

Cover Page

Das Geschenk der Wahrheit

Das Geschenk der Wahrheit

In tiefer Dankbarkeit
Deine Studenten

München, 2011

für Detlef

*und was hat der Mensch
dem Menschen Größeres zu geben
als Wahrheit?*

F. Schiller

Foreword

*Dedicated to Detlef Dürr
On his sixtieth year
Wishing him good cheer
From friends who hold him dear.*

Ann and Joel Lebowitz

Inhalt

Foreword

- 1 *Gernot Bauer*
What is your theory about?
- 3 *Christian Beck*
Kontrafaktisches Gemüse
- 7 *Niklas Boers*
Der Wald
- 11 *Martin Daumer*
Towards a Unified Guiding Field Theory
for Mind and Matter
- 23 *Dirk-André Deckert*
On what teaching is about

- 31 *Robert Grummt*
Was zählt sind Argumente
- 33 *Günter Hinrichs*
- 35 *Florian Hoffmann*
Prägend, wertvoll und *zufällig*
- 39 *Dustin Lazarovici*
Über das untypische Verhalten des Detlef D.
im Quantengleichgewicht
- 45 *Karin Münch-Berndl*
Vor zweiundzwanzig Jahren in München
- 47 *Sören Petrat*
To Have One's Hands among the Unspeak-
able Foundations
- 51 *Peter Pickl*
Detlef als Betreuer
- 55 *Sarah Römer*
Did you get lost?
- 57 *Tim Storck*
A teacher's teachings

61 *Stefan Teufel*

63 *Roderich Tumulka*

Die Zukunft der Bohmschen Mechanik

67 *Georg Volkert*

Bohmian identical particles and not more than
that

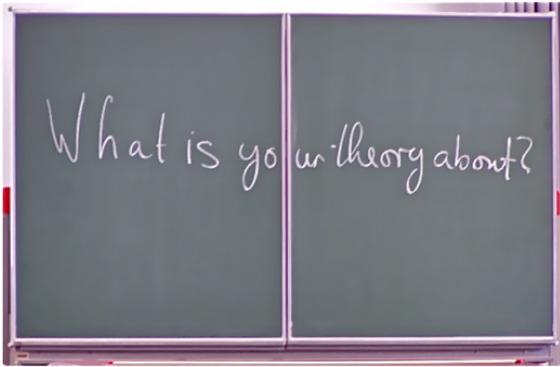
77 *Nicola Vona*

How I got Bohmian

Afterword

A Poem: For Detlef Dürr

Gernot Bauer



Lieber Detlef,

dieses Foto zeigt Deinen Original-Tafelanschrieb zur Eröffnung der Tagung „Quantum Theory without Observers“ 2004 in Bielefeld.

Die rhetorische Frage – einfach über Tafelgrenzen hinweg geschrieben – bringt eine jener wissenschaftlichen Überzeugungen zum Ausdruck, die uns als Deine Doktoranden geprägt haben, weit über Mensa, München und Mathematik hinaus. Dafür, einen fachlich und menschlich derart prägenden Doktorvater – im besten Sinne dieses Begriffes – zu haben, bin ich sehr dankbar.

Dein Gernot

Kontrafaktisches Gemüse

Lieber Detlef, ich habe gerade mal wieder unseren ersten Briefwechsel gelesen. Bei meiner ersten Analysis-Vorlesung hatte eine Bemerkung von Dir, bei der es um das Wesen und Sein der Mathematik ging, meine Gedanken angestoßen (wie bei vielen Bemerkungen später. . .). Du hast mich damals mit meinen Bedenken und Gedanken in Deiner Antwort sehr ernst genommen und mir mit Augenhöhe das Gefühl gegeben am richtigen Platz gelandet zu sein. Dieses Gefühl war in der ersten schweren Zeit meines Studiums für mich eine entscheidende Quelle für Kraft und Motivation nicht aufzugeben, bis ich nach einigen Semestern endlich begann etwas Boden unter den Füßen zu spüren und mir das Verständnis erworben hatte, das nötig war, um mich nicht von vermeintlich schlauen Autoritäten verunsichern zu lassen. Ohne die Ernsthaftigkeit, mit der Du mich damals in die wissenschaftliche Gemeinschaft aufgenommen hast, und den Glauben an mich selbst, den mir das gegeben hat, hätte ich vielleicht den schweren Weg des Ringens um Erkenntnis und Verstehen nicht durchgestanden; zumindest nicht in einem Umfeld, in dem Ergebnis und Erfolg das Maß der Dinge sind und dem Weg dorthin – dem Weg der

Erkenntnis – kein großer Wert zugemessen wird.

Der zweite prägende Einfluss, den die Begegnung mit Dir auf mich hatte, ist freilich das Verständnis der Physik, das ich durch Dich gefunden habe. Neben vielen technischen Fertigkeiten habe ich von Dir gelernt, wie eine physikalische Theorie verstanden werden kann, als Beziehung zwischen einem (schönen, einfachen. . .) mathematischen Gesetz und den Objekten, die dem Gesetz folgen, den Dingen der Welt. Ich habe gelernt wie sich eine vergrößerte Beschreibung der Objekte durch „Wahrscheinlichkeiten“ begründen und wunderbar verstehen lässt und ich habe nun das Gefühl, die Quantenmechanik zu verstehen – oder zumindest kenne ich einen möglichen Weg die Theorie zu verstehen. Sie verunsichert mich nicht.

Ich frage mich, wie das wohl wäre, wenn ich Dich nicht kennengelernt hätte. Es ist wohl relativ unwahrscheinlich, dass ich, angenommen ich hätte meinen Weg durch die erste schwere Zeit des Studiums gefunden, durch einen anderen Lehrer einen ontologischen Zugang zur Physik – besonders zur Quantenmechanik – gelernt hätte. Ob ich mich wohl mit weniger zufrieden gegeben hätte? Mir fällt die Vorstellung schwer.

Solche Konjunktive: „was wäre wohl geschehen, wenn damals. . .“ sind merkwürdige Gedankenspiele. Ein von den Debatten um die Quantenmechanik verdorbener Geist, wie ich einer bin, ist versucht zu sagen, dass solches Fragen wenig Sinn macht, weil die kontrafaktische Bestimmtheit versagt. Und wahrscheinlich ist diese Sichtweise in einem solchen Fall zumindest diskutabel, im Gegensatz zur Physik. Macht es Sinn, zu fragen, wie das Leben wohl verlaufen wäre, würden prägende Ereignisse aus der Vergangenheit entfernt werden? Oder ist es vielleicht denkbar, dass – in welcher Weise auch immer – die Ereignisse, die uns prägen, auch mit uns zu tun haben? Ich weiß es nicht. Aber ich habe den Verdacht, dass das Geflecht

des Lebens, das Geflecht von Bewegungen und Begegnungen, wie alles andere – nein, noch mehr als alles andere – viel größer, komplexer und überraschender ist, als wir das zunächst annehmen.

Es fällt mir schwer mir vorzustellen, dass sich unsere Trajektorien willkürlich und zufällig gekreuzt haben (so wie ich mir das auch bei anderen Menschen, die auf die eine oder andere Art einen besonderen Platz in meinem Leben haben, kaum vorstellen kann), zumindest nicht mit der naiven Bedeutung, die ich den Worten „willkürlich“ und „zufällig“ geben würde. Im Kreuzen menschlicher Trajektorien scheint mir vielmehr ein Duft von Notwendigkeit zu liegen.

Ich will diese Gedanken aber jetzt gar nicht zu weit treiben, denn ich sehe es selber nicht gerne, wenn Argumentationsmuster der reinen Naturwissenschaften dazu missbraucht werden, vermeintliche Erkenntnisse über das menschliche Leben und Zusammenleben abzuleiten und außerdem will ich dem kleinen Esoteriker in mir nicht erlauben, meinen wissenschaftlichen Ruf (bei Dir) zu ruinieren. . .

Aber ich habe dieses kleine kontrafaktische Gedankengemüse um einen zentralen wichtigen Gedanken herum gesponnen: Es ging mir darum, ein wenig spielerisch zu reflektieren, welchen prägenden und bereichernden Einfluss die Begegnung mit Dir auf meinen Weg des Verstehen-Lernens hatte; so, dass ich ihn mir heute nicht mehr wegdenken kann. Und ich bin mir sicher, dass das auch für einige andere zutrifft. Und ich denke, dass Du allen Grund hast, den Wert und Einfluss dessen, was Du einzelnen Menschen immer wieder mitgibst (oder eben nicht mitgeben würdest, würdest Du ihnen nicht über den Weg laufen), nicht zu gering zu schätzen! Ich bin fest überzeugt, dass dieser Baum noch viele Früchte tragen wird. Ich wünsche Dir, dass Du noch weitere sechzig Jahre andere

Trajektorien kreuzen kannst (sei es nun zufällig, gesetzmäßig oder was auch immer...) um ihnen Dein Verständnis – das Geschenk, das Du zu geben hast – mitzugeben.

Der Wald

Ziellos wanderte er umher. Bisweilen hielt er inne, um den Geräuschen des Waldes zu lauschen, der ihm so lang ein zu Hause gewesen war. Vieles hier war ihm unbekannt geblieben, und auch wenn er sich trotzdem gut zurecht gefunden – man könnte sagen wohlgefühlt – hatte, musste er fort, den Wald verlassen. Er blickte zu den Wipfeln der Bäume und sog alles noch einmal in sich auf. Bevor er gehen konnte, musste er sich von demjenigen verabschieden, der ihn soviel – wenigstens alles wesentliche – über diesen Wald gelehrt hatte. Der anscheinend schon immer in diesem Wald gelebt hatte, eins war mit ihm.

So machte er sich auf den Weg zu dem kleinen Berg, von dem aus man den Wald überblicken konnte. Viel Zeit hatte er dort oben verbracht, um, mal allein, mal mit anderen, den Geschichten über den Wald zu lauschen. Mit großer Geduld und Hingabe teilte der Meister seine Einsichten mit denen, die voller Irrtum, aber auch voller Neugierde zu ihm kamen. Auch ihm war der Wald geheimnisvoll, aber er hatte erkannt, dass das Teil seines Wesens war, und so nahm er sich derer an, die zu ihm hinauf kamen, um Antworten über den Wald zu

finden, um Sinn aus ihm zu machen.

Als er die Hütte des Meisters erreichte, wurde er bereits erwartet. Die stahlblauen Augen, voller Schalk blickten sie ihn an. Er nahm den Krug, den der Meister ihm reichte und schöpfte von dem sprudelnden Wasser, das der etwas abseits gelegenen Quelle entsprang. Dann nahm er an seiner Seite Platz und blickte eine Zeit hinab auf den Wald, dessen abendliche Geräusche sanft zu ihnen empor drangen.

„Wie kommt’s, dass wir stets dieselbe Abfolge von Frühling, Sommer, Herbst und Winter erleben?“

Der Meister verstand, dass nicht die Stellung der Erdachse zur Sonne gemeint war, und antwortete:

„Das ist das Gesetz der Natur. Durch dieses Gesetz ist alles bestimmt.“

„Wirklich alles? Auch wir selbst?“

„Nun, das weiß ich nicht, zumindest aber alles um uns herum.“

„Und Du glaubst, dass es dieses Gesetz gibt?“

„Aber ja. Zwar kenne ich es noch nicht, aber ich kann nicht anders denken, als dass es existiert und erkennbar ist.“

„Verzeih, aber wie kannst Du Dir sicher sein?“

„Es ist der Grund unseres Seins. Das Gesetz zu erkennen und am Ende uns selbst, dazu sind wir hier. Schau über den Wald, zu den Bergen. Schau, wie sie rot glühen vom letzten Sonnenlicht. Der Anblick erwärmt uns das Herz, nicht wahr? Und warum? Um uns Hoffnung zu schenken auf unserem Weg des Denkens und des Fühlens.“

„Und doch, mir scheint, als könnte es immer auch anders sein. Wozu sich der Suche nach etwas verschreiben, von dem es Gewissheit nicht gibt, es gefunden zu haben?“

Der Meister lächelte und sah in die Ferne. Der andere folgte seinem Blick und so saßen sie, bis die ersten Sterne am Nachthimmel erwachten.

„Weißt Du, das meiste, was Du mich gelehrt hast, habe ich erst nicht verstanden, sondern nur behalten, und oft hat es lange Zeit gebraucht, bis ich wenigstens das Gefühl hatte, zu wissen, was Du meinst. Vielleicht ist es hiermit nicht anders und es wird der Tag kommen, an dem ich fühlen werde, dass Du Recht hast, so wie Du es fühlst.“

Sie blickten sich an. Es gab keinen Grund, seine Achtung und Dankbarkeit in Worte zu fassen. Er erhob sich dann und stieg hinab in den nächtlichen Wald. Nach einer Weile gelangte er an einen Fluss. Der Mond spiegelte sich im Wasser, sein Bild nur unterbrochen von sanften Wellen. *Welch Schauspiel der Natur*, dachte er sich.

Martin Daumer

Towards a Unified Guiding Field Theory for Mind and Matter

Martin Daumer, The Human Motion Institute

*The thought process could involve such small amounts
of energy that quantum theoretical limitations may
play an essential role in determining its character.*

Niels Bohr

Key words: Free will, Entropy, Brownian motion, Heisenberg's uncertainty principle, Levy flights, special and general relativity, preferred slicing/reference time frame, non-locality, big bang, dark matter, dark energy, female-male duality, androgynons, Dirac notations, children creation/annihilation operator, anthropic principle.

Background

Most – if not all – we know in physics is based on scattering experiments. One important aspect is the scattering of light on the surface of white paper partially covered with black ink.

But who is we? Are we part of the quantum mechanical description? Who determines which scattering experiment will be conducted? What happens in the brain of the experimenter when seeing little dots on a screen – and what happens to the corresponding wave function? What determines when the dot will appear on the screen? What happened in the brain of von Guttenberg¹ when he eventually read parts of his thesis? What has guided his mind to do what he has done? These are all important and to a certain extent unresolved questions.

Unfortunately, there are serious flaws in understanding even pretty simple scattering experiments: there is still no accepted scientific basis and there are still physicists around that are puzzled by the fact that there is no self-adjoint time operator to describe the exit statistics.

These idiots haven't even heard about the role of positive operator valued measures (POVMs). And also the ontological question "Exit of what?" is unclear to many. Stationary concepts like S-matrix, wave operators, scattering cross sections are still standard tools to describe the outcome of scattering experiments – and still wouldn't convince an educated first grader, according to some gurus in the field. Some attempts to derive QM formulae as asymptotic probabilities to cross detector surfaces using Bohmian trajectories have been made, but so far there has been no experiment to test deviations from standard QM in short range scattering situations. It remains to be seen if mixed theories that build a bridge between the GRW-theory and Bohmian mechanics that violate Schrödinger's equation AND have point particles add new insights here.

There have been some attempts to put this and perhaps more importantly other problems in a more general frame-

¹"E. Pluribus Unum" (Dr. ehem. K.T. von Guttenberg).

work. In the remarkable book “Matrix Logic and Mind: A Probe Into a Unified Theory of Mind and Matter” of A. Stern [5] we find, according to an editorial review, that “In this revolutionary work, the author sets the stage for the science of the 21st Century, pursuing an unprecedented synthesis of fields previously considered unrelated. Beginning with simple classical concepts, he ends with a complex multidisciplinary theory requiring a high level of abstraction. The work progresses across the sciences in several multidisciplinary directions: Mathematical logic, fundamental physics, computer science and the theory of intelligence. Extraordinarily enough, the author breaks new ground in all these fields. In the field of fundamental physics the author reaches the revolutionary conclusion that physics can be viewed and studied as logic in a fundamental sense, as compared with Einstein’s view of physics as space-time geometry. This opens new, exciting prospects for the study of fundamental interactions. A formulation of logic in terms of matrix operators and logic vector spaces allows the author to tackle for the first time the intractable problem of cognition in a scientific manner. In the same way as the findings of Heisenberg and Dirac in the 1930s provided a conceptual and mathematical foundation for quantum physics, matrix operator logic supports an important breakthrough in the study of the physics of the mind, which is interpreted as a fractal of quantum mechanics. Introducing a concept of logic quantum numbers, the author concludes that the problem of logic and the intelligence code in general can be effectively formulated as eigenvalue problems similar to those of theoretical physics. With this important leap forward in the study of the mechanism of mind, the author concludes that the latter cannot be fully understood either within classical or quantum notions. A higher-order covariant theory is

required to accommodate the fundamental effect of high-level intelligence. The landmark results obtained by the author will have implications and repercussions for the very foundations of science as a whole. Moreover, Stern's Matrix Logic is suitable for a broad spectrum of practical applications in contemporary technologies."

Similarly, in the book "The Quantum Brain: Theory and Implications" by the same author [6] the editorial review finds that "While for the majority of physicists the problem of the deciphering of the brain code, the intelligence code, is a matter for future generations, the author boldly and forcefully disagrees. Breaking with the dogma of classical logic he develops in the form of the conversion postulate a concrete working hypothesis for the actual thought mechanism. The reader is invited on a fascinating mathematical journey to the very edges of modern scientific knowledge. From lepton and quark to mind, from cognition to a logic analogue of the Schrödinger equation, from Fibonacci numbers to logic quantum numbers, from imaginary logic to a quantum computer, from coding theory to atomic physics – the breadth and scope of this work is overwhelming. Combining quantum physics, fundamental logic and coding theory this unique work sets the stage for future physics and is bound to titillate and challenge the imagination of physicists, biophysicists and computer designers. Growing from the author's matrix operator formalization of logic, this work pursues a synthesis of physics and logic methods, leading to the development of the concept of infophysics. The experimental verification of the proposed quantum hypothesis of the brain is presently in preparation in cooperation with the Cavendish Laboratory, Cambridge, UK, and, if proved positive, would have major theoretical implications. Even more significant should be the practical applica-

tions in such fields as molecular electronics and computer science, biophysics and neuroscience, medicine and education. The new possibilities that could be opened up by quantum level computing could be truly revolutionary. The book aims at researchers and engineers in technical sciences as well as in biophysics and biosciences in general. It should have great appeal for physicists, mathematicians, logicians and for philosophers with a mathematical bent.”

The previous section should illustrate that there is pretty much published nonsense out there such that it will be difficult to decide whether our own work makes some sense, or is nonsense – or not.

Methods

We used the centre of mass of human bodies – including their brains – as approximation to Bohmian particles and equipped them with measurement devices called “actibelt”. We allowed the free will of the minds act on the corresponding body to let them bounce up and down on the earth’s surface (walking, running at self-selected times and speeds). The 3D-accelerations that occurred in these repeated multi-body scattering experiments were measured with 100Hz and stored electronically. We also convinced several bodies against the free will of their corresponding minds from different countries to interact during a predefined period in space time (e.g. during the conference “acceleromics meets genomics” in Hoehenried, see [1]) and measured their 3D-accelerations, and supplemented the data with the time evolution of the level of alcohol in the blood and brain.

Results

We analyzed the classical limit of the Bohmian accelerations of data from roughly 340 UK blood donors who wore the belt during an entire week. One of the findings was that the average bouncing frequency of female particles was higher than the one of the male particles. The distance covered per bounce was typically smaller for the female particles and it turned out that the overall mean speed of male and female particles was the same. It also turned out that overall energy was higher on the first day of wearing the actibelt – clearly a sign that the measurement of speed itself changes the status of the system, which is considered to be an ethical problem when you actually plan to do an observational study without intervention. We also found that the gait speed decreases linearly with age. The long tails in the distributions of the number of steps in a row indicated a possible explanation with Levy flights, but it may well be an artefact as with the analysis of the Albatros flight data (see [2]).

Discussion

This is the first study that approximated a walking or running moving human body by a Bohmian particle in a repeated scattering situation. And it was the first time – in this special sense of *schleichgleichheit*² – that we could perform an online measurement of the accelerations of Bohmian particles on board of the particles! This would have been the dream of Democritos: sitting like Baron Munchausen on one of his atoms and thinking about the dialogue between the atoms of matter

²Two functions f and g are called “schleichgleich” (notation: $f \text{ sch|gl } g$) if and only sometimes if they are not completely different.

and soul. It turned out, however, that the behaviour of the human body thus measured cannot satisfactorily be explained by the laws of physics – neither with forces such as in classical mechanics nor the guiding field in Bohmian mechanics: in some cases bodies stood still for extended periods of time until they suddenly moved and turned, in others we found daily running patterns or falling patterns without satisfactory explanation using initial conditions and/or information about the environment or initial conditions of the Universe. The relative position of the body’s center of mass to the actibelt didn’t change and the measurement error of the gait speed measurement doesn’t seem to have a lower limit: a clear violation of Heisenberg’s uncertainty principle. We speculate by subjective insight that the de-localized self-guided minds of the male and female IGUS (information gathering and utilisation systems) interact such that velocities and positions of the corresponding bodies are aligned.

We see two possibilities for an underlying fundamental theory (cf. [4]):

1. The first is that the guiding field ψ_t evolves according to Schrödinger’s equation

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \psi_t(q_1, \dots, q_N) = \left(-\frac{\hbar^2}{2m} \sum_{i=1}^N \Delta_i + V \right) \psi_t(q_1, \dots, q_N).$$

At random time intervalls there occurs a collapse, defined by a parameter σ , i.e.

$$\psi_t^C(q_1, \dots, q_N) = \exp \left(-\sum_{i=1}^N \frac{(q_i - Q_i)^2}{2\sigma^2} \right) \psi_t(q_1, \dots, q_N).$$

The center of the collapse is Q_i , the positions of the soul atoms. The equation of motion for them is Bohmian:

$$\frac{dQ_i}{dt} = \frac{\hbar}{m} \text{Im} \frac{\phi_t^{C*} \nabla_i \phi_t^C}{\phi_t^{C*} \phi_t^C} (Q_1, \dots, Q_N).$$

Now the real-world particles X_i also behave in a Bohmian way. Their velocity is just the usual Bohmian one:

$$\frac{dX_i}{dt} = \frac{\hbar}{m} \text{Im} \frac{\nabla_i \phi_t}{\phi_t} (X_1, \dots, X_N).$$

This is a perfect parallelism between mind and matter. We speculate that the soul atoms can influence the real-world particles if the real-world particles are guided by the collapsed guiding field. If the differences in the initial conditions are appropriately fine-tuned this might just yield a long sought solution to the mind-body problem.

2. The other proposal is that the guiding field ϕ_t is determined by the QMUPL equation (not to be confused with PUMUQL)

$$d\phi_t = \left[-\frac{i}{\hbar} \frac{p^2}{2m} dt + \sqrt{\lambda} (q - \langle q \rangle_t) dW_t - \frac{\lambda}{2} (q - \langle q \rangle_t)^2 dt \right] \phi_t.$$

Our revolutionary idea is that nevertheless the soul atoms follow the Bohmian law of motion

$$\frac{dQ_i}{dt} = \frac{\hbar}{m} \text{Im} \frac{\nabla_i \phi_t}{\phi_t} (Q_1, \dots, Q_N),$$

as do the real world particles:

$$\frac{dX_i}{dt} = \frac{\hbar}{m} \text{Im} \frac{\nabla_i \psi_t}{\psi_t}(X_1, \dots, X_N).$$

This is also a perfect parallelism between mind and matter. It remains to be seen if in this setting differences in the initial conditions can yield a final solution to the mind-body problem.

In any case, it is trivial to show by *reductio ad absurdum* that without such an overarching guiding field that works in entangled mind space and configuration space human evolution would have been severely hampered: male and females would not have met long enough as to produce offspring. In Dirac notation this would mean, that the scalar product of fe-bra with male-ket wouldn't exist, as one of the vectors is always late and the other vector is left alone, and cannot do anything, even with an offspring creation operator acting on it:

$$\langle \varphi(r, t) | \sigma(r, t) \rangle = 0,$$

$$\langle \varphi(r, t) | a_o^\dagger | \sigma(r, t) \rangle = 0.$$

In the limit of large times the relative distance compared to the distance of the scattering center will converge strongly to zero, but the absolute distance will stay more or less constant: the androgynon doesn't even exist in the limit of infinite times and distance. Step annihilation operators may help to reduce the total number of steps and consequently the distance between fe-bra and male-ket, but this is untypical and unlikely. Maybe in other universes the situation and the laws of physics

are different, typically then with no evolution of intelligent species that may be capable to build actibelts, make the corresponding experiments and observations. This is another very nice example of the very weak strong anthropic principle.

Conclusion

It is difficult to conclude anything from what we have shown so far. So we may just conclude, as always, that a relativistic formulation of a unified guiding field theory for mind and matter either needs to be wrong or not everything, or both. It may as well work perfectly well but we are just not – yet – smart enough to know how to do it. Or we are in the wrong universe. It may help to select a preferred slicing of space time, but then we need to correct for differences between different time zones between the east coast of the US, old Europe and the UK in order to have a stimulating entanglement between researchers across continents, disciplines and ages. We conclude the conclusions by concluding that selected human bodies and minds will be guided into a coherent pure state when they cross the boundary of 60 years. The current positivity condition of the human time arrow dictated by the second law of thermodynamics makes sure that most humans won't start to get younger after passing their 60th birthday and we wish Detelf many more productive and fruitful years beyond the threshold of 60 years with his family, friends, colleagues and students. Increasing gait speed, daily walking and running distances as well as exercise games (see [3]) will further help to increase the quality and quantity of life.

- [1] M. Daumer, K. Kaufman, B. Schwaab, D. Dürr, A. Butterworth, P. Deloukas, C. Moore, Y. Hellsten, H. Pilegaard, C. Soaz Gonzalez, M. Schimpl, A. Neuhaus, F. Tusker, W. Xin, H.P. Klose, M. Slawski, K. Kulikowski, *Acceleromics meets genomics – Physical activity and genes for personalized medicine – results from an international expert panel meeting*, ICAMPAM 2011, www.icampam2011.org
- [2] A.M. Edwards et al., *Revisiting Lévy flight search patterns of wandering albatrosses, bumblebees and deer*, Nature 449, 1044-1048, 2007
- [3] M. Fasching, F. Schamel, M. Daumer: *Using the actibelt-platform for exercise games*, ICAMPAM 2011, www.icampam2011.org
- [4] S. Petrat, private communication
- [5] A. Stern, *Matrix Logic and Mind: A Probe Into a Unified Theory of Mind and Matter*, Elsevier Ltd, 1992
- [6] A. Stern, *The Quantum Brain: Theory and Implications*, Elsevier Ltd, 1994

Dirk-André Deckert

On what teaching is about

Detlef has been my patient teacher for more than ten years. I am thankful for every minute I could spend with him in front of his chalkboard in his office at Theresienstraße 39, the place where I, and probably most of my fellow students, learned to make their first steps into the beautiful world of physics and mathematics. When I think about him, it is this picture that comes to my mind. His dim office, his chalkboard, in front of it one of us students, and himself sunken into his chair, frowning, the head buried in his left hand, both pondering.

Maybe even more than about physics, it is this one thing he is acutely passionate about. He loves to teach. He loves to teach, and to it he has been devoting a great part of his professional and private life. Not just for his own students, and not only for the ones of his regularly held lecture “Analysis for Physicists”, but also for the future mathematics and physics teachers at the LMU. If I ever understood one wisdom he gave me on my way, then it was how important the teacher education is. In my own words it is as simple as that: A generation of crazy scientists only spams the www.arxiv.org, the place where people post their electronic preprints – which is full

of spam anyway. However, it only takes one bad generation of teachers to cripple multiple generations of young minds. A damage from which humanity only recovers very slowly as history proves. In fact, in the years as the Director of the Department of Mathematics at the LMU, which was during my last two years at Munich, Detlef fought relentlessly for the education of the mathematics and physics teachers and for creating a healthy education environment. Believe me or not, the zeitgeist was not on his side.

For the reader outside of academia this might sound strange. In times like these where “investing in education” is among the top popular phrases of our leading politicians and economists? A search of the exact phrase “invest in education” on Google pops up 2,060,000 good reasons for doing so in only .21 seconds. I read: “Investing in education [...] will allow us to lead in the global economy [...]”, and “Invest in education to beat recession, boost earnings”, while others further down in the list are even non-materialistic: “Want enduring health reform? Invest in education”, “Want a Stronger Democracy? Invest in Education”. From the last decade I also remember proposals like “Invest in education for sustainable growth and a healthy environment” but this kind I did not find today. Either I did not search thoroughly enough or experience had already proven them wrong. Anyway, you probably see where I want to go with that. A seemingly great variety of improvements of our world and society can be made by “investing in education”. Why would the zeitgeist not be on Detlef’s side? I am too young to give an objective answer but let me try to raise some thoughts similar to those I came along while being around Detlef and watching him teach.

It is best to start from the very beginning and agree on some definition of the word “education”. The Oxford Dictio-

nary writes:

education: the process of receiving or giving systematic instruction, esp. at a school or university

1. the theory and practice of teaching
2. a body of knowledge acquired while being educated
3. information about or training in a particular field or subject
4. a particular stage in the process of being educated
5. figurative an enlightening experience

Stripping off the circular, and hence for our purposes useless, definitions 2 and 3 as well as the one about information (whoever knows Detlef knows why) we are left with the following: Education is about systematic instructions, teaching and enlightening experiences – even if only figuratively.

Systematic instructions about what? About survival? Probably not. All we need to know about that was given to us by our mothers. About how to make a living? I doubt it. All of that we learned by watching our fathers. About that only special square numbers can be split into the sum of two other square numbers? Unlikely. Is it then about the passage of a collection of facts from one generation to the next? This would be even dangerous. How could we ever know if what we learned was in any sense *good* or even *true*? And how could it be enlightening if we only reproduce what we learned by heart?

So what should education and teaching be about? With my yet little teaching experience it is not adequate to give a

straight answer. However, I find help in a dialog between Meno and Socrates by Plato. It starts out with a far more complex question as Meno asks Socrates whether virtue can be taught or not. However, soon they admit to lack a precise definition of virtue so that they have to step back and ask themselves how to inquire about something unknown. Along their reasoning Meno and Socrates are urged to speak about the true nature of knowledge, learning and teaching. With respect to our concerns, I find the following passage particularly interesting. It is where Socrates shares what he heard about learning and teaching:

MENO: And how will you enquire, Socrates, into that which you do not know? What will you put forth as the subject of enquiry? And if you find what you want, how will you ever know that this is the thing which you did not know?

SOCRATES: I know, Meno, what you mean; but just see what a tiresome dispute you are introducing. You argue that a man cannot enquire either about that which he knows, or about that which he does not know; for if he knows, he has no need to enquire; and if not, he cannot; for he does not know the very subject about which he is to enquire.

MENO: Well, Socrates, and is not the argument sound?

SOCRATES: I think not.

MENO: Why not?

SOCRATES: I will tell you why: I have heard from certain wise men and women who spoke of things divine that –

MENO: What did they say?

SOCRATES: They spoke of a glorious truth, as I conceive.

MENO: What was it? and who were they?

SOCRATES: Some of them were priests and priestesses, who had studied how they might be able to give a reason of their profession: there have been poets also, who spoke of these things by inspiration, like Pindar, and many others who were inspired. And they say – mark, now, and see whether their words are true – they say that the soul of man is immortal, and at one time has an end, which is termed dying, and at another time is born again, but is never destroyed. And the moral is, that a man ought to live always in perfect holiness. 'For in the ninth year Persephone sends the souls of those from whom she has received the penalty of ancient crime back again from beneath into the light of the sun above, and these are they who become noble kings and mighty men and great in wisdom and are called saintly heroes in after ages.' The soul, then, as being immortal, and having been born again many times, and having seen all things that exist, whether in this world or in the world below, has knowledge of them all; and it is no wonder that she should be able to call to remembrance all that she ever knew about virtue, and about everything; for as all nature is akin, and the soul has learned all things; there is no difficulty in her eliciting or as men say learning, out of a single recollection all the rest, if a man is strenuous and does not faint; for all enquiry and all learning is but recollection. And therefore we ought not to listen to this sophistical argument about the impossibility of enquiry: for it will make us idle; and is sweet only to the sluggard; but the other saying will make us active and inquisitive. In that confiding, I will gladly enquire with you into the nature of virtue.

MENO: Yes, Socrates; but what do you mean by saying that we do not learn, and that what we call learn-

ing is only a process of recollection? Can you teach me how this is?

SOCRATES: I told you, Meno, just now that you were a rogue, and now you ask whether I can teach you, when I am saying that there is no teaching, but only recollection; and thus you imagine that you will involve me in a contradiction.

MENO: Indeed, Socrates, I protest that I had no such intention. I only asked the question from habit; but if you can prove to me that what you say is true, I wish that you would.

SOCRATES: It will be no easy matter, but I will try to please you to the utmost of my power. Suppose that you call one of your numerous attendants, that I may demonstrate on him.

Socrates then proceeds and proves Meno that in what he heard must lie some truth. By concise inquiry he guides Meno's uneducated servant in proving that the square of the diagonal of a square encloses twice the area. He thereby shows that the true nature of learning is the recollection of things we already know. Knowledge is never created and never destroyed. It is only recalled or forgotten. Therefore, the true nature of teaching can not be the simple passage of knowledge from one to the other. It is but the guidance in this process of recollection by means of well-thought questions – these are the systematic instructions to acquire knowledge.

The process of recollection should be holy to us and therefore executed with great care. It is our only link to nature and to the recognition of ourselves within it. Our politicians and economists are completely right that “investing in education” will moreover improve our worldly life – not only financially, but it is too naive to think that investing money is enough. It

takes far more than that. Learning and teaching also consumes time, strength and patience, for the student as well as for the teacher. There are no short-cuts, and the place for it is at a university where future scientists and teachers can grow and find the peace to remember. A university is not a machine in which we can insert young minds, education and money and get out solid annuity funds. This is where the zeitgeist fails. Time is money and because of the lack of it teachers are compelled to give their students a list of solutions rather than a guide on how to find their own. I still remember Detlef's last lecture in his three-semester analysis course which I attended. He sent us into the semester break with the words: "If you have learned in my course how to read a book and how to learn on your own, I have succeeded." As long as there are teachers like Detlef the zeitgeist can change. It is nothing that cannot be repaired. We simply must find the time, strength, cash and patience to remember.

This, I believe, is the reason why Detlef devotes his life to teaching.

Was zählt sind Argumente

Daran hat mich Detlef Dürr während meines Studiums immer wieder erinnert. Doch warum muss gerade ein Physikstudent daran erinnert werden? Schult nicht insbesondere dieses Fach eine konsequent auf Argumenten basierte Denkweise? Ja, gefährdet wird dieses Denken aber durch den Hang von Physikern Autorität für ein Argument zu halten.

Ein Musterbeispiel dafür ist der Umgang der Physikergemeinschaft mit Schrödingers Katze; ein Gedankenexperiment in der Quantenmechanik, das auf den brillanten Denker Erwin Schrödinger zurückgeht. Dieses Gedankenexperiment kann mit folgenden (knappen) Worten zusammengefasst werden: Die Quantenmechanik beschreibt Teilchen mit Hilfe von Wellenfunktionen. Hat man nun eine Wellenfunktion, welche die Teilchen einer lebendigen Katze, und eine Wellenfunktion, welche die Teilchen einer toten Katze beschreibt, ist laut Quantenmechanik eine Katze denkbar, die durch eine Überlagerung dieser beiden Wellenfunktionen beschrieben wird. Aus einer solchen Überlagerung ist aber nicht ersichtlich, ob die Katze gerade tot oder lebendig ist. Dies ist die zentrale Feststellung in Schrödingers Gedankenexperiment und damit

demonstriert Schrödinger, dass die quantenmechanische Beschreibung der Katze nicht ausreicht, um das zu erklären, was wir sehen: eine Katze die zu jedem Zeitpunkt entweder tot oder lebendig ist.

Schrödingers Katzenproblem wird während des Physikstudiums in der Regel in keiner Vorlesung benannt. Das ist gefährlich, denn dadurch setzt sich mitunter der Eindruck fest, das Problem sei gar kein Problem, weil es ansonsten vom Professor in der Quantenmechanik-Vorlesung erwähnt worden wäre. Anstatt Schrödingers Argument ernst zu nehmen und ein Gegenargument zu finden, wird es mit der Autorität des Professors weggewischt: Autorität statt Argumente.

Das Problem ist aber ein Problem und es bedarf einer Lösung. Es gibt sogar mehr als einen ernstzunehmenden Lösungsvorschlag. Die wenigsten setzen sich damit aber auseinander, was viel unreflektiertes Gerede nach sich zieht. Ein Physikprofessor, den ich nach Schrödingers Katze fragte, antwortete beispielsweise sinngemäß: „Was für ein Problem? Seit wir Dekohärenz kennen, gibt es kein Problem mehr.“ Wegen der bestimmten Art in der diese Antwort gegeben wurde und der Autorität des Professors, habe ich nicht nach einer Erklärung gefragt. Der Professor hat in mir den Eindruck erweckt, die Sache sei offensichtlich und wenn ich nur lang genug darüber nachdenke, dann werde ich verstehen warum Dekohärenz die Lösung ist. Mit anderen Worten: Ich habe mich von der Autorität des Professors blenden lassen, statt nach Argumenten zu fragen.

Dekohärenz allein löst Schrödingers Katzenproblem aber nicht, denn damit ist nur die gute Unterscheidbarkeit von tot- und lebendig-Wellenfunktion gemeint. An der Überlagerung dieser beiden Wellenfunktionen ändert Dekohärenz gar nichts, auch nicht wenn das mit viel Autorität behauptet wird. Autorität ist eben kein Argument.

Günter Hinrichs

Lieber Detlef,

ich möchte Dir ganz herzlich für nunmehr gute zwei Jahre fruchtbarer Zusammenarbeit danken. Was ich aus dieser Zeit mitgenommen habe, ist in dem Zitat aus Schillers Antrittsvorlesung treffend beschrieben. Wenn ich mich recht zurückbesinne, war Deine Weihnachtsvorlesung (leider nur in schriftlicher Form), in der Du Dir den Anspruch Schillers zu eigen machst, auch tatsächlich der allererste Anlass, der mich auf Dich aufmerksam gemacht und dann auch ziemlich schnell Interesse an Deiner wissenschaftlichen Arbeit geweckt hat. Bereiche der Physik, die ich nach oberflächlicher Bekanntheit über die üblichen Quellen für meinesgleichen innerlich schon abgeschrieben hatte, rückten in so greifbare Nähe, dass schnell der Wunsch aufkam, bei Dir eine Diplomarbeit zu schreiben. Das von Dir vorgeschlagene Thema „QMUPL-Gleichung“ (natürlich nicht unter dieser Bezeichnung) entsprach einige Zeit meinem Interesse. Dass sich dann mein Interesse in eine andere (bessere) Richtung verschob, verdanke ich der Beschäftigung mit diesem Thema unter Deiner Anlei-

tung, so dass das Thema auch im Nachhinein betrachtet zu seiner Zeit genau das richtige war. Eine Quantisierung der Wheeler-Feynman-Theorie wäre ja auch für den Anfang ein bisschen zu hoch gegriffen gewesen...

Ansonsten weiß ich eigentlich nichts mehr zu sagen – haben wir uns doch erst vor Kurzem in Oxford über so viel Wichtiges ausgetauscht, von der reellen Divergenz komplexer linearer Abbildungen über nicht stationäre Maße mit stationärer Kovarianzfunktion bis hin zu persönlicheren Angelegenheiten – abends, im Pub, bei Kakao und Bier...

Florian Hoffmann

Prägend, wertvoll und *zufällig*

Lieber Detlef, die Begegnung mit Dir hat meine Haltung zur Mathematik, viel wichtiger jedoch mein physikalisches Verständnis und meine Art zu denken und an physikalische Probleme heranzugehen wohl entscheidend geprägt. Als ich anfang zu studieren, hörte ich bei Dir die Analysis I für Physiker. Unsere erste Begegnung war also im umgangssprachlichen Sinne zufällig. Anfangs war Mathematik für mich eher nur ein notwendiges Übel. Obwohl mir irgendwie klar war, in die theoretische Richtung gehen zu wollen, dachte ich mir: *so wenig wie möglich so viel wie nötig*. Zunächst hatte ich große Probleme mit der abstrakten, formalen Sprache, doch das änderte sich langsam im Laufe des ersten Semesters. Manche meiner Mitstudenten mochten Deinen Vorlesungsstil nicht, für sie schien er zu wenig organisiert, zu wenig streng und formal. Erst einige Zeit später merkte ich in einer Vorlesung eines wahrlich *sehr mathematischen Mathematikers*, dass eben dieser sehr formale, strenge Stil es dem Hörer eher einfach macht, da er ihm ein wenig das Denken abnimmt. Deine Art die Vorlesung zu halten regte jedoch zum Denken an und ließ gleichzeitig die nötigen Freiräume. Mir hat das sehr geholfen. So

entwickelte sich bei mir langsam ein wirkliches Interesse für mathematische Konzepte. Durch das Vektoranalysis-Seminar habe ich dann auch auf klarem Wege zu der mir heute sehr wertvollen geometrischen Sichtweise gefunden.

Noch lange bevor ich das erste mal eine Quantenmechanikvorlesung besucht habe, bekam ich bereits mit, dass Du in diesem Bereich einen anderen Weg gehst als der Mainstream. Aus Interesse besuchte ich Deine Vorlesung über Bohmsche Mechanik, in der eigentlich nur ein paar von *uns Physikern* saßen. Wir hatten noch nichts von Quantenmechanik gehört, ja gerade einmal die theoretische Mechanik, und das war gut so. Ohne Vorurteile, Verwirrungen und besonders ohne Scheinklarheiten über die *Vermessung der Welt* erfuhren wir, wie grundlegend einfach und klar Quantenmechanik formulierbar ist. Diese Vorlesung war wohl eine der wertvollsten und wichtigsten meines Studiums. Sie prägte mein Denken und Herangehen an die Physik grundlegend. Außerdem entstand im Zuge dieser Vorlesung eine Gruppe von Studenten, die noch den ganzen Rest ihrer Studienzzeit Kontakt halten und immer wieder ausführlich über die Physik und insbesondere die Quantentheorie diskutieren sollte. Eine Gruppe, die ich rückblickend nicht missen möchte.

Nicht nur zu Beginn, sondern bis heute haben der Kontakt und die Diskussionen mit Dir mein Denken sehr beeinflusst und bereichert. Unsere Gespräche haben meinen Blick für's Wesentliche, für die eigentlichen Fragen geschult. Auch wenn wir sicher nicht immer einer Meinung waren, war Dein klarer und oft unvoreingenommener Blick auf Probleme immer sehr bereichernd. Manche Deiner Fragen erschienen mir anfangs unklar, vorschnell oder gar an der Sache vorbei. Erst nach einigem Nachdenken wurde mir ihre Relevanz bewusst und dass es meist genau die richtigen Fragen waren. Ich bin

Dir sehr dankbar, dass Du so Deinen klaren Blick auf Vieles mit mir geteilt hast. Es ist nicht oft so, dass man in der Physik jemanden findet, der sich den Blick für's Wesentliche bewahrt oder ihn gefunden hat und der dazu auch noch immer ansprechbar ist. Dass man bei Dir immer einfach vorbeikommen kann, wenn man eine Frage hat und Du Dir auch für grobe Missverständnisse geduldig Zeit nimmst, ist ein großes Geschenk für alle, die mit Dir zu tun haben. Dabei ist die menschliche Seite mindestens so entscheidend wie die fachliche. Du nahmst einen schon zu Beginn als Diskussionspartner stets ernst, man hatte immer das Gefühl, sich menschlich auf einer Augenhöhe zu bewegen. Besonders für Deine Geduld und Deinen Glauben an mich, auch in schwierigen Zeiten, bin ich Dir sehr dankbar. Ich bin sicher nicht alleine, wenn ich sage, dass Du mit deiner offenen und herzlichen Art viel gibst.

Ich wünsche Dir für die Zukunft noch viele Jahre des Erkenntnisgewinns, des Entdeckens und Nachdenkens und dass Du Dir die Lust und Freude am Verstehen nicht durch so manch zähe Randbedingung trüben lässt.

Über das untypische Verhalten des Detlef D. im Quantengleichgewicht

Einer der wichtigsten Begriffe im Denken von Detlef Dürr ist das Typische. Die simple und doch tiefe Einsicht, dass in der Natur immer das geschieht, was in der „überwältigenden Mehrzahl“ aller möglichen Fälle geschehen muss. Im Geiste des großen Ludwig Boltzmann hat uns Detlef gelehrt, wie durch den Begriff des Typischen das scheinbar so mysteriöse Phänomen des Zufalls verstehbar wird, wie man den Zufall erklären oder – richtiger noch – wegerklären kann. Auch im wissenschaftlichen Werk von Detlef spielt das Typische eine zentrale Rolle. Zusammen mit seinen Freunden und Kollegen Shelly Goldstein und Nino Zanghì hat er gezeigt, dass in einem Universum, das den Gesetzen der Bohmschen Mechanik folgt, typischerweise das Bornsche statistische Gesetz gilt. Jenes Gesetz, welches besagt, dass die Wahrscheinlichkeitsdichte durch das Absolutquadrat der Wellenfunktion gegeben ist und das in jedem Buch und in jeder Vorlesung über Quantenmechanik als unerklärbares Dogma vom Himmel fällt.

Die Ironie an der ganzen Sache ist bloß, dass Detlef selbst, durch sein ganzes Wesen, diese fundamentale Erkenntnis über

das Typische in Frage stellt. Denn Detlef ist eben nicht so wie die „überwältigende Mehrzahl“ aller Professoren. Er ist ganz und gar untypisch – als Lehrer, als Wissenschaftler, als Mentor und als Freund.

Wenn man an die innere Tür von Detlefs Büro klopft, dann sieht man dort ein Poster hängen, das von einer Gruppe seiner Studenten gemacht wurde. Es zeigt die Computersimulation eines „Galton-Brettes“. Das Galton-Brett ist so etwas wie Detlefs Lieblings(Gedanken)spielzeug. Es findet sich als Prototyp eines Universums mit statistischen Gesetzen in jedem seiner Bücher und in jeder seiner Vorlesungen über statistische Physik. Die Simulation ist sehr bunt und sieht ein wenig aus wie abstrakte Kunst. Aber noch interessanter ist vielleicht der Schriftzug, der sich darüber befindet: „Danke für das neue Weltbild!“ steht dort. Nun hatte ich schon viele Dozenten, gute und schlechte (meistens schlechte), aber dass ein Professor in seinen Vorlesungen oder auch im persönlichen Gespräch das Weltbild seiner Studenten prägt – das ist ganz und gar untypisch. Das habe ich nur bei Detlef erlebt.

Warum mag das so sein? Vielleicht deshalb, weil Detlef seine Schüler wichtig nimmt. Weil er davon überzeugt ist, dass man kaum einen größeren Dienst an der Wissenschaft leisten kann, als junge Leute auszubilden, die das Streben nach Erkenntnis fortsetzen. Vielleicht auch deshalb, weil Detlef seine Schüler ernst nimmt, ihnen auf Augenhöhe begegnet. Wenn er sagt, dass er mehr von seinen Studenten gelernt hat als andersherum, dann ist er natürlich zu bescheiden – aber gänzlich unfreiwillig. Als ich Detlef kennenlernte, war ich 20 Jahre alt und noch im dritten Studiensemester. Ich hatte noch nichts vorzuweisen, als meine ehrliche Neugierde und großen Respekt vor ihm, weil ich irgendwann mal sein Foto in der „Bild der Wissenschaft“ gesehen hatte. Aber schon damals war er sich

nicht zu schade, sich stundenlang mit mir über die Grundlagen der Quantenmechanik zu unterhalten. Ich glaube, damals hat mich noch am meisten beeindruckt, dass er sich traute, Heisenberg einen Idioten zu nennen. Was natürlich nicht ganz so gemeint war, aber dennoch eine für mich ganz unerhörte Blasphemie!

Es gibt aber noch einen entscheidenden Grund, warum Detlef so einen tiefen Eindruck zu machen vermag auf junge, wissbegierige Studenten: dass er von der tiefen Überzeugung getrieben ist, dass die Welt verstehbar und erklärbar ist und dass es die Aufgabe der Physik sei, genau das zu tun; dem „Herrgott in die Karten zu gucken“, wie Einstein sagte. Als Außenstehender könnte man vielleicht meinen, dies sei selbstverständlich. Doch das ist es nicht. In unserer heutigen Zeit, da auch der Wissenschaftsbetrieb immer mehr ökonomischen Spielregeln folgt, da der Geist des Positivismus Einzug gehalten hat in die Physik und der Drang nach fundamentaler Erkenntnis einem oftmals zynischen Pragmatismus gewichen ist, ist es absolut untypisch! Um es kurz zu sagen: andere Dozenten brachten uns bei, wie man Übungsaufgaben lösen kann. Detlef brachte uns bei, wie die Welt funktioniert.

Diese Überzeugung, dass ein wahres Verständnis von der Welt möglich ist, dass eine physikalische Theorie auch etwas bedeuten muss und dass Physik mehr leisten kann, als eine Beschreibung FAPP¹; diese Überzeugung hat natürlich auch Detlefs wissenschaftliches Werk geprägt. Während die Mehrheit der Physiker dabei war die Quantenwelt für verrückt zu erklären, hat Detlef mit einer Hand voll Verbündeter daran gearbeitet, sie wieder vom Kopf auf die Füße zu stellen. Man hat ihn deshalb einen Schwärmer genannt, einen Spinner, einen

¹ „for all practical purposes“ (Bell)

Reaktionär, oder ihn schlicht und einfach ignoriert. Detlef war nicht weniger als ein Rebell in der Welt der Quantentheorie. Er hat sich getraut gegen alle Denkverbote der Quantenphysik zu verstoßen und sich gegen Jahrzehnte alte Vorurteile gestemmt. Und wahrscheinlich hat er dabei erfahren, dass es anstrengender ist gegen dumme Argumente anzukämpfen, als gegen kluge. Gemeinsam mit Shelly und Nino und all den Anderen, die sich ihnen über die Jahre anschlossen, hat er die Bohmsche Mechanik bis nahe an ihre Vollendung geführt, stets im Geiste seiner großen Vorbilder: Boltzmann, Einstein, Schrödinger und Bell. Dafür muss man ihnen allen unendlich dankbar sein. Sie haben der Wissenschaft die Möglichkeit erhalten zu einem besseren, einem tieferen Verständnis der Quantenphysik und einen Pfad bereitet, auf dem andere nach ihnen voranschreiten können.

Wenn ich Detlef schon gewürdigt habe als Lehrer und als Wissenschaftler, so muss ich ihn zum Abschluss auch noch würdigen in seiner Teilzeitfunktion als Therapeut und Seelsorger. Wahrscheinlich habe ich häufiger mit akuten Sinnkrisen an seine Tür geklopft, als mit Fragen zur Physik. Und vielleicht, ich gebe es zu, musste er manchmal auch herhalten als Vaterersatz, wenn der richtige Papa gerade zu weit weg war oder die Leiden eines jungen Physikers nicht ganz nachvollziehen konnte. Zu meiner Verteidigung muss ich jedoch sagen, dass ich wohl nicht der einzige war, der Detlef derartig in Anspruch genommen hat. Für die meisten seiner Diplomanden und Doktoranden ist und war Detlef mehr als ein Betreuer und mehr als ein Professor. Er war stets auch unser Mentor und unser Freund. Er hat jeden von uns, mit all unseren verschiedenen Eigenheiten, stets begleitet mit aufrichtigem Interesse und mit einer Güte und Warmherzigkeit, die ihresgleichen sucht. Und wenn man sich vor Augen hält, dass

mathematische Physiker (zumal Bohmianer!) nicht immer die pflegeleichtesten Charaktere sind, kann man sich denken, wieviel Geduld das oftmals gekostet haben muss.

Doch ich weiß nicht, wo ich heute wäre ohne Detlefs Vorbild und ohne seine Führung und Fürsorge. Womöglich hätte ich mich schon längst frustriert von der Physik abgewendet und jede Hoffnung auf transzendente Erkenntnis aufgegeben. Vielleicht wäre ich ins Kloster gegangen, oder Investmentbanker geworden, oder, schlimmer noch: Stringtheoretiker. Man mag gar nicht daran denken.

Dafür, dass es nicht so gekommen ist und für alles, was Detlef geleistet hat, für die Wissenschaft und für seine Studenten und für mich ganz persönlich, möchte ich mich nun bedanken, mit dieser kurzen Würdigung für einen herausragenden, einen ganz und gar untypischen Mann.

Vor zweiundzwanzig Jahren in München

Sommersemester 1989: Du kamst als Professor in der Fakultät für Mathematik nach München und kündigtest eine Vorlesung über die Grundlagen der Quantenmechanik an. Frischer Wind! Elektrisierend! Eine Erleuchtung! Ein Rundumblick über die gesamte theoretische Physik und darin eingebettet die Quantenmechanik; und das alles mathematisch präzise! Genau das, wonach wir dürsten nach den elenden T1-T4 Vorlesungen, wo man bestenfalls rechnen lernt, aber kein bisschen Verständnis. Diese erste Vorlesung war nicht nur überaus informativ, sondern darüber hinaus noch so anregend, dass sich schnell eine Gruppe interessierter Studentinnen und Studenten zusammenfand, die sich für Deinen Zugang begeisterte. Du diskutierst mit uns in den Pausen in der studentischen Cafeteria – und ab dem Wintersemester 89/90 in Deinen Seminaren – ernsthaft und tiefgründig über die verschiedenen möglichen und unmöglichen Interpretationen der Quantenmechanik. Dies wird die Begründung der Münchner Schule für Dürr-Goldstein-Zanghi-Bohmsche Mechanik, und Martin und ich sind Deine ersten und begeisterten Münchner DoktorandInnen. Fast pausenlos sind wir am Diskutieren und Ar-

beiten: „Was gibt’s Neues? Was tut sich?“ Mittags reicht es zu dritt eine Brezel zu teilen.

Und trotzdem kommt Deine Familie immer an erster Stelle! Es war nicht leicht für Euch Nordlichter, Euch in dem bayerischen Landsberg voller Nazispuren – KZ-Außenlager allerorten – einzuleben. Als Du Dich mal während Deiner Vorlesung in einer Argumentation an der Wandtafel verheddertest, erzähltest Du uns, dass Du am Wochenende die Schaukel für Deine beiden kleinen Töchter aufgebaut hast. Dann war eben am Montag morgen die Vorlesung nicht perfekt vorbereitet. Und natürlich bist Du abends immer als Erster nach Hause zu Frau und Kindern gefahren.

Mit Deiner unbedingten Suche nach Sinn und Erkenntnis, aber auch Deinem kompromisslosen Leben als stolzer Familienvater und kreativer Musiker bist Du mir ein Vorbild.

Lieber Detlef, zu Deinem sechzigsten Geburtstag wünsche ich Dir alles Gute und viele weitere erkenntnisreiche glückliche Jahre,

Deine Karin

To Have One's Hands among the Unspeakable Foundations

„Am meisten beeindruckt hat mich das Doppelspaltexperiment (die Selbstinterferenz von Photonen), welches ein Schlüsselexperiment der Quantenmechanik ist. Die Ergebnisse dieses Experiments und deren Interpretationen fand ich bemerkenswert. Ich konnte das nicht so stehen lassen, sondern wollte verstehen, was wirklich dahinter steckt.“ Dieses Zitat ist ein Auszug aus meinem Lebenslauf für die Bewerbung beim Cusanuswerk zu Beginn meines Studiums. Wenn ich versuche mich zu erinnern, warum ich angefangen habe Physik zu studieren, so ist die Quantenmechanik tatsächlich der Hauptgrund dafür gewesen. Vieles an der Physik hat mich immer interessiert, aber erst als ich von der Quantenmechanik gehört und mich ein bisschen darüber informiert habe, war ich richtig begeistert. Welle-Teilchen-Dualismus, Komplementarität, fundamentaler Zufall, keine Logik für Quantenobjekte; da passiert eine wirkliche Änderung unseres ganzen Weltbildes. Das hat mich interessiert. Tatsächlich erinnere ich mich noch daran, wie ich das erste Mal von dem Doppelspaltexperiment und der „Selbstinterferenz“ von Teilchen gehört habe. Ich dach-

te mir, dass das doch gar nicht sein kann, dass da ein Photon oder Elektron durch beide Spalte gleichzeitig geht, und habe nach Erklärungen gesucht. Eine gute Erklärung habe ich nicht gefunden, dafür aber viele Bestätigungen, dass wohl niemand so recht versteht, was genau da vor sich geht. Dies war der Hauptgrund warum ich angefangen habe Physik zu studieren: um eine Ahnung davon zu bekommen, was in der Quantenmechanik vor sich geht. Ich dachte, dass es wahrscheinlich ein ganzes Leben dauern würde um wenigstens den Hauch einer Ahnung zu bekommen.

Dass es ein wenig anders gekommen ist, weißt Du ja. In meinem vierten Semester habe ich Deine Reading Class besucht und damit waren meine Grundfragen über Quantenmechanik, von denen ich dachte, dass ich eine gesamte Lebenszeit brauchen würde sie auch nur ansatzweise zu beantworten, erst einmal geklärt. Mit Sicherheit war dies der wertvollste und wichtigste Moment meines Studiums, von Dir über die Grundlagen der Quantenmechanik zu lernen, bzw. sie mit Deiner Hilfe zu entdecken.

Und trotzdem war dies nicht das wichtigste, was ich von Dir gelernt habe.

In meinem Jahresbericht an das Cusanuswerk von 2009 steht: „Gerade dies hat mich an Prof. Dürr und seiner Arbeitsgruppe fasziniert: nicht unbedingt die spezielle Theorie (Bohmsche Mechanik), auch wenn sie alle Fragen, die ich über Quantenmechanik hatte, gelöst hat, sondern vielmehr das *Verstehen von Physik*.“ Ich denke das trifft den Punkt schon sehr gut. Das wichtigste, was ich von Dir gelernt habe, war, dass Du mir gezeigt hast (oder mich wieder daran erinnert hast) was Physik eigentlich ist und was es bedeutet etwas wirklich zu verstehen. Und dass dies in der Physik möglich ist! Und dass das überhaupt sehr wichtig ist. Es war eine Wohltat zu

sehen, dass es noch Menschen gibt, die sich trauen den ganzen Weg zu gehen, den Dingen auf den Grund zu gehen, versuchen wirklich zu verstehen. Leute wie Du, die nicht, wie Boltzmann es einmal formuliert hat, „die für den Fortschritt so verderbliche Methode [benutzen] [...], sich von vorgefaßten Meinungen beherrschen zu lassen, [...] die wahre Mathematik vor lauter algebraischen Formeln, die wahre Logik vor lauter anscheinend schulgerecht gebauten Syllogismen, die wahre Philosophie vor lauter philosophisch sich herausputzenden Krimskrams, den Wald vor lauter Bäumen nicht sehen zu wollen, eine Methode, die leider der Menge immer sympathischer sein wird [...].“ Vielleicht war es doch eher dies, was mich zum Studium der Physik gebracht hat: Der Drang verstehen zu wollen, wie die Natur funktioniert, wie die Welt, in der ich lebe, beschaffen ist. Vielleicht habe ich damals noch nicht richtig verstanden, was genau das denn eigentlich heißt. Vielleicht habe ich diesen Drang zwischendurch mal verloren. Du hast in mir etwas wieder erweckt, was ich glaube früher mal gehabt zu haben: Diesen Drang verstehen zu wollen und diesem Drang mit Freude und Leidenschaft nachzugehen. Du hast mir gezeigt, dass es eine Freude ist, Dinge wirklich zu verstehen.

Natürlich habe ich auch erfahren, dass es ein langer und steiniger Weg ist bis man Dinge verstanden hat. Man braucht sehr viel Geduld, Beharrlichkeit und Zeit. „But it is a ponderous task; [...] To grope down into the bottom of the sea [...]; to have one's hands among the unspeakable foundations, ribs, and very pelvis of the world; this is a fearful thing.“ (Aus *Moby Dick*, Chapter 32, Cetology.) Vielleicht habe ich manchmal auch ein wenig Angst diesen Weg zu gehen, Angst zu verstehen. Dinge sind kompliziert und es besteht immer die Möglichkeit zu scheitern. Trotzdem: Die einzigen Zweifel, die ich

habe, sind die an meinen eigenen Fähigkeiten, nie an der Sache.

Du erinnerst mich immer wieder daran, dass es eine Freude ist Physik zu betreiben, Dinge zu verstehen, den ganzen Weg zu gehen. Deine Energie und Freude an der Sache, an der Physik, ist sehr selten zu finden. Ich hoffe, dass ich so lange als möglich diesen Weg mit Dir gehen kann.

Detlef als Betreuer

Die Gründe, bei Detlef Diplomarbeit zu schreiben, waren vielseitig. Einerseits lag es natürlich am vorgeschlagenen Thema. Ich hatte keine Lust, wie viele, als Programmierer zu enden. Das Lösen einer physikalisch relevanten mathematischen Frage erschien mir um ein vielfaches attraktiver. Eine große Rolle spielte jedoch auch die Tatsache, dass mir Detlef vom ersten Moment an sympathisch war.

Dies scheint natürlich auf den ersten Blick ein recht unprofessioneller Grund zu sein und wenig mit der Qualität der gemeinsamen wissenschaftlichen Arbeit zu tun zu haben. Wahrscheinlich hätte ich während der Anfangsphase der Betreuung durch Detlef dies auch so verstanden. Heute ist mir jedoch bewusst, dass der Grund für diese Sympathie sehr wohl zu großen Teilen mit der Qualität von Detlef als Wissenschaftler und Mentor zu tun hat.

Detlef war anders als die Professoren aus der Physik, die mir während des Studiums begegneten. Was als erstes auffiel war sein Interesse an uns jungen Leuten. Er kümmerte sich um uns, bat uns zu Diskussionen in sein Büro und ließ mich bereits als jungen Studenten eine seiner Vorlesungen in Vertre-

tung übernehmen. Man könnte dies vielleicht als reine Freundlichkeit und Hilfsbereitschaft den Studenten gegenüber interpretieren, es ist jedoch wesentlich mehr als das. Wissen will weiter vermittelt werden. Gerade für einen aktiven Wissenschaftler mit vielen Ideen, Gedanken, Einsichten ist es notwendig, diese zu teilen. Es fehlt auch die Zeit, jeden Gedanken selbst zu Ende zu führen und gerade junge Forscher am Anfang ihrer Karriere können hier sehr hilfreich sein. Das Betreuen von guten Studenten ist keine Last, es ist vielmehr ein Segen. Jetzt, wo ich selbst meine ersten Doktoranden habe, ist mir dies erst so richtig klar.

Es gibt sicherlich einige, die mit Detlef's Offenheit und Direktheit nicht umgehen können. Fokussiert auf das Wesentliche, hat er für die Eitelkeiten seiner Kollegen kaum etwas übrig. Wenn man mit Kritik umgehen kann, sind diese Eigenschaften zwar erfrischend. Dennoch gibt es den ein oder anderen, der nicht gut auf ihn zu sprechen ist. Gerne erinnere ich mich an einige Kommentare über diverse „Kollegen“ zurück, die mir damals völlig übertrieben schienen, wobei ich nach eigener Überprüfung den Eindruck hatte, er hätte noch deutlich zu milde geurteilt.

Er ist kein Mensch, der mit dem Strom schwimmt, sondern sich seine eigene Meinung bildet, auch wenn er dadurch des Öfteren aneckt. Auch wenn dies eine Eigenschaft ist, die offensichtlich eine Menge mit wissenschaftlicher Qualität zu tun hat, ist sie leider gerade unter Forschern eher selten anzutreffen, obwohl ein aktiv denkender Mensch sich eine solche Haltung erlauben und nur die kritische Betrachtung wissenschaftlichen Fortschritt bringen kann.

Ich kann mir vorstellen, dass der Weg zu großer Anerkennung unter den Kollegen, Preisen und Ehrungen, anders leichter für mich gewesen wäre. Auch mag es das ein oder andere

Mal gewisse Schwierigkeiten durch die Komplizenschaft mit Detlef gegeben haben. Mancher mag dies als Hindernis für die persönliche Entwicklung sehen, jedoch ist das Gegenteil der Fall. Es macht einem bewusst, dass in der Wissenschaft nicht alles in Ordnung ist. Man hört ja immer wieder das Beispiel Galileos und die Probleme, mit denen er durch sein Festhalten am Heliozentrischen Weltbild zu kämpfen hatte, oft mit dem Unterton versehen, dass heutzutage doch alles anders und besser sei. Dies ist eine Illusion. Die Ablehnung, die man heute erfährt, wenn man die geltenden Ansichten in Frage stellt, ist immer noch immens. Dies ist nicht verwunderlich: Das Wesen der Menschen hat sich in den wenigen Jahrhundert kaum verändert und die Vielzahl derer, die heutzutage Wissenschaft betreiben, hat wahrscheinlich eher zu einem Rückgang der Qualität des durchschnittlichen Forschers geführt. Das Beispiel Boltzmanns wird gerne mit dem Argument abgewiegelt, sein Selbstmord habe mit der Reaktion seines Umfelds nichts zu tun, sondern gründe allein auf seiner Depression. Als ob die Psyche eines Menschen mit seinen sozialen Erfahrungen nichts zu tun hätte. Das Beispiel Bohm's ist der Mehrheit nicht geläufig, da Bohm's Punkt nur von einer kleinen Minderheit verstanden wird. Als Schüler von Detlef hat man jedoch das Privileg, nicht nur mehr über die Physik sondern auch über das Wesen des Physikers zu verstehen.

Die Arbeit mit Detlef war großartig. Es gab keine Sekunde, in der ich den eingeschlagenen Weg bereut habe. Das Verstehen, wie unsere Welt funktioniert, ist eine große Motivation. Und der Weg dorthin eine noch größere. Das gemeinsame Diskutieren und Lösen von Problemen bereitet mir die größte Freude.

Was mir Detlef mittlerweile bedeutet, ist sehr schwer in einem solchen Aufsatz auszudrücken. Wahrscheinlich ist dies

auch nicht notwendig, da er dies hoffentlich auch so weiß. Vielleicht drückt sich tiefe Zuneigung auch in gelebter und gedachter Form klarer aus, als wenn man versucht, sie mit den beschränkten Möglichkeiten, die uns unsere Sprache bietet, niederzuschreiben.

Did you get lost?

It was the beginning of my final semester before I was due to start writing my diploma thesis in physics. My former professor for analysis had announced an introductory course on his principal field of research. I had heard (from no particular source, as one tends to hear this kind of things) that this was some theory connected to or maybe even in conflict with quantum mechanics and that it (or he) was in any case considered to be somewhat crackpot. Since I remembered him as very clear-thinking and down-to-earth and since there was still some space in my schedule that needed filling I decided to go and see for myself.

Because of some exams I had missed the first session and entered the lecture hall for the second just one step behind the professor. Whereas he turned around, frowned at me and asked: “Did you get lost?” I answered “No” and sat down.

The professor was Detlef Dürr, the somewhat crackpot theory Bohmian mechanics and the classes that followed this slightly disconcerting beginning a badly needed wake up call.

By that time I was a fairly well trained student: I could follow the explanations presented during lectures and usually

found the right answers to the questions on my problem sheets. I felt vaguely uncomfortable because I did not really have any idea what topic to choose for my diploma thesis (surely something to do with quantum mechanics would not be too bad). Without even realizing it I had gradually unlearned to ask for the sense behind the methods I was taught; I had shut up (or maybe down) and was very busy calculating.

But suddenly there was a class where that was no longer good enough, where I was reminded that before looking for answers one should better be clear about the questions. Suddenly there was Detlef Dürr who insisted that a theory needs to be about *something* before it can give predictions about *anything*. Suddenly there was a theory that made sense even out of quantum mechanics. And suddenly I remembered that I was studying physics because I wanted to *understand* the world, not calculate measurement results.

So, had I gotten lost when I entered that lecture hall? Yes, indeed! Thanks, Detlef, for getting me back on track!

A teacher's teachings

We all agree that Detlef is a great teacher. He certainly taught me a few things and probably would have taught me more than those if I had been a better listener and observer. It's impossible for me to give a fair account of what I've learned from him – maybe he knows that better than I do. Anyway, what follows are some thoughts so that his influence may shine through.

I've always felt that Detlef thinks deeply and carefully about the important stuff. Still, when I remind myself of the many things he has told me, I often only now get an idea of how deep and careful his thoughts have been; I wrongly thought I understood those then.

“To think deeply and carefully” may sound like a platitude – can't we assume, after all, that scientists do think deeply and carefully? – it is no platitude, however. Science is like most other businesses in this respect; being smart and clever correlates much more strongly with success according to society's common metrics than does careful and deep thinking. The latter demands a costly investment regarding one's mental resources (that often conflicts with the demands of the former)

and requires an independent mind few possess. Detlef always seems to be prepared to make that costly investment and he certainly possesses a pretty independent mind.

To have the confidence to develop an independent mind is therefore a lesson to be drawn. Immediate negative consequences to one's personal affairs may be faced, but the insights to be gained from applying an independent mind are plentiful. Put more radically, the careful thinking of an independent mind helps to do "the right thing". The dependent mind depends on other minds' prudence – not a wise proposition as becomes evident by looking around. By the way, Detlef cares a lot about doing "the right thing".

A deeply and carefully thought-out insight often is understood by someone else only after long and hard reflection. Any meaningful conversation about such insight may therefore demand precious time, but not everyone is prepared to spare the necessary resources. The independent mind can live without approval, though.

True insight is gained from what can be understood. What isn't understood will stay mystical. In science, there will always be techniques one can learn the way one learns a cooking recipe, with not much insight to be acquired. If some do, in fact, get deep insight from those techniques, so be it. It's their business to communicate this insight and, of course, our business to understand what is communicated – a business, I venture to say, Detlef takes seriously.

Detlef takes seriously, too, the young aspiring scientists who attend his lectures or step into his office. They will naturally lack the foundation to fully grasp what's being offered. What they will get, though, are fine pieces of wisdom, guidance, trust in their abilities, and the necessary tools. Moreover, there is much to be learned from carefully observing a

teacher's conduct.

Being not only a great teacher of science, Detlef cares deeply about his fellow human beings. We as his current and former students richly benefit(ed) from this, but that's beside the point; we can learn much from his appreciation of humanity.

Regarding concrete lessons to be learned in physics and mathematics, you are referred to others' contributions.

Stefan Teufel

Lieber Detlef,

als ich die erste Vorlesung bei Dir hörte, warst Du genauso alt wie ich jetzt. Du bist seitdem in meinen Augen nicht gealtert. Mein Blick auf die Dinge hat sich allerdings sehr verändert.

Während ich zunächst Deine nachdrückliche Art noch etwas seltsam fand, so kann ich mittlerweile Dein manchmal auch körperlich deutlich werdendes Ringen um die Köpfe und das Verständnis der Studenten sehr gut nachvollziehen. Auch die Verzweiflung, dass nur so Wenige verstehen (die ich jetzt einfach mal auch bei Dir diagnostiziere), habe ich immer wieder selbst erleben müssen. Die Größe Deiner und mittlerweile auch meiner Aufgabe wird mir immer mehr bewusst. Du hast zumindest einige Studenten erreicht und ich würde mich sehr glücklich und erfolgreich schätzen, wenn ich am Ende meiner Karriere so viele gute Schüler gehabt hätte wie Du bis jetzt schon vorweisen kannst.

Obwohl ich in Deinen Vorlesungen vermutlich nicht mehr Mathematik gelernt habe als in jeder anderen guten Vorlesung,

so habe ich nur bei Dir gelernt auch in konzeptionellen Fragen die gleichen rigorosen Ansprüche anzulegen. Ohne diese Schule hätte ich es nie geschafft, mich mit meinen eher durchschnittlichen technischen Fähigkeiten wissenschaftlich zu etablieren.

Vielen Dank dafür, für Deine Unterstützung und Deine Freundschaft.

Die Zukunft der Bohmschen Mechanik

Lieber Detlef, es war ein großes Glück, dass ich Dich getroffen habe, und dass es mir ermöglicht wurde, unter Deiner Anleitung zu promovieren! Wenn ich nicht jemanden gehabt hätte, der in der Quantenphysik durchschaut, was echte Wissenschaft ist, was Verwirrung und was bloßes Getue, wie oft wäre ich in die Irre gegangen. Wie viel Mühe hätte ich auf unnütze Ansätze vergeudet. Wie schwer wäre es mir gefallen, die Klarheit zu erreichen, die ich von Dir ganz einfach lernen konnte. Natürlich war es nicht alleine Glück, aber Glück spielte eben auch eine große Rolle. Ich habe die Entscheidung, über Bohmsche Mechanik zu forschen, nie bereut, obwohl sie durchaus riskant war (und vielleicht auch bleibt).

In einem Punkt bin ich pessimistisch: Ich glaube nicht, dass sich die Bohmsche Mechanik in den nächsten hundert Jahren durchsetzt. Ich denke, sie wird wie bisher koexistieren neben Viele-Welten und orthodoxen Auffassungen, als Minderheitenmeinung. Aber das soll uns nicht deprimieren! Vielmehr soll es uns ein Privileg sein, zu einem kleinen Zirkel von Vordenkern zu zählen, wie einst die nichteuklidischen Geometer. So bietet sich uns die Möglichkeit, als erste zu ernsthaf-

ten (nämlich Bohm-haften) Theorien der QED und Quantengravitation (QG) vorzustoßen.

Lass mich meine Vision dieser Theorien skizzieren. Ich meine, dass auch Quantenfeldtheorie eine Teilchen-Ontologie haben sollte, keine Feld-Ontologie. „Is it not clear from the smallness of the scintillation on the screen that we have to do with a particle?“ (Quellenangabe überflüssig.) Diese Überlegung scheint mir so naheliegend, und der Gedanke, dass andere Mechanismen ohne Teilchen zu einem Punktemuster auf dem Schirm führen könnten, so gekünstelt, dass ich schliesse, dass Elektronen, Positronen, Quarks und Photonen wohl Teilchen sein müssen. Eine entscheidende Hürde im Moment ist, dass für Teilchen mit Spin $> \frac{1}{2}$ keine überzeugende Formel für den Wahrscheinlichkeitsstrom vorliegt. Wie dem auch sei, die Gleichungen für die Wellenfunktion sollten in der Ortsdarstellung am einfachsten sein und sollten Mehr-Zeit-Gleichungen sein, während die Bewegungs-Gleichungen für die Teilchen eine spezielle 3-Blätterung benutzen, die aber unbeobachtbar bleibt. (Ich weiß schon, dass diese Theorie vielen Leuten nicht schmecken wird.) In puncto Teilchen-Erzeugung und -Vernichtung liegen unsere Papiere zum minimalen Sprungprozess goldrichtig. Desweiteren scheint mir, dass die Ähnlichkeiten zwischen Elektrodynamik und Gravitation kein Zufall sind, sondern eine Wesensverwandtschaft anzeigen. Ich erwarte daher nicht nur die Existenz von Gravitonen-Teilchen, sondern auch, dass QED und QG etwa gleich schwierig sind. Wir müssen womöglich über QG nachdenken, um QED zu verstehen.

Die richtige QG wird meines Erachtens eine Lorentz-Metrik liefern, definiert auf einer 4-Mannigfaltigkeit, in der auch die Teilchenbahnen liegen. Das wirft die Frage auf, ob die Gravitation (bzw. der Elektromagnetismus) durch die Metrik

(bzw. eine $U(1)$ -Zusammenhangsform) oder durch Gravitonen (bzw. Photonen) vermittelt wird. Mein Tipp: durch beide, arbeitsteilig. Gut möglich, dass verschiedene Paare $(g_{\mu\nu}, \psi)$ aus Metrik und Gravitonen-Wellenfunktion mit denselben Beobachtungsdaten kompatibel sind, und wieder, wie schon bei der 3-Blätterung, angenommen werden muss, dass genau ein Paar $(g_{\mu\nu}, \psi)$ realisiert ist, das aber nicht empirisch identifiziert werden kann. Vielleicht sollte die Metrik $g_{\mu\nu}$ von der Teilchen-Konfiguration abhängen; unklar ist aber, wie dann die Mehr-Zeit-Gleichungen konsistent sein können. Unwahrscheinlich scheint mir, dass die Wellenfunktion eine Funktion auf einem Raum von Metriken sein könnte; ich habe große Zweifel an Wellenfunktionen auf ∞ -dimensionalen Konfigurations-Räumen (zuma $|\psi|^2$ dort kein Maß definiert, aber auch aus Zweifel am Konzept der „Quantisierung“) und ziehe lokalendlich-dimensionale Konfigurations-Räume wie $\bigcup_{N=0}^{\infty} N\mathbb{R}^3$ vor. Pseudo-Differenzial-Operatoren sollten im Hamiltonian nicht vorkommen, nur echte Differenzial-Operatoren. Ich hege die Hoffnung, dass die Ultraviolett-Divergenz in der QG einfach nicht auftritt, weil $g_{\mu\nu}$ auf den Teilchenbahnen singular ist und es deswegen keinen Unterschied mehr macht, ob das Teilchen über seinen Schwarzschild-Radius ausgeschmiert oder ein Punkt-Teilchen ist. Völlig unklar ist mir aber, was aus dem Dirac-See wird, welcher Unterraum den „Unterraum positiver Energie“ darstellt, auf dem der Hamiltonian nach unten beschränkt ist, und so weiter.

So schwebt mir die Zukunft der Bohmschen Mechanik vor.

Lieber Detlef, lass Dir zu Deinem sechzigsten Geburtstag ganz herzlich gratulieren. Danke für viele Jahre der Freundschaft, Kollegialität, Zusammenarbeit und Inspiration! Bleib wie Du bist.

Bohmian identical particles and not more than that

Introduction

I remember well the day I met Detlef for the first time to discuss about a topic for a diploma thesis. On my list of questions, I had the following one which Detlef liked most. Given the configuration space of identical particles

$$Q_{ID} = (\mathbb{R}^{3N} - \Delta)/S_N,$$

where Δ is the set of coincidences, is there a link to the Coulomb potential

$$\sum_{j=1}^N \sum_{k>j}^N \frac{1}{|q_j - q_k|}$$

due to the permutation symmetry and the inequality $k > j$ in the sum?

In the proceedings of my thesis, Detlef encouraged me to tackle this question by searching for a relation between external symmetries associated to Q_{ID} , local gauge symmetries in the bundle picture and topological effects in quantum mechanics from the Bohmian perspective.

As ambitious it may sound for a diploma thesis in the retrospective, the basic idea was, on the contrary, very simple: Consider Bohmian identical particles and try to derive ‘everything’ from that setting.

Indeed, after six years, I believe it would be worthwhile to actualize and reflect this idea once again, in particular by recalling the relation between the configuration space of identical particles Q_{ID} and the identification of Bosonic and Fermionic wave functions induced by the virtue of Bohmian vector fields

$$v^\psi \equiv \text{Im} \frac{\nabla \psi}{\psi}$$

on $\mathbb{R}^{3N} - \Delta$. Here, I would like to make a brief review on this relation with particular attention to open questions induced by the set of coincidences Δ . Indeed, most of these questions have been discussed and denoted by Detlef as “lauter lose Enden”. Rather to answer these questions, I’ll (therefore) try to outline a relation between these questions in the spirit of Detlef’s strong believe on *simplicity* in physics — *Thank you, Detlef, for teaching me this (probably, only true a priori) first principle!*

Non-colliding identical particles

Start with a Bohmian vector field v^ψ on the covering space

$$Q = \mathbb{R}^{3N} - \Delta$$

of the configuration space of non-colliding identical particles

$$Q_{ID} = (\mathbb{R}^{3N} - \Delta)/S_N, \quad (17.1)$$

where Δ is the set of coincidences. This space is a well-defined manifold which looks only locally like the ordinary configuration space \mathbb{R}^{3N} of ‘labeled’ particles. The vector field v^ψ projects to Q_{ID} according to the diagram

$$\begin{array}{ccc} Q & \xrightarrow{v^\psi} & TQ \\ \pi \downarrow & & \downarrow \pi_* \\ Q_{ID} & \xrightarrow{\pi_* v^\psi} & TQ_{ID}, \end{array}$$

if $\psi \in \mathcal{F}(Q)$ transforms under the character representations

$$\pi_1(Q_{ID}) \rightarrow GL(1, \mathbb{C}) = \mathbb{C}^*$$

of the fundamental group $\pi_1(Q_{ID}) \cong S_N$ [1]. By the virtue of these representations given by the trivial and the alternating representation, the wave functions on Q can only be either symmetric or antisymmetric under transpositions of identical particles. This is the well-known Fermi-Bose-alternative, being globally most accurately described in terms of Fermi- and Bose-line bundles over Q_{ID} , defined as associated complex line bundles of the $\pi_1(Q_{ID})$ -principal bundle $Q \rightarrow Q_{ID}$ [2]. Fermions are therefore sections in a line bundle rather than wave functions on Q_{ID} .

Colliding identical particles

What happens when identical particles collide? Note that the configuration space of N non-colliding identical particles is isomorphic to the space of subsets of \mathbb{R}^3 with N elements. Hence, when two identical particles collide we may have a transition from a N to a $N - 1$ non-colliding identical particle

configuration. This actually, leads to a couple of interesting questions which I would like to outline as follows.

First we note that such a setting calls for creation and annihilation processes by transitions between the strata of a stratified configuration space

$$\bigcup_{k=1}^N (\mathbb{R}^{3k} - \Delta) / S_k \quad (17.2)$$

with variable particle numbers, as used for topological proofs of the spin statistics theorem [3], or quantum field theoretic extensions of Bohmian mechanics with $N = \infty$ [4]. The latter approach is deterministic on each strata and stochastic between the strata.

By including the set of coincidences Δ in (17.1) we get a *symmetric product orbifold*

$$Q_{ID}^\wedge = \mathbb{R}^{3N} / S_N \quad (17.3)$$

– a set which looks only locally like a quotient manifold. As being not a manifold, the question arises how to construct a (globally) well-defined *deterministic* point particle dynamical system on such a space. The situation appears most tractable here by going to even dimensions:

1. The symmetric product of 2-spheres is isomorphic to the space of complex rays according to the Majorana-representation [5]

$$\mathcal{R}(\mathbb{C}^{N+1}) \cong (S^2)^{\times N} / S_N. \quad (17.4)$$

An instance of a dynamical system on this space is given by the projection of a quantum evolution on a finite dimensional Hilbert space $\mathcal{H} \cong \mathbb{C}^{N+1}$ yielding a Riccati-equation on the corresponding projective Hilbert space

[6]. Given a finite dimensional manifold M , it would be interesting to prove such a relation for

$$\mathcal{R}(L^2(M)) \cong \lim_{N \rightarrow \infty} (S^2)^{\times N} / S_N \cong \bigcup_{k=1}^{\infty} ((S^2)^{\times k} - \Delta) / S_k \quad (17.5)$$

within ‘existing’ axiomatic QFTs in 2 dimensions from a point particle dynamical perspective.

2. Inspired by Dirac’s multi-time formulation relating each particle its own time [7], one may consider for identical particles on space time

$$\mathbb{R}^{4N} / S_N \cong \mathbb{C}^{2N} / S_N.$$

This orbifold admits a resolution of its singularities by the so called *Hilbert-Chow morphism*

$$(\mathbb{C}^2)^{[N]} \rightarrow \mathbb{C}^{2N} / S_N,$$

involving the notion of *Hilbert schemes*¹ [8]. The Hilbert scheme $(\mathbb{C}^2)^{[N]}$ has the structure of a Hyper-Kähler-manifold and might therefore give the possibility to establish a dynamical system by means of generalized Poisson-brackets [9].

In all cases, one should be aware of the following: Including the coincidences changes the topology of the configuration space and therefore the fundamental group. A global extension of Fermions seems in this regard not to be the case, as being a priori only defined on each single stratum of (17.2) but not between the strata. Actually, the situation may differ when taking into account supersymmetric extensions [10].

¹I thank Michael Miesner for this reference.

Non-colliding identical particles revisited

Let us recall on this point the initial question: Given the configuration space of *non-colliding* identical particles

$$Q_{ID} = (\mathbb{R}^{3N} - \Delta)/S_N,$$

is there a link to the Coulomb potential

$$\sum_{j=1}^N \sum_{k>j}^N \frac{1}{|q_j - q_k|},$$

due to the permutation symmetry and the inequality $k > j$ in the sum?

Obviously, removing the set of coincides would be a natural step in the presence of a Coulomb potential. But what about the inverse direction, i.e., does Q_{ID} imply the Coulomb potential?

Actually, since we know that Q_{ID} implies two distinguished classes of wave functions, we may ask whether there are wave functions in these classes implying the Coulomb potential. In this regard we observe:

Any ‘classical’ potential Φ may be derived from the kernel of the Schrödinger-operator

$$H\psi_0 = (\Delta - \Phi)\psi_0 = 0,$$

yielding

$$\Phi = \Phi^{\psi_0} := \frac{\Delta\psi_0}{\psi_0}, \quad \psi_0 \in \text{Ker}(H).$$

The case of a Coulomb potential in one dimension $\Phi_C(x) = 1/|x|$, for instance, may be seen generated from a family of superpositions

$$\psi_0(x) = c_1 \sqrt{x} I_1(2\sqrt{x}) - c_2 \sqrt{x} K_1(2\sqrt{x}),$$

where I_1 and K_1 denote modified Bessel functions of first and second kind respectively. Hence, it would be interesting to identify the Kernel associated to the Coulomb potential in three dimensions for N particles to see whether there is a link to Fermions and Bosons.

As a matter of fact, this could be the case, at least for the definition of *supersymmetric ground states* [10] induced by the *supercharge operator* S and its adjoint S^* defined by $\frac{1}{2}[S, S^*] \equiv H$. In this regard we note: The free particle case $\Phi = 0$ (or any other potential being free of Δ -singularities) does not imply any relation to the set of coincidences Δ from the orthodox perspective. From the Bohmian perspective however, it would be still possible to ask related questions along the set of coincidences stated either in terms of the Bohmian vector field or/and in terms of the Bohmian quantum potential

$$\operatorname{Re} \frac{\Delta\psi}{\psi} + \operatorname{Im}^2 \frac{\nabla\psi}{\psi} = \frac{\Delta R}{R}$$

with $\psi = Re^{iS}$ as follows:

1. Do classical potentials $V_{classical} \neq \Phi$ with Δ -singularities emerge in a certain – not necessarily classical – limit of the Bohmian quantum potential

$$\frac{\Delta R}{R} \approx? V_{classical}?$$

2. May the *quasi*-non-locality (i.e. the instantaneous but distance-dependent interaction) of the Coulomb-potential arise in a classical limit of entangled² wave functions?

²In contrast, whenever we start by simplicity (rather than by typicality)

3. May this quasi-non-locality be encoded in Fermionic and Bosonic wave functions

$$\Psi(x, y) = \phi(x)\varphi(y) \pm \varphi(x)\phi(y) \neq \phi(x)\varphi(y)$$

appearing obviously *not* as ordinary product wave functions?

4. Does the quantum potential define a supersymmetric extension?

Given the Coulomb potential in three dimensions for N particles, we may encounter also magnetic fields, in particular, by the virtue of boost transformations³. The presence of magnetic field on the other hand, may call within the coupling

$$\vec{\sigma} \cdot \vec{B}. \quad (17.6)$$

for spin-1/2 valued wave functions – and finally – for the question how to prove the spin statistics connection on the basis of

with a product wave function, it is the presence of a classical potential $\Phi \neq 0$ which induces the entanglement along the Schrödinger evolution. Hence, once we intent to discuss the Bohmian quantum potential as a possible *entanglement measure* (In analogy to $|\psi|^2$ we may think here more precisely in terms of an entanglement *density* to be integrated over the configuration space to obtain a measure of entanglement), these measures may be classified in dependence of the classical potential Φ , as one intuitively expects that the notion of a distance on the (non-local) unitary orbit generated by Φ provides an entanglement measure – as being solidified in the finite dimensional case in terms of the pull-back of the Fubini-Study metric [11]. A relation between the Fubini-Study metric and the quantum potential has been discussed in [12].

³Boost transformations e^{iqv} are local gauge transformations $e^{i\alpha(q)}$ but not vice versa. The situation may differ in presence of a Coulomb potential – or more general – for a non-linear transformation of the configuration space $q \mapsto f(q)$ with $\alpha(q) \equiv f(q)v$.

Bohmian identical particles. I would like to conclude here by proposing a possible first step in this direction by actualizing the initial question into following conjecture:

The Bohmian quantum potential defines a bijection between a subset of Fermions and an orbit of boost product representation actions on the Coulomb potential.

Stated differently, relating Fermions to magnetic fields, could turn out to be equivalent in relating those Fermions to spin-1/2 valued wave functions.

- [1] D. Dürr, S. Goldstein, J. Taylor, R. Tumulka, and N. Zanghì. Topological Factors Derived from Bohmian Mechanics. *Annales Henri Poincaré*, 7:791–807, May 2006.
- [2] G. F. Volkert. Topologische Effekte der Quantentheorie aus Bohmscher Sicht. *Diploma Thesis, TU München*, 2006.
- [3] A. P. Balachandran, A. Daughton, Z.-C. Gu, R. D. Sorkin, G. Marmo, and A. M. Srivastava. Spin-Statistics Theorems Without Relativity or Field Theory. *International Journal of Modern Physics A*, 8:2993–3044, 1993.
- [4] D. Dürr, S. Goldstein, R. Tumulka, and N. Zanghì. Bohmian Mechanics and Quantum Field Theory. *Physical Review Letters*, 93(9):090402–+, August 2004.

- [5] E. Majorana. Atomi orientati in campo magnetico variabile. *Il Nuovo Cimento*, 9:43–50, 1932.
- [6] J. F. Cariñena, J. Clemente-Gallardo, and G. Marmo. Reduction Procedures in Classical and Quantum Mechanics. *International Journal of Geometric Methods in Modern Physics*, 4:1363–+, 2007.
- [7] P. A. M. Dirac, V. A. Fock, and B. Podolsky. On Quantum Electrodynamics. *Physikalische Zeitschrift der Sowjetunion, Reprinted in J. Schwinger (ed.): Quantum Electrodynamics, Dover Publishing (New York 1958)*, 2(468), 1932.
- [8] H. Nakajima. Lectures on Hilbert schemes of points on surfaces. *AMS Univ. Lecture Series*, 18, 1999.
- [9] R. Ibanez, M. de Leon, J. C. Marrero, D. M. de Diego, and E. Padron. Some Generalizations of Poisson and Jacobi Structures. *Proceedings Ist International Meeting on Geometry and Topology Braga (Portugal)*, 1998.
- [10] R. Dijkgraaf. Fields, Strings, Matrices and Symmetric Products. *Moduli of curves and abelian varieties, Vieweg*, pages p. 151–199, December 1999.
- [11] P. Aniello, J. Clemente-Gallardo, G. Marmo, and G. F. Volkert. Symplectic eigenvalues yield efficient local estimation for weakly entangled qubits. *preprint*, May 2011.
- [12] R. Carroll. Fisher, Kähler, Weyl and the quantum potential. *arXiv:quant-ph/0406203*, July 2004.

How I got Bohmian

Today Bohmian Mechanics is for me something self-evident, besides being my main occupation. But just two years ago my opinion on it was much different... This is the story of this change, a story that you know very well, but also a very important one for me, something for which I am very grateful to you. That's why I will tell it to you anyway.

The story starts in Naples, when I attended the Quantum Mechanics class. During the first lecture I had many questions in my head and as me any other student in the room; we were all puzzled about this strange world that the Professor was describing us and that was supposed to be our world. He told us that our feeling was normal and occurred to any student at our stage and that it was not going better, but at least with time we would get used to it. And so it went.

I hoped to get some answer with time. Class after class I was always left with the same questions and no answer, until the hope vanished, overcome by habit and things to do. I even forgot the questions and had the impression to start understanding, as the formalism became more robust and familiar. But the bad feeling never went away.

When I got in touch with Quantum Field Theory I got an injection of new hope, as everybody was telling that it was the “definitive theory”, able to explain any observed phenomenon and affected only by superficial mathematical problems. I found it a mess.

The weak and strange connection between the theory and the reality in Quantum Mechanics was now even weaker and stranger, consisting only in the equality of a couple of predictions and measures. But so many people so enthusiastic about it must have had a good reason! I decided then to go further, trying harder to get it. So I chose it as topic for my Master Thesis; after having carried it out I did not have even the impression of understanding the theory. And of course, the bad feeling was still there.

Still, I wanted to go on trying to understand, insisting with Quantum Field Theory or even getting to String Theory, if it could help. Contrary to this attitude, Rodolfo suggested me to contact you, but I did not want to: *you were a Bohmian!* I knew almost nothing about Bohmian Mechanics, but I had heard something about the *Bohmian sect*: consisting of few crackpots spread out around the world, isolated by any other physicists, and closed in their old, rigid, ideological positions that they defended blindly and belligerently against any new point of view... more or less like those Japanese soldiers still shooting everyone who tries to get on their island 30 years after the end of the WWII, just because unable to accept the idea that the Japanese Empire failed.

Nonetheless, I came to Munich. Why? This remains unclear to me. Probably Fate, or in modern terms Chance. Sure is, that I came under the condition that I did not have anything to do with Bohmian Mechanics, showing that it really was a work of Fate.

Surprisingly, nobody was speaking about Bohmian Mechanics and I was happily left far from it. But in that period *The Book* was in print. I was rather curious about it, my curiosity being increased probably also by the total lack of pressure to get me joining the sect. I was waiting for its delivery to buy it when I got it as a present from you with this wonderful dedication:

*Lieber Nicola
ich hoffe du nimmst
dieses Buch als Einstieg
in eine wunderbar klare
Weltsicht.*

I thought you were just alluding to the adhesion to the sect, but I was wrong.

I read the book at a breath without consciously judging its content until the end, but as the “first-QM-day” questions got an answer one after the other I sensed the bad feeling slowly fading away, and finally disappearing: *I was a Bohmian!*

Everything was now clear, no mystery, no romance, no act of faith, it was wunderbar! I wanted to tell to all of my friends that the answer to our old questions about Quantum Mechanics existed and was even easy, so as soon as I went to Naples I brought the Bohmian fire and its light with me. But my friends were all too busy with their own work to spend time on something that did not seem likely to help them make progress with their real problems.¹

This was a lesson too. And yielded me the nickname “The Bohmian”.

¹Adapted from the well-known letter by Steven Weinberg to Shelly.

But all this is just the minor part of the story. What I really learnt from Bohmian Mechanics is how professional theoretical physics looks like: critical, deep, coherent, and wunderbar thinking about our world. This is a simple lesson, even obvious, but it is also the biggest lesson that we can learn from the Physics of the last century.

I am enormously grateful to you for this obvious lesson.

Afterword

A Poem: For Detlef Dürr

Let's hear a cheer for Detlef Dürr!
In matters of quantum he hasn't a peer!

He believes in Bohm,
Like a Catholic in Rome,
And in the reality
Of quantum non-locality.

He's friendly and kind,
But you must bear in mind
That to dissidents – woe –
He's a formidable foe!

He's famous for science,
But as a musician
He maintains an equally
Stellar position.

He plays the guitar
Like a real rock star!

Detlef is also
A family man – a
Devoted father
To Sarah and Anna.
And likes to play love songs
Upon his harmonica
To capture the smiles of
His lovely Veronika.

Now let me declare,
As my elegy ends,
I'm glad to be counted
Among his good friends.
We love and admire him,
And now let us say:

HAPPY BIRTHDAY!! And
Many returns of the day!!

Ann and Joel Lebowitz

