, konnte sie aber nicht öffnen. Der potenzielle

Helfer war in einem anderen Käfig ohne Zugang zum Futter, konnte aber dem Artgenossen die Tür zum Futter öffnen. Die Ergebnisse erstaunten die Forscher: Knapp 80 Prozent der potenziellen Helfer öffneten ihren Artgenossen die Tür und verschafften ihnen damit Zugang zum Futter, obwohl sie selbst leer ausgingen. "Wir konnten nicht einmal beobachten, dass die Helfer den Begünstigten um Futter anbettelten oder ihn einschüchterten", sagt Warneken. "Dieses selbstlose Verhalten ist auch deshalb erstaunlich, weil sich die Schimpansen niemals zuvor in dieser Situation befunden haben. Und das zeigt, dass sie auch neuartige Problemsituationen flexibel erkennen und entsprechend neue Formen der Hilfe entwickeln können." Die Studie liefert somit den Beweis, dass unsere nahen Verwandten auch altruistisch handeln und bereits Kleinkinder dies tun. "Hilfsbereitschaft hat ihren Ursprung also nicht allein in Kultur und Erziehung. Wir sollten uns von der Idee verabschieden, dass wir als Egoisten auf die Welt kommen und allein durch Kultur und Erziehung zu hilfsbereiten Wesen heranwachsen", sagt Warneken.



Haarige Helfer: Neuen Studien haben gezeigt, dass die Schimpansen wie der Mensch altruistisches Verhalten zeigen.

Regen ist nicht gleich Regen

Das Tropfenspektrometer – ein Messgerät zur detaillierten Niederschlagscharakterisierung

Der Regen ist einer der wichtigsten Bestandteile des irdischen Klimas, und einer der am schwierigsten zu messenden. Je nach Fragestellung kommt es nicht nur auf die Menge, sondern auch auf weitere Eigenschaften, wie Niederschlagsform, räumliche und zeitliche Verteilung an. Mit dem Tropfenspektrometer entwickelten wir ein Regenmesssystem, das einige der komplexen Eigenschaften des Regens messen und visualisieren kann.

1. Einleitung

In letzter Zeit rückt der Klimaschutz immer mehr in das Interesse der Medien. Im Süden Europas kommt es nach andauernden Dürreperioden zu verheerenden Waldbränden, regelmäßig wird von immer stärkeren Stürmen und Überschwemmungen berichtet.

Der Winter war in Deutschland 2006/2007 um zwei Grad wärmer als ein durchschnittlicher Winter, in manchen Teilen war die Abweichung noch wesentlich höher. Der Klimawandel ist in vollem Gange, das glauben mittlerweile auch die Vereinten Nationen.

Daher wird es immer wichtiger, das sich ändernde Klima und das Wetter mit geeigneten Messgeräten besser beobachten und analysieren zu können. Einfache Angaben wie „es hatte 10 mm Niederschlag in zwei Stunden“ sind längst zu unpräzise. Um eine detaillierte Niederschlagsanalyse durchführen zu können, sind neben der Gesamt-

Autor

Sebastian Glasl, 12.5.1987
E-Mail: sebastianglasl@arcor.de

Magnus Anselm, 17.9.1986
E-Mail: magnus.anselm@gmx.de

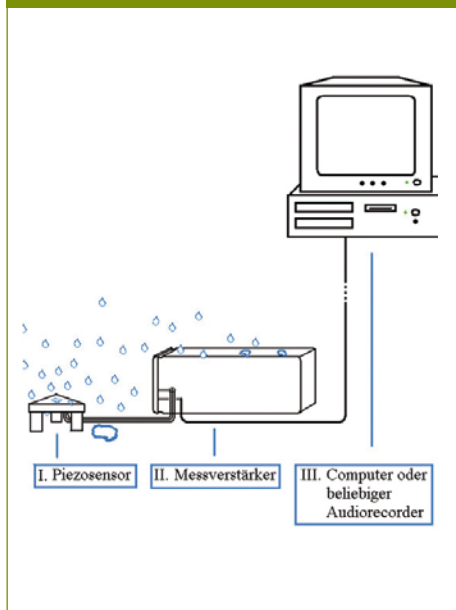
Schule:
Gabriel-von-Seidl-Gymnasium,
Bad Tölz ,

Betreuungslehrer:
Dr. Andreas Urban

Eingang der Arbeit:
2.4.2007



Abbildung 1



Das Messsystem besteht aus drei Teilen: Sensor, Messverstärker und PC mit Soundkarte und Auswertungssoftware

niederschlagsmenge vor allem Größe und Geschwindigkeit bzw. Impuls der Hydrometeore (Wasser- oder Eisteilchen unterschiedlicher Größen in der Atmosphäre) von Interesse. Um diese Parameter zu messen, bestehen bereits einige Ansätze. Neben dem klassischen Wetterradar, das mit Hilfe des Dopplereffekts die Radarreflektivität eines bestimmten Gebiets erfassen kann und somit Rückschlüsse auf die Niederschlagsintensität ermöglicht, existieren auch optische und mechanische Messgeräte zur lokalen Bestimmung der Niederschlagsintensität bzw. der Tropfengrößenverteilung. Diese Parameter werden von einigen Regensensoren, wie dem Laserdisdrometer oder dem Joss-Waldvogel-Disdrometer, anhand der Messung einzelner Regentropfen berechnet. Jedoch gibt es kein kompaktes Messgerät auf dem Markt, welches Informationen zu Auftreffzeitpunkt, Größe und Impuls jedes einzelnen Tropfens direkt misst und speichert, ohne eine Hochrechnung auf ungenauere Parameter (z.B. Intensität oder Gesamtniederschlagsmenge) durchzuführen. Daher sehen wir den Bedarf ein Messgerät zu entwickeln, das die originalen Rohdaten speichert und eine höchst detaillierte Charakterisierung des Niederschlags ermöglicht.

So entstand das Tropfenspektrometer, ein dreiteiliges Messsystem bestehend aus Tropfensensor, Messverstärker und einem Computer zur Auswertung (siehe Abb. 1), welches den Impuls der einzelnen Tropfen direkt misst und darstellen kann.

2 Physikalische Grundlagen

2.1 Herleitung der Tropfenmasse

Zur Berechnung der Tropfengröße und der Masse der Tropfen wird der gemessene mechanische Impuls p durch eine Formelbeziehung unter Zuhilfenahme der Fall-Endgeschwindigkeit auf die Masse m übertragen (Gl. 14). Die Fall-Endgeschwindigkeit ist dann erreicht, wenn die Luftreibungskraft F_r gleich der Gewichtskraft F_g ist. So lange die Fall-Endgeschwindigkeit noch nicht erreicht ist, beschleunigen die Tropfen während des Falls durch F_g . Gleichzeitig wird die Luftreibungskraft F_r größer, die Tropfen nähern sich somit asymptotisch einer von ihrer Masse abhängigen Endgeschwindigkeit an, die bereits nach wenigen Metern Flug nahezu erreicht wird.

Für die Luftreibungskraft gilt:

$$F_r = c_w \cdot A \cdot \frac{\rho_{Luft} \cdot v^2}{2} \quad (1)$$

Mit

c_w = Widerstandsbeiwert

A = Frontfläche

ρ_{Luft} = Dichte der Luft

v = Geschwindigkeit des Tropfens

Für die Gewichtskraft gilt:

$$F_g = m \cdot g \quad (2)$$

Mit

m = Masse des Tropfens

g = Erdbeschleunigung

Die Fall-Endgeschwindigkeit wird dann erreicht, wenn Luftreibungskraft und Gewichtskraft gleich sind:

$$F_g = F_r \quad (3)$$

In Gleichung 3 werden Gleichung 1 und 2 eingesetzt und nach der Fall-Endgeschwindigkeit der Tropfen aufgelöst:

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot m \cdot g}{c_w \cdot A \cdot \rho_{Luft}}} \quad (4)$$

Aus dieser Formel für die Fall-Endgeschwindigkeit (Gl. 4) wird leicht ersichtlich, dass die Geschwindigkeit von der Masse und der Frontfläche A des Tropfens abhängt. Mit „Frontfläche“ ist hier die Fläche gemeint, mit der der Tropfen Widerstand leistet. Zur Vereinfachung wird eine Kreisform angenommen.

Um die Frontfläche A zu berechnen ist der Radius der Kugel bzw. des Kreises nötig. Dieser berechnet sich aus dem Volumen:

$$V = \frac{4}{3} r^3 \quad (5)$$

Volumen und Masse sind über die Dichte miteinander verknüpft:

$$V = \frac{m}{\rho_{Wasser}} \quad (6)$$

Mit

r = Tropfenradius

ρ_{Wasser} = Dichte von Wasser

Zusammengefasst und nach dem Radius aufgelöst ergibt sich also

$$r = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot m}{4 \cdot \rho_{Wasser} \cdot \rho_{Luft}}}$$

Setzt man Gleichung 7 in die Gleichung für die Kreisfläche ein, erhält man:

$$A = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot m}{4 \cdot \rho_{\text{Wasser}}}} \cdot \pi \quad (8)$$

In Gleichung 8 ist zu erkennen, dass die Frontfläche A nur von der Masse der Tropfen abhängt. Setzt man nun die Fläche A in die Formel für die Geschwindigkeit (Gl. 4) ein erhält man

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot m \cdot g \cdot 4^{\frac{2}{3}} \cdot \rho_{\text{Wasser}}^{\frac{2}{3}}}{c_w \cdot \rho_{\text{Luft}} \cdot \pi^{\frac{1}{3}} \cdot 3^{\frac{2}{3}} \cdot m^{\frac{2}{3}}}} \quad (9)$$

Der Detektor liefert, ausgedrückt durch die Amplitude, den Wert des Impulses p der Tropfen. Letzterer berechnet sich aus:

$$p = m \cdot v \quad (10)$$

Setzt man die Geschwindigkeit ein (aus Gl. 9), und zieht m unter die Wurzel erhält man:

$$p = \sqrt{\frac{2 \cdot m^3 \cdot g \cdot 4^{\frac{2}{3}} \cdot \rho_{\text{Wasser}}^{\frac{2}{3}}}{c_w \cdot \rho_{\text{Luft}} \cdot \pi^{\frac{1}{3}} \cdot 3^{\frac{2}{3}} \cdot m^{\frac{2}{3}}}} \quad (11)$$

Zieht man die Wurzel und kürzt, erhält man für den Impuls:

$$p = \frac{2^{\frac{1}{2}} \cdot 4^{\frac{1}{3}}}{3^{\frac{1}{3}} \cdot \pi^{\frac{1}{6}}} \cdot \frac{g^{\frac{1}{2}} \cdot \rho_{\text{Wasser}}^{\frac{1}{3}}}{c_w^{\frac{1}{2}} \cdot \rho_{\text{Luft}}^{\frac{1}{2}}} \cdot m^{\frac{7}{6}} \quad (12)$$

Der Impuls ist also direkt proportional zur Masse hoch sieben Sechstel.

$$p \sim m^{\frac{7}{6}} \quad (13)$$

Löst man nach der Masse auf, erhält man:

$$m = \frac{1}{2} \cdot \sqrt[7]{\frac{9 \cdot \pi \cdot c_w^3 \cdot \rho_{\text{Luft}}^3}{g^3 \cdot \rho_{\text{Wasser}}^2}} \cdot \sqrt[7]{p^6} \quad (14)$$

Zur Berechnung der Masse sind folgende Konstanten nötig:

- Kreiszahl Pi: 3,14159
- Der Fallbeschleunigung g: 9,80665 m/s²
- Die Dichte des Gases, in dem der Tropfen fällt (hier Luft): 1,293 kg/m³
- Die Dichte der Flüssigkeit, aus der der Tropfen besteht (hier Wasser): 998 kg/m³

• Der Widerstandsbeiwert für eine Kugel in Luft c_w: -0,45

2.2 Eichung

Der Detektor des Tropfenspektrometers liefert allerdings nicht direkt den Impuls der Tropfen, sondern einen Spannungswert, der proportional zu diesem Impuls ist. Diese Spannung wird nach der Aufzeichnung des Signals in Form von Amplitudenwerten in AIFF-Dateien gespeichert. Um den Impuls in Abhängigkeit von der gemessenen Amplitude angeben zu können, hilft folgender Ansatz:

$$\gamma = \frac{Y}{p}$$

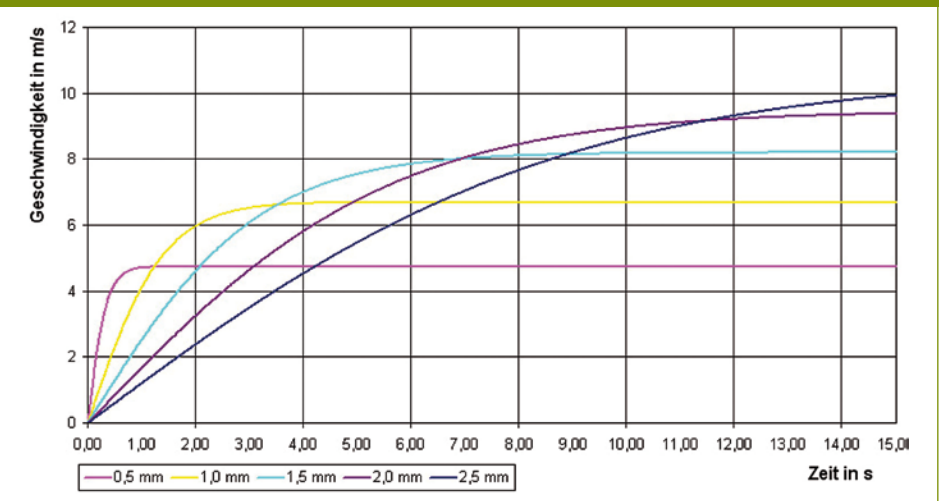
Y = Amplitudenwert in der Sounddatei

γ = Empfindlichkeitsfaktor

p = Impuls (Gl. 14)

Die Empfindlichkeit des Geräts γ muss mit Hilfe einer Eichmessung bestimmt werden. Dazu werden Tropfen bekannter Größe aus einer bekannten, relativ geringen Höhe auf den Sensor fallen gelassen. Durch die

Abbildung 2



Geschwindigkeitszunahme der Regentropfen während der ersten 15 Sekunden nach dem Fallenlassen, aufgetragen für verschiedene Tropfendurchmesser

geringe Höhe kann bei der Rechnung der Einfluss der Luftreibung vernachlässigt werden: Ein Tropfen mit 1,0 mm Radius hat zum Beispiel nach einer Fallstrecke von ~ 50 cm mehr als 30% seiner Endgeschwindigkeit erreicht und es greifen nur ca. 10% der Luftreibungskraft an ihm an (siehe Abb.2). Der Impuls der Tropfen kann folglich, ohne genauere Betrachtung der Luftreibung, berechnet und zusammen mit dem gemessenen Amplitudenwert zum Empfindlichkeitsfaktor Γ verrechnet werden. Diese Methode zur Eichung bringt jedoch einige Probleme mit sich. So wird davon ausgegangen, dass der Sensor linear misst, das heißt, dass die doppelte Tropfengröße auch einen doppelt so großen Impuls erzeugt. Außerdem wird die Luftreibungskraft vernachlässigt und somit ein systematischer Fehler verursacht. Im Versuch hat sich gezeigt, dass die Linearität des Sensors annähernd als gegeben betrachtet werden kann, und die Vernachlässigung der Luftreibungskraft die Messgenauigkeit nicht wesentlich beeinflusst.

Auch weitere Varianten der Eichung wurden angedacht. Zum Beispiel eine Eichung mit Plastilinkügelchen oder anderen festen Stoffen. Dies hätte den Vorteil, dass die Masse vor der Impulsmessung mit hoher Präzision abgewogen werden kann. Bei Wassertropfen ist dies wesentlich schwieriger, da sie beim

Aufprall zerplatzen. Eine Erzeugung von Tropfen mit genau definierter Masse ist nur aufwändig realisierbar. Gegen eine Eichung mit festen Stoffen spricht allerdings, dass diese mit hoher Wahrscheinlichkeit ein anderes Verhalten bei der Impulsübertragung aufweisen. Der Regentropfen führt einen inelastischen Stoß durch und spritzt zu den Seiten davon. Ein Plastilinkügelchen würde zwar ebenfalls einen inelastischen Stoß durchführen, dem aber mit hoher Wahrscheinlichkeit eine andere Impulsübertragung zu Grunde liegt (zerplatzt nicht, sondern verformt sich).

3. Das Messkonzept

3.1 Der Tropfensensor

Um den Impuls der Tropfen zu messen, wurde ein piezoelektrischer Tropfensensor entwickelt (siehe Abb. 3). Auf das Wesentliche reduziert besteht er aus einer Grundplatte mit darauf gelagerten piezokeramischen Elementen, aus einer Deckplatte und aus einer Feder welche Grund- und Deckplatte verbindet. Die Piezokeramikscheiben selbst bestehen aus modifiziertem Bleizirkonat-Titanat (PZT) des Typs PIC 155 der Firma PI Ceramic. Diese weisen Eigenschaften auf, die besonders für den Einsatz in Mikrofonen

und Schwingungsaufnehmern mit Vorverstärker geeignet sind.

Beim Aufbau des Sensors wurde besonders auf ein schnelles Ausschwingen der Konstruktion geachtet. Denn nach jedem Auftreffen eines Tropfens muss die Auswertesoftware Rainalyser aufgrund der Nachschwingungen eine „Totzeit“ (im Folgenden auch Eventlänge genannt) festlegen, in der keine weiteren Tropfen berücksichtigt werden können. Daher gilt es, eine möglichst gute Dämpfung der schwingenden Sensorfläche zu erreichen. Eine hohe Resonanzfrequenz ist ebenfalls von Vorteil. Um diesem Anspruch gerecht zu werden, wurden besonders leichte und gut gedämpfte Aluminium-PVC-Platten der Firma Aluform ausgewählt. Es kommen Platten des Typs Alucobond® und Dibond® zum Einsatz. Zusätzlich dient eine Feder, die die Deckplatte auf die Grundplatte zieht, als Dämpfungsglied. Die Gesamtmasse der Deckfläche wird nur um ca. 5 Gramm erhöht und die Eigenschwingung erheblich gedämpft.

Der Messverstärker verstärkt die Signalspannung von wenigen mV, die durch die Piezoelemente erzeugt werden, auf bis zu 0,5V, um eine höhere Maximalkabellänge zu erreichen und den Hintergrundrauschpegel zu mindern. Die Einstellung der Empfindlichkeit erfolgt durch die stufenlos wählbare Verstärkung von 0,5- bis 100-fach.

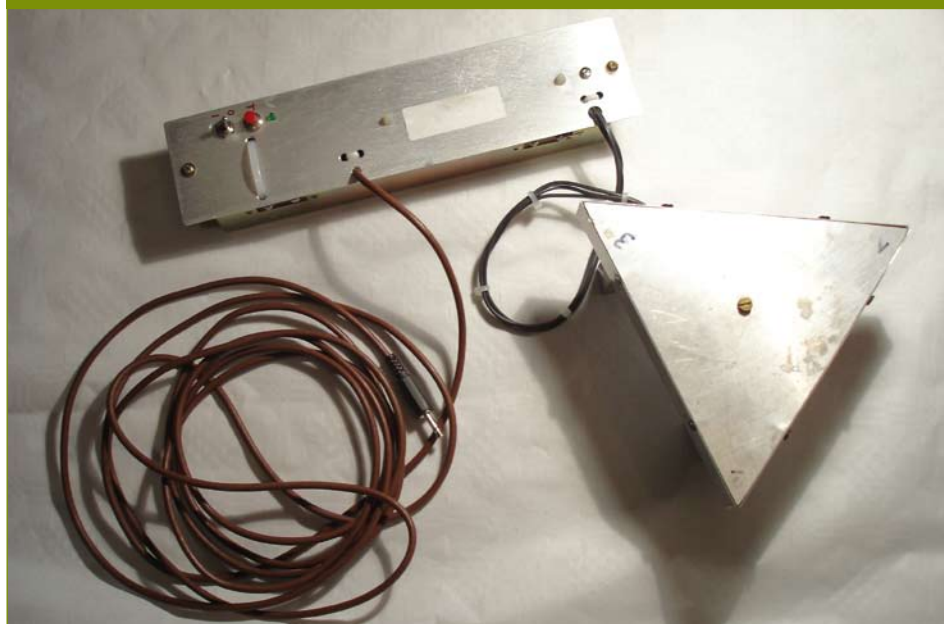
Die vom Messverstärker kommenden Signale werden über den Line-Eingang einer Soundkarte am PC als Audiostream aufgezeichnet und in AIF-Dateien gespeichert. Dadurch gehen keinerlei Daten verloren. Längere Aufzeichnungszeiträume können zudem vor der Auswertung in kürzere Zeitabschnitte zerkleinert werden. Die originalen Messdaten bleiben durch die strikte Trennung von Aufzeichnung und Auswertung jedoch immer erhalten.

3.2. Die Software Rainalyser

3.2.1 Auswertung der Rohsignale

Die Software Rainalyser wertet im ersten Arbeitsschritt die AIFF-Dateien aus. Die Software sucht während der Analyse nach

Abbildung 3



Ein Prototyp des Sensors mit Messverstärker.

Amplitudenwerten, die eine gewisse Messschwelle überschritten haben. Da der Sensor ähnlich wie ein Mikrofon arbeitet, herrscht vor allem bei Niederschlag stets ein gewisses Grundrauschen. Durch die Wahl einer minimalen Amplitude wird dieses Grundrauschen unterdrückt. Trifft nun ein Tropfen auf die Messfläche, kommt an der Soundkarte des PCs eine Spannungsspitze an, die aufgezeichnet wird und deren Amplitudenwerte wesentlich größer als die minimale Amplitude sind. (siehe Abb. 4) Erkennt die Software einen Amplitudenwert, der größer als die minimale Amplitude ist, wird in einem definierten Bereich nach dem größten Amplitudenwert gesucht. Dieser Bereich wird Eventlänge genannt und sollte mindestens so lang gewählt werden, dass die Schwingungen des Sensors nach der Eventlänge wieder unter der Messschwelle liegen. Bei den aktuellen Prototypen liegt dieser Wert

Auftretens in einer Auswertungsdatei. Die Auswertung nimmt dabei eine gewisse Zeit in Anspruch, da die Sounddateien oft viele MB groß sind. Die Aufzeichnung erfolgt mit 8000 Hz, 16 Bit, Mono und hat somit eine Datenrate von 16 kb/s (~ 55 MB und 28,8 Millionen Frames pro Stunde).

Die beiden wichtigen Auswertungsparameter, Eventlänge und minimale Amplitude, schränken maßgeblich den Messbereich des Tropfenspektrometers ein. Je größer die Eventlänge ist, desto weniger Tropfen können pro Sekunde registriert werden. Bei einer hohen Tropfenrate können also Werte unterschlagen werden. Die minimale Amplitude definiert die Größe der kleinsten messbaren Tropfen (realistischer Wert ca. 0,5 mm Durchmesser). Je kleiner die minimale Amplitude, desto kleiner können auch die gemessenen Tropfen sein. Allerdings besteht

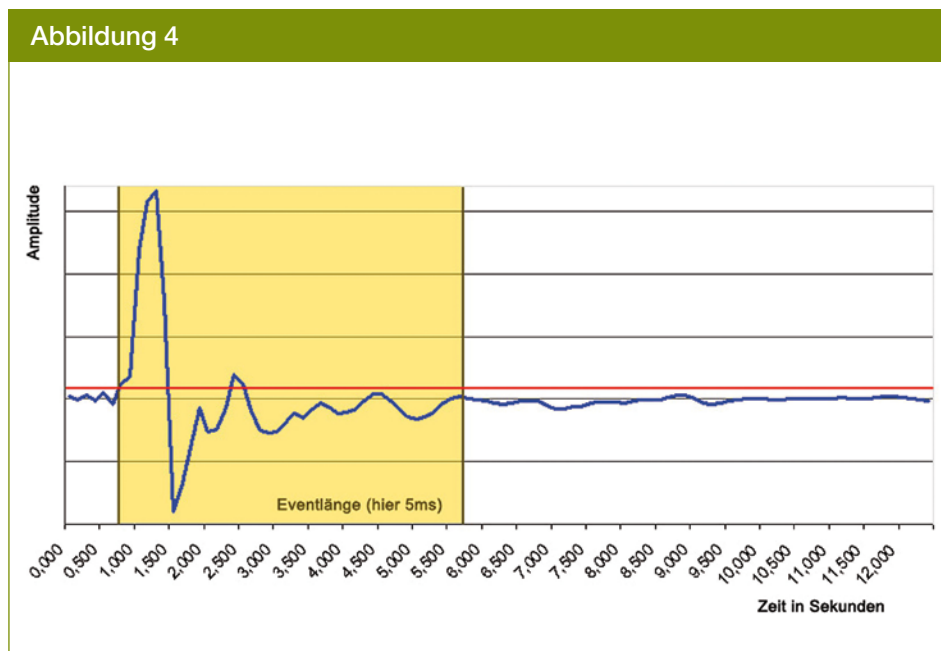
sehr gut möglich. So können Auswertungsdateien mit verschiedenen Auswertungsparametern erstellt und verglichen werden. Um die Wahl der Auswertungsparameter zu vereinfachen, wird geprüft, ob es möglich ist, die Eventlänge dynamisch zu definieren, also von der Software automatisch an die Größe des Tropfens anpassen zu lassen. Dadurch könnten kleine Tropfen eine kürzere Eventlänge erhalten und große Tropfen, die das System stärker anregen, eine längere.

Neben den beiden Hauptparametern für die Auswertung kann noch eine maximale Amplitude definiert werden. Außerdem können alle Naturkonstanten, die für die Berechnung der Tropfengröße relevant sind, manuell eingegeben werden.

3.2.2 Darstellungsmöglichkeiten

Rainalyser bietet neben der Auswertung der Sounddateien auch die Möglichkeit, die Ergebnisse tabellarisch und grafisch darzustellen. In einer Wertetabelle können alle Messwerte der einzelnen Tropfenereignisse wie Masse, Durchmesser, Impuls, kinetische Energie und Zeitpunkt, abgelesen werden. Diese Tabelle kann als Trennkommatdatei exportiert und in anderen Programmen weiterverarbeitet werden. Die Übersichtsseite ermöglicht einen schnellen Überblick über die Parameter Gesamtniederschlagsmenge, Dauer der Aufzeichnung, Zeit mit und ohne Niederschlag, durchschnittliche Tropfengröße usw.

Eine wohl einzigartige Darstellungsform dürfte das Zeit-Tropfengröße-Diagramm sein (siehe Abb.5). Dabei erstellt die Software ein Punktdiagramm bei dem in x-Richtung nach rechts die Zeit und in y-Richtung nach oben die Tropfengröße angetragen ist. Jeder einzelne Tropfen wird als Punkt dargestellt. Dies ermöglicht Rückschlüsse auf den zeitlichen Verlauf des Niederschlags und dessen Intensität. Besonders Intensitätsschwankungen und Pausen lassen sich so leicht erkennen. Das Diagramm ist detailliert anpassbar, so können zum Beispiel die Achsen beschriftet, ein Gitternetz angezeigt oder ein Teilbereich zur genauen Betrachtung markiert und vergrößert werden. Auch Zeit- und Größenachse sind beliebig skalierbar.



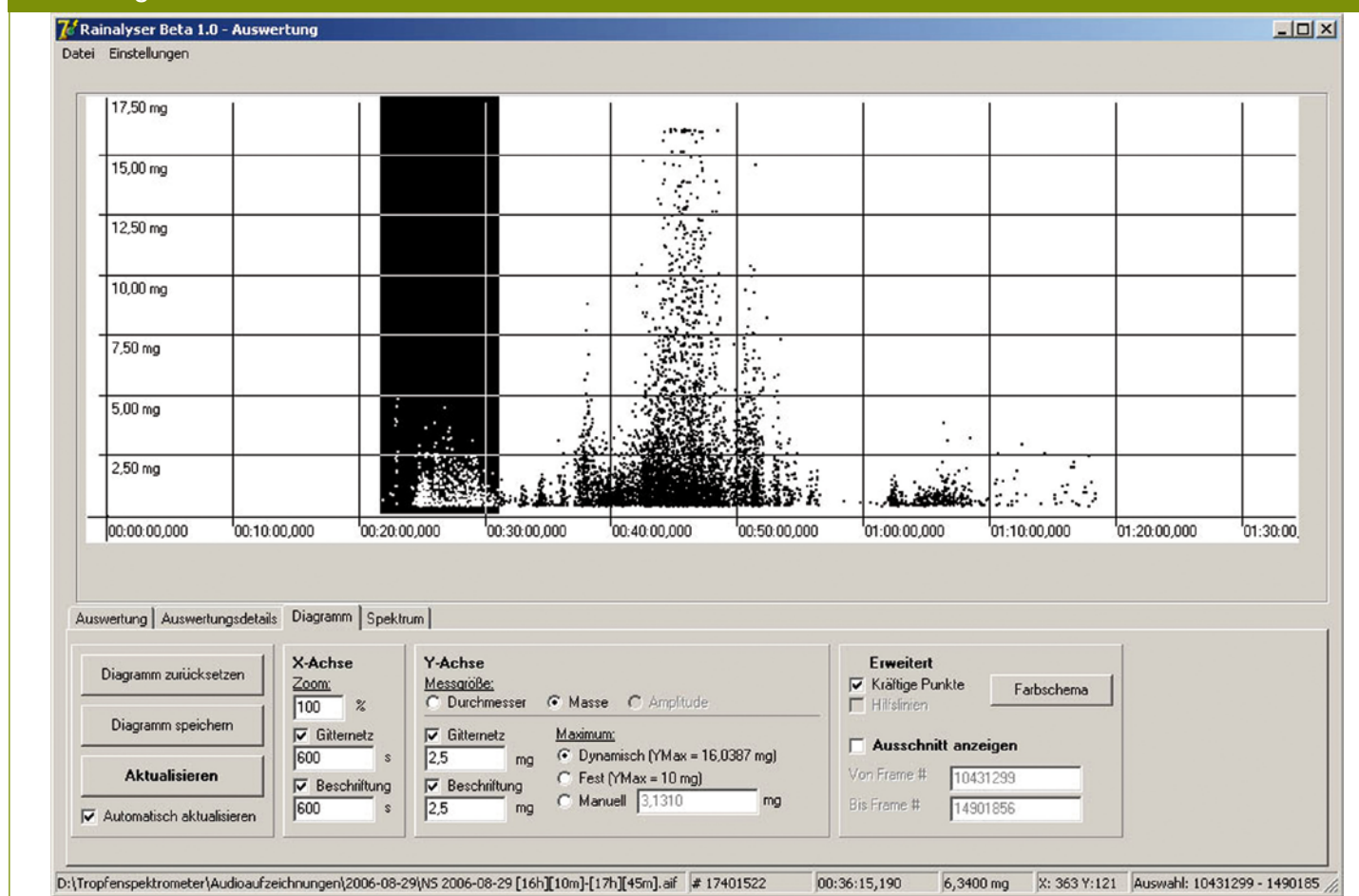
Darstellung eines Zeit-Tropfengröße-Diagramms in „Rainalyser“zeichnet wird.

zwischen 10 und 20 ms für mittlere Tropfengrößen (~ 1,5mm). Diese Totzeit, in der nur ein Tropfen registriert werden kann, ist nötig um Nachschwingungen, die größer als die minimale Amplitude sind, nicht fälschlicherweise als eigenständige Tropfen zu erkennen. Rainalyser scannt mit diesem Verfahren die gesamte Audiodatei ab und speichert die Peaks und den Zeitpunkt ihres

dann die Gefahr, eine Nachschwingung als Tropfen zu registrieren, wenn die Eventlänge zu kurz eingestellt wurde.

Es gilt also ein Mittelmaß zwischen den beiden Parametern zu finden, um bestmögliche Ergebnisse zu erzielen. Durch die analytische Auswertungsmethode, bei der keinerlei Rohdaten verloren gehen, ist dies

Abbildung 5



Darstellung eines Zeit-Tropfengröße-Diagramms in „Rainalyser“

Die zweite grafische Darstellungsform ist das Tropfenspektrum (siehe Abb.6). Dabei werden die gemessenen Tropfen anhand ihrer Größe in bis zu 100 Tropfenklassen unterteilt und diese Klassen in Form eines Balkendiagramms dargestellt. Die dadurch sichtbar gemachte Tropfengrößenverteilung gibt Auskunft über die Art des Niederschlags und dessen individuelle Charakteristika. So lässt z.B. die Bandbreite der besetzten Tropfenklassen Rückschlüsse auf die Intensität zu.

Kombiniert man die Informationen aus den verschiedenen Darstellungsmöglichkeiten, ist mit dem nötigen Fachwissen eine ausgesprochen detaillierte Charakterisierung des gemessenen Niederschlagsereignisses möglich. Durch die zahlreichen Einstellungs- und Exportmöglichkeiten können die Messergebnisse an die Bedürfnisse des Nutzers angepasst und auf die konkrete Messsituation eingestellt werden.

4. Diskussion und Anwendungsmöglichkeiten

4.1 Messbereich

4.1.1. Untergrenze

Die Größe der kleinstmöglichen, messbaren Regentropfen hängt von den Auswertungsparametern von Rainalyser, der Qualität des Sensors und der gewählten Empfindlichkeit des Messverstärkers ab. Denn bei geringem Grundrauschen und kurzen Nachschwingungen lässt sich auch die minimale Amplitude reduzieren. Mit dem ersten funktionsfähigen Prototyp konnten 2006 bereits Tropfen deutlich kleiner als 1,0 mm im Durchmesser gemessen werden. Allerdings wurde die Sensorplatte zu heftigen und langen Nachschwingungen angeregt. Die daraus folgenden langen Eventlängen führten in den Testmessungen zur Unterschlagung

von kurz aufeinander folgenden Tropfeneignissen. Deshalb wurde der Nachfolger besonders auf kurze Nachschwingzeiten und optimales Ansprechverhalten optimiert. Dies erfolgt durch Verwendung hochwertigerer Materialien. Insbesondere die zuvor verwendeten Piezo-Feuerzeugzündler wurden durch professionelle Keramiken der Firma PI Ceramic ersetzt.

Auch physikalische Faktoren setzen eine Grenze. Tröpfchen mit einem kleineren Durchmesser als 0,3 mm besitzen eine ihrer geringen Masse gegenüber große Oberfläche. Daher reichen bereits geringste Luftströmungen, um deren Fallverhalten stark zu verfälschen. Man kennt diesen Effekt von Nebeltröpfchen, die praktisch in der Luft schweben. Selbst wenn diese Tröpfchen auf die Messfläche fallen, sind sowohl Masse als auch Geschwindigkeit so gering, dass sie zu keiner nennenswerten Signalamplitude füh-

ren. Prinzipiell ist deren Beitrag zur Gesamtniederschlagsmenge bei herkömmlichen Regenfällen jedoch gering, weder die Radarreflektivität noch die Niederschlagsrate wird nennenswert von dieser Tropfenklasse beeinflusst [1].

4.1.2 Obergrenze

Tropfen mit Durchmessern größer als 5 mm können nur mit abnehmender Genauigkeit bestimmt werden. Denn bei Durchmessern ab 5 mm verhalten sich Wassertropfen auch auf Grund ihrer höheren Endfallgeschwindigkeit zunehmend instabil und unberechenbar. Die physikalischen Grundlagen, die für kleinere Tropfen gelten, lassen sich nur noch bedingt anwenden [2]. In der Praxis können derartig große Tropfen durchaus bei starkem Gewitterniederschlag vorkommen. Ein Großteil dieser Tropfen zerfällt jedoch bereits während des Falls in kleinere Sekundärtropfen, welche problemlos messbar sind. Sehr große Tropfen werden trotz Ungenauigkeit im absoluten Größenwert ebenso ausgewertet. Um diese Ungenauigkeiten zu minimieren, wird an einer genaueren Betrachtung der Strömungsverhältnisse gearbeitet.

4.2 Einfluss von Wind

Einflüsse durch eine aufsteigende bzw. fallende Luftströmung beeinflussen die Fall-Endgeschwindigkeit der Tropfen und können messprinzipbedingt zu verfälschten Tropfengrößenwerten führen. Ein solcher Messfehler würde sich in der Visualisierung der Messergebnisse durch eine Verschiebung bzw. Verzerrung des Größenspektrums bemerkbar machen. Generell gilt: je kleiner der Regentropfen, umso größer ist die Anfälligkeit gegen Wind und der resultierende Messfehler. Eine Ursache hierfür ist die Tatsache, dass die Masse der Tropfen unverhältnismäßig stärker abnimmt als die Oberfläche bei reduziertem Durchmesser. Darüber hinaus erreichen kleine Tropfen deutlich geringere Endgeschwindigkeiten als große Tropfen was sich anhand der Gleichung 4 erklären lässt.

Diese Überlegung gilt nur für fallende bzw.

steigende Winde. Horizontale, durch Wind verursachte Geschwindigkeitskomponenten der Tropfen führen zu keinem nennenswerten Messfehler, da lediglich der Vertikalimpuls gemessen wird.

4.3 Tropfenform und cw-Wert

Während Wolken- und Nebeltröpfchen perfekt kugelförmig sind, flachen größere Tropfen zunehmend an der Unterseite ab bzw. dellen ein. So nehmen große Regentropfen im fließenden Übergang eine Art Nierenform ein [3], welche je nach Ausprägung einen deutlich höheren cw-Wert als eine runde Kugel aufweist. Dabei ist eine stark ausgeprägte Nierenform näherungsweise mit einer nach unten geöffneten Halbkugel vergleichbar, welche einem cw-Wert von 1,35 (zum Vergleich Kugel: 0,45) entspricht. Diese Nierenform führt des Weiteren zu einem verändertem Strömungsverhalten: Tropfen mit Durchmessern größer als 5 mm werden folglich zunehmend instabil und beginnen stark in ihrer Form zu schwingen [3]. Diese Tatsache hat zur Folge, dass große Tropfen eine niedrigere, während des Falls durch die Oszillation sogar variierende Geschwindigkeit vorweisen, die bis zu 30% von der berechneten Endgeschwindigkeit abweichen kann [3].

4.4 Bedeutung von Tropfengröße und -impuls

Nicht nur die Tropfengröße allein ist von großem Interesse. Die physikalisch mechanische Wirkung des Regentropfens wird zum Beispiel in der Erosionsforschung in den Fokus gestellt, der Impuls bzw. die kinetische Energie wird somit zur Schlüsselgröße. Eine Vielzahl von Forschungsprojekten bedienen sich unterschiedlicher Messgeräte bzw. -methoden, mit denen zunächst die Größe bzw. Geschwindigkeit der Tropfen bestimmt wird. Erst im zweiten Schritt wird mit rechnerischen Mitteln der Impuls anhand von Masse und Geschwindigkeit ermittelt. Das Tropfenspektrometer kann den Impuls des Tropfens nicht nur direkt mechanisch messen, sondern auch ohne Umrechnung wiedergeben - ein unberechenbares Verhalten

der Regentropfen spielt bei der reinen Impulsmessung keine Rolle

4.5 Anwendungsmöglichkeiten

4.5.1 Einsatz in der Klimaforschung

Unser Wissen über das zukünftige Klima, aber auch teilweise über das Klima der Gegenwart und der Vergangenheit, stammt aus computergestützten Modellberechnungen. Diese Klimamodelle könnten durch Niederschlagsmessungen mit dem Tropfenspektrometer erweitert oder bestätigt werden, sodass das Messsystem hilfreich wäre, ein schärfer umrissenes Bild unserer Zukunft zu zeichnen.

4.5.2 Einsatz in der Grundlagenforschung

Zu einem besonders wichtigen Anwendungsbereich dürfte die Grundlagenforschung im Allgemeinen werden. Hier könnte das Tropfenspektrometer in zahlreichen Forschungsthemen, die sich mit der Hydrologie, dem Niederschlag oder generell der Atmosphären- und Bodenphysik beschäftigen Anwendung finden. Ein wichtiges Beispiel wäre die Erosionsmodellierung bzw. -simulation, welche im Folgenden näher betrachtet werden soll.

4.5.3 Mikrophysikalische Forschung

Das Tropfenspektrometer könnte zur Erforschung der Niederschlagsentstehung und -entwicklung verwendet werden. „So brauchen z.B. mikrophysikalische Modelle, die die Abläufe in Wolken simulieren wollen, gelegentlich Anhaltspunkte über die Tauglichkeit ihrer Spektren.“ [1]

4.5.4 Erosionsmodellierung bzw. -simulation

Um Erosion unter Laborbedingungen zu erforschen, verwendet man Regensimulatoren, die Niederschlag mit den gewünschten Eigenschaften erzeugen. Um das Erosionsverhalten jedoch korrekt deuten zu können,

ist es von großer Notwendigkeit die Charakteristik des künstlich erzeugten Niederschlags zu kennen. Dabei interessiert man sich neben der Regenstruktur besonders für die kinetische Energie bzw. den Impuls der Tropfen [4]. Für den Einsatz in der Erosionssimulation besitzt das Tropfenspektrometer den großen Vorteil, dass der entscheidende Parameter, der Impuls, direkt mechanisch gemessen wird.

5. Zusammenfassung

Mit der Entwicklung des Tropfenspektrometers ist ein Niederschlagsmesssystem entstanden, das nicht nur für ein großes Spektrum an Anwendungsmöglichkeiten geeignet ist, sondern auch durch seinen simplen und kostengünstigen Aufbau handelsüblichen Niederschlagsmessgeräten ernsthaft Konkurrenz machen könnte: zum Beispiel dem Joss-Waldvogel-Disdrometer (JWD), das die Tropfengröße ebenfalls mechanisch misst und zur Überprüfung von Wetterradaranlagen häufig eingesetzt wird. Das Tropfenspektrometer könnte diese Überprüfung noch genauer machen, vor allem weil das JWD alleine keine zuverlässigen Tropfengrößenverteilungen liefert [2].

Dank

Besonders möchten wir uns bei der GSF – dem Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit bedanken, die uns durch die Verleihung des „Carl Friedrich von Martius Umweltpreises“ und das Vertrauen in unser Messgerät sehr unterstützt haben. Die Möglichkeit der Präsentation des Messgeräts auf der EGU General Assembly im Mai in Wien verdanken wir unter anderem Silas Michaelides vom Metereological Service Cyprus und Eyal Amitai von der NASA GSFC.

Einen großen Dank auch an Frank Moeller, von der Firma PI Ceramic, für das kostenlose zur Verfügung stellen der Piezokeramiken, sowie an die Firmen Aluform und Gleich für die umfangreichen Materialproben. Darüber hinaus sind wir Matthias Kuhnert vom Geo Forschungszentrum Potsdam, Karl Auerswald von der Technischen Universität München und Ali Tokay vom Goddard Space Flight Center der NASA für die Zusammenstellung umfangreicher Paper zu großem Dank verpflichtet.

Literaturangaben

- [1] Grimbacher T., <http://www.iac.ethz.ch/en/groups/richner/cd/index.html> (Stand vom 01.06.07), Institute for Atmospheric and Climate Science, Swiss Federal Institute of Technology Zurich, 2002
- [2] Tokay A. et al., Error Characteristics of Rainfall Measurements by Collocated Joss-Waldvogel Disdrometers, American Meteorological Society, 2004
- [3] Vössing H.-J., In-situ Messung großer Hydrometeore mit Hilfe der In-line-Holographie, Johannes Gutenberg-Universität Mainz, 2001
- [4] Hassel J. und Richter G., Ein Vergleich deutscher und schweizerischer Regensimulatoren nach Regenstruktur und kinetischer Energie, Z. f. Pflanzenernährung und Bodenkunde 155/185-190, 1991

Weitere Informationen zum Tropfenspektrometer

2005

- Beginn der Entwicklung des Tropfenspektrometers im Rahmen der Schul-Facharbeit im Leistungskurs Physik

2006

- Erstanmeldung zum Patent
- Start der Website www.tropfenspektrometer.de
- Jugend forscht Teilnahme im Fachbereich Physik („Bau eines Tropfenspektrometers“)
- Verleihung des „Carl Friedrich von Martius Umweltpreises“ für Facharbeiten durch die GSF – Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit
- Einsatz des Tropfenspektrometers im Auftrag des Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit (GSF); Institut für Strahlungsschutz, Abteilung Radioökologie

2007

- Jugend forscht Teilnahme im Fachbereich Geo- und Raumwissenschaften („Das Tropfenspektrometer – ein Messkonzept zur detaillierten Niederschlagscharakterisierung“)
- Teilnahme an der European Geosciences Union General Assembly 2007 in Wien in Form eines mündlichen Vortrags. Session: „Observation, Prediction and Verification of Precipitation“ (AS 1.03)

Weitere Informationen und News finden Sie unter www.tropfenspektrometer.de

Buchrezensionen des Monats

Frischer Lesestoff für wissbegierige und wissenschaftlich interessierte Leseratten in jedem Alter

Diesmal vorgestellt::

Dieter Kind, Walter Mühe „Naturforscher und Gestalter der Technik – Die Träger des Werner-von-Siemens-Ringes“ und Philip Nelson: Biological Physics (Energy, Information , Life).



Dieter Kind, Walter Mühe
„Naturforscher und Gestalter der
Technik – Die Träger des Werner-
von-Siemens-Ringes“

VDE Verlag, Berlin

Herausragende deutsche Ingenieure des 20. Jahrhunderts

Dieses Buch enthält ohne Frage interessante Fakten und Lebensläufe, aber dies entdeckt der Leser erst, wenn er sich ernsthaft mit dem Buch beschäftigt. Das erste Fragezeichen ruft der Titel hervor: „Naturforscher“ und „Gestalter der Technik“ mit dem Untertitel „Die Träger des Werner-von-Siemens-Ringes“. Dies assoziiert Loblieder auf Menschen, die mit wenig gebräuchlichen Begriffen beschrieben werden. Blättert man das Buch durch, so findet man ausschließlich schwarz-weiß Bilder, häufig von älteren Herren, gelegentlich Abbildungen von technischen Geräten, die nur einen ersten Eindruck vermitteln, und einen Textaufbau, der stark wissenschaftlich orientiert ist. All dies lädt noch nicht zum Lesen ein.

Ein Blick auf das Inhaltsverzeichnis dagegen weckt Neugierde: Dieses nennt die Träger der Auszeichnung sortiert nach dem jeweiligen technischen Fachgebiet, auf dem sie tätig waren und sind: Es finden sich einige bekannte Namen wie Carl von Linde, Wern-

her von Braun, Walter Schottky, Artur Fischer und jede Menge unbekanntere Namen. Die Bandbreite der Gebiete ist groß und reicht von Eisenhüttenwesen und chemischer Technologie über elektrische Übertragungstechnik und Mikroelektronik bis hin zur Informationstechnik und Informatik. Und wer sich dadurch angezogen fühlt und den entsprechenden Lebenslauf nachliest, erfährt viel über Naturwissenschaftler und Ingenieure, die die technische Entwicklung in Deutschland im 20. Jahrhundert wesentlich mitgetragen und gestaltet haben.

Die Texte enthalten neben biographischen Informationen vor allem eine Beschreibung der beruflichen Stationen jeweils mit Fokus darauf, welche technische Fragestellung und Lösung erarbeitet wurde. Dabei gelingt es in nüchtern sachlichem Stil, die Bedeutung der Leistung für das jeweilige Fachgebiet einzuordnen. So wird an vielen Stellen deutlich, welche ingenieurwissenschaftlichen Leistungen hinter technischen Produkten stehen, die wir heute völlig selbstverständlich benutzen. Dies hat für mich letztendlich den Reiz ausgemacht, alle Lebensläufe zu lesen.

Autor: Sabine Walter

Biophysik liefert neue Impulse für die Lebenswissenschaften

Wissenschaftlich prägte der Fortschritt in der chemischen Forschung das 19. Jahrhundert, im 20. veränderte die Physik unsere Sicht auf die Welt. Angesichts von Genomprojekt und immer neuen „Revolutionen bei den Einsichten auf das Leben“, wundert es da kaum, dass die Biowissenschaften scheinbar dem 21. Jahrhundert ihren Stempel aufdrücken werden. Das innerhalb großer Versprechen und Risiken verantwortungsvolle und gut ausgebildete ForscherInnen gefragt sind steht außer Frage. Das kann in Konsequenz nur durch eine hervorragende Ausbildung junger Studierender gewährleistet werden.

Wie aber lassen sich so verschiedene wissenschaftliche Erkenntnisse wie das Auslesen der DNS, die Fortbewegung von Zellen oder die evolutionäre Dynamik von Leben systematisieren und vermitteln?

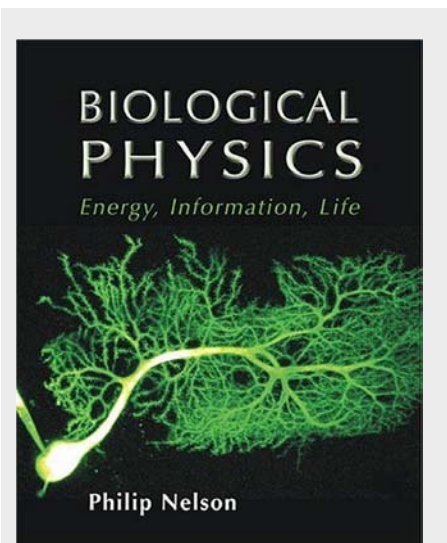
Mit seinem bahnbrechenden Lehrbuch hat der amerikanische Professor Philip Nelson einen Kanon aufgestellt, der die Grundlage für viele einführende Vorlesungen in die spannende Materie der Biophysik stellt. Dabei geht er davon aus, dass detaillierte quantitative Beschreibungen biologischer Vorgänge mit Hilfe physikalischer Methoden möglich sind und tiefere Einblicke verschaffen.

Ausgehend von den physikalischen Grundbegriffen wie Energie und Diffusion werden in Biological Physics in zwölf Kapiteln systematisch Wirkungsweisen biologischer Systeme

vermittelt, Größenskalen eingeführt und diskutiert sowie aktuelle Veröffentlichungen dargestellt und in einen breiten Kontext gestellt. Ergänzt werden die Kapitel durch weiterführende und präzise gestellte Fragen, die vorlesungsbegleitende Übungen leicht zu wertvollen Diskussionsgruppen machen können. Innerhalb der „Forschungscommunity“ genießt das Buch eine große Reichweite. Das rührt unter anderem von den kommentierten Literaturangaben her, die den Einstieg in neue Themengebiete extrem erleichtern. Speziell lässt sich hier noch das Kapitel 9 hervorheben, welches die elastischen Eigenschaften von Biopolymeren sehr deutlich vermittelt und damit eine nicht zu überschätzende Blaupause für wiederkehrende Problemstellungen behandelt wie beispielsweise Kooperativität und Phasenübergänge.

Anfang 2008 erscheint Biological Physics in einer aktualisierten Ausgabe, in der neue Veröffentlichungen der letzten fünf Jahre eingearbeitet sein werden. Angesichts der großen Popularität, die biophysikalische Forschungsansätze im Moment zu Recht genießen, ist dieser Schritt sehr zu begrüßen und ermöglicht auch fachfremden ForscherInnen eine Einführung auf der Höhe der Zeit. Den Ausnahmestatus als vorbildliches Lehrbuch, das sowohl vorlesungsbegleitend, zum Selbststudium als auch für vermeintliche „alte Hasen“ geeignet ist, wird durch die neue Ausgabe untermauert werden.

Philip Nelson beginnt das erste Kapitel von Biological Physics wie auch seine Vorlesungen zur Biophysik mit dem Ausspruch „The modest goal of this book is to take you



Philip Nelson:
Biological Physics (Energy,
Information, Life). 1. erweiterte
Auflage, W. H. Freeman,
New York: 2008.

ISBN 0716798972

from the mid-nineteenth century [...] to the science headlines you read this morning.“ Nach intensivem Lernen entlang der Linie des Buches und unzähligen Nachschlagen darin, hat man den Eindruck, dass das mehr als gelungen ist und eine begeisterte ForscherIn hinterlässt.

Autor: Fabian Czerwinski