



Facharbeit mit dem Thema:

**Neukonstruktion einer Vorrichtung zur Halterung von
Scheiben während eines Sputtervorgangs**

von

Ronny Köhler

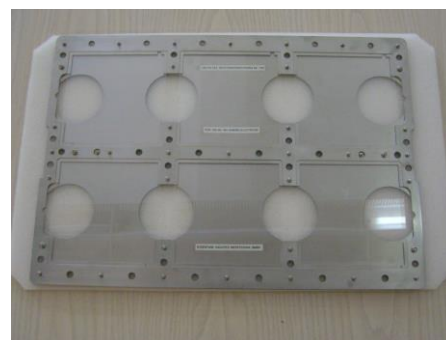
Aufgabenstellung:

Im Rahmen der vorliegenden Facharbeit wurde eine Aufnahme- und Maskiervorrichtung für Kunststoffscheiben untersucht, die im Sputterprozess zum Einsatz kommt. Bei diesem Vorgang werden Kunststoffscheiben in einer Vakuumkammer leitfähig mit Indium-Zinnoxid (ITO) beschichtet. Dieser Prozess wird bei der Herstellung von Detektoren für ionisierende Strahlung (Abb. 1) eingesetzt und stellt hohe Anforderungen an Präzision und Prozesssicherheit.

Die bestehende Vorrichtung (Abb. 2, Abb. 3 und Abb. 4) weist einen fünfteiligen Aufbau mit zahlreichen Verschraubungen auf. Während des Sputterprozesses wird nicht nur die Kunststoffscheibe, sondern auch die Vorrichtung selbst mit ITO beschichtet. Diese Verunreinigungen müssen nach jedem Produktionszyklus entfernt werden.



Abb. 1: Endprodukt zur Strahlungsmessung



*Abb. 2: Vorrichtung mit eingelegten
Kunststoffscheiben*

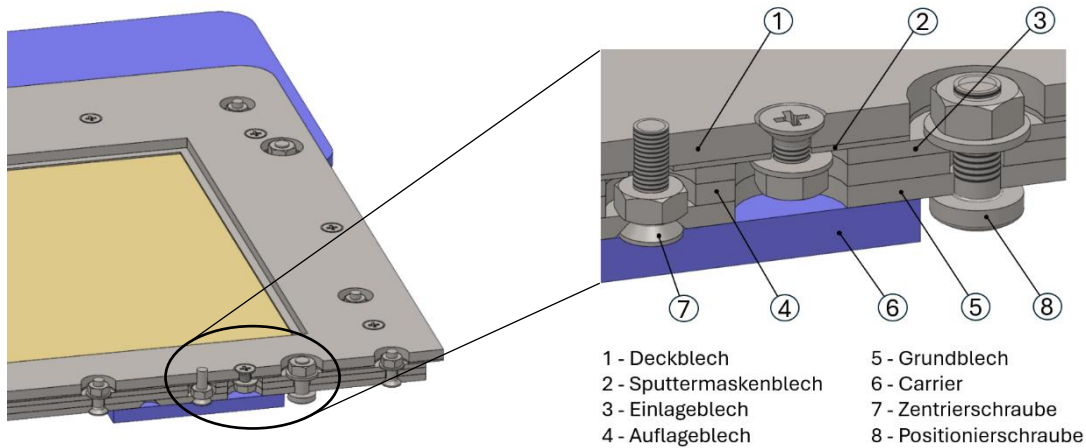


Abb. 3: Vorrichtung im Schnitt

Abb. 4: Detail mit Positionsnummern

Bisher erfolgt die Reinigung mechanisch mittels rotierender Drahtbürste unter einer Absaugvorrichtung. Dieses Verfahren ist jedoch zeitaufwendig, verschleißintensiv und für eine mögliche Umstellung auf chemische Reinigung nur bedingt geeignet. Insbesondere bei einer Reinigung in Oxalsäure¹ besteht die Gefahr, dass sich Säurerückstände in Zwischenräumen und Verschraubungen ablagern. Diese können zu Qualitätsproblemen und Ausschuss führen. Ziel war daher die Entwicklung einer neuen Vorrichtung, die eine deutlich verbesserte Reinigungsfähigkeit aufweist und gleichzeitig alle funktionalen Anforderungen erfüllt.

Die Leitfragen der Arbeit:

- Wie kann eine bestehende Sputtervorrichtung so umkonstruiert werden, dass sie deutlich einfacher gereinigt werden kann?
- Wie lässt sich diese Verbesserung erreichen, ohne Vakuutfähigkeit, Maskierungsfunktion und Handhabung zu verschlechtern?
- Welche der entwickelten Lösungen ist unter technischen Gesichtspunkten insgesamt am überzeugendsten?

Methodisches Vorgehen:

Die Entwicklung der neuen Vorrichtung erfolgte systematisch nach den Richtlinien der Konstruktionsmethodik gemäß VDI 2221².

¹ (Su-Jin Koo, 2017)

² (Verein deutscher Ingenieure, 2025)

Zunächst wurde der Istzustand analysiert und eine strukturierte Anforderungsliste erstellt. Diese umfasst funktionale, geometrische und prozessbedingte Anforderungen wie Vakuumfähigkeit, Maskierungsfunktion und einfache Handhabung. Zur Abstraktion des Systems kam eine Black-Box-Darstellung zum Einsatz, in der Ein- und Ausgangsgrößen sowie Störgrößen definiert wurden.

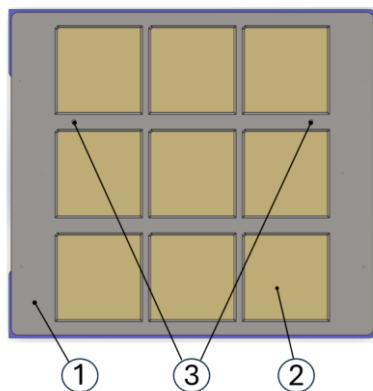
Auf dieser Basis erfolgte die Ableitung von Subsystemen und Teilfunktionen. Mithilfe eines morphologischen Kastens wurden anschließend verschiedene Lösungsansätze kombiniert und zu drei konkreten Konstruktionsvarianten ausgearbeitet. Die Bewertung der Varianten erfolgte durch eine Nutzwertanalyse nach VDI 2225³, bei der insbesondere die Reinigungsfähigkeit als Hauptkriterium gewichtet wurde.

Entwicklung der Konstruktionsvarianten:

Es wurden drei unterschiedliche Konstruktionskonzepte entwickelt:

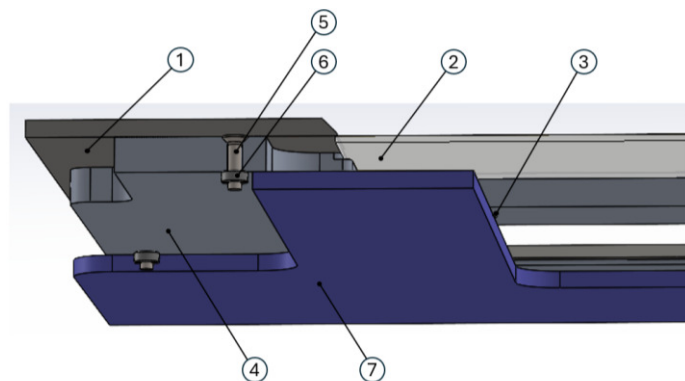
Variante 1: Geschlossene Deckplatte

Eine massive Deckplatte aus Edelstahl A2 (1.4301) schützt die darunterliegenden Bauteile vor direkter Bedampfung (Abb. 5 und Abb. 6). Nur dieses Bauteil muss anschließend gereinigt werden. Die Reinigung erfolgt in einem Oxalsäurebad.



- 1 - Deckplatte
- 2 - Kunststoffscheibe
- 3 - Zentrierschraube

Abb. 5: Draufsicht
"Geschlossene Deckplatte"



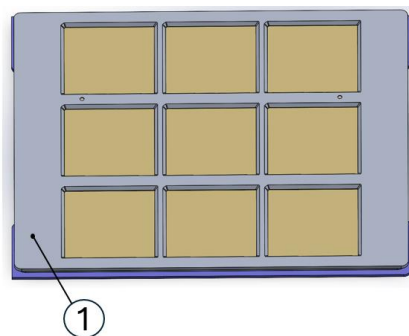
- 1 - Deckplatte
- 2 - Kunststoffscheibe
- 3 - Zentrierschraube
- 4 - Grundplatte
- 5 - Senkschraube
- 6 - Schlitzmutter
- 7 - Carrier

Abb. 6: Positionsnummern „Geschlossene Deckplatte“

³ (VDI Verein Deutscher Ingenieure e.V., 2025)

Variante 2: Kaptonband

Die Vorrichtung (Abb. 7) wird vollständig mit einer Schutzschicht aus Kaptonband versehen, die nach jedem Zyklus entfernt wird. Die Konstruktion ist nahezu identisch zur ersten Variante. Einziger Unterschied ist, dass zusätzlich zu der Grundplatte auch die Deckplatte aus vakuumfähigem Aluminium (EN AW-5083) mit sehr geringer Oberflächenrauheit⁴ hergestellt werden. Das reduziert Gewicht und Kosten.



1 – Deckplatte aus Aluminium

Abb. 7: Variante „Kaptonband“

Variante 3: Einzelne Einsätze

Diese Vorrichtung (Abb. 8 und Abb. 9) besteht aus einer Grundplatte mit austauschbaren Einsätzen und separaten Masken. Sowohl die Grundplatte als auch die einzelnen Masken werden in einem Oxalsäurebad bzw. einem Ultraschallbad gereinigt.

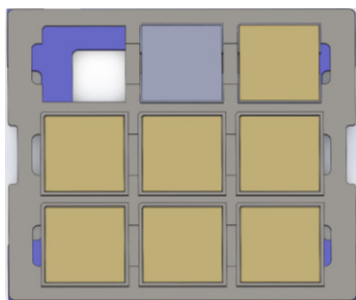
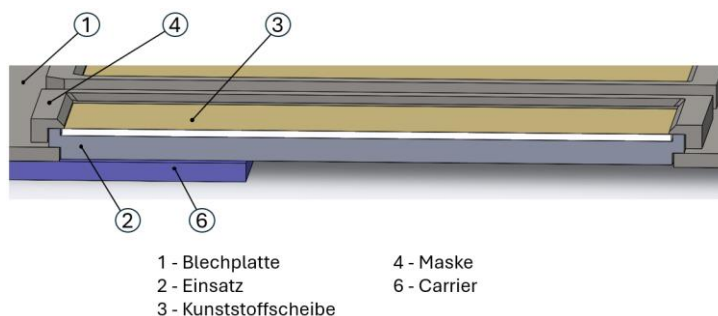


Abb. 8: Variante "Einzelne Einsätze", obere Reihe in unterschiedlichen Bestückungszuständen



1 - Blechplatte
2 - Einsatz
3 - Kunststoffscheibe
4 - Maske
6 - Carrier

Abb. 9: Positionsnummern "Einzelne Einsätze"

Alle Varianten erfüllen grundsätzlich die gestellten Anforderungen, unterscheiden sich jedoch hinsichtlich Reinigungsaufwand, Handhabung und Fertigungsaufwand.

Ergebnis und Vorzugsvariante:

Die Nutzwertanalyse zeigte, dass die Variante *geschlossene Deckplatte* mit 90,2 % der maximal erreichbaren Punktzahl die beste Lösung darstellt. Ausschlaggebend waren die sehr gute Reinigungsfähigkeit und eine einfache Handhabung.

⁴ (Gemmel-Metalle, 2025)

Durch den Wegfall vieler Verschraubungen wird das Risiko von Säurerückständen erheblich reduziert. Gleichzeitig wird die Konstruktion vereinfacht. Zusätzlich konnten über die ursprüngliche Aufgabenstellung hinaus weitere Verbesserungen erzielt werden:

- Gewichtsreduktion von 8,3 kg auf 5,4 kg
- Kapazitätssteigerung von 6 auf 9 Kunststoffscheiben

Damit wird sowohl die Ergonomie verbessert als auch die Wirtschaftlichkeit des Prozesses erhöht. Insgesamt reduziert die deutlich vereinfachte Reinigung den Wartungsaufwand, erhöht die Prozesssicherheit und verbessert die Produktionsqualität.

Die Vorzugsvariante wurde im CAD-System SolidWorks konstruiert und hinsichtlich ihrer mechanischen Eigenschaften überprüft. Durch analytische Berechnungen (Abb. 10 und Abb. 11) und FEM-Simulationen konnte nachgewiesen werden, dass:

- die Biegespannungen deutlich unterhalb der zulässigen Werte liegen
- die Durchbiegung vernachlässigbar ist
- thermische Ausdehnungen innerhalb tolerierbarer Grenzen bleiben

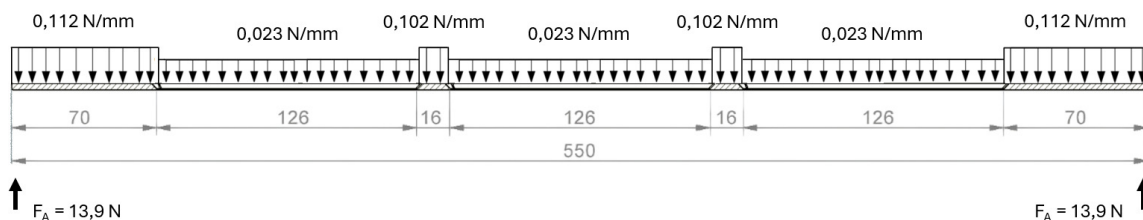


Abb. 10: Schnittansicht Deckplatte mit eingezeichneten Flächenlasten

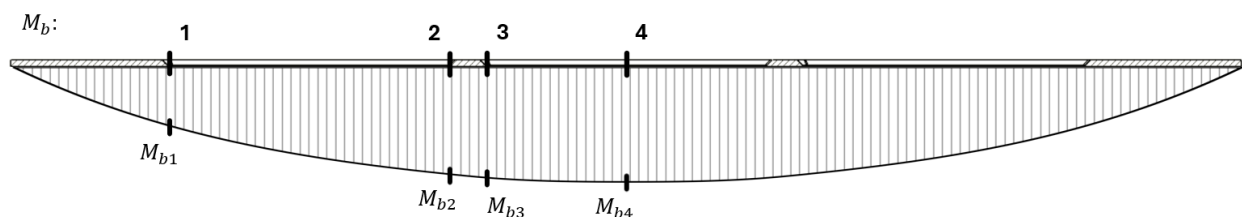


Abb. 11: Biegemomentenverlauf M_b in der Deckplatte

Insgesamt zeigt die vorliegende Arbeit, dass durch eine systematische Vorgehensweise nach VDI 2222 eine technisch und wirtschaftlich optimierte Lösung entwickelt werden kann. Die entwickelte Vorrichtung stellt eine funktional und wirtschaftlich verbesserte Lösung dar und ermöglicht eine deutliche Optimierung des Reinigungsprozesses.

Gemmel-Metalle. (2025). *Datenblatt*. Abgerufen am 23. 07. 2025 von Gemmel-Metalle:
<https://www.gemmel-metalle.de/informationen/datenblatt-gemplan-alimex.pdf>

Su-Jin Koo, C.-S. J. (17. 08. 2017). Preparation of indium oxide from waste indium tin oxide targets by oxalic acid. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 6. Abgerufen am 10. 07. 2025 von <https://link.springer.com/article/10.1007/s11814-017-0231-x>

VDI Verein Deutscher Ingenieure e.V. (2025). *VDI 2225 Blatt 1*. Abgerufen am 22. 03. 2025 von VDI: <https://www.vdi.de/richtlinien/details/vdi-2225-blatt-1-konstruktionsmethodik-technisch-wirtschaftliches-konstruieren-vereinfachte-kostenermittlung>

Verein deutscher Ingenieure. (2025). *VDI-Richtlinien*. Abgerufen am 10. 07. 2025 von <https://www.vdi.de/mitgliedschaft/vdi-richtlinien/programme-zu-vdi-richtlinien/vdi-2221>