

Anhang – Skizze eines Studiendesigns zu Aluminium/ Al_2O_3 in keramischen Glasuren

Entwurf (Deutsch) – als Ergänzung zu den Stichpunkten / Interviewvorbereitung (Stand: 03/2026)

1. Ausgangspunkt: Warum Aluminium/ Al_2O_3 hier methodisch heikel ist

Aus Keramik-Perspektive wirkt Aluminiumoxid (Al_2O_3) zunächst kontraintuitiv als „Problemstoff“: In der Glasurchemie gilt Al_2O_3 typischerweise als Netzwerk-/Matrix-Stabilisator (verbessert Härte, Beständigkeit, Viskosität; reduziert oft die Löslichkeit anderer Bestandteile). Wenn dennoch in Eluaten aus keramischen Prüfungen Aluminium als Element gemessen wird, heißt das nicht, dass Al_2O_3 „zu Metall reduziert“ wurde, sondern dass Aluminium in gelöster Form (Ionen/Komplexe) aus der Oberfläche/Mikrostruktur in das Prüfliquid übergegangen ist.

Der Knackpunkt ist daher nicht „gut oder böse“, sondern: Unter welchen Matrix- und Prozessbedingungen kommt es überhaupt zu messbarer Freisetzung, und ist diese Freisetzung im Vergleich zu Alltagsquellen (z. B. Aluminiumkochgeschirr) relevant?

2. Praxisbezug: Der Vergleich mit Aluminiumkochgeschirr (Matthes-Beispiel)

Ein Keramik-Glasurchemiker (Wolf Matthes) hat sinngemäß eingewandt: Metallisches Aluminium wird im Haushalt real genutzt (z. B. Kochtöpfe), und man kann nach längerer Nutzung sichtbare Oberflächenveränderungen beobachten (z. B. durch Salz/Kochen). Wenn solche Alltagsquellen gesellschaftlich akzeptiert sind, stellt sich die Frage, welche Evidenz zeigt, dass Aluminiumfreisetzung aus keramischen Glasuren – unter realistischen Nutzungsbedingungen – tatsächlich ein prioritäres Risiko darstellt.

3. Ziel der Studie

Ziel ist eine keramik-spezifische Brücke zwischen toxikologischer Bewertung („Al als Element im Eluat“) und materialwissenschaftlicher Steuerbarkeit („welche Glasur-/Brand-/Dekorkonstellationen sind kritisch bzw. robust?“).

4. Kernfragen (Research Questions)

- In welchen Keramik-Typologien (Irdenware/Steingut/Steinzeug/Porzellan) tritt messbare Al-Freisetzung auf – und in welchen nicht?
- Welche Prozessparameter korrelieren am stärksten mit Freisetzung (Brandtemperaturband, Haltezeit, Atmosphäre oxidierend/reduzierend, Unter-/Überbrand, Abkühlregime)?
- Welche Glazefamilien/Matrixparameter sind robust vs. anfällig (z. B. Verhältnis Netzwerkbildner/Flussmittel, Al_2O_3 -/ SiO_2 -Niveau, Alkali-Anteil, matte Phasen, Kristallisation, Mikroporosität)?
- Welche Rolle spielen Dekore (Unterglasur/Inglasur/Aufglasur, Schiebepilder/Prints) und Kontaktzonen (Trinkrand/Innenfläche)?

- Wie verhält sich Al-Freisetzung unter normierten Migrationstests im Vergleich zu praxisnahen Belastungen (Spülmaschine/Spülstraße, saure Speisen, Salz, Wärme)?
- Lässt sich aus den Daten eine einfache, praxistaugliche Typologie/Guidance ableiten („Process windows“, No-go-Konstellationen, Prüfprioritäten)?

5. Studiendesign – Vorschlag in Modulen

5.1 Modul A: Proben- und Typologieplan (repräsentativ statt „alles“)

Vorschlag: gezielte Typologie statt Zufalls-/Einzelfall-Sammlung.

- Keramikkörper: Irdenware/Steingut/Steinzeug/Porzellan (jeweils mehrere Hersteller/Ateliers + Industrie).
- Glasurklasse (grob): transparent/opak; glänzend/matt; hoch-/niedrig gebrannt; ggf. bleihaltig (historisch) vs bleifrei.
- Dekor: keine / Unterglasur / Inglasur / Aufglasur / Schiebephotographie/Print; jeweils am Trinkrand vs nur außen.
- Technik „kiln-formed“: Holzbrand/Salz-/Sodabrand (hohe Varianz; Proben über den Ofenraum verteilt).
- Prozessfenster: geplante Variation (z. B. „nominal korrekt“ vs leicht unter-/überbrannt; oxidierend vs reduzierend, wo relevant).

5.2 Modul B: Keramik-Metadaten (damit Ergebnisse statistisch nutzbar sind)

- Werkstoff/Brandproxy (Kategorie + Temperaturband).
- Dekorart und Kontaktzone (Trinkrand/Innenfläche/außen).
- Brandführung: Atmosphäre, Peak-Temp, Haltezeiten, Abkühlregime (so weit dokumentierbar).
- **Seigerformel / Glasurchemie ist ein Muss (auch bei Fertigglasuren)** – sonst sind Ergebnisse *nicht* belastbar auf Glasurmatrix/Prozessbedingungen rückführbar; Hersteller/Produktcode nur ergänzend.
- Oberflächenzustand (glatt/matt; sichtbare Kristallphase; Porosität/Defekte).

5.3 Modul C: Prüfprotokolle – normiert + praxisnah

Kombination aus (i) Vergleichbarkeit mit EU-Praxis und (ii) Alltagsrelevanz.

- Normtest: 4% Essigsäure (acetic acid) – Temperatur/Zeit nach etablierten Keramik-Protokollen; Messung der Elementkonzentration im Eluat (Al + ggf. Co/Ni/Cr/Ba/Pb/Cd als Co-Read).
- Stress-/Worst-Case-Variante(n): erhöhte Temperatur; längere Exposition; Wiederholungszyklen (um „Alterung“/Auswaschkurven zu sehen).
- Praxisprotokoll 1: Spülmaschine/Spülstraße-Simulation (z. B. definierte Zyklenzahl + anschließende Migration).
- Praxisprotokoll 2: Salz/Hitze-Szenario (als Brücke zum Aluminiumtopf-Argument; z. B. saline/acidic cooking simuliert).

- Vergleichsreferenz: Aluminiumkochgeschirr-Proben unter ähnlichen Praxisbedingungen (Benchmark).

5.4 Modul D: Analytik und Auswertung

- Analytik: ICP-MS/ICP-OES für Elemente im Eluat (Al als Schwerpunkt; ggf. Multi-Element).
- Oberflächen-/Mikrostruktur: z. B. SEM/EDS punktuell (wo sinnvoll), um „warum“ zu verstehen (Mikroporosität, Phasenseparation, Kristallphasen).
- Statistik: Korrelationen/Cluster nach Typologie (Körper, Dekor, Kontaktzone, Brandproxy, Glazefamilie).
- Output: Risikoproxy, die für Vollzug und Hersteller anwendbar sind (z. B. ‚Overglaze am Rim‘ + low-fired Proxy = höherer Prüfpriorität).

6. Erwartbare Ergebnisse (Deliverables)

- Keramik-Typologie „robust vs. kritisch“ (nicht nur Einzelfälle).
- Konkrete Guidance für Hersteller: Prozessfenster und No-go-Konstellationen (z. B. Dekor am Trinkrand; bestimmte low-fired Konstellationen).
- Vorschlag für keramikrelevante Datenfelder in DoC und amtlichen Proben (damit künftige Datenbasen lernfähig sind).
- Vergleichsrahmen zur Alltagsquelle Aluminiumkochgeschirr (Einordnung statt Bauchgefühl).

7. Warum das für Regulierung und Vollzug zentral ist

Ohne ein solches Design bleibt „Al im Eluat“ eine toxikologisch-analytische Zahl ohne keramische Übersetzung. Das führt in der Praxis entweder zu pauschalen Papierpflichten oder zu flächigen Testanforderungen, die KMU überfordern und trotzdem nicht dort verdichten, wo die realen Hotspots liegen. Die Studie ist deshalb eine Voraussetzung, um Betreiberverantwortung überhaupt fair einfordern zu können (und nicht als Blindflug oder als faktisches Berufsverbot).