

Inhaltsverzeichnis

Arbeitsstatus vs. Beweisstatus (kanonisch)	2	B. Forschungsagenda und technischer Anhang	10
A. Bedingtes KAO-Born-Rekonstruktionsschema (ehem. §13.6b)	2	(ehem. §13.6c und §13.A)	
13.6b Bedingtes KAO-Born-Rekonstruktionsschema	2	13.6c Forschungsagenda — offene physikalische Beweislasten (kanonisch gebündelt)	10
13.6b.1 Fragestellung und Abgrenzung	2	13.A Technischer Anhang zum Born-Prüfpfad	11
13.6b.2 Was aus den sieben Axiomen nicht folgt	3	13.A.1 Fortsetzungsäquivalenz	11
13.6b.3 Anschlussstruktur und direkte Gewichtslage	3	13.A.2 Neutrale Closure	12
13.6b.4 Übersicht der drei Rekonstruktionsstufen	3	13.A.3 Extensivität, Monotonie und Idempotenz	12
13.6b.4a Elementarer Binärsektor (Stufe A: Q1–Q4 und A+G / A+E)	4	13.A.4 Schließungsweg-Neutralität	12
Q1 — Kohärente Anschlussfähigkeit	4	13.A.5 Austauschbedingung (Exchange)	12
Q2 — Elementare Relationsexhaustivität	4	13.A.6 Rang, Unabhängigkeit und Basen	13
Q3 — Reversible reine Adressgleichrangigkeit	4	13.A.6b Hilfslemma — Exponent 2 unter importierter Verfeinerung	13
Q4 — Scharfe Antipodenunterscheidung	4	13.A.7 Modularität und Schnittsättigung	13
A+G — Geometrisches Ziellemma	4	13.A.7a Zerlegung von Q2 (Stufe A)	13
A+E — Effekt-Zustand-Paarung	5	13.A.7b A+G und A+E (technischer Kurzverweis)	14
13.6b.5 Warum das Quadrat erscheint (Anschluss an §13.6a)	5	13.A.8 Projektive Koordinatisierung (Stufe C · Geometriebrücke, Teil 1)	14
13.6b.5c Drei Brücken (Geometrie · Maß · Realisierung)	6	13.A.9 Auswahl der Skalare (Stufe C; Solèr-Warnung)	14
13.6b.5a Mehrkanalraum ist kein Tensorprodukt	6	13.A.10 Globale Effektpolarität und Formstruktur (Geometriebrücke, Teil 2)	14
13.6b.5b Real versus complex — kurzer Literaturhinweis	6	13.A.11 Maßbrücke: Affine Mischungen und Gleason-/Busch-Typ	15
13.6b.6 Neutrale Mehrkanalordnung (Stufe B: N1–N4)	6	Projektiver Gleason-Zweig	15
N1 — Austausch neutraler Abhängigkeiten	6	Busch-/Effekt-Zweig	16
N2 — Modularität / Schnittsättigung	6	13.A.12 Effekt und Instrument	16
N2-stark (Standardansatz dieses Schemas):	7	13.A.13 Abhängigkeitsdiagramm des Born-Pfades	17
N3 — Universelle Binärsektoridentität	7	13.A.14 Gegenmodelle (technisch)	17
N4 — Neutrale Höherrang-Erweiterbarkeit	7	13.A.15 Liste noch nicht geführter Beweise	18
13.6b.7 Globale Recordbedingungen (Stufe B: S1–S2)	7	13.A.16 Anhangs-Kernsatz	18
S1 — Globale Effekt-/Adressidentität	7	13.A.17 Literaturapparat zu §13 und §13.A	19
S2 — Scharfe Adressvollständigkeit	7		
13.6b.7a Lokale-zu-globale Kompatibilität (L2-G)	7		
13.6b.7b Zwei-Port-Grenze, Drei-Schlösser-Karte und τ - Negativbefund	8		
13.6b.8 Bedingtes Rekonstruktionsschema und Repräsentationsbrücke (Stufe C)	8		
13.6b.9 Born, Zufall und Festlegung	8		
13.6b.10 Gegenmodelle und Falsifikationspunkte	9		
13.6b.11 Statuskasten	9		

Born-Supplement v1.0.1 — Technischer Prüfpfad (KAO)

Bezugsfassung: Hauptbuch v1.0.86

Status: [Spekulations-Prüfpfad] · keine Kernthese · keine Born-Herleitung aus den sieben Axiomen Bezugshauptbuch: v1.0.86 · Fassung des Supplements: v1.0.1 · Herkunft: ausgelagert aus Hauptbuch §13.6b-Detail, §13.6c und §13.A (Stand v1.0.67) · Synchronisationsstand: Juli 2026 Autor: Michael Boeltzig · Redaktion: Juli 2026

Dieses Supplement ist **kein** Ersatz des Hauptbuchs. Der allgemeine Haupttext enthält nur die Brücke; die technische Detailtiefe steht hier.

Arbeitsstatus vs. Beweisstatus (kanonisch)

Kennung	Arbeitsstatus	Beweisstatus	Inhalt
Q2, N2 u. a.	in Bearbeitung / Agenda	offen	zentrale Engpässe des Kanon-Born-Pfads in diesem Supplement
T1 Zeugen-Binarität	Arbeit/Prüfung durchgeführt; Density-Cube-Prüfstein in der Programm-Lesart überstanden (Archivstatus Zwei-Slot v0.4)	nicht bewiesen (Hauptvermutung bleibt offen)	<i>separates</i> Zwei-Slot-/I ₃ -Programm (Facharchiv); nicht Kanon-Kernengpass
T2 Absorptionslemma / Z1	formalisiert und bearbeitet	Negativbefund: Z1 folgt nicht aus Hauptbuch §2.4a; nur als Sektorpostulat oder unter P _{AL}	ebenfalls Zwei-Slot-/I ₃ ; belastet weder sieben Axiome noch Matrix

Abgeschlossene Bearbeitung ist kein abgeschlossener Beweis. Offene Beweise bleiben offen.

Versionshinweis. Fassung des Supplements: v1.0.1 (Synchronisation mit Hauptbuch v1.0.86; Zwei-Port-Grenze / L2-G6; Formeln integer; Begriffsangleichung Festlegungsordnung). Maßgeblich für den ontologischen Kern bleibt das Hauptbuch. Die aktuelle Messproblem-/Adressbegrifflichkeit ist im Hauptbuch §13.5 und §16 geführt; dieses Supplement kopiert sie nicht neu, sondern setzt sie voraus.

A. Bedingtes KAO-Born-Rekonstruktionsschema (ehem. §13.6b)

13.6b Bedingtes KAO-Born-Rekonstruktionsschema

Untertitel: Ein kohärenter Quantensektor im Vergleich mit bestehenden Quantenrekonstruktionen

Status: [Spekulations-Prüfpfad]

Satzstatus. Das Folgende ist ein konditionales Rekonstruktionsschema. Es ist kein im Werk vollständig geführter Beweis aus den sieben KAO-Axiomen. Es verbindet KAO-Deutungen mit starken zusätzlichen Quantensektorbedingungen und importierten mathematischen Repräsentationssätzen. Es beansprucht weder eine neue Born-Herleitung noch schwächere Axiome als etablierte Rekonstruktionsprogramme (Hardy, CDP, Masanes–Müller u. a.; §13.A.17 [L7]–[L10]).

Dieser Abschnitt gehört nicht zum ontologischen Kern. Er ersetzt keine Fachphysik, löst nicht das Messproblem und liefert keine neue empirische Vorhersage.

Die sieben KAO-Axiome bestimmen die allgemeine Ordnung von Möglichkeit, Anschluss, Festlegung und Geschichte. Für einen besonderen kohärenten physikalischen Sektor werden zusätzliche, Born-unabhängig formulierte Strukturbedingungen ausgewiesen.

Die Born-Regel wird innerhalb des vollständigen Sektor- und Regularitätspakets nicht als zusätzliches isoliertes Wahrscheinlichkeitspostulat eingeführt. Das Paket enthält jedoch starke geometrische, symmetrische, relationale und recordtheoretische Bedingungen. Die Beweislast wird dadurch von der isolierten Born-Regel auf die physische Begründung der Bedingungen Q, N und S sowie der Regularitäts- und Repräsentationsannahmen verlagert. Sie wird nicht beseitigt.

Möglicher ontologischer Eigenanteil (*nicht als bewiesene historische Neuheit*): die Deutung und Trennung von Möglichkeit, Gewicht, exklusivem Ausgang, Zufall, Festlegung, Record und Geschichte — und der zentrale KAO-Deutungssatz von §13.6a.

13.6b.1 Fragestellung und Abgrenzung

Born beantwortet:

- Wie werden mögliche exklusive Ausgänge gewichtet?

Born beantwortet nicht:

- Warum wird genau ein Ausgang wirklich? (Festlegung / Festlegungsordnung)
- Wann erfolgt die Festlegung?
- Warum wird im Einzelfall gerade Ausgang *i* realisiert? (Zufall / Einzelauswahl – offen)

- Welche Dynamik erzeugt die Zustandsänderung? (physikalische Bewegungsgleichung)

Born bestimmt die Gewichtung möglicher wirklicher Fortsetzungen. Born erzeugt nicht die wirkliche Fortsetzung.

Begriffstrennung (Definitionen):

Begriff	Inhalt
Born-Regel	Gewichtung der möglichen exklusiven Ausgänge
Zufall	Welcher mögliche Ausgang realisiert wird
Festlegung	Genau ein Ausgang wird wirklich
Record	Stabilisierung und physische Fortsetzung des realisierten Ausgangs
Geschichte	Fortgang der Wirklichkeit ab dem realisierten Ausgang

Kausalrichtung: Festlegung → Record — nicht umgekehrt (§13.5).

Verbotene Lesarten dieses Abschnitts: Die sieben Axiome beweisen Born; die KAO hat die Quantentheorie hergeleitet; das Messproblem ist gelöst; ein Kollapsmechanismus ist hergeleitet; der Zeitpunkt der Festlegung ist bestimmt; Ergebnis i im Einzelfall ist erklärt; eine neue empirische Vorhersage liegt vor; Dekohärenz erzeugt automatisch genau einen wirklichen Ausgang; der Record verursacht die Festlegung; Bewusstsein verursacht die Messung.

13.6b.2 Was aus den sieben Axiomen nicht folgt

Die sieben allgemeinen KAO-Axiome allein beweisen die Born-Regel nicht (§2.1–2.4).

Sie bestimmen unter anderem: geordnete Möglichkeit (Axiom 4), direkte Gewichtslagen (Axiom 5), Festlegung (Axiom 6) und Geschichte (Axiom 7). Axiom 4 erlaubt, dass relationale Fortsetzungsunterschiede *vorkommen können*; es erzwingt sie nicht für jeden Sektor. Axiom 5 trennt direkte Tragfähigkeit von der vollen relationalen Struktur (π nicht notwendig injektiv; §2.4).

Die Frage dieses Prüfpfads lautet daher:

Unter welchen **Born-unabhängig** formulierten Strukturbedingungen trägt ein kohärenter physikalischer Sektor notwendig die Born-Gewichtung?

13.6b.3 Anschlussstruktur und direkte Gewichtslage

Definition / Folgesatz (§2.4): π ordnet einer Anschlussstruktur die direkte Gewichtslage zu. Es kann gelten:

$$\pi(x) = \pi(y),$$

obwohl x und y nicht fortsetzungsäquivalent sind ($x \not\sim_F y$; §2.4a).

Bedeutung: x und y besitzen dieselben direkten Record- oder Tragfähigkeitsgewichte, unterscheiden sich aber in späteren Rekombinationsmöglichkeiten.

Das Gewicht gehört nicht notwendig zur elementarsten Möglichkeit. Es kann das positive Schattenbild einer reicheren relationalen Beitragsordnung sein.

Status: Trennung von Struktur und Gewicht = allgemeiner KAO-Folgesatz. Die Behauptung, ein physikalischer Sektor sei kohärent und unterbestimmt durch π , ist eine Quantensektorbedingung, keine Weltaussage.

13.6b.4 Übersicht der drei Rekonstruktionsstufen

Der Pfad ist sichtbar in drei Stufen gegliedert. Die Born-Gewichtung auf einem bereits gegebenen komplexen Hilbertraum (mit Projektoren/Effekten, Additivität, Normierung) gehört nicht zur Rekonstruktion dieses Hilbertraums; sie ist dort vor allem bekannte Mathematik (§13.6a: Gleason/Busch/Jordan–von Neumann).

- Stufe A — Elementarer Binärs Sektor (§13.6b.4a): Q1–Q4 und A+G / A+E; nicht Bloch-Paarung aus Q1–Q4 allein.
- Stufe B — Globale Mehrkanalordnung innerhalb eines Sektors (§13.6b.6–§13.6b.7): N1–N4, S1–S2 und L2-G (lokale-zu-globale Kompatibilität); keine Systemkomposition (§13.6b.5a).
- Stufe C — Drei Brücken (§13.6b.5c, §13.6b.8): Geometriebrücke, Maßbrücke, Realisierungsbrücke (letztere offen); Import und offene Beweisschritte (§13.A).

Forschungskeim und Beweislast. Der KAO-spezifische Forschungskeim liegt in Q1: Direkte Gewichtsgleichheit kann eine fortsetzungsrelevante relationale Verschiedenheit verdecken, die durch reversible Umadressierung wieder in direkte Gewichtsunterschieden überführt werden kann. Die Kerntrennung von Struktur und Gewicht (§2.4; §13.6b.3) erlaubt und motiviert eine solche Unterbestimmung (π muss nicht injektiv sein; relationale Unterschiede *können* vorkommen). Sie beweist nicht die Existenz konkreter Paare x, y mit reversibler Umadressierung M — das ist Inhalt der Quantensektorbedingung Q1 und folgt nicht aus den sieben Axiomen. Hier formuliert die KAO ihren eigenen Zugriff auf den Quantensektor. Dagegen enthalten Q2, A+G, A+E, N2, L2-G, die projektive Koordinatisierung, die Skalarwahl und die Polaritäts-/Maßstruktur starke zusätzliche Voraussetzungen.

Das Rekonstruktionsschema verlagert die Beweislast auf diese Voraussetzungen. Werden sie lediglich passend zur bekannten Quantengeometrie angesetzt, liegt noch kein eigenständiger KAO-Erklärungsgewinn vor (Kriterien: §13.8).

13.6b.4a Elementarer Binärsektor (Stufe A: Q1–Q4 und A+G / A+E)

Enthält: Q1–Q4; A+G (geometrisches Ziellemma); A+E (Effekt-Zustand-Paarung).

Status: lokale bedingte Rekonstruktion.

Sperre: Q1–Q4 allein erzwingen weder den euklidischen Bloch-Ball noch die affine Gewichtspaarung $(1 + \mathbf{r} \cdot \mathbf{s})/2$.

Q1 — Kohärente Anschlussfähigkeit

(Quantensektorbedingung)

Direkte Gewichte können die vollständige Fortsetzungsordnung unvollständig beschreiben. Die verbleibende relationale Differenz kann durch eine geschlossene reversible Umadressierung in direkte Gewichtsunterschieden übersetzt werden:

$$\pi(x) = \pi(y), \quad x \not\sim_F y, \quad \pi(Mx) \neq \pi(My).$$

Q2 — Elementare Relationsexhaustivität

(Quantensektorbedingung; offene Beweislast)

Kurzform hier; Zerlegung Q2a–e in §13.A.7a. In einer elementaren Zwei-Adress-Figur werden vorfestlegende Unterschiede durch Separation, eine relationale Kreisrichtung und zwei reelle Quadraturen erfasst; keine zusätzlichen höheren Recordmomente. Q2 zielt auf einen dreidimensionalen affinen Zustandsraum — ohne bereits die euklidische Ballgeometrie oder die Born-Paarung zu setzen.

Q2 ist einer der stärksten offenen Punkte. Q2c und Q2e sind besonders offene Beweislasten (§13.A).

Hardy-Notation (Vergleich, nicht Identität): N = max. Zahl unterscheidbarer Zustände; K = Zahl der Zustandsfreiheitsgrade. Komplexe QT: $K = N^2$.

Qubit: $N = 2$, $K = 4$ — nicht $K = 2$.

Q3 — Reversible reine Adressgleichrangigkeit

(Quantensektorbedingung)

Für reine Adressen α, β gibt es ein U mit $U(\alpha) = \beta$.

Q4 — Scharfe Antipodenunterscheidung

(Quantensektorbedingung)

Scharfer binärer Effekt / Recordadresse: $e_\alpha(\alpha) = 1$, $e_\alpha(\text{Gegenadresse}) = 0$.

(Nicht: stabilisierter Nach-Festlegungs-Record.)

A+G — Geometrisches Ziellemma

(im Kanon formuliert, aber **nicht bewiesen**; **kein** Bestandteil von Q1–Q4)

Zielaussage A+G. Die konvexe Zustandsmenge S des elementaren Binärsektors ist unter den ausgewiesenen Bedingungen affinisomorph zum euklidischen Einheitsball B^3 . Die reinen Zustände

$$S_{\text{pure}} = \text{ext}(S)$$

entsprechen dessen Rand, der zweidimensionalen Sphäre $S^2 = \partial B^3$.

Nicht S_{pure} selbst ist der dreidimensionale Ball.

Ziel von A+G ist der Nachweis, dass geeignete Kandidatenbedingungen die Bloch-Ball-Geometrie erzwingen. Ihre gemeinsame Hinreichendheit wird im Werk nicht behauptet und nicht bewiesen. Im bedingten Rekonstruktionsschema wird die A+G-Zielaussage daher ausdrücklich vorausgesetzt, solange kein vollständiger Beweis oder exakt passender Importsatz vorliegt. Die Kandidaten dürfen die Bloch-Kugel nicht unbemerkt voraussetzen.

Kandidatenbedingungen von A+G (sichtbar; Hinreichendheit offen):

1. Zustandsmenge. S sei die konvexe Menge der (Misch-)Zustände; $S_{\text{pure}} = \text{ext}(S)$. Affine Dimension von S ist 3 (Anschluss an Q2e als *Zielrichtung*, nicht als stiller Beweis).
2. Reversible Gruppe. G sei die Gruppe der zulässigen reversiblen Umadressierungen/Symmetrien des Binärsektors (Erweiterung von Q3); G operiert affin auf S .
3. Transitivität. G operiert transitiv auf S_{pure} . *Offene Forschungsbedingung*: stärkere Homogenität auf Paaren ohne vorausgesetzte Winkeldefinition.
4. Isotropie (Definition). Ein Skalarprodukt $\langle \cdot, \cdot \rangle$ auf dem 3-dimensionalen Richtungsraum von S heißt isotrop bzgl. G , wenn jedes $g \in G$ eine orthogonale Transformation bzgl. dieses Skalarprodukts induziert. Unterscheide: die Gesamtgruppe G (Zielgestalt oft $\text{SO}(3)$ auf dem affinen Richtungsraum) vom Punktstabilisator eines festen reinen Zustands (typisch $\text{SO}(2)$ auf S^2). Die Formulierung „Stabilisator $\cong \text{SO}(3)$ “ ist falsch und wird hier nicht verwendet.
5. Selbstdualität (falls beansprucht; sonst offen). Geordnetes Vektorraummodell: reeller Vektorraum V ; positiver Kegel $V_+ \subset V$; Ordnungseinheit u ; $S = \{\omega \in V_+ \mid u(\omega) = 1\}$; Effektintervall $0 \leq e \leq u$. Durch ein ausgewiesenes Skalarprodukt $\langle \cdot, \cdot \rangle$ erzeugte Abbildung

$$J: V \rightarrow V^*, \quad J(x)(y) = \langle x, y \rangle.$$

Selbstdualität bedeutet hier $J(V_+) = V_+^*$ (Dualkegel in V^*), nicht die typwidrige Schreibweise $V_+ = V_+^*$. Fehlt diese Identifikation, gilt Selbstdualität nur als offene Zusatzbedingung der Effekt-/Formbrücke — nicht als stiller Teil von A+G. Trennung zu A+E bleibt.

6. Regularität. Kompaktheit von S ; Stetigkeit der G -Wirkung; gegebenenfalls strikte Konvexität des Zustandskörpers S (nicht einer „Randstruktur von S_{pure} “).

Status A+G. Im Kanon formuliert, aber nicht bewiesen. Q1–Q4 implizieren (1)–(6) hier nicht. Wer die Zielaussage setzt, setzt $S \simeq B^3$ voraus.

A+E — Effekt-Zustand-Paarung

(ausdrückliche zusätzliche **Sektorannahme**; getrennt von A+G)

A+E ist im bedingten Rekonstruktionsschema eine ausdrückliche zusätzliche Sektorannahme. Eine mögliche spätere Herleitung von A+E aus schwächeren Prinzipien ist ein separates Forschungsziel und kein Bestandteil des gegenwärtigen Schemas.

Annahme A+E. Es existiert eine Abbildung, die jedem reinen Zustand $\alpha \in S_{\text{pure}}$ eindeutig einen normalisierten scharfen affinen Effekt e_α zuordnet mit:

- $e_\alpha(\alpha) = 1, e_\alpha(\alpha_\perp) = 0$ (Antipode / Gegenadresse, Q4);
- e_α ist affin auf S ;
- die Zuordnung $\alpha \mapsto e_\alpha$ ist G -äquivariant (sofern G aus A+G verwendet wird);
- verschiedene reine Zustände erhalten verschiedene Effekte (Injektivität der Paarung);
- $e_\alpha: S \rightarrow [0, 1]$ (Effektwerte im Einheitsintervall).

Status A+E. Sektorannahme — nicht Folgerung aus Q1–Q4. S1/S2 globalisieren Adress-/Effektidentität; sie ersetzen A+E lokal nicht.

Physische/strukturelle Rechtfertigung: offen (§13.A.15).

Folgerung (lokal, aus A+G + A+E; noch kein Wahrscheinlichkeitsmaß P).

Unter der A+G-Zielaussage $S \simeq B^3$ (mit Rand $S_{\text{pure}} \simeq S^2$) und der Annahme A+E gilt die folgende bedingte Rechnung — nicht aus Q1–Q4.

Jeder affine Effekt auf $S = B^3$ hat die Form $e(r) = a + b \cdot r$ (mit Bloch-Vektor $r \in B^3$). Für den scharfen Effekt e_α zu $r_\alpha \in S^2$ fordern A+E und Q4:

$$e_\alpha(r_\alpha) = 1, \quad e_\alpha(-r_\alpha) = 0.$$

Daraus $a = \frac{1}{2}$ und $b \cdot r_\alpha = \frac{1}{2}$. Da $e_\alpha: B^3 \rightarrow [0, 1]$, gilt $\|b\| \leq \frac{1}{2}$. Zusammen mit $b \cdot r_\alpha = \frac{1}{2}$ und $\|r_\alpha\| = 1$ erzwingt die Cauchy–Schwarz-Gleichheit $b = \frac{1}{2}r_\alpha$. Also

$$e_\alpha(r) = \frac{1 + r_\alpha \cdot r}{2}.$$

Damit ist die strukturelle Effektbewertung

$$w_\alpha(\beta) := e_\alpha(\beta) = \frac{1 + r_\alpha \cdot r_\beta}{2} = \cos^2 \frac{\theta}{2}$$

eine Folgerung aus A+G (vorausgesetzte Ballgeometrie) und A+E (angenommene affine scharfe Effekt-Zustand-Paarung) — keine Annahme-Verdoppelung und keine Herleitung aus Q1–Q4.

w ist affine Effektbewertung / strukturelles Gewicht, noch nicht das Wahrscheinlichkeitsmaß der Maßbrücke.

Erst nach der Maßbrücke (§13.6b.5c, §13.A.11) darf geschrieben werden:

$$P(\alpha | \beta) = w_\alpha(\beta)$$

bzw. in Hilbertraumdarstellung $P(\varphi | \psi) = |\langle \varphi | \psi \rangle|^2$.

Stufe A · Status. Lokale bedingte Rekonstruktion mit A+G (formuliert, nicht bewiesen) und A+E (Sektorannahme) plus der obigen Folgerung für w — kein Beweis aus den sieben Axiomen.

13.6b.5 Warum das Quadrat erscheint (Anschluss an §13.6a)

A. Geometrischer Binärweg (unter Stufe A: Q1–Q4 plus A+G und A+E) — A+G zielt auf $S \simeq B^3$, $S_{\text{pure}} \simeq S^2$; A+E liefert die scharfe Effektpaarung; gemeinsam die lokale Bewertung $w_\alpha(\beta) = (1 + r_\alpha \cdot r_\beta)/2$. Nicht aus Q1–Q4 allein; w ist vor der Maßbrücke kein P .

B. Kompositionsweg — zentraler KAO-Deutungssatz und Parallelogramm (§13.6a; Jordan–von Neumann). Parallelspur mit importierter 2-Norm; das $q = 2$ -Hilfslemma (§13.A.6b) setzt die Hilbert-2-Norm voraus und leitet sie nicht her.

Gegenprüfung: klassische Wellenoptik — komplexe Beiträge und $I \propto |A|^2$ allein sind nicht quantenspezifisch. Quantenspezifisch: kohärente Beitragsordnung + Born-Gewichte + singuläre exklusive Records nach Festlegung.

13.6b.5c Drei Brücken (Geometrie · Maß · Realisierung)

Die folgenden Schritte sind logisch getrennt. Kein Schritt darf die anderen stillschweigend miterledigen.

Brücke	Voraussetzungen (kurz)	Ergebnis	Import / Satztyp	KAO-Motivation	Offene Beweislast	Gegenmodell / Scheiterpunkt
1. Geometriebrücke	Q1–Q4, A+G, A+E; N1–N4; S1–S2; L2-G; Closure/Exchange/Rang; N2-stark; Koordinatisierung über Divisionsring; Orthokomplement/Polarität; Positivität/Hermitizität (§13.A.8–10)	$S \simeq B^3$, $S_{\text{pure}} \simeq S^2$; Projektiv-/Hilbert- Repräsentationsstruktur ; lokale w (noch kein Wahrscheinlichkeitsmaß P)	Veblen–Young-/Piron-artig; Formtheorie; Solèr nur unendlich/orthonormal, wählt $\mathbb{C}$ nicht allein ([L5] [L6][L21]–[L23])	Kohärente Unterbestimmung (Q1); Recordadressen	Q2, A+G (unbewiesen), L2-G, Skalarwahl, positive hermitesche Form	Kein A+G $\rightarrow$ kein Ball; kein L2-G $\rightarrow$ inkonsistente lokale Kalibrierungen
2. Maßbrücke	Hilbert-/Effektrepräsentation; Gleason-Zweig oder Busch-Zweig (§13.A.11); Reinheitsidentifikation $\rho_\psi = \psi\rangle\langle\psi $	Operator-Trace-Gewichte $P(E \mid \rho) = \text{Tr}(\rho E)$; rein $P(\varphi \mid \psi) = \langle\varphi \mid \psi\rangle ^2$; lokal $P(\alpha \mid \beta) = w_\alpha(\beta)$	Gleason [L2]; Busch [L3] [L4]	Strukturelle Gewichte vor Festlegung	Effektdomäne je Zweig; Dimension 2	zu dünne Domäne; fehlende Additivität
3. Realisierungsbrücke (nachgelagert; nicht Teil des Gewichtsschemas)	strukturelles Gewicht p ; Serienmodell mit ausgewiesener IID- oder stationär-ergodischer Konvergenzannahme	Bedingungen, unter denen die empirische Häufigkeit f_N das strukturelle Gewicht p asymptotisch reproduziert (z. B. $f_N \rightarrow p$ f.s. oder in Wahrscheinlichkeit). Für endliches N : im Allgemeinen $f_N \neq p$	LLN / Ergodentheorie (Import, hier nicht geführt)	Serie unter stationären Bedingungen (§13.3)	gesamte Brücke offen	nichtstationäre Pfade; One-hot allein; Austauschbarkeit ohne Grenzwertannahme

Sperre. Endliche One-hot-Zählung motiviert Additivität im Instrument, leitet p nicht her (§13.6a). Das bedingte Gewichtsschema liefert keine empirische Häufigkeitskonvergenz, keine Festlegung, keinen Einzeltreffer, keinen Zeitpunkt und keine Recordursache. Gleason/Busch erklären nicht den Einzeltreffer. Dekohärenz erklärt nicht die Festlegung genau eines wirklichen Ausganges. Der Record verursacht die Festlegung nicht.

13.6b.5a Mehrkanalraum ist kein Tensorprodukt

Die Stufe-B-Rekonstruktion eines projektiven Mehrkanalraums innerhalb eines irreduziblen Sektors leitet nicht ab:

- Tensorprodukt,
- lokale Tomographie,
- allgemeine Verschränkungsstruktur,
- lokale Operationen,
- vollständig positive Instrumente,
- CPTP-Dynamik,
- Vielteilchen- und Feldstruktur.

13.6b.5b Real versus complex — kurzer Literaturhinweis

Netzwerkexperimente und -theoreme unterscheiden die komplexe Quantentheorie von bestimmten reellen Hilbertraumtheorien mit gewöhnlicher Kompositionsregel und ausgewiesenen Quellenunabhängigkeitsannahmen (Renou et al. 2021; Li et al. 2022; Weilenmann, Gisin und Sekatski 2025 zu partieller Unabhängigkeit). Neuere Arbeiten untersuchen reelle Reformulierungen mit veränderter Kompositionsstruktur oder operational anders bestimmter Unabhängigkeit (McKague, Mosca und Gisin 2009; Hoffreumon und Woods 2025/2026 und Gegenkommentare). Ob komplexe Zahlen physisch unverzichtbar oder eine besonders geeignete Darstellung tieferer Kompositionsstrukturen sind, ist nicht allein durch die bisherigen Netzwerkexperimente endgültig entschieden. Für die KAO liegen die offenen Fragen bei Komposition, Quellenunabhängigkeit, lokalen Records, Korrelationen und möglichen globalen Relationsfreiheitsgraden. Kein Seitenkonsens wird hier behauptet. Belege: §13.A.17 [L11]–[L17].

13.6b.6 Neutrale Mehrkanalordnung (Stufe B: N1–N4)

Enthält: N1–N4 (Austausch, Schnittsättigung, Binärsektoridentität, Erweiterbarkeit).

Status: zusätzliche physikalische Sektorbedingungen.

Abgrenzung: Rekonstruktion eines projektiven Mehrkanalraums innerhalb eines irreduziblen Sektors ist keine Herleitung der Komposition mehrerer physikalischer Systeme.

N1 — Austausch neutraler Abhängigkeiten

(Quantensektorbedingung)

Wenn $x \in \text{Cl}(S \cup \{y\})$ und $x \notin \text{Cl}(S)$, dann $y \in \text{Cl}(S \cup \{x\})$.

N2 — Modularität / Schnittsättigung

(Quantensektorbedingung; offene Beweislast)

Für geschlossene Figuren $X = \text{Cl}(X)$, $Y = \text{Cl}(Y)$ der neutralen Closure sei

$$X \vee Y := \text{Cl}(X \cup Y), \quad X \wedge Y := X \cap Y.$$

N2-stark (Standardansatz dieses Schemas):

für **alle** solchen Paare

$$\text{Rang}(X \vee Y) + \text{Rang}(X \wedge Y) = \text{Rang}(X) + \text{Rang}(Y).$$

Das ist die Modularity-Gleichheit, nicht bloße Submodularität. $X \cup Y$ ist im Allgemeinen nicht geschlossen; der Rangträger der Vereinigung ist der Join $X \vee Y$.

Modularität ist keine allgemeine KAO-Weltstruktur. Neue irreduzible Ganzheit braucht Kopplung oder Herkunft (§2.4a). Technik: §13.A.7.

N3 — Universelle Binärsektoridentität

(Quantensektorbedingung; starke lokale Homogenitäts- bzw. Universalisierungsannahme)

Jede Rang-zwei-Hülle desselben irreduziblen kohärenten Sektors erfüllt dieselben Bedingungen Q1–Q4 sowie dieselben ausdrücklich ausgewiesenen A+G- und A+E-Bedingungen. Nur unter diesem Gesamtpaket trägt sie dieselbe affine Geometrie und scharfe Gewichtsbeurteilung w . N3 transportiert diese gleiche lokale Sektorstruktur; es leitet sie nicht erneut her und behauptet nicht, w folge aus Q1–Q4 allein.

Getrennt von L2-G: Die physische/strukturelle Rechtfertigung der N3-Universalisierung aller Rang-zwei-Hüllen ist eine eigene offene Beweislast (§13.A.15). Die Kompatibilität überlappender Binärsektoren ist die andere offene Beweislast L2-G (§13.6b.7a) — N3 ersetzt L2-G nicht und umgekehrt.

N4 — Neutrale Höherrang-Erweiterbarkeit

(Quantensektorbedingung)

Ein niedrigrangiger kohärenter Sektor kann in einen höherrangigen eingebettet werden, ohne bestehende Binnenrelationen zu zerstören.

13.6b.7 Globale Recordbedingungen (Stufe B: S1–S2)

S1 — Globale Effekt-/Adressidentität

(Quantensektorbedingung)

Dieselbe reine Adresse besitzt in jedem Kontext denselben scharfen Effekt (Identität der Recordadresse / des scharfen Effekts über Kontexte — nicht der stabilisierte Nach-Festlegungs-Record).

S2 — Scharfe Adressvollständigkeit

(Quantensektorbedingung)

Zustände, die einen Grobrecord mit Sicherheit tragen, sind genau die neutrale Closure seiner scharfen Unteradressen.

Keine unadressierte Gewissheit. Keine unadressierte Unmöglichkeit.

Abgrenzung. S1/S2 sind nicht eine Kochen–Specker-artige globale Vorbelegung von Ausgängen für alle inkompatiblen Messungen. One-hot-Recordvariablen und realisierte Ausgänge gelten nur innerhalb eines konkret realisierten Messkontexts (§13.6a).

Stufe B · Status. Zusätzliche physikalische Sektorbedingungen. Nicht hergeleitet: Systemkomposition und verwandte Strukturen — vollständige Liste in §13.6b.5a.

13.6b.7a Lokale-zu-globale Kompatibilität (L2-G)

L2-G ist eine offene Verklebungs-Beweislast beziehungsweise zusätzliche Forschungsbedingung, noch kein bewiesenes Verklebungstheorem und kein formales mathematisches Prädikat im Kanon.

Identische lokale Binärsektoren (Q1–Q4, A+G, A+E je Rang-2-Hülle via N3) garantieren nicht automatisch eine konsistente globale Hilbert- oder Projektivgeometrie. Als Forschungscheckliste:

1. Konsistenz der Effektidentität auf überlappenden Binärsektoren;
2. Kompatibilität lokaler Koordinaten- und (falls vorhanden) Innenproduktstrukturen;
3. geeignete Übergangsabbildungen zwischen lokalen Kalibrierungen;
4. erforderlichenfalls eine Kokykel-/Verklebungsbedingung;
5. Ausschluss kontextabhängig inkompatibler lokaler Kalibrierungen.

$N3 \neq L2-G$: $N3$ = gleiche lokale Sektorstruktur; $L2-G$ = globale Kompatibilität über Überlappungen. Liste: §13.A.15.

Als sechster Prüfpunkt der L2-G-Checkliste (Forschungsbedingung, nicht Kern):

6. L2-G6 – Eindeutigkeit globaler Erweiterung / Rang-2-Tomographie: Eine kompatible Familie sämtlicher operationaler Rang-2-Profile bestimmt höchstens einen globalen Zustand bis auf Fortsetzungsäquivalenz. Formal: $\text{res}_2(\omega) = \text{res}_2(\sigma) \Rightarrow \omega \sim_F \sigma$.

Abgrenzung: Q2 = Exhaustivität *innerhalb* elementarer Zwei-Adress-Figuren · S2 = scharfe Adressvollständigkeit · L2-G6 = Eindeutigkeit der *globalen* Erweiterung aus *allen* Rang-2-Profilen. L2-G6 folgt nicht aus Fortsetzungsäquivalenz allein und nicht aus der bloßen Existenz universeller quadratischer Zwei-Ports.

13.6b.7b Zwei-Port-Grenze, Drei-Schlösser-Karte und τ -Negativbefund

Status: [Spekulations-Prüfpfad] · Quantensektorbedingung / offene Beweislast · keine Kernfolge · keine Born-Herleitung.

Der reversible Zwei-Port (T8-Umfeld) und die Zeugen-/Absorptionsarbeit (T1/T2) werden hier nicht zu einer Stillen Born-Route zusammengezogen. Zur Orientierung — ohne Symbolkollision mit den Recordbedingungen S1/S2 dieses Supplements — drei *getrennte* Schlösser:

Schloss	Frage (knapp)	Bezug
I Komposition	additive, kontextstabile Beitragsbündelung	T2/Z1-Umfeld; offen
II Metrik	universelle reversible Mischung / Parallelogramm, $p = 2$	T8 unter Zusatzannahmen; Annahmen offen/Import
III Vollständigkeit	Rang-2-Profile trennen globale Zustände	L2-G6 ; offen

Algebraisches Gegenmodell (τ -Erweiterung, Negativbefund): Auf einem quadratischen Amplitudensektor mit zusätzlichem Tripelparameter

$$\mu(S) = \left| \sum_{i \in S} \psi_i \right|^2 + \tau \mathbf{1}_{S = \{1,2,3\}}$$

gilt exakt $I_3^{\text{quadratisch}} = 0$ und $I_3^{(\tau)} = \tau$. Der gewöhnliche Zwei-Port kann auf dem Paarsektor reversibel, eingangsunabhängig, vorzeichenmischend und gewichtserhaltend wirken, während τ unverändert bleibt. Lesart: universelle quadratische Zwei-Ports implizieren keine globale Rang-2-Tomographievollständigkeit. Status: algebraisches Gegenmodell des KAO-Prüfprogramms — kein neuer allgemeiner Satz, keine alternative Wahrscheinlichkeitstheorie ohne expliziten Zustands-/Effektabschluss.

Logische Unabhängigkeit von Schloss II und III: Im τ -Modell gilt II bei fallendem III; im klassischen endlichen Simplex gilt III (Zustand durch Koordinaten bzw. definierte Rang-2-Restriktionen bestimmt), während ein vorzeichenmischender Hadamard-Koppler keine Simplex-Automorphie ist (II fällt). Beweis analytisch; Zufallstests sind keine Beweise.

ZB-Differenzierung: *Naive* Generator-ZB (paarweise Generatoren $\Rightarrow I_3 = 0$) ist verworfen. *Verbesserte* ZB / Rang-2-Tomographie bleibt offen als Schloss III / L2-G6. GHZ ist kein Gegenbeispiel gegen Schloss III (Mehrparteienkorrelation im quadratischen Sektor, keine zusätzliche Sorkin-Grad-3-Komponente).

Grenze: Geschlossene Schlösser I–III würden höchstens einen additiven, quadratischen Grade-2-Pfad absichern. Skalarkörper, positive Innenproduktstruktur, Effektdomäne, Maßbrücke und Realisierungsbrücke bleiben getrennte offene Importe. Ausführlich: Forschungsarchiv *Konvergenz_ZweiPort_Vollstaendigkeitsproblem_v1.1*.

13.6b.8 Bedingtes Rekonstruktionsschema und Repräsentationsbrücke (Stufe C)

Enthält: Geometriebrücke und Maßbrücke (Gleason- oder Busch-Zweig). Die Realisierungsbrücke ist nachgelagert und kein Bestandteil des Gewichtsschemas (§13.6b.5c).

Status: importierte mathematische Sätze und offene Beweisschritte (§13.A). A+G und L2-G sind im Schema vorausgesetzt bzw. offen, nicht bewiesen.

Solèr ([L5], [L6]). Solèrs Satz setzt eine unendliche orthonormale Folge in orthomodularen Räumen voraus. Er schränkt unter seinen Voraussetzungen auf Strukturen über $\mathbb{R}$, $\mathbb{C}$ oder $\mathbb{H}$ ein und wählt $\mathbb{C}$ nicht allein aus. Er ist kein unmittelbarer Beweis für komplexe Skalare im endlichen KAO-Sektor.

Stufe C · Status. Import und offene Brücken — nicht aus den sieben Axiomen.

Bedingtes KAO-Born-Gewichtsschema (auch: *bedingtes KAO-Born-Rekonstruktionsschema*; **kein** im Werk geführter „Satz“ im strengen Sinne).

Sei ein kohärenter irreduzibler Sektor gegeben, der das **Sektorpaket** **Q/N/S/A+G/A+E** erfüllt: **Q1–Q4**, **A+G-Zielaussage** (vorausgesetzt), **A+E** (Sektorannahme), **N1–N4**, **S1–S2** und **L2-G** (offen). Zusätzlich die Closure-/Exchange-/Rang-/N2- und die **sichtbaren Brückenimporte** §13.A.8–§13.A.11 (Projektiv/Desargues oder Piron-Rahmen; Dimension; Polarität mit Involution; **positive Definitheit ausdrücklich** wo beansprucht; volle Projektor- bzw. Effektdomäne mit vollständigen Additivitätsaxiomen). Die **Maßbrücke** (abgesichert für $D = \mathbb{C}$) folge dem **Gleason-Zweig** ($d \geq 3$) **oder** dem **Busch-/Effekt-Zweig** ($d = 2$ sichtbar, §13.A.11). Dann besitzt der Sektor **bedingt** eine **komplexe** Hilbertraumrepräsentation, in der $P(E \mid \rho) = \text{Tr}(\rho E)$

gilt und im reinen projektiven Spezialfall (unter **Rang-eins-Identifikation** $\rho_\psi = |\psi\rangle\langle\psi|$)

$$P(\varphi \mid \psi) = |\langle\varphi \mid \psi\rangle|^2;$$

lokal nach Maßbrücke $P(\alpha \mid \beta) = w_\alpha(\beta)$. $\mathbb{R}/\mathbb{H}$: gesonderte offene Erweiterungen (§13.A.9).

Liefert nicht: empirische Häufigkeitskonvergenz; Festlegung; Einzeltreffer; Zeitpunkt; Recordursache.

Nicht enthalten: Herleitung der Voraussetzungen aus den sieben KAO-Axiomen; die **Realisierungsbrücke** (nachgelagert, offen); Systemkomposition; Instrumentendynamik; Basiswahl.

Status: [Spekulations-Prüfpfad] — Schema, kein vollständiger Beweis. Technik: **§13.A**.

13.6b.9 Born, Zufall und Festlegung

Architektur:

Kohärenzstruktur → relationale Möglichkeiten,
 Born → Gewichte der exklusiven Ausgänge,
 Zufall → welcher Ausgang,
 Festlegung → genau ein wirklicher Ausgang,
 Record → Stabilisierung,
 Geschichte → Fortsetzung ab diesem Ausgang.

Zentralsätze:

- Der Ausgang ist bestimmt, ohne zuvor ausgangsspezifisch bestimmt gewesen sein zu müssen.
- Wo der Vorzustand keine ausgangsspezifische Information trägt, darf die Erklärung keinen ausgangsspezifischen Grund erfinden.
- Die Frage „Warum gerade Ergebnis i ?“ wird im minimalen KAO-Modell nicht durch Born beantwortet. Sie endet an einem Erklärungsstopp (keine weitere ausgangsspezifische Begründung im Modell), sofern keine zusätzliche ausgangsspezifische Vorinformation nachgewiesen wird. Dieser Erklärungsstopp ist nicht der Kausalpunkt der Gewichtsausprägung in der Serie (Begleitwerk *Gewicht*, *Serie*, *Typizität*); er ist auch kein Abbruch der Wirklichkeitsgeschichte.

13.6b.10 Gegenmodelle und Falsifikationspunkte

#	Scheiternde Voraussetzung	Entfallende Folgerung	Kern betroffen?	Prüf-/Widerlegungsart
1	Q1 (keine kohärente Unterbestimmung)	Interferenz-/Rekombinationsbilanz des Quantensektors	nein (Kern π -Trennung bleibt)	Modellklasse: klassisches Simplex
2	Q2 (fehlende Relationsexhaustivität)	3D-affine Binärstruktur / A+G-Anschluss	nein	höhere Spin-Faktoren / zusätzliche Harmonische
3	A+G	$S \simeq B^3, S_{\text{pure}} \simeq S^2$	nein	nicht-euklidische / anisotrope Zustandskörper
4	A+E	scharfe affine Effekt-Zustand-Paarung; lokale $w = (1 + r \cdot s)/2$	nein	mehrdeutige oder nicht-affine Effekte
5	N2 (keine Modularität)	dimensionsartige Join-Meet-Additivität	nein	schnittlose Mehradressabhängigkeit
6	N3 (keine Universalisierung)	einheitliche lokale Sektorstruktur	nein	lokal verschiedene Binärsektoren
7	L2-G (inkl. L2-G6)	globale Geometrie aus lokalen Stücken; Eindeutigkeit globaler Erweiterung	nein	inkonsistente Überlapp-Kalibrierungen; τ -artige Kerne von res_2
8	komplexe Skalarwahl	$\mathbb{C}$ -Hilbert als Darstellung	nein	reelle/quaternionische oder andere Modelle
9	positive hermitesche Struktur	Innenproduktraum / Normquadrat	nein	indefinite oder nicht-hermitesche Formen
10	zu dünne Effektdomäne	Gleason-/Busch-Operator-Trace	nein	Maße nur auf Teilfamilien
11	fehlende Maßadditivität	Operator-Trace-Form	nein	nichtadditive Gewichtszuweisungen
12	fehlende Realisierungsbrücke	asymptotische Reproduktion $f_N \rightarrow p$	nein	nichtstationäre Serien; One-hot allein
13	kein Austausch (N1)	Matroid-Rang	nein	gerichtete Erzeugung
14	keine S1/S2	globale Effekt-/Adressidentität	nein	kontextabhängige Adresse

Hinweis. Zu den zentralen Zusatzbedingungen werden repräsentative Gegenmodelle beziehungsweise Scheiterklassen angegeben (nicht beansprucht: ein Gegenmodell zu *jeder* denkbaren Zusatzbedingung).

Operational: Soweit nur mathematische Modellklassen unterschieden werden, liegt keine neue empirische Vorhersage der KAO vor. Ein Scheitern betrifft den Born-Pfad, nicht den ontologischen Kern (sieben Axiome).

Stärkste offene Engpässe: (i) Q2; (ii) N2; (iii) A+G (unbewiesen); (iv) N3-Rechtfertigung; (v) L2-G (inkl. L2-G6); (vi) Realisierungsbrücke.

13.6b.11 Statuskasten

Frage	Stand
Born aus den sieben KAO-Axiomen allein?	Nein.
Born-/Bloch-Paarung aus Q1–Q4 allein?	Nein. Benötigt A+G (Zielaussage vorausgesetzt) und A+E (Sektorannahme); global Geometrie- + Maßbrücke.
A+G / A+E?	A+G = Zielaussage $S \simeq B^3, S_{\text{pure}} \simeq S^2$ (formuliert, nicht bewiesen); A+E = Sektorannahme ; w Folgerung aus A+G+A+E (§13.6b.4a), vor Maßbrücke kein P.
Born bei bereits gegebener komplexer Hilbertraumstruktur?	Gleason ($d \geq 3$) oder Busch/Effekt: bekannte Mathematik ([L2]–[L4]); Schema-Zweig abgesichert für $D = \mathbb{C}$.
Born aus Sektorpaket Q/N/S/A+G/A+E?	Bedingtes KAO-Born-Gewichtsschema (§13.6b.8); nicht vollständig bewiesen; Brückenimporte sichtbar.
Drei Brücken?	Geometrie → Maß → Gewichtsschema; Realisierung nachgelagert und offen (§13.6b.5c).
Offene Beweislasten (aktiv)?	Q2, N2, A+G, A+E-Rechtfertigung, N3-Universalisierung, L2-G, positive Form, physische Effektdomäne sowie die Skalar-/Maßzweige für $\mathbb{R}/\mathbb{H}$. Davon getrennt : nachgelagerte Realisierungsbrücke .

Frage	Stand
Auswahl des komplexen Skalkörpers?	Im abgesicherten Schema-Zweig: $D = \mathbb{C}$ als importierte Skalarannahme (folgt nicht aus dem Sektorkpaket). $\mathbb{R}/\mathbb{H}$: offen . Solèr: unendliche orthonormale Folge; wählt $\mathbb{C}$ nicht allein.
Bestimmung der Mess- oder Recordbasis?	Offen.
Tensorprodukt und Systemkomposition?	Nicht hergeleitet.
Instrumentendynamik / Festlegungsmechanismus / Einzeltreffer?	Offen bzw. nicht durch Born/Gleason erklärt.
Neue empirische Vorhersage?	Bisher keine.
Messproblem / Kollaps / Record als Ursache / Bewusstsein als Messursache?	Nicht behauptet.
One-hot-Zählung $\Rightarrow$ vorfestlegendes p ?	Nein.
Verfeinerungs- $q = 2$ -Hilfslemma ersetzt $Q/N/S/A$?	Nein. Setzt Hilbert-2-Norm voraus.
Realisierungsbrücke?	Offen.
Kausalpunkt / dynamischer Gewichtspfad?	Begleitwerk ; nicht Kern.

B. Forschungsagenda und technischer Anhang (ehem. §13.6c und §13.A)

13.6c Forschungsagenda — offene physikalische Beweislasten (kanonisch gebündelt)

Status: [Spekulations-Prüfpfad] · kein Kern-Upgrade · keine neue Born-Herleitung.

Dieser Abschnitt bündelt die im Werk bereits ausgewiesenen offenen Lasten des physikalischen und Born-bezogenen Anschlusses. Er erfindet keine neuen Engpässe und hebt keine Statusmarkierung an. Argumentativer Stand: §13.6b; Technik: §13.A; Arbeitsweise: §0.5.

Lesart der Spalten

Spalte	Bedeutung
Status	gegenwärtiger Kanonstatus
Voraussetzung / Import	was gesetzt oder importiert wird
Schließung	was als <i>geführt</i> gelten müsste
Widerleger / Negativbefund	was das Schema bricht oder entkräftet
Konsequenz bei Scheitern	was <i>nicht</i> mitfällt
Bereich	nur Born-Pfad · phys. Brücke · ontologischer Kern

Kernregel: Scheitern der Agenda entfällt das bedingte Gewichtsschema bzw. die betroffene Brücke — nicht die sieben Axiome, nicht die Anschluss-Matrix.

Punkt	Status	Voraussetzung / Import	Schließungsbedingung	Widerleger / Negativbefund	Konsequenz bei Scheitern	Bereich
Q2 (elementare Relationsexhaustivität; Q2c/Q2e besonders)	offene Beweislast	Quantensektorbedingungen Stufe A	physisch/strukturell gerechtfertigte Exhaustivität ohne Zirkel auf Hilbert-Raum	empirische oder strukturelle Gegenfigur mit zusätzlichen vorfestlegenden Recordmomenten	Stufe-A-Schema unvollständig; Kern unberührt	Born-Pfad / phys. Brücke
N2 (Modularität)	offene Beweislast	neutrale Mehradressabhängigkeiten	physische/strukturelle Notwendigkeit von N2	stabile Gegenmodelle ohne Modularität bei gleicher Recordprofil-Lesart	globale Mehrkanalordnung geschwächt	Born-Pfad
A+G (Ziel: $S \simeq B^3$, $S_{\text{pure}} \simeq S^2$)	formuliert, unbewiesen	Kandidatenbedingungen sichtbar; Hinreichendheit offen	vollständiger Beweis oder exakt passender Importsatz	Kandidaten erzwingen Ballgeometrie nicht / zirkuläre Voraussetzung der Bloch-Kugel	Geometriebrücke fehlt; Schema bedingt	Born-Pfad
A+E (Effekt-Zustand-Paarung)	ausdrückliche Sektorannahme	getrennt von A+G; keine Herleitung im Schema	Rechtfertigung aus schwächeren Prinzipien <i>oder</i> beibehaltene offene Annahme	Paarung empirisch/strukturell unhaltbar	Maß-/Effektbrücke betroffen	Born-Pfad
N3 (Universalisierung Rang-zwei-Hüllen)	offen; ≠ L2-G	Sektorkpaket N	begründete Universalisierung ohne Überdehnung	Gegenbeispiel: Rang-zwei-Hülle nicht universell	Teil der globalen Ordnung offen	Born-Pfad

Punkt	Status	Voraussetzung / Import	Schließungsbedingung	Widerleger / Negativbefund	Konsequenz bei Scheitern	Bereich
L2-G (lokal → global; inkl. L2-G6 Rang-2-Tomographie)	Forschungsbedingung; kein Verklebungstheorem; L2-G6 offen	lokale Konsistenz; res_2	Verklebung + Eindeutigkeit globaler Erweiterung	lokale Profile kleben nicht / τ -artige Kerne von res_2	globale Stufe B unvollständig	Born-Pfad
Positive hermitesche Form	offen (Geometriebrücke Teil 2)	Formstruktur ohne versteckte p -Annahme	Konstruktion ohne Zirkel auf Born-Gewichte	Form erzwingt Wahrscheinlichkeitsstruktur zirkulär	Form-/Polaritätsbrücke offen	Born-Pfad
Vollständige Effektdomäne	offen (Gleason/Busch-Zweig)	physische Domäne vs. vollständige Effektmenge	begründete Domäne; σ -Additivität/Normalität wo nötig	benötigte Domäne physisch nicht verfügbar	Maßbrücke unvollständig	Born-Pfad
Offene Skalar-/Maßzweige $\mathbb{R}/\mathbb{H}$	offen	abgesicherter Zweig: importierte Skalarannahme $D = \mathbb{C}$	Darstellungssätze / Spur für $\mathbb{R}/\mathbb{H}$ oder klare Ausschlussargumente	$\mathbb{C}$ -Zweig experimentell/strukturell unhaltbar <i>oder</i> offene Zweige erzwingen andere Gewichte	betroffener Skalarzweig; nicht Kern	Born-Pfad / phys. Brücke
Realisierungsbrücke (f_N vs. Gewicht)	nachgelagert und offen	erst nach w bzw. Maßgewicht P ; IID/LLN oder stationär-ergodisch ausdrücklich	Bedingungen, unter denen $f_N \rightarrow p$ (f.s./i.W.); nicht $f_N = p$ für endliches N	Serie ohne Modell als Schätzer von p missbraucht; Gewichtspfad ohne Zusatzmodell	Serienanschluss, nicht Strukturgewicht; Kern unberührt	Born-Pfad (nachgelagert)

Nicht zentrale Engpässe dieses Hauptbuch-Pfads. Aufgaben wie Zeugen-Binarität und Absorptionslemma gehören zum *separaten* Zwei-Slot-/I₃-Arbeitsprogramm (Facharchiv/Bench). Sie werden hier nicht als die beiden zentralen Engpässe des Kanon-Born-Pfads geführt. Falls sie in Begleittexten vorkommen, bleibt ihr Status dort und belastet weder die sieben Axiome noch die Matrix.

Technik und Detailnachweise: §13.A.7a (Q2), §13.A.7b (A+G/A+E), §13.A.10–13.A.12 (Form, Maß, Effekt), §13.A.15 (Liste), §13.A.17 (Literatur).

Argumentation: §13.6b.5c · §13.6b.8 · §13.6b.11.

13.A Technischer Anhang zum Born-Prüfpfad

Status: [Spekulations-Prüfpfad]

Bezug: §13.6b (argumentativer Hauptpfad), §13.6c (gebündelte Forschungsagenda), §13.6–13.6a, §13.8, §2.4–2.4a, §0.5.

Dieser Anhang ist kein ontologischer Kern und kein achttes Axiom. Er formalisiert Begriffe, nennt Annahmen, trennt KAO-Begründung von mathematischen Standardsätzen und listet offene Beweislasten. Formeln dienen der Präzision; sie beweisen nicht die Born-Regel aus den sieben Axiomen. Der argumentative Stand ist in §13.6b nachvollziehbar; die gebündelte Agenda steht in §13.6c. §13.A ist als technischer Anhang in das Born-Supplement ausgelagert (frühere Position: Hauptbuch §13.A) — ohne neue Ableitungsversuche und ohne Statusaufwertung.

Statusfelder je Punkt (verbindlich):

Feld	Bedeutung
Definition	Festgelegte Schreibweise im Anhang
Annahme	Zusätzliche Sektor- oder Regularitätsbedingung
KAO-Begründung	Anschluss an Kern/Ordnungsprinzipien (nicht notwendig ein Beweis)
mathematischer Standardsatz	Import aus der Mathematik als <i>genannte Standardstruktur</i> — in dieser Fassung ohne bibliografischen Nachweis (keine Quellenfiktion); nicht als im Kanon geführter Beweis
Folgerung	Bedingte Ableitung innerhalb des Pakets
offene Beweislast	Was im Kanon nicht als geführt gilt

13.A.1 Fortsetzungsäquivalenz

Definition (operational). Sei F eine Wirklichkeitsfigur und x, y Lagen in ihrem Möglichkeitsraum.

- T_F — Menge der in F zulässigen Tests (figur- und sektorrelativ; im Quantensektor: vorfestlegende neutrale Tests, 13.A.2).
- Für jedes $c \in T_F$: Ω_c — gemeinsamer Ergebnisraum von c .
- $R_c(x) \in \text{Prob}(\Omega_c)$ — vollständiges operationales Profil von x unter c (Wahrscheinlichkeitsverteilung über Ω_c).
Falls Nachzustände relevant sind: $R_c(x)$ als Instrumentprofil (Gewicht *und* ausgangsabhängige Fortsetzungskarte), nicht als einzelner zufällig realisierter Record.

Dann:

$$x \sim_F y \quad : \Leftrightarrow \quad \forall c \in T_F: R_c(x) = R_c(y).$$

Andernfalls: $x \not\sim_F y$.

Informell: Keine zulässige Fortsetzung/Test in F unterscheidet x und y recordwirksam — als Profilgleichheit, nicht als irreflexive Unterscheidungsrelation.

KAO-Begründung. Fortsetzungsprinzip physischer Differenz (§2.4a). „Recordwirksam“ meint anschlusswirksame, stabilisierbare Unterscheidbarkeit — nicht: der Record verursache die Festlegung (§13.5).

Folgerung. Die Äquivalenzrelationseigenschaft von $\sim_F$ folgt definitorisch aus der Gleichheit von Funktionen $c \mapsto R_c(\cdot)$ (Reflexivität, Symmetrie, Transitivität).

offene Beweislast. Physische Kanonik von T_F , Ω_c und R_c über Messmodelle (projektiv / POVM / Instrument); welche Tests zulässig sind — separat von der formalen Äquivalenzdefinition.

13.A.2 Neutrale Closure

Definition. Sei S eine Menge von Adressen, Beiträgen oder Relationsmerkmalen eines kohärenten Sektors. Die neutrale Closure $\text{Cl}(S)$ ist die kleinste Menge, die S enthält und unter den im Sektor als *neutral* (vorfestlegend, reversibel umadressierend, keine neue irreduzible Ganzheitskopplung) zugelassenen Operationen abgeschlossen ist.

Annahme (Sektor). Neutrale Operationen erzeugen keinen neuen Relationsrang und keine neue Festlegung; sie ordnen um, rekombinieren und betten ein (N1–N4, §13.6b.6).

KAO-Begründung. Relationsursprungsprinzip (§2.4a): Was nicht aus Figur, Kopplung oder Herkunft stammt, wird nicht als physische Relation angesetzt. Neutrale Closure modelliert Umordnung ohne neuen Relationsursprung.

Folgerung. Cl ist der Träger der vorfestlegenden Mehrkanalordnung; Festlegung und Record liegen außerhalb der neutralen Closure.

offene Beweislast. Kanonische Liste aller neutralen Operationen für realistische Laborsysteme; Abgrenzung zu echter Kopplung.

13.A.3 Extensivität, Monotonie und Idempotenz

Definition / Annahme. Die Closure-Abbildung soll die Standardaxiome einer Hüllenoperation erfüllen:

1. Extensivität: $S \subseteq \text{Cl}(S)$.
2. Monotonie: $S \subseteq T \Rightarrow \text{Cl}(S) \subseteq \text{Cl}(T)$.
3. Idempotenz: $\text{Cl}(\text{Cl}(S)) = \text{Cl}(S)$.

mathematischer Standardsatz (Import). Hüllenoperatoren, Matroide und projektive Geometrien nutzen Extensivität, Monotonie und Idempotenz systematisch. Belege: §13.A.17 [L18], [L19], [L21]; importierte Standardstruktur, nicht als Kanon-Beweis geführt.

KAO-Begründung. Einmal „alles, was neutral aus S folgt“ erfasst zu haben, ändert erneutes Schließen nichts; größere Ausgangsmengen erzeugen nicht weniger Folge.

Folgerung. Geschlossene Figuren ($X = \text{Cl}(X)$) sind die natürlichen Träger von Rang und Schnitt (13.A.6–13.A.7).

offene Beweislast. Nachweis, dass die physisch gemeinte Neutralschließung diese drei Axiome in der intendierten Sektorinterpretation erfüllt (nicht nur als Formwunsch).

13.A.4 Schließungsweg-Neutralität

Definition / Annahme. Entsteht z auf verschiedenen neutralen Wegen aus S , so ist das Ergebnis in $\text{Cl}(S)$ dasselbe (Pfadunabhängigkeit der Neutralhülle).

KAO-Begründung. Neutrale Umordnung soll keinen versteckten neuen Relationsursprung einführen; sonst wäre der „Weg“ selbst eine physische Geschichte (Geschichtsaxiom), nicht mehr neutral.

Folgerung. Abhängigkeiten dürfen über austauschbare Erzeugendensysteme beschrieben werden (Anschluss an N1).

offene Beweislast. Path-Independence für konkrete Rekombinations- und Adressumordnungen im Labormodell.

13.A.5 Austauschbedingung (Exchange)

Annahme (N1). Wenn

$$x \in \text{Cl}(S \cup \{y\}) \quad \text{und} \quad x \notin \text{Cl}(S),$$

dann

$$y \in \text{Cl}(S \cup \{x\}).$$

mathematischer Standardsatz (Import). Austauschaxiom matroidaler / linearer Abhängigkeit. Belege: §13.A.17 [L18], [L19]; importierte Standardstruktur, nicht als Kanon-Beweis geführt.

KAO-Begründung. In einer *neutralen* Closure soll Erzeugungsabhängigkeit symmetrisch sein: Was y erst „freischaltet“, ist durch x rückgewinnbar. Gerichtete, nicht austauschbare Erzeugung wäre ein anderes Modell (Gegenmodell 5, §13.6b.10).

Folgerung. Zusammen mit 13.A.3 stützt Exchange die matroidnahe Rangstruktur (13.A.6).

offene Beweislast. Physische Rechtfertigung von Exchange jenseits endlicher idealisierter Sektoren; Ausschluss versteckter Asymmetrien durch Apparaturgeschichte.

13.A.6 Rang, Unabhängigkeit und Basen

Definition. Eine Menge B heißt unabhängig, wenn kein echtes $b \in B$ in $\text{Cl}(B \setminus \{b\})$ liegt. Eine Basis von $X = \text{Cl}(X)$ ist eine maximale unabhängige Teilmenge. Der Rang $\text{Rang}(X)$ ist die Kardinalität einer Basis (Existenz und Gleichmächtigkeit: unter Exchange + endlichem Fall).

Annahme. Endlichkeit des betrachteten Sektors (wie im bedingten KAO-Born-Gewichtsschema §13.6b.8) oder geeignete Endlichkeitsersetzung.

mathematischer Standardsatz (Import). In endlichen Matroiden sind Basen gleichmächtig. Belege: §13.A.17 [L19]; importierte Standardstruktur, nicht als Kanon-Beweis geführt.

KAO-Begründung. Rang zählt unabhängige relationale Adress-/Beitragsfreiheitsgrade der *neutralen* Figur — nicht ontologische „Wirklichkeitsmengen“.

Folgerung. Rang-zwei-Closures sind die natürlichen Träger des Binärssektors (Q1–Q4; Bloch-Geometrie nur mit A+G/A+E, §13.6b.4a).

offene Beweislast. Eindeutige Rangdefinition bei kontinuierlichen Familien (nicht nur endliche Adressmengen); Übergang zu unendlichdimensionalen Systemen.

13.A.6b Hilfslemma — Exponent 2 unter importierter Verfeinerung

Status: [mathematischer Import / konditionale Folgerung] · gehört zu §13.6a, nicht Ersatz für Q/N/S (§13.6b).

Voraussetzungen (sichtbar): (i) Beiträge mit Hilbert-2-Norm; (ii) Gewicht W hängt nur von der relevanten Norm r ab (Normsuffizienz); (iii) zulässige Verfeinerung eines Kanals mit Betrag r in m gleichwertige orthogonale Unterkanäle mit Beträgen $r/\sqrt{m}$; (iv) refinement-stabil: Summe der Untergewichte = Grobgewicht, ohne gewichtsverzerrende globale Renormierung; (v) hinreichend viele m bzw. Regularität; (vi) optional Potenzansatz $W(r) = r^q$.

Lemma (Potenztest). Unter (i)–(vi) mit $W(r) = r^q$ folgt $q = 2$.

Beweis. $m(r/\sqrt{m})^q = r^q$ für alle m und $r > 0$ ergibt $m^{1-q/2} = 1$, also $q = 2$. □

Lemma (Funktionalform, Skizze). Unter Additivität der Form $W(\sqrt{x+y}) = W(\sqrt{x}) + W(\sqrt{y})$ und Stetigkeit oder Monotonie folgt $W(r) = Cr^2$.

Grenzen. Die 2-Norm wird vorausgesetzt, nicht hergeleitet. Ohne Verfeinerungsreichtum keine Eindeutigkeit. Kontextabhängiges $W(r, C)$ bricht die Reduktion auf eine Funktion $g(r)$. Endliche One-hot-Zählung ersetzt (iv) nicht.

KAO-Relevanz. Stützt die Auszeichnung des Quadrats innerhalb der importierten Messstruktur (§13.6a). Ersetzt nicht Stufe A–C von §13.6b. Verwandte, andere Theoremzielsetzung in der Literatur: Lela (2026) — §13.A.17 [L26]; kein stiller Terminologieimport in die KAO-Prosa.

13.A.7 Modularität und Schnittsättigung

Annahme (N2). Für geschlossene Figuren $X = \text{Cl}(X)$, $Y = \text{Cl}(Y)$ setze $X \vee Y := \text{Cl}(X \cup Y)$ und $X \wedge Y := X \cap Y$. N2-stark:

$$\text{Rang}(X \vee Y) + \text{Rang}(X \wedge Y) = \text{Rang}(X) + \text{Rang}(Y)$$

für alle solchen Paare der neutralen Closure des kohärenten Sektors. (Abschwächung N2-schwach — Gleichheit nur für ausgewiesene modulare Paare — würde die globalen Dimensionsfolgerungen dieses Schemas entsprechend einschränken und wird hier nicht als Hauptvariante geführt.)

mathematischer Standardsatz (Import). Modularität von Rangfunktionen in Vektorräumen / modularen Matroiden; projektive Dimensionstheorie. In allgemeinen Matroiden gilt zunächst Submodularität; Gleichheit für alle geschlossenen Paare ist die stärkere Modularitätsannahme. Belege: §13.A.17 [L19], [L20]; importierte Standardstruktur, nicht als Kanon-Beweis geführt.

KAO-Begründung. Neutrale Umordnung erzeugt keinen neuen unabhängigen Relationsrang. Neue irreduzible Ganzheit braucht Kopplung oder Herkunft (§2.4a). Warnung: Modularität gilt nicht für jede KAO-Wirklichkeitsfigur — nur für die neutrale Closure des kohärenten Sektors.

Folgerung. Join und Meet neutraler Figuren verhalten sich dimensionsartig (modulare Rangadditivität). Das ist nicht bereits die komplexe projektive Hilbertgeometrie; letztere braucht zusätzlich Koordinatisierung, Skalare, Orthokomplement und Maßbrücke (§13.A.8–§13.A.11; §13.6b.5c).

offene Beweislast. Stärkster Engpass neben Q2: physische Begründung der Modularität (N2-stark); Ausschluss schnittloser Mehradressabhängigkeiten (Gegenmodell §13.6b.10).

13.A.7a Zerlegung von Q2 (Stufe A)

Q2a — eine kontinuierliche relationale Kreisrichtung.

Q2b — zwei reelle Quadraturen.

Q2c — keine zusätzlichen unabhängig recordwirksamen höheren Momente (*besonders offene Beweislast*).

Q2d — Verlust der eigenständigen Relationsrichtung an scharfen Endadressen.

Q2e — affine Vollständigkeit der drei Koordinaten (*besonders offene Beweislast*).

Erst Q2a bis Q2e gemeinsam *zielen auf* die dreidimensionale affine Zustandsstruktur des elementaren Binärsektors — ohne euklidischen Ball und ohne Gewichtspaarung (dafür A+G, A+E; §13.6b.4a).

Hardy-Vergleich (Notation, nicht Identität): $N = \max.$ unterscheidbare Zustände, $K = \text{Freiheitsgrade}$; QT $K = N^2$; Qubit $N = 2, K = 4$.

13.A.7b A+G und A+E (technischer Kurzverweis)

Vollständige Formulierungen: §13.6b.4a.

A+G = Zielaussage $S \simeq B^3, S_{\text{pure}} \simeq S^2$ (formuliert, nicht bewiesen).

A+E = Sektorannahme (scharfe affine Effekt-Zustand-Paarung).

Folgerung: $w_\alpha(\beta) = (1 + \mathbf{r}_\alpha \cdot \mathbf{r}_\beta)/2$ aus A+G+A+E (Rechnung §13.6b.4a) — nicht aus Q1–Q4; vor Maßbrücke kein P .

13.A.8 Projektive Koordinatisierung (Stufe C · Geometriebrücke, Teil 1)

Status. Die folgenden Punkte sind Brückenannahmen beziehungsweise importierte Satzrahmen — nicht im Kanon als lückenlose Herleitung geführt.

Formulierungen der Art „unter geeigneten Bedingungen“ ersetzen keine vollständigen Satzannahmen.

Brückenannahmen / benötigter Inzidenz-Verbandstyp (sichtbar):

1. Atomizität — Punkte als Atome der Adressstruktur;
2. Irreduzibilität des Sektors;
3. Projektive Dimension $n - 1$ (endlicher Fall, $n = \text{Rang}$) ausdrücklich gesetzt;
4. Desargues-Bedingung (bzw. der konkret verwendete Koordinatisierungssatz der Veblen–Young-Tradition) — Brückenannahme, solange kein lückenloser Import mit vollständigen Voraussetzungen im Kanontext geführt ist;
5. Covering Law bzw. vergleichbare Projektivitätsbedingungen (Piron-Pfad);
6. bei Piron-artigem Weg zusätzlich: Orthomodularität, Atomizität, Covering, Rang/Endlichkeit — je nach gewähltem Satz ([L21]–[L23]);
7. Orthokomplementierung / Polarität als zusätzliche Struktur (§13.A.10);
8. L2-G: Verklebung lokaler Stücke (§13.6b.7a).

Import-Hinweis. Koordinatisierungs- und Einbettungssätze projektiver Geometrien: Veblen–Young-Tradition; Desargues-Rahmen; Piron-artige Wege.

Belege: §13.A.17 [L21], [L22], [L23]. Nicht als Kanon-Beweis geführt; Details der Satzannahmen bleiben Literaturimport bzw. Brückenannahme.

KAO-Begründung. Reine Adressen als maximale sichere Recordadressen (Q4, S1–S2, A+E).

Folgerung (bedingt, Brückenannahmen). Punkte eines projektiven Raums $\mathbb{P}^{n-1}(D)$ über einem Divisionsring / Schiefkörper D — noch nicht $\mathbb{CP}^{n-1}$. Quaternionen $\mathbb{H}$ sind kein kommutativer Körper.

Abgrenzung. Closure + Exchange + Rang + N2 ergeben nicht allein Hilbertgeometrie. Das Sektorpaket liefert nicht automatisch die Projektivbrücke.

offene Beweislast. Q2; A+G; L2-G; vollständige Desargues-/Piron-Hypothesen im KAO-Vokabular. Liste: §13.A.15.

13.A.9 Auswahl der Skalare (Stufe C; Solèr-Warnung)

Solèr. Solèrs Charakterisierung setzt eine unendliche orthonormale Folge voraus ([L5], [L6]). Sie schränkt unter ihren Voraussetzungen auf $\mathbb{R}$, $\mathbb{C}$ oder $\mathbb{H}$ ein und wählt $\mathbb{C}$ nicht allein aus. Kein unmittelbarer Beweis für komplexe Skalare im endlichen KAO-Sektor.

Einschränkung des abgesicherten Maßzweigs. Die Operator-Trace-Form $P(E \mid \rho) = \text{Tr}(\rho E)$ und die reine Form $P(\varphi \mid \psi) = |\langle \varphi \mid \psi \rangle|^2$ werden im Kanon als abgesicherter Schema-Zweig nur für den komplexen Hilbertraum geführt. Dabei ist $D = \mathbb{C}$ eine importierte Skalarannahme — sie folgt nicht aus dem Sektorpaket und wird nicht durch den bloßen Ausdruck „abgesichert“ als hergeleitet ausgegeben (übliche Spur über $\mathbb{C}$; reellwertige Born-Wahrscheinlichkeiten).

$\mathbb{R}$ und $\mathbb{H}$ bleiben gesonderte offene Skalar-/Maßzweige (nicht Teil der Realisierungsbrücke): jeweiliger Gleason-/Darstellungssatz, Spurdefinition und Reellwertigkeit der Gewichte sind nicht im Kanon lückenlos abgesichert.

Import-Hinweis. Real-vs-complex-Netzwerkdebatte [L11]–[L17]; Solèr [L5][L6]. Keine Quellenfiktion.

offene Beweislast. „Warum $\mathbb{C}$?“ im Endlichen; vollständige $\mathbb{R}/\mathbb{H}$ -Zweige.

13.A.10 Globale Effektpolarität und Formstruktur (Geometriebrücke, Teil 2)

Definition. Zu reiner Adresse α sei e_α der normalisierte scharfe Effekt mit $e_\alpha(\alpha) = 1$ und $e_\alpha(\beta) = 0$ für alle $\beta \in \alpha_\perp$ (S1–S2, Q4, A+E). e_α ist kein stabilisierter Nach-Festlegungs-Record.

Brückenannahmen (sichtbar; nicht aus S1/S2 allein):

1. Orthokomplementierung / Polarität als zusätzliche Struktur;
2. Art der Korrelation: semilinear bzw. linear mit zugehöriger Involution auf dem Skalaren (für hermitesche Formen);
3. Nichtausgeartetheit der Form;
4. Anisotropie (falls im Importsatz) — unterscheidet von positiver Definitheit;
5. Positive Definitheit wird nicht als automatische Folge einer allgemeinen Polarität behauptet: sie ist zusätzliche Import-/Brückenannahme, wo der positive hermitesche Innenproduktraum beansprucht wird;
6. Dimensions- und ggf. Charakteristikbeschränkungen des verwendeten Importsatzes.

Import-Hinweis. Form-/Polaritätstheorie im Rahmen [L20], [L22], [L23] — nicht als Kanon-Beweis geführt.

Folgerung (bedingt, ohne Wahrscheinlichkeitsmaß). Unter den genannten Brückenannahmen (inkl. ausdrücklich importierter positiver Definitheit, wo beansprucht): positive hermitesche Repräsentationsstruktur.

Nicht in diesem Schritt: Wahrscheinlichkeitsmaß und Operator-Trace — Maßbrücke §13.A.11.

offene Beweislast. Polarität → positive hermitesche Form ohne Maßzirkel; POVM- vs. projektiver Fall.

13.A.11 Maßbrücke: Affine Mischungen und Gleason-/Busch-Typ

Reinheits-/Rang-eins-Bedingung. Die Identifikation

$$\rho_\psi = |\psi\rangle\langle\psi|$$

gilt nur, wenn reine Zustände mit Rang-eins-Dichtematrizen (Extrempunkte der Zustandsmenge in der komplexen Hilbertraumdarstellung) vollständig identifiziert sind — oder eine ausdrückliche Rang-eins-Bedingung gesetzt ist. Ohne diese Identifikation folgt die reine Born-Form nicht.

Zwei festgelegte Zweige (abgesichert im Schema für $D = \mathbb{C}$; vgl. §13.A.9):

Projektiver Gleason-Zweig

- Domäne: vollständige Projektoren- beziehungsweise abgeschlossene Unterraummenge;
- Dimension: $d \geq 3$;
- Maßaxiome: nichtnegativ, normalisiert, nichtkontextuell, orthogonal-additiv;
 - endliche Dimension: endliche Orthogonaladditivität;
 - unendliche Dimension: zusätzlich die für den verwendeten Satz nötige σ -Additivität bzw. Normalität (Import; hier nur als Hypothese genannt);
- **Ergebnis:** $\mu(P) = \text{Tr}(\rho P)$ für Projektoren P ([L2] Gleason 1957).

Busch-/Effekt-Zweig

- Domäne: vollständige Effektmenge $0 \leq E \leq I$ (Schreibweise $[0, I]$);
- Maßaxiome: $\mu: [0, I] \rightarrow [0, 1]$, $\mu(I) = 1$, Nichtnegativität und Nichtkontextualität. Für jede im verwendeten Satz zugelassene endliche beziehungsweise gegebenenfalls abzählbare Familie von Effekten E_i mit

$$\sum_i E_i \leq I$$

gilt

$$\mu\left(\sum_i E_i\right) = \sum_i \mu(E_i).$$

Für eine POVM mit $\sum_i E_i = I$ folgt entsprechend $\sum_i \mu(E_i) = 1$. Die genaue Endlichkeits- beziehungsweise Normalitäts-/ σ -Voraussetzung muss mit dem tatsächlich zitierten Busch-/POVM-Satz übereinstimmen ([L3] Busch 2003; [L4]);

- Dimension: $d = 2$ sichtbar mitbehandelbar ([L3], [L4]);
- **Ergebnis:** $\mu(E) = \text{Tr}(\rho E)$.

Eingeschränkte POVM-Familien: keine allgemeine Spurform, solange kein konkret genannter Erweiterungssatz zur vollen Domäne vorliegt (derzeit nicht im Kanon).

Import. Gleason [L2]; Busch [L3]; Gleason-Typ POVM [L4] — nicht als Kanon-Beweis geführt.

Folgerung (bedingt, Maßbrücke, $D = \mathbb{C}$). Unter dem gewählten Zweig und hermitescher Repräsentation (§13.A.10):

$$P(E \mid \rho) = \text{Tr}(\rho E),$$

rein projektiv $P(\varphi \mid \psi) = |\langle \varphi \mid \psi \rangle|^2$ unter Rang-eins-Identifikation; lokal $P(\alpha \mid \beta) = w_\alpha(\beta)$.

Nicht Erklärung des Einzeltreffers. Realisierungsbrücke außerhalb (§13.6b.5c). $\mathbb{R}/\mathbb{H}$: offen (§13.A.9).

offene Beweislast. Physische Domäne vs. volle Domäne; unendliche Dimension; $\mathbb{R}/\mathbb{H}$; ontologischer Status gemischter Zustände.

13.A.12 Effekt und Instrument

Definition.

- Effekt: positiv-semidefinite Größe $0 \leq E \leq I$, die einem möglichen Recordausgang / einer Ergebnisadresse ein Gewicht zuordnet (allgemeine Wahrscheinlichkeitstheorie der QM) — vor Festlegung kein stabilisierter Record.
- Instrument: vollständige Beschreibung, *wie* die Nach-Festlegungs-Lage (Zustandskarte) vom Ausgang abhängt — Dynamik der Verzweigung, nicht nur Gewicht.

KAO-Begründung. Born betrifft Gewichtung exklusiver Ausgänge. Festlegung und anschließende Geschichte/Record betreffen Wirklichwerden und Fortsetzung. Instrumente mischen Gewicht und Zustandsaktualisierung; die KAO trennt sie begrifflich. KAO-Prosa: Wo möglich „Messpfad“, „Kopplungs- und Recordstruktur“. „Instrument“ ist der Fachbegriff für Gewicht *plus* ausgangsabhängige Fortsetzungsregel; er ist nicht mit der Born-Regel identisch.

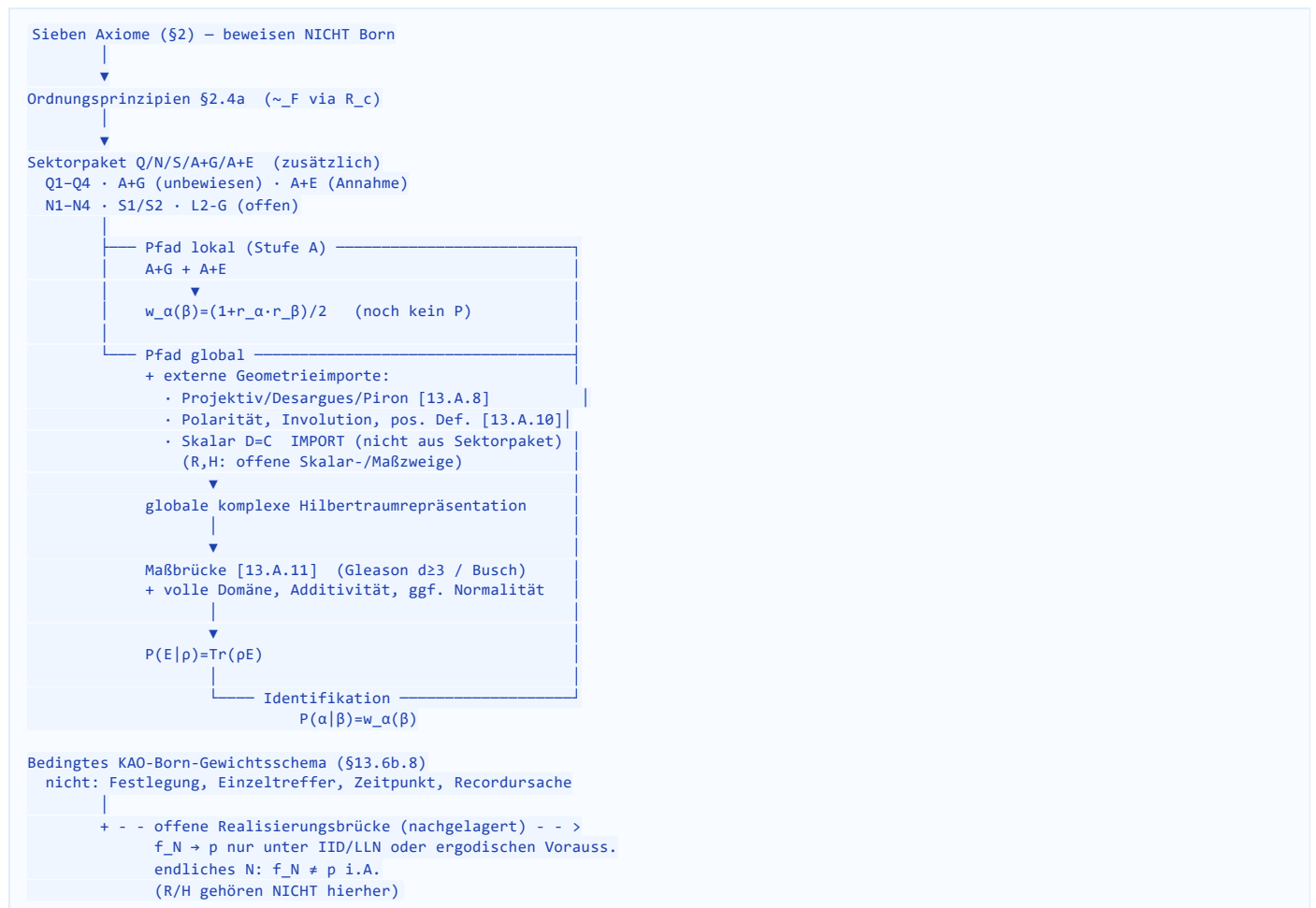
Annahme. Nicht jeder mathematische Effekt muss physisch verfügbar sein (§13.6b.8).

Folgerung. Die Operator-Trace-Formel für Effekte ist eine bedingte Gewichtsaussage; sie ersetzt keinen Festlegungs- oder Kollapsmechanismus. (Terminologie „Operator-Trace“, um Verwechslung mit dem KAO-Begriff *Spur* zu vermeiden.)

offene Beweislast. Physische Verfügbarkeitskriterien für Effekte; Instrumentendynamik bleibt Physik-Import.

13.A.13 Abhängigkeitsdiagramm des Born-Pfades

Logische Abhängigkeit (*nicht zeitliche Messgeschichte*):



Parallelspur (nicht aus Sektorpaket Q/N/S/A+G/A+E): Import Hilbert + Exklusivität → §13.6a → optional §13.A.6b ($q = 2$, 2-Norm vorausgesetzt).

Folgerung. w kommt lokal aus A+G+A+E; die globale Geometriebrücke liefert die komplexe Hilbertraumstruktur (mit importiertem $D = \mathbb{C}$), nicht das lokale w . Maßbrücke liefert P ; danach $P = w$ lokal. Lücken in Q2, A+G, N2, N3, L2-G oder Brückenimporten brechen das Gewichtsschema. Die Realisierungsbrücke bricht nur die Serienrelation; $\mathbb{R}/\mathbb{H}$ sind Skalar-/Maßzweige, nicht Teil der Realisierungsbrücke.

13.A.14 Gegenmodelle (technisch)

Zu den zentralen Zusatzbedingungen repräsentative Gegenmodelle beziehungsweise Scheiterklassen (vgl. §13.6b.10):

Bedingung	Gegenmodell	Was dann fehlt
Q1	klassisches Simplex	keine kohärente Unterbestimmung durch π
reversible M	nur irreversible Auslese	keine Rekombination → keine Interferenzbilanz
Q2	höhere Spin-Faktoren / Harmonische	keine 3D-affine Binärstruktur (A+G-Anschluss)
A+G	anisotrope / nicht-euklidische Zustandskörper	kein Bloch-Ball
A+E	mehrdeutige nicht-affine Effekte beziehungsweise mehrdeutige Recordadressen	keine scharfe Paarung $(1 + r \cdot s)/2$
Q3	ausgezeichnete reine Adressen	deformierte Zustandsräume
N1 / Exchange	gerichtete Erzeugung	kein Matroid-Rang
N2 Modularität	schnittlose Mehradressabhängigkeit	keine Dimensionssumme
N3	lokal verschiedene Binärsektoren	keine einheitliche Übertragung von Q1–Q4+A+G/A+E
L2-G	inkonsistente Überlapp-Kalibrierungen	keine globale Hilbert-/Projektivgeometrie
N4	starre Einbettung bricht Binnenrelationen	kein gemeinsames $P^{n-1}(D)$
S1	kontextabhängige Adresse / Effekt	keine globale Effektidentität
S2	unadressierte Gewissheit	nichtprojektive Nullbereiche

Bedingung	Gegenmodell	Was dann fehlt
positive hermitesche Form	indefinite / nicht-hermitesche Formen	keine Normquadrat-Geometrie
Gleason-/Busch-Domäne	zu dünne Effekt-/Projektorfamilien	keine Operator-Trace-Form
Maßadditivität	nichtadditive Gewichte	Operator-Trace bricht
Realisierungsbrücke	nichtstationäre Serien; One-hot allein	keine asymptotische Reproduktion $f_N \rightarrow p$
Mischungsneutralität	nichtlineare P auf klassischen Mischungen	Operator-Trace bricht
Skalar $\mathbb{C}$	rein reelle oder quaternionische Modelle	andere Interferenz-/Zustandsgeometrie

KAO-Begründung. Falsifizierbarkeit des Sektorpakets: Scheitert eine Bedingung empirisch oder strukturell, entfällt das bedingte Gewichtsschema — nicht der ontologische Kern. Vgl. §13.6b.10.

13.A.15 Liste noch nicht geführter Beweise

Im Kanon nicht als abgeschlossen geführt:

1. Physische Notwendigkeit von Q2 (elementare Relationsexhaustivität) aus Labortatsachen ohne Zirkel.
2. Vollständiger Beweis der A+G-Zielaussage ($S \simeq B^3$, $S_{\text{pure}} \simeq S^2$) bzw. exakt passender Importsatz.
3. Physische/strukturelle Rechtfertigung von A+E (Sektorannahme im Schema; Herleitung = separates Forschungsziel).
4. Physische Notwendigkeit von N2 (Modularität) für neutrale Mehradressabhängigkeiten.
5. Physische/strukturelle Rechtfertigung der N3-Universalisierung aller Rang-zwei-Hüllen (getrennt von L2-G).
6. L2-G — lokale-zu-globale Kompatibilität (noch kein Verklebungstheorem; Forschungsbedingung), einschließlich L2-G6 (Eindeutigkeit globaler Erweiterung / Rang-2-Tomographie; §13.6b.7a–7b).
7. Vollständige Ableitung der Closure-Axiome (13.A.3–13.A.4) aus KAO allein.
8. Lückenfreie projektive Koordinatisierung über Divisionsring D (13.A.8).
9. Ableitung der komplexen Skalare (13.A.9); Solèr wählt $\mathbb{C}$ nicht allein.
10. Konstruktion der positiven hermiteschen Form (13.A.10) ohne versteckte Wahrscheinlichkeitsannahmen.
11. Gleason- beziehungsweise Busch-Zweig (13.A.11): physische Domäne versus vollständige Projektoren-/Effektmenge; Dimensionssonderfälle; im unendlichdimensionalen Fall die benötigte σ -Additivität beziehungsweise Normalität; gesonderte Darstellungssätze, Spurdefinitionen und Reellwertigkeit für die offenen $\mathbb{R}/\mathbb{H}$ -Zweige.
12. Verfügbarkeitskriterien für Effekte vs. bloße Mathematik (13.A.12).
13. Erweiterung über endliche irreduzible Sektoren hinaus.
14. Empirisch neuer, von der Standard-QM unterscheidbarer Prüfbefund (derzeit: keine neue Vorhersage).
15. Jeglicher Festlegungs-, Kollaps- oder Zeitpunktmechanismus.
16. Erklärung, warum im Einzelfall gerade Ergebnis i eintritt.
17. Realisierungsbrücke: Bedingungen, unter denen f_N das strukturelle Gewicht p asymptotisch reproduziert (z. B. IID: $f_N \rightarrow p$; oder stationär-ergodisch). Nicht: $p = f_N$ für endliches N .
18. Brücke von endlicher One-hot-Zähladditivität zum vorfestlegenden strukturellen Gewicht p .
19. Physische Rechtfertigung hinreichenden Verfeinerungsreichtums, sofern §13.A.6b beansprucht wird (Hilbert-2-Norm vorausgesetzt).
20. Adressenvollständigkeit für No-Selector-Lemmata (Prüfpfad, nicht Kern).
21. Dynamischer Gewichtspfad und Kausalpunkt: Begleitwerk *Gewicht*, *Serie*, *Typizität*; hier nur Verweis.
22. Kanonik der operationalen Profile $R_c \in \text{Prob}(\Omega_c)$ und des Testbereichs T_F (13.A.1).

Literatur / Belegstatus. Die verwendeten Standardsätze sind im Literaturapparat §13.A.17 nachgewiesen; keine Quellenfiktion. Literatur schließt die KAO-internen offenen Lasten nicht: mindestens Q2, N2, A+G, A+E-Rechtfertigung, N3-Universalisierung, L2-G, positive Form, physische Effektdomäne, Skalar-/Maßzweige $\mathbb{R}/\mathbb{H}$ sowie davon getrennt die Realisierungsbrücke bleiben offen. Jede importierte Aussage trägt den Status Import oder Brückenannahme/offen. $D = \mathbb{C}$ ist importierte Skalarannahme des abgesicherten Zweigs, keine Folgerung aus dem Sektorpaket. Weder Born aus den sieben Axiomen noch Scheinschluss durch Zitat.

13.A.16 Anhangs-Kernsatz

Der Anhang formalisiert den bedingten Born-Pfad. Er verwandelt Spekulation nicht in Kern und Lücken nicht in Beweise.

Technische Vertiefung darf den Status **[Spekulations-Prüfpfad]** nicht stillschweigend aufheben. Maßgeblich bleiben §13.6b.8 (bedingtes KAO-Born-Gewichtsschema), §13.6b.11 (Statuskasten), §13.6b.5c (Geometrie $\rightarrow$ Maß; Realisierung nachgelagert), die Agenda §13.6c und die offenen Engpässe Q2, N2, A+G, A+E-Rechtfertigung, N3-Universalisierung, L2-G, positive hermitesche Form, Effektdomäne, Realisierungsbrücke.

13.A.17 Literaturapparat zu §13 und §13.A

Zitierordnung: [L-Nummer]. Preprints sind als solche gekennzeichnet; aus keinem Beleg folgt eine weitergehende KAO-Behauptung (§13.15). Die Belege dokumentieren importierte Standardsätze und den Stand der Fachdebatte; sie beweisen weder Born aus den sieben Axiomen noch schließen sie die offenen Beweislasten Q2, N2, A+G, A+E-Rechtfertigung, N3, L2-G, positive Form, Effektdomäne, Realisierungsbrücke.

Norm-, Maß- und Effektstruktur

- [L1] P. Jordan, J. von Neumann: *On Inner Products in Linear, Metric Spaces*. Annals of Mathematics 36(3), 719–723 (1935).
- [L2] A. M. Gleason: *Measures on the Closed Subspaces of a Hilbert Space*. Journal of Mathematics and Mechanics 6(6), 885–893 (1957).
- [L3] P. Busch: *Quantum States and Generalized Observables: A Simple Proof of Gleason's Theorem*. Physical Review Letters 91, 120403 (2003).
- [L4] C. M. Caves, C. A. Fuchs, K. K. Manne, J. M. Renes: *Gleason-Type Derivations of the Quantum Probability Rule for Generalized Measurements*. Foundations of Physics 34, 193–209 (2004).
- [L26] M. Lela: *The Born Rule as the Unique Refinement-Stable Induced Weight on Robust Record Sectors*. arXiv:2603.24619 (2026). *Preprint*. Vergleichsroute: induziertes Sektorgewicht, Fortsetzungsbündel, Refinement-Stabilität. Nicht als KAO-Eigenbeweis und nicht als stiller Terminologieimport in die KAO-Prosa.
- [L27] J. Zhang: *Summing to Uncertainty: On the Necessity of Additivity in Deriving the Born Rule*. arXiv:2603.06211 (2026). *Preprint*. Vergleich: Zhang argumentiert anhand mehrerer Born-Ableitungen für die unverzichtbare Rolle expliziter oder impliziter Additivität. Nicht als Beweis der KAO-Theorie und nicht als universeller Nichtableitbarkeitssatz.

Orthomodulare Räume und Skalarkörper

- [L5] M. P. Solèr: *Characterization of Hilbert Spaces by Orthomodular Spaces*. Communications in Algebra 23(1), 219–243 (1995).
- [L6] S. S. Holland Jr.: *Orthomodularity in Infinite Dimensions; a Theorem of M. Solèr*. Bulletin of the American Mathematical Society 32, 205–234 (1995).

Operationale Rekonstruktionsprogramme

- [L7] L. Hardy: *Quantum Theory From Five Reasonable Axioms*. arXiv:quant-ph/0101012 (2001). *Preprint*.
- [L8] G. Chiribella, G. M. D'Ariano, P. Perinotti: *Informational Derivation of Quantum Theory*. Physical Review A 84, 012311 (2011).
- [L9] L. Masanes, M. P. Müller: *A Derivation of Quantum Theory from Physical Requirements*. New Journal of Physics 13, 063001 (2011).
- [L10] B. Dakić, Č. Brukner: *Quantum Theory and Beyond: Is Entanglement Special?* In: H. Halvorson (Hrsg.), *Deep Beauty*. Cambridge University Press (2011); arXiv:0911.0695.

Real-versus-complex-Debatte

- [L11] M. McKague, M. Mosca, N. Gisin: *Simulating Quantum Systems Using Real Hilbert Spaces*. Physical Review Letters 102, 020505 (2009).
- [L12] M.-O. Renou, D. Trillo, M. Weilenmann, T. P. Le, A. Tavakoli, N. Gisin, A. Acín, M. Navascués: *Quantum Theory Based on Real Numbers Can Be Experimentally Falsified*. Nature 600, 625–629 (2021).
- [L13] Z.-D. Li, Y.-L. Mao, M. Weilenmann, A. Tavakoli, H. Chen, L. Feng, S.-J. Yang, M.-O. Renou, D. Trillo, T. P. Le, N. Gisin, A. Acín, M. Navascués, Z. Wang, J. Fan: *Testing Real Quantum Theory in an Optical Quantum Network*. Physical Review Letters 128, 040402 (2022).
- [L14] M. Weilenmann, N. Gisin, P. Sekatski: *Partial Independence Suffices to Rule Out Real Quantum Theory Experimentally*. Physical Review Letters 135, 180201 (2025); arXiv:2502.20102.
- [L15] T. Hoffreumon, M. P. Woods: *Quantum Theory Does Not Need Complex Numbers*. arXiv:2504.02808 (2025). *Preprint*.
- [L16] T. Hoffreumon, M. P. Woods: *Quantum Theory Based on Real Numbers Cannot Be Experimentally Falsified*. arXiv:2603.19208 (2026). *Preprint*.
- [L17] F. Moradi Kalarde, X. Xu, M.-O. Renou: *Comment on „Quantum Theory Based on Real Numbers Cannot Be Experimentally Falsified“: On the Compatibility of Physical Principles with Information Theory for Fermions*. arXiv:2604.07425 (2026). *Preprint (Gegenkommentar)*.

Matroid-, Verbands- und Geometriestruktur

- [L18] H. Whitney: *On the Abstract Properties of Linear Dependence*. American Journal of Mathematics 57, 509–533 (1935).
- [L19] J. Oxley: *Matroid Theory*. 2. Auflage, Oxford University Press (2011).
- [L20] G. Birkhoff, J. von Neumann: *The Logic of Quantum Mechanics*. Annals of Mathematics 37, 823–843 (1936).
- [L21] O. Veblen, J. W. Young: *Projective Geometry*, Band I. Ginn (1910).
- [L22] E. Artin: *Geometric Algebra*. Interscience (1957).
- [L23] C. Piron: *Axiomatique quantique*. Helvetica Physica Acta 37, 439–468 (1964).

Reelle und quaternionische Quantentheorie (Struktur)

- [L24] E. C. G. Stueckelberg: *Quantum Theory in Real Hilbert Space*. Helvetica Physica Acta 33, 727–752 (1960).
- [L25] S. L. Adler: *Quaternionic Quantum Mechanics and Quantum Fields*. Oxford University Press (1995).