
Sachbericht zum Verwendungsnachweis Teil I: Kurzbericht

Roboteranlage zur Siloreinigung und -desinfektion (SiloCleano-A)

Verbundprojekt im Rahmen der



Verbundpartner:

Silo Service Bernd Pragst e.K. (Projektkoordinator)

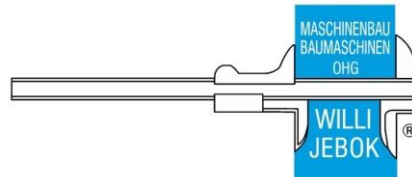
Birkenweg 25
17098 Friedland OT Schwanbeck



Förderkennzeichen: 281DP25A22

Willi Jebok Maschinenbau Baumaschinen OHG

Lutherstraße 76-78
09126 Chemnitz



Förderkennzeichen: 281DP25B22

Laufzeit: 01.07.2023 – 31.03.2025

Gefördert durch



Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft

Projekträger



Bundesanstalt für
Landwirtschaft und Ernährung

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Diese Ereignisse führten dazu, dass die beiden lt. Antrag anvisierten **Meilensteine**:

1. Fertigstellung des Prototyps (August 2024) und
2. Vorstellung des SiloCleano-A auf der EuroTier 2024 (November 2024) bzw. der AGRITECH-NICA 2025 (November 2025)

nicht erreicht werden konnten. Dennoch wurden etwa 50% des Roboters gebaut und ein Großteil der FuE-Aufgaben abgeschlossen. Somit wurde eine solide Grundlage für die Fertigstellung des SiloCleano-A und Folgeentwicklungen geschaffen.

3 Wesentliche Ergebnisse und Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Im Rahmen des Vorhabens wurden zunächst die gesetzlichen Rahmenbedingungen, die betriebs- und sicherheitsrelevanten Anforderungen an den SiloCleano-A sowie die vorliegenden Praxiserfahrungen analysiert und ein Lastenheft erstellt. Der Siloreinigungsprozess beinhaltet fünf Teilschritte: 1.) Einweichen des Silos mit Wasser, 2.) Entfetten, 3.) Reinigen/Nachspülen mit Wasser, 4.) Trocknen mit Heizlüfter und 5.) Desinfektion mit Lanze. Darauf aufbauend wurden Konzepte für die mechanische Konstruktion und die Steuerung entwickelt und umgesetzt. Das gesamte System SiloCleano-A besteht aus dem Roboter, der Steuerung und der zugehörigen Peripherie: Heizlüfter, Warmwasserheizer, Diesel- und Wasertanks, Wasser- und Luftschläuche, Werkzeuge, Kabeltrommel und Fernbedienung. Für den Roboter selbst wurden die Konstruktionsbaugruppen: Standfuß, Führungsgestänge, Gleitschlitten, Arm Nr. 1 (zweiachsig beweglich, mit Kameraoption), Arm Nr. 2 (einachsig beweglich) sowie die Antriebssysteme entwickelt. Für die Baugruppe Führungsgestänge wurde durch Bernd Pragst ein Patent angemeldet und unter DE 10 2023 126 149 B3 erteilt. Der transportfähige Baukasten aller Teilkomponenten ist eine zweiteilige Unit bestehend aus einem Europalettenaufbau zum Verladen in einen Transporter (Unit-A) und einem 750 kg-Anhänger mit festem Aufbau (Unit-B). In Abbildung 1 sind einige Impressionen der Entwicklungsarbeiten zu sehen.

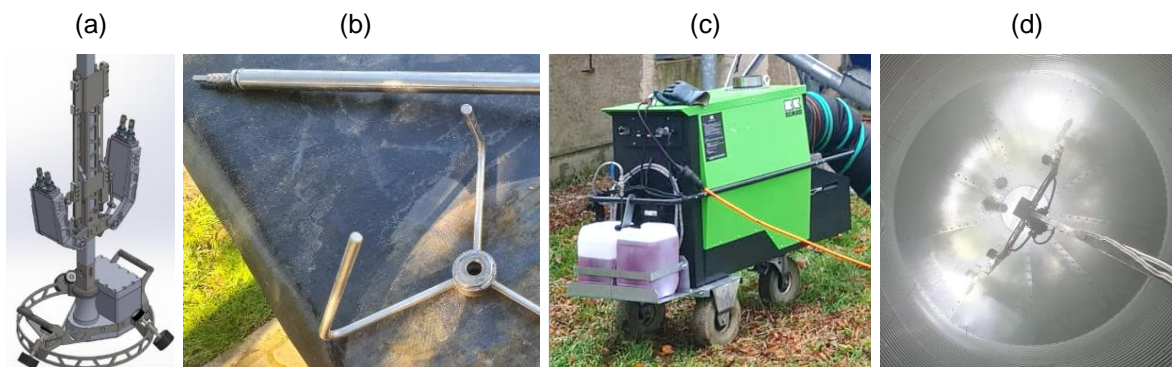


Abbildung 1: (a) CAD-Modell des zweiarmigen Roboters mit Standfuß, Führungsgestänge und Absturzsicherung, (b) Endstücke des Führungsgestänges, (c) mobiler Heizlüfter für den Trocknungsschritt und (d) SiloCleano-A im Einsatz mit Kamera und Beleuchtung

Die Projektpartner Silo Service Bernd Pragst e.K. und Willi Jebok Maschinenbau Baumaschinen OHG haben intensiv zusammengearbeitet. Vorab wurde ein Kooperationsvertrag abgeschlossen. Außerdem wurde mit verschiedenen Fremdleistern (KMU) zusammengearbeitet.

Sachbericht zum Verwendungsnachweis Teil II: Eingehende Darstellung

Roboteranlage zur Siloreinigung und -desinfektion (SiloCleano-A)

Verbundprojekt im Rahmen der



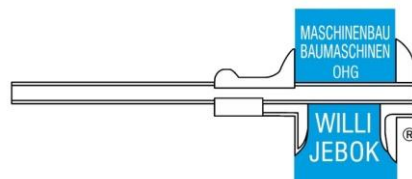
Verbundpartner:

Silo Service Bernd Pragst e.K. (Projektkoordinator)
Birkenweg 25
17098 Friedland OT Schwanbeck



Förderkennzeichen: 281DP25A22

Willi Jebok Maschinenbau Baumaschinen OHG
Lutherstraße 76-78
09126 Chemnitz



Förderkennzeichen: 281DP25B22

Laufzeit: 01.07.2023 – 31.03.2025

Gefördert durch



Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft

Projekträger



Bundesanstalt für
Landwirtschaft und Ernährung

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Inhalt

A	Durchgeführte Arbeiten	3
1	Sichtung Stand der Technik	3
1.1	Nutzeranforderungen	3
1.2	Sicherheitsanforderungen	4
1.3	Länderspezifische Anforderungen	4
1.4	Fertigungsspezifische Anforderungen (Roboter, Steuerung, Unit)	5
1.5	Lastenheft/Pflichtenheft	6
2	Fertigungsgerechte Entwicklung für Serienherstellung.....	7
2.1	Entwicklung der finalen Hauptbaugruppen.....	7
2.2	Fertigungsgerechte Baugruppenplanung	8
2.3	Fertigungsgerechte Konstruktion der mechanischen Baugruppen	8
2.4	Fertigungsgerechte Spanntechnik.....	9
3	Finale Entwicklung einer Anwendersteuerung	10
3.1	Erarbeitung eines Steuerungskonzeptes	10
3.2	Programmierung der finalen Steuerung	11
3.3	Fertigungsgerechte Steuerungsplanung	11
4	Herstellung des finalen Prototyps.....	11
4.1	Fertigungsplanung und Vorbereitung	11
4.2	Fertigung der mechanischen Baugruppen	11
4.3	Fertigung der Steuerungsbaugruppen	12
4.4	Montageplanung für finalen Prototyp	12
4.5	Montage des Prototyps	12
4.6	Auswertung und evtl. Optimierung des gesamten Herstellungsprozesses	12
5	Erprobung des finalen Prototyps.....	13
5.1	Erprobung der Montagetechnik der Unit für verschiedene Fahrzeugtypen.....	13
5.2	Erprobung Aufbau und Handling	13
5.3	Erprobung der Reinigung im Silo	14
5.4	Rückkopplung der Ergebnisse und finale Auswertung	14
6	Lizenzierung des finalen Prototyps	15
6.1	CE-Zertifizierung.....	15
6.2	Schutzrechtanmeldung	15
6.3	Technische Dokumentation, Bedienungsanleitung, Maschinenheft.....	15
7	Projektmanagement (Koordination, Controlling, Dokumentation)	17
8	Zusammenfassung	17
B	Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	18
C	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten.....	19
D	Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse	19
E	Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen	19
F	Erfolge oder geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse.....	19

A Durchgeführte Arbeiten

1 Sichtung Stand der Technik

Zunächst wurden die Teilschritte des Siloreinigungsprozesses und das vorhandene Versuchsmuster betrachtet, vgl. Abbildung 1. Darauf basierend wurde die Anforderungsanalyse durchgeführt.

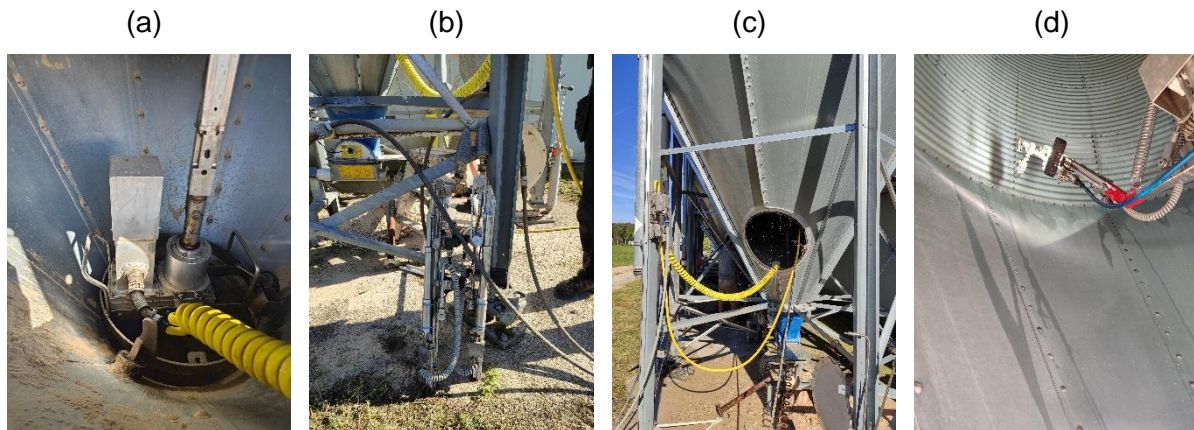


Abbildung 1: Feldversuch mit vorhandenem Versuchsmuster: (a) Einbau Fuß mit Führungsgestänge, (b) 2-Arm-Roboter vor dem Einbau am Silo, (c) Kabelzuführung durch Luke (Roboter eingebaut) und (d) Roboterarm bei der Reinigung

1.1 Nutzeranforderungen

Eine Siloreinigung mit dem SiloCleano-A beinhaltet folgende **Teilschritte**:

1. Einweichen des Silos mit Wasser
2. Entfetten mit Entfetter-Wasser-Gemisch
3. Reinigen/Nachspülen mit Wasser
4. Trocknen mit Gebläse
5. Desinfizieren mit Lanze

Basierend auf den Erfahrungen bei Kunden des Silo Service ergeben sich für den anvisierten SiloCleano-A folgende **Nutzeranforderungen**:

- Einfach, funktional, kostengünstig
- Eignung für Silos bis zu 3 m Durchmesser und 9 m Höhe
- Abmessungen: möglichst 2x Europalettenmaß (1200 x 800 mm)
- Gewichte:
- Roboter ca. 30 kg je Einzelkomponente, besser 25 kg (vgl. BG-Vorschriften)
- Gesamtsystem max. 1 t insgesamt (max. Last bei Zuladung auf Transporter; inkl. Pumpe, Trockner, usw.)
- Verladbarkeit auf Ladefläche eines Transporters oder auf zweiachsigen Pkw-Anhänger → Unit mit Zugang von Seite und/oder hinten (Transporter hat Hinter- und Seitentür)
- Notwendige Betriebsmittel: ausschließlich Wasser und Strom,
- Vorfilteranlage für Wasser
- Desinfektionsmöglichkeit für komplettes Systems (für Einsatz in Epidemiegebieten)
- Entfetterkonzentrat in Kanister und div. Kleinteile, Werkzeuge
- 1-Mann-Bedienung: einfacher Einbau in das Silo und einfache Bedienung mit nutzerfreundlicher Steuerung,
- 2-Arm-Prinzip unter Nutzung von zwei speziellen Hochdruckdüsen, die gleichmäßige Sprühabstände, Desinfektion und optimale Reinigungswirkung erzielen sowie unterschiedlichen Brauchwasser- und Filterqualitäten verschleißfrei standhalten,

Gefördert durch



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

- Robuste, wartungsarme und reparaturfreundliche Motoren zur Umsetzung der Dreh- und Linearbewegungen des Roboters
- Option zum Anbau eines Kamerasystems
- Einfache Steuerung
- Verstaumöglichkeit für Stangen (2 m Länge)
- Ein Luftschlauch, um einfaches Handling zu gewährleisten → Einzelschläuche müssen beim Sattler vernäht werden

1.2 Sicherheitsanforderungen

Beim Bau des SiloCleano-A müssen verschiedene **Sicherheitsanforderungen** berücksichtigt werden, um die Gesundheit und Sicherheit der Bediener und anderer Personen in der Umgebung zu gewährleisten. Dies waren beispielsweise Zugangskontrolle und Verriegelung, Sicherheit der Bediener, Sturzschutz, Stromversorgungssicherheit, Not-Aus-Funktion, Schutz vor Materialfluss, Schulung der Bediener, Wartung und Inspektion. Für die späteren Inverkehrbringung des SiloCleano-A war eine **CE-Zertifizierung** geplant, um anzuzeigen, dass das Produkt den europäischen Richtlinien und Sicherheitsstandards entspricht. Zur CE-Zertifizierung sind folgende allgemeine Schritte und Anforderungen notwendig:

1. Bestimmung relevanter Richtlinien,
2. Sicherstellung der Produktkonformität,
3. Erstellung der technischen Unterlagen,
4. Wahl des Konformitätsbewertungsverfahrens,
5. Erstellung der Konformitätserklärung,
6. Anbringung der CE-Kennzeichnung und
7. Archivierung der Unterlagen.

Für die CE-Zertifizierung eines Siloreinigungsroboters sind die folgenden **EU-Richtlinien** relevant:

- Maschinenrichtlinie (2006/42/EG) – führend,
- Niederspannungsrichtlinie (2014/35/EU),
- EMV-Richtlinie (2014/30/EU),
- RoHS-Richtlinie (2011/65/EU),
- Druckgeräterichtlinie (2014/68/EU) und
- Ggf. ATEX-Richtlinie (2014/34/EU) – Der Einsatz des Geräts in explosionsgefährdeten Umgebungen sollte jedoch durch die Definition der bestimmungsgemäßen Verwendung ausgeschlossen werden.

Die **Maschinenrichtlinie (2006/42/EG)** als führende der harmonisierten Richtlinien enthält Vorschriften zur Gestaltung von Maschinen, zur Risikobewertung, zur CE-Kennzeichnung und zur Konformitätsbewertung. Mit Bezug zum SiloCleano-A sind die wichtigsten Inhalte:

1. Gefahrenidentifikation und Risikobeurteilung,
2. Konstruktive Gestaltung,
3. Schutzmaßnahmen,
4. Benutzerinformation und -schulung,
5. Prüfung und Zertifizierung,
6. Wartung und Instandhaltung sowie
7. Umweltaspekte.

1.3 Länderspezifische Anforderungen

Um sicherzustellen, dass die länderspezifischen Anforderungen für den Bau und den Betrieb des Siloreinigungsroboters zur Gewährleistung der Sicherheit von Arbeitnehmern und der Umwelt korrekt eingehalten werden, ist eine Abstimmung mit den relevanten nationalen oder regionalen Behörden und Experten für Arbeitssicherheit, Maschinenbau und Robotik notwendig.

Gefördert durch



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Für das potenzielle Haupteinsatzgebiet des SiloCleano-A in Deutschland sind die folgenden Bereiche relevant:

1. **Arbeitssicherheit** → Ansprechpartner: **BAuA, BG,**
2. **Elektrische Sicherheit** → Ansprechpartner: **BMWi, Referat "Elektrosicherheit", VDE,**
3. **Umweltschutz** → Ansprechpartner: **BMU; Landesumweltministerien und Umweltbehörden,**
4. **Maschinenrichtlinie** → Ansprechpartner: **BMWi, Marktüberwachungsbehörden der Länder,**
5. **Gesundheits- und Sicherheitsstandards** → Ansprechpartner: **BMG,**
6. **Normen und Zertifizierungen** → Ansprechpartner: **TÜV,**
7. **Versicherungs- und Haftungsanforderungen** → Ansprechpartner: **BaFin, Versicherer** sowie
8. **Import- und Exportvorschriften** → Ansprechpartner: **BAFA.**

1.4 Fertigungsspezifische Anforderungen (Roboter, Steuerung, Unit)

Sowohl in der Konstruktionsphase als auch in der Fertigung und Endmontage des SiloCleano-A sind folgende fertigungsspezifische Anforderungen zu beachten:

1. **Modularität und Montagefreundlichkeit:**
 - a. Komponenten (Roboter, Pumpen, Behälter etc.) sollten modular aufgebaut und leicht montier-/demonierbar sein.
 - b. Verwendung von standardisierten Verbindungselementen (z. B. Schrauben, Stecksysteme).
 - c. Einhaltung von Platz- und Zugänglichkeitsanforderungen auf der Europalette (1200 × 800 mm) bzw. am Anhänger.
2. **Vibrations- und Schwingungsdämpfung:**
 - a. Entkopplung schwingungsaktiver Komponenten (Pumpen, Roboter) durch Dämpfer oder elastische Lagerungen.
 - b. Stabiler Unterbau zur Minimierung von Schwingungen während des Betriebs.
3. **Medienführung und Dichtheit:**
 - a. Sichere Verlegung und Befestigung von Schläuchen/Kabeln (Biegeradien, Zugentlastung, Schutz vor Abrieb).
 - b. Auswahl geeigneter Dichtungen und Verbindungen für Medienkreisläufe (Wasser, Reinigungsmittel).
4. **Gewichts- und Schwerpunktoptimierung:**
 - a. Ausgewogene Anordnung schwerer Komponenten zur Vermeidung von Kippgefahr.
 - b. Niedriger Schwerpunkt für mobile Stabilität.
5. **Mobilität und Transport:**
 - a. Integration von Transporthilfen (Rollen, Hebepunkte, Stapleraufnahme).
 - b. Einhaltung von max. Gewicht und Abmessungen für manuelles oder maschinelles Handling.
6. **Sicherheitsanforderungen:**
 - a. Schutz gegen unbeabsichtigte Berührung (z. B. Abdeckungen, Berührungsschutz bei Elektrik).
 - b. Not-Aus-Einrichtung, sichere Abschaltung der Pumpen und des Roboters.
7. **Elektromontage:**
 - a. Schaltschrankaufbau gemäß geltender Normen (z. B. EN 60204-1).
 - b. Saubere Kabelführung und Kennzeichnung, ausreichender IP-Schutz je nach Einsatzumgebung.
 - c. Schnittstellenkompatibilität.
8. **Reinigungs- und Wartungsfreundlichkeit:**
 - a. Glatte, chemikalienbeständige Oberflächen.
 - b. Leichter Zugang zu Wartungspunkten (Filter, Ventile, Anschlüsse).
9. **Dauerhaftigkeit:**
 - a. Vermeidung von Kontaktkorrosion und thermischen Defekten.
 - b. Dauerhafte Betriebsfähigkeit der Motoren unter den extremen Einsatzbedingungen.
 - c. dauerhafte Präzision und ausreichende Toleranzgrenzen.

1.5 Lastenheft/Pflichtenheft

Aus den festgelegten Anforderungen (Lastenheft) wurden die Spezifikationen für das Pflichtenheft als Basis für die Konstruktion des SiloCleano-A definiert. Die Zielsetzung war die Umsetzung der allgemeinen, der technischen und der Designanforderungen unter Einhaltung des im Projektantrag festgelegten Zeitplans und Budgetrahmens. Das Pflichtenheft wurde regelmäßig aktualisiert und überarbeitet, um sicherzustellen, dass die Anforderungen erfüllt werden. Parallel dazu wurden die erforderlichen Maßnahmen für die CE-Konformitätserklärung umgesetzt und eine interne Fertigungskontrolle gemäß Maschinenrichtlinie durchgeführt.

Die nachfolgenden Tabellen zeigen Übersichten zur Zeit- und Budgetplanung sowie über die Teilkomponenten und die anvisierte praktische Umsetzung.

Tabelle 1: Zeitplan lt. Projektantrag

AP	Beschreibung	2023						2024						2025										
		7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5
1	Sichtung Stand der Technik																							
2	Fertigungsgerechte Entwicklung für Serienherstellung																							
3	Finale Entwicklung einer Anwendersteuerung																							
4	Herstellung des finalen Prototyps																							
5	Erprobung des finalen Prototyps																							
6	Lizenzierung des finalen Prototyps																							
7	Projektmanagement																							

Tabelle 2: Kostenplan

Bezeichnung	Geplante Kosten Silo Service	Geplante Kosten Jebok
Material	12.500,00 €	12.250,00 €
FE-Fremdleistungen	68.360,00 €	55.466,66 €
Personalkosten	120.650,00 €	188.510,40 €
Reisekosten	19.550,00 €	9.535,00 €
Vorhabenspezifische Abschreibungen	4.166,76 €	4.250,00 €
AfA sonstige	0,00 €	0,00 €
Sonstige unmittelbare Vorhabenkosten	37.585,20 €	9.500,00 €
Selbstkosten des Vorhabens	262.811,96 €	279.512,06 €

Tabelle 3: Auszug aus dem Pflichtenheft für die Roboter-Komponenten

Anforderungen	Umsetzung
Standfuß	- Konstruktionsbaugruppe
Führungsstange / Stangensystem	- Konstruktionsbaugruppe (mehrere Steckstangen mit identischer Länge und eine Federstange als Endteil)
Roboter mit Gehäuse	- Konstruktionsbaugruppe
Arm 1 beweglich in 2 Achsen mit Kameraoption	- Konstruktionsbaugruppe
Arm 2 beweglich in 1 Achse	- Konstruktionsbaugruppe
Motor für Linearantrieb	- con35 Fa. Concens
2 Motoren für Armbewegung	- con35 Fa. Concens
Getriebemotor	- Fa. Engel
Seilwinde	- Standardprodukt

Für die Unit und die Steuerung wurden separate Pflichtenhefte erstellt.

2 Fertigungsgerechte Entwicklung für Serienherstellung

2.1 Entwicklung der finalen Hauptbaugruppen

Im CAD wurden folgende **Konstruktionsbaugruppen für den SiloCleano-A** geplant:

1. Standfuß,
2. Führungsgestänge / Stangensystem
3. der Roboter mit Gehäuse (Gleitschlitten),
4. Arm 1 beweglich in 2 Achsen mit Kameraoption,
5. Arm 2 beweglich in 1 Achse und
6. die Antriebssysteme.

Die einzelnen Baugruppen enthalten jeweils bis zu 50 Einzelteile, für die Detailkonstruktionen und technische Zeichnungen erstellt wurden. Diese Detailkonstruktionen wurden im Verlauf des Projekts parallel zu bzw. nach erfolgten Fertigungs-, Montage- und Feldversuchen optimiert und angepasst. Dabei wurden unter anderem Abgleiche der Toleranzbilder unter Beachtung der Geometriefehler für die Gewährleistung der modularen Passgenauigkeit durchgeführt. Insbesondere für den Roboter mit Gehäuse und den Standfuß wurden eine ergonomiegerechte, lastaufnahmevergünstigte Geometrien als Edelstahl-Leichtbaukonstruktionen entworfen, vgl. Abbildung 2.



Abbildung 2: Konstruktionsdetails des Fußes (a) vor und (b) nach der geometrischen Optimierung

Der **transportfähige Baukasten aller Teilkomponenten ist eine zweiteilige Unit** und besteht entsprechend der Entwicklungsarbeiten und Sicherheitsbetrachtungen aus den beiden Teilen:

- a) **Unit-A:** ein Europalettenaufbau zum Verladen in einen Transporter mit dem Roboter einschließlich Peripherie (Wasserpumpe, Warmwasserheizer, Dieseltank für Warmwasser), dem Zumischtank für die Reinigungslösung und der Steuerung (=Systemgrenze für CE) sowie
- b) **Unit-B:** ein 750 kg-Trockenanhänger mit festem Aufbau (Abdeckung), Heizlüfter 420 W, Dieseltank für Heizer, Trocknungsschlauch, Wasserschlauchzuleitung, 40 m Kabeltrommel und einzeltem Schaltschrank mit Zeitschaltuhr (keine CE, da Kfz, Abnahme durch Zulassungsstelle, Niederspannungs-RL zu beachten).

Damit können wichtige Sicherheitsaspekte berücksichtigt werden und es entfällt (AP5.1) „Erprobung der Montagetechnik der Unit für verschiedene Fahrzeugtypen“, denn Unit-A kann in alle handelsüblichen Transporter geladen werden und für Unit-B wird nur eine Anhängerkuppelung benötigt.

Zur Entwicklung von Unit-B gab es einen Anforderungsabgleich mit dem Anhängerbauer STEMA, der leider keine Lösung in der geforderten Größenkategorie anbieten konnte. Daraufhin wurde geplant, einen größeren Anhänger zu nutzen und in zulassungsseitig abzulasten.

2.2 Fertigungsgerechte Baugruppenplanung

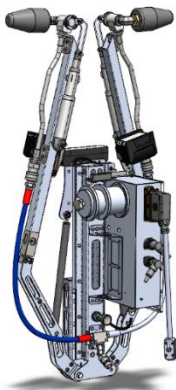
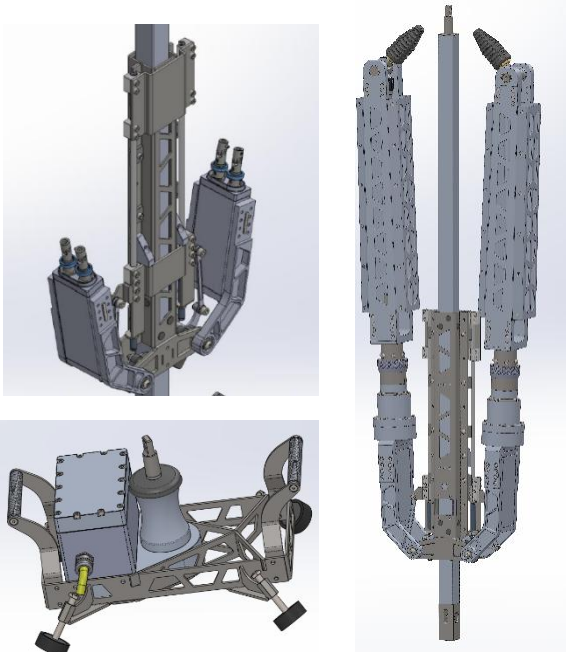
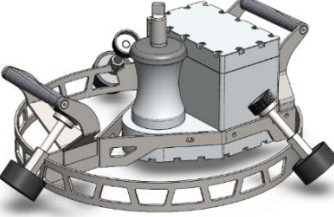
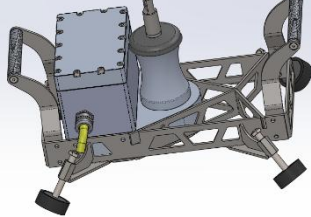
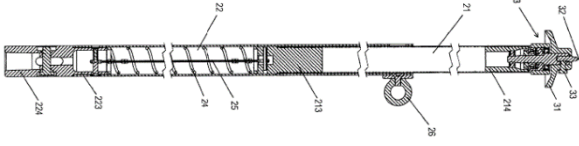

Für die sicherheits- und fertigungsgerechte Serienreife des SiloCleano-A wurden folgende wesentliche konstruktive Maßnahmen umgesetzt und in die Baugruppenplanung einbezogen:

- Die Windenposition wurde von ehemals „oben und höhenbeweglich“ zu „unten und höhenfixiert“ geändert.
- Maßnahmen zum Leichtbau des gesamten Systems wurden umgesetzt:
 - Gestänge aus Aluminium anstatt Edelstahl,
 - kürzere Kegelbuchsen und Gegenstücke,
 - Anpassung zu einer leichteren Profilform bei den Rohren (Kastenprofil) und
 - bionisch unterbrochenes Gehäuse des Drehantriebs.
- Eine selbsthemmende Absturzsicherung mit Federbeaufschlagung wurde konstruiert.
- Die Antriebe der Arme wurden zwecks verbesserter Lastverteilung nach oben verlegt.

2.3 Fertigungsgerechte Konstruktion der mechanischen Baugruppen

Die wesentlichen entwickelten Konstruktionsbaugruppen sind in der nachfolgenden Tabelle im Vergleich zum Versuchsmuster dargestellt.

Tabelle 4: Konstruktionen der mechanischen Baugruppen: (a) Roboter mit Gehäuse und 2 Armen (Gleitschlitten)), (b) Standfuß und (c) Führungsgestänge / Stangensystem

Versuchsmuster (Projektbeginn)	Serienreife Konstruktion (Projektende)
<p>(a)</p> 	
<p>(b)</p> 	 <p><i>gewichtsreduziert, ergonomisch, Winde entkoppelt, Arme mit zusätzlicher Drehachse, Absturzsicherung</i></p>
<p>(c)</p>  <p>[DE 10 2023 126 149 B3]</p>	 <p><i>Dämpfer anstelle Feder, Kunststoffverbinder</i></p>

Gefördert durch



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Die Konstruktion wurde insgesamt in Leichtbauweise umgesetzt. So konnte das Gewicht des Roboters auf etwa 28 kg reduziert werden. Die Winde wurde aus Sicherheitsgründen entkoppelt und ihre Position nach unten verlegt. Zudem wurde eine Absturzsicherung konstruiert, wie in Abbildung 3 (a) dargestellt. Für die Roboterarme war eine zusätzliche Drehachse vorzusehen, um auch die Stellen um eine seitliche Befüllöffnung am Silo erreichen zu können. Dafür wurde ein spezieller Drehantrieb im Arm konzipiert, vgl. Abbildung 3 (b).

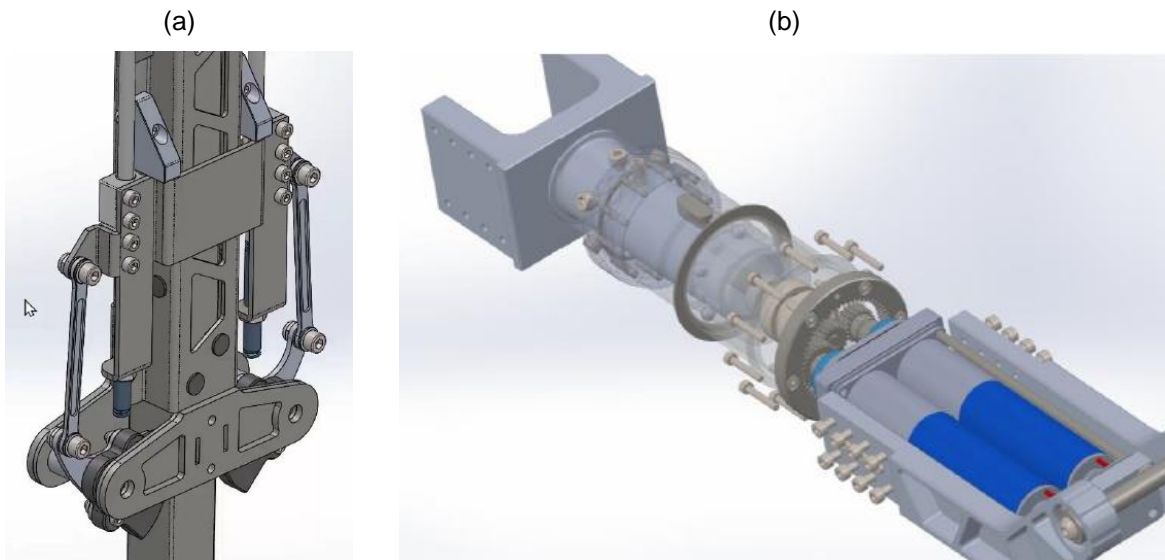


Abbildung 3: (a) Absturzsicherung und (b) Roboterarm mit Drehantrieb

2.4 Fertigungsgerechte Spanntechnik

Für die Fertigung spezieller Komponenten mussten zusätzliche Spannwerkzeuge konstruiert werden. In Abbildung 4 sind einige Beispiele zu sehen.

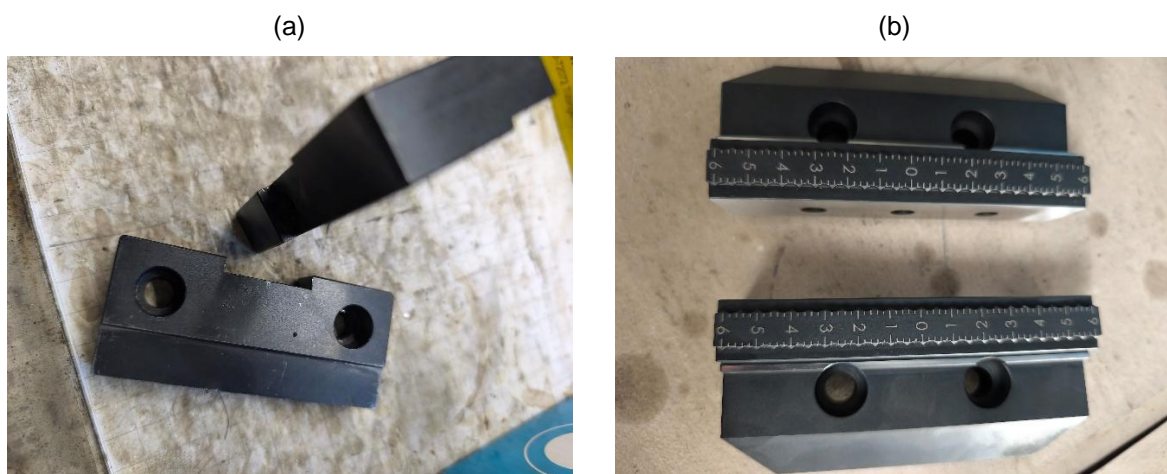


Abbildung 4: Fertigungsgerechte Spanntechnik

3 Finale Entwicklung einer Anwendersteuerung

3.1 Erarbeitung eines Steuerungskonzeptes

Es wurden folgende grundlegende Betriebsbedingungen zugrunde gelegt:

- Spannung $U = 400V, 50\text{ Hz}$,
- Temperatur innen: $10\text{ bis }40^{\circ}\text{C}$,
- Temperatur außen: $-10\text{ bis }40^{\circ}\text{C}$,
- min. Schutzgrad innen: IP23,
- min. Schutzgrad außen: IP54 und
- min. Schutzgrad Silo: IP67.

Die funktionellen Zusammenhänge der Teilanlagen und der Steuerung sind in Abbildung 5 dargestellt.



Abbildung 5: (a) Funktionelles Zusammenwirken der Teilanlagen und (b) Zusammenwirken der Steuerung

Abbildung 6 zeigt das erarbeitete Steuerungskonzept und das entworfene Layout für die Fernbedienung. Parallel zur Steuerungsentwicklung wurde eine Risikobeurteilung durchgeführt, vgl. Abschnitt 6.3.

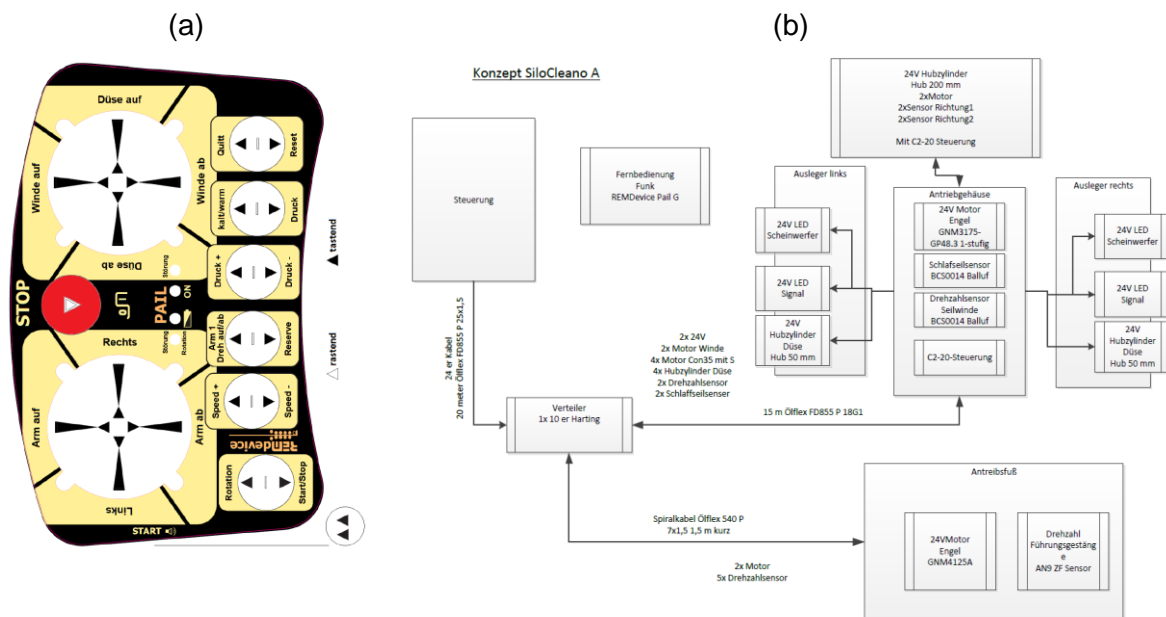


Abbildung 6: (a) Layout der Fernbedienung und (b) Steuerungskonzept für den SiloCleano-A

Gefördert durch



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

3.2 Programmierung der finalen Steuerung

Das AP wurde aufgrund der vorzeitigen Projektbeendigung nicht bearbeitet.

3.3 Fertigungsgerechte Steuerungsplanung

Das AP wurde aufgrund der vorzeitigen Projektbeendigung nicht bearbeitet.

4 Herstellung des finalen Prototyps

Zur Herstellung des Prototyps wurden zunächst Zukaufteile, wie etwa die Getriebemotoren, der Hauptantriebsmotor und das Hauptgetriebe, der Heizlüfter, verschiedene Düsen, Ventile und diverse Verbindungselemente beschafft und in ersten Versuchen einzeln bzw. in Verbindung mit dem bereits vorhandenen Versuchsmuster beim Silo Service getestet.

Die gleiche Vorgehensweise sollte mit den Konstruktionsbaugruppen sukzessive umgesetzt werden, bis der SiloCleano-A schließlich komplett entwickelt ist und den ermittelten Anforderungen genügt. Dann sollte der finale Prototyp in seiner Endkonfiguration zusammengebaut werden. Aufgrund der vorzeitigen Projektbeendigung konnte der finale Prototyp nicht fertiggestellt werden. Es konnten jedoch einige Teilbaugruppen erfolgreich gebaut und getestet werden.

4.1 Fertigungsplanung und Vorbereitung

Die Einzelteile der Konstruktionsbaugruppen wurden beim Projektpartner Jebok gefertigt und anschließend zu Baugruppen montiert. So wurden nach einer anforderungsgerechten Werkstoffauswahl unter Beachtung von Korrosionsbeständigkeit, Leichtbau und Ergonomie der Fuß mit Drehantrieb, das Führungsgestänge und Teile des Gehäuses gebaut. Dabei wurden unter anderem Edelstahlbleche, Kunststoffteile und Carbonkomponenten eingesetzt. Bei den Baugruppen Drehantrieb und Führungsgestänge, mussten die Konstruktionen mehrfach geändert werden (Iterationsschleifen AP2), um volle Funktionsfähigkeit zu gewährleisten, was sich meist erst in den Feldversuchen zeigte. Da die einzelnen Baugruppen jeweils bis zu 50 Einzelteile enthalten, für welche Detailkonstruktionen und technische Zeichnungen erstellt werden mussten, wurde entsprechend viel Zeit für diese Optimierungsaufgaben benötigt. Im Herbst 2024 musste die gesamte Konstruktion noch einmal geändert werden, da der Fuß mit Drehantrieb in Design und Größe komplett überarbeitet werden musste. Eine Vielzahl von Teilen musste neu gefertigt werden. Dies zog weiteren Aufwand bzgl. Materialbeschaffung, Maschinenbelegungs- und Personalplanung und Planung von Zukaufdienstleistungen (Härten, Oberflächenbeschichtungen etc.) beim Projektpartner Jebok nach sich. Zudem wurden für die Fertigung spezieller Komponenten zusätzliche Spannwerkzeuge (Spannbacken, Krallbacken, Formniederhalter, Formspannbacken) konstruiert und gefertigt (vgl. AP2.4). Dazu wurden auch alternative Spannmittelstrategien zur Fertigung eingeschätzt und abgeleitet.

Die Fertigung des Gleitschlittens und der beiden Arme wurde aufgrund der vorzeitigen Projektbeendigung nicht umgesetzt.

4.2 Fertigung der mechanischen Baugruppen

Zur Fertigung der mechanische Baugruppen kamen die Verfahren Drehen, Fräsen, Bohren, Härten, Oberflächenbeschichtung, Biegen, Schweißen, Laserschneiden, 3D-Filament- und 3D-Resindruck zum Einsatz. Abbildung 7 zeigt beispielhaft die Einzelteile des Roboterfußes und die gesamte montierte Baugruppe.

Gefördert durch



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Abbildung 7: Roboterfuß in Einzelteilen und als Baugruppe

Weiterhin wurden mehrere Versionen des Führungsgestänges gefertigt. Dabei wurden die Geometrien der Kopf- und Endstücke sowie Form, Material und Fertigungsverfahren der Adapterteile variiert, vgl. Abbildung 8, s.a. Abschnitt 5.2.

(a)



(b)



Abbildung 8: (a) Endstück Führungsgestänge mit Fixierspitze und (b) Endstück Führungsgestänge mit Transportsicherung

4.3 Fertigung der Steuerungsbaugruppen

Das AP wurde aufgrund der vorzeitigen Projektbeendigung nicht bearbeitet.

4.4 Montageplanung für finalen Prototyp

Die Montageplanung für den finalen Prototyp sieht folgendermaßen aus:

1. Montage der modularen Führungsstange,
2. Montage des Fußes mit Drehantrieb,
3. Montage der Robotereinheit,
4. Montage der Unit-A und
5. Montage der Unit-B.

Das AP wurde aufgrund der vorzeitigen Projektbeendigung nicht im Detail bearbeitet.

4.5 Montage des Prototyps

Es wurden die Schritte 1 und 2 des Montageplans für den Prototyp umgesetzt, d.h. Führungsgestänge und Fuß mit Drehantrieb wurden fertig montiert.

Das AP wurde aufgrund der vorzeitigen Projektbeendigung nicht abschließend bearbeitet.

4.6 Auswertung und evtl. Optimierung des gesamten Herstellungsprozesses

Das AP wurde aufgrund der vorzeitigen Projektbeendigung nicht abschließend bearbeitet.

5 Erprobung des finalen Prototyps

5.1 Erprobung der Montagetechnik der Unit für verschiedene Fahrzeugtypen

Das AP entfällt aufgrund der gefundenen zweiteiligen Lösung mit Unit A und Unit B, vgl. Abschnitt 2.1.

5.2 Erprobung Aufbau und Handling

Das AP wurde aufgrund der vorzeitigen Projektbeendigung nicht vollständig bearbeitet. Allerdings wurden die wichtigsten Einzelteile und Einzelbaugruppen erprobt. Nachfolgend wird ein Überblick über die durchgeführten Tests und Feldversuche gegeben. Für das **Führungsgestänge** wurden verschiedene Geometrien, Kopf- und Endstücke, Feder- und Dämpfungsmechanismen sowie Materialien und Fertigungsverfahren für die Adapterstücke (3D-Filament- und 3D-Resin-Druck) getestet, vgl. Abbildungen 9 bis 10. Somit mussten mehrere Iterationen der konstruktiven Anpassung durchlaufen werden.

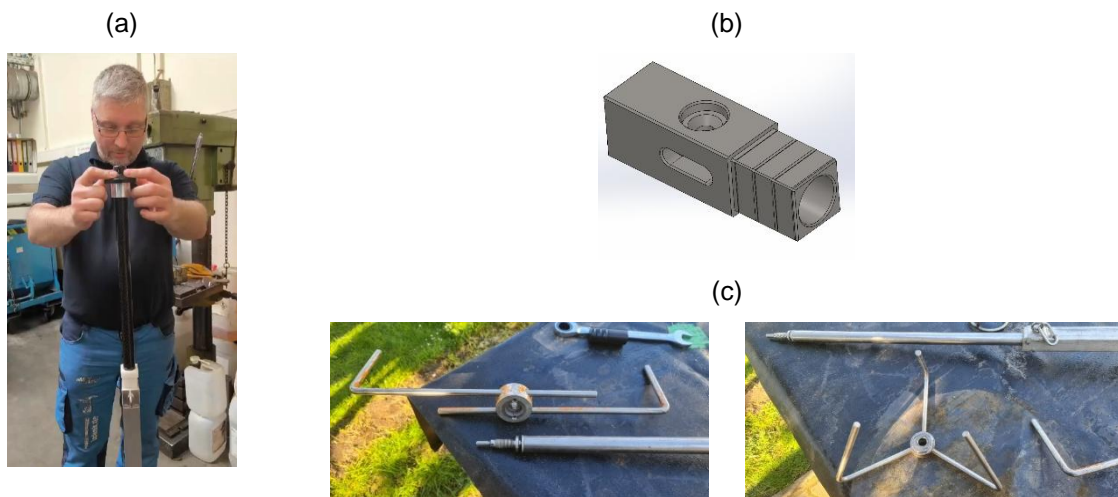


Abbildung 9: (a) Zusammenbau und Test des Dämpfungsmechanismus im Gestänge, (b) CAD-Modell eines Adapterstücks aus Kunststoff für den 3D-Druck und (c) verschiedene Kopf- und Endstücke des Führungsgestänges für verschiedene Silotypen

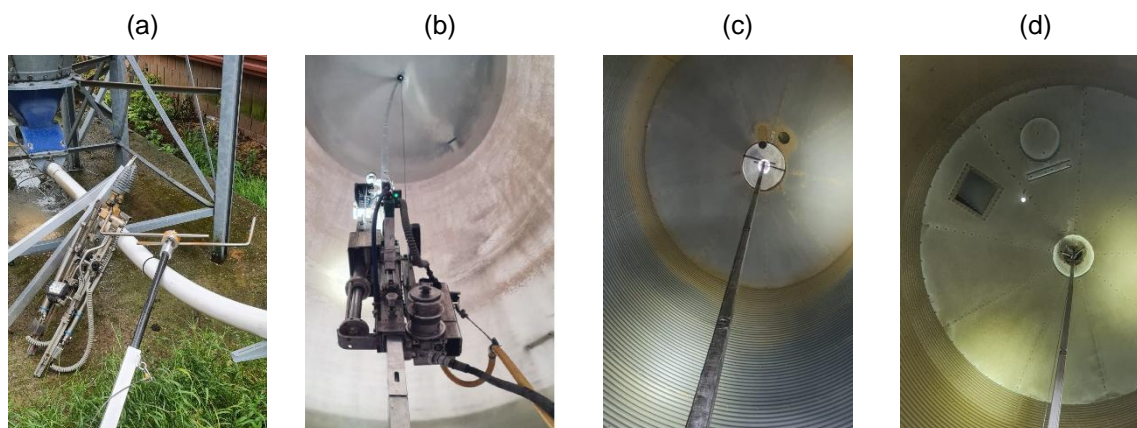


Abbildung 10: (a) Einbau des neuen Führungsgestänges ins Silo in Kombination mit alter Aufbautechnik (Drahtseil zum Sichern und Ausrichten), (b) Durchbiegung des neuen Führungsgestänges im Silo aufgrund des hohen Gewichts des Versuchsmusters und der alten Aufhängetechnik, (c) Zweipunkt- und (d) Dreipunkt-Kopfstück des Führungsgestänges in verschiedenen Silotypen

Weiterhin wurden verschiedene Mechanismen zum **optimierten Handling des Anhängers und der großen Teilkomponenten** getestet, vgl. Abbildung 11.



Abbildung 11: (a) Anschluss für Eigenantrieb an Anhänger mit Absenkautomatik und (b) Mobilisierung des Heizlüfters durch Radunterbau

5.3 Erprobung der Reinigung im Silo

Zunächst wurden Ablauf und Wirkung der Siloreinigung mit dem Versuchsmuster erfasst und auf Optimierungsmöglichkeiten geprüft, vgl. Abbildung 12 (a) und (b). Die neu konstruierten und gefertigten Baugruppen wurden modular in Kombination mit dem Versuchsmuster getestet, vgl. Abbildung 12 (c) und (d).

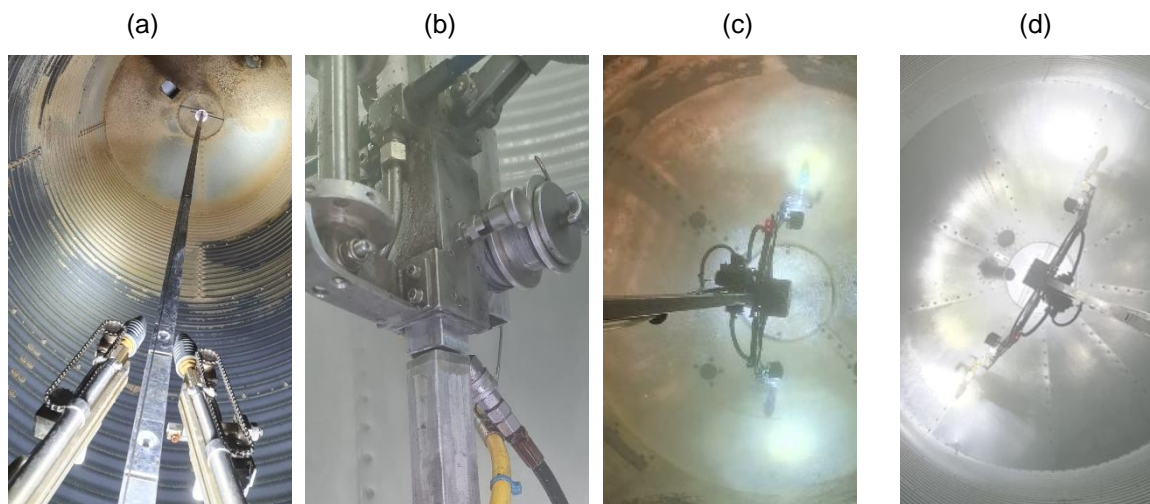


Abbildung 12: Versuchsmuster des SiloCleano im Einsatz: (a) Antrieb der Düsen mit Kette, (b) Roboter mit Winde am Robotergehäuse, (c) Test der Kamera mit Beleuchtung an Roboterarm in einem Futtermittelsilo und (d) Test verschiedener Düsen: Ermittlung der Reichweite und des optimalen Wandabstands bei gegebenem Kompressor-druck

Das AP wurde aufgrund der vorzeitigen Projektbeendigung nicht abschließend bearbeitet.

5.4 Rückkopplung der Ergebnisse und finale Auswertung

Die Ergebnisse der Montage- und Handlingversuche wurden als Basis für die Iterationsschleifen in der Baugruppenkonstruktion genutzt. Das AP wurde aufgrund der vorzeitigen Projektbeendigung nicht abschließend bearbeitet.

6 Lizenzierung des finalen Prototyps

6.1 CE-Zertifizierung

Für die spätere CE-Zertifizierung wurden zunächst die relevanten harmonisierten **Normen** recherchiert und anhand der **Konstruktionsdaten** sowie der Beobachtung des bereits vorhandenen Versuchsmusters beim Silo Service in **Feldversuchen** eine Erfassung der technischen Funktionalitäten und eine Risikobeurteilung durchgeführt.

Neben der Normenfamilie zur Sicherheit von Maschinen EN ISO 12100 sind beispielsweise die Normen für Hebezeuge, Krane und Piktogramme von Interesse. Für die Bewertung der Konformität des SiloCleano-A wurde die **Konformitätsbewertung mit interner Fertigungskontrolle (Modul A)** nach Maschinenrichtlinie (2006/42/EG) angewandt. Weiterhin stand - je nach Auslegung des Geräts - das Verfahren in der Variante A1/2 zur Debatte, d.h. mit formaler Einschaltung einer notifizierten Stelle. Dies wäre nötig gewesen, wenn die Druckgeräterichtlinie greift.

Zur **Risikobeurteilung** wurde das Verfahren entsprechend Maschinenrichtlinie 2006/42/EG, Anhang I, erster allgemeiner Grundsatz, konkretisiert durch EN ISO 12100 Sicherheit von Maschinen, Allgemeine Gestaltungsleitsätze, Risikobeurteilung und Risikominderung; dreistufiger iterativer Prozess zur Risikominderung, angewandt. Die Einschätzung des Eingangs- und Ausgangsrisikos erfolgte entsprechend DIN ISO/TR 14121-2 Sicherheit von Maschinen, Risikobeurteilung, Teil 2: Praktischer Leitfaden und Verfahrensbeispiele. Die Bestimmung des erforderlichen Performance-Levels (PLr) erfolgte entsprechend EN ISO 13849-1 Sicherheit von Maschinen, Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen, Teil 1: Allgemeine Gestaltungsleitsätze. Zur Bestimmung des Sicherheits-Integritäts-Levels (SIL) fand EN 62061 Sicherheit von Maschinen, Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer, elektronischer und programmierbarer elektronischer Steuerungssysteme Anwendung. Die wesentlichen **Ergebnisse der Risikobeurteilung** sind in Abschnitt 6.3 Technische Dokumentation beschrieben.

6.2 Schutzrechanmeldung

Das Prinzip des Führungsgestänges des SiloCleano-A wurde durch den Inhaber des Silo Service Bernd Pragst am 26.09.2023 zum Patent angemeldet, welches am 20.02.2025 unter DE 10 2023 126 149 B3 „Vorrichtung zur Innenreinigung eines Silos“ erteilt wurde.

Durch die Fa. Jebok wurden keine Schutzrechte angemeldet.

6.3 Technische Dokumentation, Bedienungsanleitung, Maschinenheft

In der technischen Nachweisdokumentation nach EN ISO 12100 wurden zunächst die bestimmungsgemäße Verwendung, die Lebensphasen und Aufgaben sowie die Nutzergruppen für den SiloCleano-A definiert.

Bestimmungsgemäße Verwendung

Die Maschine ist ausschließlich für folgende Verwendung bestimmt:

Der SiloCleano-A ist ein Reinigungsroboter mit einer dazugehörigen Unit, welcher teilautomatisch die Reinigung mittels Hochdruckwasserstrahl sowie die Desinfektion und Trocknung von handelsüblichen Silos ermöglicht. Der SiloCleano-A ist nur in vollständig geleerten und staubfreien Futtermittel- und Getreidesilos bis zu einer Innenraumhöhe von maximal 12 Metern und einem maximalen Innenraumdurchmesser von 3 Metern sowie in Verbindung mit der zuvor eingebauten und vom Hersteller

Gefördert durch



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

patentierten Serviceluke inkl. der Verschlussluke in der richtigen Größe und Höhe des Herstellers zu benutzen. Der Reinigungsroboter ist ausschließlich mit dem dafür vorgesehenen Zubehör und den dafür vorgesehenen Betriebsmitteln unter Beachtung der Betriebsanleitung in Betrieb zu nehmen. Zur Bedienung des Gerätes ist fachkundiges und geschultes Personal notwendig. Die Qualifikation des Personals ist mittels Schulungsnachweis zu belegen.

Jede andere Verwendung ist keine bestimmungsgemäße Verwendung.

Weiterhin wurden in der technischen Dokumentation Nutzungs- und Betriebsarten, Einsatzbereiche, räumliche Grenzen, Schnittstellen, zeitliche Grenzen, Umgebungsgrenzen, stoffliche und sonstige Grenzen festgelegt sowie eine Einschätzung der vernünftigerweise vorhersehbaren Fehlanwendung vorgenommen.

Darauf aufbauend konnten die **Gefährdungen** identifiziert und **Risiken** eingeschätzt werden. Tabelle 5 zeigt einen Auszug aus der Gefährdungsanalyse.

Tabelle 5: Auszug aus der Gefährdungsanalyse für den SiloCleano-A

EN ISO 12100 - Tabelle B.1		Trifft zu	MRL 2006/42/EG Anhang I	weitere EG-Richtlinien	Normativer Verweis: EN ISO 12100
Nr.	Gefährdung Folgen	Ursache			
1	Mechanische Gefährdungen				
	<ul style="list-style-type: none"> Überfahren werden Weggeschleudert werden 	<ul style="list-style-type: none"> Beschleunigung/Abbremsung (kinetische Energie) spitze Teile 	Nein	3.3.4, 3.6.1	6.2.2.1
	<ul style="list-style-type: none"> Quetschen 	<ul style="list-style-type: none"> Annäherung eines sich bewegenden Teils an ein feststehendes Teil 	Ja	1.3.2, 1.3.3, 1.3.8, 1.4.1, 1.4.2.2	6.2.2.2
	<ul style="list-style-type: none"> Schneiden oder Abschneiden 	<ul style="list-style-type: none"> schneidende Teile 	Ja	1.3.8, 3.2.1, 3.3.4, 3.6.1	6.2.3 a)
	<ul style="list-style-type: none"> Einziehen oder Fangen 	<ul style="list-style-type: none"> elastische Elemente 	Nein	1.3.4, 1.3.8	6.2.3 b)
	<ul style="list-style-type: none"> Erfassen 	<ul style="list-style-type: none"> herabfallende Gegenstände 	Ja	1.3.7, 1.3.8, 3.3.4	6.2.6
	<ul style="list-style-type: none"> Reiben oder Abschürfen 	<ul style="list-style-type: none"> Schwerkraft (gespeicherte Energie) 	Nein	1.1.7, 1.3.4, 1.3.8, 3.2.1	6.2.10
	<ul style="list-style-type: none"> Stoß 	<ul style="list-style-type: none"> Höhe gegenüber dem Boden Hochdruck 	Ja	1.3.3, 2.3, 3.3.1, 3.6.1, 4.1.2.7	6.3.1
	<ul style="list-style-type: none"> Eindringen von unter Druck stehenden Medien 	<ul style="list-style-type: none"> Beweglichkeit der Maschine sich bewegende Teile 	Ja	1.3.2, 1.5.3+4	6.3.2
	<ul style="list-style-type: none"> Scheren 	<ul style="list-style-type: none"> rotierende Teile 	Nein	1.3	6.3.3
	<ul style="list-style-type: none"> Ausrutschen, Stolpern und Stürzen 	<ul style="list-style-type: none"> raue, rutschige Oberfläche scharfe Kanten 	Nein	1.1.8, 1.3.4, 1.5.15, 3.2.3, 4.3.3, 6.3	6.3.5.2
	<ul style="list-style-type: none"> Durchstich oder Einstich 	<ul style="list-style-type: none"> Standfestigkeit/-sicherheit 	Ja	1.3	6.3.5.4
	<ul style="list-style-type: none"> Ersticken 	<ul style="list-style-type: none"> Vakuum 	Nein	1.5.13	6.3.5.5
2	Elektrische Gefährdungen			2006/95/EG	6.3.5.6

Für die **mechanischen Gefährdungen mit Durch- bzw. Einstich** als mögliche Folgen ergibt sich beispielsweise:

Gefährdungsort: Silo Reiniger

Lebensphase: Transport, Montage und Installation, in Betrieb nehmen, Einrichten, Einlernen (Teachen) / Programmieren und / oder Umrüsten, Betrieb, Reinigung, Instandhaltung, Fehlersuche und -beseitigung, außer Betrieb nehmen, Demontage, Entsorgung

Gefährdungsursprung: Hochdruck; Sich bewegende Teile; kinetische Energie; gespeicherte Energie; sich bewegende Teile; rotierende Teile

Beschreibung der Gefährdung: Gefahr von Durchstich / Einstich durch Rotation

Gefährdeter Personenkreis: Unterwiesene Person, Elektrofachkraft, Benutzer, Fachpersonal, Hersteller, Bediener, Instandhalter und Techniker

Risikoeinschätzung vor Schutzmaßnahmen: Risikoindex nach ISO/TR 14121-2: 2; Schwere der Verletzung: S2 schwere, irreversible Verletzung; Häufigkeit/Dauer der Exposition: F1 2 mal oder seltener oder weniger als insgesamt 15 min. pro Arbeitsschicht; Wahrscheinlichkeit des Eintretens: O2

technische Fehler in den vergangenen 2 Jahren beobachtet; Vermeidung: A1 unter bestimmten Bedingungen möglich

Im Rahmen der Gefährdungsanalyse wurden auch die **nicht relevanten Gefährdungsgruppen** identifiziert, wie etwa Gefährdungen durch Lärm, Vibration, Strahlung, Materialien und Substanzen, Feuer oder Explosion und andere.

Basierend auf der Gefährdungsanalyse und Risikobeurteilung konnten neben **konstruktiven Hinweisen** für die Auslegung des Geräts auch **instruktive Empfehlungen** für die Betriebsanleitung und Beschilderung des Geräts ausgesprochen werden. Dies waren beispielsweise:

- Einschränkung des Nutzerkreises,
- Ausschluss des Einsatzes in explosionsgefährdeter Umgebung,
- Hinweise auf „Spezifikationen lt. Herstellerangaben“ der Betriebsmittel,
- Detaillierte Beschreibung der Einzelschritte während Lebensphasen,
- Ausschluss von Umbauten und Veränderungen,
- Vorschlag: Bedienung von speziell konstruiertem Podest aus, Nutzung von Spezialwerkzeugen,
- Auslegung der Stangen (Kippgefahr, ggf. Einfädelhilfe),
- Absturzsicherung zwingend vorzusehen,
- Vorschlag: Luke mit Verschlussdeckel und Schnellverriegelung,
- Definition der Arbeitsabstände,
- Betrachtung der Szenarien Stromausfall und Seilriss sowie
- Konsequenzen der Windenposition (oben oder unten).

Da die **Steuerung** des SiloCleano-A eine eigene CE-Erklärung erhalten muss, wurde eine separate Risikobeurteilung durchgeführt.

Das AP wurde aufgrund der vorzeitigen Projektbeendigung nicht abgeschlossen. Die Risiken konnten nicht abschließend bewertet werden. Die Bedienungsanleitung und das Maschinenheft konnten wegen der nicht realisierbaren Validierung der Anlagenkonstruktion nicht erstellt werden.

7 Projektmanagement (Koordination, Controlling, Dokumentation)

Während der gesamten Projektlaufzeit gab es eine projektbegleitende Koordination und Dokumentation sowie ein fortlaufendes Controlling.

8 Zusammenfassung

Im Rahmen des Vorhabens wurden zunächst die gesetzlichen Rahmenbedingungen, die betriebs- und sicherheitsrelevanten Anforderungen an den SiloCleano-A sowie die vorliegenden Praxiserfahrungen analysiert und ein Lastenheft erstellt. Basierend auf den fünf Teilschritten des Siloreinigungsprozesses wurden Konzepte für die mechanische Konstruktion und die Steuerung entwickelt und umgesetzt. Für das gesamte System SiloCleano-A, bestehend aus Roboter, Steuerung und zugehöriger Peripherie (Heizlüfter, Warmwasserheizer, Diesel- und Wassertanks, Wasser- und Luftschläuche, Werkzeuge, Kabeltrommel und Fernbedienung), wurde ein CE-gerechtes Konzept entwickelt. Der transportfähige Baukasten aller Teilkomponenten ist eine zweiteilige Unit, bestehend aus einem Europalettenaufbau zum Verladen in einen Transporter (Unit-A) und einem 750 kg-Anhänger mit festem Aufbau (Unit-B). Für den Roboter selbst wurden die Konstruktionsbaugruppen: Standfuß, Führungsgestänge, Gleitschlitten, Arm Nr. 1 (zweiachsig beweglich, mit Kameraoption), Arm Nr. 2 (einachsig beweglich) sowie die Antriebssysteme konstruiert. In der Projektlaufzeit wurden jeweils mehrere Versionen von Standfuß, Führungsgestänge und Antriebssystemen gebaut und getestet, bis

Gefördert durch



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

schließlich die optimalen Varianten gefunden waren. Für die Baugruppe Führungsgestänge wurde durch Bernd Pragst ein Patent angemeldet und unter DE 10 2023 126 149 B3 erteilt. Aufgrund der projektverzögernden Ereignisse und der vorzeitigen konnte der Bau des SiloCleano-A nicht vollständig abgeschlossen werden. Dennoch wurden etwa 50% des Roboters gebaut und ein Großteil der FuE-Aufgaben erledigt. Somit wurde eine solide Grundlage für die Fertigstellung des SiloCleano-A und Folgeentwicklungen geschaffen. Der erreichte Technologiereifegrad wird mit TRL 7 eingeschätzt, da die Funktionalität der entwickelten Komponenten des SiloCleano-A mit Sicherheits- und Hilfssystemen im realen Einsatz demonstriert wurde und die technische Dokumentation grundlegend vorhanden ist. Die Zusammenarbeit und der zielgerichtete Erfahrungsaustausch zu Praxisanforderungen, Konstruktionsweisen und Sicherheitsanforderungen waren für beide Verbundpartner sehr wertvoll.

B Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

In den nachfolgenden Tabellen sind die wichtigsten Positionen der Vor- und Nachkalkulationen für beide Verbundpartner dargestellt.

Tabelle 6: Zahlenmäßiger Nachweis, Teilprojekt A, Verbundpartner Silo Service Bernd Pragst e.K.

	Bezeichnung	Gesamtvorkalkulation lt. ÄZUB-5 vom 26.03.2025 (€)	Gesamtnachkalkulation (€)	Abweichung Nach-/Vorkalkulation
0813	Material	12.500,00 €	13.419,61 €	107%
0823	FE-Fremdleistungen	68.360,00 €	43.660,00 €	64%
0837	Personalkosten	120.650,00 €	86.748,25 €	72%
0838	Reisekosten	19.550,00 €	11.744,10 €	60%
0847	vorhabenspezifische Abschreibungen	4.166,76 €	1.153,54 €	28%
0848	AfA sonstige	0,00 €	0,00 €	0%
0850	sonstige unmittelbare Vorhabenkosten	37.585,20 €	9.275,00 €	25%
0856	Kosten innerbetrieblicher Leistungen	0,00 €	0,00 €	0%
0860	Verwaltungskosten	0,00 €	0,00 €	0%
0881	Selbstkosten des Vorhabens	262.811,96 €	166.000,50 €	63%

Begründung der Abweichungen >20%:

0813 Material: Die Kosten sind höher, da die Marktpreise für die benötigten Materialien höher waren als vorab abgeschätzt wurde.

Alle anderen Positionen: Die geringeren Kosten sind auf die vorzeitige Projektbeendigung zurückzuführen.

Tabelle 7: Zahlenmäßiger Nachweis, Teilprojekt B, Verbundpartner Jebok

	Bezeichnung	Gesamtvorkalkulation lt. ÄZUB-5 vom 11.04.2025 (€)	Gesamtnachkalkulation (€)	Abweichung Nach-/Vorkalkulation
0813	Material	12.250,00 €	10.086,58 €	82%
0823	FE-Fremdleistungen	55.466,66 €	49.680,00 €	90%
0837	Personalkosten	188.510,40 €	170.965,04 €	91%
0838	Reisekosten	9.535,00 €	2.454,27 €	26%
0847	vorhabenspezifische Abschreibungen	4.250,00 €	268,10 €	6%
0848	AfA sonstige	0,00 €	0,00 €	0%
0850	sonstige unmittelbare Vorhabenkosten	9.500,00 €	13.151,00 €	138%
0856	Kosten innerbetrieblicher Leistungen	0,00 €	0,00 €	0%
0860	Verwaltungskosten	0,00 €	0,00 €	0%
0881	Selbstkosten des Vorhabens	279.512,06 €	246.604,99 €	88%

Gefördert durch



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Begründung der Abweichungen >20%:

0850 sonstige unmittelbare Vorhabenkosten: Die Kosten sind höher, da die Kosten für Softwarelizenzen höher waren als vorab abgeschätzt wurde, weil zusätzliche Software-Tools benötigt wurden (Normteilebibliothek, CAD/CAM).

Alle anderen Positionen: Die geringeren Kosten sind auf die vorzeitige Projektbeendigung zurückzuführen.

C Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten

Es kann eingeschätzt werden, dass die im Rahmen des Projektes geleisteten Arbeiten und die eingesetzten Mittel für Fremdleistungen im Sinne der Zielerreichung des Vorhabens sachgemäß und wirtschaftlich angemessen eingesetzt wurden. Aus eigenen Mitteln wäre eine Vollfinanzierung der erforderlichen Untersuchungen nicht möglich gewesen, weshalb eine anteilige Förderung beim BMLE und der BLE beantragt wurde. Für die Bewilligung und die Projektbetreuung während des Vorhabens sind wir sehr dankbar.

D Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Aufgrund der vorzeitigen Projektbeendigung ohne vollständige Zielerreichung ist keine direkte Verwertung der Projektergebnisse möglich. Dennoch liefern die vorliegenden Erkenntnisse aus dem Vorhaben einen innovatorischen Beitrag für die Siloreinigung in der Landwirtschaft und sind von erheblichem Nutzen zur Umsetzung der förderpolitischen Ziele der dip Agrar.

Das Unternehmen Silo Service Bernd Pragst e.K. wurde rückwirkend zum 18.12.2025 abgemeldet (Gewerbeabmeldung). Die Löschung des e.K. im Handelsregister Neubrandenburg ist im Juli 2025 erfolgt.

Für das gegenwärtige Geschäftsfeld des Verbundpartners Jebok bilden die Projektergebnisse eine nützliche Basis für weitere Entwicklungen. Bei Jebok ist geplant, das Thema in Zukunft wieder aufzunehmen und die Entwicklungen fortzusetzen.

E Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Während der Projektlaufzeit wurde sich fortlaufend über den Stand der Technik und die Normung informiert. Die Ziele des einzigartigen Vorhabens SiloCleano-A sind nach wie vor relevant und bleiben daher unverändert.

F Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse

Die Projektziele und Teilergebnisse wurden in einem Zeitschriftenartikel mit dem Titel: „SiloCleano-A von Siloservice Bernd Pragst im Einsatzbericht: Neues vom Siloreiniger“ (profi. 1-2024, S. 82-86) sowie auf den Innovationstagen der BLE im November 2024 vorgestellt. Weitere Veröffentlichungen erfolgten nicht.