Motivation (1935)
Deterministisches Weltbild
„Gott würfelt nicht“
Quantenmechanik verbessern/richtig stellen

Was muss eine Theorie erfüllen?
Richtigkeit: Sind die Vorhersagen brauchbar? (wurde nicht angezweifelt)
Vollständigkeit: Erfasst sie die gesamte Realität?

Kriterium für Vollständigkeit
„Jedes Element der physikalischen Realität, hat seine Entsprechung in der physikalischen Theorie“

Kriterium für „ist Teil der Realität“
„Wenn wir, ohne auf irgendeine Weise ein System zu stören, den Wert einer physikalischen Größe mit Sicherheit (d.h. mit der Wahrscheinlichkeit gleich eins) vorhersagen können, dann gibt es ein Element der physikalischen Realität, das dieser Größe entspricht.“

Das Argument
Die QM gestattet keine Vorhersage über Ort und Impuls gleichzeitig.
(1) QM ist unvollständig
oder
(2) Ort und Impuls sind nicht gleichzeitig ein Teil der Realität

Doch aus (1) falsch folgt (2) falsch. Daher muss (1) richtig sein und die QM unvollständig.

Denn wenn wäre (1) falsch (QM also vollständig), dann ist folgendes Gedankenexperiment möglich

Das Experiment
- Zwei Teilchen
- Erst Interaktion
- Dann Trennung
- Gesamtzustand bekannt
- Messung an einem führt zu Vorhersage am anderen

Bohr’s Antwort
Prinzipielle Gegensätzlichkeit beim messen von Ort und Impuls, die mit dem Aufbau in Verbindung steht. Kurz vorher zwar noch frei, aber prinzipiell nur eines Messbar.
Beispiel mit Spaltexperimenten.
Messen ohne beeinflussen des anderen Systems nicht möglich.

Das versteckte Axiom
Ohne darauf einzugehen, haben EPR die Lokalität der Theorie vorausgesetzt. Das heißt, dass eine Messung an einem Ort, keinen Einfluss auf ein Teilchen an einem anderen Ort haben kann.
Diese Annahme verneint man heute.

Formales Argument

Seien $a_1, a_2, a_3, \ldots$ Eigenwerte einer Messgröße A und $u_1(x_1), u_2(x_1), u_3(x_1), ..$ die dazugehörigen Eigenfunktionen.

x_1 : Variable des ersten Systems
x_2 : Variable des zweiten Systems

Dann kann das Gesamtsystem $\Psi(x_1, x_2)$ ausgedrückt werden durch:

$$\Psi(x_1, x_2) = \sum_{n=1}^{\infty} \psi_n(x_2)\, u_n(x_1)$$

$u_n(x_1)$ müssen hierfür einen Satz paarweise orthogonaler Funktionen sein.

Wird nun A mit dem Ergebnis a_k gemessen, so ist festgelegt, dass System 1 in dem Zustand $u_k(x_1)$ vorliegt.
Dies legt nun auch System 2 auf $\psi_k(x_2)$ eindeutig fest.

Der Satz Funktionen $u_1(x_1), ..$ ist aber von der gewählten Messgröße abhängig.
Sei B eine zu A nicht kommutative Messgröße, mit den Eigenwerten $b_1, b_2, b_3, ..$ und den Eigenfunktionen $v_1(x_1), v_2(x_1), v_3(x_1), \ldots$

$\Psi(x_1, x_2)$ kann dann ausgedrückt werden durch:

$$\Psi(x_1, x_2) = \sum_{n=1}^{\infty} \mathrm{\phi_n}(\mathrm{x_2})\, \mathrm{v_n}(\mathrm{x_1})$$

Wird nun b_l gemessen, so wird System 1 auf $v_l(x_1)$ und System 2 auf $\phi_l(x_2)$ eindeutig festgelegt.

Da es für System 2 aber keinen Unterschied macht, ob wir A oder B messen, müssen sowohl $\psi_k(x_2)$ als auch $\phi_l(x_2)$ gleichzeitig gültige Beschreibungen von System 2 sein.

Man kann dadurch A aus System 2 genau vorhersagen, was nach obiger Definition bedeutet, dass A element der physikalischen Realität ist. Ebenso mit B.
Dies gilt auch bei zwei nicht kommutativen Operatoren. (Beispiel $\hat{x}, \hat{p}$)