

Heisenberg-Gesellschaft e.V.  
Workshop „Quantenphysik an der Schule“, Lautrach 15.-17.7.2022  
Samstag, 16. Juli 2022, 9:00-10:00

**Prof. Dr. Thomas Filk**, Universität Freiburg

## **Verborgene Variable und verschränkte Zustände: Unmöglichkeitbeweise von Johann von Neumann bis GHZ**

Seit Beginn der Quantentheorie gab es immer wieder Ansätze, den statistischen Charakter der Quantentheorie durch sogenannte „verborgene Variable“ zu erklären, deren – möglicherweise prinzipielle – Unkenntnis zu einer Streuung der Messergebnisse an scheinbar gleichartigen Zuständen führt. Andererseits behauptete Max Born schon 1929: „Es lässt sich exakt mathematisch zeigen, dass der anerkannte Formalismus der Quantenmechanik keine solche Ergänzung erlaubt.“ Der wohl bekannteste Unmöglichkeitbeweis dieser Art stammt von Johann von Neumann in seinem Buch „Mathematische Grundlagen der Quantenmechanik“ von 1932.

Obwohl Grete Hermann schon 1933 auf eine physikalisch nicht notwendige Annahme in von Neumanns Argumentation hinwies, hielt sich das Diktum der Unmöglichkeit. Beweise mit teilweise strengeren Annahmen folgten von Gleason, Jauch und Piron, sowie anderen, obwohl spätestens seit den Arbeiten von David Bohm 1952 bekannt war, dass eine solche Erweiterung möglich ist. Erst John Bell klärte die Relevanz der verschiedenen Annahmen in diesen Beweisen.

Mit den Ideen von John Bell entstand gleichzeitig eine neuartige Klasse von Unmöglichkeitbeweisen, die auf den besonderen Eigenschaften verschränkter Zustände beruhen. Die Unmöglichkeit „lokaler“ verborgener Variabler trat in den Vordergrund. Während die Bell'schen Ungleichungen (und Erweiterungen wie die sogenannten CHSH-Ungleichungen) noch statistischen Charakter haben, gelang Greenberger, Horne und Zeilinger (GHZ) ein Unmöglichkeitbeweis für lokale verborgene Variable an einem verschränkten Drei-Teilchen-Zustand, der nur ein einziges Messergebnis erfordert.

In dem Vortrag wird ein ordnender Überblick zu dem Gewirr verschiedener Unmöglichkeitbeweise gegeben. In diesem Zusammenhang wird besonders auf die Begriffe „Realität, Nicht-Lokalität und Verschränkung“ eingegangen, die sehr wahrscheinlich in den neuen Bildungsplänen eine besondere Rolle spielen werden.