
Messbericht

New Stepper gegenüber konventionellem Schrittmotor

Projekt: New Stepper
Dokument: stp-vg.0-50.01

Autor
gun

Zuständig
gun

Datum
21.10.01

Ablage
stp-vg.0-50.01-00.doc

Änderungsverzeichnis

| Datum | Visum | Kapitel | Beschreibung | Version |
|----------|-------|---------|--------------|---------|
| 21.10.02 | gun | alle | erstellt | 00 |
| | gun | alle | geprüft | 00 |
| | gun | alle | Freigabe | 00 |

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|---|----------|
| 1 | Einleitung | 1 |
| 1.1 | Zusammenfassung..... | 1 |
| 1.2 | Abkürzungen..... | 1 |
| 1.3 | Versuchsaufbau | 2 |
| 1.4 | Messobjekte..... | 3 |
| 1.4.1 | Messobjekt 1: Konventionelle Schrittmotor-Achse..... | 3 |
| 1.4.2 | Messobjekt 2: New Stepper-Achse | 3 |
| 1.5 | Mess-Equipment | 4 |
| 1.5.1 | KO..... | 4 |
| 1.5.2 | Simulink | 4 |
| 2 | Randbedingungen..... | 5 |
| 2.1 | Spannungsversorgung | 5 |
| 2.2 | Verfahrprogramm | 5 |
| 2.3 | Achsen..... | 6 |
| 3 | Durchgeführte Messungen..... | 7 |
| 3.1 | Momentanleistungsverlauf..... | 7 |
| 3.2 | Zyklusenergieaufnahme in Abhängigkeit von der Einschaltdauer | 9 |
| 3.3 | Drehzahlverlauf für einen Zyklus | 13 |
| 3.4 | Betriebstemperaturen (Kühlkörper, Motorgehäuse)..... | 19 |
| 3.4.1 | Temperaturmessung mit ED von 26.83%..... | 21 |
| 3.4.2 | Temperaturmessung im Stillstand..... | 23 |
| 3.5 | Kummulierte Zyklusenergie (Dauereinsatz während 10000sek = 2.78h) | 24 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 3.5 | Leistung in Funktion von der Versorgungsspannung | 26 |
| 3.6 | Verzögerung beim Ausschalten der Versorgungsspannung | 27 |
| 4 | Berechnungen / abgeleitete Messgrößen..... | 29 |
| 4.1 | Momentverlauf für einen Zyklus..... | 29 |
| 4.2 | Einschaltdauer (ED) in % | 29 |
| 4.3 | Mechanische Zyklusenergie | 30 |
| 4.4 | Zykluswirkungsgrad..... | 30 |
| 4.5 | Zykluswirkungsgrad in Abhängigkeit von der Einschaltdauer (ED) | 31 |
| 5 | Verbesserungspotential beim New Stepper | 33 |
| 5.1 | Überschwingen des Reglers bei kleiner Versorgungsspannung | 33 |
| 5.2 | Instabiler Regler bei zu kleiner Versorgungsspannung..... | 34 |
| 5.3 | Instabiler Regler wenn Freigabe vor Versorgungsspannung anliegt | 34 |
| 6 | Abbildungsverzeichnis | 35 |

1 Einleitung

1.1 Zusammenfassung

Es werden zwei mechanisch und motorisch identische Achsen miteinander verglichen. Dabei wird die Energieaufnahme der Motortreiber direkt miteinander verglichen. Beim einen Treiber handelt es sich um einen konventionellen Standard Schrittmotortreiber, beim anderen um einen geregelten Servotreiber (New Stepper).

Verglichen werden:

- Momentanleistungsverlauf während einem Zyklus
- Zyklusenergieaufnahme
- Drehzahlverlauf für einen Zyklus
- Betriebstemperaturen (Kühlkörper, Motorgehäuse)
- Kumulierte Zyklusenergie (Dauereinsatz während 2.78h)
- Aufgenommene Leistung bei Stillstand in Abhängigkeit von der Versorgungsspannung

Berechnet werden:

- Einschaltdauer (ED) in %
- Mechanische Zyklusenergie
- Zykluswirkungsgrad in Abhängigkeit von der Einschaltdauer (ED)

Der Momentverlauf während einem Zyklus kann leider nicht berechnet werden, da die gemessene Leistung extrem schwingt.

1.2 Abkürzungen

AE: Anzeigeeinheit (Entspricht einem Schrittmotorpuls)

ED: Einschaltdauer

J = Joule, 1J = 1Ws

KSM: Konventioneller Schrittmotor

NS: New Stepper

IMS: Institut für mechatronische Systeme

ZHW: Zürcher Hochschule Winterthur

1.3 Versuchsaufbau

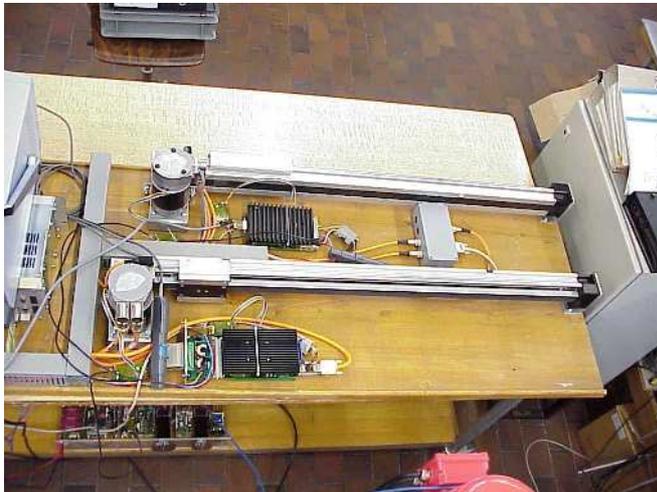


Abbildung 1:
Versuchsaufbau von oben betrachtet

Beide Achsen wurden auf einem Holzbrett montiert. Bei der unteren Achse handelt es sich um die konventionell angesteuerte Schrittmotorachse.



Abbildung 2:
Versuchsaufbau von rechts vorne betrachtet

Beide Achsen werden mit dem gleichen Rohwedder PA-Control über dieselben Signalleitungen angesteuert.

1.4 Messobjekte

1.4.1 Messobjekt 1: Konventionelle Schrittmotor-Achse

Achse:



Abbildung 3:
 Daten der Achse mit dem konventionell angesteuerten Schrittmotor

Motor:

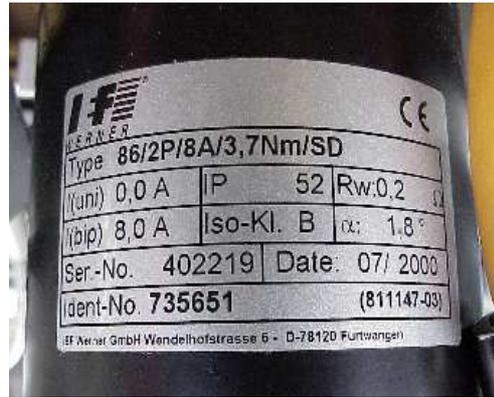


Abbildung 4:
 Konventionell angesteuertes Schrittmotor

1.4.2 Messobjekt 2: New Stepper-Achse

Achse:



Abbildung 5:
 Daten der New Stepper-Achse

Motor:

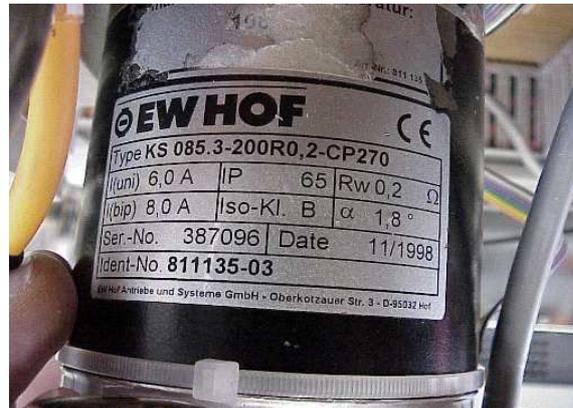


Abbildung 6:
 New Stepper Motor

1.5 Mess-Equipment

1.5.1 KO



Abbildung 7:
Verwendeter KO

1.5.2 Simulink

Zur Ermittlung der Schlitten-Geschwindigkeit und –Beschleunigung wurde Matlab in Verbindung mit Simulink verwendet.

Matlab / Simulink Version 5.3.1.29215a
DSpace Version 1.1

2 Randbedingungen

2.1 Spannungsversorgung

Die Spannungsversorgung besteht aus einem galvanisch getrennten Trafo mit Gleichrichter und Kondensator. Diese Schaltung hat eine Ausgangsspannung von 140V DC, welche für die Spannungsversorgung von beiden Treibern benötigt wird.

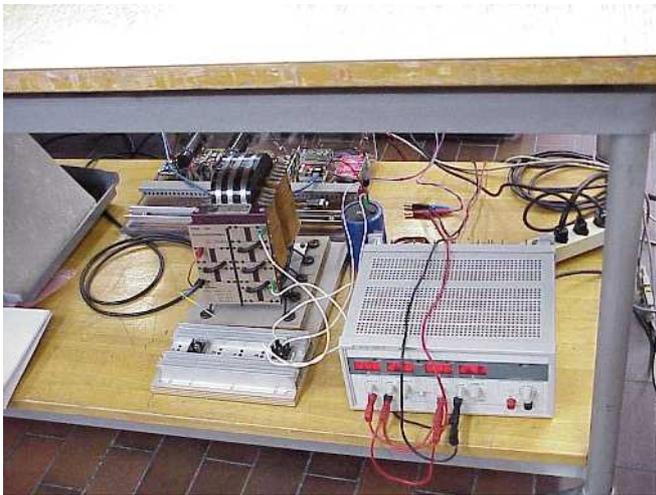


Abbildung 8:
Transformator, Diodengleichrichter, Kondensator

2.2 Verfahrogramm

Werden im folgenden Bericht bei einer Messung keine Angaben über das Verfahrogramm gemacht so gilt das folgende:

AE 0 .. AE 5000
1sek. warten
AE 5000 .. AE 10000
1sek. warten
AE 10000 .. AE 0
1sek. warten

2.3 Achsen

Leider sind die Schlitten der beiden Achsen in Masse und Grösse unterschiedlich. Deshalb musste an der konventionell angesteuerten Schrittmotor-Achse eine zusätzliche Masse von 1kg angebracht werden.

3 Durchgeführte Messungen

3.1 Momentanleistungsverlauf

Verfahrgeschwindigkeit konstant: 25'000AE/s
Beschleunigung konstant: 250'000AE/s²

Verfahrprogramm:
AE 0 .. AE 5000
1sek. warten
AE 5000 .. AE 10000
1sek. warten
AE 10000 .. AE 0
1sek. warten

Die Einschaltdauer (ED) beträgt 26.83%.

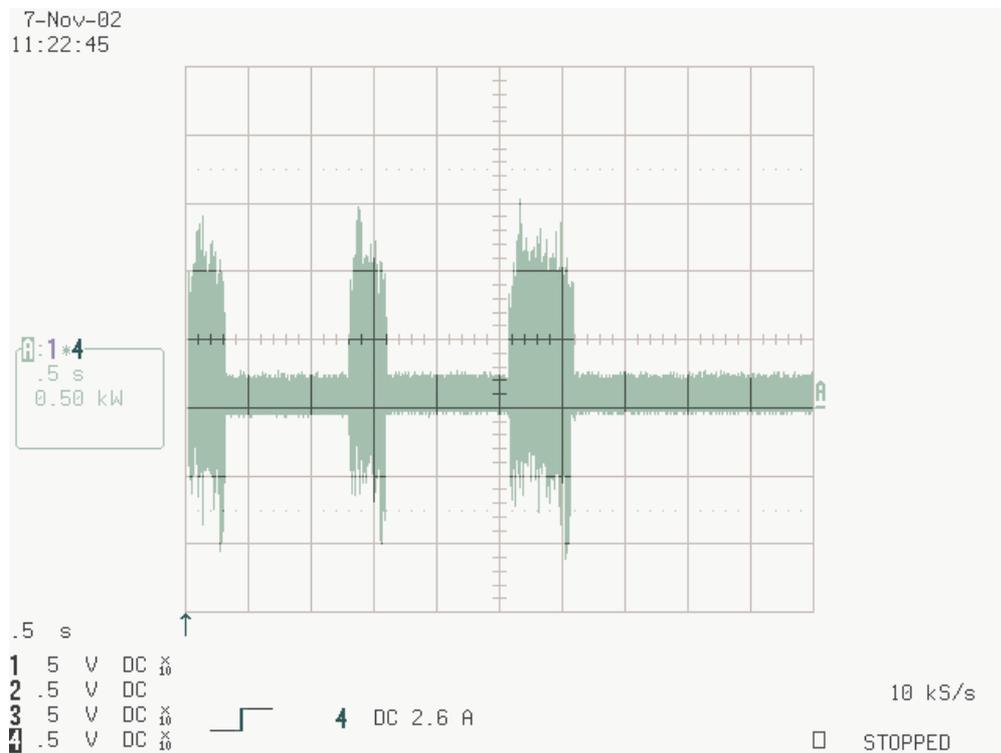


Abbildung 9:
Leistung KSM (A)

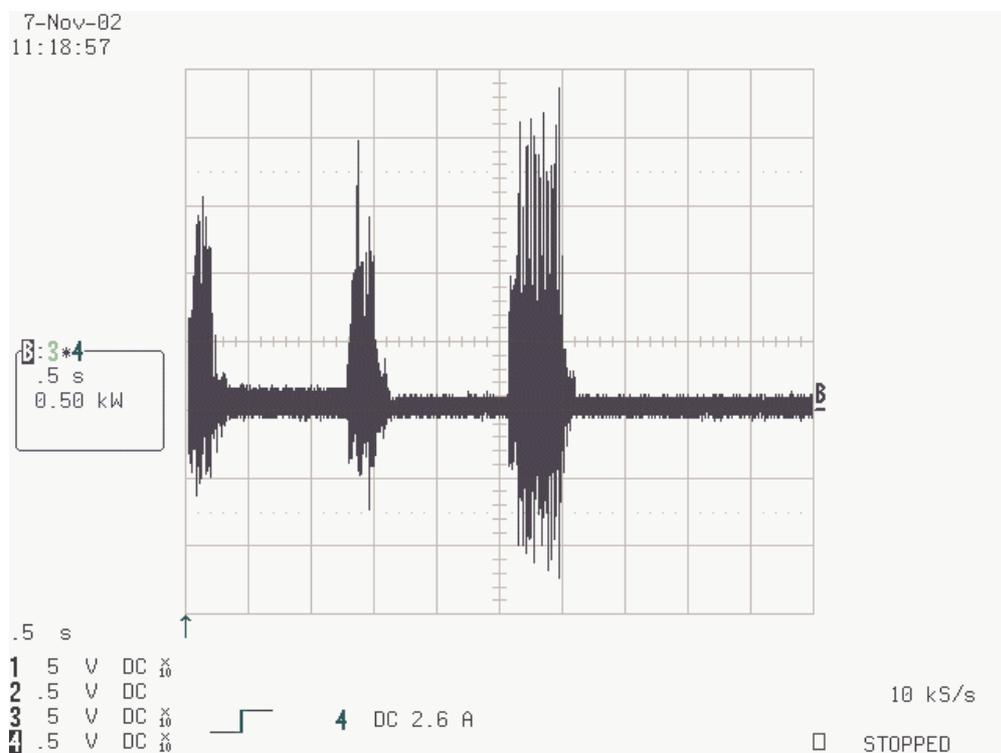


Abbildung 10:
Leistung NS (B)

3.2 Zyklusenergieaufnahme in Abhängigkeit von der Einschaltdauer

Verfahrgeschwindigkeit konstant: 25'000AE/s

Beschleunigung konstant: 250'000AE/s²

Verfahrprogramm:

AE 0 .. AE 5000

Zeit t warten

AE 5000 .. AE 10000

Zeit t warten

AE 10000 .. AE 0

Zeit t warten

Mit der Zeit t wird die Einschaltdauer (ED) verändert

Als Beispiel einer Messung sind die aufgenommenen Werte von je einer Messung mit t = 1sek aufgeführt:

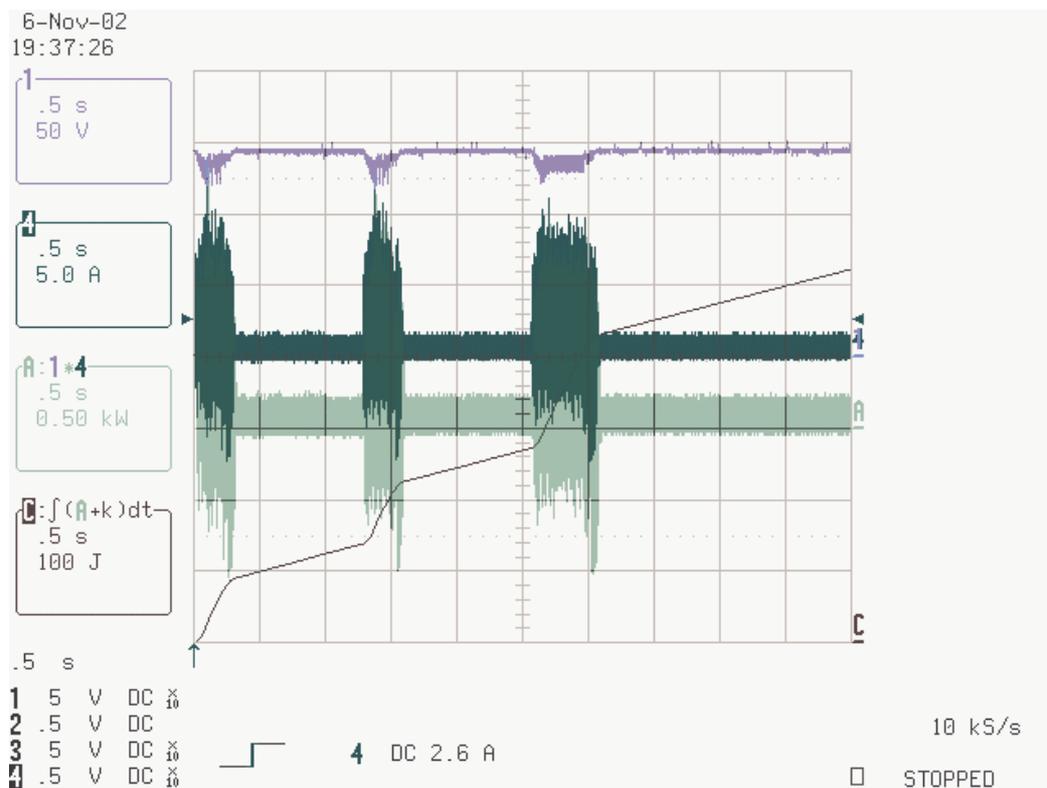


Abbildung 11:
KSM Spannung (1), Strom (2), Leistung (A), Energie (C), t = 1sek

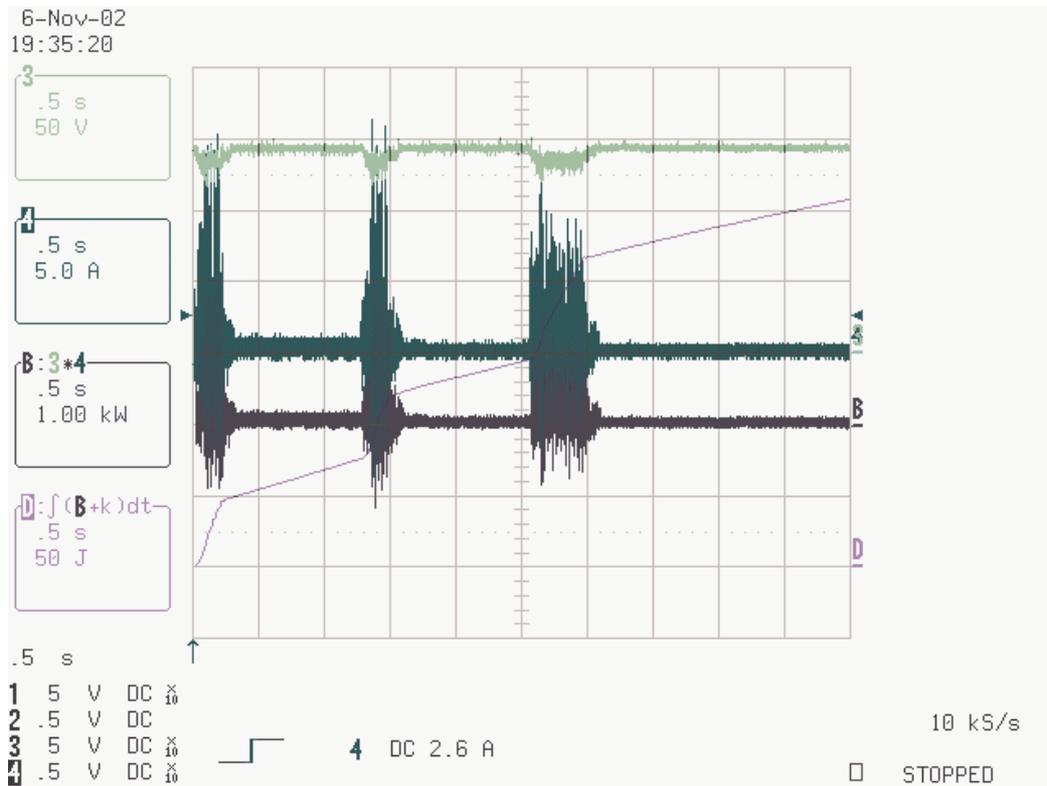


Abbildung 12:
NS Spannung (3), Strom (4), Leistung (B), Energie (D), t = 1sek

Tabelle 1: Zyklusenergieaufnahme in Abhängigkeit von der Einschaltdauer

| Totale Wartezeit (3*t) in s | Zykluszeit in s | ED in % | Energieaufnahme NS in J | Energieaufnahme KSM in Ws | Faktor mit Elektronik | Leistungsaufnahme NS in Wrms | Leistungsaufnahme KSM in Wrms | Energieaufnahme NS ohne Elektronik in Ws | Energieaufnahme KSM ohne Elektronik in Ws | Faktor ohne Elektronik |
|-----------------------------|-----------------|---------|-------------------------|---------------------------|-----------------------|------------------------------|-------------------------------|--|---|------------------------|
| 60 | 61.1 | 1.80 | 1600 | 3100 | 1.94 | 12.32 | 9.25 | 847.25 | 2534.83 | 2.99 |
| 30 | 31.1 | 3.54 | 900 | 1650 | 1.83 | 12.32 | 9.25 | 516.85 | 1362.33 | 2.64 |
| 15 | 16.1 | 6.83 | 550 | 1060 | 1.93 | 12.32 | 9.25 | 351.65 | 911.08 | 2.59 |
| 6 | 7.1 | 15.49 | 330 | 620 | 1.88 | 12.32 | 9.25 | 242.53 | 554.33 | 2.29 |
| 3 | 4.1 | 26.83 | 240 | 480 | 2.00 | 12.32 | 9.25 | 189.49 | 442.08 | 2.33 |
| 2.25 | 3.35 | 32.84 | 220 | 460 | 2.09 | 12.32 | 9.25 | 178.73 | 429.01 | 2.40 |
| 1.5 | 2.6 | 42.31 | 185 | 380 | 2.05 | 12.32 | 9.25 | 152.97 | 355.95 | 2.33 |
| 0.75 | 1.85 | 59.46 | 186 | 350 | 1.88 | 12.32 | 9.25 | 163.21 | 332.89 | 2.04 |
| 0.3 | 1.4 | 78.57 | 153 | 340 | 2.22 | 12.32 | 9.25 | 135.75 | 327.05 | 2.41 |
| 0.15 | 1.25 | 88.00 | 153 | 340 | 2.22 | 12.32 | 9.25 | 137.60 | 328.44 | 2.39 |
| 0 | 1.1 | 100.00 | 150 | 340 | 2.27 | 12.32 | 9.25 | 136.45 | 329.83 | 2.42 |

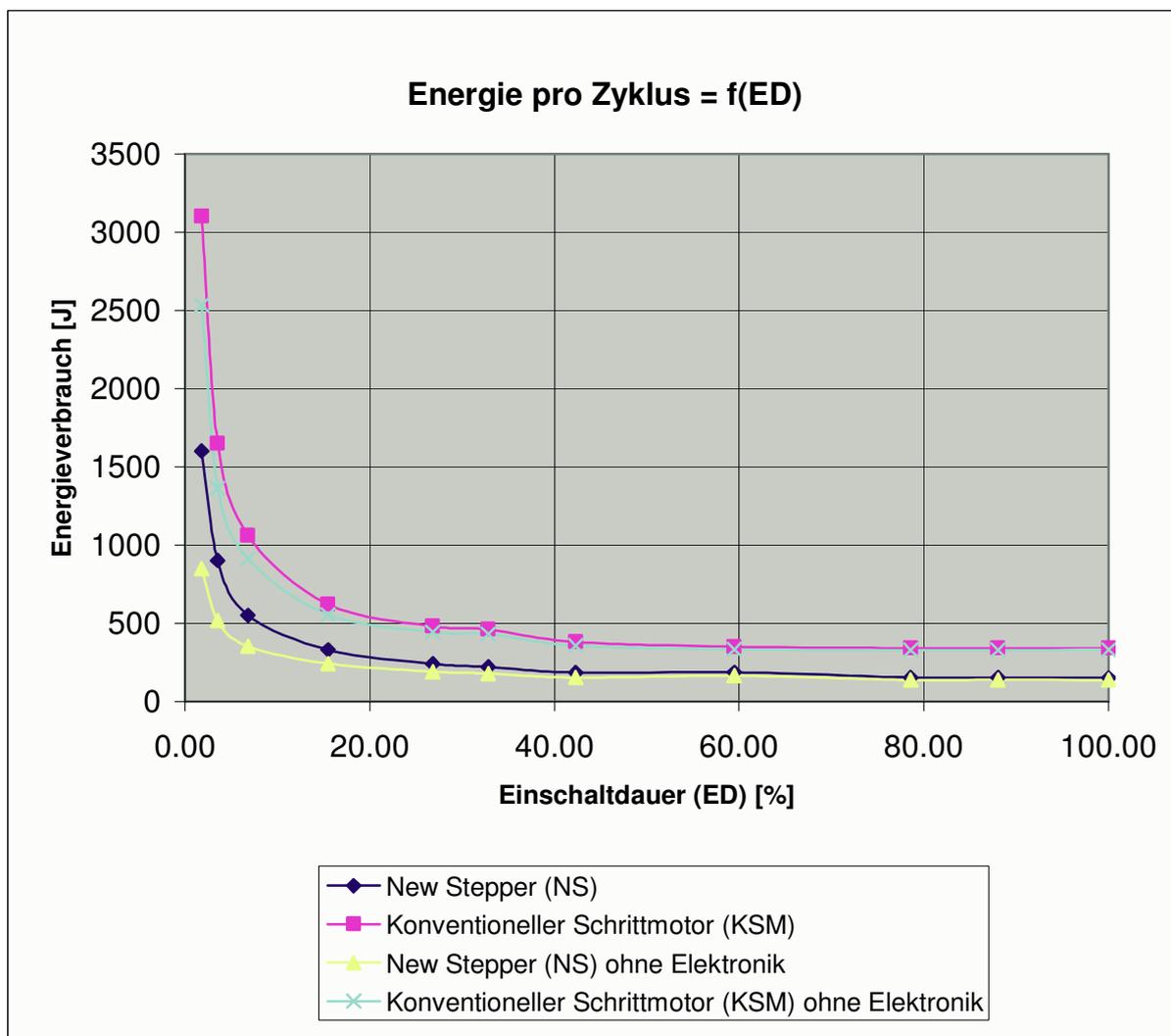


Abbildung 13:
 Energie pro Zyklus in Abhängigkeit von der Einschaltdauer

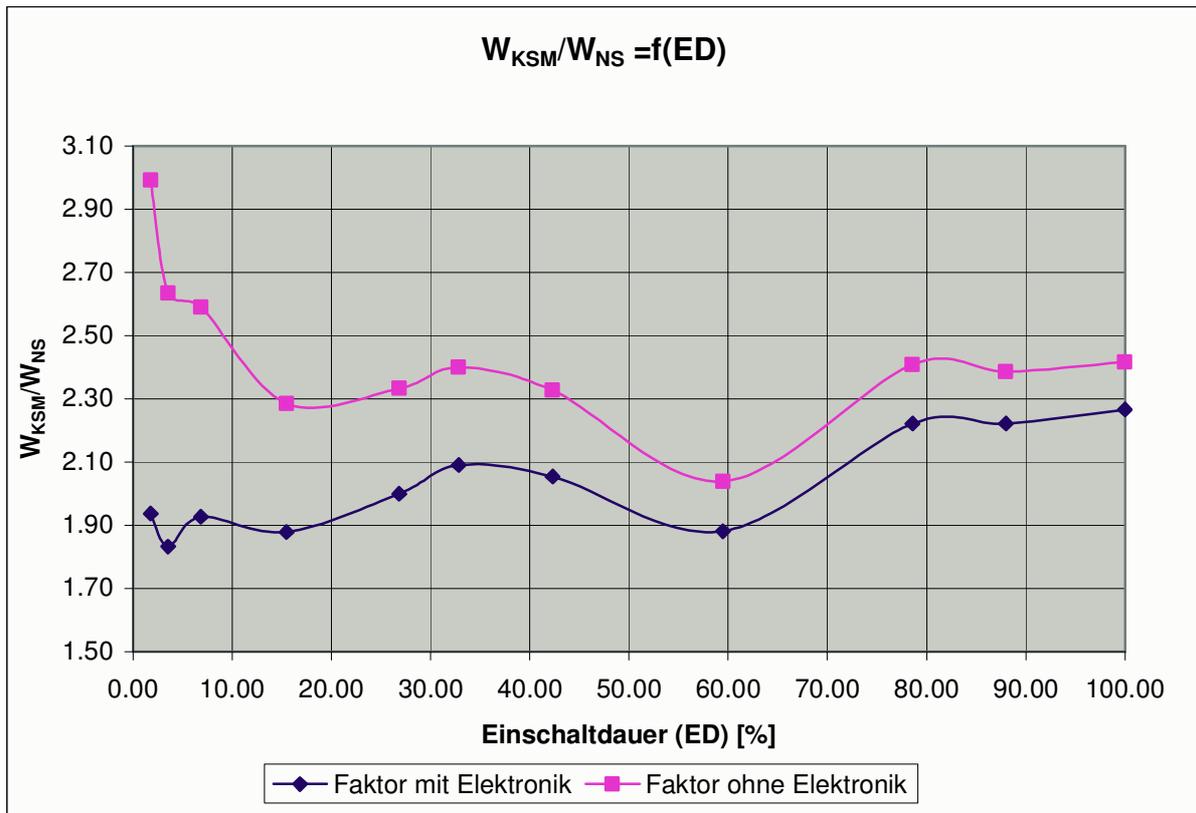


Abbildung 14:
 W_{KSM}/W_{NS} in Abhängigkeit von der Einschaltdauer

3.3 Drehzahlverlauf für einen Zyklus

Die Drehzahl wird mittels dem auf der Motorwelle angebrachten Inkrementalgeber erfasst. Beim konventionellen Schrittmotor ist ein Inkrementalgeber mit einer Impulszahl von 50 montiert, beim New Stepper einer mit 1000 Impulsen. Dieses Signal wird in Simulink / DSpace 4-fach interpoliert und auf die Anzeigeeinheit umgerechnet. Aufgrund der kleinen Impulszahl des KSM Inkrementalgebers kann die KSM Achs-Position natürlich auch nicht gleich präzise angegeben werden wie die NS Achs-Position.

Verfahrprogramm:

Die Verfahrgeschwindigkeit und die Beschleunigung werden verändert. Die Maximale Geschwindigkeit, beschränkt durch die Rohwedder Steuerung, beträgt: 50'000AE/s.

Verfahrprogramm:

```
AE 0 .. AE 5000  
0.5sek. warten  
AE 5000 .. AE 10000  
0.5sek. warten  
AE 10000 .. AE 0  
0.5sek. warten
```

Bei den nachfolgend aufgeführten Grafiken sind die Farben der Messkurven folgendermaßen definiert:

rot: Geschwindigkeit des KSM in AE/s
schwarz: Position des KSM in AE
blau: Geschwindigkeit des NS in AE/s
grün: Position des NS in AE

Mit dieser Messung sollen die Grenzen der beiden unterschiedlichen Achstreiber bezüglich Geschwindigkeit und Beschleunigung aufgezeichnet werden.

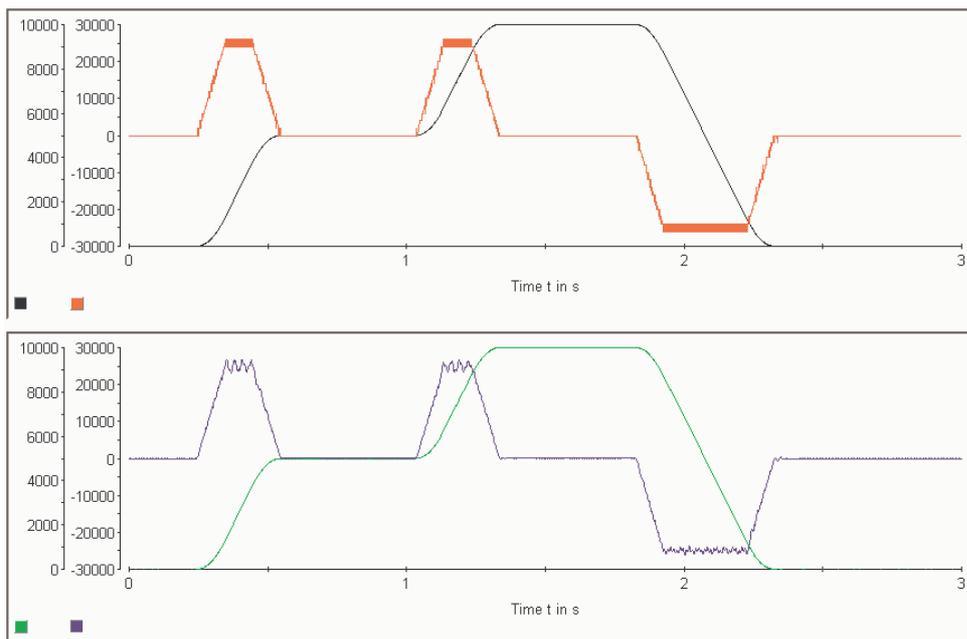


Abbildung 15:
Geschwindigkeit 25'000AE/s, Beschleunigung 250'000AE/s²

In der obigen Grafik ist gut ersichtlich, dass die Geschwindigkeit von 25'000AE/s mit der gewählten Beschleunigung bei beiden Achsen erreicht wird. Die Geschwindigkeit des KSM hat aufgrund der beschränkten Impulzzahl des KSM - Inkrementalgebers nicht die gleich feine Auflösung wie die des NS.

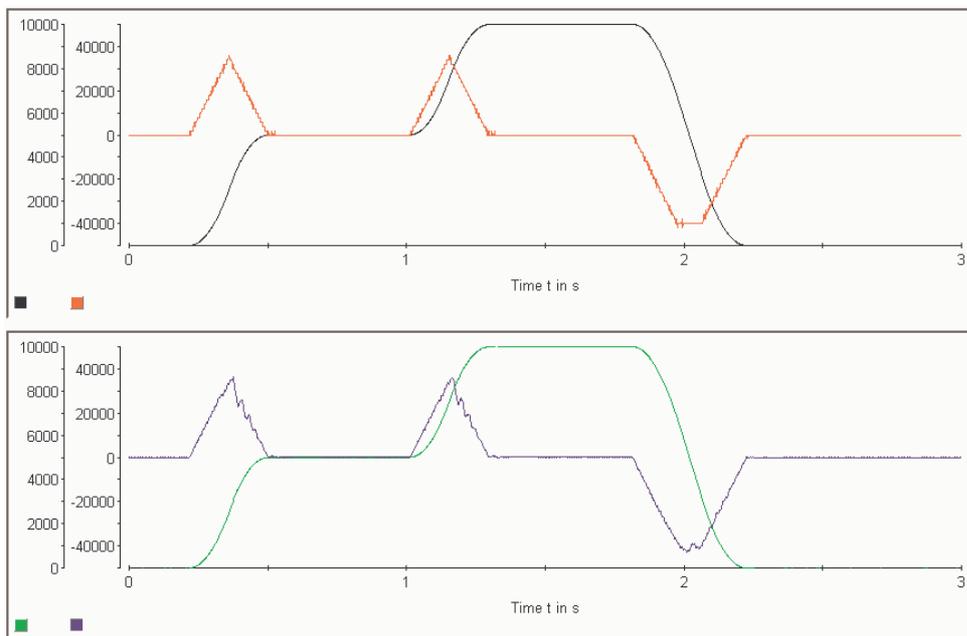


Abbildung 16:
Geschwindigkeit 40'000AE/s, Beschleunigung 250'000AE/s²

Bei dieser Grafik kann die Geschwindigkeit nur beim Verfahrensweg von AE10000 bis AE0 erreicht werden. Gut zu erkennen ist, dass beim NS Treiber die Geschwindigkeit vor allem beim Verzögern zeitweise leicht schwingt.

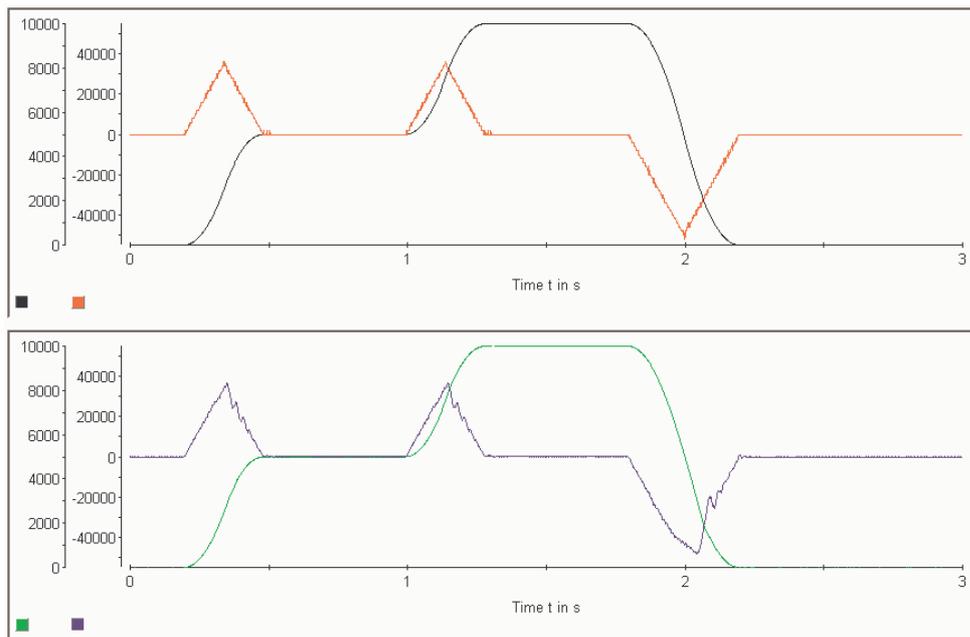


Abbildung 17:
 Geschwindigkeit 50'000AE/s, Beschleunigung 250'000AE/s²

Die Geschwindigkeit von 50'000AE/s kann auch beim „Rückfahrweg“ nur noch knapp erreicht werden.

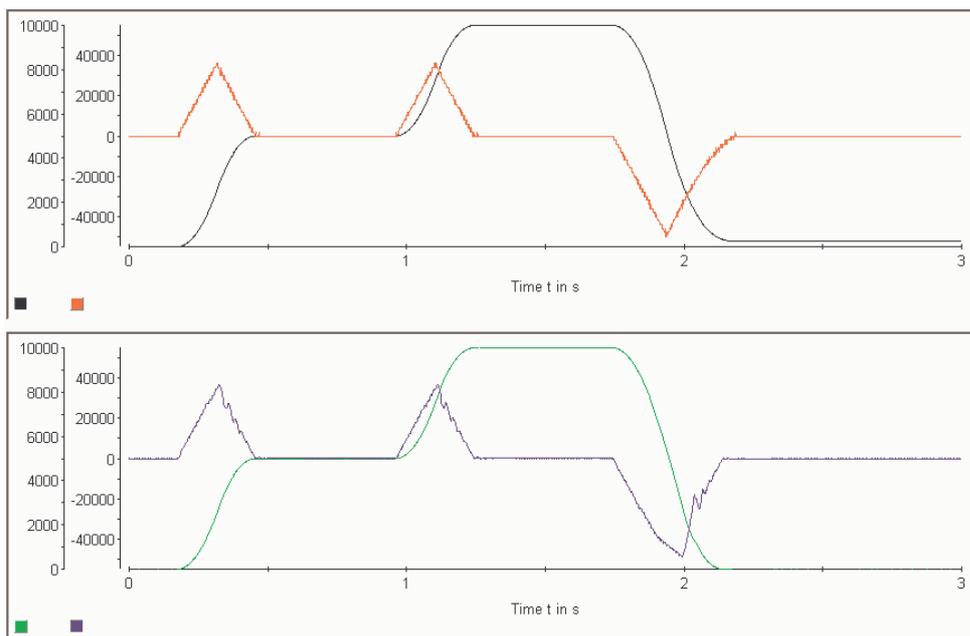


Abbildung 18:
 Geschwindigkeit 50'000AE/s, Beschleunigung 260'000AE/s²

Die Beschleunigung wurde für diese Aufzeichnung leicht auf 260'000AE/s² erhöht. Bei genauem Betrachten erkennt man, dass der KSM Antrieb am Ende des Zyklus bereits Schleppfehler auslöste. Der Schlitten läuft aus und steht nicht mehr genau auf Position 0.

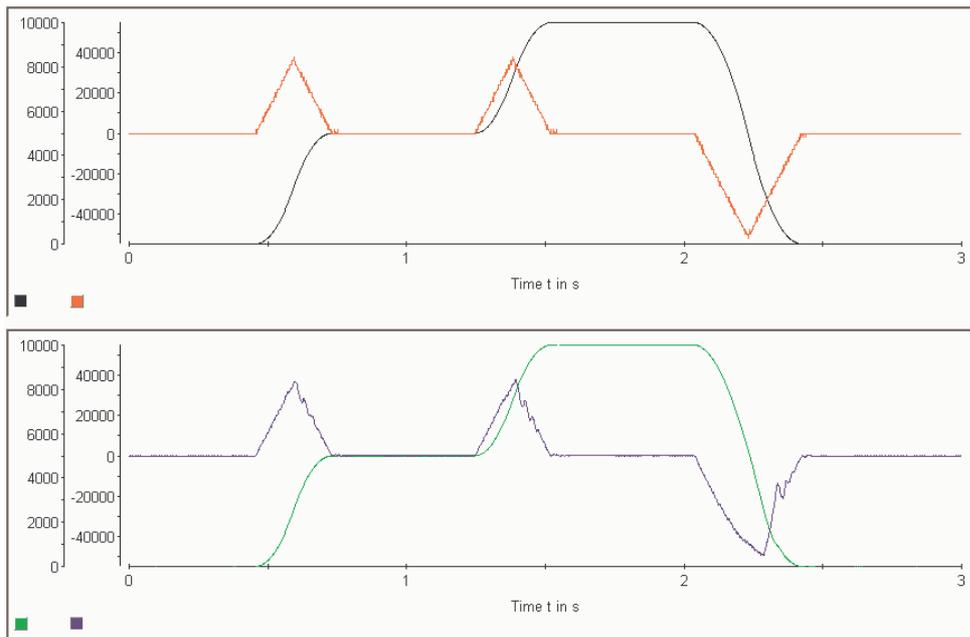


Abbildung 19:
Geschwindigkeit 50'000AE/s, Beschleunigung 270'000AE/s²

Erstaunlicherweise geht der KSM-Treiber bei einer weiteren Erhöhung der Beschleunigung nicht mehr in Schleppfehler.

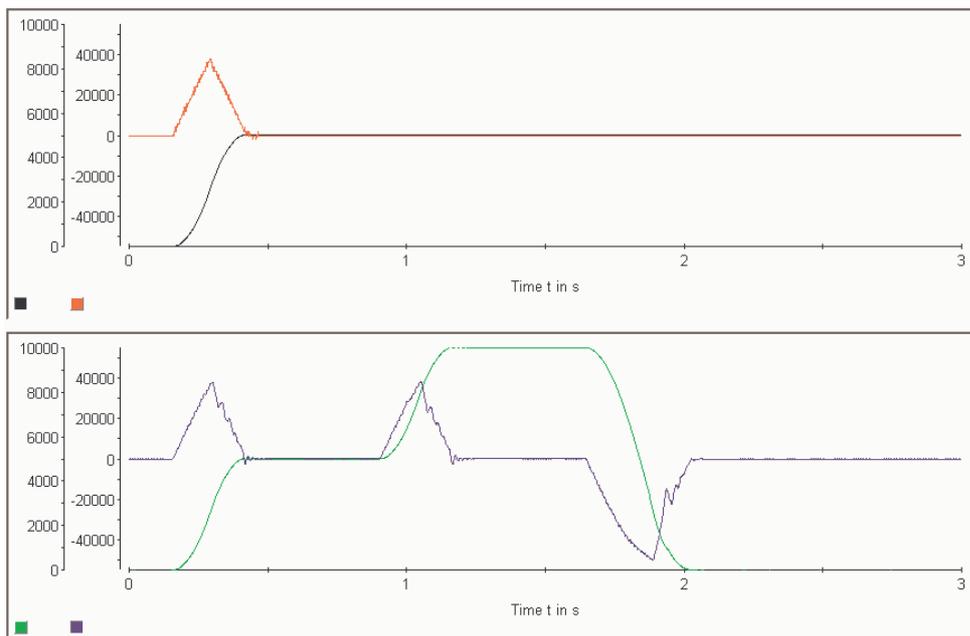


Abbildung 20:
Geschwindigkeit 50'000AE/s, Beschleunigung 280'000AE/s²

Der KSM löst früh Schleppfehler aus, während der NS erstes, leichtes Positions-Überschwingen zeigt.

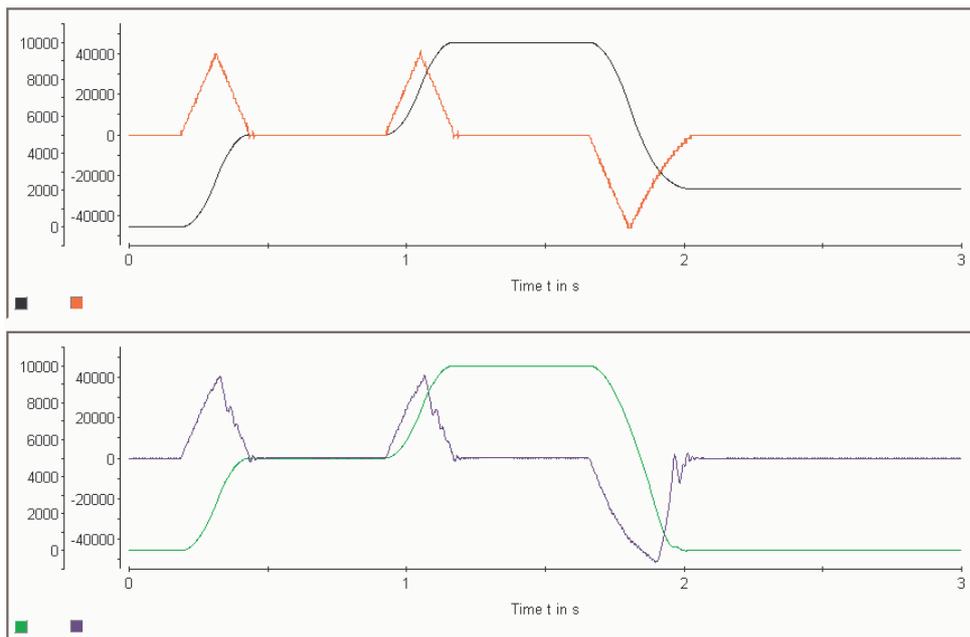


Abbildung 21:
Geschwindigkeit 50'000AE/s, Beschleunigung 320'000AE/s²

Erneutes Schleppfehler-Auslösen des KSM und stärkeres Überschwingen des NS. Der Anzeigebereich der Position wurde deshalb auf AE-1'000 bis AE11'000 erhöht.

Die weiteren Grafiken enthalten lediglich den NS, da der KSM jedesmal sofort Schleppfehler auslöst.

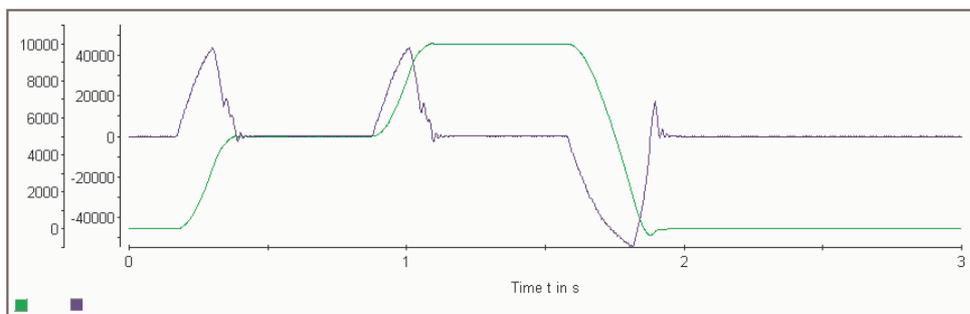


Abbildung 22: Geschwindigkeit 50'000AE/s, Beschleunigung 400'000AE/s²

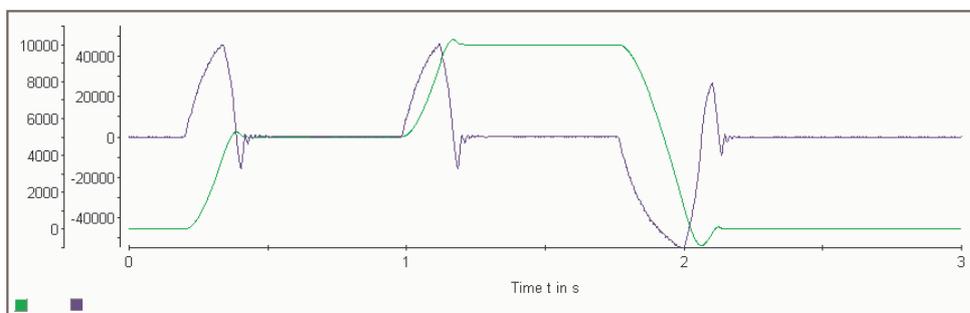


Abbildung 23:
Geschwindigkeit 50'000AE/s, Beschleunigung 500'000AE/s²

Sehr starkes Positions-Überschwingen.

Die nachfolgende Grafik vergleicht das Verhalten der beiden Systeme bei Erhöhen der Soll-Beschleunigung. Das Schleppfehler-Auslösen des KSM wurde durch Ist-Beschleunigung = 0 dargestellt. Die Geschwindigkeit beträgt 50'000AE/s.

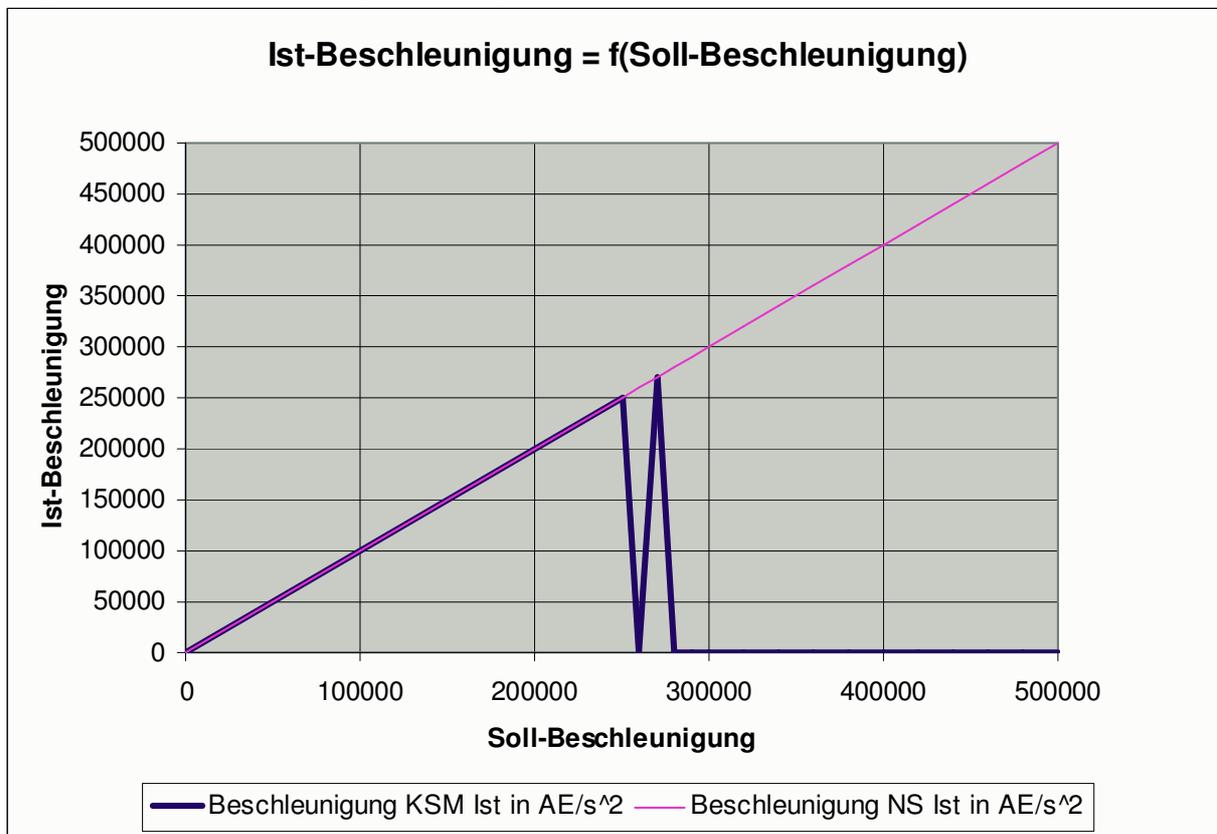


Abbildung 24:
 Beschleunigung in Abhängigkeit von der Soll-Beschleunigung (Geschwindigkeit 50'000AE/s)

3.4 Betriebstemperaturen (Kühlkörper, Motorgehäuse)

Es werden folgende Betriebstemperaturen gemessen:

- Kühlkörper des KSM-Treibers
- KSM-Gehäuse
- Kühlkörper des NS-Treibers
- NS-Gehäuse

Für die Temperaturmessungen wurde die vom Institut für mechatronische Systeme (IMS) entwickelte Meccard-Steuerung verwendet, in Zusammenhang mit den ebenfalls am IMS entwickelten Ambient-Prints. Auf diesen Prints ist ein LM 75 Temperatursensor von National untergebracht. Dieser Sensor hat eine Auflösung von 0.5 °C und einen Messbereich von – 55 °C bis +150 °C und gibt die Messdaten digital über einen I²C-Bus an die Meccard weiter. Auf der Meccard läuft ein Programm welches diese Daten in einem Intervall von 12.5sek einliest und an einen Computer sendet. Dieses Textfile wird in Excel importiert und grafisch ausgewertet. Die Intervallzeit wurde bewusst so klein gewählt, weil sich herausstellte, dass die erforderliche Kabellänge des I²C-Bus zu gross ist. Deshalb traten mit zunehmender Kabellänge immer mehr Störungen auf. Die „Ausreisser“ wurden manuell entfernt. Der dargestellte Temperaturverlauf stimmt trotzdem genau, da sehr viele Messwerte aufgenommen wurden.

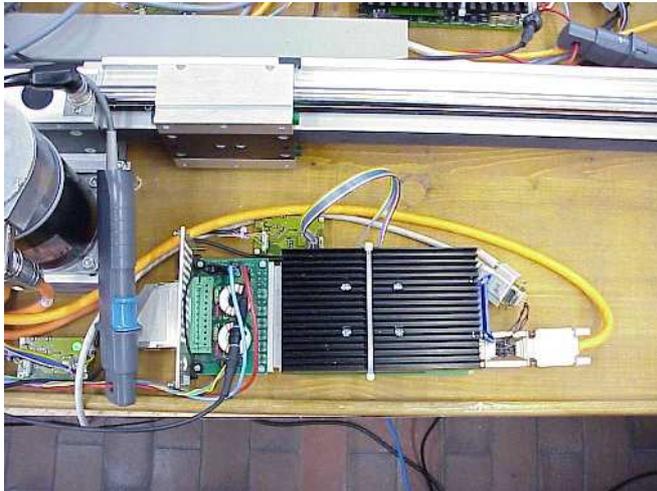


Abbildung 25:
Konventionelle Schrittmotorelektronik mit Temperatursensor

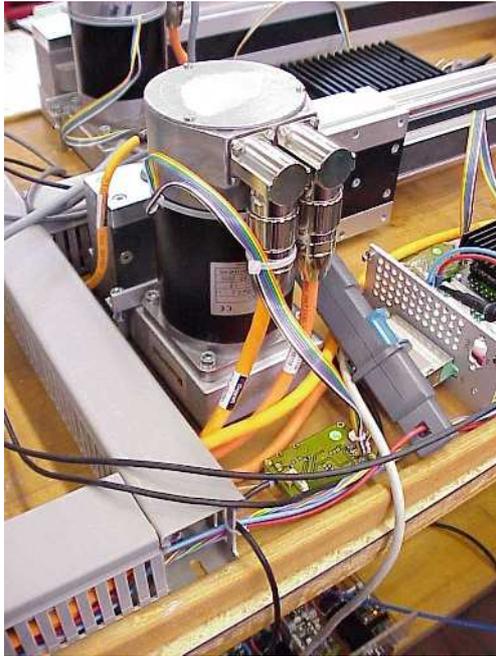


Abbildung 26:
Temperaturmessung am Konventionell angesteuerten Schrittmotor

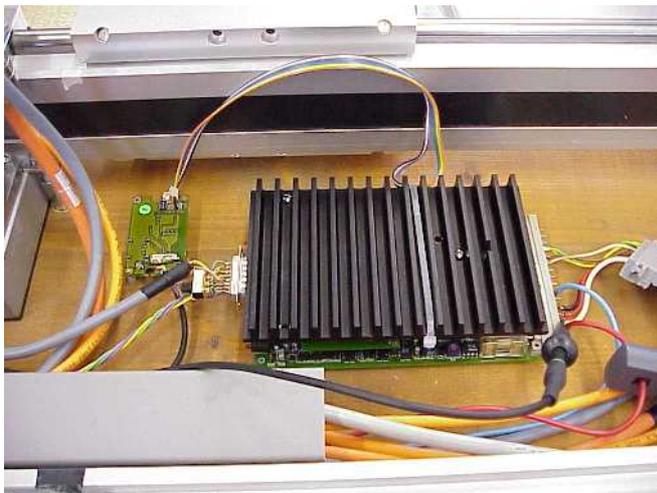


Abbildung 27:
New Stepper Elektronik mit Temperatursensor

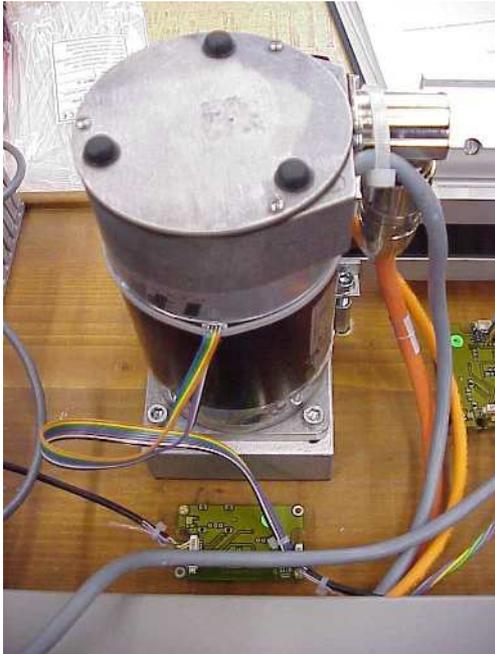


Abbildung 28:
Temperaturmessung am New Stepper Motor

3.4.1 Temperaturmessung mit ED von 26.83%

Verfahrgeschwindigkeit konstant: 25'000AE/s
Beschleunigung konstant: 250'000AE/s²

Verfahrprogramm:
AE 0 .. AE 5000
1sek. warten
AE 5000 .. AE 10000
1sek. warten
AE 10000 .. AE 0
1sek. warten

Die Einschaltdauer (ED) beträgt 26.83%.

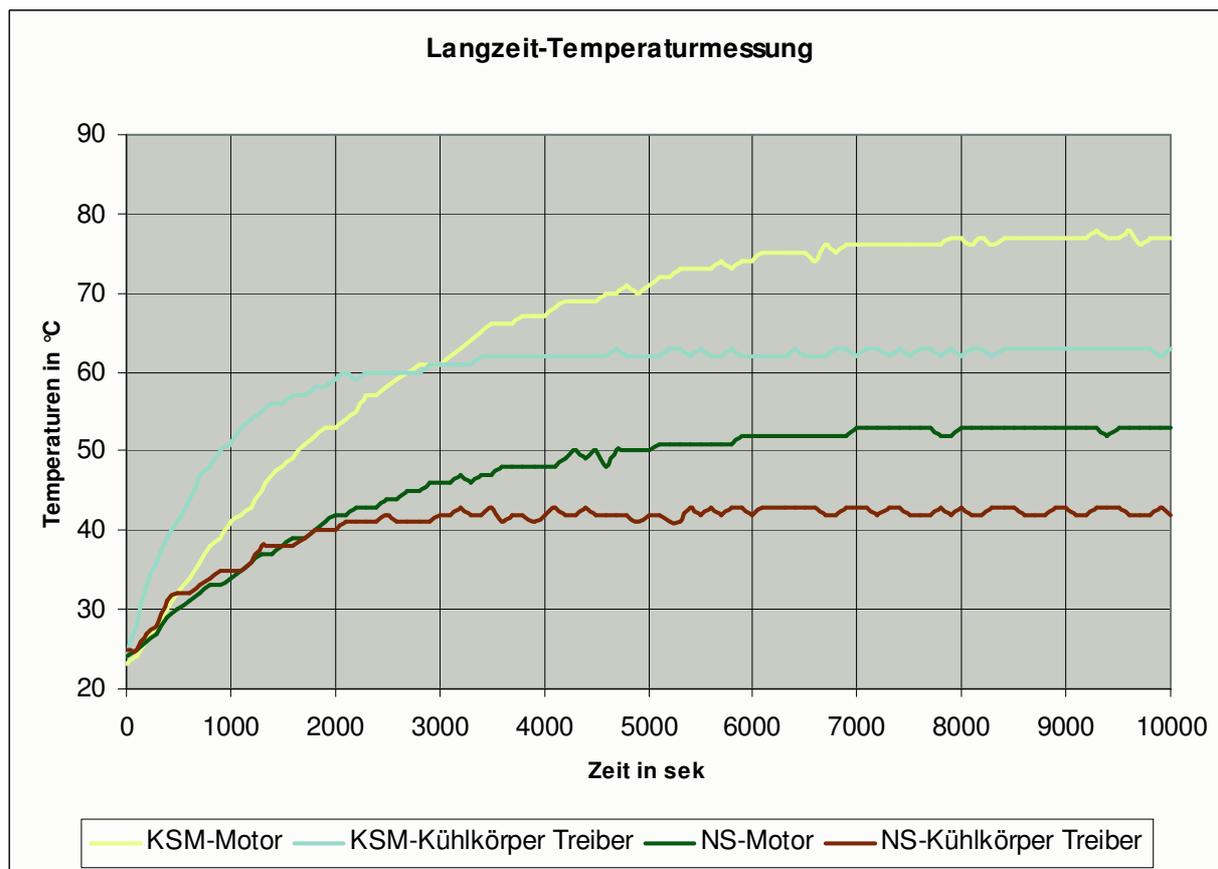


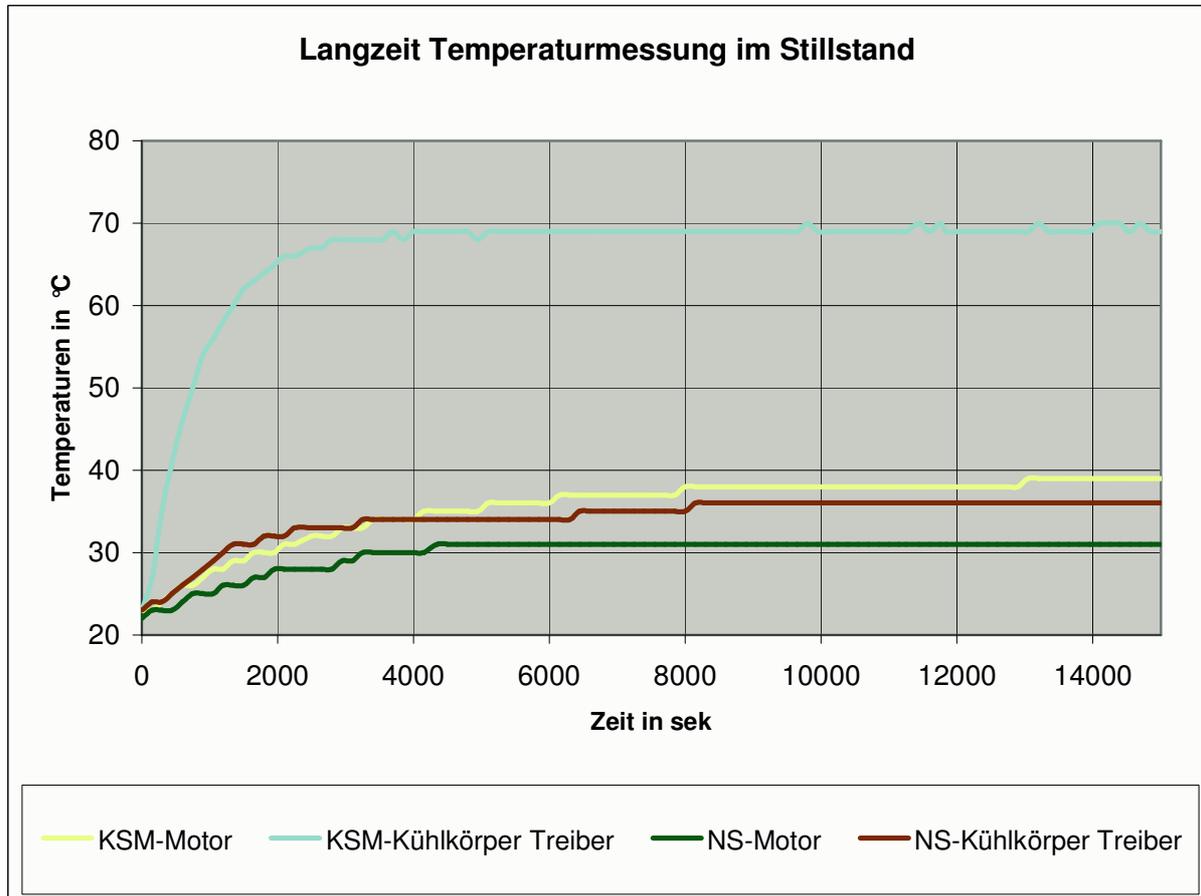
Abbildung 29:
Temperatur in Funktion von der Zeit

$$Faktor\ Motor = \frac{\vartheta_{KSM-Motor} - \vartheta_{Anfang}}{\vartheta_{NS-Motor} - \vartheta_{Anfang}} = \frac{77^{\circ}C - 23^{\circ}C}{52^{\circ}C - 23^{\circ}C} = 1.86$$

$$Faktor\ Kühlkörper\ Treiber = \frac{\vartheta_{KSM-Kühlkörper\ Treiber} - \vartheta_{Anfang}}{\vartheta_{NS-Kühlkörper\ Treiber} - \vartheta_{Anfang}} = \frac{62^{\circ}C - 23^{\circ}C}{42^{\circ}C - 23^{\circ}C} = 2.05$$

3.4.2 Temperaturmessung im Stillstand

ED = 0%.



$$Faktor\ Motor = \frac{\vartheta_{KSM-Motor} - \vartheta_{Anfang}}{\vartheta_{NS-Motor} - \vartheta_{Anfang}} = \frac{39^{\circ}C - 23^{\circ}C}{31^{\circ}C - 23^{\circ}C} = 2.00$$

$$Faktor\ Kühlkörper\ Treiber = \frac{\vartheta_{KSM-Kühlkörper\ Treiber} - \vartheta_{Anfang}}{\vartheta_{NS-Kühlkörper\ Treiber} - \vartheta_{Anfang}} = \frac{69^{\circ}C - 23^{\circ}C}{36^{\circ}C - 23^{\circ}C} = 3.53$$

3.5 Kummulierte Zyklusenergie (Dauereinsatz während 10000sek = 2.78h)

Verfahrgeschwindigkeit konstant: 25'000AE/s
 Beschleunigung konstant: 250'000AE/s²

Verfahrprogramm:
 AE 0 .. AE 5000
 1sek. warten
 AE 5000 .. AE 10000
 1sek. warten
 AE 10000 .. AE 0
 1sek. warten

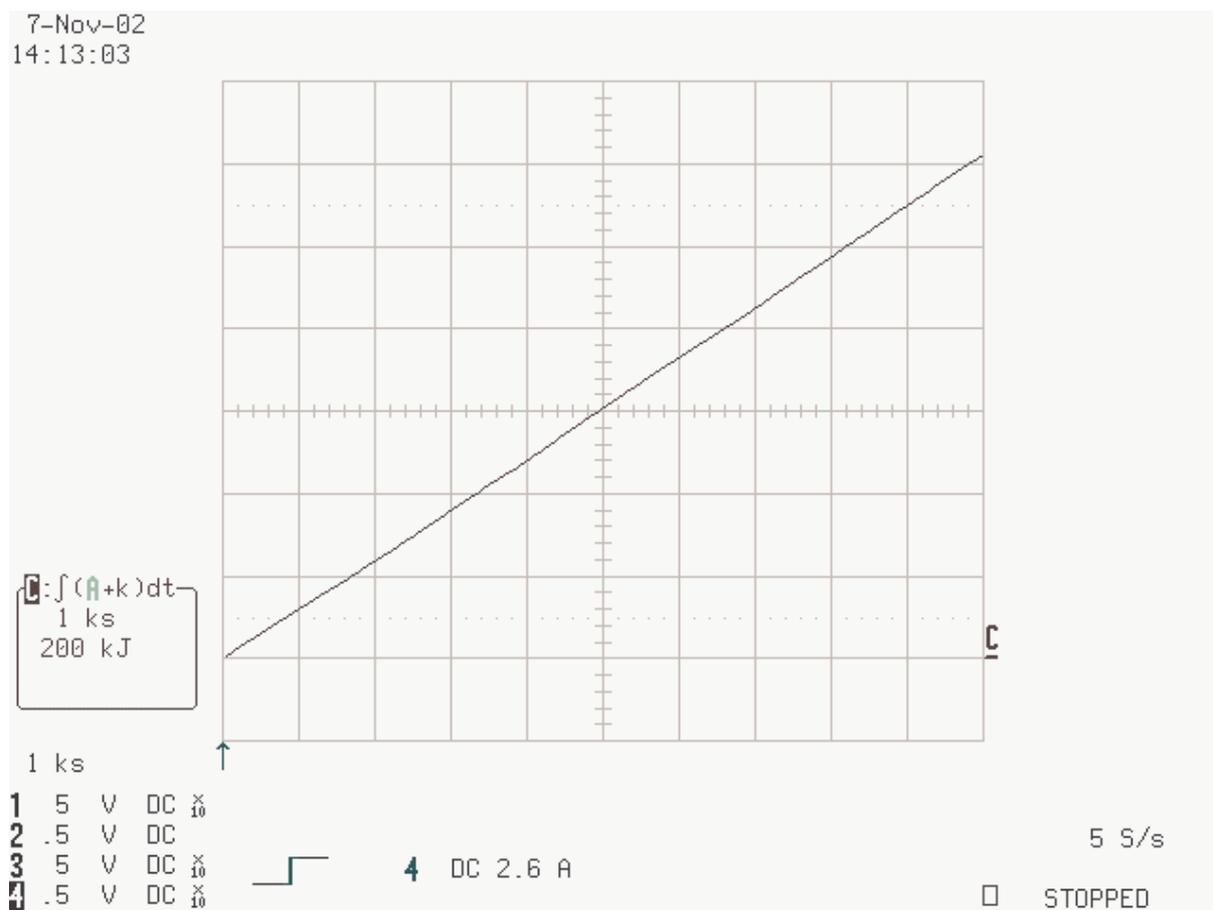


Abbildung 30:
 Kumulierte Zyklusenergie KSM

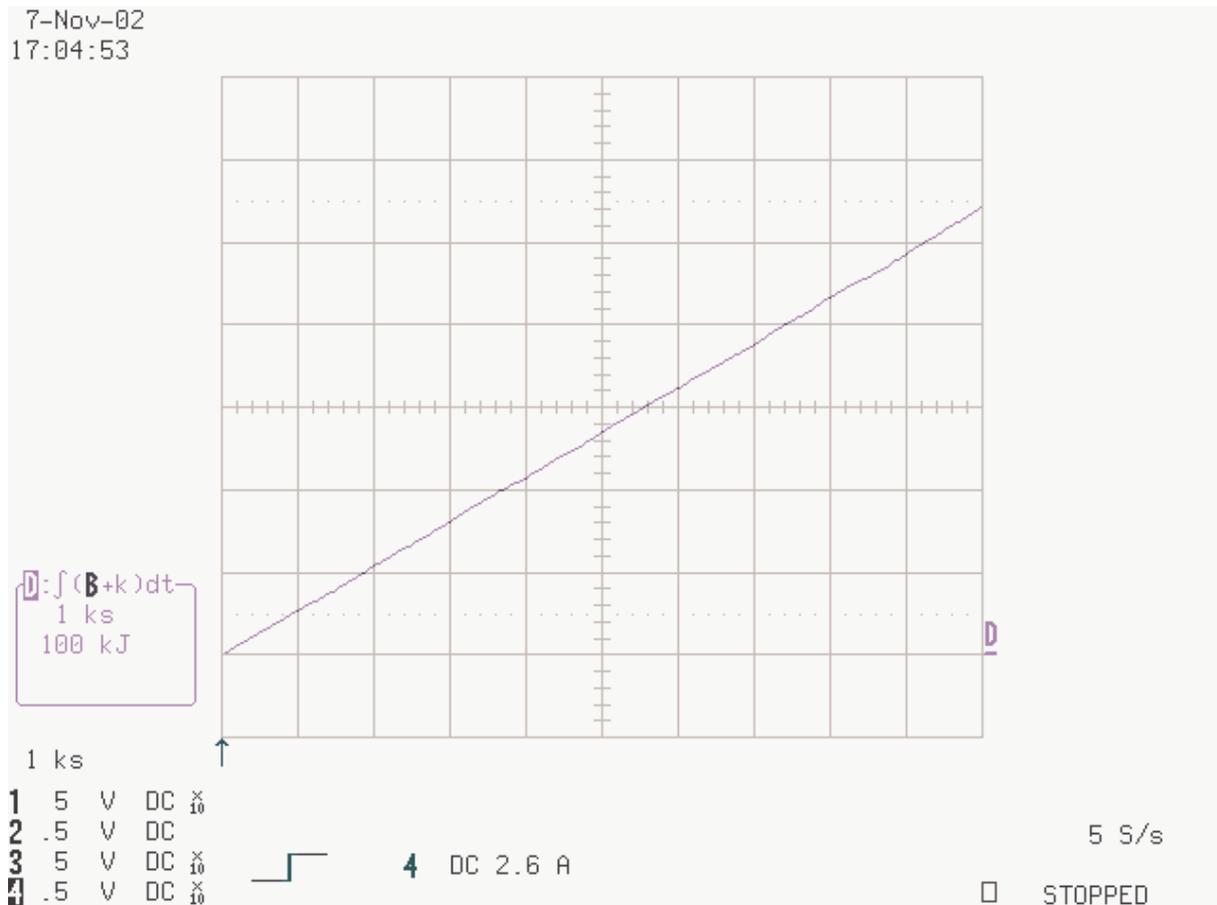


Abbildung 31:
Kumulierte Zyklusenergie des NS

Die Energie beträgt beim KSM 1220kWs (338.9Wh), beim NS 540kWs (150.0Wh). Bei diesen Werten ist der Elektronikverbrauch noch nicht abgezogen.

Der KSM benötigt also Faktor 2.07 mal mehr Energie als der NS bei diesem Verfahrenprogramm und den oben genannten Parametern für Beschleunigung und Geschwindigkeit.

Wird die Leistung der Elektronik noch abgezogen, so fällt der Vergleich folgendermassen aus:

$$\text{Energie KSM ohne Elektronik} = 1220kWs - 9.25W * 10000s = 1128kWs = 313.2Wh$$

$$\text{Energie NS ohne Elektronik} = 540kWs - 12.57W * 10000s = 417kWs = 115.8Wh$$

Dies ergibt einen Faktor von: 2.71

3.5 Leistung in Funktion von der Versorgungsspannung

Für diese Messung wurde ein Variac vor den Transformator geschaltet.

Tabelle 2: Leistung in Funktion von der Versorgungsspannung

| Skalierung auf Variac in % | DC-Spannung in V | Leistungsaufnahme NS in W | Leistungsaufnahme KSM in W | Faktor |
|----------------------------|------------------|---------------------------|----------------------------|--------|
| 100 | 149.7 | 33.7 | 75 | 2.23 |
| 90 | 133.9 | 28.6 | 71.4 | 2.50 |
| 80 | 118.3 | 25.7 | 68.2 | 2.65 |
| 70 | 103 | 22.6 | 66.6 | 2.95 |
| 60 | 87.1 | 20.4 | 64.2 | 3.15 |

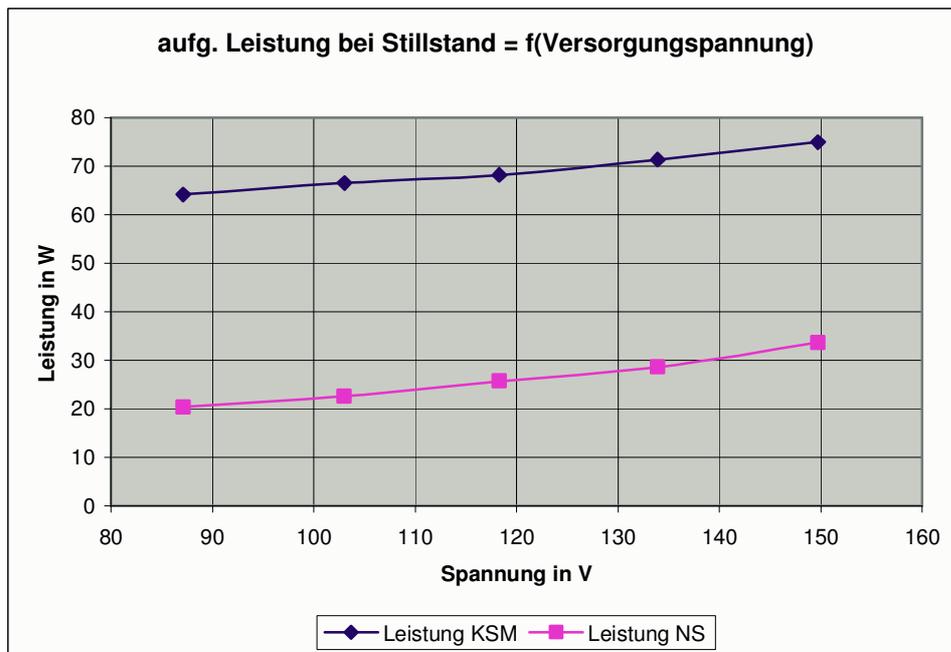


Abbildung 32:
Leistung in Funktion von der Versorgungsspannung

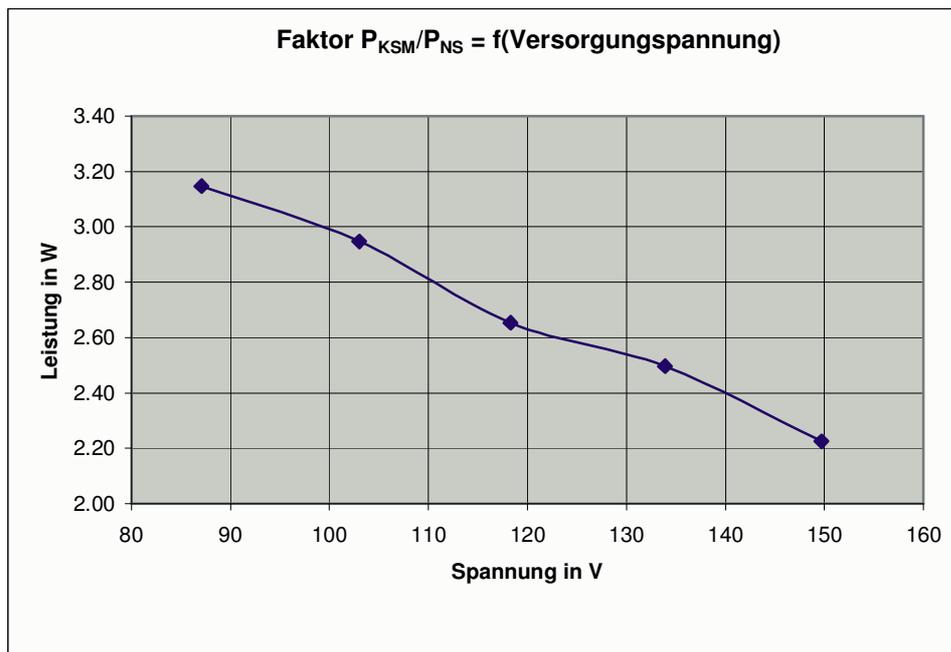


Abbildung 33:
Faktor P_{KSM}/P_{NS} in Funktion von der Versorgungsspannung

3.6 Verzögerung beim Ausschalten der Versorgungsspannung

Um die Schlittenverfahrkraft zu ermitteln, wurde ein Motorschutzschalter in die Speisung der Motortreiber eingebaut. Der Schlitten fährt bei der Messung mit konstanter Geschwindigkeit, dann wird die Versorgungsspannung abgeschaltet. Mit der Beschleunigung, welche bei Verzögerungsbeginn gemessen wird, kann die Verfahrkraft berechnet werden.

Bei der nachfolgend aufgeführten Grafik sind die Farben der Messkurven folgendermassen definiert:

Diagramm oben: KSM
 schwarz: Position in AE
 rot: Geschwindigkeit in AE/s
 grün: Beschleunigung in AE/s²

Diagramm unten: NS
 grün: Position des NS in AE
 dunkelblau: Geschwindigkeit in AE/s
 hellblau: Beschleunigung in AE/s²

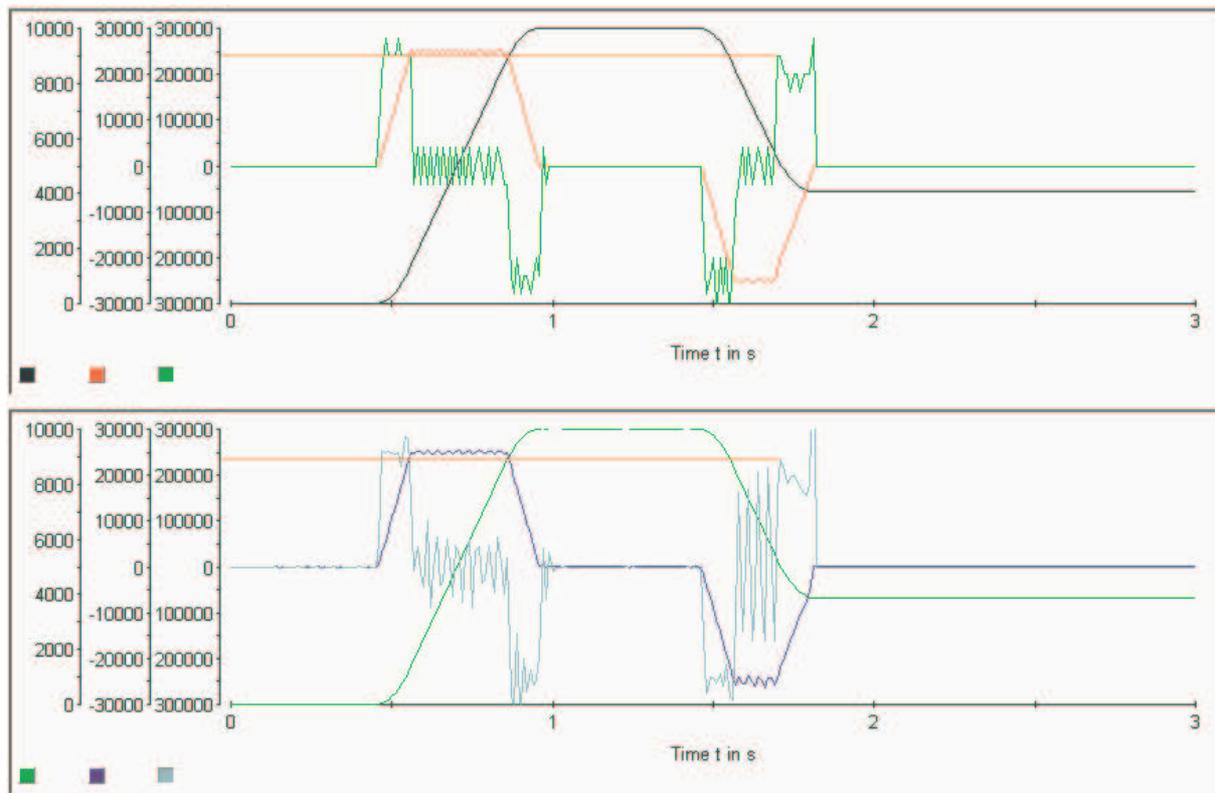


Abbildung 34:
 Ermitteln der Verzögerung beim Ausschalten der Versorgungsspannung, Geschwindigkeit
 25'000AE/s, Beschleunigung 250'000AE/s²

Die gemessene Verzögerung beträgt gemäss obenstehender Messkurve ungefähr 240'000AE/s². Die Verfahrkraft beträgt demnach:

$$F = m * a = 2kg * 240'000 \frac{AE}{s^2} * 0.0625 \frac{mm}{AE} = \underline{\underline{30N}}$$

Siehe auch Kapitel 4.3 Mechanische Zyklusenergie auf der Seite 30.

4 Berechnungen / abgeleitete Messgrößen

4.1 Momentverlauf für einen Zyklus

M = Drehmoment
P = Leistung
n = Drehzahl
v = Schlittengeschwindigkeit
Vorschub/Motorumdrehung = 50mm

Der Momentverlauf berechnet sich gemäss:

$$v(t) = n(t) * \frac{\text{Vorschub}}{\text{Motorumdrehung}} \Rightarrow n(t) = \frac{v(t) * \text{Motorumdrehung}}{\text{Vorschub}}$$
$$M(t) = \frac{P(t)}{n(t)} = \frac{P(t)}{v(t)} * \frac{\text{Vorschub}}{\text{Motorumdrehung}} = 0.05m * \frac{P(t)}{v(t)}$$

Die gemessenen Momentanleistungsverlauf-Diagramme der beiden Achsen zeigen ein extremes Schwingen der Leistung während dem Verfahren auf. Siehe auch Kapitel 3.1 Momentanleistungsverlauf auf der Seite 7. Ein Berechnen des Drehmoments mit diesen Messwerten macht wenig Sinn.

4.2 Einschaltdauer (ED) in %

$$ED = \frac{\text{Zeit, während der sich der Antrieb bewegt} * 100}{\text{Zeitfenster}}$$

4.3 Mechanische Zyklusenergie

l = Verfahrweg für einen Zyklus

n = Anzahl Pulse / Motorumdrehung

Vorschub/Motorumdrehung = 50mm

F = Verfahrkraft (Siehe auch Kapitel 3.6 Verzögerung beim Ausschalten der Versorgungsspannung auf der Seite 27)

m = Masse der Schlitten

$$1AE = \frac{\text{Vorschub}}{\text{Motorumdr.}} = \frac{50\text{mm}}{800} = \frac{1}{16}\text{mm}$$

$$l = 10'000AE = 10'000 * \frac{1}{16}\text{mm} = 625\text{mm}$$

$$F = m * a$$

$$W = 2 * F * l = 2 * 30\text{N} * 0.625\text{m} = 37.5\text{Nm} = \underline{\underline{37.5\text{Ws}}}$$

4.4 Zykluswirkungsgrad

Um den Zykluswirkungsgrad zu berechnen wird die mechanische Zyklusenergie mit der elektrischen verglichen.

$$\eta = \frac{W_{\text{mech}}}{W_{\text{elektr}}}$$

4.5 Zykluswirkungsgrad in Abhängigkeit von der Einschaltdauer (ED)

Tabelle 3: Zykluswirkungsgrad in Abhängigkeit von der Einschaltdauer

| ED in % | Energieaufnahme NS in Ws | Energieaufnahme KSM in Ws | Leistungsaufnahme NS in Wrms | Leistungsaufnahme KSM in Wrms | Energieaufnahme NS ohne Elektronik in Ws | Energieaufnahme KSM ohne Elektronik in Ws | Mechanische Zyklusenergie in Ws | Wirkungsgrad des NS mit Elektronik | Wirkungsgrad des KSM mit Elektronik | Wirkungsgrad des NS ohne Elektronik | Wirkungsgrad des KSM ohne Elektronik |
|---------|--------------------------|---------------------------|------------------------------|-------------------------------|--|---|---------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| 1.80 | 1600 | 3100 | 12.32 | 9.25 | 847.25 | 2534.83 | 37.5 | 0.0234 | 0.0121 | 0.0443 | 0.0148 |
| 3.54 | 900 | 1650 | 12.32 | 9.25 | 516.85 | 1362.33 | 37.5 | 0.0417 | 0.0227 | 0.0726 | 0.0275 |
| 6.83 | 550 | 1060 | 12.32 | 9.25 | 351.65 | 911.08 | 37.5 | 0.0682 | 0.0354 | 0.1066 | 0.0412 |
| 15.49 | 330 | 620 | 12.32 | 9.25 | 242.53 | 554.33 | 37.5 | 0.1136 | 0.0605 | 0.1546 | 0.0676 |
| 26.83 | 240 | 480 | 12.32 | 9.25 | 189.49 | 442.08 | 37.5 | 0.1563 | 0.0781 | 0.1979 | 0.0848 |
| 32.84 | 220 | 460 | 12.32 | 9.25 | 178.73 | 429.01 | 37.5 | 0.1705 | 0.0815 | 0.2098 | 0.0874 |
| 42.31 | 185 | 380 | 12.32 | 9.25 | 152.97 | 355.95 | 37.5 | 0.2027 | 0.0987 | 0.2451 | 0.1054 |
| 59.46 | 186 | 350 | 12.32 | 9.25 | 163.21 | 332.89 | 37.5 | 0.2016 | 0.1071 | 0.2298 | 0.1127 |
| 78.57 | 153 | 340 | 12.32 | 9.25 | 135.75 | 327.05 | 37.5 | 0.2451 | 0.1103 | 0.2762 | 0.1147 |
| 88.00 | 153 | 340 | 12.32 | 9.25 | 137.60 | 328.44 | 37.5 | 0.2451 | 0.1103 | 0.2725 | 0.1142 |
| 100.00 | 150 | 340 | 12.32 | 9.25 | 136.45 | 329.83 | 37.5 | 0.2500 | 0.1103 | 0.2748 | 0.1137 |

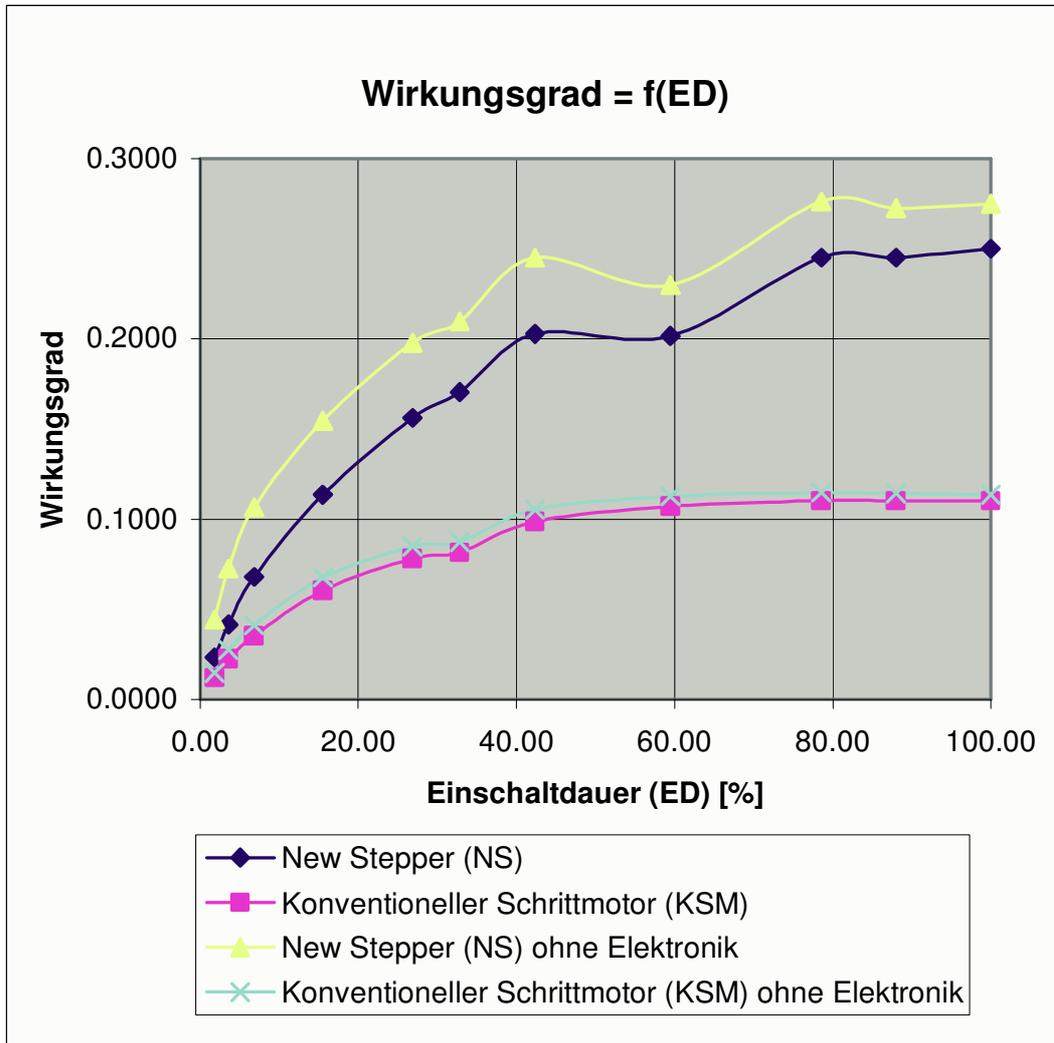


Abbildung 35:
 Wirkungsgrad in Funktion der Einschaltdauer

5 Verbesserungspotential beim New Stepper

5.1 Überschwingen des Reglers bei kleiner Versorgungsspannung

Sinkt die Versorgungsspannung unter 100V so arbeitet der NS-Regler nicht mehr sauber. Die Geschwindigkeit überschwingt massiv.

Bei der nachfolgend aufgeführten Grafik sind die Farben der Messkurven folgendermassen definiert:

Diagramm oben: KSM

schwarz: Position in AE

rot: Geschwindigkeit in AE/s

grün: Beschleunigung in AE/s²

Diagramm unten: NS

grün: Position des NS in AE

dunkelblau: Geschwindigkeit in AE/s

hellblau: Beschleunigung in AE/s²

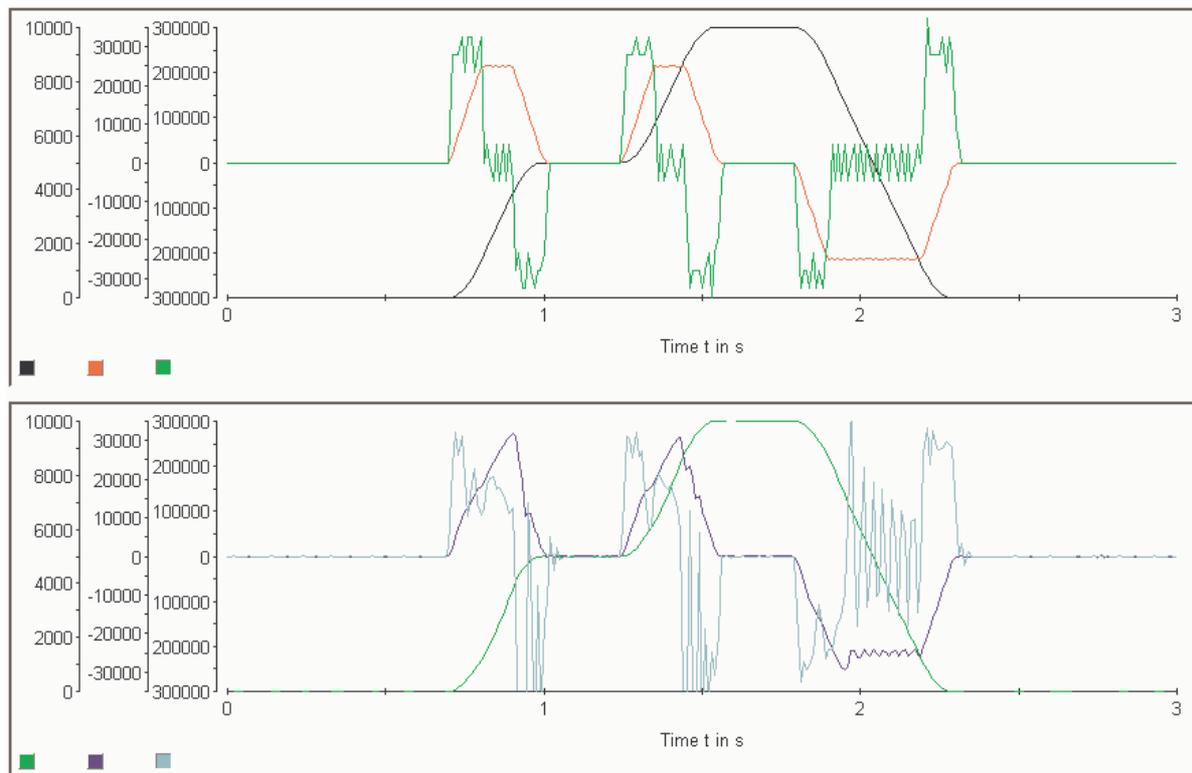


Abbildung 36:
Versorgungsspannung 90VDC, Geschwindigkeit 25'000AE/s, Beschleunigung 250'000AE/s²

5.2 Instabiler Regler bei zu kleiner Versorgungsspannung

Bei weiterem Absenken der Versorgungsspannung unter 90V wurde der Regler instabil und lief in den mechanischen Anschlag, was bei einigen Anwendungen natürlich fatale Konsequenzen haben kann.

5.3 Instabiler Regler wenn Freigabe vor Versorgungsspannung anliegt

Liegt die Freigabe vor der Versorgungsspannung an, so wird der Regler ebenfalls instabil und läuft ebenfalls in den mechanischen Anschlag.

6 Abbildungsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Abbildung 1: Versuchsaufbau von oben betrachtet..... | 2 |
| Abbildung 2: Versuchsaufbau von rechts vorne betrachtet | 2 |
| Abbildung 3: : Daten der Achse mit dem konventionell angesteuerten Schrittmotor..... | 3 |
| Abbildung 4: Konventionell angesteuerter Schrittmotor..... | 3 |
| Abbildung 5: Daten der New Stepper-Achse..... | 3 |
| Abbildung 6: New Stepper Motor | 3 |
| Abbildung 7: Verwendetes KO..... | 4 |
| Abbildung 8: Transformator, Diodengleichrichter, Kondensator | 5 |
| Abbildung 9: Leistung KSM (A)..... | 8 |
| Abbildung 10: : Leistung NS (B)..... | 8 |
| Abbildung 11: KSM Spannung (1), Strom (2), Leistung (A), Energie (C), $t = 1 \text{ sek}$ | 9 |
| Abbildung 12: NS Spannung (3), Strom (4), Leistung (B), Energie (D), $t = 1 \text{ sek}$ | 10 |
| Abbildung 13: Energie pro Zyklus in Abhängigkeit von der Einschaltdauer | 11 |
| Abbildung 14: $W_{\text{KSM}}/W_{\text{NS}}$ in Abhängigkeit von der Einschaltdauer..... | 12 |
| Abbildung 15: Geschwindigkeit $25'000 \text{ AE/s}$, Beschleunigung $250'000 \text{ AE/s}^2$ | 14 |
| Abbildung 16: Geschwindigkeit $40'000 \text{ AE/s}$, Beschleunigung $250'000 \text{ AE/s}^2$ | 14 |
| Abbildung 17: Geschwindigkeit $50'000 \text{ AE/s}$, Beschleunigung $250'000 \text{ AE/s}^2$ | 15 |
| Abbildung 18: Geschwindigkeit $50'000 \text{ AE/s}$, Beschleunigung $260'000 \text{ AE/s}^2$ | 15 |
| Abbildung 19: Geschwindigkeit $50'000 \text{ AE/s}$, Beschleunigung $270'000 \text{ AE/s}^2$ | 16 |
| Abbildung 20: Geschwindigkeit $50'000 \text{ AE/s}$, Beschleunigung $280'000 \text{ AE/s}^2$ | 16 |
| Abbildung 21: Geschwindigkeit $50'000 \text{ AE/s}$, Beschleunigung $320'000 \text{ AE/s}^2$ | 17 |
| Abbildung 22: Geschwindigkeit $50'000 \text{ AE/s}$, Beschleunigung $400'000 \text{ AE/s}^2$ | 17 |
| Abbildung 23: Geschwindigkeit $50'000 \text{ AE/s}$, Beschleunigung $500'000 \text{ AE/s}^2$ | 17 |
| Abbildung 24: Ist Beschleunigung in Abhängigkeit von der Soll-Beschleunigung (Geschwindigkeit $50'000 \text{ AE/s}$)..... | 18 |
| Abbildung 25: Konventionelle Schrittmotorelektronik mit Temperatursensor..... | 19 |
| Abbildung 26: Temperaturmessung am Konventionell angesteuerten Schrittmotor | 20 |
| Abbildung 27: New Stepper Elektronik mit Temperatursensor | 20 |
| Abbildung 28: Temperaturmessung am New Stepper Motor..... | 21 |
| Abbildung 29: Temperatur in Funktion von der Zeit | 22 |
| Abbildung 30: Kummulierte Zyklusenergie KSM..... | 24 |
| Abbildung 31: Kummulierte Zyklusenergie des NS | 25 |
| Abbildung 32: Leistung in Funktion von der Versorgungsspannung..... | 26 |
| Abbildung 33: Faktor $P_{\text{KSM}}/P_{\text{NS}}$ in Funktion von der Versorgungsspannung | 27 |
| Abbildung 34: Ermitteln der Verzögerung beim Ausschalten der Versorgungsspannung Geschwindigkeit $25'000 \text{ AE/s}$, Beschleunigung $250'000 \text{ AE/s}^2$ | 28 |
| Abbildung 35: Wirkungsgrad in Funktion von der Einschaltdauer | 32 |
| Abbildung 36: Versorgungsspannung 90 VDC , Geschwindigkeit $25'000 \text{ AE/s}$, Beschleunigung $250'000 \text{ AE/s}^2$ | 34 |