

## Alice und Bob

(B. Blauensteiner & P. Brandlmayr)

Erste Ergebnisse des vorliegenden EPR-Experiments bestätigen, dass sich in der Verbindung zwischen Alice und Bob jene Effekte widerspiegeln, mit denen Einstein, Podolsky und Rosen 1935 entgegen ihrer ursprünglichen Intention eine experimentelle Stärkung der Quantenmechanik ermöglichten. Alice und Bob verhalten sich demnach nicht so, wie es ein klassisches Bild der Wirklichkeit erwarten lassen würde, oder anders ausgedrückt: eigentlich ist hier Bob das Hausmädchen.

B

Er hatte keine Ahnung wie lange er am Ufer des Flusses gesessen hatte. Er wußte nur, daß er plötzlich überlegte ob es der Mühe werth sei aufzustehen und Gänseblümchen zu pflücken, als plötzlich ein kleines weißes Kaninchen mit rothen Augen dicht an ihm vorbeirannte. Dies war grade nicht sehr merkwürdig; Bob fand es auch nicht sehr außerordentlich, daß er das Kaninchen sagen hörte: "O weh, o weh! Ich werde zu spät kommen!" Aber als das Kaninchen seine Uhr aus der Westentasche zog, nach der Zeit sah und eilig fortlief, sprang Bob auf; denn es war ihm doch noch nie vorgekommen, ein Kaninchen mit einer Westentasche und einer Uhr darin zu sehen.

„Ein wohldefinierter Wert der Ortskoordinate eines Teilchens ist nicht vorhersagbar, sondern muss durch eine direkte Messung erhalten werden.“ [EPR35]

dachte Bob und rannte brennend vor Neugierde, dem Kaninchen nach über den Grasplatz. Er kam gerade noch zur rechten Zeit, um es in ein großes Loch unter der Hecke schlüpfen zu sehen.  
Den nächsten Augenblick war er ihm nach.....

..... in das/ein Loch hineingesprungen, ohne zu bedenken, wie in aller Welt er/es wieder herauskommen könnte.....

Ehe Bob noch den Gedanken fassen konnte sich schnell festzuhalten, fühlte er, daß er fiel. Entweder mußte der Schacht sehr tief sein, oder er mußte sehr langsam fallen, dachte Bob; denn er hatte genug Zeit, sich beim Fallen umzusehen und sich zu wundern, was nun wohl geschehen würde.

A

Mithilfe der Schrödingergleichung können wir den Zustand des (von uns gewählten) Gesamtsystems A+B zu jeder späteren Zeit berechnen. Wir können allerdings nicht den Zustand berechnen, in dem sich eines der beiden Systeme nach der Wechselwirkung befindet. [EPR35]

Gehen wir einen Schritt zurück:

Im quantenmechanischen Fall schließt die Kenntnis einer, von zwei durch nicht-kommutierende Operatoren beschriebenen physikalischen Größen, die Kenntnis der anderen aus. [EPR35]

Allerdings: eine solche Messung stört das Teilchen und verändert dadurch seinen Zustand. Nachdem die Koordinate festgestellt wurde, befindet sich das Teilchen nicht mehr im ursprünglichen Zustand, sondern ist wie..... [EPR35]

vollständigen Theorie ein korrespondierendes Element für jedes Element der Realität gibt. (Das heißt) "Wenn wir, ohne auf irgendeine Art das System zu stören, mit Sicherheit (d.h. mit einer Wahrscheinlichkeit gleich Eins) den Wert einer physikalischen Größe vorhersagen können, dann existiert ein Element der Realität, das dieser physikalischen Größe entspricht."

B

Zuerst versuchte er hinunter zu sehen, um zu wissen wohin er käme, aber es war zu dunkel um etwas zu erkennen. Da besah er die Wände des Brunnens und bemerkte, daß sie mit Küchenschränken und Bücherbrettern bedeckt waren; hier und da erblickte er Landkarten und Bilder, an Haken aufgehängt. Von einem der Bretter nahm er im Vorbeifallen ein Töpfchen mit der Aufschrift:

Teilchen mit einem einzigen Freiheitsgrad.,

Zu seinem großen Verdruß bemerkte Bob aber daß es leer war.

"Nun!" dachte Bob bei sich, "nach einem solchen Fall werde ich mir in Zukunft nichts daraus machen, wenn ich die Treppe hinunter stolpere. Er lachte dabei und sagte zu sich: "Wie viele Meilen ich wohl jetzt gefallen bin!" "Ich muß ungefähr am Mittelpunkt der Erde sein. Laß sehen: das wären achthundert und funfzig Meilen, glaube ich -; " (denn ihr müßt wissen, Bob hatte dergleichen in der Schule gelernt, und obgleich dies keine sehr gute Gelegenheit war, seine Kenntnisse zu zeigen, so übte er es sich doch dabei ein.) .

"Ob ich wohl ganz durch die Erde hindurch fallen werde!" dachte Bob, und „ Wie komisch das sein wird, bei den Leuten heraus zu kommen, die auf dem Kopf gehen!“ „Ich werde dort fragen müssen, wie das Land heißt und er verstellte seine Stimme und sagte: „Bitte, liebe Dame, ist dies Neu-Seeland oder Australien?“ (Und er versuchte sich dabei zu verbeugen.)

Währenddessen fiel Bob immer weiter, und er konnte nichts dagegen thun. Als Bob sich gerade wunderte warum er ausgerechnet jetzt an Alice denken mußte, da landete er plötzlich auf einem Haufen aus trockenem Laub und Reisig. Der Aufprall war so weich, daß Bob sogleich aufstand, ohne daran zu denken, daß er sich verletzt haben könnte.

Alice sah in die Richtung aus der Bob gekommen war, konnte dabei aber nichts entdecken, außer einen schwarzen Schacht, der in die Dunkelheit führte.

Bob begann sich vorerst einmal umzusehen und bemerkte, daß er sich in einem langen Corridor befand an dessen beiden Seiten Türen waren;

A

So ist entweder (1) die Beschreibung der Realität durch die Wellenfunktion in der Quantenmechanik nicht vollständig oder (2) diese beiden Größen können nicht gleichzeitig eine Realität besitzen. Um dies zu veranschaulichen, (betrachten wir vorerst einmal) die quantenmechanische Beschreibung für ein..... [EPR35]

seine Wellenfunktionen  $\Psi$  charakterisiert angenommen wird, welche eine Funktion der Variablen ist, die gewählt wurden um das Verhalten des Teilchens zu beschreiben.

Welche Bedeutung auch immer dem Begriff 'vollständig' zugeschrieben wird, die folgende Forderung an eine vollständige Theorie scheint eine notwendige zu sein: jedes Element der physikalischen Realität muss ein Gegenstück in der physikalischen Theorie besitzen. Wir nennen das die Vollständigkeitsbedingung. [EPR35]

Jeder physikalisch beobachtbaren Größe entspricht ein Operator, der mit demselben Buchstaben bezeichnet wird. [EPR35]

Die Elemente der physikalischen Realität können aber nicht durch philosophische a priori Überlegungen festgestellt werden, sondern müssen durch Berufung auf experimentelle Resultate und Messungen gefunden werden.

Nehmen wir also zu diesem Zweck die zwei Systeme Alice und Bob an, „ von denen wir die Zustände durch ihre jeweiligen Darstellungen kennen, (und lassen diese) durch bekannte Kräfte miteinander in vorübergehenden physikalischen Kontakt treten. [EPR35] Nehmen wir einmal an:

Ein erstes Treffen von Alice auf Bob, oder ein Telefonat. Vielleicht sprechen sie dabei auch über den langen Corridor in dem sie sich befinden.

B

Bob probierte ob diese sich öffnen ließen aber es waren alle verschlossen. Nun dachte Bob erstmals daran wie er hier je wieder heraus kommen könnte. Er ging in der Mitte des Ganges auf und ab und stand plötzlich vor einem kleinen dreibeinigen Tische, ganz von dickem Glas. Er wußte, daß dieses gewiß zuvor nicht hier gestanden war, aber nachdem er das winzige goldene Schlüsselchen gesehen hatte, daß auf dem Tischchen lag, vergaß Bob sich über das plötzliche Erscheinen des Tischchens zu wundern. Sein erster Gedanke war, daß dieser Schlüssel sicherlich zu einer der Thüren des Corridors gehören würde.

Um die Schlüsselverteilung zu beginnen, präpariert und sendet Alice (daher) eine zufällige binäre Folge von Quantensystemen an Bob, jeweils in den Zuständen  $|u_0\rangle$  und  $|u_1\rangle$ . [benett92]

Bob ging mit dem Schlüsselchen von Thür zu Thür, aber entweder waren die Schlösser zu groß, oder der Schlüssel zu klein; kurz, er paßte zu keiner einzigen. Als er das zweite Mal herumgegangen war, fand er jedoch eine kleine Thür, die er zuvor nicht bemerkt hatte. Also steckte er das goldene Schlüsselchen in's Schlüsselloch, und zu seiner großen Freude paßte es. Bob schloß die Thür auf und fand, daß sie zu einem kleinen Gange führte, nicht viel größer als ein Mäuseloch. Er kniete nieder und sah durch den Gang in den reizendsten Garten, den man sich denken kann. Wie wünschte er, aus dem dunklen Corridor zu gelangen, und unter den bunten Blumenbeeten und kühlen Springbrunnen umher zu wandern; aber er konnte kaum den Kopf durch den Eingang stecken.

„O, ich möchte mich zusammenschieben können wie ein Teleskop!“ Und er war davon überzeugt, daß dies ganz gewiß gehen würde, denn es war kürzlich so viel Merkwürdiges mit ihm vorgegangen, daß Bob anfang zu glauben, es sei fast nichts unmöglich. Nachdem er aber nicht wußte wie er es anstellen sollte, schien es ihm ganz unnütz, länger bei der kleinen Thür zu warten. Daher ging er zum Tischchen zurück, halb und halb hoffend, er würde noch einen Schlüssel darauf finden, oder jedenfalls ein Buch mit Anweisungen, wie man sich als Teleskop zusammenschieben könne.

Auf dem Tisch lag nun wirklich etwas, das gewiss vorhin noch nicht dort gelegen war.

Ein Fläschchen; und um den Hals des Fläschchens war ein Zettel gebunden, mit den Worten "Trinke mich!" wunderschön in großen Buchstaben drauf gedruckt.

A

Wenn wir nach einer Zeit gegenseitiger Beeinflussung diese Systeme wieder trennen, dann können A und B nicht mehr auf dieselbe Weise wie zuvor beschrieben werden, d.h. indem ihnen jeweils eine eigenständige Darstellungsform zugewiesen wird. Durch die Wechselwirkung wurden die beiden Darstellungen (der Quantenzustände) verschränkt. Dies ist *die* charakteristische Eigenschaft der Quantenmechanik, also jene, die die vollständige Abkehr von klassischen Gedankengängen erzwingt." [schrödinger35]

Solche Zustände können wider Erwarten aus manch einer verflixten Lage befreien.

Bob entscheidet dann zufällig und unabhängig von Alice für jedes System, es in  $P_0$  oder  $P_1$  zu messen. Als nächstes teilt Bob Alice öffentlich mit, in welchen Fällen seine Messung ein positives Ergebnis hatte (aber natürlich nicht, welche Messung er durchgeführt hat), und die beiden Beteiligten einigen sich darauf, alle anderen Fälle zu verwerfen. [benett92]

Wenn niemand gelauscht hat, sollten die übrig gebliebenen Fälle, ein Teil von ungefähr

$$(1 - |\langle u_0 | u_1 \rangle|^2) / 2$$

der ursprünglichen Versuche, perfekt korreliert sein, und sollten gänzlich aus den Fällen bestehen, in denen Alice  $|u_0\rangle$  gesendet hat und Bob  $P_0$  gemessen, oder Alice  $|u_1\rangle$  gesendet und Bob  $P_1$  gemessen. [benett92]

Eine Skizze einer Versuchsanordnung.

B

Es war bald gesagt, "Trinke mich", aber Bob wollte sich damit nicht übereilen. "Nein, ich werde erst nachsehen," sprach er, "ob ein Tottenkopf darauf ist oder nicht." Denn er hatte mehrere hübsche Geschichten gelesen von Kindern, die sich verbrannt hatten oder sich von wilden Thieren hatten fressen lassen, und in andere unangenehme Lagen gerathen waren, nur weil sie nicht an die Warnungen dachten, die ihre Freunde ihnen gegeben hatten; zum Beispiel, daß ein rothglühendes Eisen brennt, wenn man es anfaßt; und daß wenn man sich mit einem Messer tief in den Finger schneidet, es gewöhnlich blutet. Und er hatte nicht vergessen, daß wenn man viel aus einer Flasche mit einem Tottenkopf darauf trinkt, es einem unfehlbar schlecht bekommt.

Diese Flasche jedoch hatte keinen Tottenkopf. Daher wagte Bob schließlich davon zu kosten; und da es ihm gut schmeckte, so trank er die Flasche zur Gänze aus. "Was für ein komisches Gefühl!" sagte Bob darauf zu sich selbst, während er weitere Kompensationskristalle durchlief.....

..... die transversale und longitudinale Walk-Off Effekte kompensier(t)en.....

..... "Ich gehe gewiß zu wie ein Teleskop." Und so war es in der That: jetzt war Bob nur noch zehn Zoll hoch, und sein Gesicht leuchtete bei dem Gedanken, daß er nun die rechte Höhe habe, um durch die kleine Thür in den schönen Garten zu gehen. Aber, als er an die Thür kam, hatte er das goldene Schlüsselchen vergessen. Er ging nach dem Tische zurück, es zu holen, fand aber, daß er es unmöglich erreichen konnte.

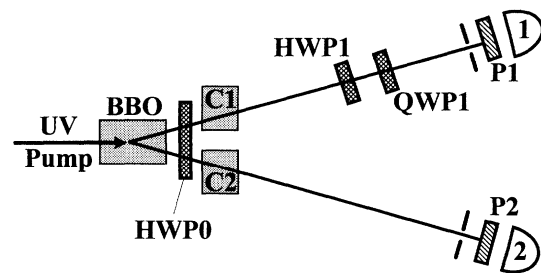
Bob gab sich alle Mühe an einem der Tischfüße hinauf zu klettern, aber sie waren zu glatt; und als er sich ganz müde gearbeitet hatte, setzte er sich hin und weinte.

"Still, was nützt es so zu weinen!" sagte Bob ganz böse zu sich selbst; in der Art wie er sich selbst oft guten Rath zuzusprechen pflegte.

Alice wußte, daß Bob diesmal nicht einmal helfen würde, wenn er wirklich zwei verschiedene Individuen sein würde. Und sie stellte sich vor, wie in einem solchen Falle das eine am Körper des anderen hinabsehen würde, und wie es sich wundern würde, daß immer noch genug übrig war um selbst eine eigene Person zu bilden!"

Als Bob darüber nachdachte, wie viel Gewicht eigentlich notwendig sei um eine eigene Person auszubilden, fiel sein Auge auf eine kleine Glasflasche, die unter dem Tische lag;

A



Die Quelle wird mit einem 15 mW, 405 nm violetten Diodenlaser gepumpt, der Photonenpaare von 810 nm durch Spontane Parametrische Fluoreszenz in einem  $\beta$ -Barium Borat Kristall erzeugt. Die Koinzidenz-Photonen haben eine Bandbreite von 5,8 nm. Diese Photonen durchlaufen weitere Kompensationskristalle,..... [kwiat95]

Der Kippwinkel dieser Kristalle wird zur Änderung der relativen Phase zwischen den horizontalen und vertikalen Polarisierungen benutzt um die Quelle so einzustellen, dass sie Photonenpaare im Singletzustand  $|\Psi\rangle$  erzeugt. [kwiat95]

Die Wechselwirkung eines Pumpfeldes mit einem  $\chi(2)$  nicht-linearen Medium führt mit einer geringen Wahrscheinlichkeit zur Konversion eines Pumpphotons, zu sogenannten Signal und Idler Photonen. [tanzilli01]

Denken wir zum Beispiel an Zweiphotonenpakete.

B

er öffnete sie und fand einen sehr kleinen Kuchen darin, auf welchem die Worte "Iß mich!" schön in kleinen Rosinen geschrieben standen.

"Gut, ich will ihn essen," sagte er, "und wenn ich davon größer werden, so kann ich den Schlüssel erreichen; wenn ich aber kleiner werde, so kann ich unter der Thür durchkriechen. Es ist mir einerlei wie, hauptsache ich gelange in den Garten.", dachte er.

Er aß ein Bißchen, und sagte neugierig zu sich selbst: "Aufwärts oder abwärts?" Dabei hielt er die Hand prüfend auf seinen Kopf und war ganz erstaunt zu bemerken, daß er dieselbe Größe behielt. Freilich geschieht dies gewöhnlich, wenn man Kuchen ißt; aber Bob war schon so an wunderbare Dinge gewöhnt, daß es ihm ganz langweilig schien, wenn das Leben so natürlich fortging.

Nachdem ihm der Kuchen aber schmeckte, aß er noch einen Bissen und da er ansonsten nichts zu tun hatte, hatte er schließlich den ganzen Kuchen verzehrt.

A

Wenn wir die zwei Photonen A und B dazu bringen können, gemeinsam durch ein Interferometer zu reisen, als ob sie sich in einem Paket befinden, können wir eine Wellenlänge messen, die einem Gebilde entspricht mit einer doppelt so großen Energie wie die des einzelnen Photons. [ribeiro00]

Alice blickte zum Ursprung der Pakete zurück.

Natürlich muss dieser Prozess, der als Spontane parametrische Fluoreszenz (SPF) bekannt ist, der Energieerhaltung

$$\omega_p = \omega_s + \omega_i$$

und Impulserhaltung

$$k_p = k_s + k_i$$

genügen, wobei die Indizes jeweils die Frequenzen und k-Vektoren von Pump, Signal und Idler Feld bezeichnen.

Die letztere Gleichung ist auch als die Phase-Matching Bedingung bekannt und kann trotz chromatischer Dispersion erreicht werden, indem verschiedene Polarisationen für die drei Felder eingesetzt werden. (sogenanntes doppelbrechendes Phase-Matching) [tanzilli01]

" Im Wechselwirkungsbild, kann der effektive Hamiltonoperator für den SPF Prozess von drei Moden folgendermaßen angeschrieben werden

$$H = \frac{i\hbar r}{2} \hat{a}_1^\dagger \hat{a}_2^\dagger \hat{a}_3 - \hat{a}_3^\dagger \hat{a}_2 \hat{a}_1 \quad \Bigg|$$

.....rief Bob. (Er war so überrascht, daß er im Augenblick seine eigene Sprache ganz vergaß) "Ich werde auseinander geschoben wie das längste Teleskop das es je gab! Lebt wohl, Füße!" sagte Bob, denn als er auf seine Füße hinabsah, konnte er sie kaum mehr zu Gesicht bekommen, so weit fort waren sie schon.

wobei  $\hat{a}_1, \hat{a}_2, \hat{a}_3, \hat{a}_1^\dagger, \hat{a}_2^\dagger, \hat{a}_3^\dagger$  die Vernichtungs- und Erzeugungsoperatoren jeweils für Signal, Idler und Pump Feld sind und der Kopplungs-Koeffizient r mit dem nichtlinearen Suszeptibilitätstensor 2. Ordnung  $\chi(2)$  und dem Pumpfeld verknüpft ist. [kwiat95]

"O meine armen Füßchen! wer euch wohl nun Schuhe und Strümpfe anziehen wird, meine Besten? Denn ich kann es unmöglich thun! Ich bin viel zu weit ab, um mich mit euch abzugeben! Ihr müßt sehen, wie ihr fertig werdet.

„Man muß gut zu ihnen sein“, sagte Alice zu Bob "sonst gehen sie vielleicht nicht, wohin wir gehen möchten. "Aber Bob konnte sie nicht hören.

Bob war mittlerweile so groß geworden, daß er mit dem Kopf an die Decke gestoßen war. Er bückte sich und nahm sogleich den kleinen goldenen Schlüssel auf den ihm Alice gesandt hatte und ging damit zur Thür. Aber an Durchgehen war weniger als je zu denken; das Höchste was er thun konnte war, auf der Seite liegend, mit einem Auge nach dem Garten hinunterzusehen; Bob setzte sich und fing wieder an zu weinen.

"Du solltest dich schämen," schimpfte Bob abermals mit sich selbst, weinte aber trotzdem fort, und vergoß Thränen eimerweise.

Als der halbe Corridor sich schließlich mit Wasser gefüllt hatte, hörte Bob plötzlich Schritte in der Entfernung. Er trocknete schnell seine Thränen, um zu sehen wer es sei. Es war das weiße Kaninchen, das prachtvoll geputzt zurückkam, mit einem Paar weißer Handschuhe in einer Hand und einem Fächer in der andern.

Es trippelte in großer Eile entlang vor sich hin redend: "Oh! die Herzogin, die Herzogin! die wird mal außer sich sein, wenn ich sie warten lasse!"

Bob war so rathlos, daß er jeden um Hilfe angerufen hätte. Als das Kaninchen daher in seine Nähe kam, fing er mit leiser, schüchterner Stimme an: "Bitte, lieber Herr. -; " Das Kaninchen fuhr zusammen, ließ die weißen Handschuhe und den Fächer fallen und lief davon in die Nacht hinein, so schnell es konnte.

„... entlang der zwei Richtungen ("1" und "2"), auf denen sich die Kegel überschneiden kann das Licht im wesentlichen durch einen verschränkten Zustand beschrieben werden.

Bob nahm dementsprechend den Fächer und die Handschuhe auf, und da der Gang sehr heiß war, fächelte er sich, während er zu sich selbst sprach Luft zu: " -; „Wie seltsam heute alles ist! Und gestern war es ganz wie gewöhnlich. Ob ich wohl in der Nacht umgewechselt worden bin? Aber wenn ich nicht derselbe bin: wer in aller Welt bin ich dann? "

Also folgt Alice den Strahlen, die in Bobs Richtung laufen.

Die Operatoren gehorchen (dabei) den bekannten bosonischen Vertauschungsrelationen. Die Wellenfunktion  $\psi$  der SPF gehorcht der Schrödinger Wellengleichung

$$i\hbar = \frac{d|\Psi\rangle}{dt} = H|\Psi\rangle \left| \right.$$

Durch Typ-II Phase-Matching werden die Fluoreszenzphotonen auf zwei Kegeln emittiert, einer horizontal polarisiert, der andere vertikal polarisiert.

[kwiat95]

„Nachdem Verschränkung ein Phänomen ist, bei dem zwei oder mehr Quantensysteme verbunden beschrieben werden müssen, kommt es zu Korrelationen, die mit einem lokalen Realismus in Widerspruch stehen.[brukner05]

B

Als er so sprach, sah er auf seine Hände hinab und bemerkte mit Erstaunen, daß er beim Reden einen von den weißen Glatze-Handschuhen des Kaninchens angezogen hatte. "Wie habe ich das nur angefangen?" dachte er. "Ich muß wieder klein geworden sein." sagte er und stand auf. Er ging nach dem Tische, um sich daran zu messen, und fand, daß er jetzt ungefähr zwei Fuß hoch sei, dabei schrumpfte er noch zusehends ein. Er merkte bald, daß die Ursache davon der Fächer war, den er hielt; er warf ihn schnell vor sich hin, gerade noch zur rechten Zeit, um sich vor dem gänzlichen Verschwinden zu retten. "Da hatte ich aber Glück!"

sagte Bob ohne zu wissen, daß Alice ebenso wie er selbst, vorerst sehr erschrocken über seine plötzliche Veränderung war, anschließend aber sehr froh war, daß Bob überhaupt noch existierte;

Bob lief nun eilig nach der kleinen Thür: Aber alles schien plötzlich wie verwandelt zu sein, der große Corridor mit dem Glastisch und der kleinen Thür war mit einem mal gänzlich verschwunden. Und Bob sah nun wieder das weiße Kaninchen, das langsam auf ihn zugewandert kam. Es blickte dabei sorgfältig auf den Boden, ganz so als ob es etwas verloren hätte und er hörte wie es für sich murmelte: "die Herzogin! die Herzogin! Oh, meine weichen Pfoten! o mein Fell und Knebelbart! Sie wird mich hängen lassen, so gewiß Frettchen Frettchen sind! Wo ich sie nur fallen gelassen habe, begreife ich nicht!"

Bob errieth augenblicklich, daß es den Fächer und die weißen Glatzehandschuhe meinte, und er fing ebenfalls an, danach umher zu suchen, aber sie waren nirgends zu sehen -;

Das Kaninchen erblickte bald auch Bob, und wie er überall suchte, rief es ihm ärgerlich zu: "Was, Bob, was hast du hier zu schaffen? Renne augenblicklich nach Hause, und hole mir ein Paar Handschuhe und einen Fächer! Schnell, vorwärts!" Bob war so erschrocken, daß er schnell in der angedeuteten Richtung fortlief.

"Es hält mich für sein Hausmädchen," sprach er bei sich selbst und lief weiter. "Wie es sich wundern wird, wenn es erfährt, wer ich bin! Aber ich will ihm lieber seinen Fächer und seine Handschuhe bringen", dachte Bob, als er so vor sich hinlief.

Mit der Zeit wurden seine Beine jedoch müde und so setzte er sich schließlich.....

..... als er an einen kleinen Fluß kam, an dessen Ufer und sah in das Wasser hinab.

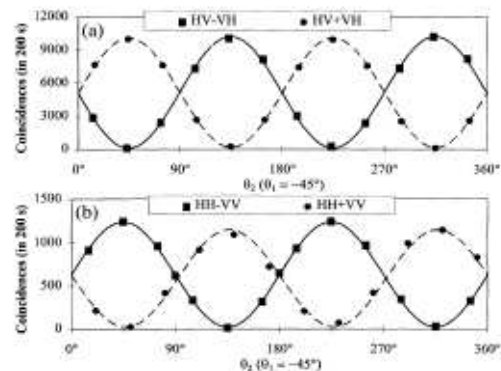
"Es war viel besser zu Hause," dachte Bob, "wo man nicht fortwährend größer und kleiner wurde, und sich nicht von Mäusen und Kaninchen commandiren zu lassen brauchte.

A

oder anders ausgedrückt:

$$|\psi\rangle = (|H_1, V_2\rangle + e^{i\alpha}|V_1, H_2\rangle)/\sqrt{2},$$

wobei H und V jeweils die horizontale und vertikale Polarisation bezeichnen. Die relative Phase  $\alpha$  wird durch die Doppelbrechung des Kristalls eingeführt. „Ein allgemeiner Phasenschub ist vernachlässigbar.“ [kwiat05]



(Und dabei zeigt sich,) dass Systeme an einem natürlichen Verlust der Quantenkohärenz leiden (oder davon profitieren), welche in die Umgebung "hinausrinnt". [zurek03]

Alice hatte mittlerweile beschlossen nach draußen zu gehen. Sie nahm Handschuhe und Fächer und verließ den Raum. Sie mußte an Bob denken, als sie so vor sich hin spazierte und setzte sich zur gleichen Zeit.....

Alice dachte währenddessen über die Ereignisse der letzten Stunden nach. Einigen Gedanken hätte sie dabei gerne mehr Substanz verliehen; und so begann sie mit der Zeit leise vor sich hinzumurmeln.

B

A

„Ich wünschte fast, ich wäre nicht in den Kaninchenbau hineingelaufen“ sagte Bob zu sich selbst....

Und dann kehrten Alice's Augen plötzlich an die Oberfläche zurück.

„Da nur das eine oder das andere, nicht aber beides gleichzeitig vorhergesagt werden kann... sind sie nicht gleichzeitig real.“  
[EPR35].sagte Alice leise.

Aber Bob konnte sie immer noch nicht hören. Seine Gedanken drehten sich im Kreis.  
„Was wäre, wenn dieser Satz nicht zutreffen würde?“ flüsterte er. Und so redete Bob fort;

Alice's Gedanken drehten sich nun im Kreis. „Was wäre, wenn dieser Satz nicht zutreffen würde?“ flüsterte sie und hatte das Gefühl daß Bob doch eben etwas ähnliches gesagt hatte, ohne daß sie ihn jedoch hätte hören können.  
In dieser Art sprach Alice weiter;

erst als eine Person, und dann als zwei.  
Und auf diese Weise hatten Alice und Bob eine lange Unterhaltung mit sich selbst. Und dabei vergaßen sie mit der Zeit das Kaninchen, samt Fächer und Handschuhe.  
.....Schließlich sagte.....

.....Bob.....

.....Alice.....

.....aber nichts mehr.

Er saß am Ufer des Flusses und sah ins Wasser hinab.

Sie saß am Ufer des Flusses und sah ins Wasser hinab.

## Literatur

- [bennet02] Bennett, C. H., *Quantum cryptography using any two nonorthogonal states*, Phys. Rev. Lett. 68, 21, pp. 3121 - 2124. (1992)
- [brukner05] Brukner, C., et al., *Entanglement-assisted Orientation in Space*, arXiv:quant-ph/0509123 (2005)
- Carroll, L.: *Alice's Abenteuer im Wunderland*; Aus dem Englischen von Antonie Zimmermann; Autorisierte Ausgabe. Leipzig Johann Friedrich Hartknoch.
- [EPR35] A. Einstein, B. Podolsky and N. Rosen, *Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete?*, Phys. Rev. 47, 777. (1935)
- Krylov, V: Manuskript III; (1984-1993)
- [kwiat95] Kwiat, P. G., et al., *New High-Intensity Source of Polarization-Entangled Photon Pairs*, Phys. Rev. Lett. 75, 4337 - 4341 (1995)
- [ribeiro00] Ribeiro, S., *On The Biphoton Wavelength*, arXiv:quant-ph/0009112 (2000)
- [schrödinger35] Schrödinger, E., Proceedings of the Cambridge Philosophical Society, Vol. 31, p.555. (1935)
- [tanzilli02] Tanzilli, S. et al., *PPLN waveguide for quantum communication*, Eur. Phys. J. D 18, 155-160 (2002)
- [zurek03] Zurek, W., *Decoherence and the transition from quantum to classical – REVISITED*, arXiv:quant-ph/0306072 (2003)