

Vom Chaos zur Endophysik: F. Rötzer (Hrsg.), München
RÖTZER, VOM CHAOS ZUR
ENDOPHYSIK, PIPER 1994

OTTO E. RÖSSLER · REIMARA RÖSSLER · PETER WEIBEL

Die Welt als Schnittstelle (1994)

S. 369-381

1. Einleitung

Die *Stellung des Menschen im Kosmos* (Max Scheler) ist immer noch eine Frage wert. Statt »Kosmos« sollte es heute allerdings eher »Medium« heißen, da man sich nie in der Welt selbst befindet, sondern immer nur ihrem Abbild begegnet, wie es sich auf dem Bildschirm des subjektiven Erlebens abzeichnet. Letzterer Film ist das primäre and strenggenommen einzige Medium (frei nach Descartes).

Die rekursive Beziehung zwischen Medium und Beobachter ist eine mathematische Herausforderung, die noch nicht gelöst ist. Die Lösung wird möglicherweise mit dem »Buckingham-Pi-Theorem« zusammenhängen, also der Theorie der dimensionslosen Darstellung in der Physik [1]. Wenn man an mehreren Knöpfen der Welt gleichzeitig dreht, kann es passieren, daß sich die Welt nur für den Benutzer nicht ändert, obwohl von außen gesehen alles radikal transformiert erscheint [2].

Diese Innen/Außen- (oder Endo-Exo-) Unterscheidung ist zugleich die Grundidee der Relativitätstheorie. Jeder makroskopische Bewegungszustand in der Welt erzeugt seine eigene Version der Welt. Wie bei der Perspektive gehen die verschiedenen Versionen der Welt kontinuierlich ineinander über, wenn man den »Frame« (statt den »Ort«) verändert. Anders jedoch als bei der Perspektive sind bei der Relativität auch nicht-räumliche Eigenschaften der Welt von der Veränderung mitbetroffen, wie die meßbare Masse eines Körpers, oder die Gleichzeitigkeit zu anderen in der Welt stattfindenden Ereignissen (wie Einstein herausfand). »Seid doch so nett und meßt bitte alles noch einmal« war seine Botschaft – denn die Ergebnisse von Messungen verlieren ihren objektiven (frame-invarianten) Charakter. Wenn er dies allerdings gleich so überdeutlich ausgesprochen hätte, hätte ihm vermutlich niemand geglaubt.

Der Minkowski-Schnitt durch eine dahinterstehende, objektivere Welt – die »absolute Welt« der Raumzeit [3] – ist bis heute die überzeugendste Illustration

Natur-
avan-
Spek-
schen
Kunst.
etaex-
el und
1 S
ß dies

des Schnittstellenprinzips. Die Welt »ist« Schnittstelle. Das verschleierte Bild zu Sais (Schiller) wartet noch immer auf die nicht-frevlerische Hand, die es enthüllt.

Im folgenden wird versucht, der herkömmlichen (makroskopischen) Relativität eine neue »Mikro-Relativität« gegenüberzustellen. Der Ausgangspunkt ist eine Idee des Virtual-Reality-Pioniers Scott Fisher [4], der die naiv anmutende Frage stellte: »Wie sieht die Welt aus für ein Elektron, das um einen Atomkern kreist?«

2. Mikro-Relativität

Mikro-Relativität wird es in ihrer einfachsten Version vielleicht bald als Computerspiel zu kaufen geben: Wie fühlt sich ein Wassertropfen an, wenn er sich um die Beine einer Fliege wickelt? Ganz neue physikalische Erfahrungen können in der Virtuellen Realität durchgespielt werden – allein mit Hilfe des Faktors »Verkleinerung«.

Bei einer zweiten Version der Mikro-Relativität – der, die uns hier interessiert – kommt es weniger auf die Verkleinerung selbst an oder die mit ihr verbundene ungleichmäßige Veränderung der Kräfte, sondern vielmehr auf die im Grenzfall zu erwartende Reibungsfreiheit. Die Welt, in die man so eintaucht, ist – wie die von Newton und Bosovich [5] – »mikroskopisch reversibel«. Überraschenderweise gibt es auch in diesem Bereich bereits Computerprogramme (sogar schon seit 1956). Sie heißen »molekular-dynamische Simulationen« und erlauben es beispielsweise, gut gerührte chemische Reaktionen in mikroskopischem Detail – als Interaktionen vieler klassischer Billard-Kugeln, die ihre Farbe gesetzmäßig ändern, wenn zwei kraftvoll genug zusammenstoßen – im Computer ablaufen zu lassen und zu visualisieren. Die Physik glaubt ja bis heute, daß sich hinter den »makroskopischen« Vorgängen in der Welt und in unserem Gehirn eine reibungsfreie (reversible) Mikro-Realität abspielt. Diese reversible Mikro-Ebene wird allerdings als nur mit Hilfe der Quantenmechanik – der für mikroskopische Vorgänge zuständigen Theorie – korrekt beschreibbar angesehen. Die nicht-klassische Beschreibung der Quantenmechanik ist jedoch im Gegensatz zu der klassischen mit Billardkugeln nur unvollständig verstehbar (mit »primärem Zufall« und »Nichtlokalität«, um nur die berühmtesten Schlagworte zu nennen). Molekulardynamische Simulationen gelten daher, soweit sie nicht als erfolgreiche Approximationsverfahren beim »Drug Design« eingesetzt werden, ein bißchen als Spielerei.

Die
den Ur-
bung d
vität) r
Denkn
Mikro-
simulie
»harm
lierten,
als Ka
endgül
Im Fol
ce biet

3. Das

Währe
stand c
mikros
Prinzip
sich an
men, a
ein Per
das Ve
nach e
Richtu
fort). I
achter
welt u
gunger
schaft
Period
Vorgä
achter
dieselt
liches«
auch t

Die Idee der Mikro-Relativität ist, daß es vielleicht nicht nötig ist, sich mit den Ungereimtheiten der Quantenmechanik als der »bestmöglichen« Beschreibung der Mikrorealität abzufinden, da das »Schnittstellenprinzip« (die Relativität) noch als Erklärungsmöglichkeit zur Verfügung steht. Um diese neue Denkmöglichkeit zu überprüfen, würde man mit einer »falschen« (klassischen) Mikro-Beschreibung der Welt im Computer anfangen, mitsamt mikroskopisch simuliertem Beobachter, Meßgerät und Mikro-Objekt. Dann würde man die »harmlose« Frage stellen: Wie erscheint einem solchen mikroskopisch simulierten, makroskopischen Teilsystem (zum Beispiel einem »fluiden Neuron« als Karikatur eines Gehirns) der »Rest« seiner klassischen Welt? Bis zur endgültigen Beantwortung dieser Frage könnte noch einige Zeit vergehen [5]. Im Folgenden wird daher ein »Abkürzungsweg« vorgeschlagen, der die Chance bietet, sofort zu einer nachprüfbaren Voraussage vorzustoßen.

3. *Das Jetzt als Schnittstelle*

Während die (Makro-) Relativität durch den makroskopischen Bewegungszustand des Beobachters bestimmt ist, entsteht die Mikro-Relativität durch die mikroskopischen Bewegungen im Beobachter. Hierbei kommt ein neuartiges Prinzip zum Tragen. Dieses Differenz-Prinzip, wie man es nennen könnte, läßt sich am besten an Hand eines vereinfachten Beispiels verdeutlichen. Angenommen, alle mikroskopischen Bewegungen im Beobachter wären periodisch (wie ein Pendel), mit jeweils derselben Frequenz, Energie und sogar Phase – bis auf das Vorzeichen der letzteren, das zufällig verteilt sein soll. Dann hätten sich nach einer halben Periode alle Mikrobewegungen im Beobachter in ihrer Richtung umgekehrt (und so weiter nach der nächsten Halbperiode, und so fort). Es verwundert vielleicht nicht, daß für solch einen »pendelnden« Beobachter bestimmte (genau entgegengesetzte) Bewegungseigenschaften der Umwelt unfeststellbar wären – da für diese die Differenz zu den internen Bewegungen exakt verschwände. Eine solche »prinzipiell unerkennbare« Eigenschaft der Umwelt läge vor, wenn alle Vorgänge in der Umwelt mit derselben Periode und Energie ihre Zeitrichtung umkehren würden, wie dies für die Vorgänge im Beobachter der Fall ist. Die Relation (Differenz) zwischen Beobachter und Umwelt wäre in beiden Arten von Zeitscheiben, die es dann gäbe, dieselbe. Dies ist vielleicht nicht verwunderlich, da es sich hier um ein »künstliches« Beispiel handelt. Das Beispiel macht es jedoch vielleicht glaubhaft, daß auch beim Fehlen einer solchen »genau kompensierenden« Eigenschaft der

Umwelt nichtkorrigierbare Verzerrungen für den Beobachter entstehen können – und daß auch bei weniger idealisierten Annahmen über den Beobachter immer nur die »Differenz« zwischen dem eigenen inneren Bewegungszustand und dem äußeren Bewegungszustand vom Beobachter wahrgenommen werden kann.

In diesem Sinn existiert für jeden mikroskopisch exakt beschriebenen Beobachter ein irreduzibles »Wackeln« der Umwelt [5]. Die für den Beobachter »objektive« Struktur seiner Welt ist nicht mit der extern (für den Operateur am Keyboard) feststellbaren objektiven Struktur derselben Welt identisch. Das heißt, eine beobachter-relative objektive Realität (»Schnittstellenrealität«) muß von der extern-objektiven Realität (»absolute Realität«) unterschieden werden. Diese Begriffsbildung erinnert an die von Minkowski [3]. Es ist daher vielleicht erlaubt, von »Mikrorelativität« zu sprechen. Es gibt jedoch einen wichtigen Unterschied zur Makro-Relativität. Während die Schnittstelle der Makro-Relativität in ihren Eigenschaften jeweils über einen mehr oder minder langen Zeitraum konstant zu sein pflegt (oder sich nur wenig ändert), ist die Mikro-Schnittstelle notwendig extrem zeitabhängig auf einer sehr feinen Zeitskala; denn der innere Bewegungszustand des Beobachters ändert sich von Moment zu Moment. Dasselbe gilt natürlich für die in der Schnittstelle erscheinende objektive Realität (»Welt«). Das heißt, in jedem Moment gibt die Mikro-Schnittstelle eine andere objektive Welt wieder. Das Jetzt wird zum einzigen Ort. Das Jetzt ist die Schnittstelle.

4. Jetzt-Verzerrung

Von der (Makro-) Relativitätstheorie ist bekannt, daß die Simultaneität – die Übereinstimmung der Jetztte – aufgehört hat, in eindeutiger Weise (und damit überhaupt [6]) zu existieren. Nur im Spezialfall eines völligen Fehlens einer (makroskopischen) Relativgeschwindigkeit zwischen Beobachter und Umwelt stimmt die Frame-spezifische Simultaneität mit der klassischen Gleichzeitigkeit überein. Bei der Mikro-Relativität liegt jedoch immer eine Relativbewegung vor.

Die von Gödel [6] betonte Katastrophe wäre damit nicht mehr vermeidbar, wenn sich erneut Probleme mit der Gleichzeitigkeit ergeben sollten. In der Mikrorelativität geht die Verzerrung der Realität über eine bloße Verschiebung der Gleichzeitigkeit sogar noch hinaus. Die Meßergebnisse werden nicht nur zeitlich versetzt (wie bei der Makrorelativität), sondern darüberhinaus auch

in.
wi
be
va
zu
da
eir

fri
we
ser
un
ste
»er
zei
Ob
:
des
ein
hei
ein
Bev
-g
wei
mu
ver
erk
Str
Pla
den
wir
che
gek
für
angu
ning
noty

inhaltlich verzerrt. Es ist, als ob die Welt einer raschen »Störung« unterworfen wäre. Diese Störung hat (wie in dem obigen Spezialfall des aus gleichen Pendeln bestehenden Beobachters) die Dimension eines Produktes aus einem Zeitintervall und einer Energie, also einer Wirkung. Die Schnittstelle enthält daher eine zu der der Quantenmechanik analoge Unschärfe [5]. Das ist jedoch noch nicht das Wichtigste; vor allem ist sie von Moment zu Moment (von Jetzt zu Jetzt) eine andere.

Die Gleichsetzung »Quantenmechanik = Mikrorelativität« wäre daher verfrüht. Die Verzerrung der Welt geht – zumindest auf den ersten Blick – viel weiter als dies in der Quantenmechanik der Fall ist. Denn nicht nur ungemessene Mikroereignisse werden verrauscht. Ebenso erhalten auch die gemessenen und durch makroskopische Zeiger registrierten Mikro-Ereignisse (die ansonsten den »Eigenzuständen« der Quantenmechanik vergleichbar wären) einen »ephemerer« – sich von Jetzt zu Jetzt ändernden – Charakter. Neben die zeitlich konstante Objektivität (bei der Messung von gewöhnlichen Makro-Objekten) tritt also eine zweite, »veränderliche Objektivität«.

Die letztere wäre allerdings – in einem gegebenen Jetzt – nicht als von der des vorausgehenden Jetzt verschieden zu erkennen. Denn zu jedem Jetzt gehört eine vollständige Schnittstelle, also eine vollständige Welt mitsamt Vergangenheit, Erinnerungen und anderen Dokumenten. Wie bei George Orwell wäre eine dauernde »Geschichtsklitterung« wirksam, die für den nichtsahnenden Bewohner der betreffenden Welt – auf der für ihn gültigen Benutzeroberfläche – gar nicht zu bemerken wäre. Dieser unerwartete Befund erinnert an eine der wenigen »zulässigen« Interpretationen der Quantenmechanik. Der Formalismus von Everett und Bell [7] kennt ebenfalls ein rasches Springen zwischen verschiedenen Quanten-Welten, ohne daß die Veränderung für den Benutzer erkennbar wäre. Die hier angetroffene »Jetzt-Verzerrung« hat genau dieselbe Struktur. Die obige Gleichsetzung gewinnt damit unerwarteterweise wieder an Plausibilität. Dennoch sollten wir nicht vergessen, daß wir uns lediglich auf dem Boden einer klassischen Kunstwelt befinden. Alle Ähnlichkeiten mit wirklichen Vorgängen wären rein zufällig. Oder darf man den (viel zu einfachen) Modellansatz trotzdem als »Orakel« verwenden? Diese Frage ist nicht geklärt. Dennoch könnte man sagen: Was spricht eigentlich dagegen, daß wir für den Fall, daß für die Bewohner der Kunstwelt testbare Konsequenzen angegeben werden können, dieselben Tests einfach zum Rang eines »Happenings« in der wirklichen Welt erheben – ohne jeden Anspruch auf einen notwendigen Erfolg?

5. *Ein möglicher Test*

Die Existenz einer beobachter-relativen objektiven Realität hat als solche noch nichts Erschreckendes an sich. Wir kennen dies aus der (Makro-) Relativitätstheorie. Alle Freunde des Beobachters, die seinen Bewegungszustand (Frame) teilen, sitzen mit ihm im selben Boot, was die meßbare Struktur der Welt betrifft. Darüberhinaus kann er mit den Insassen der anderen Boote telefonieren. Dieser noch verbleibende Freiraum wird bei der Mikro-Relativität deutlich enger. Zwar ist auch hier die objektive Welt ko-determiniert durch den Bewegungszustand des Beobachters. Dieser Bewegungszustand ist aber – wie wir sahen – nicht mehr »konstant«. Er ist daher auch nicht von mehr als einem Beobachter gemeinsam besitzbar. Das geht soweit, daß auch die Möglichkeit des »Telefonierens« (zu der man den Frame des anderen kennen müßte) diesmal wegfällt. An dieser Stelle drängt sich der Verdacht auf, daß die Mikro-Relativität vielleicht grundsätzlich nicht testbar sein könnte. Sie würde, falls dies zuträfe, zu einer zwar nicht widerlegbaren, aber auch nicht beweisbaren Kuriosität, vergleichbar etwa dem Solipsismus der Philosophie.

Es gibt jedoch zum Glück einen Spezialfall von Mikro-Bewegungen im Beobachter, bei dem dieser Einwand nicht zutrifft (so daß die Bewohner einer Billardkugelwelt in der Tat nicht zu verzweifeln bräuchen). Der Beobachter kann eine wichtige Eigenschaft seiner Schnittstelle mit anderen Beobachtern gemeinsam besitzen. Es handelt sich um den Fall, daß die mikroskopischen Feinbewegungen in mehreren Beobachtern eine bestimmte Bewegungskomponente gemeinsam haben, weil sie alle an demselben makroskopischen Rotationszustand teilhaben.

6. *Rotierende Frames*

Einstein hatte die Idee, daß man auch in geschlossenen Aufzügen Physik treiben könne, um so »von innen« festzustellen, ob man sich in Ruhe auf der Erde oder in einem (ganz gleichmäßig beschleunigten) Raumschiff befindet. Das Gedankenexperiment läßt sich von konstanten Beschleunigungen auf konstante Drehungen erweitern. In dieser Form kann es sogar auf eine noch längere Geschichte zurückblicken. Schon Newton dachte an das Männchen, das auf dem Rand eines rotierenden wassergefüllten Eimers sitzt und nichts bemerkt – außer dieser eigentümlichen Krümmung der Wasseroberfläche. So sollte Leibniz' Einwand gegen Newtons absoluten Raum widerlegt werden.

Es ist sinnvoll, diese Newton-Mach-Einsteinsche »Von-innen-Frage« noch einmal aufzugreifen – mit der Auflage, daß das zu beobachtende Objekt nicht makroskopischer, sondern mikroskopischer Natur sein soll. Das heißt, wir wollen vom Inneren des Containers ein »Quantenphänomen« beobachten, das mit Rotation zu tun hat. Wenn Quantenphänomene eine mikro-relativistische Erklärung haben sollten – in einer Kunstwelt oder in unserer eigenen Welt –, dann ergäbe sich hier eine mögliche Gelegenheit, die Nicht-Objektivität der Schnittstellenwelt zu entlarven. Die Idee ist, daß sowohl der Beobachter als auch alle Meßinstrumente und das Objekt gemeinsam so langsam rotieren können, daß sich die Schnittstelle nicht ändert. Wenn die Quanteneffekte »nur« schnittstellenobjektiv sein sollten, dann müßten sie unter dieser Bedingung invariant bleiben. Die Frage ist nur: Gibt es ein Quantenphänomen, das nach heutigem Wissen in dieser Situation eine Ausnahme macht?

7. Fairbank-Hess

Tatsächlich gibt es ein Quantenexperiment, das der soeben gemachten Voraussage widersprechen könnte. Es wurde sogar schon mit Erfolg ausgeführt. Allerdings müßte seine Genauigkeit um den Faktor 10⁴ verbessert werden, wenn es so schwache Rotationen wie die gemeinsame (Erd-) Rotation aller Beobachter ebenfalls registrieren sollte [8]. Nicht lange, nachdem dieser Endovorschlag gemacht wurde, wurde unabhängig von einer experimentellen Gruppe der verwandte Vorschlag gemacht, das in Rede stehende Experiment sogar um den Faktor 10⁷ zu verbessern [9]. Man verspricht sich von einem derartigen »Quantengyroskop« praktische Anwendungen bei der Erdölbohrung und Erdbebenvorhersage.

Die Grundform des Experiments wurde von Fairbank und Hess [10] durchgeführt und geht auf eine Anregung von Fritz London zurück. Obwohl das Hess-Fairbank-Experiment hier nicht in allen Einzelheiten vorgestellt werden kann, sollte vielleicht nicht verschwiegen werden, daß es sich bei ihm um das vielleicht erstaunlichste Experiment der Geschichte handelt. Bevor es ausgeführt wurde, sagten alle Kollegen zu Fairbank, daß es mit Sicherheit ein großer Fehler wäre, die Londonschen Formeln so »wörtlich« zu nehmen. Da der negative Ausgang des Experiments auf Grund des gesunden Menschenverstandes unbezweifelbar sei, wäre das einzige mögliche Ergebnis die Aufdeckung der beschränkten theoretischen Fähigkeiten des Experimentators. Nach dem Erfolg fanden alle Kollegen das Ergebnis selbstverständlich, da es ja »nur« die

Quantenmechanik bestätigt hatte. Was das Experiment selbst zeigte, war plötzlich uninteressant geworden. Was zeigte es? Es zeigte, daß das in einem rotierenden Gefäß befindliche superflüssige Helium »sich weigerte«, den Rotationszustand seines Gefäßes (das sich einmal in 5,6 Sekunden um seine Achse drehte) mitzumachen. Das – zunächst – im Gefäß enthaltene und sich normal mitdrehende (normal-) flüssige Helium »beschloß« bei der weiterer Abkühlung unter den Lambdapunkt (der wenige Grade über dem absoluten Nullpunkt den Übergang vom normalflüssigen zum supra-flüssigen Zustand markiert) plötzlich, von jetzt ab nicht mehr mitzurotieren, sondern stattdessen stehenzubleiben. Dieser neu eingenommene Zustand »absoluter Nichtrotation« wurde dann (beim anschließenden sprunghaften Aufwärmen mit Hilfe eines das Glasgefäß durchdringenden Laserstrahls) dadurch nachgewiesen, daß die freilaufende Drehung des Gefäßes sich plötzlich (durch die Drehimpulsaufnahme des plötzlich nur noch normalflüssigen Heliums) um genau den zu erwartenden Wert verlangsamte [10].

Die oben erwähnte Frage, ob die Quantenmechanik dieses Ergebnis wirklich für beliebig kleine Drehgeschwindigkeiten voraussagt, ist anscheinend noch nicht vollständig geklärt. Es handelt sich nämlich bei diesem Quanten gyroskop um ein »Foucaultsches Pendel« vollkommen neuer Art – ohne Pendeln. Es würde daher wirklich einen »externen Punkt« im mystischen Sinn Umberto Eco bilden. Im Gegensatz zu dem 1851 von Jean Bernard Lon Foucault erbauten Pendel käme es ohne jegliche eigene Bewegung aus. Dazuhin fehlten ihm aber auch alle »Zweipunkteigenschaften«. Das heißt, es könnte – im Gegensatz zu dem genannten Newtonschen Eimer gyroskop (das außerdem nicht ohne Eigendrehung auskommt), aber auch im Gegensatz zu dem (mit Lichtinterferenz arbeitenden) Sagnac-Gyroskop – im Prinzip beliebig klein gemacht werden, ohne dabei an Genauigkeit der Anzeige zu verlieren. Das ist deshalb erstaunlich, weil dieses Gyroskop (wie jedes) darauf angewiesen ist, eine »Fernmeldung« aus den Tiefen des Machschen Zentrums des Universums zu empfangen und diese ins Makroskopische hochzuverstärken. Trotzdem zweifelt heute niemand an der beschriebenen magischen Eigenschaft des superflüssigen Heliums. Und dies, obwohl bei der Beschreibung desselben lediglich die gewöhnliche (nichtrelativistische) Quantenmechanik benutzt wird. Der Grund ist einsehbar. Es handelt sich hier »nur« um eine Anwendung des bekannten quantenmechanischen Axioms der »Quantisierung des Drehimpulses«. An diesem Axiom zu zweifeln hieße, an die Fundamente des Gebäudes rühren. Diese natürliche Quantisierung besitzt ungeniert den Wert »Null« als Spezialfall – ein bei Atomen im Grundzustand häufig anzutreffender

Wert (nachpr
ins Ma
Ein t
ersten
Mecha:
alminir
klassisc
Energie
einem
Fairbar
renden

8. Die

Die Voi
stischer
daß alle
durch d
zustand
superfli
nicht w
Denn ei
eine so
Es müß
sche Be
Erde (a
Null an
langen s
Wenr.
Voraus:
spezifisc
mes«. E:
Konstan
verständ
macht w
Kunstwe

Wert (s -Zustand). Dieser mikroskopische (und daher im Normalfall nicht nachprüfbar) Quantenzustand wird hier durch »Bose-Kondensation« einfach ins Makroskopische hochverstärkt [11].

Ein Grund zum Zweifeln könnte noch darin gesehen werden, daß hier – zum ersten Mal – das Bohrsche »Korrespondenzprinzip« zwischen klassischer Mechanik und Quantenmechanik verletzt zu sein scheint. Denn das Potentialminimum der Quantenmechanik (bei »absolut Null«) liegt hier über dem klassischen Minimum (bei Mitrotation). Der Quantenzustand muß daher aktiv Energie aufnehmen entgegen einem klassischen Potentialgefälle (fast wie bei einem Perpetuum mobile). Alle diese rätselhaft-schönen Eigenschaften des Fairbank-Experiments hätten es verdient, unabhängig von dem hier interessierenden Zusammenhang gewürdigt zu werden.

8. Die Voraussage

Die Voraussage der Mikro-Relativität ist eine andere als die der nichtrelativistischen Quantenmechanik. Die Mikrorelativität nimmt wie geschildert an, daß alle Quantenphänomene mikro-relativistischen Ursprungs sind, das heißt, durch die »Differenz« der Bewegungen im Beobachter und des Rests der Welt zustandekommen. Falls dies zutrifft, dürfte die »absolute Nichtrotation« des superflüssigen Heliums in einem Ring (oder –wie bisher – einem Zylinder) nicht wirklich »absolut« absolut sein, sondern müßte »relativ« absolut sein. Denn ein langsam mit der Erde mitrotierender klassischer Beobachter besäße eine so gut wie unveränderte Schnittstelle gegenüber dem rotationsfreien Fall. Es müßte daher – falls die Welt im Innersten klassisch wäre – die makroskopische Bewegung des superflüssigen Heliums relativ zum Rotationszustand der Erde (auf der sich alle Beobachter in Ruhe befinden) den Rotationszustand Null annehmen (statt, wie die nichtrelativistische Quantenmechanik zu verlangen scheint, relativ zum Machschen Zentrum des Universums).

Wenn das Experiment bei geeigneter Erhöhung seiner Empfindlichkeit die Voraussage der Mikrorelativität bestätigen würde, gäbe es ein zweites »Frame-spezifisches« absolutes Phänomen in der Natur, diesmal bei »Rotations-Frames«. Es wäre zu dem ersten Frame-spezifischen absoluten Phänomen (der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit) bei »Translations-Frames« analog. Selbstverständlich darf eine so schwerwiegende Voraussage nicht »ernsthaft« gemacht werden. Tatsächlich bezieht sie sich nur auf eine Kunstwelt. Nur in der Kunstwelt würde sie es den Bewohnern gestatten, den Vorhang ein wenig zu

lüften. Nichts spricht bisher dafür, daß unsere eigene Welt klassisch wäre (oder durch ähnlich einfach lösbare Probleme ausgezeichnet wäre wie das obige). Unerwarteterweise ist die obige Voraussage dennoch auch in unserer eigenen Welt zulässig. Sie stellt nämlich eine Möglichkeit dar, die Hypothese der Anwendbarkeit des klassischen Schnittstellenprinzips auf die Quantenmechanik zu falsifizieren (im Popperschen Sinn). Das bedeutet nicht, daß mit einem positiven Ausgang des Experiments ernsthaft zu rechnen wäre.

9. Diskussion

Das Schnittstellenprinzip ist historisch gesehen ein relativ altes Prinzip. Es geht methodologisch auf Kant zurück, der behauptete, daß die Voraussetzungen der Wahrnehmung das Wahrgenommene selbst beeinflussen («kopernikanische Wendung») [12]. In seinem Opus postumum hält er eine Anwendung auf die Physik für möglich [13]. Nach Kant ist das Schnittstellenprinzip zwar erkennbar, aber nicht überwindbar. Die enge Beziehung zwischen Kants Philosophie und Einsteins Relativitätstheorie wurde zuerst von Ilse Rosenthal-Schneider gesehen [14]. Die Beziehung zwischen Quantenmechanik und Kant ist noch weniger ausgearbeitet, obwohl der Beobachter in der Quantenmechanik eine ebenso prominente Rolle spielt wie in der Relativitätstheorie. Zwei einschlägige Zitate belegen diese Affinität: »Insofern haben die Unbestimmtheits-Relationen keinen skeptischen, sondern einen kritischen Sinn« [15]; und: »Von der Quantentheorie aus liegt es nahe, das, was an sich selbst sein mag, als das nicht in Objekte zerspaltene Ganze zu deuten« [16]. Die behauptete »Nichterklärbarkeit« der Quantenmechanik fordert eine rationalistische Deutung im Sinne Kants geradezu heraus (wobei ein wenig bekannter und sehr kurzer Aufsatz von Heisenberg aus dem Jahre 1943 [17] als Bestätigung dienen kann).

Oben wurde ein derartiger Versuch gewagt. Durch das Phänomen der Virtuellen Realität ist uns heute der Schnittstellengedanke viel zugänglicher, als dies für frühere Generationen der Fall war. Mikrorelativität ist heute eine naheliegende Denkschablone. Selbst die beiden befremdlichsten Implikationen einer mikroskopisch-kausalen Schnittstelle – »Jetzt-Gebundenheit« und »Jetzt-Verzerrung« – haben im Zeitalter der einbettenden Medien nichts Unvorstellbares an sich. Neu an dem obigen Ansatz ist aber das aus ihm herleitbare Experiment. Es wurde dabei angenommen, daß Resultate, die für eine verstehbare, deterministische Modellwelt Gültigkeit haben, auf unsere eigene – viel kompliziertere und unverstandene – Welt übertragbar sein könnten. Die

so
me
wä
gur
vor
Da
tur
seir
run
die
sch
digi
ern
Fra
zwi
wü
vor
der
best
Gle
den
Anv
stäb
kor
den
dies
eine
eine
jede
sehr
Fall
expe
A
char
Miki
men
Schn
wird

so gewonnene Frage – Gibt es eine neue Relativitätstheorie für Rotations-Frames? – ist daher außerordentlich gewagt. Die Folgen einer positiven Antwort wären denen der Relativitätstheorie selbst vergleichbar. Die neue »Bevorzugung des Beobachters« würde in ihrer Bedeutung sogar über die vor 100 Jahren von Michelson und Morley entdeckte erste solche Bevorzugung hinausgehen. Damals konnte die gefundene Auszeichnung des Beobachters durch die Naturgesetze (ein »absoluter« Wert der Lichtgeschwindigkeit nur für ihn und seine Freunde neben sich) durch die von Einstein gefundene »Symmetrisierung« (Kovarianzprinzip) zum Verschwinden gebracht werden. Diesmal wäre die Reparatur schwieriger. (Diese Tatsache allein stellt übrigens bereits ein schwerwiegendes Gegenargument dar.) Zwar läge auch diesmal eine vollständige Symmetrie zwischen allen Frames vor. Das Kovarianzprinzip wäre also erneut wirksam. Andererseits wäre die Symmetrie aber auf die zu diesen Frames gehörenden »Welten« beschränkt (vgl. [18]). Eine Kommunikation zwischen den verschiedenen (welterzeugenden) Frames wäre zwar möglich, würde aber nicht bis zu den für diese Frames spezifischen anderen Welten vorstoßen können. Auch bei der (Makro-) Relativität können ja die Kapitäne der anderen Raumschiffe die Meßergebnisse des ersten Raumschiffes nur bestätigen, wenn sie sich wie verlangt an die ihnen von dort (in der dort gültigen Gleichzeitigkeit) gegebenen Anweisungen halten. Sie können jedoch außerdem über die Tatsache kommunizieren, daß sie, wenn sie sich nicht an diese Anweisungen halten, sondern stattdessen nach ihren eigenen Erfahrungsmaßstäben »analog« vorgehen, etwas ganz anderes bei ihren Messungen herausbekommen. Nur dieser zweite (korrigierende) Kommunikationskanal wäre bei den »neuen« Frames verstopft. Denn die Frame-spezifischen Schnittstellen sind diesmal – wegen ihrer jeweils anderen Mikro-Zeitabhängigkeit – vom Innern eines anderen Frames unzugänglich. Es ist nicht ganz leicht, sich die Folgen einer derartigen »erschwerten« Relativität plastisch vor Augen zu führen. Auf jeden Fall würde die »Schnittstellennatur der objektiven Realität« auf einmal sehr viel »hautnäher« erscheinen, als dies bei der »einfachen« Relativität der Fall ist. Es muß daher mit Recht erneut gefragt werden, ob ein so extremes experimentelles Resultat wie das vorgeschlagene im Ernst erhofft werden kann.

Alles, was sicher gesagt werden kann, ist: Wenn unsere Welt Schnittstellencharakter hat (bis hinein in das durch die inneren Feinbewegungen erzeugte Mikro-Interface), dann ist die Hoffnung erlaubt, daß eines Tages ein Experiment von einer ähnlichen logischen Struktur wie das oben vorgeschlagene die Schnittstellen-Natur (Differenznatur) der »objektiven« Realität enthüllen wird.

Das klingt so, als ob mit einem positiven Ausgang des obigen Experiments nicht zu rechnen wäre. Es kann eigentlich nicht ernsthaft erwartet werden, daß die zum Beweis einer Beobachter-zentrierten Objektivität benötigte »Asymmetrie« so leicht zu finden sein sollte, wie dies oben vorgeschlagen wurde. Obwohl also ein positiver Ausgang ein unwahrscheinlicher »Glückstreffer« wäre, ist es aber natürlich erlaubt, »zur Sicherheit« doch einmal nachzuschauen. Das Experiment wird also vor allem benötigt, um auszuschließen, daß die Lösung so einfach ist. Mit anderen Worten, das Scheitern dieses Versuchs ist ein notwendiger Schritt auf dem Weg zu einer »weniger naiven« Fragestellung, die dann – vielleicht – zum Erfolg führt.

Wir kommen zum Schluß. Die Schnittstellentheorie wurde durch ein bisher noch nicht durchgeführtes Experiment illustriert. Vom Standpunkt des Designers einer Kunstwelt im Computer ist das Experiment sehr einfach zu verstehen. Die Einwohner der Kunstwelt könnten es selbst durchführen. In unserer eigenen Welt ist jedoch zu berücksichtigen, daß das Experiment zu viele stark vereinfachende Annahmen macht (»strahlungslose Billardkugelwelt«), um mit einiger Aussicht auf Erfolg ernstgenommen werden zu können. Dennoch ist die Logik des Experiments interessant genug, daß es hier zum Gegenstand eines eigenen Experiments gemacht werden mußte: Ist es möglich, das obige Experiment in seiner ganzen Fremdartigkeit zum Leuchten zu bringen?

Wir danken Florian Rötzer und Eric Romer für Anregung. Diskussionen mit Bob Rosen, Hanns Ruder und Alwyn van der Merwe waren hilfreich. Für J.O.R.

Literatur

- [1] E. Buckingham, On similar systems. *Physical Review*, Bd. 4 (1915), S. 345-370
- [2] R. Rosen, *Fundamentals of Measurement and Representation of Natural Systems*, New York 1978
- [3] H. Minkowski, Raum und Zeit; *Physikalische Zeitschrift*, Bd. 10 (1909), S. 104-111
- [4] S. S. Fisher, Virtual-interface environments; in: *The Art of Human-Computer Interface Design* (Hrsg. B. Laurel), Menlo Park 1990, S. 423-439
- [5] O. E. Rössler, Endophysik – Die Welt des inneren Beobachters (Hrsg. P. Weibel), Berlin 1992
- [6] K. Gödel, A remark about the relationship between relativity theory and idealistic philosophy; in: *Albert Einstein, Philosopher-Scientist* (P. A. Schilpp, Hrsg.), LaSalle (Ill.) 1949, S. 555-562
- [7] J. S. Bell, Quantum mechanics for cosmologists; in: *Quantum Gravity 2* (Hrsg. C. Isham, R. Penrose und D. Sciama), Oxford 1981, S. 611-637
- [8] O. E. Rössler, R. Rössler und P. Weibel, »Absolute« superfluid nonrotation: Is it observer-frame specific? Manuskript September 1991 (zur Veröffentlichung eingereicht)
- [9] R. E. Packard and S. Vitale, *Principles of superfluid helium gyroscopes*, Preprint, Berkeley 1992

- [10] G. B. Hess und W. M. Fairbank, Rotation of superfluid helium, *Physical Review Letters*, Bd. 19 (1967), S. 216-220
- [11] A. Leggett, Low-temperature physics, superconductivity, superfluidity; in: *The New Physics* (Hrsg. P. Davies), Cambridge 1989, S. 268-288
- [12] P. Weibel, Das Ich und die Dinge: Kommentare zu einem philosophischen Text von Anna und Bernhard Blume in Form inszenierter Fotografien, Frankfurt a. M. 1991
- [13] I. Kant, *Opus Postumum*, Konvolute X und XI; in: E. Addickes, *Kants Opus Postumum*, Berlin 1920; siehe auch W. del Negro (Hrsg.), *Kant Ausgewählte Schriften, Die Grundlagen des kritischen Denkens*, Gütersloh 1958, S. 398-399
- [14] I. Schneider, *Das Raum-Zeit-Problem bei Kant und Einstein*. Berlin 1921; vgl. auch I. Rosenthal-Schneider, *Begegnungen mit Einstein*, von Laue und Planck: *Realität und wissenschaftliche Wahrheit*, Braunschweig 1988
- [15] E. Cassirer, *Zur Modernen Physik*. Darmstadt 1987, S. 353. (1. Aufl. Göteborg 1937)
- [16] C. F. von Weizsäcker, *Zeit und Wissen*, München 1992, S. 1115
- [17] W. Heisenberg, Die Veränderung des Wirklichkeitsbegriffs der exakten Naturwissenschaft; in: »Die Mittwochsgesellschaft« (Hrsg. K. Scholder), Berlin 1982, S. 332-333
- [18] O. E. Rössler, *Bell's symmetry*. Manuskript September 1990, *Symmetry in Culture and Science* (eingereicht)