

# Ausgedachte Ausführungen zu einem angedachten Anhänger Andors: Quackant, dem unscharfen Unsichtbaren aus unbekanntem Gefilden

Butterbrotbär

21. Mai 2025

## 1 Disclaimer

Ich hörte beim Verfassen dieses Texts vor 3 Jahren bloß eine Einführungsvorlesung zur Quanteninformationstheorie und habe heute sogar wieder weniger Durch- und Überblick über dieses riesige Themengebiet. Was folgt, ist höchstwahrscheinlich fehlerbehaftet und vielleicht gar völliger Blödsinn :P

## 2 Einführung

Um jeden möglichen Zustand der Stärke- und der Willensleiste eines andorischen Helden eindeutig zu identifizieren, brauchen wir (mit der Ausnahme von Drukils Stärke) mindestens je 4 klassische Informationsbits. Was wäre, wenn man diese Informationsbits durch (ziemlich limitierte) Quantenbits ersetzte?

Wir modellieren quasi eine gemeinsame Stärke- und Willensleiste mit Einträgen von 1 bis 16. Dafür können wir einen 16-dimensionalen Zustandsraum wählen, sowie für die Stärkepunkte und Willenspunkte jeweils eine andere Basis des Zustandsraums. Dies erlaubt uns, jedem möglichen Zustand von 1 bis 16 Stärkepunkten oder 1 bis 16 Willenspunkten einen bestimmten Basisvektor zuzuordnen. Danach können wir einen Stärke-Operator und einen Willen-Operator definieren, durch deren Messung das System auf einen zufälligen, aber eindeutigen Basisvektor kollabiert, und als Messwert (Eigenwert) die entsprechende Stärkepunkte-Anzahl oder Willenspunkte-Anzahl ausgibt.

Im Folgenden gehen wir jedoch gerade anders herum vor: Nach Wahl des Zustandsraums definieren wir direkt den Stärke-Operator und Willen-Operator. Der zu einer bestimmten Stärkepunkte-Anzahl oder Willenspunkte-Anzahl gehörende Basisvektor wird dann als passender Eigenzustand des passenden Operators definiert.

## 3 Definitionen

Damit wir Quantentheorie anwenden können, müssen wir zunächst die mathematischen Modelle unserer zu betrachtenden Systeme definieren. Konkret müssen wir für jedes zu betrachtende System einen passenden sogenannten Hilbertraum wählen. In unserem Fall betrachten wir zunächst die gemeinsame Stärke- und Willensleiste als einzelnes System (welches wir fortan  $S$  nennen), müssen also nur einen einzigen Hilbertraum  $\mathbb{H}_S$  wählen. Da wir gerne 16 Basisvektoren hätten, wählen wir einfach die Menge aller Vektoren der Länge 16:

$$\mathbb{H}_S := \mathbb{R}^{16}$$

Wenn wir in echt Quantenmechanik betreiben würden, würden wir wohl einen komplexen Vektorraum wählen, aber für die hiesigen Zwecke reichen die reellen Zahlen völlig aus.

Wir führen an dieser Stelle kurz die Dirac'sche Bra-Ket-Notation ein, da sie so schön und amüsant ist:

- Wir schreiben Elemente  $\psi \in \mathbb{H}_S$  des Hilbertraums als sogenanntes Ket  $|\psi\rangle_S$ .
- Wir schreiben das Skalarprodukt zweier Elemente  $|\psi\rangle_S, |\phi\rangle_S$  des Hilbertraums als sogenanntes Bracket  $\langle\psi|\phi\rangle_S$ .
- Wir definieren das sogenannte Bra  $\langle\psi|_S$  eines Elements  $|\psi\rangle_S$  des Hilbertraums als die Funktion  $|\phi\rangle_S \mapsto \langle\psi|\phi\rangle_S$  vom Hilbertraum in die hier reellen (allgemein komplexen) Zahlen.
- Wir definieren das sogenannte Ketbra  $|\psi\rangle_S\langle\phi|_S$  zweier Elemente  $|\psi\rangle_S, |\phi\rangle_S$  des Hilbertraums als die Funktion  $|\chi\rangle_S \mapsto |\psi\rangle_S\langle\phi|\chi\rangle_S = x|\psi\rangle_S$  vom Hilbertraum in den Hilbertraum (mit  $x := \langle\phi|\chi\rangle_S \in \mathbb{R}$ ).



Beide Operatoren  $\mathcal{S}$ ,  $\mathcal{W}$  haben die maximal mögliche Anzahl verschiedener Eigenwerte (16). In diesem Fall ist für jeden Eigenwert  $x$  eines Operators  $\mathcal{A}$  der sogenannte [Projektor  $\Pi_x$  auf den Eigenraum des Eigenwerts  $x$  des Operators  $\mathcal{A}$ ] einfach das Ketbra  $|x\rangle\langle x|_{\mathcal{S}}$  des dazu passenden Eigenzustands  $|x\rangle_{\mathcal{S}}$ .

Postulate der Quantenmechanik besagen:

- Bei einer Messung des Operators  $\mathcal{A}$  an einem beliebigen Zustand  $|\psi\rangle_{\mathcal{S}}$  erhalten wir immer einen Eigenwert  $x$  des Operators als Messresultat.
- Die Wahrscheinlichkeit, bei dieser Messung einen bestimmten Eigenwert  $x$  als Messresultat zu erhalten, ist  $p = \langle \psi |_{\mathcal{S}} \Pi_x | \psi \rangle_{\mathcal{S}} = \langle \psi | x \rangle_{\mathcal{S}} \langle x | \psi \rangle_{\mathcal{S}} = \langle x | \psi \rangle_{\mathcal{S}}^2$ .
- Erhalten wir bei dieser Messung den Eigenwert  $x$  als Messresultat, so befindet sich unser System  $\mathcal{S}$  nach der Messung im Zustand  $\frac{1}{\sqrt{p}} \Pi_x | \psi \rangle_{\mathcal{S}} = \frac{1}{\langle x | \psi \rangle_{\mathcal{S}}} | x \rangle_{\mathcal{S}} \langle x | \psi \rangle_{\mathcal{S}} = | x \rangle_{\mathcal{S}}$ .

## 5 Beispielsberechnung

Unser Held befindet sich im Zustand  $|7 \text{ WP}\rangle_{\mathcal{S}}$ . Es gilt:

$$\begin{array}{ll}
 \langle 1 \text{ SP} | 7 \text{ WP} \rangle_{\mathcal{S}}^2 = \frac{1}{36} & \langle 1 \text{ WP} | 7 \text{ WP} \rangle_{\mathcal{S}}^2 = 0 \\
 \langle 2 \text{ SP} | 7 \text{ WP} \rangle_{\mathcal{S}}^2 = \frac{1}{36} & \langle 2 \text{ WP} | 7 \text{ WP} \rangle_{\mathcal{S}}^2 = 0 \\
 \langle 3 \text{ SP} | 7 \text{ WP} \rangle_{\mathcal{S}}^2 = \frac{2}{36} & \langle 3 \text{ WP} | 7 \text{ WP} \rangle_{\mathcal{S}}^2 = 0 \\
 \langle 4 \text{ SP} | 7 \text{ WP} \rangle_{\mathcal{S}}^2 = \frac{2}{36} & \langle 4 \text{ WP} | 7 \text{ WP} \rangle_{\mathcal{S}}^2 = 0 \\
 \langle 5 \text{ SP} | 7 \text{ WP} \rangle_{\mathcal{S}}^2 = \frac{5}{36} & \langle 5 \text{ WP} | 7 \text{ WP} \rangle_{\mathcal{S}}^2 = 0 \\
 \langle 6 \text{ SP} | 7 \text{ WP} \rangle_{\mathcal{S}}^2 = \frac{5}{36} & \langle 6 \text{ WP} | 7 \text{ WP} \rangle_{\mathcal{S}}^2 = 0 \\
 \langle 7 \text{ SP} | 7 \text{ WP} \rangle_{\mathcal{S}}^2 = \frac{10}{36} & \langle 7 \text{ WP} | 7 \text{ WP} \rangle_{\mathcal{S}}^2 = 1 \\
 \langle 8 \text{ SP} | 7 \text{ WP} \rangle_{\mathcal{S}}^2 = \frac{10}{36} & \langle 8 \text{ WP} | 7 \text{ WP} \rangle_{\mathcal{S}}^2 = 0 \\
 \langle 9 \text{ SP} | 7 \text{ WP} \rangle_{\mathcal{S}}^2 = 0 & \langle 9 \text{ WP} | 7 \text{ WP} \rangle_{\mathcal{S}}^2 = 0 \\
 \vdots & \vdots \\
 \langle 16 \text{ SP} | 7 \text{ WP} \rangle_{\mathcal{S}}^2 = 0 & \langle 16 \text{ WP} | 7 \text{ WP} \rangle_{\mathcal{S}}^2 = 0
 \end{array}$$

Wir sehen also, dass bei einer **Willen-Messung** am Zustand  $|7 \text{ WP}\rangle_{\mathcal{S}}$  mit Wahrscheinlichkeit 1 das Messergebnis 7 erhalten wird und sich das System danach immer noch im Zustand  $|7 \text{ WP}\rangle_{\mathcal{S}}$  befindet.

Wir sehen auch, dass bei einer **Stärke-Messung** am Zustand  $|7 \text{ WP}\rangle_{\mathcal{S}}$  ...

- ... mit einer Wahrscheinlichkeit von  $\frac{1}{36}$  das Messergebnis 1 erhalten wird und sich das System danach im Zustand  $|1 \text{ SP}\rangle_{\mathcal{S}}$  befindet.
- ... mit einer Wahrscheinlichkeit von  $\frac{1}{36}$  das Messergebnis 2 erhalten wird und sich das System danach im Zustand  $|2 \text{ SP}\rangle_{\mathcal{S}}$  befindet.
- ... mit einer Wahrscheinlichkeit von  $\frac{2}{36}$  das Messergebnis 3 erhalten wird und sich das System danach im Zustand  $|3 \text{ SP}\rangle_{\mathcal{S}}$  befindet.
- ... mit einer Wahrscheinlichkeit von  $\frac{2}{36}$  das Messergebnis 4 erhalten wird und sich das System danach im Zustand  $|4 \text{ SP}\rangle_{\mathcal{S}}$  befindet.
- ... mit einer Wahrscheinlichkeit von  $\frac{5}{36}$  das Messergebnis 5 erhalten wird und sich das System danach im Zustand  $|5 \text{ SP}\rangle_{\mathcal{S}}$  befindet.
- ... mit einer Wahrscheinlichkeit von  $\frac{5}{36}$  das Messergebnis 6 erhalten wird und sich das System danach im Zustand  $|6 \text{ SP}\rangle_{\mathcal{S}}$  befindet.
- ... mit einer Wahrscheinlichkeit von  $\frac{10}{36}$  das Messergebnis 7 erhalten wird und sich das System danach im Zustand  $|7 \text{ SP}\rangle_{\mathcal{S}}$  befindet.

- ... mit einer Wahrscheinlichkeit von  $\frac{10}{36}$  das Messergebnis 8 erhalten wird und sich das System danach im Zustand  $|8 \text{ SP}\rangle_S$  befindet.

Beachtet, dass die Wahrscheinlichkeiten immer schön zu 1 addieren.

Das Modell steht und dabei könnten wir es eigentlich belassen. Aber diese ganzen Wahrscheinlichkeiten sind echt schwer zu merken. Es wäre cool, wenn wir unser großes System  $S$  in eine Menge kleinerer Systeme aufteilen könnten, um diese Operationen intuitiver durchführbar zu machen. Und es ist cool, dass wir das einfach können.

## 6 Separation auf vier Qubits

Konkret teilen wir unser Gesamtsystem  $S = ABCD$  mit Hilbertraum  $\mathbb{H}_{ABCD} = \mathbb{R}^{16}$  in vier Qubits  $A, B, C, D$  mit kleineren Hilberträumen  $\mathbb{H}_A = \mathbb{H}_B = \mathbb{H}_C = \mathbb{H}_D = \mathbb{R}^2$  auf. Das geht, weil  $\mathbb{R}^{16} = \mathbb{R}^2 \otimes \mathbb{R}^2 \otimes \mathbb{R}^2 \otimes \mathbb{R}^2$ .

In jedem Qubit-System definieren wir eine neue Stärkekpunkt-Basis und eine neue Willenspunkt-Basis, welche praktischerweise nur aus je zwei Vektoren bestehen.

$$\begin{array}{ll}
 |1 \text{ SP}\rangle_A := \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} & |1 \text{ WP}\rangle_A := \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \\
 |9 \text{ SP}\rangle_A := \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} & |9 \text{ WP}\rangle_A := \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \\
 |+0 \text{ SP}\rangle_B := \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} & |+0 \text{ WP}\rangle_B := \begin{pmatrix} \sqrt{\frac{5}{6}} \\ \sqrt{\frac{1}{6}} \end{pmatrix} \\
 |+4 \text{ SP}\rangle_B := \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} & |+4 \text{ WP}\rangle_B := \begin{pmatrix} \sqrt{\frac{1}{6}} \\ -\sqrt{\frac{5}{6}} \end{pmatrix} \\
 |+0 \text{ SP}\rangle_C := \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} & |+0 \text{ WP}\rangle_C := \begin{pmatrix} \sqrt{\frac{4}{6}} \\ \sqrt{\frac{2}{6}} \end{pmatrix} \\
 |+2 \text{ SP}\rangle_C := \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} & |+2 \text{ WP}\rangle_C := \begin{pmatrix} \sqrt{\frac{2}{6}} \\ -\sqrt{\frac{4}{6}} \end{pmatrix} \\
 |+0 \text{ SP}\rangle_D := \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} & |+0 \text{ WP}\rangle_D := \begin{pmatrix} \sqrt{\frac{3}{6}} \\ \sqrt{\frac{3}{6}} \end{pmatrix} \\
 |+1 \text{ SP}\rangle_D := \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} & |+1 \text{ WP}\rangle_D := \begin{pmatrix} \sqrt{\frac{3}{6}} \\ -\sqrt{\frac{3}{6}} \end{pmatrix}
 \end{array}$$

Das Tensorprodukt  $\otimes$  ist eine voll fancy Operation zwischen verschiedenen Vektorräumen, die man immer wieder in verschiedensten Kontexten der Physik antrifft. Es ist nicht ansatzweise so kompliziert, wie es auf den ersten Blick erscheinen mag. Eine formelle mathematische Einführung benötigt dennoch etwas Zeit. Glücklicherweise reduziert es sich in unserem Fall von endlichen reellen Vektoren einfach auf das Kronecker-Produkt:

$$\forall |a\rangle = \begin{pmatrix} a_1 \\ \vdots \\ a_m \end{pmatrix} \in \mathbb{R}^m, \quad \forall |b\rangle = \begin{pmatrix} b_1 \\ \vdots \\ b_n \end{pmatrix} \in \mathbb{R}^n : \quad |a\rangle \otimes |b\rangle := \begin{pmatrix} a_1 |b\rangle \\ \vdots \\ a_m |b\rangle \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_1 b_1 \\ \vdots \\ a_1 b_n \\ \vdots \\ a_m b_1 \\ \vdots \\ a_m b_n \end{pmatrix} \in \mathbb{R}^{mn}.$$

Damit lassen sich die oben definierten Stärkepunkte-Zustände und Willenspunkte-Zustände des Gesamtsystems ganz einfach separieren. Weil wir die Bezeichnungen für die Basisvektoren in Antizipation geschickt wählten, ist diese Separation auch völlig intuitiv: Zum Beispiel teilt sich der 12 SP  $ABCD$ -Zustand in den 9 SP  $A$ -Zustand, den +0 SP  $B$ -Zustand, den +2 SP  $C$ -Zustand und den +1 SP  $D$ -Zustand.

$s$	$ s \text{ SP}\rangle_{ABCD}$				
1	$ 1 \text{ SP}\rangle_{ABCD} =$	$ 1 \text{ SP}\rangle_A \otimes$	$ +0 \text{ SP}\rangle_B \otimes$	$ +0 \text{ SP}\rangle_C \otimes$	$ +0 \text{ SP}\rangle_D$
2	$ 2 \text{ SP}\rangle_{ABCD} =$	$ 1 \text{ SP}\rangle_A \otimes$	$ +0 \text{ SP}\rangle_B \otimes$	$ +0 \text{ SP}\rangle_C \otimes$	$ +1 \text{ SP}\rangle_D$
3	$ 3 \text{ SP}\rangle_{ABCD} =$	$ 1 \text{ SP}\rangle_A \otimes$	$ +0 \text{ SP}\rangle_B \otimes$	$ +2 \text{ SP}\rangle_C \otimes$	$ +0 \text{ SP}\rangle_D$
4	$ 4 \text{ SP}\rangle_{ABCD} =$	$ 1 \text{ SP}\rangle_A \otimes$	$ +0 \text{ SP}\rangle_B \otimes$	$ +2 \text{ SP}\rangle_C \otimes$	$ +1 \text{ SP}\rangle_D$
5	$ 5 \text{ SP}\rangle_{ABCD} =$	$ 1 \text{ SP}\rangle_A \otimes$	$ +4 \text{ SP}\rangle_B \otimes$	$ +0 \text{ SP}\rangle_C \otimes$	$ +0 \text{ SP}\rangle_D$
6	$ 6 \text{ SP}\rangle_{ABCD} =$	$ 1 \text{ SP}\rangle_A \otimes$	$ +4 \text{ SP}\rangle_B \otimes$	$ +0 \text{ SP}\rangle_C \otimes$	$ +1 \text{ SP}\rangle_D$
7	$ 7 \text{ SP}\rangle_{ABCD} =$	$ 1 \text{ SP}\rangle_A \otimes$	$ +4 \text{ SP}\rangle_B \otimes$	$ +2 \text{ SP}\rangle_C \otimes$	$ +0 \text{ SP}\rangle_D$
8	$ 8 \text{ SP}\rangle_{ABCD} =$	$ 1 \text{ SP}\rangle_A \otimes$	$ +4 \text{ SP}\rangle_B \otimes$	$ +2 \text{ SP}\rangle_C \otimes$	$ +1 \text{ SP}\rangle_D$
9	$ 9 \text{ SP}\rangle_{ABCD} =$	$ 9 \text{ SP}\rangle_A \otimes$	$ +0 \text{ SP}\rangle_B \otimes$	$ +0 \text{ SP}\rangle_C \otimes$	$ +0 \text{ SP}\rangle_D$
10	$ 10 \text{ SP}\rangle_{ABCD} =$	$ 9 \text{ SP}\rangle_A \otimes$	$ +0 \text{ SP}\rangle_B \otimes$	$ +0 \text{ SP}\rangle_C \otimes$	$ +1 \text{ SP}\rangle_D$
11	$ 11 \text{ SP}\rangle_{ABCD} =$	$ 9 \text{ SP}\rangle_A \otimes$	$ +0 \text{ SP}\rangle_B \otimes$	$ +2 \text{ SP}\rangle_C \otimes$	$ +0 \text{ SP}\rangle_D$
12	$ 12 \text{ SP}\rangle_{ABCD} =$	$ 9 \text{ SP}\rangle_A \otimes$	$ +0 \text{ SP}\rangle_B \otimes$	$ +2 \text{ SP}\rangle_C \otimes$	$ +1 \text{ SP}\rangle_D$
13	$ 13 \text{ SP}\rangle_{ABCD} =$	$ 9 \text{ SP}\rangle_A \otimes$	$ +4 \text{ SP}\rangle_B \otimes$	$ +0 \text{ SP}\rangle_C \otimes$	$ +0 \text{ SP}\rangle_D$
14	$ 14 \text{ SP}\rangle_{ABCD} =$	$ 9 \text{ SP}\rangle_A \otimes$	$ +4 \text{ SP}\rangle_B \otimes$	$ +0 \text{ SP}\rangle_C \otimes$	$ +1 \text{ SP}\rangle_D$
15	$ 15 \text{ SP}\rangle_{ABCD} =$	$ 9 \text{ SP}\rangle_A \otimes$	$ +4 \text{ SP}\rangle_B \otimes$	$ +2 \text{ SP}\rangle_C \otimes$	$ +0 \text{ SP}\rangle_D$
16	$ 16 \text{ SP}\rangle_{ABCD} =$	$ 9 \text{ SP}\rangle_A \otimes$	$ +4 \text{ SP}\rangle_B \otimes$	$ +2 \text{ SP}\rangle_C \otimes$	$ +1 \text{ SP}\rangle_D$

  

$w$	$ w \text{ WP}\rangle_{ABCD}$				
1	$ 1 \text{ WP}\rangle_{ABCD} =$	$ 1 \text{ WP}\rangle_A \otimes$	$ +0 \text{ WP}\rangle_B \otimes$	$ +0 \text{ WP}\rangle_C \otimes$	$ +0 \text{ WP}\rangle_D$
2	$ 2 \text{ WP}\rangle_{ABCD} =$	$ 1 \text{ WP}\rangle_A \otimes$	$ +0 \text{ WP}\rangle_B \otimes$	$ +0 \text{ WP}\rangle_C \otimes$	$ +1 \text{ WP}\rangle_D$
3	$ 3 \text{ WP}\rangle_{ABCD} =$	$ 1 \text{ WP}\rangle_A \otimes$	$ +0 \text{ WP}\rangle_B \otimes$	$ +2 \text{ WP}\rangle_C \otimes$	$ +0 \text{ WP}\rangle_D$
4	$ 4 \text{ WP}\rangle_{ABCD} =$	$ 1 \text{ WP}\rangle_A \otimes$	$ +0 \text{ WP}\rangle_B \otimes$	$ +2 \text{ WP}\rangle_C \otimes$	$ +1 \text{ WP}\rangle_D$
5	$ 5 \text{ WP}\rangle_{ABCD} =$	$ 1 \text{ WP}\rangle_A \otimes$	$ +4 \text{ WP}\rangle_B \otimes$	$ +0 \text{ WP}\rangle_C \otimes$	$ +0 \text{ WP}\rangle_D$
6	$ 6 \text{ WP}\rangle_{ABCD} =$	$ 1 \text{ WP}\rangle_A \otimes$	$ +4 \text{ WP}\rangle_B \otimes$	$ +0 \text{ WP}\rangle_C \otimes$	$ +1 \text{ WP}\rangle_D$
7	$ 7 \text{ WP}\rangle_{ABCD} =$	$ 1 \text{ WP}\rangle_A \otimes$	$ +4 \text{ WP}\rangle_B \otimes$	$ +2 \text{ WP}\rangle_C \otimes$	$ +0 \text{ WP}\rangle_D$
8	$ 8 \text{ WP}\rangle_{ABCD} =$	$ 1 \text{ WP}\rangle_A \otimes$	$ +4 \text{ WP}\rangle_B \otimes$	$ +2 \text{ WP}\rangle_C \otimes$	$ +1 \text{ WP}\rangle_D$
9	$ 9 \text{ WP}\rangle_{ABCD} =$	$ 9 \text{ WP}\rangle_A \otimes$	$ +0 \text{ WP}\rangle_B \otimes$	$ +0 \text{ WP}\rangle_C \otimes$	$ +0 \text{ WP}\rangle_D$
10	$ 10 \text{ WP}\rangle_{ABCD} =$	$ 9 \text{ WP}\rangle_A \otimes$	$ +0 \text{ WP}\rangle_B \otimes$	$ +0 \text{ WP}\rangle_C \otimes$	$ +1 \text{ WP}\rangle_D$
11	$ 11 \text{ WP}\rangle_{ABCD} =$	$ 9 \text{ WP}\rangle_A \otimes$	$ +0 \text{ WP}\rangle_B \otimes$	$ +2 \text{ WP}\rangle_C \otimes$	$ +0 \text{ WP}\rangle_D$
12	$ 12 \text{ WP}\rangle_{ABCD} =$	$ 9 \text{ WP}\rangle_A \otimes$	$ +0 \text{ WP}\rangle_B \otimes$	$ +2 \text{ WP}\rangle_C \otimes$	$ +1 \text{ WP}\rangle_D$
13	$ 13 \text{ WP}\rangle_{ABCD} =$	$ 9 \text{ WP}\rangle_A \otimes$	$ +4 \text{ WP}\rangle_B \otimes$	$ +0 \text{ WP}\rangle_C \otimes$	$ +0 \text{ WP}\rangle_D$
14	$ 14 \text{ WP}\rangle_{ABCD} =$	$ 9 \text{ WP}\rangle_A \otimes$	$ +4 \text{ WP}\rangle_B \otimes$	$ +0 \text{ WP}\rangle_C \otimes$	$ +1 \text{ WP}\rangle_D$
15	$ 15 \text{ WP}\rangle_{ABCD} =$	$ 9 \text{ WP}\rangle_A \otimes$	$ +4 \text{ WP}\rangle_B \otimes$	$ +2 \text{ WP}\rangle_C \otimes$	$ +0 \text{ WP}\rangle_D$
16	$ 16 \text{ WP}\rangle_{ABCD} =$	$ 9 \text{ WP}\rangle_A \otimes$	$ +4 \text{ WP}\rangle_B \otimes$	$ +2 \text{ WP}\rangle_C \otimes$	$ +1 \text{ WP}\rangle_D$

Damit können wir nun unser System durch vier Qubit-System beschreiben, und Messungen am großen System als voneinander unabhängige Messungen an den vier Qubit-Systemen behandelt. Da die Wahrscheinlichkeiten bei Messungen an den einzelnen Qubit-Systemen alle nur Vielfache von Sechsteln sind, benötigen wir für jede Messung an einem einzelnen Qubit-System bloß einen Wurf eines klassischen Heldenwürfels, um die Wahrscheinlichkeiten, in einem bestimmten Zustand zu landen, zu bestimmen. Folglich benötigen wir nur einen Wurf von vier klassischen Heldenwürfeln, um eine Messung am Gesamtsystem zu simulieren.

Bei den Qubits haben wir wie schon beim Gesamtsystem die Stärke-Eigenzustände jeweils als Standardbasis gewählt. Danach wurden jedoch je nach Qubit unterschiedlich davon entfernte Willen-Eigenzustände gewählt. So ist es möglich, die Stärke- und Willens-Eigenzustände der großen Unterschiede (z.B. Qubit  $A$  mit 1 oder 9) übereinstimmen zu lassen, sodass dort viel Stabilität vorhanden ist, während die Systeme der kleinen Zahlen (z.B. Qubit  $D$  mit +0 oder +1) maximale Variabilität zwischen Stärke- und Willens-Eigenzuständen haben und viel wahrscheinlicher umherspringen.

## 7 Kritik

Ich finde die Symmetrie zwischen Stärke- und Willensleiste in dieser Formulierung recht schön. Das ändert natürlich nichts daran, dass es im Spiel sehr viel einfacher ist, Willenspunkte zu erlangen, als Stärkekpunkte zu ergattern. Ein Held, der nur eine gemeinsame Leiste hat, wird zwangsläufig unausgeglichen sein.

In dieser Formulierung der Sonderfähigkeit wird das leichtere Erlangen von Stärke durch das leichtere Verlieren von Stärke und den Willenspunkteverlust bei Tagesende etwas ausgeglichen. Alternativ oder zusätzlich könnte man natürlich auch andere Skalen für die Willens- und Stärkekpunkte nutzen, z.B. einen fünften Qubit für  $1/2$  WP zu ergänzen und die anderen WP-Werte jeweils verdoppeln.

Schade ist auch, dass wir uns hier der Einfachheit der Darstellung halber völlig auf separable Zustände des Gesamtsystems herablassen. Könnten wir vielleicht mit ein bisschen Tricks auch eine Verschränkungsvariante der Regeln anbieten oder bricht das völlig auseinander?

Die Formulierung der Heisenbergschen Unschärferelation zwischen Stärke-Operator und Willen-Operator wird der Leserschaft als Übung überlassen :)

Ablage für  
beliebig viel  
Gold und Edelsteine

## QUACKANT

Der Unscharfe, Rang 72

**Sonderfähigkeit:** Quackant hat vier Holzsteine, aber (außer seiner Zeitscheibe) keine Holzscheibe. Zu Beginn legt er je 1 Marker auf jeden Qubits, sodass sie seine Start-Stärkepunkte anzeigen. Wann immer Quackants Stärkepunkte gefragt sind (z.B. im Kampf), muss er eine **Stärkemessung** durchführen. Wann immer Quackants Willenspunkte gefragt sind (z.B. bei Sprungfeldern), muss er eine **Willensmessung** durchführen.

**Stärke-/Willensmessung:** Bei jedem Marker, der nicht auf einem passenden Feld liegt, wirft Quackant mit einem Heldenwürfel und verschiebt den Marker in die **entgegengesetzte** Richtung auf das nächste Feld. Wenn Quackant Stärke-/Willenspunkte erhält oder verliert, muss er zuerst eine Stärke-/Willensmessung machen und anschließend auf den neuen Wert verschieben. Wenn er seinen Tag beendet, verliert Quackant jeweils 1 Willenspunkt. Quackant kann im Kampf nie Würfel werfen.



**Hinweis:** Für jede mögliche Stärke- oder Willensanzahl zwischen 1 und 16 gibt es genau eine passende Marker-Verteilung mit genau 1 Marker auf jedem Qubit-Rad.

**Beispiel Spielbeginn:** Beginnt Quackant eine Legende mit 3 Stärkepunkten, so legt er die Marker von links nach rechts auf 1 +0 SP +2 SP +0 SP.

**Beispiel Stärke-Messung:** Liegen Quackants Marker vor einer Stärke-Messung auf der 9 +0 SP +2 WP +1 SP, so zeigt nur der dritte Marker (+2 WP) noch keine SP. Quackant wirft einen Würfel. Bei einer 5 oder 6 verschiebt er den Marker auf +0 SP und hat insgesamt 10 SP, bei einer 1, 2, 3 oder 4 verschiebt er den Marker auf +2 SP und hat insgesamt 12 SP.

**Beispiel Willen-Messung:** Liegen Quackants Marker vor einer Willen-Messung auf 1 +4 SP +0 SP +1 WP, so zeigen der zweite und dritte Marker noch keine WP. Quackant wirft für den zweiten Marker (+4 SP) eine 4 und verschiebt den Marker auf +4 WP. Für den dritten Marker (+0 SP) wirft er eine 5 und verschiebt den Marker auf +2 WP. Insgesamt hat Quackant nun 1 + 4 WP + 2 WP + 1 WP = 8 WP.

### Probleme:

Kann er keine Holzstämme tragen?

Was, wenn er auf 0 SP/WP fällt?