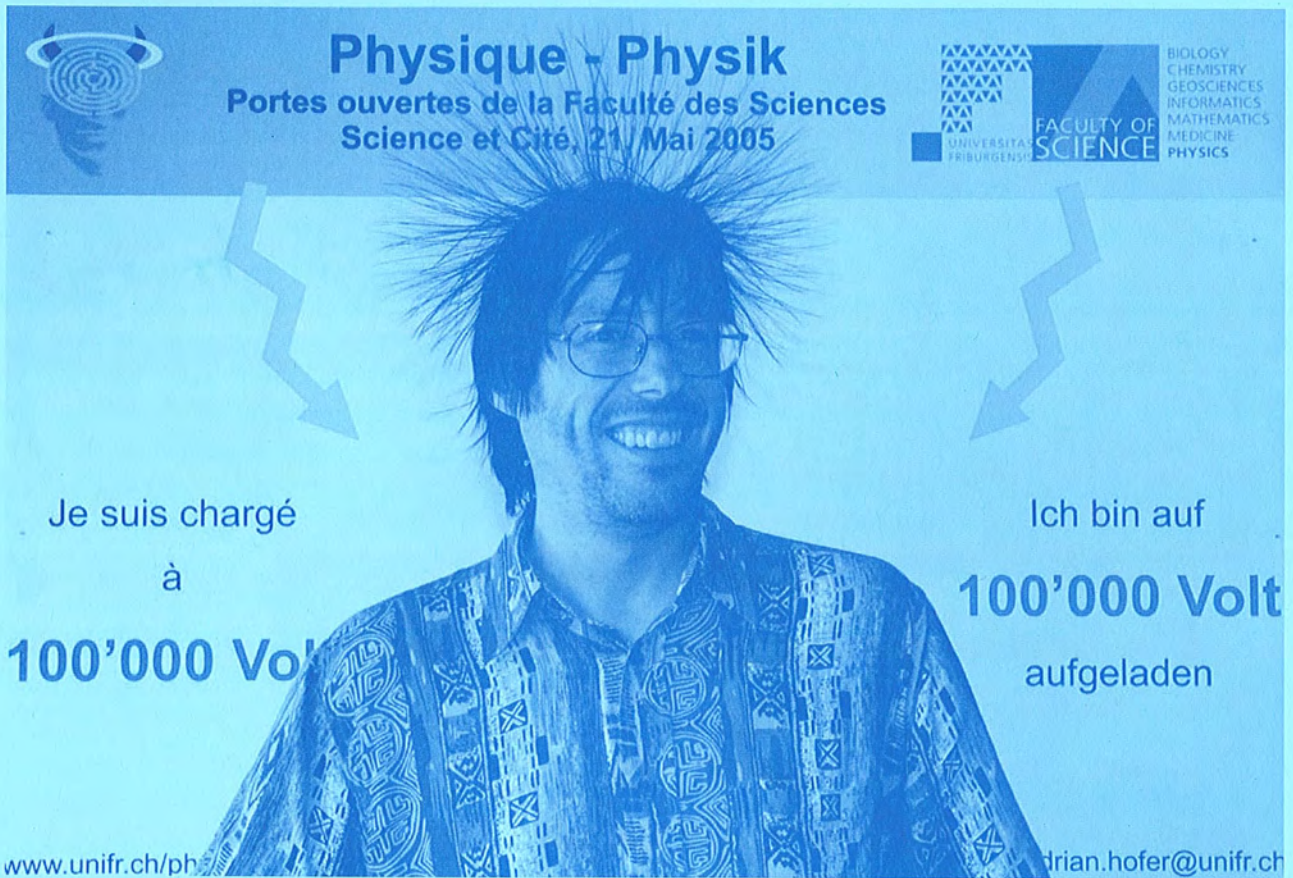


# LE PHOTON

No 16 - 2005

Bulletin de l'Association des Anciens Etudiants et Collaborateurs du



**Physique - Physik**  
Portes ouvertes de la Faculté des Sciences  
Science et Cité, 21 Mai 2005

UNIVERSITÄT  
FRIBURGENSE  
FACULTY OF  
SCIENCE  
BIOLOGY  
CHEMISTRY  
GEOSCIENCES  
INFORMATICS  
MATHEMATICS  
MEDICINE  
PHYSICS

Je suis chargé  
à  
**100'000 Volt**

Ich bin auf  
**100'000 Volt**  
aufgeladen

[www.unifr.ch/phys](http://www.unifr.ch/phys) [drian.hofer@unifr.ch](mailto:drian.hofer@unifr.ch)

**Comité de l'Association des Anciens Etudiants et Collaborateurs du  
Département de Physique de Fribourg**

---

<b>A. Raemy,</b>	Président Ch. Crausaz 56, 1814 La Tour-de-Peilz
<b>J.-Cl. Dousse,</b>	Vice-Président
<b>Ch. Murith,</b>	Caissier
<b>B. Overney,</b>	Rédacteur (français)
<b>L. Schaller,</b>	Rédacteur (allemand)
<b>B. Michaud,</b>	Membre
<b>P. Schwaller,</b>	Membre
<b>A. Weis,</b>	Membre

Secrétaires du Photon: M.-L. Raemy

Département de Physique, Pérolles, 1700 Fribourg  
e-mail: [marie-louise.raemy@unifr.ch](mailto:marie-louise.raemy@unifr.ch)

B. Kuhn-Piccand

Département de Physique, Pérolles, 1700 Fribourg  
e-mail: [bernadette.kuhn-piccand@unifr.ch](mailto:bernadette.kuhn-piccand@unifr.ch)

## EDITORIAL

Et voici déjà la fin de l'année et le Photon No 16 (2005). Nous nous recommandons pour que votre générosité nous aide à continuer l'édition de ce bulletin.

Avant de mentionner les événements importants de 2005, rappelons un anniversaire et un événement marquant de la fin 2004, qui ont eu lieu après l'édition de notre bulletin. Le 3 décembre 2004 il y a 20 ans qu'avait lieu le plus grand accident industriel de tous les temps à Bhopal aux Indes. Le 26 décembre 2004 a eu lieu le « tsunami » du Sud-Est asiatique qui a concerné les populations locales et d'innombrables touristes.

Les événements marquant de 2005 sont d'abord le soixantième anniversaire de la fin de la deuxième guerre mondiale (Hiroshima, Nagasaki) avec la naissance de l'Organisation des Nations Unies (ONU). De plus 2005 est l'année mondiale de la physique (« World Year of Physics ») décrétée justement par l'ONU, avec les anniversaires liés à la vie et à l'œuvre d'Einstein. En effet une partie essentielle de l'œuvre d'Einstein date d'il y a un siècle et Einstein est mort il y a cinquante ans. La Société Suisse de Physique a bien marqué l'événement lors de sa réunion de mi-juillet à Berne, ville où Einstein travaillait en 1905. D'ailleurs au Musée Historique de Berne une exposition sur Einstein est ouverte au public jusqu'au 17 avril 2006 ; elle situe bien la vie et l'œuvre d'Einstein dans le contexte historique de la première moitié du 20<sup>ème</sup> siècle.

Rappelons que l'Ecole Polytechnique de Zurich (EPFZ) a fêté cette année ses cent cinquante ans d'existence, que l'« Eidgenössische Material Prüfungs Anstalt » ou EMPA, que nous avons présenté dans le Photon No 15 (2004), a fêté ses cent vingt-cinq ans et l'Institut de Microtechnique de Neuchâtel (IMT) ses trente ans.

En 2005 il a été décidé que le prochain grand réacteur à fusion nucléaire ITER serait construit à Cadarache dans le sud de la France, ce qui devrait convenir à nos amis physiciens du plasma de Lausanne.

En 2005 aussi, des astronomes genevois découvrent un astre mystérieux, nommé IGR J16283-4838, grâce au satellite Integral lancé en 2002 et rattaché à l'Université de Genève ; de plus un astronome amateur fribourgeois, Peter Kocher, découvre quatre planètes grâce au télescope flambant neuf de l'Observatoire d'Ependes (voir Photon No 4, 1993). Enfin, le 26 juillet, aux Etats-Unis la NASA lance à nouveau avec succès une navette, Discovery, après deux ans et demi d'interruption suite à l'explosion de Columbia, lors du vol précédent.

En cette année 2005 les attentats contre l'Occident continuent en Irak et ailleurs, comme à Londres le 21 juillet.

Les intempéries d'août sur la Suisse centrale puis sur le sud-est des Etats-Unis (cyclone Katrina en Louisiane et au Mississipi) et l'Amérique centrale resteront dans les mémoires; les catastrophes annoncées par les climatologues suite au réchauffement de la planète se produisent effectivement.

Pour en revenir à notre Photon, nous vous présentons l'entreprise SIKA, grâce à Gabriel Nussbaumer ingénieur sur le site de Guin, ainsi qu'une information sur l'intérêt de l'hydrogène comme vecteur d'énergie: l'auteur en est le professeur Andreas Züttel, spécialiste de ce domaine.

Nous espérons que vous aurez toujours du plaisir avec les rubriques habituelles et vous souhaitons de bonnes fêtes de fin d'année.

**Pour le Comité**

**Alois Raemy, Président**



## Sika – mit Innovationen gross geworden

**Die bald hundertjährige Erfolgsgeschichte von Sika begann 1910 mit der Erfindung eines wasserdichten Mörtels und der Gründung der Firma "Sika" durch Kaspar Winkler. Heute ist Sika ein global aufgestellter Industriekonzern, der Prozessmaterialien und Systemlösungen für den Baubereich und die Fahrzeugindustrie anbietet.**

In den 20er Jahren wurden die Eisenbahnen elektrifiziert. Dadurch entstand die Notwendigkeit, Eisenbahntunnels gegen Wassereinträge abzudichten. Sika nahm diese Chance wahr und expandierte dank innovativen wasserabdichtenden Produkten in verschiedenste Länder der Welt. Bereits in den 30er Jahren war Sika mit 15 Tochtergesellschaften in Europa, in den USA, Brasilien, Argentinien und Japan präsent. Heute ist Sika praktisch weltweit mit 90 Tochtergesellschaften, 50 Produktionsstätten und über 9000 Mitarbeitenden aktiv.

### Sika's Kompetenzen

Produkte und Lösungen zum Schutz vor Wasser sowie zum Schutz des Wassers hat Sika bis heute beibehalten. Das Unternehmen hat sich aber auch weiterentwickelt. So bietet Sika heute Lösungen und Prozessmaterialien für das

- Dichten
- Kleben
- Dämpfen
- Verstärken und
- Schützen

tragender Strukturen im Bau und in der Transportindustrie.

Dabei fokussiert sich Sika auf die Kundengruppen Betonhersteller, Contractors, Bauhandel und Fahrzeughersteller.

Mit der Betonzusatzmittel-Technologie Sika<sup>®</sup> ViscoCrete<sup>®</sup> entstand vor rund 5 Jahren eine neue Sika Erfolgsgeschichte in der Betonherstellung. Betonzusatzmittel helfen die Verarbeitbarkeit des Betons (Viskosität, Zeitpunkt und -dauer des Aushärtens) den Anforderungen und Bedürfnissen des Kunden anzupassen. Heute werden vor allem beim Bau von Hochhäusern, Brücken und Tunnels über 70'000 Tonnen Sika<sup>®</sup> ViscoCrete<sup>®</sup> verarbeitet.

Die Kundengruppe "Contractors" besteht im Wesentlichen aus General- und Bauunternehmungen sowie Spezialverarbeitern. Mit dem „Roof to Floor“-Konzept können wir die Bedürfnisse dieser Kundengruppe optimal abdecken. Der Kunde kann dank diesem Konzept Lösungen aus einer Hand von Sika beziehen – von Dachabdichtungsbahnen über Kleb- und Dichtstoffe für den Fassadenbau bis hin zu Fussböden.

Sika baut zu allen führenden Kunden ihrer Zielgruppen enge Kontakte auf. Die Belieferung erfolgt aber bei verschiedenen Kundengruppen zunehmend über den Bau- und Fachhandel. Bereits heute wird mehr als ein Drittel des Umsatzes über den Handel abgewickelt, wobei die Baumärkte zunehmend an Bedeutung gewinnen. Sika ist beispielsweise in allen Filialen des grössten Bauhändlers in den USA im „Professional“ Sektor vertreten.

Mit dem elastischen 1-komponenten Polyurethan Kleber Sikaflex<sup>®</sup> erfolgte Ende der 70er Jahre der Eintritt in den Fahrzeugbau. Heute ist Sika mit über 60'000 Tonnen Sikaflex<sup>®</sup> der grösste Polyurethan Klebstoffhersteller der Welt. Umsatzmässig beinahe gleichwertig zum Scheibkleber sind die Sika Baffels, welche im Karosseriebau zur Lärmdämmung eingesetzt werden. Eine steigende Nachfrage verzeichnen auch die Sika Reinforcer – Elemente, die vor allem bei einem Crash die kritischen Stellen einer Karosserie verstärken.

## Sika steht vor grossen Herausforderungen

Die Zielmärkte, im Baubereich, sind weltweit noch stark fragmentiert. Die fünf grössten Anbieter halten nicht einmal 25% des Weltmarktes.

In bereits konsolidierten Märkten, wie dem Fahrzeugbau, werden laufend Lösungen für tiefere Verarbeitungskosten und höhere Produktionsgeschwindigkeit gefordert.

Um den wachsenden Kundenbedürfnissen Rechnung zu tragen setzt Sika seit jeher auf eine starke Forschung. Diese brachte im vergangenen Jahr über 150 neue Produkte auf den Markt und meldete 30 neue Patente an. Zudem erzielt Sika mit Produkten die jünger als 5 Jahre sind rund 30% des Umsatzes.

### Kernkompetenzen

Unsere Kernkompetenzen liegen im Dichten, Kleben, Dämpfen, Verstärken und Schützen von Tragstrukturen am Bau und in der Industrie.

**Dichten** minimiert den Fluss von Gasen, Flüssigkeiten, Wärme und Kälte – zwischen Hohl- und Zwischenräumen. Damit erhöhen sich die Funktionalität und der Komfort in Innenräumen.

**Kleben** verbindet unterschiedliche Materialien dauerhaft, elastisch und/oder kraftschlüssig. Neuartige Klebstoffe ermöglichen die Verbindung von Werk- und Baustoffen, die bisher nur auf mechanischem Weg mit Schrauben, Schweißen und Nieten verbunden werden konnten.

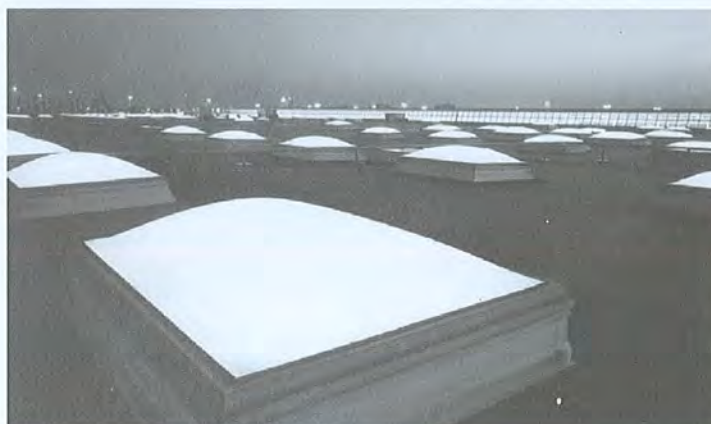
**Dämpfen** reduziert bei festen und beweglichen Objekten Schwingungen jeglicher Wellenlänge. Das dämpft die Schall- und Lärmemissionen von tragenden Strukturen und Hohlräumen.

**Verstärken** erhöht gezielt die Belastbarkeit von statisch wie auch dynamisch beanspruchten Tragstrukturen. Verstärken heisst, das Bestehende optimieren.

**Schützen** erhöht die Dauerhaftigkeit von Tragstrukturen und erhält die Substanz neuer und renovierter Objekte.



Shark River Bridge, New Jersey USA: 52 Betonträger jeder 54 Meter lang und 100 Tonnen schwer. Sika® ViscoCrete®-20HE ermöglichte hier eine schneller Produktion der Betonelemente durch die Erhöhung der Frühfestigkeit. Für den Kunden bedeutet dies eine Zeitersparnis bzw. die Möglichkeit zur Kapazitätserhöhung.



Sika bietet alles aus einer Hand von den Dachabdichtungsbahnen (Einkaufszentrum Auchan, Budapest, Ungarn) ...



... über Kleb- und Dichtstoffe für Fassaden (City hall, London) ...



... bis hin zu Fussbodenlösungen (Kongresszentrum, Wien).



Mit SikaTack®-MOVE werden Fahrzeugscheiben bei allen Marken und Modellen und unter den verschiedensten klimatischen Bedingungen verklebt. Bereits nach rund 60 Minuten ist das Auto wieder fahrbereit – ein Novum im Autoscheiben Reparaturgeschäft

Alfred Spieser, Baar

## Wasserstoff der Energieträger der Zukunft?

Das Überleben in dem sich ändernden Klima und mit den zur Neige gehenden fossilen Ressourcen ist die grösste Herausforderung für die Menschen des 21. Jahrhunderts. Die nächste Generation wird am Physikdepartement auf diese Herausforderungen vorbereitet und die Grundlagen für erneuerbare Energiesysteme und Wasserstoff als Energieträger werden erforscht. Potentielle Lösungen werden in gemeinsamen Projekten von Universität und Industrie und internationalen Expertenteams entwickelt und demonstriert.

In den nächsten Jahren wird die stetig wachsende Nachfrage nach fossilen Energieträgern die Förderraten übersteigen. Zusätzlich ändert sich das Klima weltweit durch das Verbrennen der fossilen Energieträger und den dadurch bedingten Anstieg des Kohlendioxides in der Atmosphäre und dem damit verbundenen Treibhauseffekt. Beide Probleme sind nicht neu, Svante Arrhenius hat bereits 1896 den Treibhauseffekt richtig abgeschätzt und veröffentlicht<sup>1</sup>. Die Menschen in den Industrieländern haben das Problem bis heute aber nur am Rande wahrgenommen und haben erst mit der Ölkrise (1973) die Endlichkeit der fossilen Ressourcen, welche die Grundlage der Industrialisierung bilden, wahrgenommen. Wir können uns heute drei Szenarien für die Zukunft vorstellen: 1) Es werden noch grosse Vorkommen an fossilen Energieträgern entdeckt und wir überlassen das Klimaproblem der nächsten Generation. 2) Es entwickelt sich ein weltweiter Konflikt um die verbleibenden Ressourcen, welcher zusammen mit den Klimakatastrophen zu einer gewaltigen Dezimierung der Population führt. 3) Der Energiebedarf wird durch erneuerbare Energie gedeckt und ein neuer CO<sub>2</sub> freier Energieträger, z.B. Wasserstoff, wird eingeführt.

Letzteres führt zu Veränderungen im Wirtschaftssystem und zu einer Umverteilung des Reichtums. Systeme zur Wandlung und Speicherung der erneuerbaren Energie bedingen effiziente und leistungsstarke Installationen, welche grosse Investitionen zur Folge haben. Die Entwicklung und Produktion dieser Systeme hat für die Schweiz ein grosses wirtschaftliches Potential, da die verwendeten Materialien eine enorme Wertsteigerung erfahren, wie z.B. vom Sand zum integrierten Schaltkreis, und weil die Entwicklung nur mit den nötigen wissenschaftlichen und personellen Ressourcen möglich ist.

Die Forschungsgruppe von Andreas Züttel in der Festkörperphysik beschäftigt sich mit der Grundlagenforschung an Materialien, welche für die Produktion, Speicherung und Verbrennung von Wasserstoff relevant sind. Zudem synthetisieren und untersuchen wir Nanostrukturen, welche spezielle Funktionen in neuen elektrischen Speichern aufweisen.

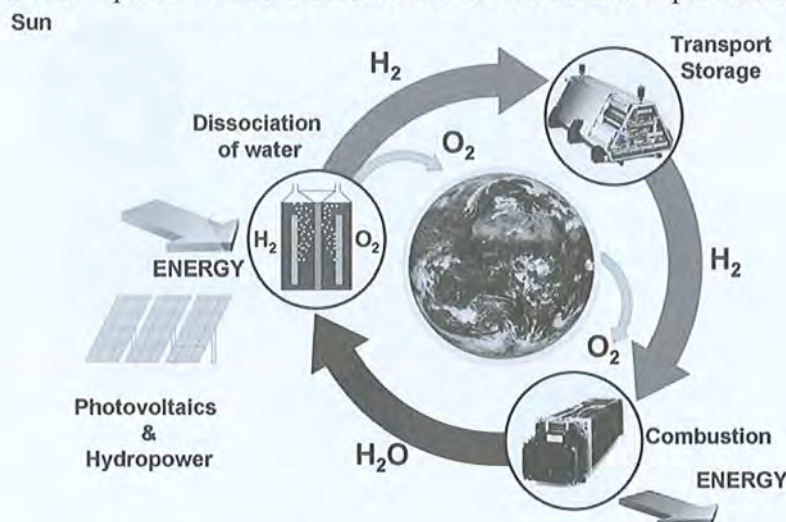


Fig. 1: Wasserstoffkreislauf.

Die Sonne liefert in der zukünftigen Energiewirtschaft sowohl die Wärme zum Heizen und für chemische Prozesse als auch die Elektrizität über Energiewandler wie z.B. Photovoltaik, Wasserkraft und Windturbinen. Weder Wärme noch Elektrizität lassen sich effizient und mit hoher Energiedichte speichern. Deshalb wird ein synthetischer Energieträger wie Wasserstoff für mobile Anwendungen dringend benötigt. Wasserstoff lässt sich in einer Carnot-Maschine oder einer Brennstoffzelle verbrennen, wobei nur Wasser als Produkt entsteht. Wasserstoff kann aus Wasser durch Thermolyse oder Elektrolyse hergestellt werden. Der Wasserstoff wird gespeichert und der Sauerstoff in die Atmosphäre entlassen (Fig. 1). Wasserstoff ( $H_2$ ) hat eine sehr tiefe kritische Temperatur von 32K. Deshalb lässt sich  $H_2$  bei Umgebungstemperatur nicht durch Druck verflüssigen. Die Wechselwirkung von Wasserstoff mit der Oberfläche und dem Volumen von Kohlenstoff und Metallen führt zu interessanten Zuständen, welche zur Speicherung von  $H_2$  genutzt werden können.

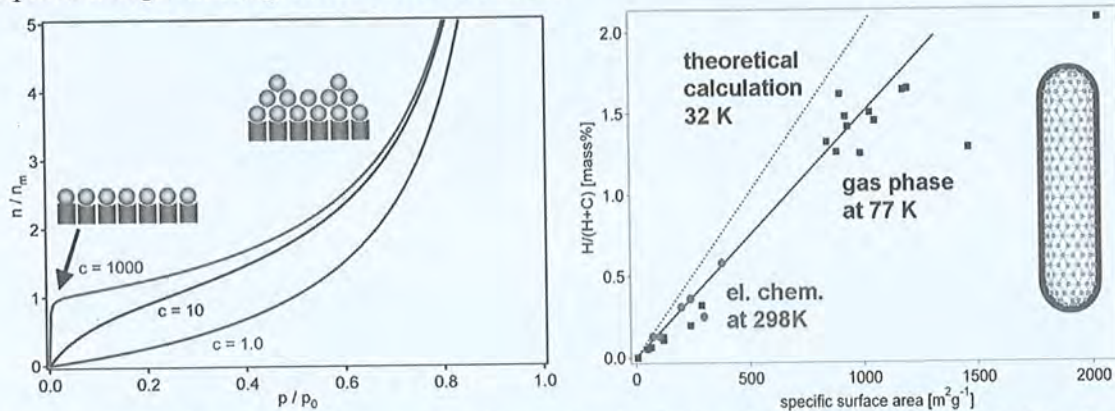


Fig. 2: BET-Adsorptionsisothermen für drei unterschiedliche Adsorptionspotentiale (links). Experimentell bestimmte Wasserstoffadsorption als Funktion der spezifischen Oberfläche des nanostrukturierten Materials.

Die Physisorption von Wasserstoff an Oberflächen von Nanostrukturen, wie z.B. Kohlenstoff-Nanoröhrchen führt gemäss theoretischen Rechnungen zu neuen Adsorptionszuständen, in denen der Wasserstoff eine grosse volumetrische Dichte aufweist. Wir haben nanostrukturierten Kohlenstoff mit unterschiedlichen Oberflächen hinsichtlich der Wasserstoffadsorption untersucht und dabei festgestellt, dass die Menge an physisorbiertem Wasserstoff proportional zur spezifischen Oberfläche des Kohlenstoffs ist und dass das Adsorptionspotential nicht signifikant anders als auf der polykristallinen Graphitoberfläche ist (Fig. 2). Daraus folgt, dass der Wasserstoff auf Nanostrukturen nur bei tiefen Temperaturen physisorbiert und die maximale Menge bei 2 mass% liegt<sup>2</sup>.

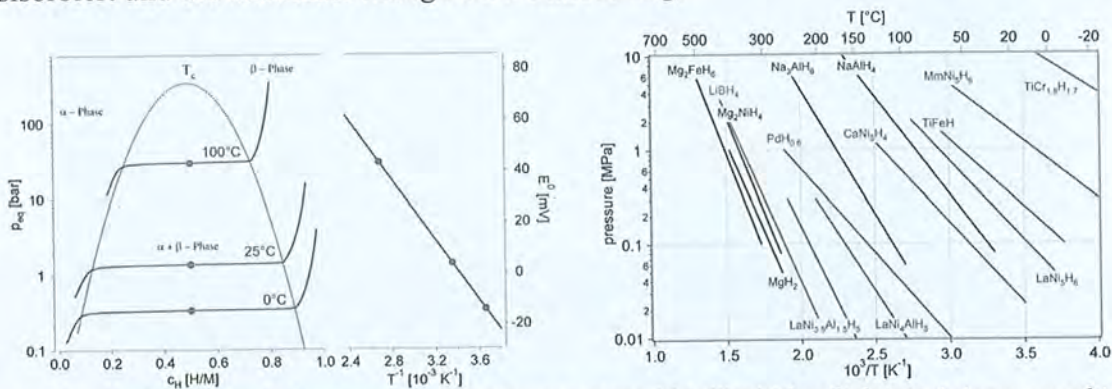


Fig. 3: Schematische Druck-Konzentrations-Isothermen eines Metallhydrides (links) und daraus resultierende Van't Hoff Geraden für ausgewählte Systeme.

Wasserstoff chemisorbiert auf vielen Metallen, intermetallischen Verbindungen und Legierungen. Das bedeutet, dass der Wasserstoff eine Bindung mit dem Metall macht und atomar auf Zwischengitterplätzen durch das Metall diffundieren kann. Dies führt zu festen Lösungen in denen der Wasserstoff sich wie ein metallbildendes Element verhält. Durch die Bindung zwischen Metall und Wasserstoff wird das Wirtsgitter gedehnt, was zu einer



schwachen attraktiven Wechselwirkung zwischen den Wasserstoffatomen führt. Die daraus resultierende Phasenumwandlung, bei erreichter Grenzkonzentration, zeigt sich als Druckplateau in einer Druck-Konzentrationsisothermen (Fig. 3). Die Hydridphase weist in vielen Systemen ein Wasserstoff-zu-Metall Verhältnis von bis zu  $H/M = 2$  auf. Zudem weist der Wasserstoff in Metallhydriden eine sehr hohe volumetrische Dichte auf, welche die Dichte von flüssigem Wasserstoff um einen Faktor 2 übertrifft. Metallhydride lassen sich vernünftig gut theoretisch beschreiben und das Druckplateau ist in der Anwendung eine sehr geschätzte Eigenschaft. Nachteilig wirkt sich aber die grosse Masse der Übergangsmetalle in den intermetallischen Verbindungen aus, welche Metallhydrid-Speicher sehr schwer macht<sup>3</sup>.

Hydride der leichten Elemente (p-Elemente) sind ionische-, covalente oder komplexe Verbindungen. Letztere findet man mit B, Al oder Ni als Zentralatom bzw. negativ geladenes Zentralion, tetraedrisch umgeben von 4 Wasserstoffatomen. Ein Alkali-Gegenion kompensiert die Ladung im Gitter. Komplexe Hydride sind in der Chemie seit mehr als 60 Jahren bekannt und werden auch in der organischen Synthese als Reduktionsmittel eingesetzt. Erstaunlicherweise sind die physikalischen Eigenschaften wie Struktur, Stabilität, elektrische, akustische und optische Eigenschaften weitgehend unbekannt. Zudem weisen viele komplexe Hydride eine grosse Bildungsenthalpie auf, was deren Einsatz als reversible Wasserstoffspeicher fragwürdig macht. 1996 zeigte B. Bocdanovic, dass die katalysierte Wasserstoffdesorption von  $Na[AlH_4]$  über zwei Stufen verläuft und beide Stufen Bindungsenthalpien in der für die Anwendung gewünschten Grösse aufweisen. Zudem konnte gezeigt werden, dass  $Na[AlH_4]$  nach der Wasserstoffdesorption in ein mehrphasiges System zerfällt, welches unter erhöhtem Druck und Temperatur den Wasserstoff wieder absorbiert (Fig. 4).

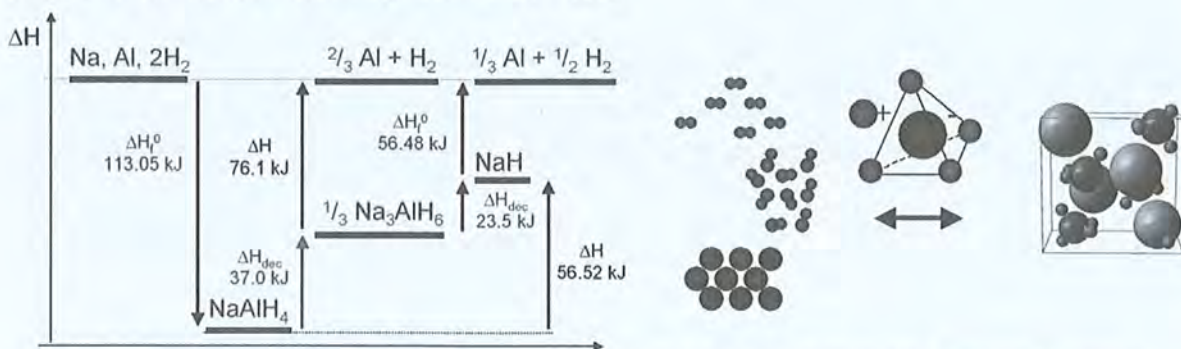
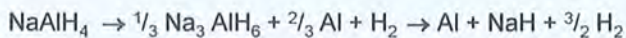


Fig. 4: Energieschema für  $Na[AlH_4]$  (links) und schematische Darstellung der Wasserstoffsorption.

Neben den Alanaten stellen die Boride wie z.B.  $LiBH_4$  besonders interessante Materialien dar, mit sehr grosser gravimetrischer Wasserstoffdichte von 18 mass%. Es ist uns gelungen sowohl die Struktur aufzuklären als auch die Reversibilität der Wasserstoffsorption zu demonstrieren. In der Diplomarbeit von Florian Buchter<sup>4</sup> wurde die Elektronendichteverteilung in  $LiBH_4$ , durch eine geschickte Kombination von Strukturdaten aus der Neutronendiffraktion (SINQ) und Messungen am Synchrotron (SLS), zum ersten Mal experimentell bestimmt. Dadurch lassen sich nun Resultate aus den DFT-Rechnungen direkt mit den experimentellen Daten vergleichen und die theoretischen Modelle optimieren. Wir arbeiten mit  $LiBH_4$  an dem Material das heute weltweit die grösste gravimetrische Wasserstoffdichte aufweist.

Andreas Züttel

#### Referenzen:

- <sup>1</sup> Svante Arrhenius, "On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the Ground", Philosophical Magazine 41 (1896), pp. 237-276
- <sup>2</sup> A. Züttel, P. Sudan, Ph. Mauron, T. Kyiobaiashi, Ch. Emmenegger, L. Schlapbach, "Hydrogen Storage in Carbon Nanostructures", Int. J. of Hydrogen Energy 27 (2002), pp. 203-212
- <sup>3</sup> L. Schlapbach, A. Züttel, "Hydrogen storage-materials for mobile applications", NATURE 414, 15 NOVEMBER 2001, pp. 23-28
- <sup>4</sup> <http://www.ifres.ch/> unter NEWS

## La vie au Département de Physique durant l'année académique 2004/2005

Après deux années de présidence au Département de Physique, j'ai cédé le premier août cette fonction honorifique à mon collègue Jean-Claude Dousse qui assumera cette tâche pour les deux années à venir, tandis que Xavier Bagnoud prend la relève de Jean-Claude dans la fonction de conseiller aux études. Dionis Baeriswyl s'est déclaré prêt à succéder à Jean-Claude en tant que président en 2007. Mes meilleurs vœux accompagnent le nouveau président pour cette tâche qui, bien que lourde par moments, offre aussi la possibilité de faire des rencontres intéressantes et de contribuer de manière active à l'avenir du département et de la faculté.

### Enseignement

Avec la période des examens d'automne se termine la première année académique sous le nouveau régime, dit de Bologne. L'introduction des voies d'étude de Bachelor et de Master s'est passée sans problèmes majeurs et à la fin de cette année académique, la physique va délivrer les premiers diplômes de Bachelor et de Master. Marie-Louise Raemy maîtrise de manière professionnelle la gestion du nombre fortement accru d'unités d'enseignement et d'examens. Avec la coopération de Xavier Bagnoud et le soutien de Sylvain Debrot, ce trio a assuré le bon déroulement administratif et logistique de cette année d'introduction. Un grand merci !

### Personalia

Voici un an que Éliane Esseiva a pris la relève d'Elisabeth François en tant que secrétaire de direction. Elle s'est intégrée très rapidement dans les travaux courants et a réussi en un temps record à voir clair dans la problématique complexe que constitue la gestion des engagements. Un merci personnel à Eliane pour sa collaboration efficace en tant que main droite de ma présidence. Merci aussi à Aude qui, avec son professionnalisme habituel, a su gérer les finances du département, veiller à ce que les comptes soient bien vidés à la fin de l'année, et qui a fourni une aide bien appréciée pour trouver des solutions à certains problèmes « hors cadre ». Carine Jungo est partie en congé maternité en 2005, congé couronné par la naissance de son fils Gregory. Mes félicitations et mes meilleurs vœux à la mère et au bébé. Anne Fessler a rejoint le département pour remplacer Valérie Perriard qui a accepté un poste à la Haute Ecole fribourgeoise de travail social à Givisiez. Anne s'est bien intégrée dans la vie active du département et a pris une partie des charges dues au congé de Carine. Last, but not least, je remercie Bernadette Kuhn dont le sourire, la bonne humeur et l'engagement enthousiaste pour les « petites » tâches contribuent au moral et au bon fonctionnement du département.



*Christian Bernhard, nouveau professeur ordinaire dirigeant le groupe FK (physique du solide)..*

Au niveau des professeurs la grande nouvelle à annoncer est le fait que la chaire de physique expérimentale, vacante depuis le départ de Louis Schlapbach voici déjà plusieurs années, est repourvue. Après que les trois candidats élus par la commission d'appel aient refusé le poste que leur offrait l'université, une nouvelle commission d'appel fut formée. Après une deuxième mise au concours, la commission s'est vue confrontée à un grand nombre de dossiers de haute qualité, parmi lesquels elle a fait un choix de trois candidats. C'est un plaisir d'annoncer que M. Christian Bernhard a accepté l'appel au poste de professeur ordinaire dans notre département et qu'il est entré en fonction le

premier août de cette année. De nationalité allemande, Christian a fait ses études à Constance en Allemagne. Il a été engagé depuis 1996 au Max-Planck-Institut für Festkörperforschung à Stuttgart et il a passé son habilitation à l'université de cette même ville. A peine installé à Fribourg il s'est montré prêt à assumer la lourde tâche de donner le cours de Physique I. Mes meilleurs vœux à Christian pour son avenir de chercheur et d'enseignant à Fribourg. Que son groupe grandisse rapidement pour nous aider à faire rayonner le flambeau de notre département au niveau de la physique internationale !

Mentionnons aussi la promotion d'Anna Stradner, du groupe MM, à la fonction de maître-assistant(e). Le groupe MM a été renforcé par le professeur boursier SNF, Raffaele Mezzenga, qui est entré en fonction au début de 2005. Le groupe MM a été très productif cette année. Nous avons pu lire plusieurs communiqués de presse reliés à des publications du groupe dans la revue de haute renommée NATURE. En plus Peter Schurtenberger a su forger une alliance stratégique avec Nestlé, qui va installer prochainement un groupe de recherche, dirigé par Anna Stradner, au sein de notre département avec le soutien financier du rectorat.

Les collaborateurs et collaboratrices qui ont fêté ou qui vont fêter un anniversaire « rond » cette année sont Bernadette Kuhn (50), Peter Schurtenberger (50), Xavier Bagnoud (60) et Lukas Schaller (70). Les nouveaux mariés de l'année sont David Eichenberger, Lionel Moret de la théorie ainsi que Monika et Jakub Szlachetko de FRAP. La productivité des membres du département va bien au-delà des travaux scientifiques et administratifs et nous sommes heureux d'annoncer les naissances d'un garçon de Suresh Bhat, d'une fille de Pavel Zakharov de MM ainsi que du fils de Carine Jungo mentionné plus haut.

Le destin a encore frappé lourdement à la porte de Jean-Claude Dousse en lui enlevant son fils Jérôme en pleine jeunesse. Nous réitérons ici nos plus profonds sentiments de sympathie à Jean-Claude. Nous déplorons aussi le décès de Madame Schellenberg, veuve de Lothar Schellenberg, ancien professeur de physique.

### **Diplômes et distinctions**

Les diplômé(e)s de l'année académique 2004/2005 sont :

**Bachelor of Science in Physics:** Julien Sudan, Thomas Farage, Martin Joly, Christophe Giller, Alexander Hunziker, Thomas Flury, Florian Buchter, Martin Rebetez, et Mathias Reufer

**Diplôme de physique:** Claude Monney et Peter Barmettler

**Master of Science in Physics:** Florian Buchter, Martin Rebetez et Mathias Reufer

**Doctorats:** Michael Biemann, Stephan Gröger et Livia Ludhova

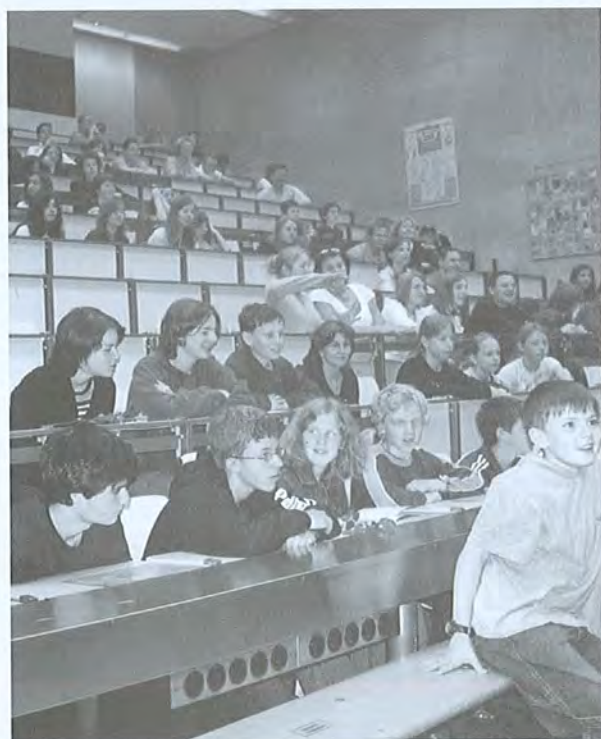
Nos félicitations à tous les diplômés. Que certains noms apparaissent aussi bien dans la rubrique Bachelor que dans la rubrique Master s'explique par le fait que dans la phase de transition le département a reconnu aux étudiants qui ont fait la transition de l'ancien système vers la voie Bologne après leur troisième année d'études l'équivalence de leurs premières trois années d'étude avec un diplôme de Bachelor. Deux doctorants de la physique se sont vu attribuer les deux prix que la faculté offre pour des thèses de doctorat, à savoir le prix pour la meilleure thèse en sciences théoriques accordé à Paolo Laureti (directeur de thèse Zhang) et le prix pour la meilleure thèse en sciences expérimentales accordé à Georg Bison (Weis).



*Leçon de physique : la glace au chocolat et à l'azote liquide (recette G. Bison, photo A. Weis).*

### **Les Portes Ouvertes de la Faculté**

Les Portes Ouvertes de la Faculté des Sciences qui se sont tenues fin mai constituaient un évènement majeur de 2005. Un grand nombre de collaborateurs de la faculté ont investi d'innombrables heures dans la préparation de cet évènement. Le vendredi 20.5. fût réservé aux classes d'écoles tandis que le samedi était la journée « grand public ». L'évènement a été jugé un grand succès de la part de tous les actifs et visiteurs bien qu'on eût aimé voir plus de visiteurs. L'enthousiasme était tel que la faculté a décidé d'organiser une telle manifestation à



*Les futurs étudiants de la faculté passionnés par les aspects ludiques de la physique (photo A. Weis).*

des intervalles plus réguliers. Le programme offert par la physique était très varié. Les démonstrations de « physique ludique » préparées et présentées dans le grand auditoire par des jeunes collaborateurs (Irmgard Bischofberger, Georg Bison et Thomas Gibaud) constituaient une des attractions principales (voir photos). Le stand « Je suis chargé à 100'000 Volts » dans le hall d'entrée auprès duquel les visiteurs pouvaient se faire dresser les cheveux sur la tête par un générateur van de Graaf pour emporter après une photo souvenir (voir photo de couverture) a connu de longues files d'attente. Dans les escaliers du bâtiment étaient (et sont toujours) dressés des posters décrivant les activités des différents groupes de recherche. En plus les visiteurs avaient l'occasion de visiter des démonstrations interactives (« hands on ») de différents domaines de la physique, de la matière molle au laser en passant par la radioactivité. Enfin, pour commémorer les 100 ans des grands

travaux d'Einstein, le contenu de ses articles était expliqué de manière simple sur une série de posters. J'ai moi-même réalisé un module qui démontre de manière spectaculaire la dualité onde-corpuscule de la lumière. Je profite pour remercier une fois de plus mes collègues de la physique et de la chimie pour leur soutien financier qui a permis de réaliser cette expérience de démonstration qui a aussi suscité un grand intérêt lors de l'exposition « Einstein-Heute » à Berne. Les Portes Ouvertes étaient encadrés par des stands de ravitaillement et d'information ainsi que d'un grand nombre d'activités et de présentations intra et extra muros. Les projections de Gerry Hofstetter constituèrent un événement mémorable. La spécialité de cet artiste zurichois sont des projections d'images sur des bâtiments et des paysages. Le vendredi soir il a illuminé l'hôtel de ville et la basse ville par des projections d'images de sa collection ainsi que des images fournies par les scientifiques de la faculté. Un exemple est reproduit ci-contre. La faculté a créé un calendrier 2006 avec des photos de cet événement qui peut être acquis auprès du décanat ou de l'Office du Tourisme.



*Projection de Gerry Hofstetter sur la falaise en basse ville (photo A. Weis).*

### Évènements annuels

En décembre 2004 s'est tenue la quatrième édition du Physics Department Day, organisée par Paul Knowles, suivi du repas de Noël, tenu cette fois au Chemin de Fer. La fête d'été, organisée en 2005 par les collaborateurs de FRAP, s'est déroulée dans le jardin botanique. Le président ayant été absent à cause d'un congrès se réfère à des rapports de tiers pour témoigner du succès de la fête.

### Note finale

Pérolles II vient d'ouvrir ses portes à la rentrée de cet automne. Je déplore, avec beaucoup de mes collègues, le manque de vision urbaniste des architectes du site qui ne mérite guère le nom de campus ; du reste, il est coupé en deux par la route de Marly. Nous voici exposés à une surface asphaltée géante qui fait le plaisir des skaters et qui aurait si bien pu fournir, avec un peu de verdure et quelques bancs, un lieu de rencontre et d'échange entre scientifiques, ingénieurs et le monde socio-économique.

Après mes deux années de présidence la faculté m'a accordé un congé scientifique qui va me mener entre autre à l'Imperial College de Londres et à la Physikalisch-technische Bundesanstalt (PTB) de Braunschweig. Je vais profiter de ces mois sans enseignement et surtout sans charges administratives pour me retransformer en scientifique. J'espère rentrer en forme au printemps pour affronter les grands défis auxquels la faculté se voit, une fois de plus, confrontée à la suite de la planification du rectorat pour la période 2008-2011.

Antoine Weis

Président du département du 1.8.2003 au 31.7.2005

Fribourg, en Octobre 2005

## "QUE SONT-ILS DEVENUS ?"

## "WAS IST AUS IHNEN GEWORDEN ?"

**Louis Ribordy**

**Villars-sur-Glâne FR**

Je suis né juste avant la guerre (la deuxième !) dans la belle ville de Fribourg que vous connaissez tous. Après des études primaires dans la même ville, j'ai fait le collège à St-Maurice (Valais), à Porrentruy (Jura) et terminé en 1958 ma maturité de type B (latin et langues modernes) au Lycée-Collège de Sion; pour la petite histoire, le même bâtiment abritait alors aussi l'Ecole normale cantonale valaisanne, où un jeune et studieux futur instituteur pensait comme tout le monde que « ces lycéens sont des sauvages qui font un tintamarre pas possible »; j'allais faire plus tard la connaissance de ce brillant étudiant à l'Institut de Physique.



J'ai fait des études d'ingénieur en électrotechnique à l'Ecole polytechnique de Zürich, avec une spécialisation en « courant faible »; c'est comme ça qu'on appelait à l'époque l'électronique, où les transistors venaient d'apparaître et qui ne connaissait pas encore les circuits intégrés ni à plus forte raison la microinformatique. Les ordinateurs ultra modernes du Poly devaient être alimentés avec des cartes perforées, comprenaient Algol et Fortran et ne répondaient qu'en majuscules imprimées. J'ai fait mon travail de diplôme en 1965 à l'Institut de physique nucléaire du Poly, pour lequel j'ai construit un préamplificateur pour détecteurs de spectrométrie à haute résolution.

L'encre de mon diplôme à peine sèche, j'ai commencé à travailler à l'Institut de physique de l'Uni de Fribourg, attiré par mon frère Claude qui y faisait son doctorat et par une invitation pressante du directeur d'alors, le professeur O. Huber (qu'on ne présente plus)! Là j'ai développé, adapté et entretenu de nombreux appareils de mesures dans le domaine de la physique nucléaire. Il m'a été donné de participer à la réalisation des appareillages pour plusieurs thèses de doctorat, entre autre celle de l'étudiant valaisan dont il a été question plus haut, mon ami et ancien vice-directeur de l'Office fédéral de la santé publique Bernard Michaud! J'ai aussi été conseiller du directeur pour les problèmes d'installations techniques pendant la construction du nouveau bâtiment, l'actuel Institut au Chemin du Musée 3; attention, je ne me suis occupé que de celles qui marchent bien et donnent satisfaction! Au cours de ces années j'ai pu assister à de nombreux colloques très instructifs, en particulier à celui où le prof. Huber a prononcé sa fameuse parole historique « Wir Physiker, wir denken nicht, wir messen! ».

En 1971 j'ai changé d'employeur sans changer de bureau : je suis devenu collaborateur scientifique, puis plus tard adjoint scientifique de la Section de surveillance de la radioactivité, service de l'Office fédéral de la santé publique logé dans les locaux de l'Institut. Là j'ai été longtemps responsable de l'instrumentation du laboratoire et des systèmes de mesure de la radioactivité de l'environnement. Entre autres projets, j'ai dirigé et mené à bien, avec l'aide de physiciens et d'ingénieurs, celui du réseau NADAM, système qui mesure en continu le rayonnement ionisant dans une soixantaine de stations disséminées sur tout le territoire suisse; en cas de dépassement du seuil d'alarme il alerte la Centrale nationale d'alarme. Un autre travail important fut la réalisation du Réseau automatique de détection dans l'air des immissions radioactives (RADAIR), inauguré en 2001, qui mesure en continu à 10 stations en Suisse (et 1 au Liechtenstein) la radioactivité dans l'air, en sépare la composante artificielle, rassemble les données dans une centrale à Fribourg, et transmet sélectivement des messages d'alarme en cas de dépassement de divers seuils.

Accessoirement, le Conseil d'Etat m'avait nommé en 1969 chargé de cours pour l'électronique à l'Institut de Physique; j'ai ainsi eu le privilège et la joie d'initier de nombreuses volées d'étudiants en science aux « mystères » de ces techniques omniprésentes dans l'instrumentation moderne.

Depuis le printemps 2004 j'ai quitté le service de la Confédération et me voue désormais entre autres multiples activités à la gestion de l'informatique familiale, à la surveillance de mes petits-enfants, à la pratique de l'art choral et à la planification et entretien de notre jardin au bord du lac de la Gruyère, sans oublier la direction d'un projet de site Internet pour notre cœur, l'Ensemble vocal de Villars-sur-Glâne.

Louis Ribordy

\*\*\*

## Beat Jeckelmann Muntelier FR

Schon früh in der Mittelschule war mir klar, dass ich eine naturwissenschaftliche Richtung einschlagen würde. Den Ausschlag für die Physik gab ein Besuch am CERN, der mich unheimlich faszinierte. Da kam es mir auch gelegen, dass sich das Physikinstitut der Universität Freiburg am damaligen SIN an Projekten der Kern- und Teilchenphysik beteiligte. In meiner Diplomarbeit in der Gruppe von Prof. Kern ging es um die Bestimmung des Quadrupolmoments in Atomkernen mit der Technik der myonischen Atome. Das Experiment wurde am Myonen-Kanal des SIN in Zusammenarbeit mit der ETH-Forschungsgruppe von Prof. Leisi mit Hilfe des legendären Kristallspektrometers durchgeführt. Die anschliessende Dissertation hatte eine verbesserte Messung der Pionenmasse und damit indirekt auch eine Festlegung der oberen Grenze für die Masse des Myon-Neutrinos zum Ziel. Auch hier mussten die Röntgenlinien mit noch nie erreichter Auflösung gemessen werden. Das Experiment gelang wiederum mit einem Kristallspektrometer, diesmal mit einem Instrument, das in Zusammenarbeit mit einer russischen Forschergruppe am SIN realisiert wurde.



Die Faszination der Teilchenphysik hielt auch nach der Dissertation noch eine Weile an. Mit der Unterstützung eines Nationalfonds-Stipendiums hatte ich die Gelegenheit am MIT in Boston an einem grossen Untergrunddetektor mitzuarbeiten. Das Ziel des Experimentes war es, mit Hilfe von astrophysikalischen Punktquellen die Kenntnisse auf dem Gebiet der Teilchenphysik in einem Energiebereich zu verbessern, der den damaligen -und wohl auch heutigen Teilchenbeschleunigern- nicht zugänglich war.

Am Schluss meines knapp zweijährigen Aufenthalts, der für mich nicht nur in wissenschaftlicher Sicht sehr bereichernd war, galt es die Weichen für die weitere berufliche Zukunft zu stellen. Einerseits hätte sich mir die Möglichkeit für die weitere Arbeit in der Teilchenphysik geboten. Andererseits eröffnete sich unerwartet der Weg in die Metrologie mit einer offenen Stelle am damaligen Eidgenössischen Amt für Messwesen in Wabern bei Bern. Da ich schon während der Dissertation die Freude am genauen Messen gefunden hatte, fiel die Entscheidung in diese Richtung. Die Tätigkeit am Bundesamt für Metrologie und Akkreditierung (METAS, so der heutige Name meines Arbeitgebers), die ursprünglich als ein Einstieg ins Berufsleben

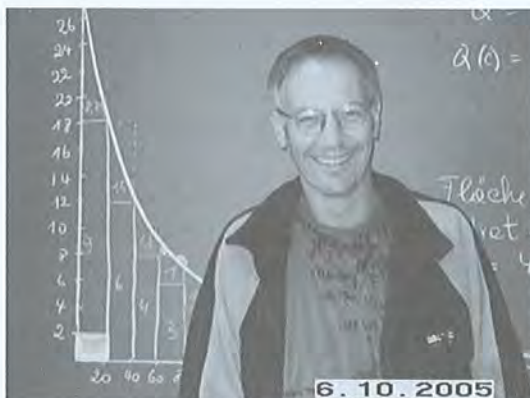
gedacht war, geht nun schon bald ins 18. Jahr. Zu Beginn stand die Untersuchung des Quanten-Hall-Effekts und seiner Anwendung als Normal des elektrischen Widerstands im Mittelpunkt. In umfangreichen Untersuchungen gelang es uns, aufzuzeigen, dass der quantisierte Hall-Widerstand innerhalb der heute erreichbaren experimentellen Auflösung von einigen Teilen in  $10^{10}$  einen universellen Wert einnimmt, der nicht von den mikroskopischen und makroskopischen Einzelheiten der verwendeten Proben abhängt. Bei einem anderen wichtigen Projekt, das ich zusammen mit einem guten Kollegen aus der Fribourg-Zeit, Walter Beer, in Angriff nehmen konnte, geht es um die Neudefinition der Masseinheit Kilogramm im Internationalen Einheitensystem (SI). Das SI ist heute ein modernes weltweit eingeführtes System, das sowohl in der Wissenschaft als auch im täglichen Leben seine Anwendung findet. Mit Ausnahme des kg sind alle Einheitsdefinitionen, die auf materialisierte Artefakte abstützten, aus dem System verschwunden. Die Einheiten werden heute möglichst mit Hilfe von Naturkonstanten festgelegt, die man als unveränderlich ansieht. In unserem Projekt versuchen wir, die Masseinheit in einem Experiment, in dem elektrische und mechanische Leistung verglichen wird, an die Planck'sche Konstante anzubinden.

Im Verlauf der Jahre sind nebst der Arbeit im Labor weitere Aufgaben dazugekommen. Seit acht Jahren leite ich die Sektion Elektrizität, Akustik und Zeit am METAS. Faszinierend an dieser Tätigkeit ist die Vielfalt der Aufgaben, die von Forschungsprojekten in der Quantenmetrologie über die Einheitenrealisierung bis zur Weitergabe an die interessierten Kreise in der Schweiz reicht. Mit unseren Dienstleistungen tragen wir dazu bei, dass Messungen in der Schweiz so genau wie nötig durchgeführt werden können. Im Rahmen der gesetzlichen Aufgaben geht es darum, die Eigenschaften und den Einsatz von Messinstrumenten dort gesetzlich zu regeln und zu beaufsichtigen, wo dies für den Verbraucherschutz, die Gesundheit und Sicherheit der Bevölkerung oder den Umweltschutz erforderlich ist.

Beat Jeckelmann

\*\*\*

## Marc Mallinger Luxembourg



D'abord un petit choc , pas tout à fait élastique, je l'avoue: " Suis-je déjà si vieux que l'on me demande d'écrire cet article ? "

Après quelques accélérations et décélérations neuronales la réponse s'impose: "Oui, cela fait déjà 25 ans que j'ai rêvé des muons à Fribourg ! "

Puis de drôles de théorèmes de conservation et non-conservation surgissent dans ma tête. Sous certains aspects je suis resté le même qu'en 1981, l'année où j'ai quitté Fribourg. Je suis toujours passionné de physique, je la vois partout. J'aime les chiffres et

les mots, j'aime aller au cinéma et au théâtre et surtout j'aime toujours rigoler, blaguer et bien manger comme avec les copains d'antan ...



Mais bien des choses ont aussi changé: j'ai négligé un peu le piano pour découvrir le saxophone et le djembé. Mes élans en musique classique ont fait place aux vertiges d'une big band. La physique de l'uni, ce jeu avec des formules et des idées, a fait place à celle du lycée : l'enseignement et la didactique ont remplacé la recherche. Enfin, le célibataire est devenu père de deux enfants désormais adultes.

Après avoir quitté la Suisse et passé une bonne année en Chine, j'ai commencé mon stage pédagogique pour devenir professeur de physique au Luxembourg .... et je joue ce rôle jusqu'à aujourd'hui.

Au début des années 80, je suis souvent retourné à Fribourg pour travailler avec le Prof. Schellenberg sur un 2<sup>e</sup> mémoire obligatoire pour devenir professeur. Ayant réussi tous mes examens et obtenu une place dans un lycée, j'ai encore continué pendant plusieurs années une collaboration de recherche avec le Prof. Schneuwly. A l'époque je rêvais de pouvoir former une sorte d'annexe de Fribourg au Luxembourg, puisque bon nombre de mes copains d'études étaient comme moi retournés au Luxembourg pour y enseigner.

Mais le futur allait prendre un autre chemin. Mon intérêt s'est tourné vers les processus de l'apprentissage et je me suis engagé dans maints projets de recherches didactiques. C'est ainsi qu'un jour on m'a demandé de travailler à mi-temps au Ministère de l'Education Nationale. Pendant 10 ans, j'ai eu la chance de pouvoir regarder derrière les rideaux de l'Education, et comme responsable de la section technique générale mettre en place des réformes fondamentales du système scolaire. Mais j'ai, bien sûr, aussi subi des échecs. On ne change pas si rapidement des vieilles traditions, on sous-estime facilement l'inertie de la matière (grise).

C'est pourquoi il y a quelques années, j'ai quitté ce travail et j'ai opté pour la théorie du chaos: de petits changements au début peuvent induire des bouleversements énormes à la fin. Je suis devenu, à l'Université de Luxembourg, co-responsable de la formation des jeunes professeurs. Depuis plusieurs années on m'a également confié le poste de Président de la Commission Nationale de Physique, institution responsable de l'élaboration et de la mise en oeuvre des programmes de physique dans l'enseignement technique.

La physique qui même dans les phénomènes "banals" garde toujours cet air de mystère pour moi, est devenu la clé vers quelque chose de plus grand. Pendant tout ce temps, je n'ai jamais cessé de l'enseigner. Non, je ne suis plus un enseignant! J'essaie de déclencher chez mes élèves ce désir de savoir, cette soif de comprendre qui les mène à découvrir par eux-mêmes le monde. Ils savent déjà presque tout, à nous de le leur faire savoir.

Au fond, je suis un peu comme le photon, toujours le même mais en mouvement permanent.



Marc Mallinger

\*\*\*

## Christophe Murith

### Fribourg

#### Du labo de Fribourg ... au voisinage de Cherbourg !

En 2000, Nathalie Geismar du Collectif "les Mères en colère" rencontre le scientifique suisse Christophe Murith. Chaque année, celui-ci organise une campagne de mesure de la radioactivité dans l'environnement en collaboration avec plusieurs scientifiques européens et des pays de l'Est : « *Je lui ai aussitôt proposé de venir chez nous* », explique Nathalie Geismar, encore étonnée d'avoir obtenu une réponse positive ; « *Nous ne ferons jamais assez d'analyses et de prélèvements pour être correctement informés sur notre environnement. Le Cotentin concentre de nombreux sites nucléaires - usine Cogema, centrale de Flamanville, centre de stockage des déchets radioactifs de l'Andra et arsenal de Cherbourg, où sont construits et démantelés les sous-marins nucléaires français -, sa population est en droit de savoir ce qu'elle risque réellement.* »



*Le Monde daté du vendredi  
13 octobre 2000*

Après le temps des run au PSI avec la bande des 3 S (Schellenberg, Schaller et Schneuwly), je fus le dernier doctorant du Prof. O. Huber qui m'engagea au laboratoire de surveillance de la radioactivité de la KUeR. C'est là que je mis au point le procédé de spectrométrie gamma "in situ" permettant une mesure rapide et fiable de l'activité des radionucléides d'origine naturelle et artificielle ainsi que de leur contribution individuelle à l'exposition du public. La Société Française de Radioprotection (SFRP) me décerna pour ces travaux son Prix 1985. Un an plus tard survint la catastrophe de Tchernobyl, occasion de voir ce que la méthode avait dans les tripes. Très rapidement les émules de cette technique ont créé le groupe MORAL (Mobile RAdiological Laboratories) formé d'équipes internationales d'intervention prêtes à traquer le Becquerel et le Sievert. J'ai ainsi pu arpenter parmi bien des destinations les sites miniers de l'ex RDA, la zone d'exclusion de Tchernobyl et le Nord-Cotentin. Puis vint le temps des sollicitations de l'AIEA qui me fit poser le pied en Israël et en Iran pour instruire les finesses de la méthode et former les experts responsables de l'intervention.

En 2001 j'étais enfin apte à franchir le fameux "Roestigraben" où je retrouvais un collègue du groupe ME Georges Piller, expert en matière de radon, pour prendre en charge les aspects administratifs et scientifiques de la Commission fédérale de protection contre les rayonnements ionisants et de surveillance de la radioactivité de l'environnement ([www.ksr-cpr.ch](http://www.ksr-cpr.ch)), non sans garder un pied dans la mesure du côté du CERN. Ce nouveau défi me permet actuellement d'élargir mon champ de vision de la radioprotection au domaine médical (tomodensitométrie, radiothérapie et médecine nucléaire) et industriel (gammagraphie, héritages de l'industrie horlogère) ainsi qu'à l'expertise en dosimétrie individuelle et ambiante. Ces nouvelles tâches me font participer à des groupes de travail d'expertise scientifique pluraliste concernant des thèmes brûlants de radioprotection sur le plan national et international. Dans ce cadre, je mesure la pertinence de la phrase de Paul Valéry quant à la difficulté d'informer correctement le public: "Ce qui est simple est toujours faux, ce qui ne l'est pas est inutilisable".

Outre ces activités, j'assure la présidence du Cercle francophone de radioprotection, fais partie du comité de rédaction du JER (Journal of environmental radioactivity) et m'occupe de la trésorerie de l'association que vous faites vivre grâce à vos dons bénévoles depuis plus de 15 ans. Soyez toutes et tous chaleureusement remerciés de nous permettre de joindre les bouts...

Christophe Murith