# TOPMOTORS WEBINAR

TOPMOTORS energieschweiz Unser Engagement: unsere Zukunft. IMPACT ENERGY ENERGIE ZUKUNFT SCHWEIZ

# Topmotors Webinar Nr. 10

Einfluss von Lagerströmen auf die Standfestigkeit von Motoren

3. September 2019, 10:00 - 11:00

Moderation: Carole Tornay, Energie Zukunft Schweiz

Referentin: Hanna Putzi-Plesko, ZHAW School of Engineering

# Vorstellung Referentin

## Hanna Putzi-Plesko

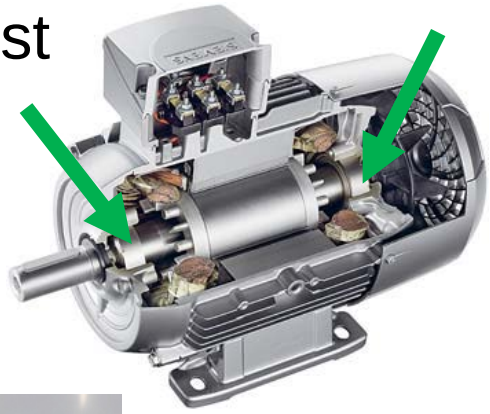
- Dr. sc. ETH Zürich
- Dozentin an der ZHAW
- Seit 2011 am Institut für Mechatronische Systeme
- Forschungsschwerpunkt «Antriebstechnik & Leistungselektronik»

# Inhalt

- Was sind Lagerströme?
- Arten von Lagerströmen
- Folgen von Lagerströmen
- Messung von Lagerströmen
- Gegenmassnahmen
- Zusammenfassung

# Was sind Lagerströme?

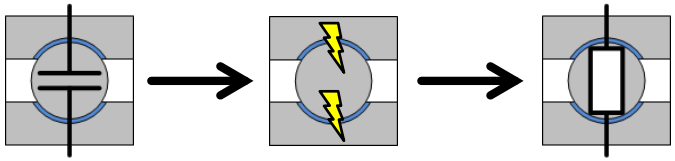
- Lagerstrom = Strom, der durch das Lager fliesst
- Auswirkungen:
  - Schmilzt Oberfläche der Lagerlaufbahn und verursacht einen kleinen Krater an der Entladestelle.
  - Verursacht Verschleiss im Schmiermittel



Quelle Bild Motor:
Elektrische Antriebe

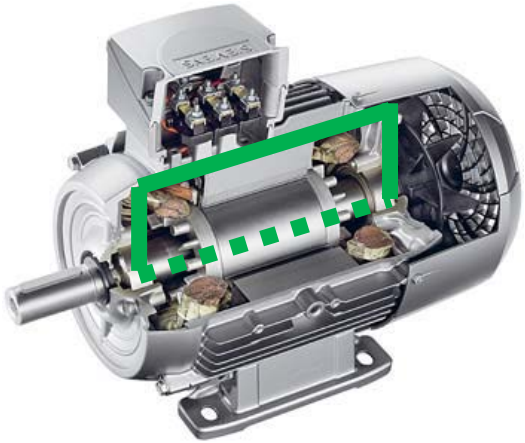
# Ursachen von Lagerströmen

- Lagerstrom = Strom, der durch das Lager fliesst
- Ursache: Spannung über dem Lager
- Elektrisches Verhalten des Lagers:
  - Kapazitives Verhalten: Der Schmierölfilm bildet eine Grenze zwischen der Kugel und der Laufbahn.  Der Ölfilm wirkt wie ein Kondensator.
  - Ist die Spannung zu hoch (>3V...15V), bricht der Kondensator "durch"
    → Ohm'sches Verhalten



# Lagerströme bei Netz- & Frequenzumrichterbetrieb

- Netzbetrieb:
  - (Niederfrequente) Lagerströme für den Netzbetrieb
  - "Klassische" Lagerströme, die seit Jahrzehnten bekannt sind
  - Verursacht durch magnetische Asymmetrien in der Motor: Parasitärer magnetischer AC Fluss induziert eine Lagerspannung.
- FU-Betrieb:
  - Erhöht die Gefährdung durch neuartige Lagerströme
    → Fokus auf den FU-Betrieb bei Asynchronmotoren



Quelle Bild: Elektrische Antriebe

# Umfrage

**Welche Asynchronmotoren sind durch Lagerströme gefährdet?**

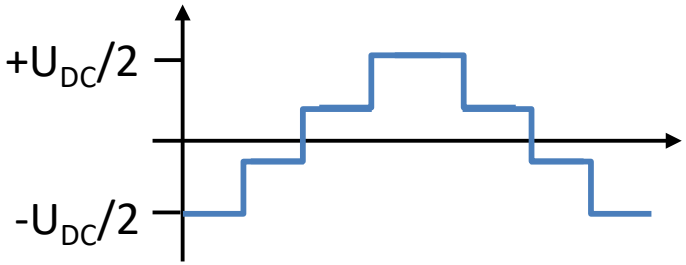
- Motoren bis 10kW
- Motoren zwischen 10kW und 100kW
- Motoren ab 100kW

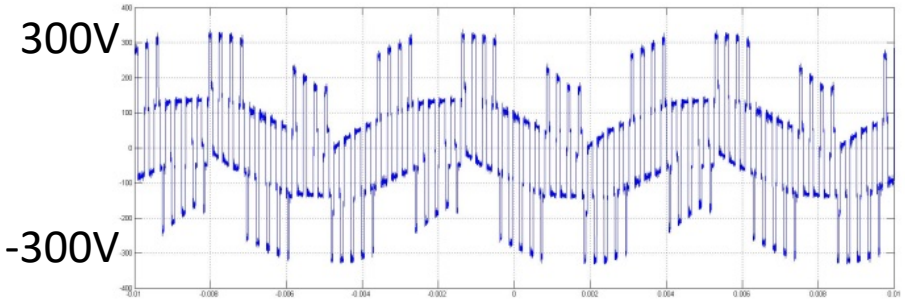
(mehrere Antworten möglich!)

# Gleichtaktspannung als Ursache

## Gleichtaktspannung

- Gleichtaktspannung: $u_0=1/3*(u_a+u_b+u_c)$
  - «Spannungsanteil, welcher auf allen drei Phasen “gleichwertig” vorkommt»
- Netzbetrieb: $u_0=1/3*(u_a+u_b+u_c)=0$ (ideal)
- FU-Betrieb: Der FU liefert als Phasenspannungen
  $+U_{DC}/2$ oder $-U_{DC}/2$ (gilt nicht für Multi-Level)
  → Bei FU-Betrieb ist der aktuelle Wert von $u_0$ stets ungleich Null!
- Gleichtaktspannung $u_0$



# Arten von Lagerströmen

## Vier Arten von Lagerströmen

- Kapazitive Lagerströme
  - Verursachen nach heutigem Kenntnisstand keinen Schaden
- Entladungsströme
  - (Parasitäre) Kapazitäten im Motor → Kapazitiver Spannungsteiler
  - Falls Lagerspannung zu gross → Durchbruch, Lagerstrom
- Zirkulierende Lagerströme
  - Erdströme erzeugen hochfrequenten Fluss → Wellenspannung
  - Falls Lagerspannung zu gross → Durchbruch, Lagerstrom
- Rotorerdströme
  - Erdströme fliessen über Gehäuse zur Erde ab.
  - Falls Impedanz zwischen Gehäuse und Erde grösser als Impedanz zwischen Rotor und Erde → Lagerspannung
  - Falls Lagerspannung zu gross → Durchbruch, Lagerstrom

# Arten von Lagerströmen

## Welche Art von Lagerstrom tritt auf?

- Mögliche Lagerstrom-Typen in Abhängigkeit der Motorgrösse

| Motorgrösse<br><br>Stromtyp | Klein<br>ca. <10kW | Mittel<br>10…100kW | Gross<br>ca. > 100kW |
|---|---|---|---|
| Entladungs-strom | Ja | Ja | Nein |
| Zirkulierender Strom | Nein | Ja | Ja |
| Rotorerd-strom | Ja, bei Rotorerdung | Ja, bei Rotorerdung | Ja, bei Rotorerdung |

# Folgen von Lagerströmen

- Auswirkungen:
  - Schmilzt Oberfläche der Lagerlaufbahn und verursacht Krater
    → Geräuschentwicklung und Vibrationen
  - Verursacht Verschleiss im Schmiermittel
    → Reduzierte Wirksamkeit des Schmiermittels
  - «Langfristig»: Vorzeitiger Lagerausfall
- Kosten durch vorzeitigen Lagerausfall
  - Direkt: Erhöhte Kosten durch Lager- oder Motorwechsel
    Kosten durch Schäden an Gesamtantrieb (z.B. Last)
  - Indirekt: Kosten, welche durch den **Stillstand des Motors** verursacht werden
- Bei unveränderter Installation treten nach dem Lager-/Motorenwechsel mit hoher Wahrscheinlichkeit wieder schädliche Lagerströme auf

Bemerkung: Lagerströme treten (meist) nicht erst nach längerer Zeit auf, sondern sind über die gesamte Laufzeit vorhanden

# Testsystem Gegenmassnahmen

**Langzeit Tests mit elf typengleichen Motor/Umrichter Systemen**

- Aufbau von elf Motor/Umrichter Systemen kleiner Leistung mit Variation:
  - Erdungsarten
  - Kabel
  - Schutzbeschaltungen
- Elf Monate Dauerbetrieb
  mit kontinuierlicher Vibrationsmessung und wöchentlicher Wellenspannungs- und Gleichtaktspannungs-Messung
- Optische Auswertung der Lager am Ende des Langzeitversuches

# Messung von Lagerströmen

## Messungen ohne Systemeingriff

- Messung der Lagerspannung
  - Beispiele folgende Folien
  - Nicht berührungslos

- Radiofrequenz-Messung
  - Energie sehr klein
  - Messungen bei Versuchen an der ZHAW mit 1.5 kW Motoren → Probe immer „negativ“

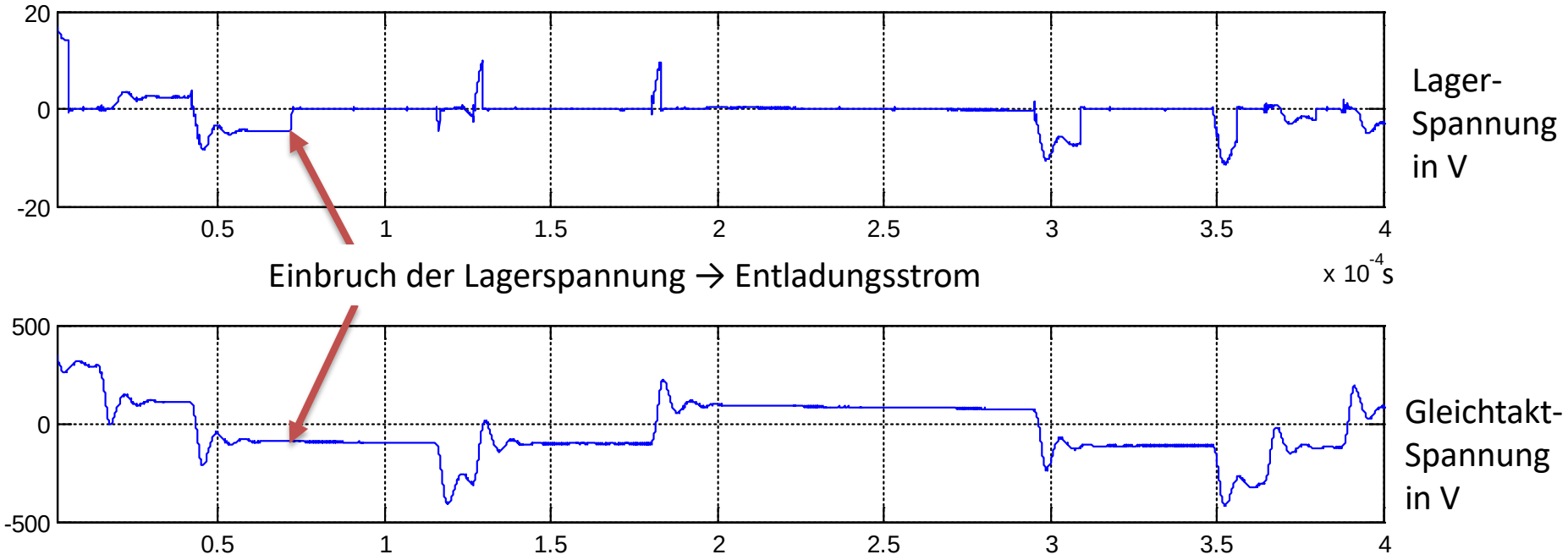
- Messung des Erdstromes
  - Funktioniert nicht bei Entladungsströmen
  - Je nach Anlage nicht einfach zugänglich
- Vibrationsmessung
  - Misst nicht die Lagerströme an sich, sondern erst den Schaden

Quellen Bilder von oben nach unten: www.est-aegis.com , www.skf.com, www.hansfordsensors.com

# Messung von Lagerströmen

## Entladungsströme und Rotorerdströme bei 1.5 kW Motor

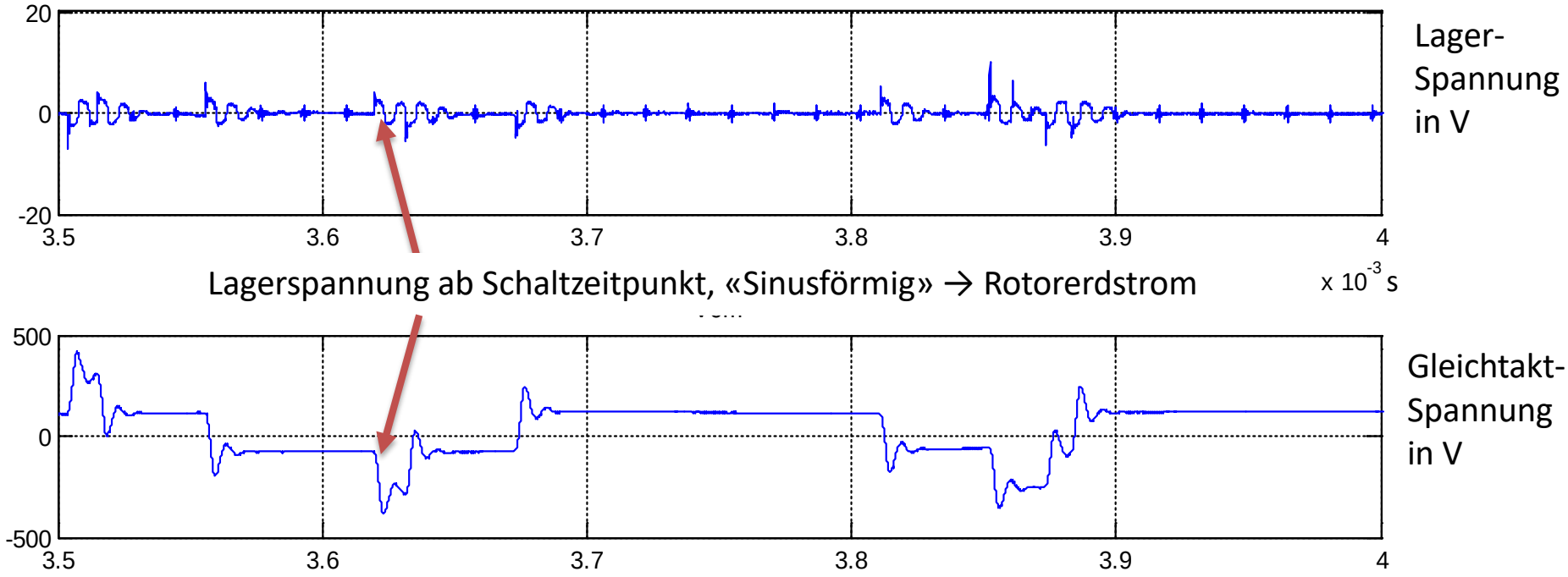
- Beispiel Rotor **nicht geerdet**, keine Gegenmassnahmen



# Messung von Lagerströmen

## Entladungsströme und Rotorerdströme bei 1.5 kW Motor

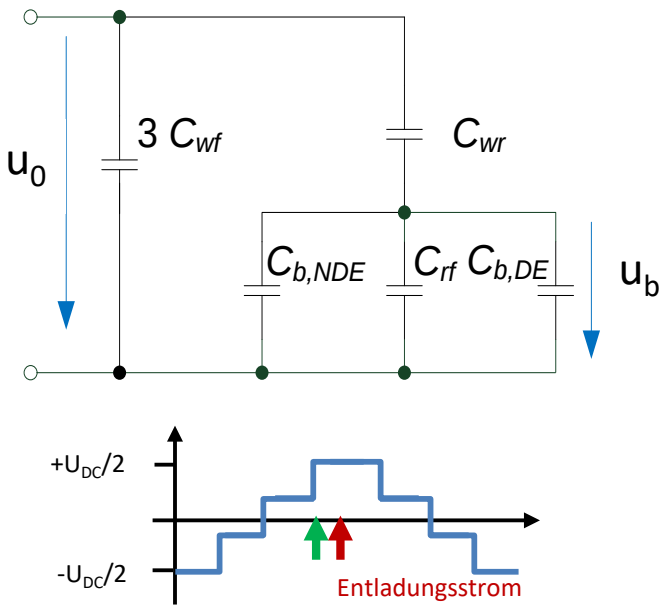
- Beispiel Rotor **geerdet**, keine Gegenmassnahmen



# Gegenmassnahmen

## Entladungsströme (kleine Motoren)

- Gegenmassnahmen:
  - Zwei (!) Hybrid- / Keramiklager
  - Ein / zwei Bürstenringe
  - Leitfähiges Schmiermittel
  - Filter- oder Steuerungsmuster, die die Gleichtaktspannung unterdrücken




- Verzögerung von Schäden:
  - Filter- oder Kontrollmuster, die die Gleichtaktspannung reduzieren
  - Schaltfrequenz reduzieren

- Gleichtaktdrosseln verhindern Entladungsströme nicht!
- «Gute Erdung» verhindert Entladungsströme nicht!

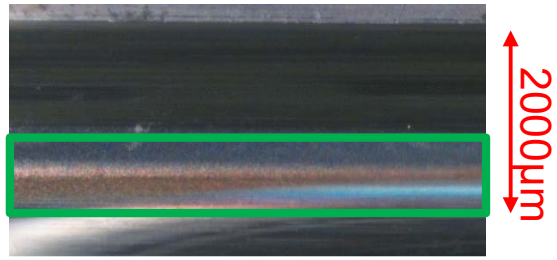
# Gegenmassnahmen

## Entladungsströme – Beispiele nach elf Monaten Laufzeit

- Motor im Leerlauf (keine Rotorerdströme)
- Stereomikroskop-Aufnahme des Lager-Aussenringes

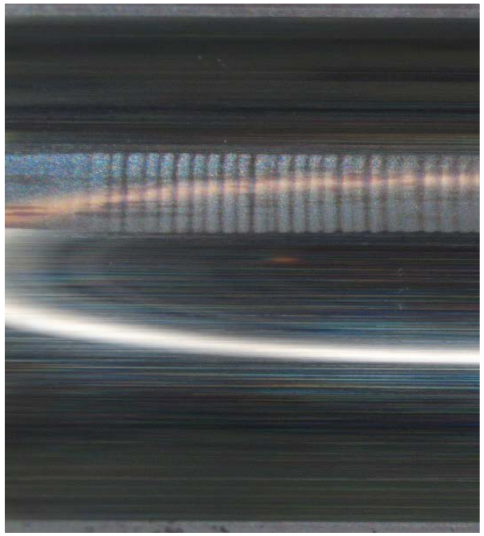
Motor ohne Schutz

- Graue Spur
- Leichter Schaden
- Elektronenmikroskop: Krater




Motor mit schlecht gewählter Gleichtaktdrossel

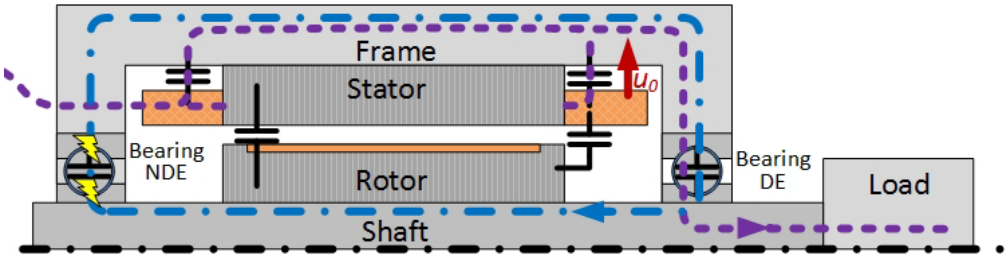
- Riffel
- Deutlicher Schaden
- Elektronenmikroskop: Krater



# Gegenmassnahmen

## Zirkulierende Lagerströme (grosse Motoren)

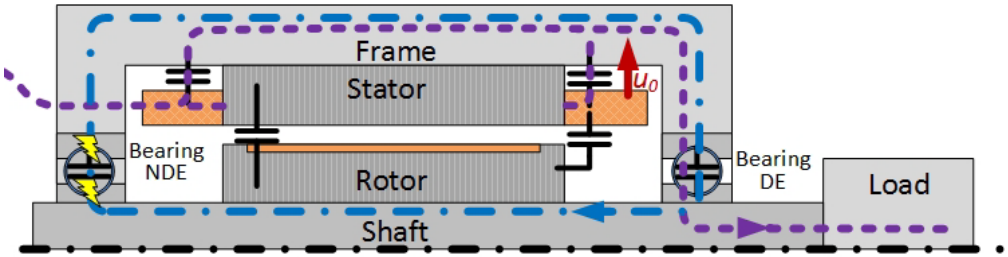
- Gegenmassnahmen:
  - Zwei Bürstenringe
  - Ein / zwei isolierte Lager,
  - Ein / zwei Hybridlager
  - Gleichtaktdrossel
  - dv/dt-Filter
  - Filter- oder Steuerungsmuster, die die Gleichtaktspannung unterdrücken




- Verzögerung von Schäden:
  - Filter- oder Kontrollmuster, die die Gleichtaktspannung reduzieren.
  - Schaltfrequenz reduzieren

# Gegenmassnahmen

## Rotorerdströme (alle Motoren mit geerdeten Rotor)




- Gegenmassnahmen:
  - Abgeschirmtes Kabel (Schirmung beidseitig angelegt)
  - Filter- oder Steuerungsmuster, die die Gleichtaktspannung unterdrücken.
  - dv/dt-Filter
  - Gleichtaktdrossel
  - Ein / zwei Bürstenringe
  - Zwei isolierte Lager
  - Zwei Hybridlager

- Verzögerung von Schäden:
  - Filter- oder Kontrollmuster, die die Gleichtaktspannung reduzieren.
  - Schaltfrequenz reduzieren

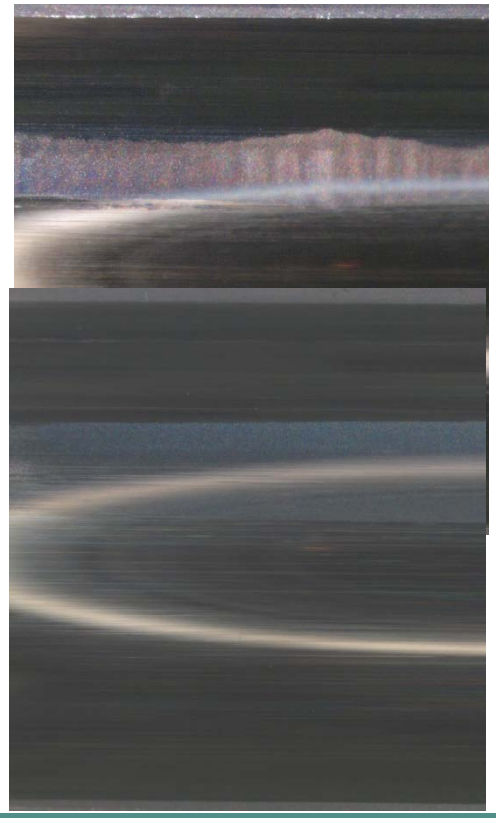
# Gegenmassnahmen

## Rotorerdstrom – Beispiele nach elf Monaten Laufzeit

- Motor mit geerdetem Rotor
- Stereomikroskop-Aufnahme des Lager-Aussenringes

Motor ohne Gehäuse-Erdung
- Riffel
- Deutlicher Schaden
- Elektronenmikroskop: Krater

Motor mit Gehäuse-Erdung über geschirmtes Kabel
- Leichte Graue Spur
- Kein Schaden



2000µm

# Zusammenfassung

- Lagerströme können auch bei Motoren kleiner Leistung auftreten
- Gegenmassnahmen hängen von der Art des Lagerstromes ab

| Massnahme | Entladungs-Lagerströme | Zirkulierende Lagerströme | Rotor-Erdströme |
|---|---|---|---|
| **Hybrid- oder Keramiklager (KL)** | Wirksam bei zwei Hybridlagern/KL | **Wirksam bei einem Hybridlager/KL** | Wirksam bei zwei Hybridlagern/KL |
| **Filter oder Pulsmuster mit reduzierter $u_0$** | Wirksam | Wirksam | Wirksam |
| **Filter oder Pulsmuster mit reduzierter Änderung (→ Steilheit) von $u_0$** | Nicht wirksam | Wirksam | Wirksam |
| **Kohlebürsten, Wellenerdungsringe** | **Wirksam bei einer Bürste/ einem Ring** | Wirksam bei zwei Bürsten/ Ringen | Wirksam bei einer Bürste / einem Ring |
| **Gleichtaktdrosseln** | Nicht wirksam | Wirksam bei korrekter Auslegung | Wirksam bei korrekter Auslegung |
| **Gute hochfrequente Gehäuse-Erdung** | Kaum Einfluss | Kaum Einfluss | **Wirksam** |

# Frage- und Diskussionsrunde:

**Stellen Sie jetzt Ihre Fragen an Hanna Putzi-Plesko**

# Topmotors Webinare 2019

- **Topmotors Webinar Nr. 11**

  **Dienstag, 5. November 2019, 10:00 – 11:00**

  «Zusatznutzen von Effizienzmassnahmen in der Industrie»

  Rita Werle, Topmotors

- **Themeninputs Topmotors Webinare 2020**

  **www.topmotors.ch/webinare**

# Motor Summit 2019 Switzerland

- Datum: 4. Dezember 2019
- Ort: Kongresszentrum Kreuz, Bern
- Sprachen: DE/FR
- www.motorsummit.ch

# Vielen Dank!

## Haben Sie Fragen oder Anregungen?

Organisation und Moderation

Carole Tornay
Energie Zukunft Schweiz
c.tornay@ezs.ch

Programmleitung

Rolf Tieben
Impact Energy AG
rolf.tieben@impact-energy.ch