

## Von Karl Marx zu Max Karl Planck – das Ende des (dialektischen) Materialismus? (Teil 2)



Dr. Thorsten Rühl  
Gesellschafter/Partner

**Prinzipielle Unbestimmbarkeit – nur die Folge einer unzureichenden Theorie oder Abbild der Wirklichkeit?**

**Quantenmechanik vs. klassische Physik**

*Rechnen mit überlagerten Zuständen, die grundsätzlich möglich wären*

Im ersten Teil dieses Beitrages ging es um die merkwürdige Tatsache, dass Teilchen auch eine Wellennatur besitzen, die z.B. beim Durchgang durch eine Doppelspaltblende beobachtet werden kann: statt einer bimodalen Verteilung (wie bei makroskopischen Objekten) entsteht auf einem dahinter angebrachten Detektor ein Interferenzmuster.

Noch seltsamer mutet jedoch der Umstand an, dass dieses Interferenzmuster verschwindet, sobald man jedes einzelne Teilchen beim Durchgang durch die Blende beobachtet und somit eindeutig dem linken oder rechten Spalt zuordnen kann. Wie ist das möglich? Beeinflusst der Beobachter etwa das, **was** er beobachtet?

Um diese Frage beantworten zu können, müssen wir etwas tiefer in die Grundzüge der Quantenmechanik einstiegen. In deren mathematischem Formalismus spiegelt sich der experimentell abgesicherte Tatbestand wider, dass nicht alle physikalischen Größen unter allen Umständen einen scharfen Wert haben. Selbst wenn ein physikalisches System vollständig bestimmt ist, führt eine Messung an ihm nicht immer zum selben Resultat. Ein solches System ist z.B. ein  $^{226}\text{Ra}$ -Kern (Radium-226 hat eine Halbwertszeit von 1.600 Jahren). Die Messung besteht in diesem Fall einfach darin, dass wir nach einer bestimmten Zeit kontrollieren, ob der  $^{226}\text{Ra}$ -Kern noch da ist oder sich bereits in seine Zerfallsprodukte umgewandelt hat. Beides kann vorkommen, aber man kann dem Kern prinzipiell (!) nicht ansehen, ob er gleich zerfallen wird oder erst sehr viel später.

Auch die „Bahn“ eines Elektrons um den Kern herum lässt sich nicht, wie dies noch im Bohrschen Atom-Modell angenommen wird, auf die selbe Weise bestimmen wie z.B. die Position eines Planeten auf seinem Weg um die Sonne. Im Gegensatz zum klassischen Atommodell lässt sich im quantenmechanischen Modell nur der „Aufenthaltsraum“ bestimmen, in dem das Elektron sich grundsätzlich um den Kern herum bewegen kann, aber nicht der exakte Ort zu jedem Zeitpunkt.

Mit dem Formalismus der Quantenmechanik lassen sich im Gegensatz zur klassischen Physik nur Wahrscheinlichkeiten für verschiedene mögliche Zustände beschreiben. Genauer gesagt wird sogar mit allen grundsätzlich möglichen Zuständen gerechnet, sodass die mathematische Beschreibung durchaus vollständig ist. Welche dieser Möglichkeiten sich realisiert, bleibt aber so lange offen, bis das Ereignis eingetreten ist bzw. jemand eine Beobachtung durchführt.

Im Beispiel des Doppelspaltexperiments bedeutet dies, dass grundsätzlich beide Spalten für einen Durchgang in Frage kommen und man daher im Fall einer ausbleibenden Beobachtung tatsächlich davon sprechen kann, dass die Teilchen in gewisser Weise, nämlich im Raum der Möglichkeiten, aufgrund ihrer Wellennatur durch beide Spalten gleichzeitig gehen können. Untersucht man an einem Spalt, ob das Teilchen tatsächlich diesen Weg genommen hat, dann wird man allerdings keine halben Teilchen feststellen, sondern entweder einen vollständigen Durchgang oder gar keinen.

## Von Karl Marx zu Max Karl Planck – das Ende des (dialektischen) Materialismus? (Teil 2)

**Schrödingers Katze:**  
In dem Gedankenexperiment wird eine Katze in einen undurchsichtigen Kasten gesperrt, in dem sich ein tödliches Gift befindet, das beim Zerfall eines radioaktiven Präparats freigesetzt würde.

**Prinzipieller Indeterminismus?**

**„Gott würfelt nicht!“**

**Kopenhagener Deutung der Quantenmechanik**

**Kopenhagener Deutung – das Ende des Laplace’schen Dämons?**

Diese grundsätzliche Überlagerung von Zuständen bis zum Akt der Beobachtung führt spätestens beim Übergang von der Welt der kleinsten Teilchen in die makroskopische Welt unserer Alltagserfahrung zu (scheinbaren) Paradoxien, deren bekanntester Vertreter das 1935 von Erwin Schrödinger erdachte Gedankenexperiment mit der nach ihm benannten fiktiven Katze sein dürfte, das die grundsätzliche Unbestimmbarkeit des Zeitpunktes eines radioaktiven Zerfalls (und damit der Überlagerung der Zustände „zerfallen“ und „nicht zerfallen“) durch den von außen nicht bestimmbar Zustand des Lebendig- bzw. Totseins einer Katze in die makroskopische Welt überträgt: In welchem Zustand ist die Katze, **bevor** man den Deckel öffnet, um nachzuschauen (siehe Kasten links)?

Da die Sprache der Physik (und damit auch der Quantenphysik) die Mathematik ist, müssen die mit ihrer Hilfe gewonnenen Erkenntnisse wieder in die „normale“ menschliche Sprache zurückübersetzt werden, um sie interpretieren zu können. Fassen wir also zusammenfassend:

Im Rahmen der Quantenmechanik lassen sich mit Hilfe der nach Schrödinger benannten Wellenfunktionen Wahrscheinlichkeiten zu grundsätzlichen Möglichkeiten beschreiben. Der Übergang vom Möglichen zum Faktischen (also dem, was man bei einer konkreten Beobachtung feststellt) vollzieht sich jedoch scheinbar akausal und wird als Kollaps der Wellenfunktion bezeichnet. Dieser Sachverhalt hat schon in der Entstehungsphase der Quantenphysik zu kontroversen Diskussionen geführt und war der Anlass für Einsteins berühmten Ausruf: „Gott würfelt nicht!“

Sein Einwand richtete sich gegen die oben skizzierte sog. Kopenhagener Interpretation der Quantenmechanik, die um 1927 von Niels Bohr und Werner Heisenberg formuliert wurde und auf der von Max Born vorgeschlagenen Wahrscheinlichkeitsinterpretation der Wellenfunktion basiert. Gemäß dieser Interpretation ist der Wahrscheinlichkeitscharakter quantentheoretischer Vorhersagen nicht Ausdruck der Unvollkommenheit der Theorie, sondern des prinzipiell indeterministischen Charakters von quantenphysikalischen Prozessen. Man verzichtet in dieser Interpretation darauf, den Objekten des quantentheoretischen Formalismus, also vor allem der Wellenfunktion, eine Realität in unmittelbarem Sinne zuzusprechen. Stattdessen werden die Objekte des Formalismus lediglich als Mittel zur Vorhersage der relativen Häufigkeit von Messergebnissen interpretiert.

Diese Interpretation war u.a. auch für Albert Einstein nicht leicht zu verdauen. Im Dezember 1926 schrieb er in einem Brief an Max Born: „Die Quantenmechanik ist sehr achtunggebietend. Aber eine innere Stimme sagt mir, daß das noch nicht der wahre Jakob ist. Die Theorie liefert viel, aber dem Geheimnis des Alten bringt sie uns kaum näher. Jedenfalls bin ich überzeugt, daß der nicht würfelt.“<sup>(1)</sup>

Diese ablehnende Haltung darf nicht weiter verwundern, denn gerade einmal ein Jahrhundert vor der Entdeckung der Quantenmechanik, die die Grenzen des Determinismus sichtbar machte, erreichte das deterministische Denken in Gestalt des Laplace’schen Dämons seinen Höhepunkt. Das Konzept eines solchen allwissenden Dämons wird von Pierre-Simon Laplace im Vorwort seines „Essai philosophique sur les probabilités“ von 1814 als Hypothese wie folgt formuliert:

## Von Karl Marx zu Max Karl Planck – das Ende des (dialektischen) Materialismus? (Teil 2)

**Laplace'scher Dämon:  
Vollständiger  
Determinismus?**

„Wir müssen also den gegenwärtigen Zustand des Universums als Folge eines früheren Zustandes ansehen und als Ursache des Zustandes, der danach kommt. Eine Intelligenz, die in einem gegebenen Augenblick alle Kräfte kennt, mit denen die Welt begabt ist, und die gegenwärtige Lage der Gebilde, die sie zusammensetzen, und die überdies umfassend genug wäre, diese Kenntnisse der Analyse zu unterwerfen, würde in der gleichen Formel die Bewegungen der größten Himmelskörper und die des leichtesten Atoms einbegreifen. Nichts wäre für sie ungewiss, Zukunft und Vergangenheit lägen klar vor ihren Augen.“<sup>2)</sup>

**Eine „unbeobachtete  
Beobachtung“ ist nicht  
möglich**

Tatsächlich legt die Quantenphysik nahe, dass selbst die vollständige Kenntnis des gegenwärtigen „Weltzustandes“ nicht genügen würde, um die Zukunft des Universums in allen Details daraus ableiten zu können. Wo liegt also der Unterschied zu der bis dahin vorherrschenden *klassischen* Physik?

Die Quantentheorie arbeitet mit formalen Objekten, deren unmittelbare Abbildung auf die Realität nicht mehr so ohne weiteres möglich ist wie noch in der klassischen Physik. So wird beispielsweise der Aufenthaltsort eines Teilchens nicht mehr durch seine Ortskoordinaten in Abhängigkeit von der Zeit beschrieben, sondern durch eine Wellenfunktion. Nach der Kopenhagener Deutung repräsentiert diese Wellenfunktion jedoch nicht das Quantenobjekt selber, sondern nur die Wahrscheinlichkeit dafür, bei einer Suche über eine Messung das Teilchen dort zu finden. Die Wellenfunktion (eine Überlagerung möglicher Zustände) wird durch den Prozess einer Messung unmittelbar verändert (einer der Zustände zeigt sich als Messwert) – daher wird dieser Vorgang auch als „Kollaps der Wellenfunktion“ bezeichnet.

**Der Kollaps der  
Wellenfunktion im  
Doppelspaltexperiment**

Auch bei dem in Teil 1 beschriebenen Doppelspaltexperiment führte die Kontrolle an den beiden Spalten zu einem solchen Kollaps der Wellenfunktion, so dass das jeweilige Teilchen einem der beiden Spaltdurchgänge eindeutig zugeordnet werden konnte. Die Überlagerung der beiden Zustände „Durchgang linker Spalt“ und „Durchgang rechter Spalt“ wurde durch die Messung aufgehoben, so dass das Interferenzmuster auf dem Detektor verschwand.

Es gibt außer der Kopenhagener Deutung noch eine andere Interpretationsmöglichkeit, die zwar ohne einen Kollaps der Wellenfunktion auskommt, aber aus einem anderen Grund ebenfalls nicht ganz leicht zu verdauen ist. Mit dieser wollen wir uns im 3. Teil beschäftigen.

- Fortsetzung in der übernächsten Ausgabe -

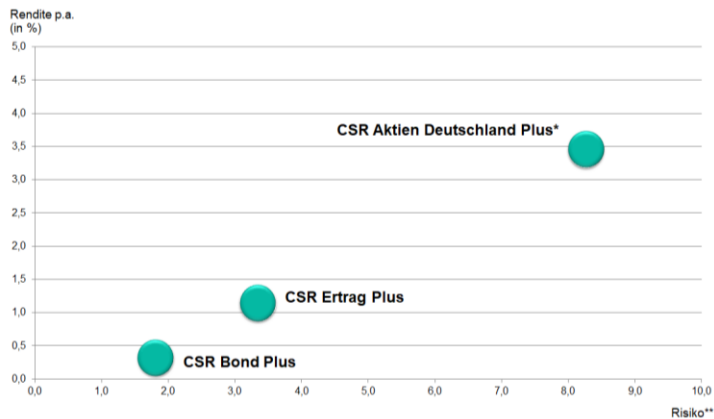
Quellen/Zitate: <sup>1)</sup> Max Born: Physik im Wandel meiner Zeit. Verlag Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig, 1959, 3. Auflage

<sup>2)</sup> O. Höfling: Physik. Band II Teil 1, Mechanik, Wärme. 15. Auflage. Ferd. Dummlers Verlag, Bonn 1994

**Marktentwicklung**

Der Monat Februar wurde dominiert von einem in dieser Form nicht erwarteten Einmarsch der russischen Truppen in die Ukraine. Vor diesem Hintergrund ist es auch nicht verwunderlich, dass fast alle Märkte starken Schwankungen ausgesetzt waren und mit Ausnahme von Gold und US-Dollar negative Wertbeiträge lieferten. Der DAX verlor im Februar 2022 -6,5 %, der DJ EuroStoxx50 -5,9 % und der S&P 500 in USD -3,0 %. Die Rendite der öffentlichen Anleihen in Deutschland im 10-Jahresbereich stieg von 0,01 % auf 0,14 %. Der Ölpreis (NYMEX Crude Oil) stieg um +9,6 %.

### Rendite und Risiko der CSR-Fonds auf einen Blick (31.12.2013 – 28.02.2022)



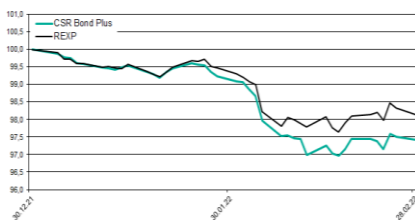
\* Bis 02.01.2017 CSR „AS – Equity D“ wikifolio, ab 02.01.2017 CSR Aktien Deutschland Plus Fonds

\*\* monatliche Volatilität der Renditen (annualisiert)

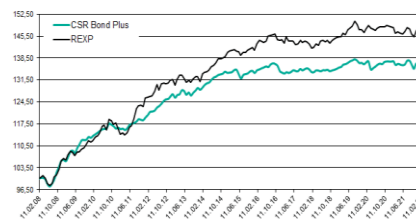
Quelle: www.wikifolio.de, Bloomberg, eigene Darstellung

	Rendite p.a. in %	Risiko**	Rendite/Risiko
CSR Bond Plus	0,32	1,81	0,18
CSR Ertrag Plus	1,14	3,34	0,34
CSR Aktien Deutschland Plus*	3,46	8,26	0,42

### Performance des CSR Bond Plus

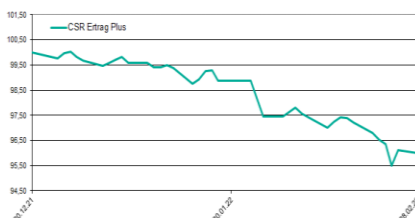


in 2022: -2,57 % (REXP: -1,86 %)

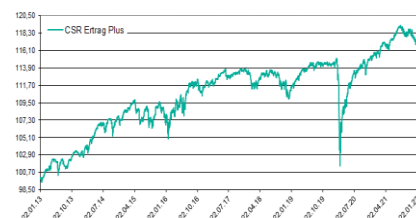


seit Auflage: +31,95 % (REXP: +43,21 %)

### Performance des CSR Ertrag Plus

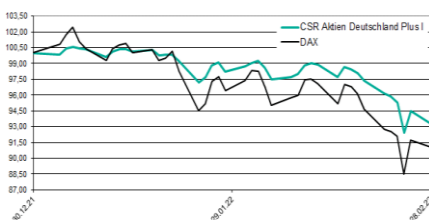


in 2022: -4,01 %

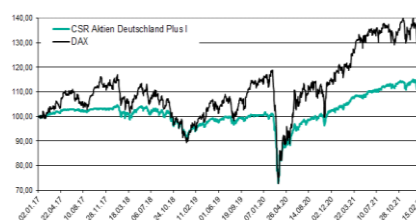


seit Auflage: +12,77 %

### Performance des CSR Aktien Deutschland Plus I

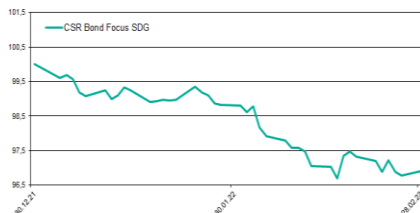


in 2022: -6,70 % (DAX: -8,96 %)

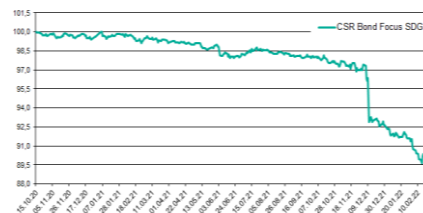


seit Auflage: +6,69 % (DAX: +24,68 %)

### Performance des CSR Bond Focus SDG



in 2022: -3,11 %



seit Auflage: -10,20 %

### Links zu den aktuellen Factsheets der CSR-Fonds

<https://csr-beratungsgesellschaft.de/csr-bond-plus.html>

<https://csr-beratungsgesellschaft.de/csr-ertrag-plus.html>

<https://csr-beratungsgesellschaft.de/csr-aktien-deutschland-plus.html>

<https://csr-beratungsgesellschaft.de/csr-bond-focus-sdg.html>

### Zusammenfassung

Die aktuelle Jahresperformance unserer Fonds beträgt per Ultimo Februar:

- CSR Bond Plus: -2,57 %
- CSR Ertrag Plus: -4,01 %
- CSR Aktien Deutschland Plus: -6,70 % (I-Tranche)  
bzw. -6,76 % (R-Tranche)
- CSR Bond Focus SDG: -3,11 %