



Schlussbericht nach Nr. 8.2 NKBF 98

„Deep Sea Sampling - Entwicklung von Technologien für den vertikalen minimalinvasiven Tiefseebergbau“

Förderkennzeichen: 03SX546C

Zahlungsempfänger: Krebs & Aulich GmbH, Neustadter Ring 11, 38855 Wernigerode

Verfasser/innen: Prof. Dr. Martin Sobczyk, Luisa Puhalo

Projektlaufzeit: 01.06.2021 – 31.05.2024



Inhalt

1. Kurzdarstellung.....	3
1.1. Aufgabenstellung.....	3
1.2. Voraussetzungen	3
1.3. Planung und Ablauf	3
1.4. Stand der Technik vor Projektstart	3
1.5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen	3
2. Eingehende Darstellung.....	4
2.1. Zielsetzung und Zielerreichung	4
2.1.1 Entwicklung und Bau des E- Dummy	6
2.1.2 Leerlaufversuche	7
2.1.3 Back-to-Back-Motorentest	9
2.1.4 Back-to-Back-Getriebetest.....	11
2.2. Wichtige Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	14
2.3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit.....	14
2.4. Voraussichtlicher Nutzen, Verwertbarkeit der Ergebnisse.....	15
2.5. Während der Durchführung des Vorhabens dem Zuwendungsempfänger bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen	15
2.6. Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse	16
3. Anlage: Erfolgskontrollbericht.....	17



1. Kurzdarstellung

1.1. Aufgabenstellung

Im Rahmen des Verbundvorhabens stand für Krebs & Aulich die Elektrifizierung eines elektrischen Antriebs für eine Schlitzwandfräse für den Tiefseeinsatz im Fokus. Die Herausforderung bestand darin einen Antrieb mit maximaler Leistung in einen sehr kleinen Bauraum im Inneren des Fräsgetriebes zu integrieren.

1.2. Voraussetzungen

Bestehende Elektrifizierungskonzepte, wie sie für den Automobil- und Sonderfahrzeugbau bereits verfügbar sind, basieren im Regelfall auf Asynchron-Motoren und können aufgrund ihrer anderen Spezifik (hohe Drehzahlen bei vergleichsweise niedrigen Drehmomenten, im Vergleich wesentlich geringere Lastfälle, möglichst geringe Kosten) nicht übernommen werden. Mit permanentmagnetischen Synchronmotoren lässt sich eine hohe Leistungsdichte erzielen; die Steuerung mit geeigneten Leistungsumrichtern ermöglicht eine exakte Regelung der Drehmoment-Verläufe und eine schnelle und genaue Reaktion auf Änderungen dieser. Die bisherigen Entwicklungen im Baumaschinenbereich zielten vor allem auf den Einsatz eines elektrischen Hauptantriebes unter Beibehaltung bewährter Nebenantriebe ab.

1.3. Planung und Ablauf

Im Gesamtvorhaben fanden sich Vorbereitungs- und Abstimmungsarbeiten mit den Partnern in allen wesentlichen Arbeitspaketen. Schwerpunkt von Krebs & Aulich war das Arbeitspaket 3, dass alle Elemente der Berechnung, Entwicklung und des Baus der elektrischen Antriebseinheit, ihrer Integration in das Getriebe, ihrer elektrisch-mechanischen Abstimmung enthält. Darüber hinaus wurden umfangreiche Prüfläufe zum Funktionstest und zur Parametrierung vorgesehen, sowie am Ende des Projektes ein prototypischer Einsatz.

1.4. Stand der Technik vor Projektstart

Die Entwicklung der elektrischen Schlitzwandfräse stellte im gesamten Baumaschinenbereich ein Novum dar. Aufgrund der hohen Drehmomente, der starken schlagenden Lasten und Losbrechmomente setzten bisherige Ausführungen auf Hydraulikantriebe. Diese stellen die notwendigen Drehmomente sicher bereit, sind robust und in der Industrie seit Jahrzehnten im Einsatz. Besonders die Dämpfung von sprunghaften Lastwechseln beim Losbrechen und von radialen und axialen Schlagbelastungen auf das System kann von hydraulischen Anwendungen gut kompensiert werden und ist bei elektrischen Maschinen entsprechend durch eigene Dämpfungssysteme zu berücksichtigen. Nach dem aktuellen Stand der Forschung existierte keine elektrische Antriebseinheit, welche den benannten Forderungen entspricht bzw. unter Tiefseebedingungen betrieben werden kann.

1.5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Die für die Projektentwicklungen maßgebliche Zusammenarbeit fand zwischen Krebs & Aulich und BAUER Maschinen statt. Während der Förderphase wurde in verschiedenen Arbeitsgruppen die Elektrifizierung mit kombinierter Getriebeentwicklung vorangetrieben und erfolgreich abgeschlossen.



2. Eingehende Darstellung

2.1. Zielsetzung und Zielerreichung

Ziel des Arbeitspaket AP 1: *Anwendungsfälle, Anforderungen und technische Spezifikationen* war das Beschaffen und Prüfen der Unterlagen, die Erstellung eines Lasten-/ Pflichtenhefts sowie die Abstimmung der Randbedingungen für Umrichter, Steuerung und Motor. Weiterhin sollte ein funktionsfähiger E-Dummy für weitere Untersuchungen von Brauraum- und Anschlusssituation entwickelt und gebaut werden. Bei freien Testläufen ohne Getriebeintegration sollten die errechneten elektrischen und thermischen Daten validiert und überprüft werden.

Als Ergebnis und **Zielerreichung** des Arbeitspaket AP 1: *Anwendungsfälle, Anforderungen und technische Spezifikationen* sind die folgenden Punkte zu benennen:

Definition der Anforderungen an den Nabenmotor

Die Anforderungen an den Nabenmotor einer Baumaschine können je nach Einsatzgebiet und spezifischen Anforderungen variieren.

1. *Leistung und Drehmoment*: Der Nabenmotor sollte ausreichend Leistung und Drehmoment bieten, um die Baumaschine effizient zu betreiben, insbesondere bei schweren Lasten und anspruchsvollen Bedingungen
2. *Kompakte Bauweise*: Da der Platz in Baumaschinen begrenzt ist, sollte der Nabenmotor kompakt und leicht sein, um die Integration in das Gesamtsystem zu erleichtern.
3. *Robustheit und Langlebigkeit*: Baumaschinen sind häufig extremen Bedingungen ausgesetzt. Der Nabenmotor muss daher robust und langlebig sein, um Stößen, Vibrationen und Witterungseinflüssen standzuhalten.
4. *Wartungsfreundlichkeit*: Eine einfache Wartung und Zugänglichkeit sind wichtig, um Ausfallzeiten zu minimieren und die Betriebskosten zu senken.
5. *Energieeffizienz*: Der Motor sollte energieeffizient arbeiten.
6. *Temperaturbeständigkeit*: Der Nabenmotor sollte in der Lage sein, unter verschiedenen Temperaturbedingungen zu arbeiten, ohne dass es zu Leistungseinbußen kommt.
7. *Anpassungsfähigkeit*: Die Möglichkeit, den Motor an unterschiedliche Anwendungen und Anforderungen anzupassen, ist ebenfalls von Vorteil.
8. *Sicherheitsmerkmale*: Integrierte Sicherheitsfunktionen sind wichtig, um die Sicherheit der Bediener und der Maschine zu gewährleisten.

Diese Anforderungen helfen dabei, die Leistung und Effizienz der Baumaschine zu maximieren und gleichzeitig die Betriebskosten zu minimieren.



Im vorliegenden Fall bedeutet das konkret:

Lfd- Nr.	Anforderung
1	Erforderliche elektrische Leistung 150 kW – 2000 Nm – 1200 rpm
2	Weniger als 200 mm Motorlänge
3	Nabenmotor mit Anbindung zum Stator (feststehend)
4	Messung der Wicklungstemperatur notwendig
5	Lagerung & Dichtung des Rotors des Motors
6	Trockenlauf des elektrischen Motors notwendig
7	Drehgeber für Ansteuerung des Motors
8	Optimierte Kühlung → Vermeidung der Drehzahlrestriktion
9	Verschleiß- und Korrosionsgerechte Gestaltung
10	Sensorik für Ölzustandsüberwachung
11	Modul zur Speicherung Daten
12	Verhärten von Suspension hinter dem Klappzahn

Merkmal	Anforderung (Praxis)	Zielwert	Bestehendes BCM 10
Maximale Schlitztiefe	60 m	60 m	60 m
Minimale Schlitzbreite	640 mm	640 mm	640 mm
Nennleistung	150 kW	150 kW	150 kW
Abtriebsmoment @ 15 1/min	-	55 kNm	84 kNm (ideal verlustfrei)
Abtriebsmoment @ 30 1/min	-	48 kNm	41 kNm (ideal verlustfrei)
Abtriebsmoment @ 35 1/min	-	35 kNm	n/a
Max. Abtriebsdrehzahl	40 1/min	40 1/min	31 1/min
Service-Intervall	2500 h	2500 h	1500 h
Ölwechselintervall	500 h	500 h	250 h

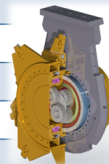


Abbildung 1: technische Anforderungen

Eine Steigerung der Effizienz kann durch Bearbeitung der folgenden Punkte erzielt werden:

1. Erweiterung des maximalen Drehzahlbereichs
2. Drehmomentsteigerung bei identischer Drehzahl
3. Boost-Funktion zum Brechen harter Geschiebe

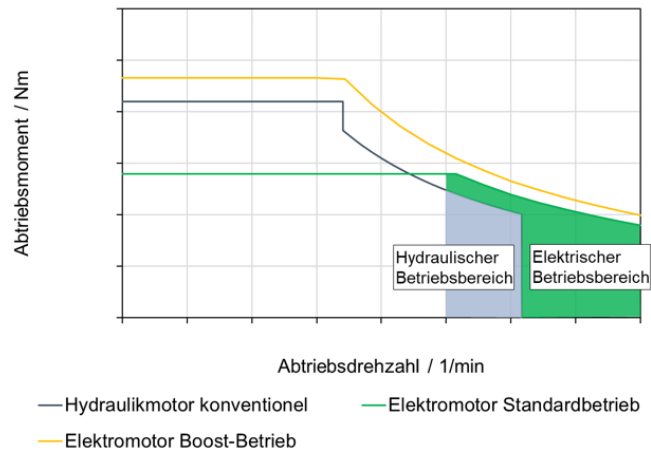


Abbildung 2: gezielte Erweiterung des Betriebsbereichs durch elektromotorische Anwendung

2.1.1 Entwicklung und Bau des E-Dummy

Die Entwicklung und Produktion von Prototypen für Elektromotoren ist ein komplexer Prozess, welcher mehrere Schritte umfasst. Die Phasen der hier vorliegenden Entwicklung werden nachfolgend beschrieben.

1. *Designüberlegungen*: Skizzieren von Konzepten und Auswahl des Motortyps (z. B. Gleichstrommotor, Wechselstrommotor, Synchronmotor, Asynchronmotor).
2. *Materialauswahl*: Auswahl geeigneter Materialien für die Rotor- und Statorwicklungen (z. B. Neodym-Magnete für Permanentmagnetmotoren). Auswahl von Kupferdraht oder anderen leitfähigen Materialien für die Wicklungen.
3. *Konstruktion*: CAD-Design und Erstellen von 3D-Modellen des Motors mit CAD-Software, um die Geometrie und die Anordnung der Komponenten zu visualisieren.
4. *Prototypenbau*: Fertigung der einzelnen Komponenten, wie Stator, Rotor, Gehäuse und Wicklungen.
5. *Montage*: Zusammenbau und Montage der einzelnen Teile zu einem funktionierenden Motor.
6. *Verkabelung*: Anschließen der elektrischen Komponenten, einschließlich der Steuerungseinheit.
7. *Test und Validierung*: Leistungstests, um die Leistung des Prototyps zu bewerten (z. B. Drehmoment, Effizienz, Temperaturverhalten). Fehleranalyse und Identifikation und Behebung von Problemen, die während der Tests auftreten können.
8. *Optimierung*: Basierend auf den Testergebnissen können Anpassungen am Design oder an den Materialien vorgenommen werden, um die Leistung zu verbessern.

Als ersten **Meilenstein I** im Projekt kann ein funktionsfähiger Prototyp gezeigt werden. Alle benannten Phasen wurde durchlaufen und bearbeitet. Bei freien Testläufen ohne Getriebeintegration konnte der E-Motor vollständig vermessen und validiert werden.



2.1.2 Leerlaufversuche

Der Leerlaufversuch eines Elektromotors ist ein wichtiger Test, um die Eigenschaften und das Verhalten des Motors zu analysieren, wenn er ohne mechanische Last betrieben wird. Der Leerlaufversuch ist ein grundlegender Bestandteil der Motorprüfung und hilft dabei, die Funktionsfähigkeit und Effizienz des Elektromotors zu beurteilen.

Versuchsaufbau

1. Aufbau:

Der Elektromotor wird an eine geeignete Stromquelle angeschlossen. Um den Leerlaufzustand zu gewährleisten, ist der Motor nicht mit einer Last verbunden ist.

2. Messung von Schwingungen:

Die Messung von Schwingungen und Temperatur bei Elektromotoren ist entscheidend, um deren Betriebssicherheit und Effizienz zu gewährleisten. Zur Messung der Motorschwingungen wurden Beschleunigungssensoren direkt am Motor und an der Motorbasis angebracht und entsprechend aufgezeichnet. Verwendet wurde sowohl die Zeitbereichsanalyse (hierbei werden die Schwingungen in einem Zeitdiagramm dargestellt, um die Amplitude und Frequenz der Schwingungen zu bestimmen) als auch die Frequenzbereichsanalyse (mit der Fourier-Transformation können die Frequenzkomponenten der Schwingungen analysiert werden, um spezifische Probleme wie Unwucht oder Resonanz zu identifizieren). Vermessen wurden hier die Lagerstellen in allen 3 Raumrichtungen.

3. Messungen von Temperatur

Zur Messung der Temperatur wurden Thermoelemente an verschiedenen Stellen des Motors verwendet, diese ermöglichen eine kontinuierliche Temperaturmessung an beispielweise Wicklungen, Lagern oder Gehäuseoberfläche. Hierdurch kann ein umfassendes Bild der thermischen Bedingungen im Motor geschaffen werden. Die gesammelten Temperaturdaten werden analysiert, um Überhitzung oder andere Probleme zu erkennen.

U.a. wurden die folgenden Temperaturen gemessen und ausgewertet: Wicklungstemperatur und Raumtemperatur Rück -und Vorlaufemperatur der Wasserkühlung, die Temperatur der Gleitringdichtung als auch die Öltemperatur in Wellennabe und Lagerung.

3. Drehzahlmessung:

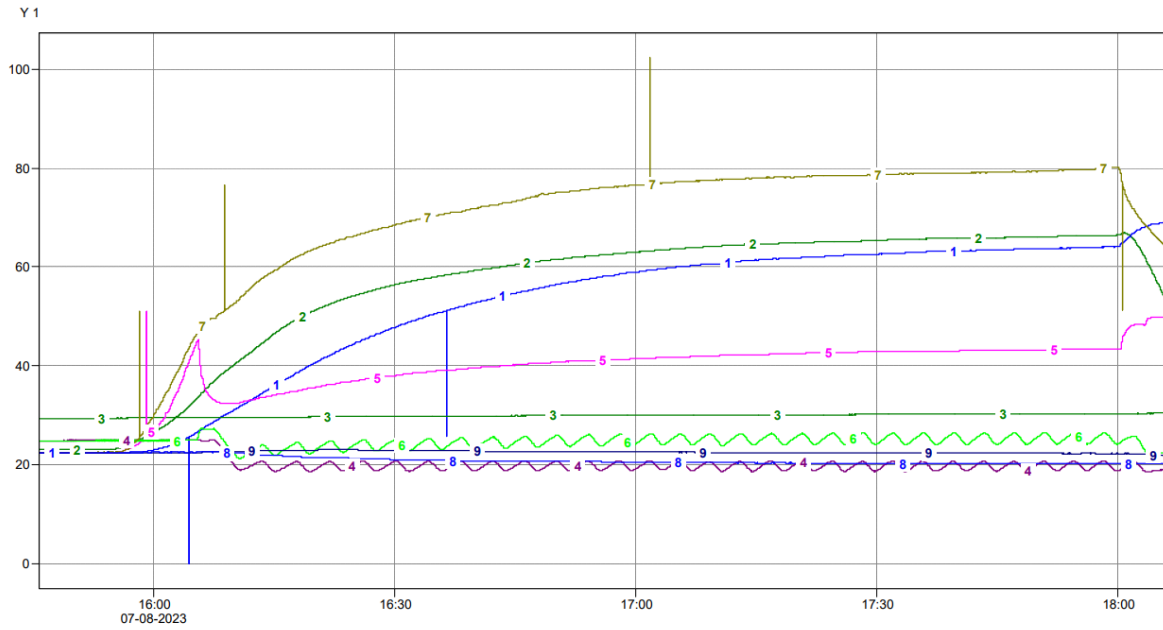
Die Drehzahl des Motors wird ebenfalls gemessen. Im Leerlauf läuft der Motor mit seiner maximalen Drehzahl.

Versuchsdurchführung

Beide Motoren wurden bei einer maximalen von 2100 rpm in die thermische Beharrung gefahren und entsprechend bewertet.



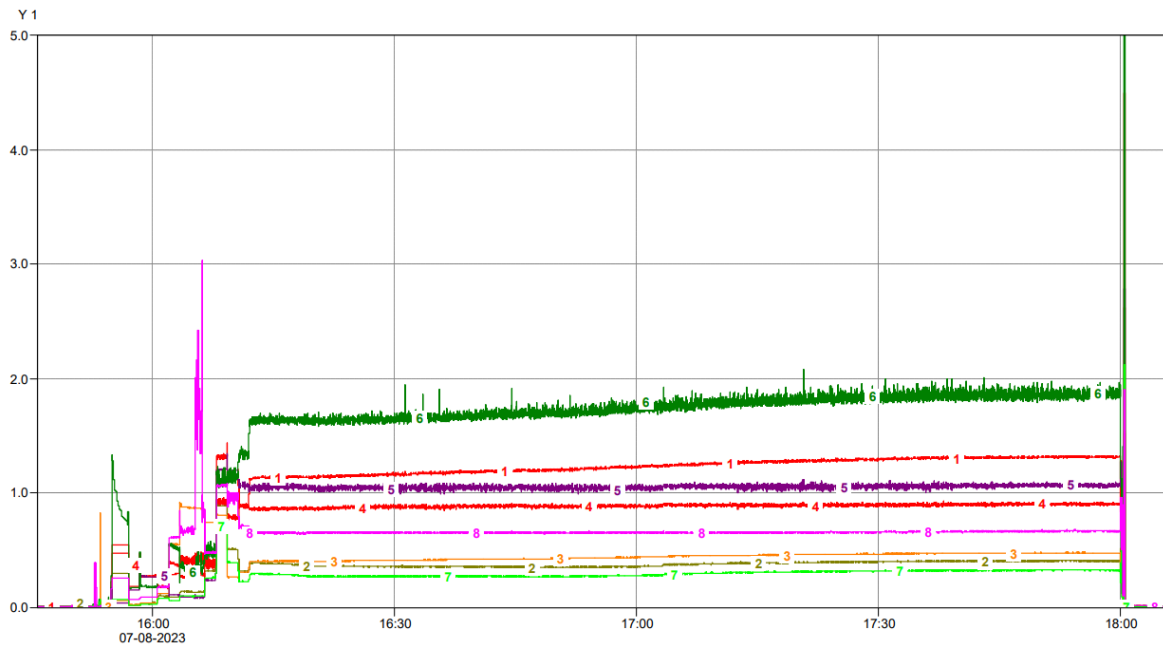
Versuchsergebnisse



Legende

- | | | | |
|--------------------------------|----|-------------------------|----|
| 1: M1 Lufttemperatur Innenraum | °C | 6: M1 Rücklauf | °C |
| 2: M1 Wicklung U | °C | 7: M1 Öltemperatur Nabe | °C |
| 3: Raumtemp | °C | 8: M2 MO Flansch | °C |
| 4: M2 Rücklauf | °C | 9: M2 Gleitringdichtung | °C |
| 5: M1 Gleitringdichtung | °C | | |

Abbildung 3: Temperatureergebnisse des Leerlaufversuchs Motor I



Legende

- | | | | |
|---------------------|------|---------------------|------|
| 1: M1 N ax Ges. RMS | mm/s | 5: M2 D ho Ges. RMS | mm/s |
| 2: M2 D ax Ges. RMS | mm/s | 6: M1 D ax Ges. RMS | mm/s |
| 3: M2 N ve Ges. RMS | mm/s | 7: M2 N ax Ges. RMS | mm/s |
| 4: M1 D ho Ges. RMS | mm/s | 8: M1 N ve Ges. RMS | mm/s |

Abbildung 4: Schwingungsergebnisse des Leerlaufversuchs Motor I



Ziel des Arbeitspaket AP 2: *Konzeptentwicklung Gesamtsystem* und AP 3 *Entwicklung E-Antrieb Fräse und Integration in das Fräsgetriebe* waren die Einpassung der Konstruktion und Abstimmung der Schnittstellen an der Fräse sowie die elektrische Abstimmung von Umrichter und Motoren sowie der Bau von einsatzfähigen Mustern für Test und Versuch im Fräsgetriebe.

Als Ergebnis und **Zielerreichung** des Arbeitspaket AP 2 und AP3 ist als **Meilenstein II** die erfolgreiche Integration des E-Motors in die Getriebeeinheit zu benennen. Zuvor wurde der E-Motor unter Last an seine Eckpunkte gefahren und vermessen.

2.1.3 Back-to-Back-Motorentest

Beim Back-to-Back-Motorentest werden die Leistung und Effizienz der Motoren I und II überprüft. Dabei wird der Motor einer definierten Last ausgesetzt. Im vorliegenden Versuchsaufbau wird die definierte Last durch den zweiten Motor erzeugt. Beide Motoren sind miteinander gekoppelt und können getrennt voneinander gesteuert werden.

Versuchsaufbau

1. Aufbau:

Die Motoren werden installiert und miteinander gekoppelt.

2. Messung:

Während des Tests werden zu den Parametern der Leerlaufversuch weitere verschiedene Parameter, wie z.B. Strom, Spannung, Drehmoment und Drehzahl aufgenommen und ausgewertet. Diese Daten sind notwendig für die Berechnung des Motorwirkungsgrads.

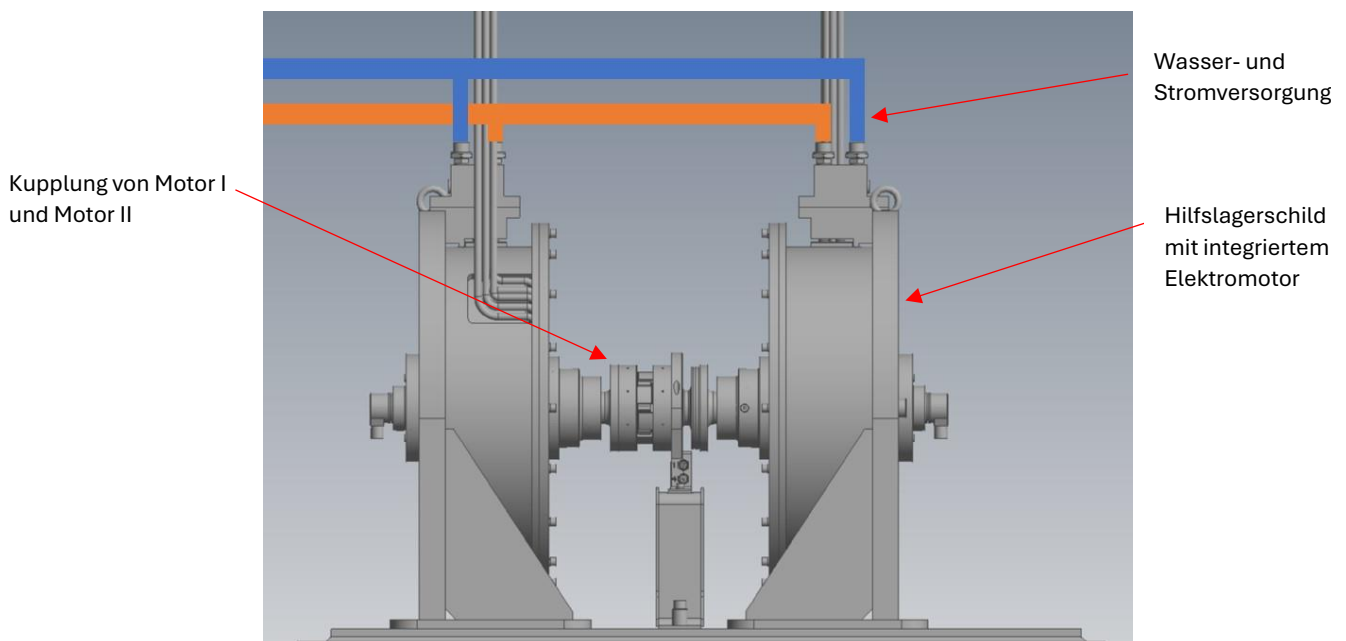


Abbildung 5: Anlagenschaubild des Back-to-Back-Motorentests

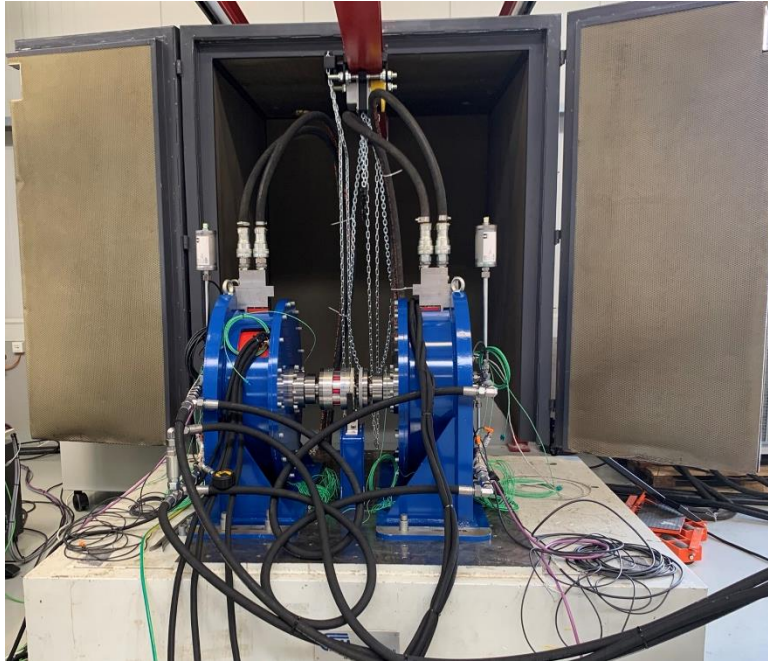


Abbildung 6: Versuchsaufbau Back-to-Back-Motorentest

3. Analyse:

Nach den Tests werden die gesammelten Daten analysiert und die Effizienz, den Wirkungsgrad und andere Leistungsmerkmale des Motors bestimmt.

Versuchsdurchführung

Die Versuchsdurchführung erfolgt analog der nachfolgenden Tabelle. Dabei wird jeder Arbeitspunkt des Motordatenblatts vermessen. Die Rot gekennzeichneten Felder sind Bereiche der elektromotorischen Feldschwächung. Diese sind nicht relevant für die Berechnung des Wirkungsgrades und die Bewertung der Effizienz der Motoren und können damit nicht Bestandteil der Versuchsreihe sein.

Drehzahl	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2100
Drehmoment	200										
	400										
	600										
	800										
	1000										
	1200									250 kW 1200 Nm	250 kW 1100Nm
	1400								243kW 1300Nm		
	1600							250 kW 1500Nm			
	1800						250 kW 1700Nm				
	2000					251 kW					

Abbildung 7: Arbeitspunkte des Back-to-Back-Motorentests

Versuchsergebnisse

Der gemessene Wirkungsgrad der Elektromotoren beträgt 96,6% und liegt damit 0,2 % über Auslegung.

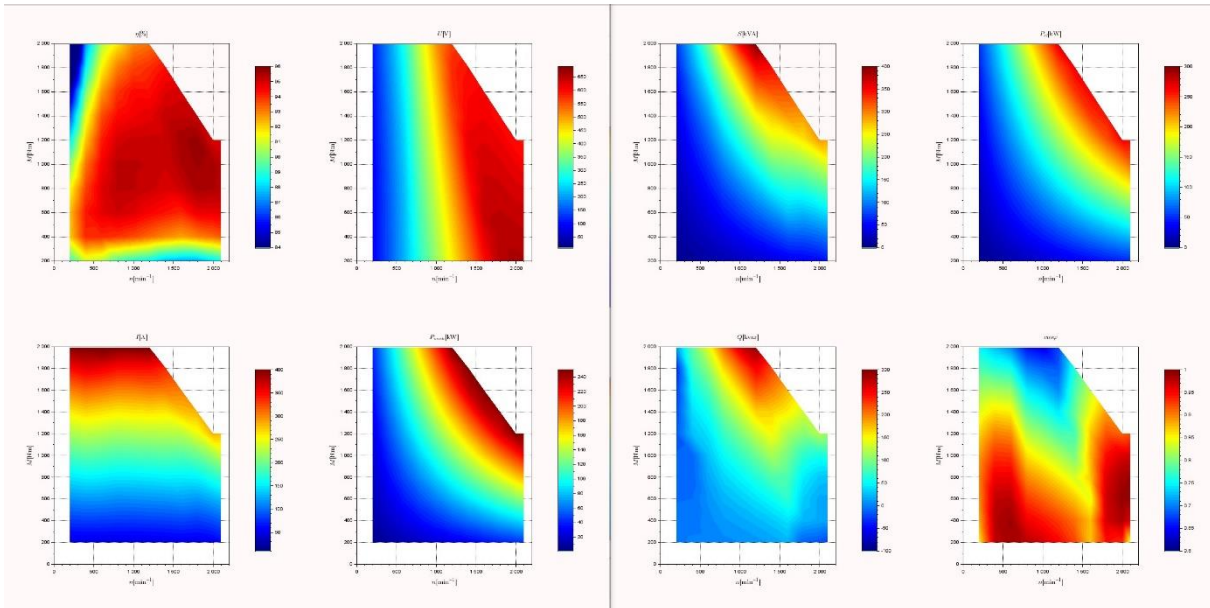


Abbildung 8: Ergebnisse des Back-to-Back-Motorentests

Ziel der Arbeitspakete AP 5, 6, 9, 10 und 11 sind die Erreichung des **Meilensteins III** (funktionsfähige Getriebeeinheit) im Projekt.

Als Ergebnis und **Zielerreichung** der benannten Arbeitspakete ist die erfolgreiche Getriebeintegration inkl. der vollständigen Vermessung und Validierung zu benennen. **Meilenstein III** konnte erfolgreich abgeschlossen werden.

2.1.4 Back-to-Back-Getriebetest

Mit dem Back-to-Back-Getriebetest werden zum einen die Leistung und Effizienz des Getriebes ermittelt und zum anderen das Zusammenspiel zwischen E-Motor und Getriebe untersucht. Bei diesem Test werden zwei identische Getriebe in einer speziellen Anordnung miteinander verbunden, sodass sie gleichzeitig betrieben werden können.

Integration des E-Motor in die Getriebeeinheit

Die Integration eines E-Motors in die Getriebeeinheit ist ein entscheidender Schritt bei der Entwicklung der elektrischen Schlitzwandfräse.

Der E-Motor wurde direkt in das Getriebe integriert, was Platz spart und die Effizienz erhöht. Der E-Motor wird direkt mit dem Getriebe verbunden, sodass die Kraftübertragung optimiert wird. Hierdurch kann durch eine kompakte Bauweise erreicht werden, die es ermöglicht, den Motor und das Getriebe als eine Einheit zu betrachten.

Zusätzlich müssen bei der Integration auch thermische Aspekte berücksichtigt werden, da sowohl der E-Motor als auch das Getriebe Wärme erzeugen. Eine effektive Kühlung ist daher unerlässlich, um die Leistung und Lebensdauer der Komponenten zu gewährleisten.

Insgesamt ist die Integration des E-Motors in die Getriebeeinheit ein komplexer Prozess, der sorgfältige Planung und innovative Lösungen erfordert.

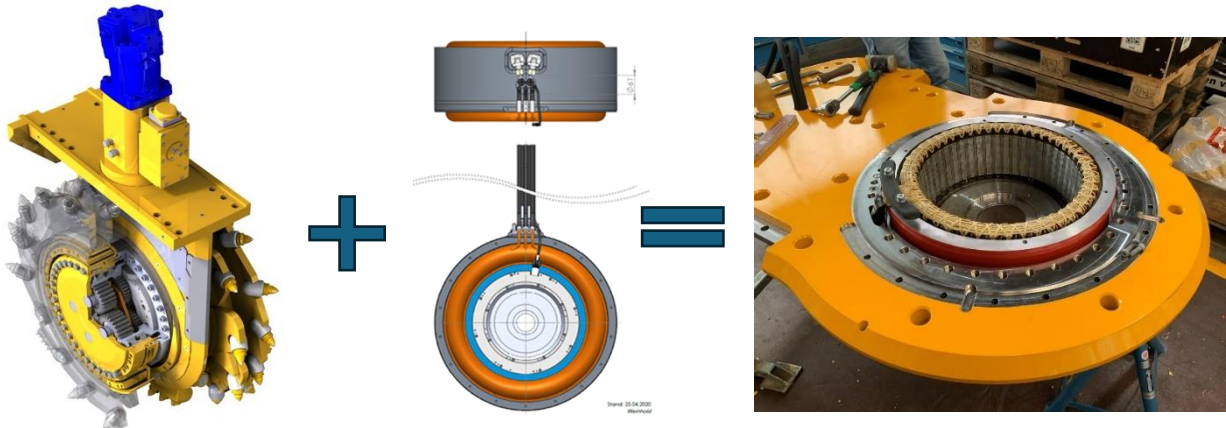


Abbildung 9: Integration des E-Motors in das Getriebeschild

Versuchsaufbau

1. Aufbau:

Die beiden Getriebe werden so angeordnet, dass sie in entgegengesetzte Richtungen arbeiten. Dies ermöglicht es, die Leistung eines Getriebes direkt mit der eines anderen zu vergleichen, ohne dass externe Einflüsse die Ergebnisse verfälschen.

2. Testbedingungen:

Beide Getriebe werden unter identischen Bedingungen getestet, was bedeutet, dass sie die gleiche Last, Drehzahl und Temperaturbedingungen haben.

3. Messungen:

Während den Tests wird zusätzlich zu den Parametern des Back-to-Back-Motorentests noch das Drehmoment am Getriebe erfasst. Anhand dieser Daten kann der Wirkungsgrad der Motor-Getriebeeinheit bestimmt werden.

Versuchsdurchführung

Analog des Back-to-Back-Motorentests werden die Arbeitspunkte aus Abbildung erneut vermessen. Dabei wird stets das Drehmoment am Getriebeabtrieb gemessen.



Abbildung 10: Aufbau des Back-to-Back-Getriebetest

Versuchsergebnis

Der gemessene Wirkungsgrad der Elektromotoren mit Getriebeeinheit liegt bei ca. 85% und damit deutlich über dem der konventionellen Hydraulikeinheit

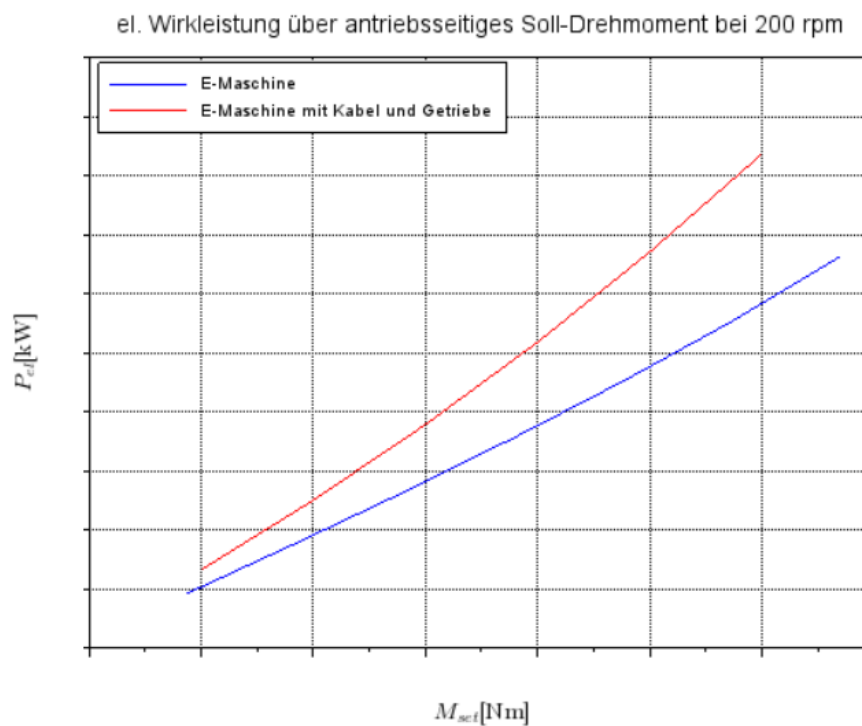


Abbildung 11: elektrische Wirkleistung der Getriebeeinheit



2.2. Wichtige Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick der wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises.

	Position	Kosten (€)
	0813 Material	41.542,68
	0823 FE-Fremdleistungen	6.500,00
	0837 Personalkosten	497.459,21
	0838 Reisekosten	3.914,86
	0847 Abschreibungen auf vorhabensspezifische Anlagen	4.413,60
	0881 gesamte Selbstkosten des Vorhabens	553.830,35

2.3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Krebs&Aulich ist es gelungen einen Elektromotor für den Einsatz in einer Schlitzwandfräse zu konzipieren und umzusetzen. Gemeinsam mit der Firma BAUER Maschinen ist gelungen eine elektromotorische Schlitzwandfräse aufzubauen. Die Entwicklung von Elektromotoren stellt einen entscheidenden Bereich in der modernen Antriebstechnik dar. In den letzten Jahrzehnten haben technologische Fortschritte und neue Anforderungen an Effizienz, Kompaktheit und Nachhaltigkeit die Weiterentwicklung von Elektromotoren maßgeblich geprägt. Die Entwicklung dieser Antriebstechnik ist eng mit den Fortschritten in der Materialwissenschaft, der Leistungselektronik und der Steuerungstechnik verbunden. In den letzten Jahren wurde besonderes Augenmerk auf die Verbesserung der Effizienz, die Reduktion des Energieverbrauchs und die Minimierung der Umweltbelastungen gelegt. Dies führte zur Entwicklung von Motoren mit höherer Leistungsdichte, geringerem Gewicht und geringeren Verlusten. Insbesondere die kontinuierliche Verbesserung von Permanentmagnetmaterialien, wie Neodym-Eisen-Bor-Magneten, hat die Leistungsfähigkeit von Elektromotoren erheblich gesteigert. Die Effizienz von Elektromotoren ist ein zentrales Thema der Entwicklung. Die Verluste in einem Motor, die durch Widerstand, Wirbelströme und mechanische Reibung entstehen, haben direkten Einfluss auf die Leistungsfähigkeit und den Energieverbrauch. Durch die Verwendung von Hochleistungsmaterialien, optimierten Kühlsystemen und intelligenten Steuerungen konnte die Effizienz in den letzten Jahren erheblich gesteigert werden. Die steigenden Anforderungen an Leistung und Effizienz bei gleichzeitiger Minimierung des Gewichts und der Produktionskosten erfordern kontinuierliche Innovationen. Ein weiteres Problem ist die zunehmende Komplexität der Steuerungssysteme. Die Integration fortschrittlicher Regelungstechnik, Sensoren und Kommunikationssysteme in den Motor selbst oder in die angrenzende Elektronik erfordert eine enge Zusammenarbeit aus verschiedenen Disziplinen.

Die Entwicklung von Elektromotoren hat in den letzten Jahren einen erheblichen Fortschritt gemacht. Durch Innovationen in der Materialwissenschaft, der Fertigungstechnologie und der Leistungselektronik konnten Elektromotoren deutlich effizienter und leistungsfähiger gemacht



werden. Die Herausforderungen, die noch bestehen, betreffen insbesondere die Weiterentwicklung der Steuerungstechnik, die Minimierung der Produktionskosten und die Erreichung noch höherer Effizienzwerte. Zukünftig wird die Elektromotorentechnologie eine Schlüsselrolle bei der Umsetzung der globalen Ziele der Energieeffizienz und Nachhaltigkeit spielen. Durch die kontinuierliche Forschung und Entwicklung in diesem Bereich sind die Aussichten für die Zukunft vielversprechend.

2.4. Voraussichtlicher Nutzen, Verwertbarkeit der Ergebnisse

Die fortschreitende Elektrifizierung in der Maschinenbauindustrie eröffnet neue Geschäftsfelder und erhebliche Umsatzpotenziale. Insbesondere der Eintritt in den Markt für drehmomentstarke Funktionsantriebe in Bau- und Bergbaumaschinen stellt eine vielversprechende Möglichkeit dar, um innovative Produkte zu entwickeln und neue Kunden zu akquirieren.

Die Nachfrage nach umweltfreundlichen und effizienten Antriebssystemen wächst stetig. Elektromotoren bieten im Vergleich zu herkömmlichen Antriebssystemen zahlreiche Vorteile, darunter geringere Emissionen, höhere Energieeffizienz und reduzierte Betriebskosten. Die Elektrifizierung von Baumaschinen ist nicht nur ein Trend, sondern wird zunehmend zur Norm, da Unternehmen nach nachhaltigen Lösungen suchen, um ihre Umweltbilanz zu verbessern.

Durch die Entwicklung und Einführung neuer Produkte im Bereich der drehmomentstarken Elektromotoren wird ein mittelfristiges Umsatzpotenzial von ca. 5 Millionen Euro jährlich erwartet. Diese Schätzung basiert auf der Analyse des Marktes für Bau- und Bergbaumaschinen sowie der Identifizierung von Schlüsselanwendungen, in denen unsere Elektromotoren einen signifikanten Mehrwert bieten können.

2.5. Während der Durchführung des Vorhabens dem Zuwendungsempfänger bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Der Tiefseebergbau spielt ökonomisch derzeit eine untergeordnete Rolle. Während die Forschung seit den 1960er Jahren aktiv betrieben wird und viele neue Erkenntnisse über die Bedingungen und Gegebenheiten der Tiefsee gewinnen konnte, sind wirtschaftliche Unternehmungen zum Fördern der dort lagernden Rohstoffe bisher nur sporadisch erfolgt. Diese fokussieren dabei vorrangig auf den Abbau der sogenannten Mangan- oder polymetallischen Knollen, die sich vorwiegend im Pazifischen Becken befinden. Für die Massivsulfide, deren Bildung hydrothermal durch die sog. Schwarzen Raucher in den Riftzonen der Ozeane erfolgt, haben bisher ausschließlich wissenschaftliche Missionen stattgefunden, die geringe Mengen dieser Rohstoffe fördern konnten. Gleichzeitig ist die Kenntnis über Lage, Umfang und Gehalt dieser Lagerstätten in den vergangenen Jahren vor allem auch durch die Exploration der Massivsulfide im Indischen Ozean deutlich gewachsen. Aktuell sind kommerzielle Projekte zum Abbau von Manganknollen in der Phase des experimentellen Abbaus angekommen. Für die Erkundung von Massivsulfiden sind derzeit fortlaufend Forschungen zur Gewinnung von Bohrkernen für die verbesserte Lagerstätten erkundung in Planung. Vorhaben zur Nutzung elektrifizierter Abbaugeräte für den wirtschaftlichen Abbau der Vorkommen sind derzeit nicht bekannt.



2.6. Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse

Ergebnisse und Zwischenstände des Projektes wurden der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt.

Projektwebsite und Pressemitteilungen

Während es Projekts wurde eine Projektwebsite eingerichtet: www.deepseasampling.de, auf der alle grundlegenden Daten des Projektes sowie aktuelle Neuigkeiten kommuniziert werden.

Wissenschaftliche Fachveröffentlichungen

Eine Veröffentlichung der Ergebnisse zur Elektrifizierung des im Fachjournal Miningreport ist im Jahr 2025 nach Abschluss aller Feldtests geplant.

Veranstaltungen, Konferenzen, Kongresse

Zur Kommunikation des Projekts nahmen Projektpartner innerhalb der Projektlaufzeit an diversen Konferenzen, Kongressen oder Webinaren teil, hielten Vorträge oder repräsentierten das Projekt anderweitig. Konkret waren dies:

- OTC (Ocean Technology Campus)
- UMC (Underwater Minerals Conference)

Print & Social Media-Kommunikation

Im Bereich Social Media wurden über die Kanäle LinkedIn intensiv und regelmäßig über das Projekt berichtet.



3. Anlage: Erfolgskontrollbericht