

Die grossen „philosophischen“ Probleme der Quantenmechanik stammen vom Messprozess, der eine spezielle Rolle spielt:

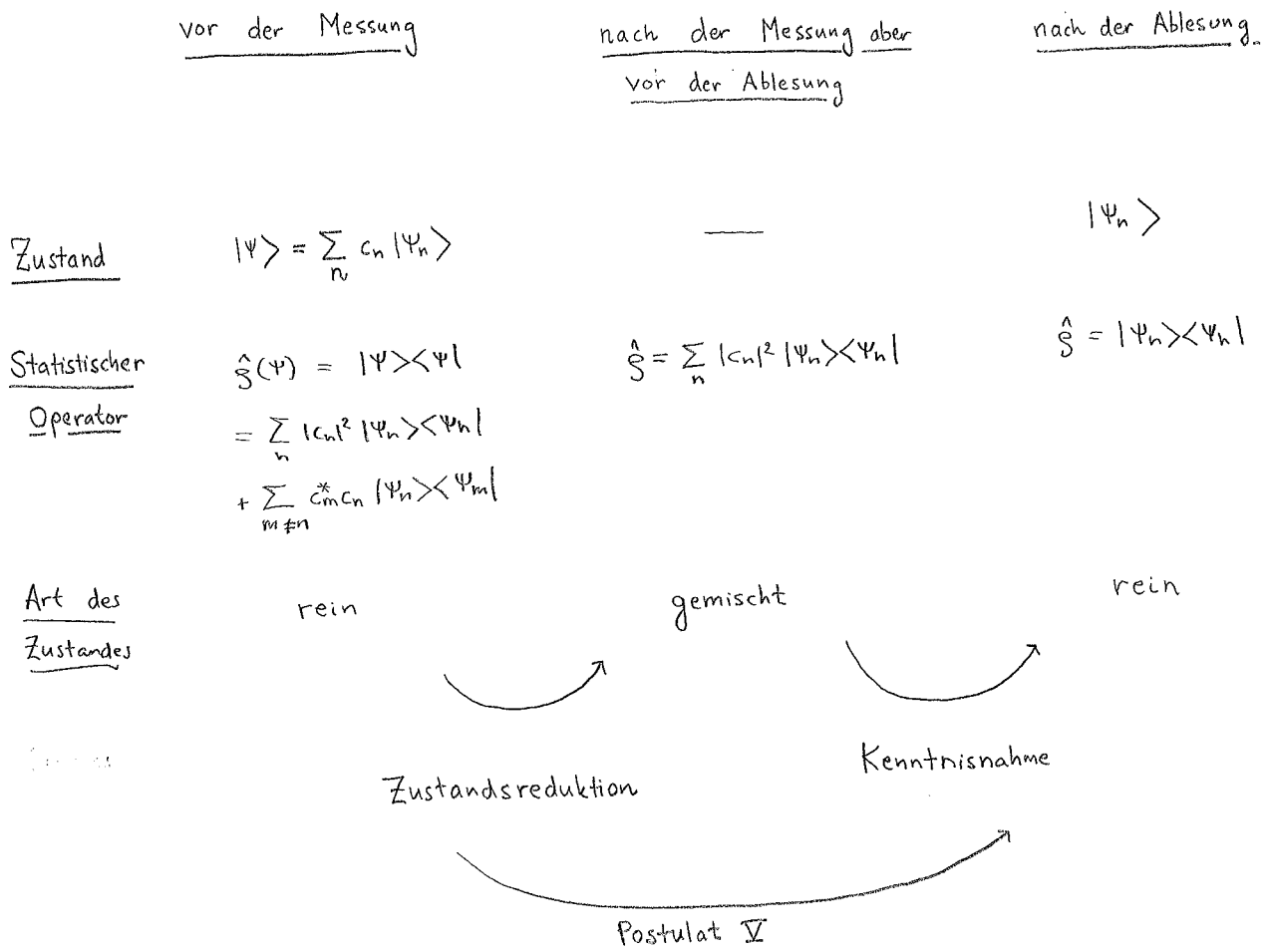
Postulate der Quantenmechanik (V) (vgl. Seiten 40,47)

V. Wird an einem System im Zustand  $|\psi\rangle$  die Observable  $\hat{A}$  gemessen, und wird der Messwert  $a$  gefunden, so geht das System bei der Messung in den zugehörigen Eigenzustand  $|a\rangle$  über („Zustandsreduktion“).

Warum ist dies problematisch?

- \* Der Beobachter beeinflusst das System!  
Was ist aber ein Beobachter? Mensch?  
Messgerät? Einzige Atome bzw. Strahlung?
- \* Man braucht zwei verschiedene Arten von Zeitentwicklungen: die meiste Zeit die Schrödinger-Gleichung (deterministisch!), manchmal aber den (nicht-deterministischen) Messprozess.

Man kann den Messprozess vielleicht sogar in zwei Schritte aufteilen:



Diese zwei Schritte sind möglicherweise ein wenig verständlicher als das Ganze an sich:

Der erste ist „nichts anders“ als Dekohärenz durch Mittelbildung über Phasenfaktoren (Seite 52).

Der zweite ist wie in der klassischen Statistik, d.h. ohne Phasenfaktoren.

Jedoch bleibt der Prozess nicht-deterministisch.

Die allgemeine Unzufriedenheit mit dem Messprozess wurde 1935 in Form des Einstein-Podolski-Rosen (EPR) - Paradoxons formuliert: Quantenmechanik sei zwar nicht falsch, aber „unvollständig“, d.h. bloss eine Näherung einer besseren Theorie.

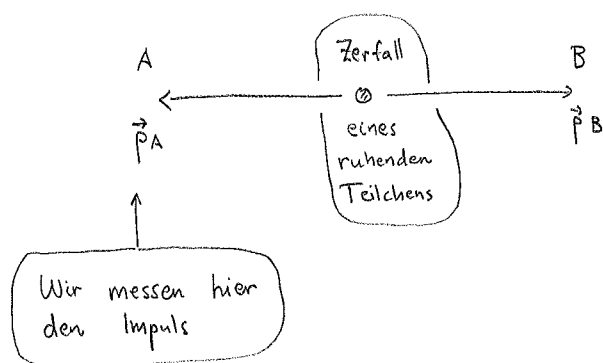
EPR verlangen: \* „Lokalität“

Falls  $|\vec{x}_A - \vec{x}_B| > c \Delta t$  gilt, hängen die Messergebnisse beim System A nur von den Parametern des Systems A ab, und die beim B nur von denjenigen des B.

\* „Realität“

Kann man den Wert einer physikalischen Grösse mit Sicherheit vorhersagen, ohne ein System zu stören, dann gibt es ein Element der physikalischen Realität, das dieser Grösse entspricht.

Es folgt: (schematisch)



⇒

Wir kennen  $\vec{p}_B$  ohne Messung, wegen  $\vec{p}_A + \vec{p}_B = \vec{0}$ ! Also könnten wir  $\vec{x}_B$  messen, und so die beiden gleichzeitig erfahren. (Information über  $\vec{p}_B$  ist allerdings „momentan“ nicht vorhanden.)

Quantenmechanik enthält diese Information nicht ( $\Delta x \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$ ), und sei damit unvollständig!

Erstaunlicherweise ist es aber J.S. Bell 1964 gelungen, Beispiele zu finden, bei denen die EPR-Hypothesen nicht nur die Möglichkeit einer "besseren" Beschreibung der Natur vorschlagen, sondern sogar zu anderen Vorhersagen als die QM führen!

Diese Beispiele sind als die Bellschen Ungleichungen bekannt.

An dieser Stelle kann die Frage experimentell beantwortet werden.

Schlussfolgerungen:

- \* Quantenmechanik ist mit dem Experiment verträglich!
- \* Keine lokale realistische Theorie — " — !

Also müssen wir Postulat V auf Seite 53 akzeptieren, bis zu dem Zeitpunkt, in dem etwas Besseres vorhanden ist!

