



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Bachelorarbeit

Andy Prodöhl

Methodische Analyse, Bewertung und Optimierung der Steuerung eines Schwingungsdemonstrators

*Fakultät Technik und Informatik
Department Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau*

*Faculty of Engineering and Computer Science
Department of Automotive and
Aeronautical Engineering*

Andy Prodöhl

**Methodische Analyse, Bewertung und
Optimierung der Steuerung eines
Schwingungsdemonstrators**

Bachelorarbeit eingereicht im Rahmen der Bachelorprüfung

im Studiengang Fahrzeugbau
am Department Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau
der Fakultät Technik und Informatik
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

in Zusammenarbeit mit:
Vibracoustic AG & Co. KG
Advanced Engineering, Vehicle Testing & NVH
Hörstener Straße 45-47
21079 Hamburg

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Ralf Ahrens
Zweitprüfer: M.Sc. Ronny Schmidt

Abgabedatum: 29.09.2020

Zusammenfassung

Name des Studierenden

Andy Prodöhl

Thema der Bachelorthesis

Methodische Analyse, Bewertung und Optimierung der Steuerung eines Schwingungsdemonstrators

Stichworte

Elektrotechnik, Funktionsanalyse, Signalsteuerung, Teilsystemüberarbeitung,

Kurzzusammenfassung

Diese Arbeit umfasst die Überarbeitung der Steuerung eines Schwingungsdemonstrators. Sie ist ein Teilsystem des Schwingungsdemonstrators. Die Steuerung beinhaltet elektronische und elektromechanische Komponenten, die zur Ausführung der praktischen Darstellung von schwingungstechnischen Grundlagen benötigt werden. Funktionsüberprüfungen der Einzelkomponenten lokalisieren die Schwachstellen des Teilsystems Steuerung. Anhand der Bewertung werden Lösungen zur Behebung der Schwachstellen erarbeitet. Abschließend werden die Optimierungen umgesetzt.

Name of Student

Andy Prodöhl

Title of the paper

Methodical analysis, evaluation and optimization of the control system of a vibration demonstrator

Keywords

Electrical engineering, functional analysis, signal control, subsystem revision

Abstract

This bachelor thesis deals with the revision of the control system of a vibration demonstrator. The control system is one part of the vibration demonstrator. It contains electronical and electromechanical components that are essential for the execution of the practical depiction of basic vibration technology. Deficiencies within the control subsystem are located through functional checks of the individual components. Using the evaluation, solutions to correct these deficiencies are developed. Finally, the optimizations are implemented.

I. Inhaltsverzeichnis

I. Inhaltsverzeichnis

II. Abkürzungsverzeichnis

III. Abbildungsverzeichnis

IV. Tabellenverzeichnis

V. Aufgabenstellung

1 Einleitung

1.1 Motivation	1
1.2 Vorgehen	1

2 Theoretische Grundlagen zu Steuerungstechnik und Signalverarbeitung

2.1 Grundlagen der Elektrotechnik	2
2.2 Grundlagen zur Signalverarbeitung	3
2.3 Grundlegendes Funktionsprinzip eines Schrittmotors	4
2.4 Prinzip eines inkrementalen Wegsensors	7
2.5 Funktionsprinzip eines Kraftsensors	8

3 Aufbau und Funktionsweise des Schwingungsdemonstrators sowie Analyse des Schaltkastens

3.1 Aufbau des Schwingungsdemonstrators	9
3.2 Funktionsweise des Schwingungsdemonstrators	13
3.3 Analyse des Schaltkastens	15
3.4 Funktionsüberprüfung der Energieversorgung	16
3.5 Funktionsüberprüfung der Aktorik	18
3.6 Funktionsüberprüfung der Sensorik	21
3.7 Funktionsüberprüfung der Signalverarbeitung	25
3.8 Funktionsüberprüfung des Schaltkastens und der Softwareschnittstelle	27
3.9 Zusammenfassende Bewertung der Komponenten und des Schaltkastens	28

4 Methodische Erarbeitung von Verbesserungen

4.1 Instandsetzung des Schaltkastens	31
4.2 Umfrage zum Gesamtsystem Schwingungsdemonstrator	32
4.3 Lösungsansätze aus der Umfrage	35
4.4 Lösungsansätze aus der Analyse	36
4.5 Verbesserung der Wegsensoren und des Messverstärkers	38
4.6 Verbesserung der Energieversorgung	38
4.7 Verbesserung der Schrittmotorentreiber	40
4.8 Verbesserung der Schrittmotoren	41
4.9 Verbesserung des Kraftsensors	44
4.10 Verbesserung des Multifunktions-Messmoduls	44
4.11 Verbesserung des Schaltkastens	45

5 Umsetzung und Ergebnisse von Verbesserungen

5.1 Instandsetzung des Schaltkastens	47
5.2 Aktueller Stand des verbesserten Schaltkastens	49

5.3	Weitere Schritte zur Umsetzung des verbesserten Schaltkastens	53
5.4	Vergleich der Schaltkästen	56
5.5	Vergleich des Gesamtsystems Schwingungsdemonstrators	58

6 Diskussion

7 Zusammenfassung und Ausblick

8 Quellennachweis

Anhang A: Datenblätter von vorhandenen Komponenten und Quellcodes

Anhang B: Datenblätter von neuen Komponenten

Anhang C: Tabellen und Unterlagen zur Umsetzung

Anhang D: Selbstständigkeitserklärung

II. Abkürzungsverzeichnis

Abkürzungen		
<u>Symbol</u>	<u>Beschreibung</u>	<u>Einheit</u>
AC	A lternating C urrent (Wechselspannung)	V
DC	D irect C urrent (Gleichspannung)	V
TTL	T ransistor- T ransistor- L ogik	-
DMS	D ehnungs m ess s treifen	-
KS	K raft s ensor	-
MV	M ess v erstärker	-
WS	W eg s ensor	-
SM	S chritt	-
SMSK	S chritt m otor s teuer k arte	-
MM	M ultifunktions- M ess m odul	-
BNC	B ayonet N avy C onnecto r (Steckverbinder)	-
GUI	G raphical U ser I nterface (grafische Benutzeroberfläche)	-
NT	N etz t eil	-
MCU	M icro C ontroll e r U nit (Mikrocontroller-Einheit)	-
USB	U niversal S erial B us	-
AI	A nalog I nput (analoger Eingang)	-
AO	A nalog O utput (analoger Ausgang)	-
DI	D igitaler I nput (digitaler Eingang)	-
DO	D igitaler O utput (digitaler Ausgang)	-
MCC	M easurement C omputing C orporation	-
IEC	I nternational E lectrotechnical C ommission (Internationale Elektrotechnische Kommission)	-
GND	G round (Masse)	-
CAD	C omputer A ided D esign (rechnergestütztes konstruieren)	-
D-Sub	D-Sub miniature (Steckverbindung)	-

Formelzeichen		
<u>Symbol</u>	<u>Beschreibung</u>	<u>Einheit</u>
U	Elektrische Spannung	V
R	Elektrischer Widerstand	Ω
I	Elektrische Stromstärke	A
f_{Schritt}	Schrittfrequenz	Hz
φ_{Schritt}	Phasenversatz Schrittfrequenz	°
f_{out}	Ausgangsfrequenz	Hz
U_L	Selbstinduktionsspannung	V
L	Induktivität	H (Ωs)
ΔI	Stromänderung	A
Δt	Zeit der Stromänderung	s
U_{ges}	Gesamtspannung	V
P	Elektrische Leistung	W
P_{max}	Maximale elektrische Leistung	W
U_{max}	Maximale elektrische Spannung	V
I_{max}	Maximale elektrische Stromstärke	A
$P_{\text{SM,max}}$	Maximale elektrische Leistung eines Schrittmotors	W
Δ	Differenz	-

III. Abbildungsverzeichnis

Abb. 2.1: Veranschaulichung von Potentialen. Die Pfeile stellen die Wirkrichtung dar [2]	2
Abb. 2.2: Darstellung eines Signalverlaufs als analoges und digitales Signal ([4], <i>bearbeitet</i>)	3
Abb. 2.3: Bereichsdefinition der TTL Ein- und Ausgangs-Pegel ([5], <i>bearbeitet</i>).....	4
Abb. 2.4: Wirkprinzip eines Schrittmotors	5
Abb. 2.5: Schaltzustände von Schrittmotoren bei bipolarer und unipolarer Beschaltung ([6], <i>bearbeitet</i>)	5
Abb. 2.6: Schrittfrequenz f_{Schritt} beider Spulen mit Phasenversatz φ_{Schritt} [6].	6
Abb. 2.7: Funktionsübersicht der Schrittmotorsteuerung [7]	6
Abb. 2.8: Ausgabesignale eines inkrementalen Wegsensors ([8] (<i>bearbeitet</i>))	7
Abb. 2.9: Aufbau einer Wheatstone Messbrücke; R_1 - R_4 als Dehnungsmessstreifen ausgeführt [9].....	8
Abb. 3.1: Aufbau des Schwingungsdemonstrators (Gesamtsystem).....	9
Abb. 3.2: Aufbauten des Teilsystems Demonstrators	10
Abb. 3.3: Grafische Benutzeroberfläche (GUI) der Anwendungssoftware.....	11
Abb. 3.4: Funktionsgruppen des Schaltkastens.....	12
Abb. 3.5: Strukturübersicht des Schwingungsdemonstrators.....	14
Abb. 3.6: Blockdiagramm der Schrittmotorsteuerung.....	19
Abb. 3.7: Blockdiagramm der Kraftmessung.....	22
Abb. 3.8: Blockdiagramm der Wegmessung.....	24
Abb. 3.9: Blockdiagramm des Multifunktions-Messmodul	25
Abb. 4.1: Umfragebogen zum Schwingungsdemonstrator	33
Abb. 4.2: Auswertung der Umfrage	34
Abb. 4.3: Lösungsmatrix zu Schwachstellen aus der Umfrage	36
Abb. 4.4: Blockdiagramm des Aufbauzustandes Neu	37
Abb. 4.5: 2D-Darstellung des neuen Schaltkastenlayouts	46
Abb. 5.1: Sequenzieller Ausfall von Komponenten	48
Abb. 5.2: Vergleich der Frontplatten (Bildquellen: Rundstecker [13], D-Sub-Stiftleiste [14], Multifunktions-Messmodul [15])	51
Abb. 5.3: Vergleich der Rückplatten	52
Abb. 5.4: Montageschienen.....	54
Abb. 5.5: Exakte Lage der Komponenten im verbesserten Schaltkasten.....	55
Abb. 5.6: CAD-Modell des verbesserten Schaltkastens.....	56

IV. Tabellenverzeichnis

Tab. 3.1: Baugruppenübersicht	10
Tab. 3.2: Funktionsgruppen der Komponenten.....	12
Tab. 3.3: Bewertungsübersicht vor der Analyse.....	15
Tab. 3.4: Übersicht über die Prüfutensilien	16
Tab. 3.5: Übersicht über die Netzteile mit prüfungsrelevanten Daten	17
Tab. 3.6: Übersicht über die Treiber und die Schrittmotoren mit prüfungsrelevanten Daten.....	18
Tab. 3.7: Übersicht über den Kraftsensor und den Messverstärker mit prüfungsrelevanten Daten.....	21
Tab. 3.8: Übersicht über den Wegsensor mit prüfungsrelevanten Daten	23
Tab. 3.9: Übersicht über das Multifunktions-Messmodul mit prüfungsrelevanten Daten	25
Tab. 3.10: Bewertungsübersicht nach der Analyse	29
Tab. 4.1: Vor- und Nachteile der Aufbauzustände Instand und Neu	30
Tab. 4.2: Übersicht über auszutauschende Komponenten im Aufbauzustand Instand.....	31
Tab. 4.3: Gegenüberstellung der Spannungsniveaus	37
Tab. 4.4: Vergleich der Netzteile	39
Tab. 4.5: Vergleich der Treiber	41
Tab. 4.6: Vergleich der Schrittmotoren	43
Tab. 4.7: Vergleich der Kraftsensoren	44
Tab. 4.8: Vergleich der Multifunktions-Messmodule	45
Tab. 4.9: Übersicht über erforderliche Polanzahl der Steckverbindung.....	46
Tab. 5.1: Komponentenvergleich der Aufbauzustände Ist und Instand	47
Tab. 5.2: Kostenübersicht über die Maßnahmen der Reparatur und der Instandsetzung	49
Tab. 5.3: Komponentenvergleich von den Aufbauzuständen Ist, Instand und Neu	50
Tab. 5.4: Vergleich des AC- und DC-Lüfters.....	52
Tab. 5.5: Vereinfachte Stückliste	53
Tab. 5.6: D-Sub-Pinbelegung	55
Tab. 5.7: Gewichtsvergleich der Schaltkästen aller Aufbauzustände	57
Tab. 5.8: Vergleich der Schaltkästen zwischen Aufbauzustand Ist und Neu	57
Tab. 5.9: Vergleich der Zustände des Schwingungsdemonstrators	58
Tab. 6.1: Bewertung der Aufgabenstellungen.....	62
Tab. 7.1: Zusammenfassende Aufgabenübersicht.....	63

V. Aufgabenstellung



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Hamburg University of Applied Sciences

FAKULTÄT TECHNIK UND INFORMATIK
DEPARTMENT FAHRZEUGTECHNIK UND FLUGZEUGBAU
Prof. Dr.-Ing. Ralf Ahrens

Aufgabenstellung für die Bachelorarbeit

von Herrn Andy Prodöhl

Methodische Analyse, Bewertung und Optimierung der Steuerung eines Schwingungsdemonstrators

Vorbemerkung

Das Unternehmen Vibracoustic AG & Co.KG ist Lieferant von schwingungstechnischen Lösungen für den Automobilbereich. Seit 2006 wird für Mitarbeiter eine interne Schulung zur „Einführung in die Schwingungstechnik“ angeboten. Damit die Inhalte leichter verständlich und praxisbezogen vermittelt werden können, wurde ein Schwingungsdemonstrator entwickelt. Mit diesem werden Schwingungseigenschaften von Ein- und Zweimassenschwingern sowie Charakteristiken von Feder-, Dämpfungs- und Reib-elementen veranschaulicht.

Das Gesamtsystem besteht aus dem Demonstrator (mechanisches Teilsystem), dem Schaltkasten, der die Steuerung und Signalverarbeitung beinhaltet, sowie dem Steuerrechner, der die Anwenderschnittstelle mittels einer grafischen Oberfläche in der Software MATLAB™ realisiert.

In der Vergangenheit traten regelmäßig Probleme bei der Inbetriebnahme und Bedienung auf. Diese betrafen sowohl die mechanische Hardware, die Steuereinheit sowie die Software. Schnelle Reparaturen erzielten bislang unbefriedigende Betriebsfähigkeiten.

Aufgabenstellung

Diese Arbeit ist Teil des übergeordneten Ziels der Wiederherstellung einer stabilen und zuverlässigen Arbeitsweise des Schwingungsdemonstrators. Zunächst soll der Ist-Zustand des Teilsystems Schaltkasten analysiert und bewertet werden, um methodisch mögliche Verbesserungen durch modernere Komponenten oder stabilere Schnittstellen diskutieren, bewerten und soweit möglich umsetzen zu können.

Die Arbeit berücksichtigt folgende Punkte:

1. Einarbeitung in Aufbau und Funktionsweise des Schwingungsdemonstrators;
2. Erarbeitung der theoretischen Grundlagen zu Steuerungstechnik und Signalverarbeitung;
3. Analyse des Schaltkastens mittels Funktionsüberprüfung der Einzelkomponenten;
4. Einarbeitung in die Software Schnittstelle zur Kommunikation mit dem Anwender;
5. Bewertung der Funktionsfähigkeit des Schaltkastens und der Komponenten;
6. Methodische Erarbeitung und Umsetzung von Verbesserungen des Schaltkastens.

Die Aufgabe wird in Zusammenarbeit mit der Vibracoustic AG & Co.KG in Hamburg-Harburg durchgeführt. Betreuer ist dort Herr M.Sc. Ronny Schmidt.

Hamburg, 29.05.2020

gez. R. Ahrens

1 Einleitung

In diesem Unternehmen werden Lösungen zu schwingungstechnischen Fragestellungen erarbeitet. Die Fragestellungen stammen aus den Bereichen der Automobil- und Nutzfahrzeugbranche. Es wird das Schwingungsverhalten von einzelnen Fahrwerkselementen über Subsysteme (z.B. Achsen) bis hin zum Gesamtfahrzeug analysiert und bewertet. Zum Verständnis und zur Durchführung von Prüfungen und deren Auswertung werden theoretische Grundlagen der Schwingungstechnik benötigt. Vor ca. 15 Jahren wurde dieses Gesamtsystem Schwingungsdemonstrator entwickelt und wird seither für interne Schulungen genutzt. Der Schwingungsdemonstrator wurde über die Jahre unzuverlässiger.

1.1 Motivation

Die analytische Fehlersuche soll zum Grund der unzuverlässigen Arbeitsweise führen. Die anschließende Fehlerbeseitigung soll langfristig zur stabilen und zuverlässigen Arbeitsweise führen. Mit einem zuverlässigen Schwingungsdemonstrator können regelmäßig Schulungen durchgeführt werden. Diese Schulungen werden standortübergreifenden, über die Landesgrenzen Deutschlands hinaus, gehalten. Gerade in so einem Fall ist auf die Zuverlässigkeit des Schwingungsdemonstrator zu vertrauen.

1.2 Vorgehen

Die Komplexität des gesamten Schwingungsdemonstrators wird in drei Teilsysteme eingeteilt. Zum Verständnis werden Aufbau und Funktionsweisen der einzelnen Teilsysteme angeschaut. Der Schaltkasten ist als erstes Teilsystem zu verbessern. Es folgt die Organisation aller vorhandenen Unterlagen zum Schaltkasten. In die gesammelten Erkenntnisse wird sich eingelesen. Für die Analyse wird das Teilsystem Schaltkasten in seine einzelnen Komponenten aufgeteilt. Die Analyse erfolgt von Komponentenebene zur Systemebene. Mit den gewonnenen Erkenntnissen und ihrer Bewertung werden Verbesserungen erarbeitet. Im letzten Schritt werden die Schritte zur Verbesserung umgesetzt. Die Übergabe einer nachvollziehbaren Dokumentation soll die Einarbeitung für nachfolgende Arbeiten erleichtern.

2 Theoretische Grundlagen zu Steuerungstechnik und Signalverarbeitung

In diesem Kapitel werden die theoretischen Grundlagen erläutert, die das Verständnis für Inhalte späterer Kapitel unterstützen. Die Grundlagen umfassen allgemeine Begriffe der Elektrotechnik sowie der Signalverarbeitung. Des Weiteren werden Aufbau und Funktionsprinzipien wesentlicher Komponenten des Schaltkastens erklärt.

2.1 Grundlagen der Elektrotechnik

Im Folgenden werden die Begriffe elektrischer Widerstand, elektrische Stromstärke und elektrische Spannung als Kurzformen Widerstand, Strom und Spannung verwendet. Wenn nicht besonders hervorgehoben, sind die genannten Kurzformen auf die Gleichgrößen (Direct Current, kurz DC) bezogen.

Mit einer Spannung ist somit die elektrische Gleichspannung gemeint. Gleichspannung ist durch einen konstanten Wert und einer konstanten Richtung definiert.

Bei einer Spannung handelt es sich um die wirkende Kraft auf freie Ladungsträger, die durch eine Ladungsdifferenz zweier Punkte entsteht (vgl. [1]), z.B. Plus- und Minuspol einer Batterie. Nach dem Ohm'schen Gesetz ist die Spannung U das Produkt aus Widerstand R und Stromstärke I . Dem Strom (freie Ladungsträger) steht ein Widerstand entgegen.

$$U = R * I \quad (2.1)$$

Zusammen mit einem Bezugsniveau bildet die Spannung eine Differenz.

Die Differenz wird als Potential und das Bezugsniveau als Masse oder Erde bzw. im englischen als Ground (GND) bezeichnet.

Die Masse selbst kann ein beliebiges Niveau aufweisen, hat aber in der Regel den Wert null Volt.

Letzteres bezieht sich auf das Niveau der Erde und ändert sich lokal.

Jede Spannungsquelle (z.B. Batterie) hat ein Potential.

In Abb. 2.1 ist das Zusammensetzen mehrerer Einzelpotentiale zu einem Gesamtpotential dargestellt.

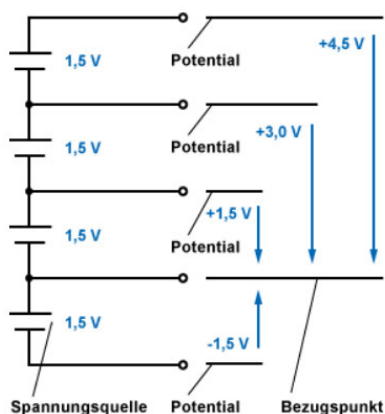


Abb. 2.1: Veranschaulichung von Potentialen. Die Pfeile stellen die Wirkrichtung dar [2]

Fließen Ladungsträger durch einen Leiter, z.B. eine Spule, entstehen Magnetfelder (Elektromagnetismus).

Spulen besitzen die Fähigkeit der Induktivität. Sie erzeugt in einem Magnetfeld innerhalb ihrer

Windungen eine Selbstinduktionsspannung U_L . Sie steht im folgenden Zusammenhang mit der Induktivität L , Stromänderung ΔI und Zeit Δt der Stromänderung (vgl. [1]).

$$U_L = \frac{L * \Delta I}{\Delta t} \quad (2.2)$$

Die Induktivität L ist der Kennwert einer Spule. Die Selbstinduktionsspannung U_L ist umso größer, je

- größer die Induktion L und Stromänderung ΔI sind und je
- kleiner die Zeit Δt ist.

2.2 Grundlagen zur Signalverarbeitung

Ein Signal ist als Informationsträger definiert (vgl. [3]). Es liegt entweder analog oder digital vor. Ein analoges Signal ist in seinem Größenverlauf (Amplitude) als auch im zeitlichen Verlauf kontinuierlich.

Ein digitales Signal ist im Größenverlauf wertdiskret. Es nimmt nur Werte innerhalb eines definierten Bereiches an.

Wird ein analoges Signal digital abgebildet, bedeutet dies, dass der zum Zeitpunkt t_1 gemessene Wert y_1 bis zur nächsten Wertmessung y_2 zum Zeitpunkt t_2 gehalten wird. Der Wert ist über Δt konstant.

Über einen zeitlichen Verlauf wird das analoge Signal in einer stufenartigen Form digital wiedergegeben (Abb. 2.2).

Eine Sonderform digitaler Signale ergibt sich aus der Nutzung des binären Zahlensystems. Hier können nur die Zustände 1 und 0 verarbeitet werden. Dies kommt der maschinellen Datenverarbeitung zugute.

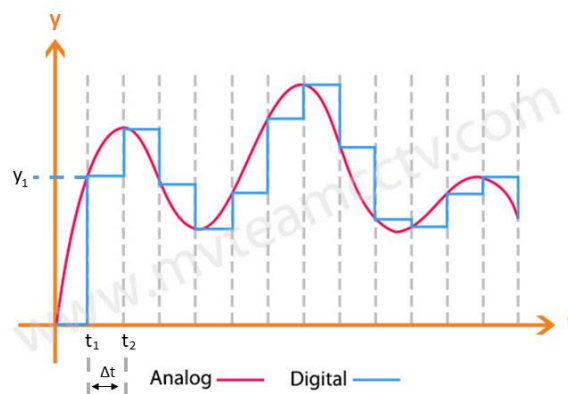


Abb. 2.2: Darstellung eines Signalverlaufs als analoges und digitales Signal ([4], bearbeitet)

Mittels Analog-Digital-Wandler (ADC, Analog-Digital-Converter) bzw. Digital-Analog-Wandler (DAC) wird zwischen diesen Signalarten übersetzt.

Eine logische Grundsaltungstechnik ist die Transistor-Transistor-Logik (TTL).

Ein analoges Signal wird als logischer 0- oder 1-Pegel interpretiert, wenn das Signal in einem Spannungsbereich von 0 bis 0,8 V oder 2 bis 5 V liegt.

Ausgegeben wird ein 0- bzw. 1-Pegel im Spannungsbereich von 0 bis 0,4 V bzw. 2,4 bis 5 V (Abb. 2.3). Die 0- und 1-Pegel werden auch LOW- und HIGH-Pegel genannt.

Für Eingangssignale sind die Spannungsbereiche zur Pegelzuweisung größer als die für Ausgangssignale. Zwischen diesen Bereichen ist die Schaltungslogik unbestimmt und es erfolgt keine Zuweisung. Gleiche Spannungsbereiche für Ein- und Ausgangssignale würden bedeuten, dass durch Spannungsschwankungen das analoge Signal häufiger in den Bereich der Nichtzuweisung fällt.

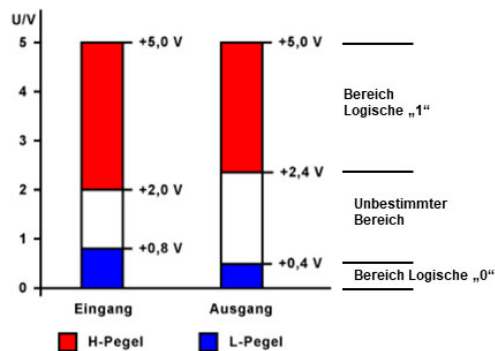


Abb. 2.3: Bereichsdefinition der TTL Ein- und Ausgangs-Pegel ([5], *bearbeitet*)

Die qualitativ gute Wiedergabe eines analogen oder digitalen Signals ist von der Auflösung eines ADC bzw. DAC abhängig.

Die Auflösung gibt an, wie viele Bits zur Wertewiedergabe eines Signalverlaufs zur Verfügung stehen.

Ein analoges Signal wird in der digitalen Darstellung in ein stufenartiges Signal umgeformt. Je höher die Auflösung, desto kleiner sind die Stufen. Das digitale Signal nähert sich dem analogen Signal an.

Ein Bit kann die Werte null und eins annehmen. Das Verknüpfen mehrerer Bits erweitert die Wertewiedergabe. Die Kombinationsmöglichkeit ergibt sich aus der Bitanzahl als Potenz zur Basis zwei. Mit acht Bits lassen sich 256 Werte darstellen.

2.3 Grundlegendes Funktionsprinzip eines Schrittmotors

Schrittmotoren sind in verschiedenen Bauweisen vorhanden. In diesem Abschnitt wird auf das grundlegende Funktionsprinzip eingegangen.

Im Wesentlichen besteht ein Schrittmotor aus einem Stator und einem Rotor. Der Stator ist von Spulen umwickelt. Durch das Bestromen einer Spule entsteht um die Spulenwindungen ein gerichtetes Magnetfeld.

Dieses Magnetfeld erzeugt am Stator einen Nord- und Südpol. Der Rotor richtet sich nach den Polen des Stators aus. Durch gezieltes Bestromen der Spulen lässt sich ein rotierendes Magnetfeld erzeugen und führt zu einer schrittartigen Bewegung des Rotors (Abb. 2.4).

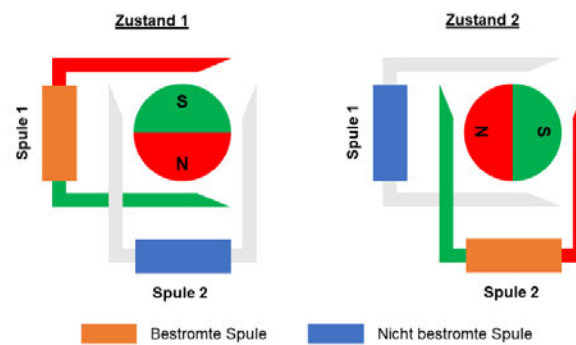


Abb. 2.4: Wirkprinzip eines Schrittmotors

Die Schrittwinkel eines Schrittmotors sind abhängig von der Konstruktion, Anschlussart und Ansteuerung.

Je nach Konstruktion sind Schrittwinkel von $0,72^\circ$ bis $1,8^\circ$ möglich (vgl. [6]).

Die Anschlussart wird in bi- und unipolar unterschieden.

Beim bipolaren Anschluss wird die Stromrichtung einer Spule abwechselnd geändert.

Bei einem unipolaren Anschluss besteht eine Spule aus zwei Hälften. Jede Hälfte erfährt stets die gleiche Stromrichtung.

In Abb. 2.5 sind die Zustände veranschaulicht.

Bei der bipolaren Schaltung ist die Stromrichtung im Zustand 1 von Versorgungsspannung $+V_s$ nach Masse GND gerichtet. Eine Polungsumkehrung durch das Schalten in Zustand 2 ändert die Stromrichtung in der gesamten Spule und das Magnetfeld kehrt sich um.

Bei der unipolaren Beschaltung führt zwischen den Hälften ein Mittelabgriff zur Versorgungsspannung $+V_s$. Über die Schaltung zur Masse GND wird in Zustand 1 die linke Spulenhälfte magnetisiert. Ein Schalten bewirkt keine Polungsumkehr, sondern das Durchfließen der rechten Spulenhälfte.

Die bipolare Schaltung erreicht im Vergleich zur unipolaren ein höheres Haltemoment. Dem steht ein erhöhter Schaltungsaufwand entgegen.

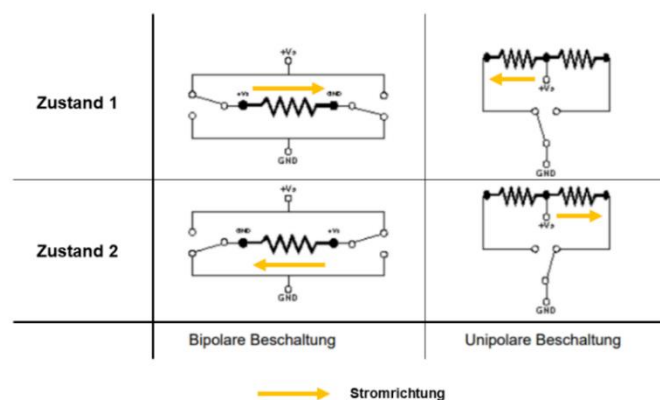


Abb. 2.5: Schaltzustände von Schrittmotoren bei bipolarer und unipolarer Beschaltung ([6], bearbeitet)

Die Ansteuerung erfolgt durch eine periodische Polungsumkehr der Spulen (bipolar). Grafisch ergibt dies ein rechteckigen Signalverlauf und wird als Schrittfrequenz f_{Schritt} bezeichnet.

In Abb. 2.6 ist der Signalverlauf in einem Vollschrittbetrieb dargestellt. Beide Spulen werden gleichzeitig bestromt und besitzen einen Phasenversatz φ_{Schritt} von 90° .

Es wird in Voll-, Halb- und Mikroschrittbetrieb unterschieden. Diese Ansteuerungsarten sagen aus, ob der konstruktive Schrittwinkel pro Schritt vollständig oder unvollständig genutzt wird. Der Halbschrittbetrieb halbiert den konstruktiven Schrittwinkel und verdoppelt somit die Auflösung an Schritten pro Umdrehung. Von Mikroschrittbetrieb wird gesprochen, wenn der Teiler größer zwei ist.

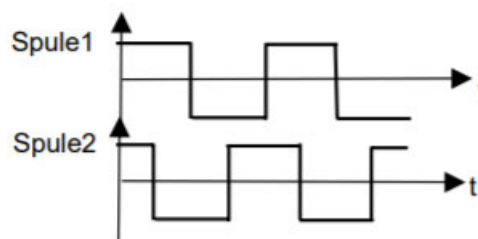


Abb. 2.6: Schrittfrequenz f_{Schritt} beider Spulen mit Phasenversatz φ_{Schritt} [6].

Zur gezielten Steuerung von Schrittmotoren zeigt Abb. 2.7, dass neben der Frequenz f_{Schritt} die Vorgabe von Richtungssignal und Schrittzahl nötig sind.

Diese werden nicht direkt an den Schrittmotor gegeben, sondern an den Treiber (Leistungsstellglied).

Der Treiber verarbeitet die Informationen in Verbindung mit der Energiezufuhr W_{el} (Spannung und Strom) und bestromt die Spulen des Schrittmotors nach Abb. 2.6.

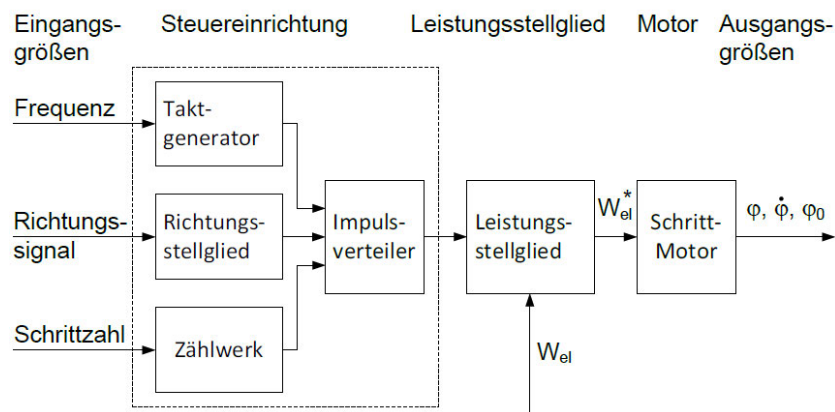


Abb. 2.7: Funktionsübersicht der Schrittmotorsteuerung [7]

Das Richtungssignal gibt die Drehung des Schrittmotors im Uhrzeigersinn oder entgegen vor. Die Schrittzahl ist abhängig von der Ansteuerung und der gewünschten Drehweite. Im Vollschrittbetrieb bedeutet dies, dass bei einem Schrittmotor mit $1,8^\circ$ Schrittwinkel für eine vollständige Umdrehung 200 Schritte benötigt werden. Für eine Umdrehung pro Sekunde wird eine 200Hz-Schrittfrequenz benötigt. Nach Gleichung (2.3) ergibt das 200-fache einer gewünschten Ausgabefrequenz f_{out} die nötige Schrittfrequenz f_{Schritt} .

$$200 f_{\text{out}} = f_{\text{Schritt}} \quad (2.3)$$

2.4 Prinzip eines inkrementalen Wegsensors

Die verwendeten Wegsensoren sind als Magnetband-Sensoren ausgeführt. Sie gehören in die Gruppe der inkrementalen Wegerfassung.

Der Sensor enthält in seinem Kopf Nord- und Südpol. Er wird über ein Magnetband mit abwechselnden Nord-Süd-Polen (Inkremente) geführt.

Jeder Wechsel eines Inkrements führt zu Magnetfeldänderungen und folglich zu Spannungsänderungen.

Die entstehenden Rechtecksignale werden vom Sensor mittels TTL ausgegeben.

Es werden zwei um 90° phasenverschobene Rechtecksignale ausgegeben (Signal A und Signal B). Dies ist notwendig, um neben dem Weg auch die Bewegungsrichtung ablesen zu können. Wenn Signal A gleich eins entspricht und Signal B von null auf eins wechselt, bewegt sich der Sensor in Richtung 1.

Wenn Signal A gleich null und Signal B von null auf eins wechselt, bewegt sich der Sensor in Richtung 2.

Über die Auflösung des Sensors und des Magnetbandes (Inkremente) wird die Verschiebung ermittelt.

Ein drittes Signal (Signal I) dient zur exakten Positionsbestimmung.

Alle Signale werden auch als invertierte Signale ($/A$, $/B$ und $/I$) ausgegeben.

In Abb. 2.8 sind die Signalverläufe und deren Zusammenhang dargestellt.

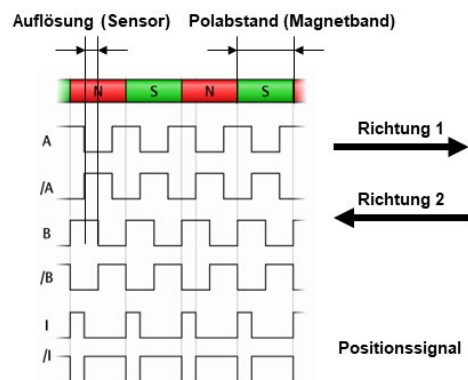


Abb. 2.8: Ausgabesignale eines inkrementalen Wegsensors ([8] (bearbeitet))

2.5 Funktionsprinzip eines Kraftsensors

Es gibt verschiedene Bauweisen von Kraftsensoren. An dieser Stelle wird das Prinzip eines auf Dehnmessstreifen (DMS) basierenden Sensors erklärt.

Der Kraftsensor funktioniert mittels vier DMS, die als Wheatstone Messbrücke verschaltet sind. Die Wheatstone Messbrücke ist eine Widerstandsbrückenschaltung aus zwei parallelen Spannungsteilern (Abb. 2.9) mit jeweils zwei Widerständen.

Die Ausführung der vier Widerstände als DMS wird Vollbrücke genannt.

Die Gesamtspannung U_{ges} (auch Brückenspeisespannung genannt) teilt sich an den Widerständen auf. Ist die Bedingung

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4} \quad (2.4)$$

erfüllt, befindet sich die Messbrücke im Gleichgewicht, d.h. sie ist abgeglichen.

Eine Krafteinwirkung führt zur elastischen Verformung des Kraftsensors. Durch Längen oder Stauchen der DMS ändern sich ihre Widerstände.

Eine Widerstandsänderung bringt die Messbrücke aus dem Gleichgewicht und Gleichung (2.4) ist nicht erfüllt.

Es fließt ein Ausgleichsstrom und an den Punkten A und B kann eine Spannung gemessen werden, die so genannte Messspannung (vgl. [1]).

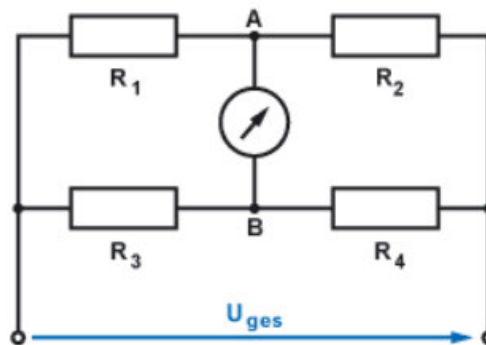


Abb. 2.9: Aufbau einer Wheatstone Messbrücke; R_1 - R_4 als Dehnmessstreifen ausgeführt [9]

3 Aufbau und Funktionsweise des Schwingungsdemonstrators sowie Analyse des Schaltkastens

Zu Beginn des Kapitels wird der gesamte Aufbau des Schwingungsdemonstrators und des Schaltkastens dargestellt. Ersteres dient zum allgemeinen Verständnis des Gesamtsystems. Letzteres gibt einen genaueren Einblick in das Teilsystem Schaltkasten, einem von insgesamt drei Teilsystemen. Die anderen beiden Teilsysteme werden in dieser Arbeit nicht weiter behandelt. Die Beschreibung der Funktionsweise erklärt die Zusammenarbeit aller Teilsysteme. Die Analyse des Schaltkastens lässt sich nicht vollständig von den anderen Teilsystemen entkoppeln. Einzelne Bestandteile aus diesen Teilsystemen werden analysiert, aber bieten keine vollumfängliche Aussage.

3.1 Aufbau des Schwingungsdemonstrators

Der Schwingungsdemonstrator ist ein Gesamtsystem aus drei in Reihe geschalteten Teilsystemen.

Das Erste ist das mechanische Teilsystem.

Das Zweite dient zur Steuerung sowie Signalverarbeitung.

Das Dritte ist die Softwareumgebung als Schnittstelle zum Anwender.

Das Zusammenspiel der Teilsysteme ermöglicht eine verständliche und anschauliche Darstellung von Schwingungstheorien.

Das zweite System, der Schaltkasten, ist das zentrale Teilsystem. Es kommuniziert mit dem Teilsystem Demonstrator und dem Teilsystem Steuerrechner.

In Abb. 3.1 sind der Aufbau sowie ein Blockdiagramm der Reihenschaltung dargestellt.

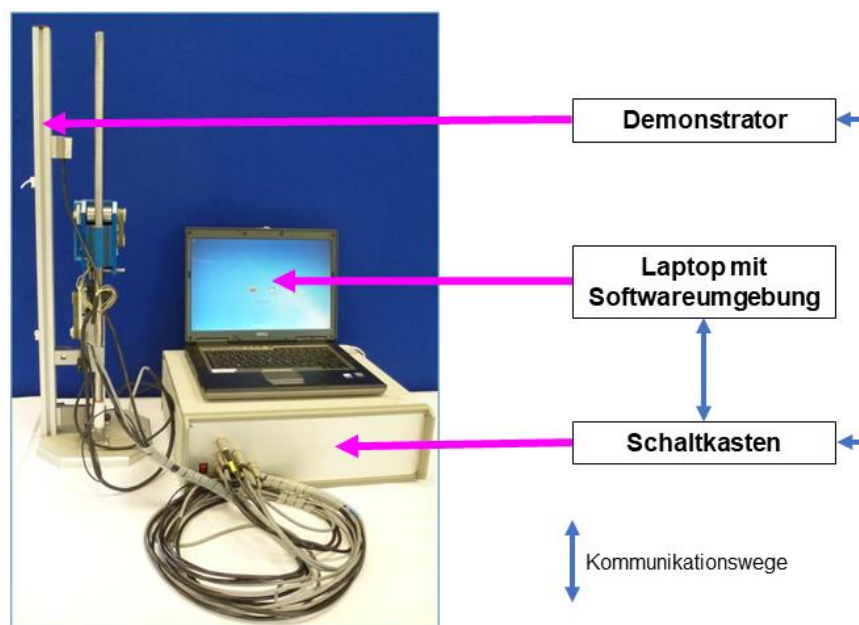


Abb. 3.1: Aufbau des Schwingungsdemonstrators (Gesamtsystem)

Das Teilsystem Demonstrator wird in drei Aufbauten als Prüfmaschine, Einmassenschwinger und Zweimassenschwinger verwendet.

Dies ermöglicht die Darstellung der Schwingungseigenschaften von Ein- und Zweimassenschwingern sowie Charakteristiken von Feder-, Dämpfungs- und Reibelementen.

Ein Einmassenschwinger ist ein schwingfähiges System aus einer trägen Masse, einer Feder und einem Dämpfer, welches durch eine äußere Kraft angeregt wird. Beim Zweimassenschwinger wirkt eine Kraftanregung auf ein gekoppeltes System aus jeweils zwei Massen, Federn und Dämpfern.

Die Umsetzung der Aufbauten wird durch drei Baugruppen ermöglicht. Dafür wird das Gerüst des Teilsystems Demonstrator mit der gewünschten Baugruppe erweitert.

In Tab. 3.1 sind die Baugruppen mit ihren Einzelkomponenten und Aufbauten aufgeführt.

Tab. 3.1: Baugruppenübersicht

Baugruppe	Komponenten	Aufbau
Primärtrieb	Schrittmotor SM1 Wegsensor WS1	Prüfmaschine Einmassenschwinger Zweimassenschwinger
Sekundärtrieb	Schrittmotor SM2 Wegsensor WS2	Einmassenschwinger Zweimassenschwinger
Zusatzmasse	Wegsensor WS3	Zweimassenschwinger

Der Primärtrieb führt die Fußpunktanregung aus und dient somit als Eingangsgröße eines Schwingensystems.

Der Sekundärtrieb integriert zwei Funktionen. Einseits dient er als Antwortgröße für die Ein- und Zweimassenschwinger-Versuche (SM2 inaktiv). Die Antwortgröße wird durch WS2 erfasst. Andererseits als Eingangsgröße, wenn dieser für Unwucht- und Reibungsanregung (SM2 aktiv) genutzt wird.

Die Bewegung der Zusatzmasse als Ausgangsgröße wird durch WS3 ermittelt.

In Abb. 3.2 sind die Aufbauten dargestellt.

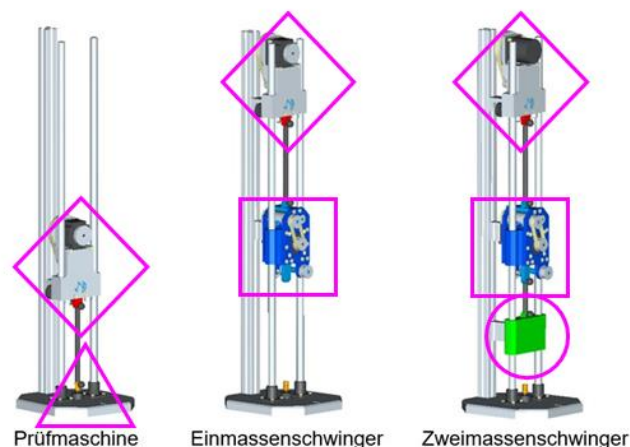


Abb. 3.2: Aufbauten des Teilsystems Demonstrators

Als Prüfmaschine wird das Teilsystem Demonstrator neben dem Primärtrieb (Raute) mit einem Kraftsensor (Dreieck) betrieben. Zwischen Primärtrieb und Kraftsensor werden Feder- oder Dämpferelemente montiert.

Als Einmassenschwinger wird das Teilsystem Demonstrator mit dem Primärtrieb und dem passiven Sekundärtrieb (Quadrat) aufgebaut. Feder- und Dämpferelemente werden zwischen den Beiden montiert.

Der Zweimassenschwinger ist die Erweiterung des Einmassenschwingers mit der Baugruppe Zusatzmasse (Kreis). Zwischen Primärtrieb und Sekundärtrieb sowie Sekundärtrieb und Zusatzmasse befinden sich die Feder- und Dämpferelemente.

Die Softwareumgebung ist in MATLAB® programmiert und stellt zur Bedienung eine grafische Benutzeroberfläche (GUI, Abb. 3.3) bereit. Mittels dieser Oberfläche werden die gewünschte Anregungsart, Amplitude, Frequenz sowie Dauer eingestellt und dem Teilsystem Demonstrator vorgegeben.

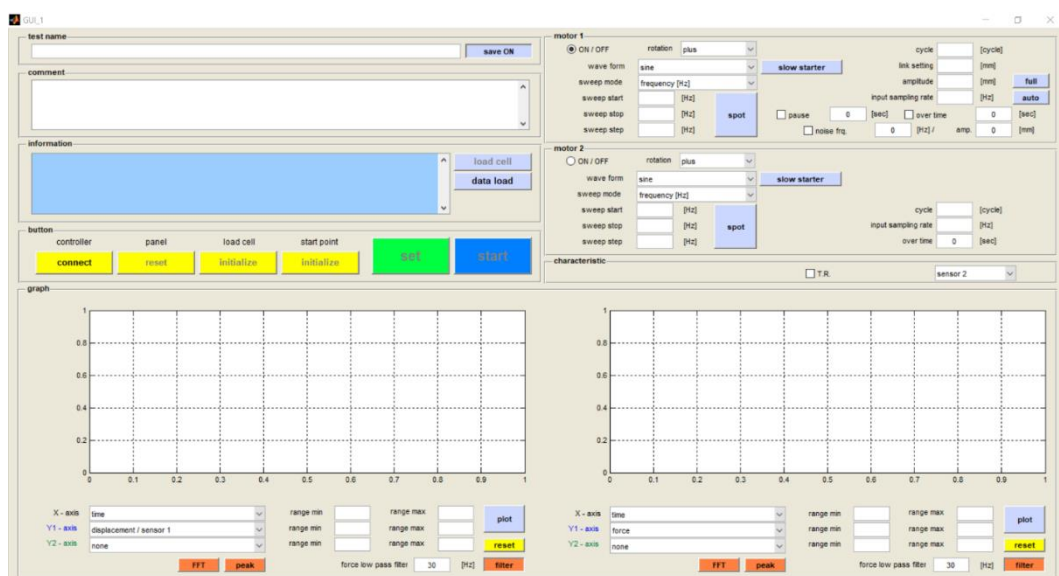


Abb. 3.3: Grafische Benutzeroberfläche (GUI) der Anwendungssoftware

Die im Rahmen der Abschlussarbeit behandelten Komponenten werden in Tab. 3.2 in Funktionsgruppen zusammengefasst und zur besseren Übersichtlichkeit farblich codiert.

In Abb. 3.4 ist das Innere des Schaltkastens sowie die Verbindung zum Teilsystem Demonstrator und zum Laptop mit der Softwareumgebung zu erkennen. Die farbigen Rechtecke geben die Lagen der Funktionsgruppen wieder. Die dazugehörigen Pfeile deuten die Verbindungen der Komponenten an. Die Pfeilspitzen entsprechen der Wirkrichtung der jeweiligen Funktion.

Die Energieversorgung stellt die Spannung für die Aktorik und Sensorik bereit. Das 48 V Netzteil versorgt die Schrittmotorensteuerelektronik (Treiber). Die Wegsensoren und der Messverstärker werden von einem 24 V Netzteil gespeist.

Die Schrittmotoren erhalten die Steuerungssignale von den Treibern. Ein Treiber steuert einen Schrittmotor.

Der Messverstärker versorgt den Kraftsensor mit Spannung. Vom Kraftsensor geht ein Messsignal an den Messverstärker. Das Messsignal wird vom Messverstärker an das Multifunktions-Messmodul geleitet.

Die Messsignale der Wegsensoren gehen direkt zum Multifunktions-Messmodul.

Das Multifunktions-Messmodul wird separat über ein externes Netzteil versorgt. Es überträgt die Daten zwischen Modul und Laptop. Es gibt die Steuersignale der Schrittmotoren an die Treiber aus und empfängt die Messsignale von Wegsensoren und Kraftsensor.

Die Black-Box (schwarzer Rahmen) ist dem 48 V Netzteil vorgeschaltet. Sie ist ein Eigenbau und ohne Dokumentation verbaut worden. Einzelne Bauelemente konnten identifiziert werden. Vermutlich handelt es sich um eine Schutzeinrichtung. Laut Hersteller des 48 V Netzteils ist eine vorgeschaltete Schutzeinrichtung nicht notwendig. Die Black-Box wird entfernt und nicht weiter betrachtet.

Tab. 3.2: Funktionsgruppen der Komponenten

Nr.	Bezeichnung	Komponenten	Farbcodierung
1	Energieversorgung	1x 24 V Netzteil	Orange
		1x 48 V Netzteil	
		1x Black-Box	Schwarz
2	Aktorik	2x Schrittmotoren 2x Schrittmotorsteuerkarten	Grün
3	Sensorik	3x Wegsensoren 1x Kraftsensor 1x Messverstärker	Blau
4	Signalverarbeitung	1x Multifunktions-Messmodul	Cyan

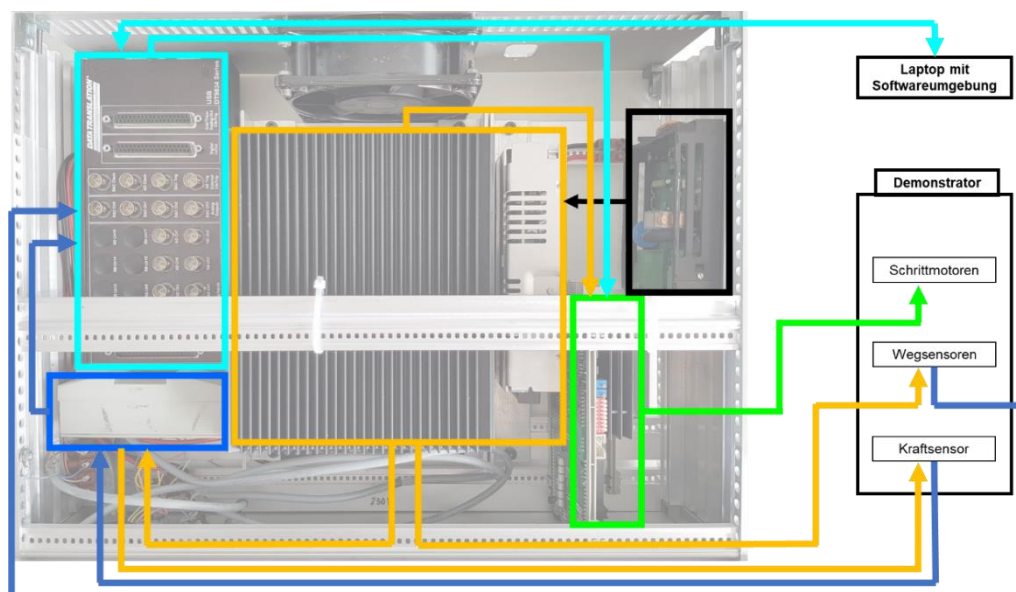


Abb. 3.4: Funktionsgruppen des Schaltkastens

3.2 Funktionsweise des Schwingungsdemonstrators

Die in der grafischen Benutzeroberfläche vorgegebenen Parameter werden von der Software verarbeitet.

Digitale Signale werden vom Multifunktions-Messmodul in analoge Signale konvertiert.

Über die Output-Kanäle sendet das Multifunktions-Messmodul die Steuersignale für den Schrittmotor an die entsprechende Schrittmotorsteuerkarte. Es ist immer nur ein Schrittmotor in Betrieb.

Mittels der Spannungsversorgung und der Steuersignale treibt die Schrittmotorsteuerkarte den Schrittmotor an.

Am Teilsystem Demonstrator wird das Antwortverhalten mittels der Sensoren aufgenommen.

Die Signale der Wegsensoren werden vom Multifunktions-Messmodul erfasst.

Beim Kraftsensor ist der Messverstärker dem Multifunktions-Messmodul vorgeschaltet.

Die Signale werden über die Eingangskanäle des Multifunktions-Messmoduls erfasst.

Nach Konvertierung der analogen Signale in digitale wird das Antwortverhalten in der Softwareumgebung grafisch wiedergegeben.

Abb. 3.5 veranschaulicht den Aufbau, die logische Verschaltung und Eigenschaften der Komponenten.

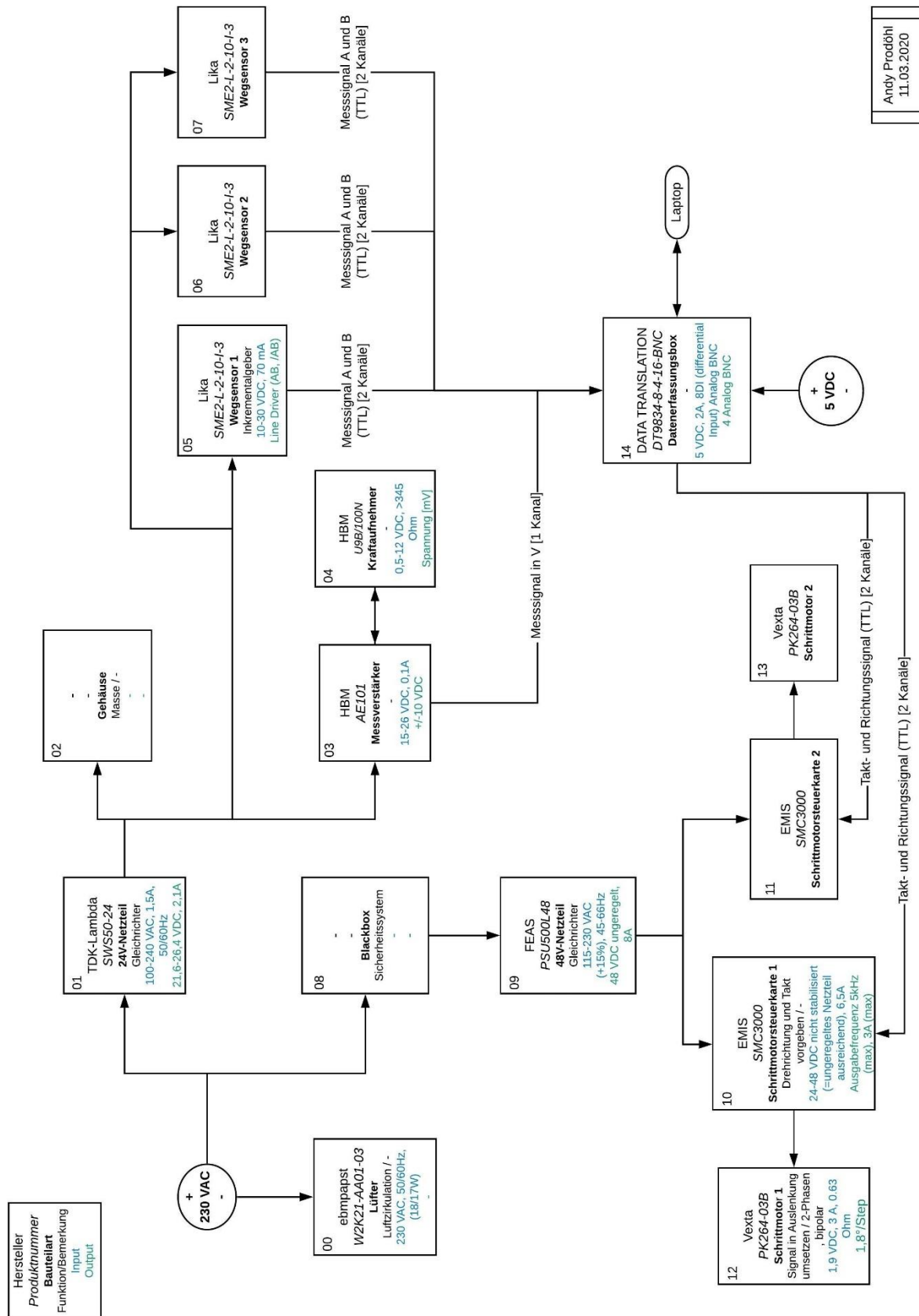


Abb. 3.5: Strukturübersicht des Schwingungsdemonstrators

3.3 Analyse des Schaltkastens

Die Analyse hat als Ziel, die Funktionen der Komponenten zu prüfen. Sie erfolgt auf Komponenten- und Systemebene. Die zu überprüfenden Elemente, nachfolgend Prüflinge genannt, sind nach Tab. 3.3 aufgeführt. Sie werden symbolisch in funktionsfähig oder nicht funktionsfähig unterschieden. Nach der Bewertung folgen eine Begründung und eine Empfehlung. Die Analyseschritte der Prüflinge sind in den nachfolgenden Unterkapiteln detailliert beschrieben. Die Unterkapitel sind in die Funktionsgruppen nach Tab. 3.2 gegliedert. Am Ende des Kapitels wird die Bewertungsübersicht vervollständigt.

Tab. 3.3: Bewertungsübersicht vor der Analyse

Prüfling	Wertung	Grund	Empfehlung
24 V NT			
48 V NT			
SM1			
SM2			
SMSK1			
SMSK2			
SMSK3			
KS			
MV			
WS1			
WS2			
WS3			
Multifunktions-Messmodul			
MATLAB®-GUI			

Zur Überprüfung werden Hilfsmittel benötigt. Als Prüfutensilien kommen ein Multimeter, ein Labornetzteil, ein Oszilloskop und ein Arduino Uno zum Einsatz. Details sind Tab. 3.4 zu entnehmen. Die ersten drei Geräte sind bereits vorhanden. Ein Arduino Uno wird aus eigener Initiative zusätzlich besorgt.

Das Multimeter ist ein kleines, mobiles Messgerät mit digitaler Anzeige. Es können unter anderem Spannungen, Ströme, Widerstände oder Frequenzen gemessen werden.

Das Labornetzteil dient als einstellbare Quelle zur Energieversorgung von Prüflingen. Innerhalb seines Bereiches können Spannungen oder Ströme stufenlos eingestellt und ausgegeben werden.

Das Oszilloskop ist ein Messgerät und kann in der vorhandenen Ausführung auch als Quelle für Signale genutzt werden. Der Funktionsumfang ist wesentlich größer als der eines Multimeters. Ein großer Vorteil ist die grafische Wiedergabe eines Signals. Insbesondere Signalverläufe, die mit einem Multimeter nicht erfasst werden können, werden visualisiert und können beurteilt werden.

Der Arduino Uno ist eine Mikrocontrollereinheit (MCU). Mit seiner kompakten Bauform, einer Vielzahl an Ein- und Ausgängen sowie seiner einfachen Programmierung ist dieser flexibel einsetzbar. Einfache Skripte lassen sich mit Hilfe der guten Bibliothek und Befehlsübersicht auf der Homepage zügig programmieren. Neben der eigenen Programmierumgebung ist es möglich, den Uno mit MATLAB® zu bedienen. Über eine USB-Schnittstelle (Universal Serial Bus) ist er mit einem Computer verbindbar.

Tab. 3.4: Übersicht über die Prüfutensilien

MCU

Arduino Uno
20 DI/DO, 6 AI/AO



Labornetzteil

Statron 3250.1
0-36V, 0-7,5A



Oszilloskop

Agilent 35670A
4 AI, 1 AO



Multimeter

ISO-TECH IDM 62T



Bei Messungen ist folgendes zu beachten:

- Spannungsmessungen erfolgen als parallele Schaltung des Messgerätes zum Verbraucher.
- Strommessungen erfolgen in Reihenschaltung.
- Widerstände werden in einem spannungsfreien Zustand gemessen.

3.4 Funktionsüberprüfung der Energieversorgung

Der Schwingungsdemonstrator arbeitet auf zwei Spannungsniveaus. Für die Sensorik wird eine 24 V Versorgung durch das Netzteil SWS50-24 (kurz SWS) und für die Aktorik eine 48 V Versorgung durch das Netzteil PSU500L-48 (kurz PSU) verwendet. Für das Multifunktions-Messmodul liegt eine separate Versorgung vor. Mit der Überprüfung wird sichergestellt, dass die Netzteile die notwendigen Spannungen liefern und die Betriebsfähigkeit gegeben ist. In Tab. 3.5 sind Informationen zu den Netzteilen (Anhang A) und das Prüfmittel aufgeführt.

Tab. 3.5: Übersicht über die Netzteile mit prüfungsrelevanten Daten

<u>24 V Netzteil</u>		
TDK-Lambda SWS50-24		
<i>Nennspannung:</i>	24 V	
<i>Ausgabebereich:</i>	21,6 – 26,4 V	
<i>Eingangsbereich:</i>	85 – 265 V (AC)	
Stückzahl:	1	

<u>48 V Netzteil</u>		
FEAS PSU500L-48		
<i>Nennspannung:</i>	48 V	
<i>Ausgabebereich:</i>	46 – 52 V	
<i>Eingangsbereich:</i>	230V (AC)	
Stückzahl:	1	

Prüfmittel:	Multimeter
--------------------	------------

Prüfvorgang für die Netzteile

Die Netzteile werden auf ihre Nennspannung hin überprüft.

Zur Überprüfung wird jeweils das Multimeter ausgangseitig an den Pluspol und den Minuspol des Netzteils angelegt und die Spannung gemessen.

Eingangsseitig wird eine Wechselspannung von 230V angelegt.

Der Test erfolgt lastfrei, also ohne Verbraucher.

Erwartung der Funktionsüberprüfung

Bei einer einwandfreien Funktion muss auf der Ausgangsseite die Nennspannung am Display des Multimeters abzulesen zu sein.

Im Falle einer Beschädigung kommt es zu Abweichungen.

Ergebnis der Funktionsüberprüfung

Der Prüfaufbau mit dem Netzteil PSU500L-48 zeigt eine Spannung von 52V an.

Dem Datenblatt ist zu entnehmen, dass bei einem lastfreien Zustand die Ausgangsspannung über der Nennspannung liegt. Die ausgegebene Spannung liegt innerhalb des vom Hersteller vorgegebenen Spannungsbereichs.

Beim 24 V Netzteil stimmt die Nennspannung mit der gemessenen Spannung überein.

Beide Netzteile sind in Ordnung.

Ergänzend ist zu erwähnen, dass auch das separate Netzteil des Multifunktions-Messmoduls überprüft wird. Die Überprüfung des Netzteils vom Multifunktions-Messmodul ergibt eine einwandfreie Funktion.

3.5 Funktionsüberprüfung der Aktorik

In diesem Kapitel wird die Funktion der Schrittmotoren PK264-03B (kurz PK264) und ihrer zugehörigen Schrittmotorsteuerkarte (Treiber SMC3000) überprüft und bewertet. In Tab. 3.6 sind Bezeichnungen der Komponenten mit relevanten Parametern aus den Datenblättern (Anhang A) und Prüfmittel aufgeführt.

Tab. 3.6: Übersicht über die Treiber und die Schrittmotoren mit prüfungsrelevanten Daten

<u>Schrittmotor</u>		
Vexta PK264-03B		
<i>Phasen:</i>	2	
<i>Anschlussart:</i>	<i>Bipolar</i>	
<i>Phasenstrom:</i>	2,1 A	
<i>Schrittinkel:</i>	1,8 °	
Stückzahl:	2	

<u>Treiber</u>		
EMIS SMC3000		
<i>Versorgungsspannung:</i>	24 - 48 V	
<i>Stromaufnahme, max.:</i>	6,5 A	
<i>Phasenströme</i>	3 A (<i>einstellbar</i>)	
<i>Eingänge:</i>	TTL	
Stückzahl:	3	

Prüfmittel:	Multimeter, Labornetzteil, Arduino Uno
--------------------	--

Der Vexta PK264 Schrittmotor ist ein 2-phasige SM. Er ist mit zwei Spulenpaaren, also vier Spulenhälften, ausgestattet. Jede Phase hat drei Leitungen, also insgesamt sechs. Durch den bipolaren Anschluss werden für jede Phase nur zwei Leitungen benötigt. Wie aus Kapitel 2.2 bekannt benötigt ein Schrittmotor Steuersignale und einen Treiber. Diese Bedingung erfordert die Überprüfung beider Komponenten als Zusammenbau. Die Steuersignale erhalten die Treiber von dem Multifunktions-Messmodul. Grundsätzlich kann

ein Treiber die Steuersignale generieren, wenn dieser mit einem Mikrocontroller-Einheit (Micro Controller Unit, kurz MCU) ausgestattet ist. Dieser Treiber enthält keine MCU, da diese Funktion der Laptop mit der Softwareumgebung übernimmt.

Prüfvorgang des Schrittmotors und Treibers

Testversuche in der Einarbeitungsphase zeigten auf, dass die Schrittmotoren über die grafische Anwenderoberfläche nicht ansteuerbar sind. Mögliche Ursachen sind nachfolgend aufgeführt. Um die Fehlerarten systematisch zu untersuchen, wird der Aufbau unter den Anforderungen aus Abb. 3.6 vereinfacht.

- **Mechanischer Defekt:** Überschreiten die, am Treiber einstellbaren, Phasenströme das Maximum von 2,1 A können die Spulen des Schrittmotors beschädigt werden und ein mechanischer Defekt liegt vor. In seiner möglichen unipolaren Anschlussart sind Phasenströme von 3 A zulässig. Dabei ist zu berücksichtigen, dass sich nach Gleichung (2.2) die Zeit Δt beim bipolaren Anschluss sich verkleinert und die Selbstinduktionsspannung U_L dabei erhöht.
- **Softwarefehler:** Updates auf neuere MATLAB® Versionen, können durch veränderte Funktionalitäten bei Programmcode aus einer früheren Version zu Problemen führen.
- **Signalproblem:** Eine defekte Leitung oder Verbindungsstelle kann die Signalflüsse unterbrechen.

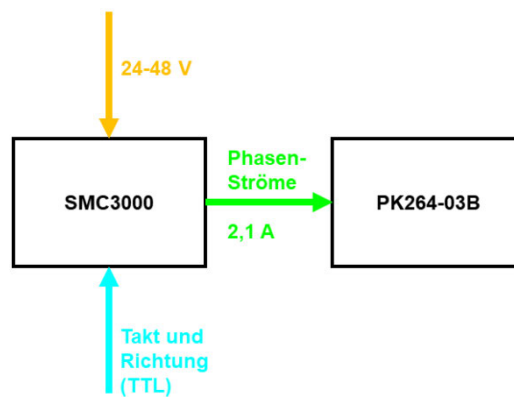


Abb. 3.6: Blockdiagramm der Schrittmotorsteuerung

Die Eingrenzung von Fehlerquellen erfolgt durch das Ersetzen der Energieversorgung und des Steuersignalgebers.

Die Energieversorgung wird zur Vereinfachung von dem Labornetzteil bereitgestellt. Die Ausgangsspannung kann stufenlos zwischen 0V und 36 V eingestellt werden. Eine maximale Stromversorgung von 7,5 A erfüllt die Anforderung des Treibers vollständig. Die maximale Ausgangsspannung von 36 V ist für die Überprüfung ausreichend.

Für die TTL-Steuersignale (Taktfrequenz und Richtungssignal) ersetzt der Arduino Uno das Multifunktions-Messmodul.

Erwartung der Funktionsüberprüfung

Die definierten Eingangsgrößen für den Treiber, geben das Ausgangsverhalten eindeutig vor. Bei einem Schrittwinkel von $1,8^\circ$ pro Schritt ergeben 200 Schritten eine volle Umdrehung des

Schrittmotors (Gleichung (2.3)). Der Treiber verfügt über Schalter, die die Schrittweite und Drehrichtung beeinflussen. Stehen die Schalter auf Halbschrittbetrieb, muss bei 200 Schritten eine halbe Umdrehung ausgeführt werden. Diese Einstellungen sind vor dem Testlauf zu überprüfen. Zusätzlich ermöglicht der Treiber das Einstellen von Ruhe- und Arbeits-Phasenstrom mittels zweier Drehregler. Dadurch lässt sich die Stromaufnahme des Schrittmotors im Ruhezustand minimieren und die Wärmeentwicklung hemmen. Bei Reduzierung des Ruhestroms verringert sich allerdings auch das Haltemoment des Schrittmotors. Mit der Arbeit-Phasenstrom-Einstellung wird die Leistungsgrenze der Schrittmotoren eingestellt. Zur Überprüfung der Phasenströme wird das Multimeter in Reihe, d.h. in die Phasenleitungen, geschaltet. Neben der Treibereinstellung kann der Drehsinn auch über den Phasenanschluss des Schrittmotors am Treiber gesteuert werden. Eine vertauschter Phasenanschluss führt zur Richtungsumkehr. Anschlüsse aller Prüflinge und Prüfmittel sind auf eine feste Verbindung zu überprüfen. Insgesamt werden zwei Schrittmotoren und drei Treiber überprüft. Die Zuordnung lautet:

- SM1 mit SMSK1
- SM2 mit SMSK2
- SMSK3 als Ersatztreiber.

Ergebnis der Funktionsüberprüfung

Die Vorgaben des Arduino-Skriptes werden von den Schrittmotoren umgesetzt.

200 Schritte entsprechen einer vollen Umdrehung. Mit einer Markierung auf dem Schrittmotor wird die Umdrehung kontrolliert.

Drehsinnänderungen per Arduino-Code oder Umstellen des Treiberschalters werden vom Schrittmotor ausgeführt.

Veränderte Taktfrequenzen äußern sich im Laufverhalten. Bei niedrigen Frequenzen ist die Drehgeschwindigkeit gering. Hohe Frequenzen erhöhen die Drehgeschwindigkeit bis zu dem Punkt, an dem es zu Schrittverlusten kommt. Dann sind 200 vorgegebene Schritte vom Schrittmotor nicht mehr fahrbar, sondern er erreicht weniger als 200 Schritte.

Die Phasenströme aller Treiber wurden teilweise um wenige zehntel Ampere korrigiert. SMSK1 und SMSK2 zeigen leichte Unterschiede in ihrem Laufverhalten. Auch nach einem Kreuztausch der Schrittmotoren und Treiber. Die Schrittmotoren laufen am Treiber SMSK2 etwas unruhiger als am Treiber SMSK1. Die Treiber geben einen Pfeifton aus, welcher unangenehm wahrnehmbar ist.

SMSK3 funktioniert nicht. Steuersignale werden nicht verarbeitet.

Die kontrollierte Unterschreitung der minimalen Betriebsspannung von 24 V führt zur Betriebsunfähigkeit der Treiber. Es äußert sich als Wechsel des Steuercodes von Zustand 1 auf Zustand 0. Unter Zustand 1 verarbeitet ein Treiber die Steuersignale und unter Zustand 0 nicht.

Die Prüfung von Treibern und Schrittmotoren ergab folgende Mängel:

- Schrittmotor SM1 mit unrundem Lauf des Schaftes
- Messerleiste (Pinleiste zum Anschließen) beider Treiber teilweise mit losen Kontakten
- SMSK3 funktionslos

3.6 Funktionsüberprüfung der Sensorik

In diese Gruppe zählen der Kraftsensor mit seinem Messverstärker und die Wegsensoren. Tab. 3.7 enthält relevante Informationen aus dem Datenblatt des Kraftsensors (Anhang A). und Informationen über Messverstärker sowie die Prüfmittel.

Tab. 3.7: Übersicht über den Kraftsensor und den Messverstärker mit prüfungsrelevanten Daten

<u>Kraftsensor</u>	
HBM U9B/100N	
Nennkraft:	100 N
Nennkennwert:	1 mV/V
Abweichung Nullsignal:	0,075 mV/V
Eingangswiderstand:	300 – 400 Ω
Ausgangswiderstand:	> 345 Ω
Speisespannungsbereich:	0,5 – 12 V
Referenzspeisespannung:	5 V
Anschlusstechnik	Vierleiter
Stückzahl:	1



<u>Messverstärker</u>	
HBM AE101	
Versorgungsspannung:	15 – 26 V
Ausgangsspannung:	+/- 10 V
Anschlusstechnik:	Vier-/Sechseleiter
Stückzahl:	1



Prüfmittel:	Labornetzteil, Multimeter
--------------------	---------------------------

Prüfvorgang des Kraftsensors

Zu Beginn wird der Kraftsensor ohne Messverstärker geprüft.

Seine vier Dehnungsmessstreifen (Vollbrücke) können durch eine Überbelastung plastisch verformt sein. Folglich würden die Widerstandswerte abweichen.

Im spannungsfreien Zustand werden der Eingangs- und Ausgangswiderstand mit dem Multimeter überprüft. Dafür wird das Multimeter an die Leitungen der Speisespannung und das Messsignal geschlossen.

Ein weiterer Test ist die direkte Spannungsversorgung der Messbrücke mit dem Labornetzteil.

Erwartung der Funktionsüberprüfung des Kraftsensors

Im spannungsfreien Zustand müssen die Widerstandswerte innerhalb der vorgegebenen Bereiche liegen.

Für den zweiten Test muss nach Gleichung (3.1) bei der Referenzspeisespannung von 5 V und einer zulässigen Abweichung des Nullsignals das Messsignal im Bereich von $\pm 0,375 \text{ mV}$ liegen. Bei einer Zug- oder Druckbelastung des Sensors sollte sich eine Spannungsänderung aufzeigen.

$$\frac{0,075 \text{ mV}}{V} * 5 \text{ V} = 0,375 \text{ mV} \quad (3.1)$$

Ergebnis der Funktionsüberprüfung des Kraftsensors

Die Überprüfung der Widerstandswerte im spannungsfreien Zustand zeigt, dass die Wertebereiche eingehalten sind.

Das Nullsignal liegt mit 15 mV weit aus der Toleranz. Der Kraftsensor ist beschädigt. Ursachen für die starke Abweichung können fehlende Abgleichwiderstände im Kabel (vgl. [10]) oder eine Beschädigung durch plastische Verformung sein.

Im Handbuch des Kraftsensors sind Abgleichwiderstände erwähnt, die unter einem Schrumpfschlauch innerhalb der Leitung verbaut sind. Dieser Schrumpfschlauch mit Widerständen ist bei der Demontage des Schaltkastens nicht vorhanden.

Ein 70kΩ-Widerstand ist zwischen der Speisespannungs-Leitung und der Messsignal-Leitung ohne Schrumpfschlauch eingelötet. Dieser Widerstand kann der Abgleichwiderstand sein. Der Widerstand wird bei der Demontage vorläufig entfernt.

Prüfvorgang des Messverstärker

Zur Überprüfung des Messverstärkers AE101 wird dieser in die Messkette nach Abb. 3.7 eingebracht. Der Messverstärker AE101 erhält seine Energieversorgung vom Labornetzteil und speist die Messbrücke des Sensors. Das Messsignal wird nun an den Ausgängen des Verstärkers mit dem Multimeter gemessen.

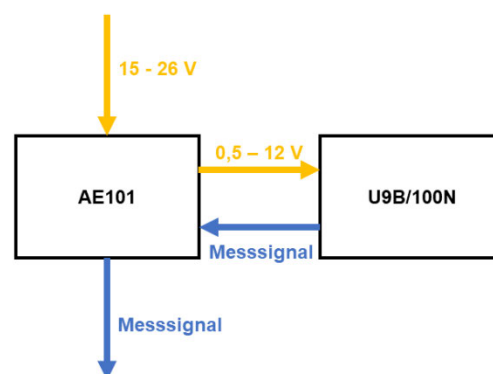


Abb. 3.7: Blockdiagramm der Kraftmessung

Der Messverstärker verstärkt das Spannungssignal des Kraftsensors.

Die Verstärkung kann über den Nennkennwert ermittelt werden. Ein Nennkennwert von einem Millivolt pro Volt bedeutet, dass der Messverstärker bei einer Speisespannung von einem Volt eine Messspannung von einem Millivolt ausgibt.

Um den Messverstärker an verschiedene Kennwerte anpassen zu können, kann dieser durch

Schalter verstellt werden. Die Einstellung wird so vorgenommen, dass der gesamte Ausgangsspannungsbereich des Messverstärkers von $\pm 10\text{V}$ genutzt wird. Dies bedeutet, dass der Kraftsensor U9B im lastfreien Zustand auf eine Ausgangsspannung von null Volt eingestellt wird.

Ergebnis der Funktionsüberprüfung des Messverstärkers

Bei der Überprüfung wird die Beschädigung des Sensors U9B deutlich. Eine Einstellung des Nullpunktes für den Sensor ist durch die Einstellungen des Messverstärkers nicht möglich.

In der Soll-Konfiguration liegt die Ausgangsspannung des Sensors bereits bei 13,8 V.

Werden die Grenzen der Messverstärkerverstellung ausgeschöpft, erreicht das Messsignal ein Niveau von 0,75 V. Wird der 70 k Ω Widerstand eingesetzt, ist ein minimales Niveau von 1,98 V erreicht.

Dies ist ein weiterer Nachweis der Beschädigung des Kraftsensors U9B.

Mittels eines zweiten Kraftsensors nach gleichem Messprinzip, aber einer Nennlast von 2kN, wird die einwandfreie Funktion des Messverstärkers überprüft und nachgewiesen.

Ein Offset ist nicht vorhanden, eine Nullpunkteinstellung ist möglich und Spannungsänderungen durch Belastung des Kraftsensors sind vorhanden. D

er Messverstärker ist in Ordnung, der Kraftsensor U9B nicht.

Tab. 3.8: Übersicht über den Wegsensor mit prüfungsrelevanten Daten

<u>Wegsensor</u>	
Lika SME2-L-2-10-I-3	
<i>Versorgungsspannung:</i>	10 – 30 V
<i>Auflösung Sensor:</i>	0,01 mm
<i>Ausgangssignal:</i>	Line Driver (TTL)
<i>Auflösung Magnetband:</i>	2 mm
Stückzahl:	3
Prüfmittel:	Labornetzteil, Oszilloskop, Arduino Uno



Prüfvorgang der Wegsensoren

Für die Überprüfung der Wegsensoren sind in Tab. 3.8 relevante Parameter (Anhang A) und Prüfmittel aufgelistet.

Die Überprüfung der Wegsensoren erfolgt nach dem Blockdiagramm aus Abb. 3.8.

Die Energieversorgung erfolgt durch das Labornetzteil. Zur Signalanalyse werden das Oszilloskop und der Arduino Uno verwendet.

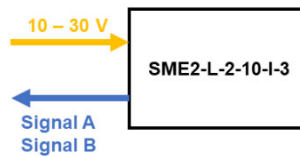


Abb. 3.8: Blockdiagramm der Wegmessung

Für die Ausgabe verlässlicher Messsignale werden die Montagerandbedingungen eingehalten. Zu den Randbedingungen zählen der Abstand zwischen Magnetband und Sensor sowie die Toleranzen von Gier-, Nick- und Wankwinkel des Sensors zum Magnetband. Der maximale Abstand beträgt ein Millimeter und die Winkelabweichungen liegen zwischen einem und drei Grad. Für konstante Randbedingungen wird das Teilsystem Demonstrator zur Hilfe genommen. Pro Wegsensor werden sechs Signale untersucht. Signale A,B,I und /A,/B,/I werden auf Güte, Phasenversatz und Invertierung geprüft.

Das Gesamtsystem Schwingungsdemonstrator nutzt die Signale A und B. Die Information über die exakte Position des Sensors (Signal I) ist nicht notwendig, aber wird für die Vollständigkeit mitgeprüft

Zur Wegermittlung werden die ausgegebenen Pulse gezählt. Zum Zählen von Pulsen wird ein Programm in der Arduino Umgebung geschrieben (Anhang C).

Als Referenzweg wird der Schrittmotor SM1 aus der Baugruppe „Primärantrieb“ genutzt. Der maximale Weg wird bei einer halben Umdrehung des Schrittmotor SM1 erreicht. Vom oberen Totpunkt zum unteren Totpunkt wird mittels Messschieber eine Auslenkung von 12 mm gemessen.

Erwartung der Funktionsüberprüfung

Bei passender Spannung und Ausrichtung des Sensors zum Magnetband müssen saubere Rechteck-Signale auf dem Oszilloskop erkennbar sein.

Die Multiplikation von gezählten Pulsen mit der Magnetbandauflösung ergibt im Idealfall die gemessene Auslenkung (Kapitel .2.4).

Ergebnis der Funktionsüberprüfung

Alle Wegsensoren liefern saubere Rechtecksignale, wenn Bewegungsgeschwindigkeit und Randbedingungen stimmen. Bei hoher Bewegungsgeschwindigkeit und Überschreitung der Toleranzen werden die Signale unsauber. Der Vergleich aller sechs Signale jedes Sensors zeigt, dass wie in Abb. 2.8

- die Signale A,B und I keinen Phasenversatz mit ihren invertierten Signalen haben
- die Beträge der Amplituden von Signal A,B und I und ihrer invertierten Signale übereinstimmen.
- der Phasenversatz von 90° zwischen Signal A und B sowie Signal A und I stimmen.

Die Summe der Pulse von Signal A und B ergibt die Gesamtpulszahl. Die Multiplikation von Gesamtpulsanzahl und Magnetbandauflösung ergibt annähernd 12 mm.

An den Totpunkten der Bewegungsrichtung kann es zu Zählverlusten kommen, wenn der Sensor einen Flankenwechsel nicht registriert.

Die Wegsensoren sind in Ordnung.

3.7 Funktionsüberprüfung der Signalverarbeitung

Das Multifunktions-Messmodul spielt als AD-/DAConverter (Kapitel 2.2) zwischen Aktorik, Sensorik und Software eine Hauptrolle. Die in Tab. 3.9 angegebene Auflösung von 16 Bit bezieht sich auf den DAC (Ausgangskanäle). Der ADC hat eine 8Bit-Auflösung.

Das vollständige Datenblatt ist im Anhang A aufgeführt.

Der Hersteller Data Translation ist 2015 von Measurement Computing Corporation (MCC) übernommen worden.

Tab. 3.9: Übersicht über das Multifunktions-Messmodul mit prüfungsrelevanten Daten

<u>Multifunktions-Messmodul</u>	
Data Translation DT9834-8-4-16-BNC	
Analoge Eingänge:	8
Analoge Ausgänge:	4
Auflösung:	16 Bit
Anschlussart AI/O	BNC
MATLAB®-Versionen:	32- und 64- Bit
Stückzahl:	1
Prüfmittel:	Software QuickDAQ, Oszilloskop, Arduino Uno



Alle analogen Ausgangskanäle werden für beide Treiber verwendet. Jeder Treiber benötigt jeweils einen Kanal für das Taktsignal und einen für das Richtungssignal.

Die analogen Eingangskanäle werden ebenfalls vollständig genutzt. Bei drei Wegsensoren mit jeweils zwei Signalen sind sechs von acht Eingängen belegt.

Der siebte Kanal wird für den Kraftsensor benötigt.

Ein Kanal wird zum Erfassen der Taktsignale von den Schrittmotoren SM1 und SM2 genutzt.

Prüfvorgang des Multifunktions-Messmoduls

Für die Überprüfung wird nach Abb. 3.9 nur eine Prüfmöglichkeit für die Signale benötigt. das Modul-Netzteil wird für die Spannungsversorgung verwendet.

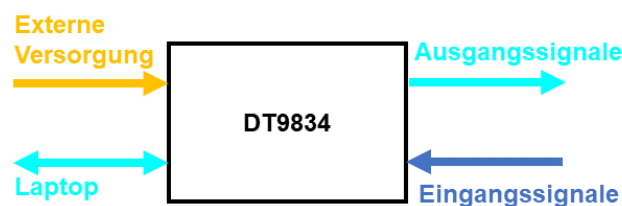


Abb. 3.9: Blockdiagramm des Multifunktions-Messmodul

Das Multifunktions-Messmodul wird auf mehreren Wegen überprüft.

Zuerst mit der Hersteller-Software QuickDAQ. Im Vergleich zu MATLAB® ist keine Programmierung zur Signalverarbeitung nötig. Sie ermöglicht die gleichzeitige Signalausgabe und -aufnahme.

Jeder Output-Kanal wird mittels BNC-Kabel mit jedem Input-Kanal einzeln verbunden und getestet. Bei vier Ausgängen und acht Eingängen ergibt dies 32 Testdurchläufe.

Als Zweites wird dieser Kreislauf mit dem Oszilloskop aufgebrochen. Ausgangskanäle und Eingangskanäle werden getrennt geprüft.

Mittels der Software QuickDAQ wird ein Ausgangssignal generiert und über einen von vier Ausgangskanälen ausgegeben. Das Ausgangssignal wird vom Oszilloskop grafisch wiedergegeben und mit dem vorgegebenen Signal verglichen.

Für die einzelne Überprüfung der acht Eingangskanäle wird ein definiertes Signal vom Oszilloskop ausgegeben von der Software QuickDAQ grafisch wiedergegeben.

Zuletzt wird die Funktionalität mit der Software MATLAB® getestet. Im Grunde ersetzt sie die herstellereigene Software QuickDAQ aus der zweiten Testreihe. Dieser Test wird durchgeführt, weil das Multifunktions-Messmodul DT9834 weiterhin in dieser Softwareumgebung genutzt wird.

Für die Nutzung von MATLAB® mit dem DT9834-Modul sind zwei Softwarepakete notwendig. Die Installation eines Adapters (Softwarepaket von MCC) und einer Toolbox (Softwarepaket von Mathworks).

Für eine korrekte Wiedergabe des Soll-Signals muss die Abtastfrequenz der Signalaufzeichnung (Empfänger) mindestens doppelt so groß wie die Signalfrequenz des Auslösers sein(vgl. [11]).

Als definierte Sollsignale kommen

- ein einfacher Sinus (Amplitude: 1 V, Frequenz 1 Hz) und
- ein Rechtecksignal (Amplitude: 5 V; Frequenz 1 Hz).

Erwartung der Funktionsüberprüfung

Für eine einwandfreie Funktion muss das Multifunktions-Messmodul die Sollsignale ausgeben und darstellen.

Signifikante Unterschiede zwischen den drei Testreihen sind unzulässig.

Ergebnis der Funktionsüberprüfung

Die Testsignalausgabefrequenz von 1 Hz ist ungenügend. Die Ausgabe eines 1Hz-Signals über das DT9834-Modul mit der Software QuickDAQ ergibt eine konstante Spannung. Zuerst wird das 1 Hz-Signal über das Multifunktions-Messmodul mit der Software QuickDAQ eingelesen.

Danach erfolgt die Erfassung über das Oszilloskop. Bei beiden ist das Verhalten zu erkennen.

Ab einer Ausgabefrequenz von 5 Hz stimmen Soll- und Ist-Signal überein.

Ausgabesignale müssen demnach Frequenzen größer 5 Hz besitzen.

Die Erfassung eines 1 Hz-Signals erfolgt problemlos.

Auffällig ist ein Offset des Grundrauschen beim analogen Eingangskanal 6.

Zu einem späteren Zeitpunkt erfolgt die Signalverarbeitung unter einer 64Bit-MATLAB®-Version. Der Umstieg von einer 32 Bit-Version zu einer 64 Bit-Version führt zum Funktionsversagen. Eingehende Signale werden in ihrer Amplitude beschnitten. Eine Lösung mit Hilfe des Supports ist nicht gefunden.

Das Modul ist defekt und muss eingesendet werden.

3.8 Funktionsüberprüfung des Schaltkastens und der Softwareschnittstelle

Nach der Analyse auf Komponentenebene erfolgt die Analyse auf Systemebene. Aussagen über eine unzuverlässige Arbeitsweise sollen ergründet werden

Prüfvorgang der Systemebene

Zuerst werden die Komponenten aus Kapitel 4.2 bis 4.4 werden nach Abb. 3.5 aufgebaut. Eine Vereinfachung erfolgt bei der Energieversorgung. Das 48 V und 24 V Netzteil PSU und SWS werden durch das Labornetzteil ersetzt und auf einem gemeinsamen Spannungsniveau von 24 V betrieben.

Diese Vereinfachung dient für einen geringeren Aufbauaufwand und ist möglich, da alle Komponenten mit einer 24 V Versorgung funktionieren.

Da die Schrittmotoren im lastfreien Zustand getestet werden, kommt die Schrittmotorsteuerkarte mit der Minimalversorgung von 24 V aus.

Der gesamte Aufbau wird offen auf dem Arbeitsbereich aufgebaut. Hintergrund ist der erleichterte Zugang zu den Einzelkomponenten.

Nach dem Aufbau folgt die Nutzung der Software. Dafür werden die Vorbereitungsschritte des Gesamtsystems Schwingungsdemonstrator nach einer vorgeschriebenen Vorgehensweise nachgestellt. Sie beinhaltet

- die Stromversorgung der Komponenten,
- den Start der Software MATLAB® (32 Bit),
- das Öffnen der Programmdatei für die grafische Benutzeroberfläche (GUI) und
- zuletzt die Initialisierungsschritte von Kraftsensor und Schrittmotor SM1.

Erwartung der Funktionsüberprüfung

Bei einwandfreier Funktion sollten die Experimente ohne Zwischenfälle von der Software über die Steuereinheit am Teilsystem Demonstrator umgesetzt werden.

Ergebnis der Funktionsüberprüfung

Bei den Vorbereitungsschritten bleibt der Prozess bei der Schrittmotorinitialisierung stehen. In der Regel dreht sich der Schrittmotor SM1 um zwei volle Umdrehungen und ermittelt die maximale Amplitude der Fußpunkterregung und die Nulllage. In diesem Fall bleibt SM1 nach einer Umdrehung stehen.

Mit Hilfe der Debugging-Funktion von MATLAB® wird festgestellt, dass der Code in der Überprüfungsschleife eines Abtastratenvergleichs festhängt. Der Vergleich ist eine größer-als-Bedingung zwischen der Frequenz für die Signalausgabe und der Frequenz für die Signalaufzeichnung. Wie bereits in Kapitel 3.7 erwähnt, muss die Empfängerfrequenz (Signalaufzeichnung) mindestens das doppelte der Auslöserfrequenz (Taktsignal) entsprechen. Auf Grund der zwei zusammengeführten Ausgangsleitungen am Eingangskanal wird das Taktsignal von SM1 abgeleitet und erfüllt die Bedingung nicht. Das Trennen der Taktsignalleitung von Schrittmotor SM2 löst die Problematik. Die Initialisierung des Schrittmotors ist nun möglich.

Die Kontrolle der ausgegebenen Taktsignale ist zwar nachvollziehbar, aber grundsätzlich nicht nötig. Die Abtastfrequenz wird in Abhängigkeit der gewünschten Ausgabefrequenz f_{out} aus Gleichung (2.3) wird programmierungstechnisch eingestellt.

Das Trennen beider Taktsignalleitungen vom Eingangskanal führt ebenfalls zum Stopp in der Vergleichsschleife.

Demnach bleibt nur die Taktsignalleitung des Schrittmotors SM1 mit dem Eingangskanal verbunden.

Versuchsläufe mit unterschiedlichen Einstellungen der GUI (Abb. 3.3) ergab folgendes:

- SM1: Anregungsfrequenzen $> 3\text{Hz}$ führen zum Programmabsturz
- SM2: Programmabsturz sobald „Start“ gedrückt wird
- Teilweise Abstürze, wenn Achsenbezeichnungen der Graphen umgestellt werden

3.9 Zusammenfassende Bewertung der Komponenten und des Schaltkastens

Auf Komponentenebene wird festgehalten, dass das Multifunktions-Messmodul, der Schrittmotor SM1, die Treiber SMSK2 und SMSK3 sowie der Kraftsensor als „defekt“ deklariert sind.

Alle weiteren Komponenten funktionieren.

Auf Teilsystemebene ist festzuhalten, dass die Software große Probleme bereitet.

Versuchsläufe können aufgrund von Programmabstürzen nicht zuverlässig durchgeführt werden.

An der hohen Masse des Schaltkastens trägt das 48 V Netzteil den größten Anteil.

Der Einsatz zweier Netzteile hat zwei Bezugspotentiale zur Folge, die zueinander einen Potentialunterschied besitzen. Im Falle einer Verbindung beider Massen, z.B. über das Metallgehäuse, kommt es zum Ausgleich des Potentialunterschieds. Folglich weichen die Potentiale aller Komponenten vom Sollwert ab.

Der Anschluss von

- zwei Netzkabeln
- einem USB-Kabel
- drei Wegsensoren
- zwei Schrittmotoren und
- einem Kraftsensor

an dem Schaltkasten ist umständlich.

In Tab. 3.10 sind die Bewertungen und Empfehlungen zusammengefasst aufgeführt.

Wie bereits in Kapitel 3.7 erwähnt, tritt der Defekt des Multifunktions-Messmoduls zu einem späteren Zeitpunkt ein, aber ist dennoch in der Tabelle als defekt gelistet. In Kapitel 5.1 wird auf den Sachverhalt eingegangen.

Tab. 3.10: Bewertungsübersicht nach der Analyse

Prüfling	Ergebnis	Begründung	Empfehlung
24 V NT	✓	Einwandfreie Funktion	keine
48 V NT	✓	Einwandfreie Funktion	Austauschen wegen hoher Masse
SM1	✗	Unsauberer Schaftlauf	Austausch gegen neuen Schrittmotor
SM2	✓	Einwandfreie Funktion	keine
SMSK1	✓	Einwandfreie Funktion	keine
SMSK2	✗	Unruhiger Lauf der Schrittmotoren	Überprüfung durch Hersteller
SMSK3	✗	Keine Ansteuerung der Schrittmotoren	Reparatur durch Hersteller
KS	✗	Fehlende Abgleichwiderstände und starke Abweichung vom Nullsignal	Ersatzbeschaffung
MV	✓	Einwandfreie Funktion	keine
WS1	✓	Einwandfreie Funktion	Ausgangssignale digital verwenden, statt analog
WS2	✓	Einwandfreie Funktion	Ausgangssignale digital verwenden, statt analog
WS3	✓	Einwandfreie Funktion	Ausgangssignale digital verwenden, statt analog
Multifunktions-Messmodul	✗	Fehlerhafte Eingangssignale	Reparatur beim Hersteller oder Ersatzbeschaffung
MATLAB®-GUI	✗	Regelmäßige Abstürze	Überarbeitung der Programme

4 Methodische Erarbeitung von Verbesserungen

Zu Beginn dieses Kapitels werden zwei Lösungen zur Schwachstellenbehebung gegenübergestellt.

Die erste Lösung bringt den Schaltkasten in den Aufbauzustand Instand und ist somit eine ökonomische Lösung.

Die zweite Lösung ist die Neuentwicklung eines Schaltkastens und wird Aufbauzustand Neu genannt.

Mit dem Aufbauzustand Instand wird eine Zwischenlösung zwischen Aufbauzustand Ist und Neu verfolgt.

In Tab. 4.1 sind die Vor- und Nachteile beider Aufbauzustände gegenübergestellt.

Ersteres ist also eine Verbesserung des Schaltkastens durch eine Instandsetzung. Bei der Instandsetzung werden die fehlerhaften Komponenten durch Neuteile ersetzt. Der Austausch gleicher Komponenten erspart konstruktive Änderungen der Teilsysteme Schaltkasten und Demonstrator. Ändert sich beispielsweise die Schrittmotorflanschgröße, hat dies Auswirkung auf die Baugruppe Primärantrieb des Teilsystems Demonstrator. Die Softwareumgebung kann weiterhin genutzt werden, aber benötigt eine Überarbeitung, um die Programmabstürze zu beheben. Die Bewahrung dieses Aufbauzustandes hat weiterhin das hohe Gewicht des Schaltkastens von 14,8 kg zur Folge.

Mit der Neuentwicklung des Schaltkastens können neue Messtechniken berücksichtigt werden. Zum Beispiel kann die aktuell analoge Kraftmessung durch eine digitale Kraftmessung ersetzt werden. Die Struktur des Gesamtsystems nach Abb. 3.5 kann neu aufgebaut werden. Das Nutzen eines Schrittmotors mit integriertem Treiber [12] ist als Beispiel zu nennen. Bei der Neuentwicklung müssen die Auswirkungen auf das Teilsystem Demonstrator und die Programmierung berücksichtigt werden. Neben konstruktive Änderungen des Teilsystems Demonstrators muss die Programmierung angepasst werden.

Tab. 4.1: Vor- und Nachteile der Aufbauzustände Instand und Neu

Aufbauzustand	Instand	Neu
Vorteil	Keine Änderung des Teilsystems Demonstrator	Verwendung neuer Messtechnik
	Nur Austausch einzelner Komponenten	Neue Strukturierung des Gesamtsystems
	Software kann weiter genutzt werden	
Nachteil	Hohes Gewicht des Schaltkastens bleibt erhalten	Überarbeitung des Teilsystems Demonstrator
		Neuprogrammierung der Software

4.1 Instandsetzung des Schaltkastens

Für den Aufbauzustand Instand werden die fehlerhaften Komponenten ausgetauscht. In Tab. 4.2 sind die betreffenden Komponenten aus Tab. 3.10 zusammengefasst aufgeführt.

Tab. 4.2: Übersicht über auszutauschende Komponenten im Aufbauzustand Instand

Prüfling	Ergebnis	Begründung	Empfehlung
48 V NT	✓	Einwandfreie Funktion	Austauschen wegen hohem Gewicht
SM1	✗	Unsauberer Schaftlauf	Austausch gegen neuen Schrittmotor
SMSK2	✗	Unruhiger Lauf der Schrittmotoren	Überprüfung durch Hersteller
SMSK3	✗	Keine Ansteuerung der Schrittmotoren	Reparatur durch Hersteller
KS	✗	Fehlende Abgleichwiderstände und starke Abweichung vom Nullsignal	Ersatzbeschaffung
Multifunktions-Messmodul	✗	Fehlerhafte Eingangssignale	Reparatur beim Hersteller oder Ersatzbeschaffung
MATLAB®-GUI	✗	Regelmäßige Abstürze	Überarbeitung der Programme

Neben den fehlerhaften Komponenten ist das 48 V Netzteil PSU aufgeführt. Die Funktion des 48 V Netzteils PSU ist einwandfrei, aber mit seinem Gewicht von 8,1 kg ist es am Gewicht des Schaltkastens von 14,8 kg maßgebend beteiligt. Hier ist das Potential der Gewichtsreduzierung des Schaltkastens am größten. Es wird nach einem neuen 48 V Netzteil recherchiert

Der Schrittmotor SM1 mit einem ungeraden Schaftlauf muss ausgetauscht werden. Das Modell PK264-03B ist abgekündigt und nicht mehr erhältlich. Ein Ersatz-Schrittmotor soll möglichst gleiche Parameter besitzen. Bei Abweichungen ist auf die Kompatibilität mit dem Treiber zu achten. Eine Änderung der mechanischen Aufnahme am Demonstrator kann nötig sein. Alternativ kann SM1 und SM2 getauscht werden. Ein ungerader Schaftlauf für die Unwuchtanregung ist akzeptabel.

Wie aus der Bewertungsübersicht (Tab. 3.10) zu entnehmen, laufen Schrittmotoren unter Treiber SMSK2 trotz gleicher Parameter unruhiger als unter Treiber SMSK1. Eine Überprüfung von SMSK2 seitens des Herstellers ist empfohlen. Der dritte Treiber (SMSK3) ist defekt und wird vom Hersteller repariert. Für den Fall, dass SMSK2 als defekt und SMSK3 als nicht reparabel eingestuft werden, wird zur Sicherheit ein neuer Treiber (SMSK4) beschafft.

Für den Kraftsensor U9B/100N sind neue Abgleichwiderstände vom Hersteller nicht erhältlich. Eine Reparatur ist laut Hersteller unwirtschaftlich. Das Modell ist abgekündigt und nicht mehr erhältlich. Das Nachfolgermodell U9C/100N wird beschafft.

4.2 Umfrage zum Gesamtsystem Schwingungsdemonstrator

Die Umfrage wurde entwickelt, um Erkenntnisse und Erfahrungen von Nutzern zu erhalten. Zu den Nutzern zählen die Personen aus der Abteilung. Diese Personen führen Schulungen durch, führten kurzzeitige Reparaturen aus oder befassten sich bereits intensiv mit dem Schwingungsdemonstrator.

Der Bewertungsbogen ist in Abb. 4.1 abgebildet.

Er untergliedert sich in Informationen zur Person, Hinweise, Bewertung und Anmerkungen. Zur Wichtung einzelner Aussagen wird zwischen „Schulungen durchgeführt“ und „keine Schulung durchgeführt“ unterschieden und dies unter Informationen zur Person angegeben. Die Hinweise erklären das Bewertungssystem und die Freitextfelder.

Das Bewertungssystem beinhaltet die Bewertung des gesamten Schwingungsdemonstrators und des Schaltkastens (im Dokument Steuereinheit genannt).

Das Bewerten des Gesamtsystems Schwingungsdemonstrator soll Ansätze für Folgearbeiten liefern.

Der Bewertung liegt ein Punktsystem von eins bis fünf (sehr gut bis sehr schlecht) vor.

Für detaillierte Begründungen der vergebenen Bewertungspunkte stehen dem Umfrageteilnehmer Kommentarfelder zur Verfügung.

Ein weiteres Freitextfeld ist die Kategorie Anmerkung. Hier sollen Vorschläge für Verbesserungen oder Punkte aufgeführt werden, welche die Kategorie Bewertung nicht abdeckt.

Bewertung des Schwingungsdemonstrators

Personinformationen

Name:

Datum:

Schulung(en) durchgeführt? (ja/nein)

Hinweise

Bitte das passende Feld **ankreuzen**: 1 = *sehr gut* 2 = *gut* 3 = *neutral* 4 = *schlecht* 5 = *sehr schlecht*

Das Kommentarfeld dient zur stichpunktartigen Begründung der Bewertung.

Das Anmerkungsfeld dient zur weiteren Kommentierung/Bewertung und für Verbesserungsvorschläge des Schwingungsdemonstrators.

Bewertung

	1	2	3	4	5	Kommentar
Gesamtsystem						
Handlichkeit / Mobilität	☐	☐	☐	☐	☐	
Bedienbarkeit	☐	☐	☐	☐	☐	
Zuverlässigkeit	☐	☐	☐	☐	☐	
Funktionsumfang	☐	☐	☐	☐	☐	
Ästhetik	☐	☐	☐	☐	☐	
Steuereinheit						
Handlichkeit / Mobilität	☐	☐	☐	☐	☐	
Bedienbarkeit	☐	☐	☐	☐	☐	

Anmerkung

Abb. 4.1: Umfragebogen zum Schwingungsdemonstrator

An der Umfrage nehmen neun der vierzehn Personen teil. Dies ergibt eine Quote von 64%. Unter den neun Teilnehmern sind vier Personen, die Schulungen durchführen. Die Auswertung nach Abb. 4.2 bestätigt die Erkenntnisse der Analysephase zum Großteil.

Softwarezuverlässigkeit, allgemeine Zuverlässigkeit und hohe Gewicht fallen am häufigsten negativ auf.

Das Gesamtsystem liegt mit einer Durchschnittsnote von 3,0 in der Mitte der Bewertungsskala. Am schlechtesten ist die Zuverlässigkeit mit 4,0 und am besten der Funktionsumfang mit 1,5 im Durchschnitt bewertet.

Der Schaltkasten tendiert mit einer Durchschnittsnote von 3,5 zu „schlecht“.

Alle abgegebenen Wertungen werden gleich gewichtet.

Nicht abgegebene Wertungen einzelner Punkte werden für die Bildung des Durchschnitts nicht berücksichtigt. Dies führt vereinzelt zu einer Durchschnittsnote, die durch eine kleinere Personenanzahl entsteht. Beispielsweise wird die Durchschnittsnote der bewerteten Bedienbarkeit des Gesamtsystems von acht Personen, statt neun Personen gebildet.

Übersicht							
befragte Personen	14						
Ausgefüllte Umfragebögen	9	64%					Stand 31.07.2020
davon Durchführende von Schulungen	4	44%					
Bewertung							
	Kategorien	Anzahl "sehr gut" 1	Anzahl "gut" 2	Anzahl "neutral" 3	Anzahl "schlecht" 4	Anzahl "sehr schlecht" 5	Durchschnittsnote keine Bewertung
Gesamtsystem	Handlichkeit / Mobilität		2	1	5	1	3,6
	Bedienbarkeit		3	4	1		2,8 1
	Zuverlässigkeit	1		1	3	4	4,0
	Funktionsumfang	5	2	1			1,5 1
	Ästhetik	1	1	5	1	1	3,0
						Ø	3,0
Steuereinheit	Handlichkeit / Mobilität		1	3	4	1	3,6
	Bedienbarkeit		1	4	2	1	3,4 1
						Ø	3,5
Anmerkungen/Kommentare - Kritikpunkte -							
	Aussagen	Anzahl					
Gesamtsystem	Systemabsturz	4					
	fehlende Transportbehälter / Transport	2					
	Stillstandsgeräusch (Schrittmotor)	1					
	hakelige Mechanik	1					
	Kabelsalat	2					
	Initialisierungszeit lang	1					
	Programm in alter MATLAB-Version	1					
Steuereinheit	hohes Gewicht	5					
	Dokumentation / Übersichtlichkeit Hardware-Aufbau	1					
	Größe	1					
	viele Anschlüsse	2					
Vorschläge							
GUI "verschlanken" (Steuerelemente / Graphen)							
Messdaten im separaten Fenster (für Projektor)							
Linearantrieb							
Weniger Stecker Steuereinheit (Sub-D o.ä.)							
FAZIT							
Top-Themen: Zuverlässigkeit (Systemabstürze), Gewicht, Kabel & Transport							

Abb. 4.2: Auswertung der Umfrage

Die Wichtung fließt in die Auswahl der Kommentare und Anmerkungen aus den Freitextfeldern ein. Erkennbar ist dies in der Auswertung daran, dass die Aussagen aufgeführt werden, obwohl sie unter allen Bögen nur einmal genannt sind. Einfache Aussagen von Teilnehmern ohne Schulungserfahrung sind gefiltert oder sinngemäß einer Aussage zugeordnet. Von den Vorschlägen sind die Punkte

- Transportbehälter auswählen,
- Anschlüsse vereinfachen,
- Kabelführung verbessern und
- GUI übersichtlicher gestalten

am interessantesten.

Ersteres wurde von den Teilnehmern genannt, die Schulungen durchführten. Hintergrund ist der standortübergreifende Einsatz. Dieser Punkt und der letzte Punkt werden im Rahmen dieser Arbeit nicht verfolgt, aber sind für anschließende Arbeiten zu berücksichtigen.

4.3 Lösungsansätze aus der Umfrage

Aus der Auswertung werden nach Abb. 4.3 in der Lösungsmatrix die Top-Themen abgeleitet und Lösungsansätze gebildet.

Die Einstufung als Top-Thema erfolgt durch die Häufigkeit der genannten Aussagen. Die Bedienbarkeit zählt nicht zu den Top-Themen, ist aber für diese Arbeit relevant.

Durch die Einstufung nach Priorität wird eine Ordnung der Top-Themen erzeugt. Die geordneten Themen sind in Unterfunktionen untergliedert.

Für diese Funktionen werden Lösungsideen gesammelt. Verfolgte Lösungen, die in dieser Arbeit behandelt werden, sind in der Übersicht grün hinterlegt.

Zur Verbesserung der Zuverlässigkeit muss die Programmierung überarbeitet werden. Der Programmcode ist 2006 in einer 32Bit-MATLAB®-Version programmiert worden.

Vor dem Hintergrund, dass seit 2015 ausschließlich 64Bit-MATLAB®-Versionen verfügbar sind und das Multifunktions-Messmodul DT983 defekt ist, wird nach einem neuen Multifunktions-Messmodul gesucht.

Für eine Gewichtsreduzierung wird ein leichteres 48 V Netzteil beschafft und die Komponentenanzahl verringert.

Für die Verbesserung der Bedienbarkeit des Schaltkastens wird eine D-Sub-Steckverbundung als gemeinsamer Kabelanschluss umgesetzt. Aktuell ist für den Betrieb der Anschluss von neun Steckverbindern notwendig.

		Priorität	Thema	Funktionen	Lösungen			
Top-Themen	Hoch	Zuverlässigkeit		<i>Systemabstürze unterbinden</i>	Programmcode debuggen	neuen Programmcode schreiben	neues Multifunktions-Messmodul verwenden	Programmcode "verschlanken" (nicht genutzte Funktionen entfernen)
				<i>hakelige Mechanik vermeiden</i>	Mechanik überholen			
	Hoch	Gewicht		<i>Steuereinheit leichter machen</i>	schweres Netzteil ersetzen	Komponentenanzahl reduzieren	Gehäuse aus Kunststoff	
	Mittel	Kabel		<i>Kabelsalat vermeiden</i>	Kabellängen kürzen	Kabel führen		
	Niedrig	Transport		<i>Transportsicherheit gewähren</i>	geeignete Transportkisten	aus 2 Einzelementen eines machen		
	Mittel	Bedienbarkeit		<i>Selbsterklärender Aufbau erzeugen</i>	Kabelanschlüsse reduzieren			
			<i>einfache Softwarebedienung ermöglichen</i>	getrennte Eingabe und Ausgabefenster				
			<i>Dokumentation</i>	digital	Handbuch			

Abb. 4.3: Lösungsmatrix zu Schwachstellen aus der Umfrage

4.4 Lösungsansätze aus der Analyse

Aus der Analyse nach Kapitel 3 geht hervor, dass einige Komponenten defekt oder in ihrer Funktion eingeschränkt sind.

Hinzu kommt die suboptimale Ausführung des Aufbauzustandes Ist.

Die TTL-Signale für Treiber und von den Wegsensoren über analoge Kanäle auszugeben oder zu erfassen ist nicht nötig. Diese Signale können direkt über digitale Ein- und Ausgänge eines Multifunktions-Messmoduls verarbeitet werden. Die Verwendung der digitalen ein- und Ausgänge ermöglicht eine vereinfachte Programmierung zur Datenerfassung und Darstellung. Nach der Bewertung aus Kapitel 3.9 werden folgende Ziele verfolgt

- Gewichtsreduzierung,
- Gemeinsame Versorgungsspannung,
- Geringerer Anschlussaufwand
- Verbesserte Funktionsgruppen
- Neues Multifunktions-Messmodul verfolgt.

Aus ökonomischer Sicht werden einwandfreien Komponenten in den Aufbauzustand Neu übernommen. Diese Entscheidung geht mit der Auswahl eines der bereits vorhandenen Spannungsniveaus einher.

In Tab. 4.3 sind beide Spannungsniveaus gegenübergestellt.

Bei beiden Entscheidungen kommt es zum Entfall aller Netzteil. Sie müssen jeweils durch ein leistungstärkeres Netzteil ersetzt werden

Bei einem 24 V System können der Messverstärker AE und die Wegsensoren SME in den Aufbauzustand Neu übernommen werden. Die Treiber und Schrittmotoren funktionieren auch bei diesem Spannungsniveau. Allerdings führt dies zu Drehmomentverlusten der Schrittmotoren bei höheren Drehzahlen und die Treiber SMC3000 sind an ihrer unteren Betriebsgrenze. Demnach ist ein Austausch beider Komponenten empfohlen. Das Multifunktions-Messmodul muss ebenfalls ausgetauscht werden.

Im Falle eines 48 V Systems werden die Treiber und Schrittmotoren in den Aufbauzustand Neu übernommen. Neben dem 48 V Netzteil PSU müssen auch der Messverstärker AE, das Multifunktions-Messmodul DT9834 und die Wegsensoren SME ausgetauscht werden. Bei der

Übernahme der Schrittmotoren Pk264 ist zu beachten, dass der Schrittmotor SM1 wegen seines Defekts ausgetauscht werden muss. Ein erster Überblick nach Multifunktions-Messmodulen mit einer Spannungsversorgung über 36 V brachte die Erkenntnis, dass für dieses Spannungsniveau keine Module verfügbar sind.

Folglich ergibt sich die Entscheidung ein 24 V Spannungsniveaus.

Tab. 4.3: Gegenüberstellung der Spannungsniveaus

System	Weitere Nutzung	Austausch	Entfall
24 V	Messverstärker Wegsensoren	24 V Netzteil Treiber Schrittmotoren Multifunktions-Messmodul	48 V Netzteil
48 V	Treiber Schrittmotoren	48 V Netzteil Messverstärker Wegsensoren Multifunktions-Messmodul	24 V Netzteil

Somit wird ein Aufbauzustand Neu entwickelt, welcher auf die Verbesserung der Funktionsgruppen Energieversorgung, Aktorik, Sensorik und Signalverarbeitung abzielt. Eine klassische Konzeptphase mit Ideenfindung, Bewertung und Gegenüberstellung der Konzepte sowie die Auswahl eines Konzepts entfällt.

Anhand Abb. 4.4 ist der Aufbauzustand Neu als Blockdiagramm dargestellt.

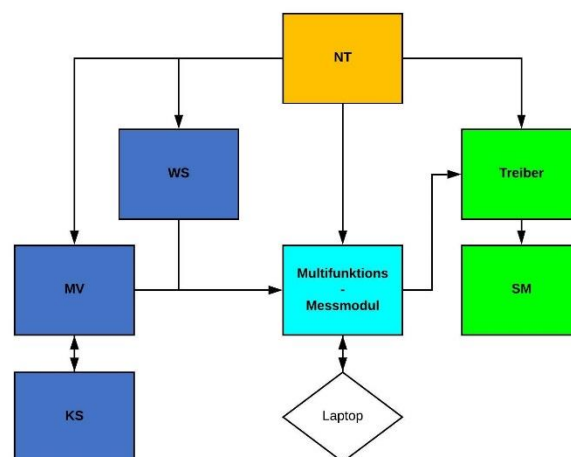


Abb. 4.4: Blockdiagramm des Aufbauzustandes Neu

4.5 Verbesserung der Wegsensoren und des Messverstärkers

Für die Wegerfassung wird ein Überblick anderer Messprinzipien verschafft. Das Magnetband-Prinzip der verwendeten Wegsensor SME fordert enge Randbedingungen (siehe Kapitel 3.6). Mit größeren Winkeltoleranzen oder einem größeren Abstand wird der Messbereich der richtigen Wegerfassung erhöht. Die optische Wegerfassung erfüllt diese Anforderung. Allerdings stehen dieser Eigenschaft der optischen Wegerfassung

- eine geringere Verfahrensgeschwindigkeit,
- ein größerer Bauraumbedarf,
- höhere Anfälligkeiten durch Umwelteinflüsse und
- Umbaumaßnahmen des Teilsystems Demonstrator

entgegen.

Das Messprinzip der Wegsensoren SME ist für diese Anwendung am besten geeignet. Die Ausgangssignale werden im Aufbauzustand Neu nun digital und nicht mehr analog verarbeitet.

Der Messverstärker AE wird ebenfalls für den verbesserten Schaltkasten eingesetzt. Mit seinem analogen Messprinzip gibt er präzise Messwerte an bzw. verstärkt die analogen Messwerte des Kraftsensors.

4.6 Verbesserung der Energieversorgung

Das neue 24 V Netzteil muss die Leistung für alle Verbraucher bereitstellen. Die Leistung wird allgemein durch die Multiplikation der Gleichung (2.1) mit der Stromstärke I ermittelt. Die Berechnung der Maximalleistung erfolgt nach Gleichung (4.1).

$$P_{max} = U_{max} * I_{max} \quad (4.1)$$

Als Richtwert zur Netzteilauswahl dient der maximale Leistungsbedarf des aktuellen Schaltkastens. Dafür werden die Maximalleistungen der einzelnen Komponenten addiert. Die Addition von

- einem Messverstärker,
- einem Treiber,
- einem Multifunktions-Messmodul und
- drei Wegsensoren

ergibt einen Leistungsbedarf von 350W. Der Kraftsensor wird vom Messverstärker und die Schrittmotoren von den Treibern versorgt und entfallen aus der Berechnung. Sie bestimmen den tatsächlichen Leistungsbedarf des Messverstärkers bzw. des Treibers. Würden Kraftsensor oder Schrittmotoren eine höhere Leistung benötigen, wäre diese durch die vorgeschalteten Elemente begrenzt. Es fließt nur ein Treiber in die Berechnung ein, da im Betrieb immer nur ein Schrittmotor aktiv ist. Das Multifunktions-Messmodul wird berücksichtigt, da es in Zukunft intern versorgt wird.

Eine ausreichende Anzahl an Ausgangskanälen ermöglicht den ordnungsgemäßen Anschluss aller Verbraucher. Bei einem Messverstärker, einem Multifunktions-Messmodul, einem Treiber und drei Wegsensoren ist ein sechsfach-Anschluss nötig.

Das aktuelle 24 V Netzteil von TDK Lambda ist mit seiner Ausgangsleistung von 50,4 W unzureichend. Es ist dem Netzteil von XP POWER in Tab. 4.4 gegenübergestellt. Das Modell

erfüllt im Vergleich der Netzteile aus Anhang B die Anforderungen am besten. Mit einer Ausgangsleistung von 800 W ist die Anforderung erfüllt.

Das XP POWER Modell bietet nur vier Anschlüsse. Die Verbindung aller Wegsensoren über einen Anschluss reduziert die Anforderung auf vier Anschlüsse. Vorteilhaft ist der Anschluss der Eingangsseite (AC) über einen Kaltgerätestecker (IEC-60320 C13/C14). Zusätzlich ist das Modell mit einem Ein-/Ausschalter ausgestattet. Aktuell ist auf der Rückseite des Schaltkastens eine Kaltstecker-Buchse. Im Gehäuse führen Leitungen zum Ein-/Ausschalter auf die Vorderseite des Schaltkastens. Vom Schalter führen Leitungen zur Schraubklemmenleiste des TDK Lambda Netzteils. Die Kabelführung entfällt durch den direkten Anschluss des XP Power Netzteil.

Nachteilig ist die Gewichtserhöhung um 1,1 kg und der größere Bedarf an Bauraum.

Tab. 4.4: Vergleich der Netzteile

			
Hersteller	-	TDK Lambda	XP POWER
Modell	-	SWS50-24	SMR800PS24
Nennspannung	V	24	24
Eingangsbereich	VAC	85 – 265	90 – 264
Eingangsbereich	VDC	120 – 370	120 – 370
Ausgabebereich	V	21,6 – 26,4	-
Ausgabestrom, max.	A	2,1	33,33
Ausgabeleistung, max.	W	50,4	800
Effizienz	%	80	85
DC-Anschlusskanäle	-	2	4
AC-Anschluss		Terminal Block	Kaltgerätestecker
Dimension	mm	37 x 92 x 159	63,5 x 108 x 233
Gewicht	kg	0,4	1,5
Preis (netto)	€	(abgekündigt)	465,72

4.7 Verbesserung der Schrittmotorentreiber

Wie in Kapitel 3.5 erwähnt, sind die aktuellen Treiber bei Betrieb an ihrer Betriebsspannungsgrenze unzuverlässig. Die Suche nach Treiber für eine 24 V Nennbetriebsspannung ist die Folge. Die Auswahl wird in Abhängigkeit des Schrittmotors getroffen.

Die Auswahl aus der Recherche (Anhang B) fällt auf das Modell SMC2200 vom Hersteller des aktuellen Treibers. Tab. 4.5 zeigt den Vergleich zwischen Treiber SMC3000 und SMC2200. Beide haben die bipolare Schaltung und TTL-Signalsteuerung gemein. Gleiche Längen- und Breitenmaße ermöglichen dieselbe Montagemöglichkeit im Schaltkasten.

Die maximalen Eingangsströme beider Treiber liegen auf einem ähnlichen Niveau. Somit sind die maximalen Ausgangsleistungen bei 24 V Betriebsspannung ähnlich. Der Phasenstrom reduziert sich von 3 A auf 2,2 A .

Der tatsächliche Eingangsstrom I_{Ein} ist der Quotient aus aktueller Leistung P_{Ist} und Eingangsspannung U_{Ein} . Gleichung (4.2) leitet sich von Gleichung (4.1) her.

$$I_{Ein} = \frac{P_{Ist}}{U_{Ein}} \quad (4.2)$$

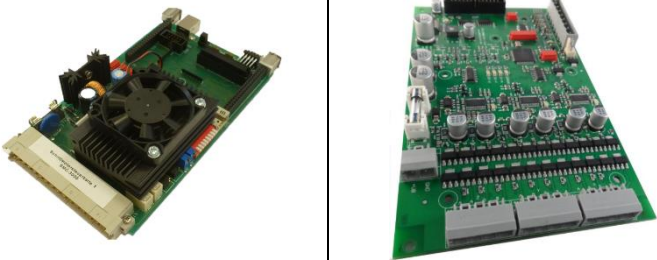
Vorteilhaft ist der Anschluss von drei Schrittmotoren an SMC2200. Somit wird der Schaltkasten um eine Komponente reduziert.

Der Entfall eines Treibers und des niederen Gewichts von SMC2200 erleichtern den Schaltkasten um etwa 0,4kg.

Die Ausgabefrequenz von 20 kHz meint die Gesamtausgabefrequenz des Treibers. Bei einer parallelen Ansteuerung von drei Schrittmotoren ergibt dies eine Ausgabefrequenz von 6,6 kHz pro Schrittmotor.

Für den Schwingungsdemonstrator werden allerdings nur zwei Anschlüsse benötigt. Somit können Ausgabefrequenzen bis zu 10 kHz pro Schrittmotor gleichzeitig ausgegeben werden. In der Regel ist nur ein Schrittmotor zurzeit aktiv und kann somit auf die volle Ausgabefrequenz zugreifen.

Tab. 4.5: Vergleich der Treiber

			
Hersteller	-	EMIS	EMIS
Modell	-	SMC3000	SMC2200
Eingangsspannung	V	24-48	12-24
Eingangsstrom, max	A	6,5	6
Leistung, max	W	312	144
Phasenstrom	A	3	2,2
Anzahl Motoranschluss	-	1	3
Ausgabefrequenz	kHz	5	20
Dimension	mm	100 x 160 (19" Einschub)	100 x 160 (19" Einschub)
Gewicht	kg	0,33	0,27
Preis (netto	€	149,00 (abgekündigt)	189,00

4.8 Verbesserung der Schrittmotoren

Kompatibel zum Treiber werden Schrittmotoren ausgewählt, die ein gleiches Motorflanschmaß wie die aktuellen Schrittmotoren PK264-03B von Vexta besitzen. Eine Montage ohne Umbaumaßnahmen des Teilsystems Demonstrator ist die Folge. Unter Berücksichtigung eines 24 V Systems soll der neue Schrittmotor einen gleichwertigen oder höheren Drehmomentverlauf besitzen.

Verglichen werden in Tab. 4.6 das aktuelle Modell von Vexta gegenüber dem von Sanyo. Beide besitzen einen Schrittwinkel von 1,8°, sind bipolar steuerbar und mit einer Doppelwelle ausgestattet. Letzteres ist für den Sekundärantrieb wichtig.

Der Schrittmotor von Sanyo erfordert eine höhere Phasenspannung bei ähnlichem Phasenstrom. Der höhere Leistungsbedarf darf die Grenzwerte des neuen Treibers nicht überschreiten. Nach Gleichung (4.1) ergibt sich die Phasenleistung aus der Multiplikation von Phasenspannung und Phasenstrom. Für den Maximalwert muss die Gleichung verdoppelt werden, da beide Phasen gleichzeitig bestromt sein können. Nach Gleichung (4.3) ergibt sich die maximale Leistung eines Schrittmotors von Sanyo.

$$P_{SM,max} = 2 * 4 V * 2 A = 16 W \quad (4.3)$$

Mit der bekannten Maximalleistung $P_{SM,max}$ wird nach Gleichung (4.2) der benötigte Eingangsstrom I_{Ein} des Treibers ermittelt. Dieser muss unterhalb des maximalen Eingangsstromes liegen. Die aktuelle Leistung P_{Ist} entspricht $P_{SM,max}$ und die Eingangsspannung U_{Ein} entspricht 24 V. Es ist zu erkennen, dass der benötigte Eingangsstrom ein Zehntel des Grenzwertes entspricht.

$$I_{Ein} = \frac{16 \text{ W}}{24 \text{ V}} = 0,666 \text{ A} \quad (4.4)$$

Das entscheidende Auswahlkriterium des Schrittmotors aus dem Vergleich im Anhang B ist der Drehmomentverlauf.

Der Vergleich zwischen Vexta und Sanyo zeigt, dass der Schrittmotor von Sanyo höhere Werte als der aktuelle Schrittmotor besitzt.

Als Referenz wird der Drehmomentverlauf des Vexta-Modells bei 48 V Versorgungsspannung genommen.

Ein geringeres Drehmoment kann von stockendem Betrieb bis hin zum vollständigen Stillstand führen.

Der Momentenverlauf von Sanyo fällt mit steigenden Taktfrequenzen stark ab.

Bis zu einer Taktfrequenz von 2 kHz liegt er über dem Vexta-Modell.

An diesem Punkt besitzen beide Modelle ein Drehmoment von 0,4Nm.

Nach Gleichung (2.3) entspricht eine Taktfrequenz von 2 kHz eine 10Hz-Anregung. Ab diesem Punkt verlaufen beide bis zur 3kHz-Grenze identisch.

Bei Taktfrequenzen oberhalb von 3 kHz fällt der Momentenverlauf von Sanyo unter das Vexta-Modell.

Aus den Schulungsunterlagen geht hervor, dass kein Versuch über der 3kHz-Taktfrequenz liegt.

Die Charakteristik des Sanyo-Modells erfüllt die Anforderung.

Die Bauraumhöhe mit 75,8 mm gegenüber einer Bauraumhöhe des Vexta-Modells mit 54 mm (ohne Schaftlängen) erfordert eine Anpassung der mechanischen Aufnahme am Teilsystem Demonstrator.

Das erhöhte Gewicht ergibt eine Erhöhung des Sekundärtrieb-Gewichts.

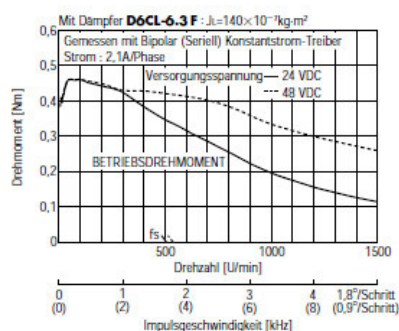
Die 3-fache Rotorträgheit erhöht die Wahrscheinlichkeit an Schrittverlusten. Programmseitig kann diese Schwachstelle durch Anlaufampen entgegengewirkt werden. Trotz der Nachteile ist dieser Schrittmotor im Vergleich mit dem Schrittmotoren aus Anhang B die beste Option.

Tab. 4.6: Vergleich der Schrittmotoren

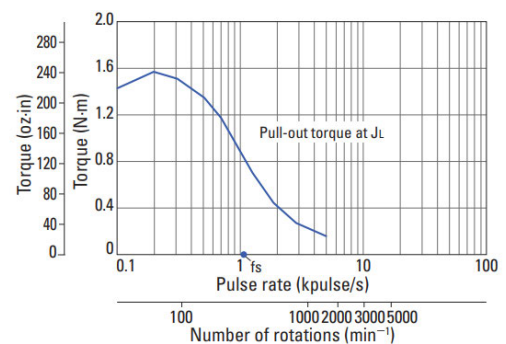
			
Hersteller	-	Vexta	Sanyo
Modell	-	PK264-03B	103H7126-5710
Phasenspannung	V	2,6	4
Phasenstrom	A	2,1	2
Leistung, max	W	11	16
Haltemoment	Nm	0,48	1,6
Rotorträgheit	10^{-4} kg m^2	0,12	0,36
Doppelwelle	-	Ja	Ja
Dimension	mm	56 x 56 x 54	56 x 56 x 75,8
Gewicht	kg	0,45	0,98
Preis (netto)	€	63,00 (nicht abgekündigt)	72,20

Momentenverlauf

●PK264-03B Bipolar (Seriell)

103H7126-5740
103H7126-5710

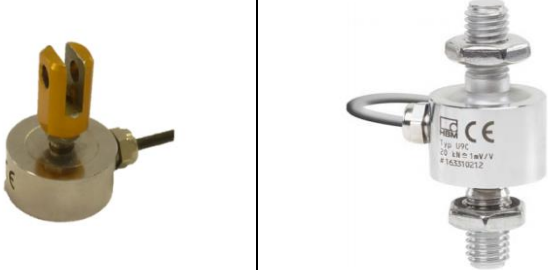
Constant current circuit
 Source voltage: 24 VDC
 Operating current:
 2 A/phase, 2-phase
 energization (full-step)
 $J_L = [2.6 \times 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ (14.22
 oz·in²) use the rubber
 coupling]
 fs: Maximum self-start
 frequency when not
 loaded



4.9 Verbesserung des Kraftsensors

Der Kraftsensor U9B/100N ist abgekündigt und durch seinen Nachfolger ersetzt. Ein Vergleich mehrerer Kraftsensoren (Anhang B) ergibt den Nachfolger U9C/100N als Favoriten. Eine Montage ohne Umbaumaßnahmen des Teilsystems Demonstrator ist von Vorteil. Bei beiden sind Kennwerte, Parameter und Dimensionen gleich.

Tab. 4.7: Vergleich der Kraftsensoren

			
Hersteller	-	HBM	HBM
Modell	-	U9B/100N	U9C/100N
Nennkraft	N	100	100
Nennkennwert	mV/V	1	1
Speisespannung	V	0,5 – 12	0,5 – 12
Anschluss	-	4-leiter	4-leiter
Dimension	mm	Ø26 x 24	Ø26 x 24
Gewicht	kg	0,075	0,075
Preis (netto)	€	(abgekündigt)	620,35

4.10 Verbesserung des Multifunktions-Messmoduls

Unter den Multifunktions-Messmodulen zeichnet sich das Produkt von National Instruments ab. Mit einer Versorgungsspannung von 11-30 V ist eine Integration in den Schaltkasten möglich. Der Verlust von zwei AO wird kompensiert, indem die Takt- und Richtungssignale der Schrittmotoren über die DI/O ausgegeben werden.

Die Eingangssignale der Wegsensoren können ebenfalls über die digitalen Eingänge eingelesen werden, da sie als TTL-Signal ausgegeben werden.

Demnach ist nur noch ein analoger Eingang für die Kraftmessung nötig.

Insgesamt werden vier digitale Ausgänge, sechs digitale Eingänge und ein analoger Eingang benötigt.

Die Unterstützung seitens Mathworks wird für 32 Bit- und 64 Bit-MATLAB®-Versionen gewährleistet. Eine weitere Softwareinstallation zur Kommunikation zwischen Modul und MATLAB® ist bei National Instrument nicht nötig. Das Modul wird direkt von Mathworks unterstützt.

Die Anschlüsse der Signalleitungen erfolgt mit Schraubklemmen, statt BNC-Verbindungen. Bei beiden Modulen erfolgt die Datenübertragung über USB 2.0. Die Abtastrate von 500 kHz ist bei beiden ebenfalls gleich.

Tab. 4.8: Vergleich der Multifunktions-Messmodule

		 	
Hersteller	-	Data Translation	National Instruments
Modell	-	DT9834-8-4-16-BNC	USB-6341
Versorgungsspannung	V	5	11 – 30
Eingangskanäle, analog	-	8	16
Ein- & Ausgänge, digital	-	32	24
Ausgänge, analog	-	4	2
MATLAB-Support, direkt	-	Nein, Extrasoftware	Ja
Kabelanschluss	-	BNC	Schraubklemmen
Dimension	mm	40 x 117 x 271	36 x 173 x 164
Gewicht	kg	0,9	1,4
Preis (netto)	€	3970,00	1500,00

4.11 Verbesserung des Schaltkastens

Die ausgewählten Komponenten aus den Kapiteln 4.6 bis 4.10 werden nach Abb. 4.5 im Schaltkastengehäuse neu angeordnet. Als Basis dient das vorhandene Gehäuse von dem Aufbauzustand Ist.

Die Komponenten werden auf der Grundfläche so positioniert, sodass der Gesamtschwerpunkt des Schaltkastens im Aufbauzustand Neu eine zentrale Lage hat.

Das 24 V Netzteil ist so angeordnet, dass sich der Kaltgerätestecker mit Ein-/Ausschalter auf der Rückseite des Schaltkastens befindet. Dafür wird es mit Haltern in liegender Position im Schaltkasten verschraubt.

Messverstärker und Treiber sind stehend angeordnet. Somit wird die beanspruchte Grundfläche über die Höhe und Länge, statt Breite und Länge der Komponenten bestimmt. Dies ist möglich, weil die Breiten der Komponenten kleiner als die Höhe des Bauraums sind. Die eingesparten Grundflächen kommen der Kabelführung zugute.

Das Multifunktions-Messmodul ist so angeordnet, dass der USB-Anschluss auf der Schaltkasten-Vorderseite ist. Die Ein- und Ausgänge des Multifunktions-Messmoduls befinden sich auf der gegenüberliegenden Seite. Neben dem USB-Anschluss befindet sich der Kabelanschluss für Aktorik und Sensorik auf der Vorderseite.

Zur Wärmeabfuhr ist an der Rückplatte der AC-Lüfter W2K121-AA01-03 von ebmpapst montiert. Der Aufbauzustand ist ermöglicht den Anschluss des AC-Lüfters auf der Eingangsseite des 48 V Netzteils PSU. Das neue Layout bietet diese Möglichkeit nicht. Der Anschluss eines Lüfters erfolgt auf der Ausgangsseite des 24 V Netzteils SMR. Der AC-Lüfter wird gegen den DC-Lüfter 2406KL-05W-B10-L00 von NMB Technologies ausgetauscht.

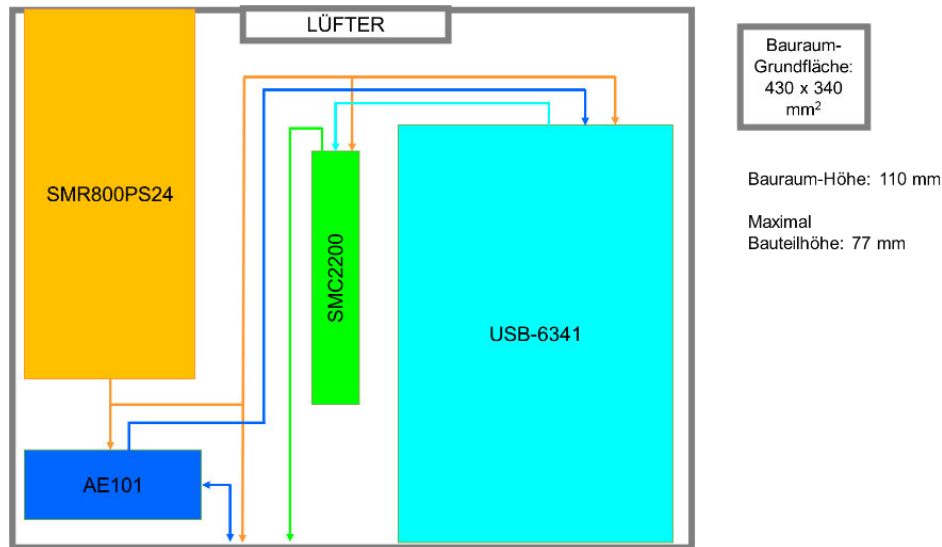


Abb. 4.5: 2D-Darstellung des neuen Schalkastenlayouts

Eine schnelle Anbindung des Teilsystems Demonstrator an den Schaltschrank kann mit einer gemeinsamen Steckverbindung erzielt werden. Dafür wird der Schaltschrank von sechs einzelnen Rundsteckverbindungen auf eine D-Sub-Steckverbindung umgerüstet. Nach Tab. 4.9 wird ein Stecker mit 24 Polen benötigt. Unter den D-Sub-Steckverbindern ist eine 25 polige Buchse die naheliegendste.

Tab. 4.9: Übersicht über erforderliche Polanzahl der Steckverbindung

Komponente	Anzahl	Pol / Komponente	Gesamtpolanzahl
Wegsensoren	3	4	12
Kraftsensor	1	4	4
Schrittmotoren	2	4	8
			24

5 Umsetzung und Ergebnisse von Verbesserungen

In diesem Kapitel werden die Umsetzungen und die Ergebnisse für den instandgesetzten Schaltkasten und den verbesserten Schaltkasten dargestellt. Der instandgesetzte Schaltkasten soll eine zeitnahe Nutzung des Gesamtsystems Schwingungsdemonstrator ermöglichen. Mit den vollzogenen Maßnahmen wird der vorhandene Aufbau bewahrt und die Funktionsfähigkeit wiederhergestellt. Der instandgesetzte Zustand repräsentiert den neuen Ist-Zustand. Für den verbesserten Schaltkasten soll dieses Kapitel den aktuellen Entwicklungsstand aufzeigen. Ein weiterer Bestandteil ist das Vorstellen weiterer Schritte zur Umsetzung des verbesserten Schaltkastens.

5.1 Instandsetzung des Schaltkastens

In Tab. 5.1 wird visualisiert, welche Komponenten in welchem Aufbauzustand eingesetzt werden. Die großteilige Übernahme an Komponenten aus dem Aufbauzustand Ist in den Aufbauzustand Instand ist zu erkennen.

Tab. 5.1: Komponentenvergleich der Aufbauzustände Ist und Instand

Aufbauzustand	Ist	Instand
24 V Netzteil	TDK Lambda SWS50-34	
48 V Netzteil	FEAS PSU500L48	TDK Lambda RWS-600B-48
Treiber	EMIS SMC3000	
Schrittmotoren	Vexta PK264-03B	
Wegsensoren	Lika SME2-L-2-10-I-3	
Kraftsensor	HBM U9B/100N	HBM U9C/100N
Messverstärker	HBM AE101	
Multifunktions-Messmodul	Data Translation DT9834-8-4-16-BNC	

Zur Verbesserung der Komponenten aus Tab. 4.2 wird die Umsetzung nachfolgend beschrieben.

Zur Gewichtsreduzierung des Schaltkastens wird das 48 V Netzteil RWS bestellt und verbaut. Mit dieser Maßnahme wird das Gewicht um 6,5 kg verringert. Das Gesamtgewicht verringert sich von 14,8 kg auf 8,3 kg.

Die Treiber SMC3000 sind zum Hersteller eingesendet und repariert. Treiber SMSK2 ist als „nicht defekt“ deklariert. Ein erneuter Vergleich mit SMSK1 zeigt keine Phasenstromunterschiede auf, aber das Fiepen von SMSK1 ist weiterhin stärker wahrnehmbar. Bei SMSK3 ist ein Widerstandsnetzwerk repariert. Nach der Reparatur funktioniert SMSK3 einwandfrei. Zur Sicherheit wird ein weiterer Treiber SMSK4 beschafft, der als Ersatz dient.

Für den Kraftsensor U9B sind keine Abgleichwiderstände als Ersatzteile erhältlich. Somit muss dieser zur Reparatur eingesendet werden. Die Reparaturkosten liegen schätzungsweise auf Neupreisniveau. Das Risiko einer irreparablen Beschädigung durch eine Überbelastung kann nicht ausgeschlossen werden. Die Reparatur des Kraftsensors U9B wird ausgeschlossen. Der Kraftsensor U9B ist abgekündigt. Somit wird das Nachfolgermodell U9C beschafft und verbaut.

Trotz der Beschaffung neuer Komponenten ist der Aufbauzustand Instand nicht umgesetzt. Grund dafür ist der sequenzielle Ausfall der Komponenten.

In Abb. 5.1 wird dieser fortlaufende Ausfall von dem Beginn der Instandsetzung bis zur Abbruchentscheidung schematisch dargestellt. Der zeitliche Rahmen beträgt etwa acht Wochen.

Als erste Maßnahme werden die fehlerhaften Treiber SMC3000 repariert und ein neuer Treiber SMC3000 beschafft.

Gefolgt von einer Recherche nach einem neuen 48 V Netzteil folgt die Beschaffung des 48 V Netzteils RWS als zweite Maßnahme.

Die dritte Maßnahme ist die Beschaffung des Kraftsensors U9C.

Die Abbruchentscheidung der Instandsetzung wird nach erneuten Testversuchen des Multifunktions-Messmoduls DT9834 getroffen. Getestet wird die Betriebsfähigkeit des Moduls mit einer 64Bit-MATLAB Version. Bisher wird mit einer 32Bit-MATLAB Version gearbeitet. Für den Umstieg wird eine neue Toolbox (Software) benötigt und die Programmierbefehle unterscheiden sich. Der Umstieg führt zu Problemen mit den analogen Eingangssignalen. Die Eingangssignale werden in ihrer Amplitude beschnitten. Die Neuinstallation benötigter Software löst das Problem nicht.

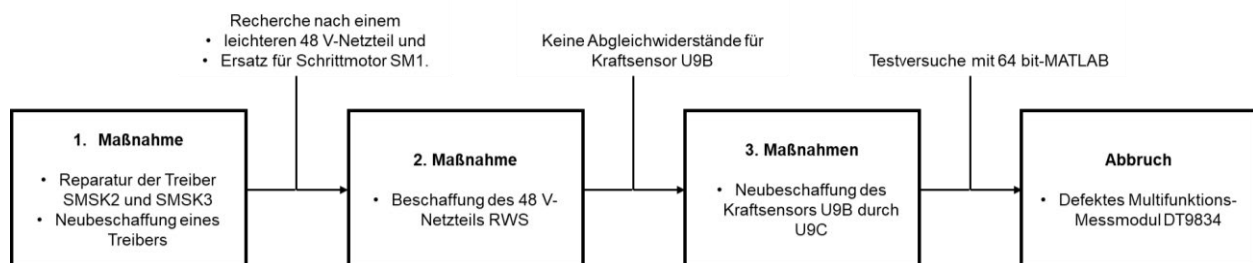


Abb. 5.1: Sequenzieller Ausfall von Komponenten

Die Reparaturkosten des Multifunktions-Messmoduls DT9834 wird vom Hersteller in Höhe von 755 € kalkuliert. Mit den bereits geleisteten Zahlungen in Höhe von ca. 965 € steigen die Gesamt-Reparaturkosten auf 1720 € an. Die Investition von 1720 € für eine Zwischenlösung ist unwirtschaftlich. Eine Reparatur des Multifunktions-Messmoduls DT9834 wird nicht eingeleitet und die Instandsetzung des Schaltkastens wird abgebrochen.

In Tab. 5.2 sind die Positionen und Kosten der Instandsetzung des Schaltkastens aufgeführt. Die geleisteten Zahlungen und erwartete Kosten sind zu entnehmen.

Tab. 5.2: Kostenübersicht über die Maßnahmen der Reparatur und der Instandsetzung

Komponente	Art	Kosten, netto [€]
Treiber SMSK2	Reparatur	39,00
Treiber SMSK3		
Treiber SMSK4	Neukauf	149,00
48 V Netzteil	Neukauf	148,64
Kraftsensor	Neukauf	627,85
geleistete Zahlungen		964,49
Multifunktions-Messmodul DT9834	Reparatur	755,00
Erwartete Gesamtkosten		1719,49

5.2 Aktueller Stand des verbesserten Schaltkastens

Die aus Kapitel 4 erarbeiteten Verbesserungen führen zu einem weiteren Zustand (Tab. 5.3).

Die Tab. 5.1 wird um eine Spalte erweitert.

Neben Wegsensor und Messverstärker wird der bestellte Kraftsensor übernommen.

Die Bestellung des Netzteils, des Treibers, der Schrittmotoren und des Multifunktions-Messmoduls stehen aus.

Das neue 48 V Netzteil RWS entfällt.

Diese Tabelle ist der Arbeit als Anhang C beigelegt. Sie enthält zusätzlich technische Informationen zu den Komponenten.

Tab. 5.3: Komponentenvergleich von den Aufbauzuständen Ist, Instand und Neu

Aufbauzustand	Ist	Instand	Neu
24 V Netzteil	TDK Lambda SWS50-34		XP Power SMR800PS24
48 V Netzteil	FEAS PSU500L48	TDK Lambda RWS-600B-48	entfällt
Treiber	EMIS SMC3000		EMIS SMC2200
Schrittmotoren	Vexta PK264-03B		Sanyo 103H7126-5710
Wegsensoren	Lika SME2-L-2-10-I-3		
Kraftsensor	HBM U9B/100N	HBM U9C/100N	
Messverstärker	HBM AE101		
Multifunktions-Messmodul	Data Translation DT9834-8-4-16-BNC		National Instruments USB-6341

Das neue Layout nach Abb. 4.5 erfordert die Anpassung der Rück- und Frontplatte des Schaltkastens. Anhand einer CAD-Konstruktion des Schaltkastens werden Zeichnungen der Platten zur Fertigung abgeleitet.

Abb. 5.2 zeigt die Gegenüberstellung der vorhandenen Frontplatte und der neuen Frontplatte als CAD-Version.

Bei der vorhandenen Frontplatte (obere Abbildung) sind ein Ein-/Ausschalter (F.1) und sechs Rundsteckerkupplungen (F.2) zu erkennen. Der Ein-/Ausschalter schaltet die Energieversorgung des Schaltkastens ein bzw. aus. In die Rundsteckerkupplungen werden die Rundstecker des einen Kraftsensors U9B, der zwei Schrittmotoren PK264 und der drei Wegsensoren SME2 gesteckt. Der dargestellte Rundstecker ist exemplarisch.

Die neue Frontplatte enthält die Aussparungen F. A und F.B. Die 25-polige D-Sub-Stiftleiste wird in die Aussparung F. A verschraubt. Das Gegenstück, die D-Sub-Buchse, wird in diese D-Sub-Stiftleiste gesteckt. Die D-Sub-Buchse ist der gemeinsame Kabelanschluss der neuen Komponenten.

Das Multifunktions-Messmodul USB-6341 wird im inneren des Schaltkastens montiert. Die Erreichbarkeit wird durch Aussparung F.B ermöglicht. Neben dem USB-Anschluss wird auch der Ein-/Ausschalter erreicht. Die dargestellte D-Sub-Stiftleiste und das dargestellte Multifunktions-Messmodul entsprechen den verwendeten Komponenten.

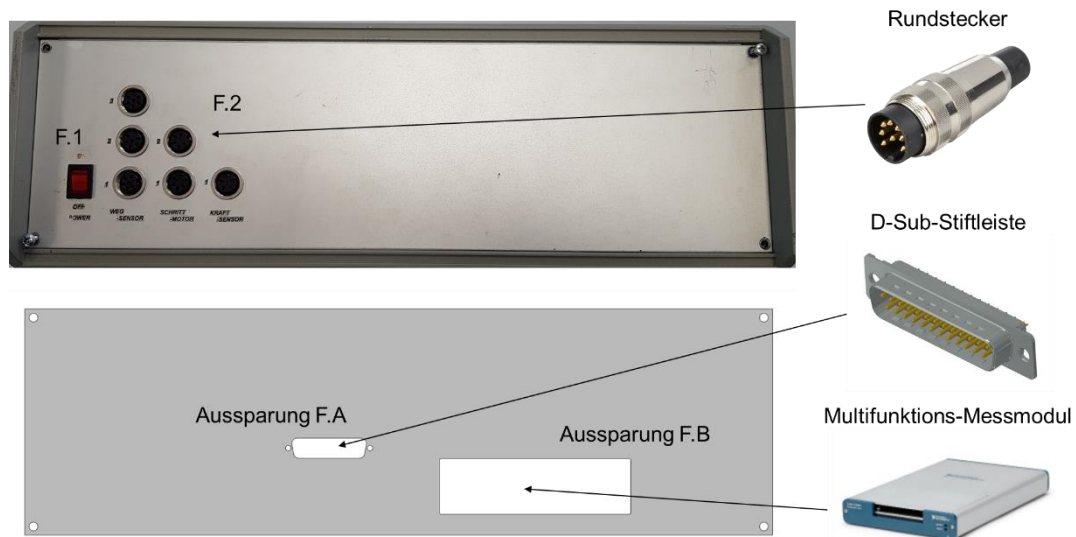


Abb. 5.2: Vergleich der Frontplatten (Bildquellen: Rundstecker [13], D-Sub-Stiftleiste [14], Multifunktions-Messmodul [15])

Die Gegenüberstellung der vorhandenen Rückplatten und der neuen Rückplatte als CAD Version ist in Abb. 5.3 dargestellt.

Bei der vorhandenen Rückplatte (obere Abbildung) sind mehrere Aussparungen zu erkennen. Die Aussparung R.1 ermöglicht die Montage der Kaltgerätebuchse für die Netzspannungsversorgung (VAC). Die zwei Aussparungen bei R.2 ermöglichen den Anschluss der Spannungsversorgung (Rundstecker) und der Datenübertragung (USB-B Kabel) an das Multifunktions-Messmodul DT9834. Die Aussparung R.3 ermöglicht die Montage des AC-Lüfters (im Bild verbaut). Durch die streifenartigen Aussparungen R.4 strömt Luft zur Zirkulation ein. Die Abbildungen von der Kaltgerätebuchse, von dem Rundstecker und von dem USB-B Kabel sind beispielhaft.

Die neue Rückplatte hat die Aussparungen R. A und R.B. Die Aussparung R. A nimmt den DC-Lüfter 2406KL auf. Die Aussparung R.B ermöglicht den Anschluss der Netzspannung an den Kaltgeräteanschluss des 24 V Netzteils SMR. Der integrierte Ein-/Ausschalter des Netzteils ist ebenfalls durch die Aussparung R.B zugänglich.

Die Luftzirkulation wird durch die Aussparung F.B und R.B ermöglicht.

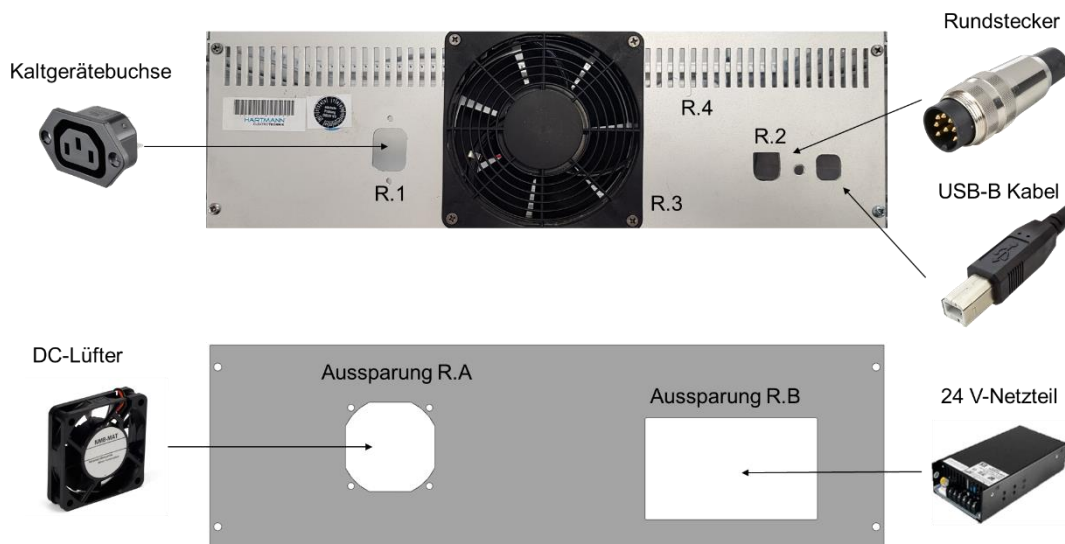


Abb. 5.3: Vergleich der Rückplatten

Wie bereits in Kapitel 4.11 erwähnt wird von einem AC-Lüfter auf einen DC-Lüfter umgestiegen. Aus technischer Sicht ist so ein großer Lüfter, wie aktuell verwendet, nicht notwendig. Tab. 5.4 zeigt, dass der DC-Lüfter mit seinem Volumenstrom von $0,19 \text{ m}^3$ pro Minute das Schaltkastenvolumen von $0,016 \text{ m}^3$ fast 12-mal pro Minute fördert. Diese Förderleistung wird für die zu erwartende, geringe Wärmeentwicklung als ausreichend eingestuft. Hinzu kommt die interne Wärmeabfuhr des 24 V Netzteils SMR durch einen integrierten Lüfter (Förderrichtung aus Aussparung R.B. heraus). Der Umstieg erzielt zusätzlich eine Reduzierung des Energiebedarfs und Lautstärkepegels

Tab. 5.4: Vergleich des AC- und DC-Lüfters

		AC-Lüfter W2K121-AA01-03	DC-Lüfter 2406KL-05W-B10-L00
Schaltkastenvolumen	m^3	0,016	
Durchmesser	mm	125	60
Volumenstrom	m^3/min	3,4	0,19
Austausch Schaltkastenvolumen	1/min	212,5	11,9
Leistung	W	17	0,96
Lautstärkepegel	dB	47	19

Die Montagepunkte der Komponenten im Inneren verschieben sich. Das flexible Schienensystem des Gehäuses gleicht zum Großteil die Verschiebungen aus. Lediglich für das 24 V Netzteil müssen neue Halter zur Montage angefertigt werden. Die technischen Zeichnungen der Platten und der Halter sind als Anhang C beigefügt.

5.3 Weitere Schritte zur Umsetzung des verbesserten Schaltkastens

Zur Umsetzung des neuen Konzepts müssen die notwendigen Komponenten nach Tab. 5.5 beschafft und montiert werden. In der Tabelle sind die Beschaffungspositionen vereinfacht aufgeführt.

Die Hauptkomponenten sind einzeln aufgelistet.

Der DC-Lüfter und die D-Sub-Steckverbindung bestehen aus mehreren Einzelteilen. Sie sind jeweils zusammengefasst und erhalten die Artikelbezeichnung Zusammenbau. Zusatzelemente und Montagematerialien sind mit der Artikelbezeichnung Verschiedenes als eine Position aufgeführt. Zu dieser Position zählt auch die Fertigung von Front-, Rückplatte und Halter. Ein Stückpreis entspricht jeweils der Summe aus den Einzelpreisen der zusammengefassten Elemente.

Der Kraftsensor wird nicht aufgeführt, da dieser bereits vorhanden ist

Die Beschaffungskosten belaufen sich auf rund 2500€.

Die vollständige Stückliste ist dem Anhang C zu entnehmen.

Tab. 5.5: Vereinfachte Stückliste

Position	Anzahl [Stk]	Komponente	Artikelbezeichnung	Stückpreis, netto [€]	Gesamtpreis, netto [€]
1	1	24 V Netzteil	SMR800PS24	465,72	465,72
2	1	Treiber	SMC2200	189,00	189,00
3	2	Schrittmotor	103H7126-5710	57,81	115,62
4	1	Multifunktions- Messmodul	USB-6341	1500	1500
5	1	DC-Lüfter	Zusammenbau	9,94	9,94
6	1	D-Sub- Steckverbindung	Zusammenbau	9,05	9,05
7	1	Zusatzelemente und Montagemittel	Verschiedenes	201,19	201,19
					2490,52

Nach der Lieferung folgt die Montage der Komponenten im Schaltkasten.

In Abb. 5.4 ist das Innere des Schaltkastens dargestellt. Die schwarze Umrandung repräsentiert die Front- und Rückplatte sowie die Seitenwände des Schaltkastens.

Zur Montage und Positionierung der Komponenten werden Montageschienen genutzt. Eine Montageschiene ist ein Aluminiumprofil mit mehreren Durchgangsbohrungen, die zueinander

einen Abstand von 5 mm haben. Die Komponenten werden über die Durchgangsbohrungen mit der Montageschiene verbunden.

Somit lassen sich die Komponenten in x-Richtung in 5 mm Schritten positionieren.

In y-Richtung lässt sich eine Montagschiene und somit auch die Komponenten in 10 mm Schritten verschieben. Sie wird an die Seitenwände rechts und links geschraubt.

Für die Montage stehen drei Montageschienen zur Verfügung.

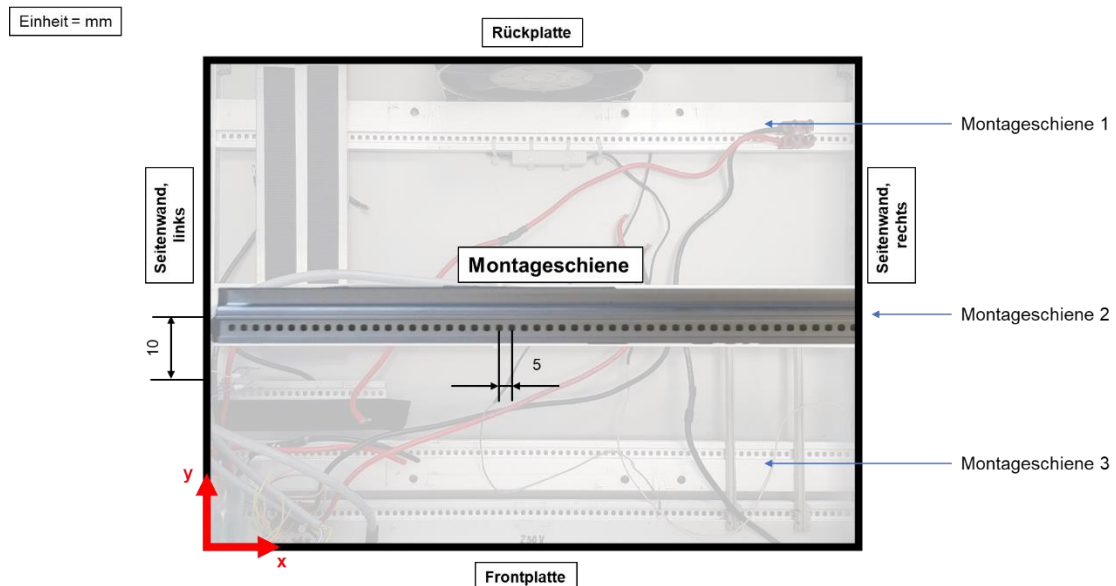


Abb. 5.4: Montageschienen

Die exakte Positionierung der Komponenten nach Abb. 4.5 ist in Abb. 5.5. dargestellt. In dieser Darstellung werden die Montagschienen vereinfacht als Strich-Punkt-Linien dargestellt. Die y-Maße geben die Lage der Durchgangsbohrungen an.

Die Montage des 24 V Netzteils SMR erfolgt über die angefertigten Halter. Sie werden an die vorgegebenen Montagepunkte des 24 V Netzteils SMR und an die Montageschienen 1 und 2 geschraubt. Die x-Abstände 30 mm und 165 mm beziehen sich auf die Halter.

Für den Messverstärker AE wird die vorhandene Klettverbindung übernommen. Die gekürzte Montagschiene wird an die linke Seitenwand geschraubt. Der y-Abstand zur Frontplatte beträgt 40mm.

Für den Treiber SMC2200 werden die zwei Hutschienen von den Treibern SMC3000 übernommen. Diese werden in einem Abstand zur linken Seitenwand von 195 mm in die Montageschienen 2 und 3 eingeklickt.

Die Befestigung des Multifunktions-Messmoduls USB-6341 erfolgt ebenfalls durch eine Klettverbindung. Dafür werden die beschafften Klettbandstreifen auf die Montageschienen 2 und 3 sowie auf die Unterseite des Multifunktions-Messmoduls USB-6341 geklebt. Die Klettbandstreifen müssen so auf die Unterseite geklebt werden, dass das Multifunktions-Messmodul USB-6341 einen x-Abstand zu rechten Seitenwand von 15 mm und einen y-Abstand zur Frontplatte von 5 mm hat.

An die Rückplatte wird der Lüfter mit dem Schutzgitter als Sandwichbauweise montiert. Zwischen Lüfter und Schutzgitter befindet sich die Platte. Das Schutzgitter ist dem Schaltkasten außenseitig angebracht und die Lüftungsrichtung ist nach außen gerichtet. Anschließend erfolgt das Verschrauben der Rückplatte an das Gehäuse.

In Abb. 5.6 ist der Zusammenbau des neuen Schaltkastens ohne Kabelführung dargestellt. Die farbigen Elemente stellen die Bauräume der Komponenten dar. Vereinfacht wurden für die Bauräume die Maße von Länge, Breite und Höhe verwendet. Aus der bekannten Farbcodierung der Funktionsgruppen hebt sich das schwarze Element hervor. Es gibt die Position und den Bauraum des Lüfters an. Das Gehäuse inklusive neuer Front- und Rückplatten ist transparent dargestellt. Zur Orientierung sind Front- und Rückplatte dunkler als das Gehäuse. Die Frontplatte ist mit der D-Sub-Stiftleiste ausgestattet.

Die Ressourcen zur Verkabelung aller Komponente stehen zur Verfügung und müssen nicht beschafft werden.

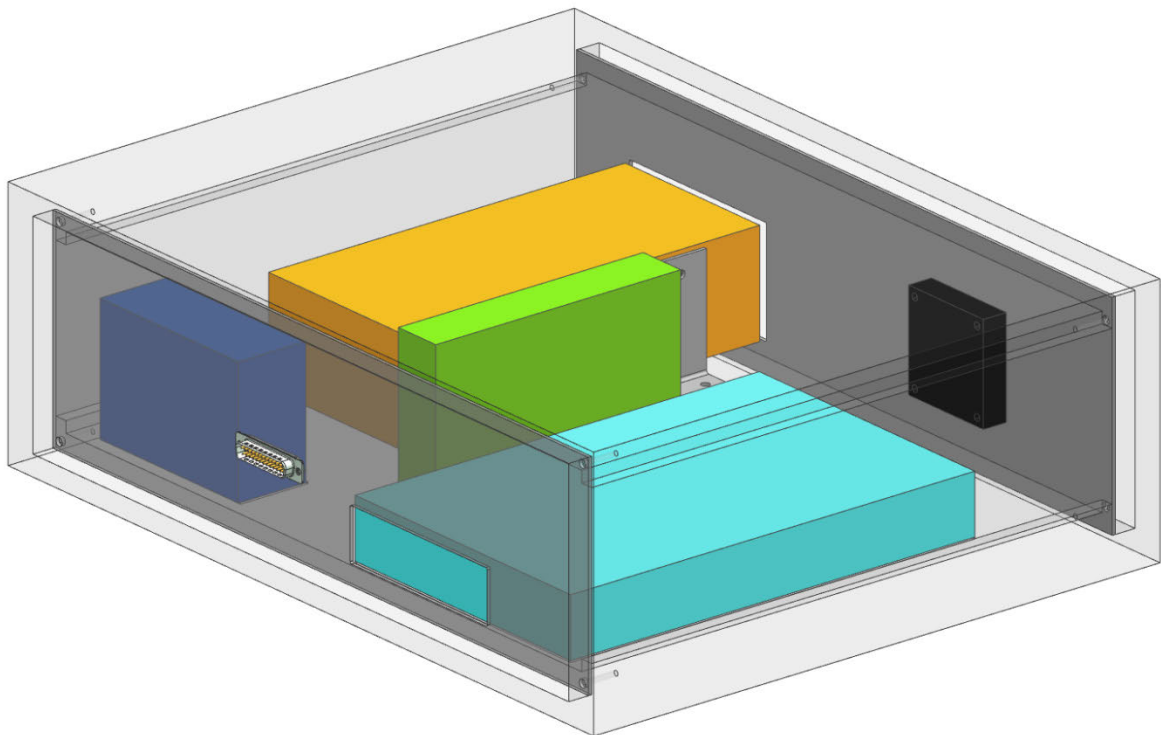


Abb. 5.6: CAD-Modell des verbesserten Schaltkastens

5.4 Vergleich der Schaltkästen

Die Ziele aus Kapitel 4.4 sind mit dem Aufbauzustand Neu erreicht. In Tab. 5.7 ist der Gewichtsvergleich der drei Aufbauzustände Ist, Instand und Neu aufgezeigt. Die Umsetzung der Verbesserungen von Aufbauzustand Ist zum Aufbauzustand Neu bewirkt eine Gewichtsreduzierung. Zur Gewichtsreduzierung tragen das Einsparen des 48 V Netzteils PSU und die Nutzung eines Treiber SMC2200, statt zwei Treiber SMC3000 bei. Im Vergleich zum Aufbauzustand Ist erhöhen das 24 V Netzteil SMR und das Multifunktions-Messmodul USB-6341 das Gewicht des Schaltkastens. Insgesamt wird das Schaltkastengewicht um etwa 6,9 kg verringert.

Tab. 5.7: Gewichtsvergleich der Schaltkästen aller Aufbauzustände

Komponenten		Aufbauzustand		
		Ist	Instand	Neu
Gehäuse	kg	4,6		
24 V NT		0,4		1,5
48 V NT		8,1	1,6	0
SMSK		0,66		0,28
MV		0,14		
MM		0,9		1,4
Gesamtgewicht		14,8	8,3	7,92

Der Anschlussaufwand kann von neun auf drei Anschlüssen vereinfacht werden. Dies ist möglich, da nur noch jeweils ein Anschluss für

- die Spannungsversorgung,
- die Aktorik und Sensorik sowie
- die Laptop-Verbindung

nötig ist.

Die Verwendung von einem Treiber und der Entfall des 48 V Netzteils verringern neben dem Schaltkastengewicht auch die Komponentenanzahl um zwei.

In Tab. 5.8 werden die genannten Verbesserungen von Aufbauzustände Ist zu Aufbauzustand Neu zusammengefasst dargestellt.

Tab. 5.8: Vergleich der Schaltkästen zwischen Aufbauzustand Ist und Neu

Kategorie		Aufbauzustand		Delta
		Ist	Neu	
Gesamtgewicht	kg	14,8	7,92	-6,88
Anzahl Kabelanschlüsse	Stk	9	3	-6
Anzahl Komponenten	Stk	6	4	-2

5.5 Vergleich des Gesamtsystems Schwingungsdemonstrators

Zum Abschluss dieses Kapitels wird das Erreichen der Ziele aus Kapitel 4.4 für das Gesamtsystem Schwingungsdemonstrator betrachtet. Die Ziele sind in Tab. 5.9 für die drei Aufbauzustände Ist, Instand und Neu gegenübergestellt.

Die zuverlässige Funktionsfähigkeit konnte nicht erfüllt werden bzw. ist mit einer Bedingung verknüpft (gelbes Kreuz). Das defekte Multifunktions-Messmodul DT9834 bewirkt die Funktionsunfähigkeit des Schaltkastens. Folglich ist die Funktion des Gesamtsystems Schwingungsdemonstrator nicht gegeben. Für den Aufbauzustand Neu wird die Programmierung überarbeitet, um eine zuverlässige Funktionsfähigkeit zu erreichen. Das Teilsystem Demonstrator benötigt eine Überprüfung der mechanischen Komponenten, wie zum Beispiel die Gleitlager.

Zu den verbesserten Funktionsgruppen zählt beim Aufbauzustand Instand die Optimierung des 48 V Netzteils. Für den Aufbauzustand Neu zählen die ausgewählten Komponenten aus Kapitel 4.6 bis 4.10 in diese Kategorie.

Die Ziele einer gemeinsamen Versorgungsspannung und des geringeren Anschlussaufwands sind für den Aufbauzustand Instand nicht definiert. Aus diesem Grund entfallen sie aus dem Vergleich. Für den Aufbauzustand Neu können beide Ziele durch den Umbau umgesetzt werden.

Das Gesamtgewicht des Schaltkastens und des Teilsystems Demonstrator verringert sich in beiden Aufbauzuständen. Allerdings liegt das Gesamtgewicht im Aufbauzustand Neu 0,7 kg höher als im Aufbauzustand Instand. Von ursprünglich 26,8 kg fällt sie im Aufbauzustand Instand auf 20,3 kg und steigt im Aufbauzustand Neu auf 21 kg an. Die Erhöhung ergibt sich aufgrund des höheren Gewichts der neuen Schrittmotoren.

Tab. 5.9: Vergleich der Zustände des Schwingungsdemonstrators

Kriterium	Aufbauzustand			Ziel erfüllt?
	Ist	Instand	Neu	
Zuverlässige Funktionsfähigkeit des Schwingungsdemonstrators	✗	✗	✗	Nein
Verbesserte Funktionsgruppen	✗	✓	✓	Ja
Gemeinsame Versorgungsspannung	✗	entfällt	✓	Ja
Geringerer Anschlussaufwand	✗	entfällt	✓	Ja
Gewichtsreduzierung	✗	✓	✓	Ja

6 Diskussion

In diesem Kapitel werden die Analyse und die Umsetzung mit ihren Ergebnissen diskutiert. Dafür werden die aus der Aufgabenstellung (Kapitel V) aufgeführten Punkte in die Diskussion einbezogen. Die Aufgabenstellung entwickelt sich iterativ, da die Definition der Randbedingung Software zu Beginn nicht klar eingegrenzt werden können.

Einarbeitung in Aufbau und Funktionsweise des Schwingungsdemonstrators

Die Einarbeitung in den Aufbau und die Funktionsweise des Gesamtsystems Schwingungsdemonstrators geht zügig. Anhand guter Dokumentation von bereits unternommenen Untersuchungen sind einige Schwachstellen vor der Analyse bereits bekannt bzw. beinhalten Hinweise für die Schwachstellensuche.

Die Blackbox ist eine Ausnahme. Über sie sind keine Dokumente geführt. Trotz der Einbindung von Personen, die mit dem Gesamtsystem Demonstrator in der Vergangenheit arbeiteten, ist die Blackbox weiterhin unbekannt.

Erarbeitung der theoretischen Grundlagen zu Steuerungstechnik und Signalverarbeitung

Der Zeitbedarf zur Erarbeitung der theoretischen Grundlagen ist trotz der vermeintlich geringen Anzahl an Komponenten hoch. Informationen über die Aufbauprinzipien und Funktionsweisen der Komponenten sind zeitnah vorhanden. Einen größeren Zeitbedarf nimmt das Filtern der für die Analyse relevanten Daten aus den Datenblättern in Anspruch. Darunter zählt auch die Recherchezeit nach Fachbegriffen und ihren technischen Bedeutungen.

Analyse des Schaltkastens mittels Funktionsüberprüfung der Einzelkomponenten

Mit dem vorhandenen Prüfequipment können die unterschiedlichen Prüfmethoden, die die Komponenten erfordern, ohne Schwierigkeiten vorgenommen werden.

Der Arduino Uno war eine sehr gute Ergänzung.

Vereinzelt kommt es zu Wiederholungen der Überprüfung. Grund dafür sind einerseits im Verlauf der Arbeit auftretende Widersprüche in den eigenen Mitschriften oder unplausiblen Aussagen, zum Beispiel durch Anwendungsfehler.

Andererseits wird wie zum Beispiel das Multifunktions-Messmodul DT9834 (siehe Kapitel 3.7) mit unterschiedlichen Prüfmitteln untersucht.

Hintergrund ist das Bestätigen einer Schwachstelle. Tritt derselbe Fehler bei unterschiedlichen Prüfmitteln auf, kann ein Anwendungsfehler ausgeschlossen werden.

Als Beispiel ist das Multifunktions-Messmodul DT9834 in Verbindung mit der 64 Bit MATLAB® Version zu nennen. Sowohl das definierte Ausgangssignal des Oszilloskops, als auch das gleiche Signal des Arduinos werden vom Modul beschnitten.

Einarbeitung in die Software Schnittstelle zur Kommunikation mit dem Anwender

Die Einarbeitung in die Software Schnittstelle ist ein wichtiger Baustein für die Analyse.

Mit dem Hintergrund, dass die Anwendersoftware in MATLAB® programmiert ist, wird sich in

- die grundlegende Programmierung in MATLAB®,
- die Programmierung der GUI und
- die expliziten Programmierungsbefehle für das Multifunktions-Messmodul DT9834 in MATLAB® eingearbeitet.

Ersteres ist Dank der integrierten Such- und Hilfsfunktion in MATLAB® weitestgehend selbstständig und gutmöglich. Mit umfangreichen Beschreibungen und kurzen Beispielen sind die Programmierungsbefehle erklärt.

Zweiteres ist im Rahmen der Arbeit zu umfangreich. Mittels Debugging-Funktion (Fehlerbehebung) wird die Suche nach Fehlern im Programmcode anwenderfreundlich, aber die Behebung einzelner Stellen ist schwierig. Erschwert wird die Behebung dadurch, dass die zum Teil individuellen Programmbefehle mit der integrierten Hilfsfunktion nicht erläutert sind. Durch Onlinerecherche sind Lösungen gefunden. Diese Debugging-Schleifen sind mehrfach vollzogen. Im Grunde wird hier zu tief in die Programmierung der GUI eingearbeitet.

Letzteres dient zur Einstellung des Multifunktions-Messmoduls durch MATLAB®. Mit definierten Programmierungsbefehlen kann u.a. die Abtastfrequenz der Eingangskanäle eingestellt werden. Auch die gezielte Steuerung von aktiven Ein- und Ausgangskanälen werden mittels Programmierungsbefehlen gesteuert. Diese Befehle sind im Handbuch des Moduls verfasst. Nur für Programmierungen, wie zum Beispiel die Takt- und Richtungssignalausgabe für den Schrittmotortreiber sind verständlicherweise nicht verfasst. Dafür wird auf die Hilfsfunktion von MATLAB® zurückgegriffen.

Bewertung der Funktionsfähigkeit des Schaltkastens und der Komponenten

Die aus der Auswertung getroffene Entscheidung zwei Aufbauzustände umzusetzen ist suboptimal. Nach Tab. 3.10 zu urteilen, ist es besser den Schaltkasten neu zu entwickeln. Eine andere Option ist das Gesamtsystem Schwingungsdemonstrator von Grund auf neu zu entwickeln, ohne eine umfangreiche Analyse durchzuführen. Das Teilsystem Demonstrator und die Softwareumgebung müssen überarbeitet werden. Ob die investierten Ressourcen für diese Überarbeitungen geringer ausfallen und somit wirtschaftlicher als vollständiger Neubau ist zu hinterfragen.

Methodische Erarbeitung und Umsetzung von Verbesserungen des Schaltkastens

Die Umsetzung des Aufbauzustands Neu startet zu spät, um den Schaltkasten vollständig zu verbessern. Neben der längeren Analysephase ist die Ausarbeitung zweier Aufbauzustände mit verantwortlich. Die Entscheidung nur den Aufbauzustand Neu bzw. ein neues Konzept zu entwickeln ist die bessere Entscheidung.

Aufbauzustand Instand

Das Ziel die Funktionsfähigkeit des Schaltkastens mittels einer Instandsetzung zeitnah wiederherzustellen ist unerfüllt. Der sequenzielle Ausfall einzelner Elemente, wie in Abb. 5.1 dargestellt, führt zu diesem Ergebnis.

Selbst im Fall einer erfolgreichen Instandsetzung, ist eine zeitnahe Nutzung des Gesamtsystems Schwingungsdemonstrator nicht garantiert. Schließlich müssen das Teilsystem Demonstrator und die Programmierung überarbeitet werden. Wie schnell die Bearbeitung beider erfolgt, ist zum jetzigen Zeitpunkt unbekannt.

Mit der Beschaffung des 48 V Netzteils RWS wird zwar das Schaltkastengewicht um 6,5 kg verringert, aber ist jetzt irrelevant.

Die Investition von ca. 335 € in das 48 V Netzteil RWS und die Treiber SMSK2, SMSK3 und SMSK4 sind aufgrund der abgebrochenen Instandsetzung unwirtschaftlich.

Unter den beschafften Komponenten wird der Kraftsensor U9C in den Aufbauzustand Neu übernommen.

Die Entscheidung die Instandsetzung angesichts der Ergebnissen nach Tab. 3.10 nicht zu

verfolgen und somit die Ressourcen direkt in den neuen Schaltkasten zu investieren, ist am sinnvollsten.

Aufbauzustand Neu

Das Übernehmen des Messverstärkers AE und der Wegsensoren SME sowie die weitere Nutzung des Schaltkastengehäuses ist ökonomisch.

Für die präzise Wiedergabe der analogen Messwerte ist die Übernahme des Messverstärker AE sinnvoll. Allerdings müssen die analogen Messsignale für die Datenverarbeitung digitalisiert werden. Somit werden sie durch das Multifunktions-Messmodul USB-6341 digitalisiert.

Die Messsignalqualität ist demnach von der Auflösung des ADC und der Abtastfrequenz des Multifunktions-Messmodul abhängig. Störsignale können das analoge Signal verändern und Messwerte verfälschen.

Ein Umstieg auf die digitale Kraftmessung bedeutet den funktionsfähigen Messverstärker AE aus zu sortieren. Somit ist in diesem Fall die Signalsteuerung ausschließlich digital. Analoge Ein- und Ausgänge sind keine Anforderung mehr an ein Multifunktions-Messmodul.

Zusätzlich kann durch die Nutzung eines Inline-Messverstärkers die Komponentenzahl im Schaltkasten verringert werden. Beim Inline-Messverstärker handelt es sich um die Integration des Messverstärkers in die Kraftsensorleitung.

Die neuen Schrittmotoren Sanyo benötigen einen größeren Bauraum. Eine Anpassung der Baugruppe Sekundärtrieb ist die Folge. Alternativ kann der funktionsfähige Schrittmotor SM2 weiterhin in der Baugruppe Sekundärtrieb verwendet werden. Sein benötigter Phasenstrom von 2,1 A wird vom Treiber SMC2200 bedient. Ein Spannungsniveau von 24 V führt zu einem verminderten Drehmomentverlauf ab einer Taktfrequenz von 1 kHz im Vergleich zum 48 V Spannungsniveau. Der Tausch gegen den leistungsstärkeren Schrittmotor Sanyo wird empfohlen, um stockendes Laufverhalten zu vermeiden.

Mit dem Multifunktions-Messmodul USB-6341 gelingt die Integration der Energieversorgung durch den Schaltkasten.

Das Modul ist als BNC-Verbindung und Schraubklemmen-Verbindung erhältlich. Die Wahl fällt auf die Schraubklemmen, um Rauschsignale (Antenneneffekt) so gering wie möglich zu halten. Von Mathworks (MATLAB®) wird das Modul im Vergleich zum Multifunktions-Messmodul DT9834 direkt unterstützt. Dies bedeutet, dass das Multifunktions-Messmodul USB-6341 nur die Toolbox zur Datenerfassung von MATLAB® benötigt. Das Multifunktions-Messmodul DT9834 benötigt eine weitere Software, um mit MATLAB® kommunizieren zu können. Des Weiteren bietet MATLAB® für das Multifunktions-Messmodul USB-6341 fertige Pakete zur Messdatenerfassung an, sodass eine Programmierung nicht nötig ist. Die Nützlichkeit des Features ist im Anwendungsfall zu entscheiden.

Trotz der suboptimalen Vorgehensweise und dem aktuellen Status ist der Aufbauzustand Neu eine gute Basis zur Wiederherstellung der stabilen und zuverlässigen Arbeitsweise des Gesamtsystems Schwingungsdemonstrator.

Die diskutierte Aufgabenstellung ist in Tab. 7.1 zusammenfassend dargestellt. Es ist zu erkennen, dass alle Unterpunkte erfüllt sind. Nummer 6 ist als gelb markiert, da die Umsetzung des neuen Schaltkastens unvollständig ist.

Tab. 6.1: Bewertung der Aufgabenstellungen

Nr	Aufgabenstellung	Erfüllt?
1	Einarbeitung in Aufbau und Funktionsweise des Schwingungsdemonstrators	✓
2	Erarbeitung der theoretischen Grundlagen zu Steuerungstechnik und Signalverarbeitung	✓
3	Analyse des Schaltkastens mittels Funktionsüberprüfung der Einzelkomponenten	✓
4	Einarbeitung in die Software Schnittstelle zur Kommunikation mit dem Anwender	✓
5	Bewertung der Funktionsfähigkeit des Schaltkastens und der Komponenten	✓
6	Methodische Erarbeitung und Umsetzung von Verbesserungen des Schaltkastens	✓

7 Zusammenfassung und Ausblick

Ziel ist, mit der Verbesserung des Schaltkastens, ein Teil zur stabilen und zuverlässigen Arbeitsweise des Gesamtsystems Schwingungsdemonstrator beizutragen. Dafür war die Umsetzung eines instandgesetzten Schaltkastens und die Ausarbeitung eines neuen Konzepts geplant.

Nach dem Abbruch der Instandsetzung wird die Umsetzung eines verbesserten Schaltkastens mit Übernahme funktionsfähiger Komponenten verfolgt.

Die Übergabe des Schaltkastens im neuen Aufbauzustand (Aufbauzustand Neu) erfolgt im Status der Umsetzung.

Mit der vollständigen Umsetzung nach den Schritten in Kapitel Tab. 5.3 entsteht ein solider Schaltkasten, welcher zur stabilen und zuverlässigen Arbeitsweise des Gesamtsystems Schwingungsdemonstrator beiträgt.

Zusätzlich müssen das mechanische Teilsystem Demonstrator und die Softwareumgebung in Folgearbeiten thematisiert werden.

Für die Programmierungsarbeit wird eine Person mit entsprechender Qualifikation aus dem Bereich der Informatik empfohlen.

Anhand der gewonnenen Erkenntnisse wird für eine vollständige Überarbeitung des Gesamtsystems Schwingungsdemonstrator eine hohe Kosten- und Zeitinvestition erwartet. Die Überlegung das vorhandene Gesamtsystem zu entsorgen und eine Neuentwicklung des Gesamtsystems anzustreben, wird empfohlen.

Abschließend sind Ansätze für Anschlussarbeiten und offene Punkte sind in Tab. 7.1 aufgezeigt. Alle Unterlagen sind für eine reibungslose Übergabe im digitalen Projektordner abgelegt.

Tab. 7.1: Zusammenfassende Aufgabenübersicht

Position	Teilsystem	Aufgabe	Status
1	Schaltkasten	Unterlagen im Projektordner ablegen	erledigt
2	Schaltkasten	Beschaffung der Komponenten aus Tab. 5.5	ausstehend
3	Schaltkasten	Montage nach Kapitel 5.3	ausstehend
4	Software	Programmierung überarbeiten	ausstehend
5	Teilsystem Demonstrator	Mechanik überprüfen	ausstehend
6	Gesamtsystem Schwingungsdemonstrator	Transportgefäß beschaffen	ausstehend

8 Quellennachweis

- [1] P. Schnabel, Elektronik-Fibel, Ludwigsburg, 2017.
- [2] P. Schnabel, „www.elektronik-kompendium.de,“ [Online]. Available: <https://www.elektronik-kompendium.de/sites/grd/0201101.htm>. [Zugriff am 03 09 2020].
- [3] Duden, „www.duden.de,“ [Online]. Available: <https://www.duden.de/rechtschreibung/Signal>. [Zugriff am 07 09 2020].
- [4] Grace, „www.mvteamcctv.com,“ 20 03 2017. [Online]. Available: <https://www.mvteamcctv.com/de/news/Basic-Differences-Between-Analog-and-Digital-Surveillance-Cameras.html>. [Zugriff am 07 09 2020].
- [5] P. Schnabel, „www.elektronik-kompendium.de,“ [Online]. Available: <https://www.elektronik-kompendium.de/sites/dig/0205171.htm>. [Zugriff am 03 09 2020].
- [6] St. Schaad DELTRON AG, „<https://wiki.ntb.ch>,“ [Online]. Available: https://wiki.ntb.ch/infoportal/_media/hardware/sysp/bauteile/schrittmotor_kurz_erklaert_d.pdf. [Zugriff am 03 09 2020].
- [7] R. E. T. S. K. F. M. K. O. R. Eberhard Kallenbach, Elektromagnete - Grundlagen, Berechnung, Entwurf und Anwendung, Bd. 5. Auflage, Ilmenau, Koblenz, Suhl, Schleusingen: Springer Vieweg, 2018.
- [8] Lika Electronic, „<https://www.lika.it/deu>,“ [Online]. Available: <https://www.lika.it/deu/produkte/lineargeber/lineare-inkrementalgeber/sme21>. [Zugriff am 05 09 2020].
- [9] P. Schnabel, „www.elektronik-kompendium.de,“ [Online]. Available: <https://www.elektronik-kompendium.de/sites/slt/0306151.htm>. [Zugriff am 04 09 2020].
- [10] „www.hbm.com,“ [Online]. Available: <https://www.hbm.com/de/2636/kraftaufnehmer-auf-basis-von-dehnungsmessstreifen/#addsearch=dms>. [Zugriff am 05 09 2020].
- [11] P. D. R. Ahrens, *Schwingungslehre und Akustik*, Hamburg, 2017.
- [12] EMIS Gmbh, „emisgmbh.de,“ [Online]. Available: <https://emisgmbh.de/smc-dmot-4260/>. [Zugriff am 25 09 2020].
- [13] Lumberg, „www.reichelt.de,“ [Online]. Available: https://www.reichelt.de/stecker-rundsteckverbinder-gerade-ip-40-8-pol-kurz-lum-0338-08-p116084.html?PROVID=2788&gclid=Cj0KCQjwnqH7BRDdARIsACTSAdvchLnKhQI3QE8vYXYsG2nVjqsC-XszswbPt3AZ-AzUrdxNKTDh8X0aAnEUEALw_wcB. [Zugriff am 22 09 2020].

- [14] Conec, „www.conec.com,“ [Online]. Available: <https://conec.com/catalog/de/d-sub%2025p-1573.html>. [Zugriff am 22 09 2020].
- [15] National Instruments, „ni.com,“ [Online]. Available: <https://www.ni.com/de-de/shop/hardware/products/multifunction-io-device.html?modelId=124932>. [Zugriff am 26 09 2020].
- [16] Böcker Systemelektronik, „www.boecker-systemelektronik.de,“ [Online]. Available: <https://www.boecker-systemelektronik.de/Seite-/Kategorie-1/Roboter-programmieren-mit-Arduino-Teil-3-Encoder>. [Zugriff am 05 09 2020].
- [17] Schurter, „www.reichelt.de,“ [Online]. Available: https://www.reichelt.de/kaltgeraetebuchse-horizontaler-flansch-s-keb1-p34731.html?&trstct=pol_2&nbc=1. [Zugriff am 26 09 2020].
- [18] Presonus, „www.keepdrum.de,“ [Online]. Available: <https://keepdrum.de/presonus-usb-2-0-kabel-fuer-interface-usb-a-auf-usb-b-2m.html>. [Zugriff am 26 09 2020].
- [19] NMB Technologies Corporation, „www.nmbtc.com,“ [Online]. Available: <https://www.nmbtc.com/parts/2406kl-05w-b10-l00/>. [Zugriff am 26 09 2020].

Anhang A: Datenblätter von vorhandenen Komponenten und Quellcodes

24 V Netzteil

TDK-Lambda

SWS Series

Single Output General Purpose Power Supplies

Features

- ◆ Low Cost
- ◆ Power Factor Correction to EN61000-3-2
- ◆ Universal Input (85 - 265VAC)
- ◆ Input Transient Protected IEC61000-4
- ◆ Enclosed
- ◆ Global safety Approvals
- ◆ Level B EMI



Key Market Segments & Applications



Specifications					
Model		SWS50	SWS75	SWS100	SWS150
Input Voltage range	(1)	-	85 - 265VAC (47 - 63Hz) or 120 - 370VDC		
Inrush Current (115/230VAC)	A	20/40		16/32	
Power Factor	-	Meets EN61000-3-2			
Input Current (115/230VAC)	A	1.2/0.6	1.6/0.8	1.2/0.6	1.8/0.9
Temperature Coefficient	-	<0.02%/°C			
Total Regulation	-	<5%			
Overcurrent Protection	-	>105%, Constant Current Style			
Overvoltage Protection	V	115 -135%, Cycle AC line to reset			
Hold Up Time (Typ)	ms	20ms at 115VAC			
Leakage Current Max.	mA	1mA (0.6mA typ@230VAC)		0.75mA (0.5mA typ@230VAC)	
Remote Sense	-	Not Available			
LED Indicator	-	Green LED = On			
Operating Temperature	-	-10 to +70°C (See table for derating - model specific)			
Storage Temperature	-	-30 to +85°C			
Operating Humidity	(2)	30 - 90% RH			
Storage Humidity	(2)	10 - 95% RH			
Cooling	-	Convection			
Withstand Voltage	-	Input to Ground 2kVAC, Input to Output 3kVAC, Output to Ground 500VAC for 1 min.			
Isolation Resistance	-	>100M at 25°C & 70%RH, Output to Ground 500VDC			
Vibration (non operating)	-	19.6m/s² (10 - 55Hz (constant sweep 1 min) X, Y, Z for 1 hour)			
Shock	-	< 196.1 m/s² (20G)			
Safety Agency Approvals	-	UL60950-1, CSA60950-1, EN60950-1, CE Mark, EN50178			
Conducted & Radiated EMI	-	EN55011 / EN55022-B, FCC Class B, VCCI-B			
Recommended EMI Filter	-	RSEL-2002W	RSEL-2003W	RSEL-2002W	RSEL-2003W
Immunity	-	EN61000-4-2,-3,-4,-5,-6,-8,-11			
Weight (Typ)	g	400	480	600	750
Size (WxHxD)	in	3.62 x 1.46 x 6.26	3.7 x 1.69 x 6.69	3.78 x 1.77 x 7.4	3.9 x 2 x 7.8
Warranty	yrs	Two Years			

(1) Derate to 85% load below 100VAC input (2) non condensing

TDK-Lambda

SWS Series

Model Selector

Model	Voltage	Adjust Range	Max Curr.	Load Reg mV	Line Reg mV	Ripple Noise	Eff. (typ)%
SWS50-3	3.3V	3-3.6V	10	40	20	80	73/70
SWS75-3	3.3V	3-3.6V	15	40	20	80	72/68
SWS100-3	3.3V	3-3.6V	20	40	20	100	69/70
SWS150-3	3.3V	3-3.6V	30	40	20	100	70/72
SWS50-5	5V	4.5-5.5V	10	50	20	80	77/75
SWS75-5	5V	4.5-5.5V	15	50	20	80	77/74
SWS100-5	5V	4.5-5.5V	20	40	20	100	75/77
SWS150-5	5V	4.5-5.5V	30	40	20	100	76/78
SWS50-12	12V	10.8-13.2V	4.3	96	48	80	82/79
SWS75-12	12V	10.8-13.2V	6.3	96	48	80	83/81
SWS100-12	12V	10.8-13.2V	8.5	96	48	100	79/81
SWS150-12	12V	10.8-13.2V	12.5	96	48	100	79/82
SWS50-15	15V	13.5-16.5V	3.5	120	60	100	84/80
SWS75-15	15V	13.5-16.5V	5	120	60	100	85/82
SWS100-15	15V	13.5-16.5V	6.7	120	60	100	81/83
SWS150-15	15V	13.5-16.5V	10	120	60	100	81/83
SWS150-18	18V	16.2-19.8V	8.4	144	72	120	82/84
SWS50-24	24V	21.6-26.4V	2.1	144	96	100	84/80
SWS75-24	24V	21.6-26.4V	3.2	144	96	100	85/82
SWS100-24	24V	21.6-26.4V	4.3	144	96	150	82/84
SWS150-24	24V	21.6-26.4V	6.3	144	96	150	82/85
Vertical Mount Convection							
		25°C	30°C	35°C	40°C	45°C	50°C 55°C 60°C
SWS50		100%	100%	100%	100%	100%	93% 85%
SWS75 (3.3-5V)		100%	100%	100%	100%	93%	85% 73% 60%
SWS75 (12V-24V)		100%	100%	100%	100%	100%	93% 85% 60%
SWS100		100%	100%	100%	100%	100%	87% 73% 60%
SWS150 (3.3-5V)		100%	95%	90%	85%	73%	60% -
SWS150 (12V-24V)		100%	100%	100%	100%	100%	100% 80% 60%
1.2m/s Forced Air							
		50°C	55°C	60°C	65°C	70°C	
SWS75		100%	100%	90%	80%	70%	
SWS100		100%	100%	90%	80%	70%	
SWS150		100%	100%	90%	80%	70%	

Derate to 80% load from 0 to -10°C

Other Industrial Products

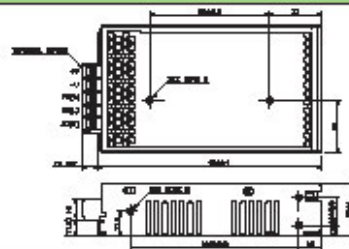
HWS	15W to 1500W Single Output
LS	25W to 200W Low Cost
SWS300/600/1000	300W to 1000W (Higher Power)

Options

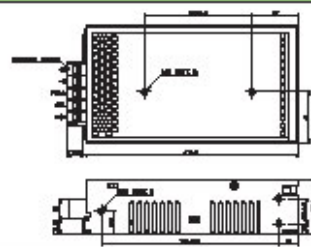
Suffix	Descriptor
/CO2	Double sided conformal coating

 For Additional Information, please visit
us.tdk-lambda.com/lp/products/sws-series.htm

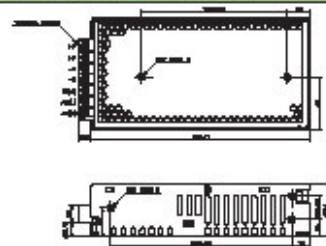

SWS50 Outline Drawing



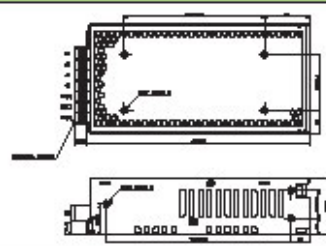
SWS75 Outline Drawing



SWS100 Outline Drawing



SWS150 Outline Drawing



48 V Netzteil

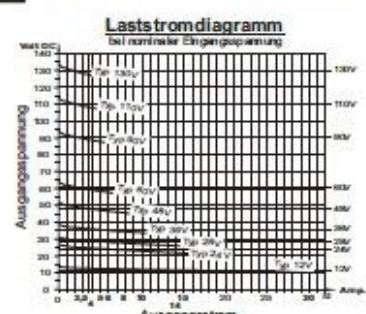
**Gleichstrom-Versorgung unregelt
für 115VAC und 230VAC Eingangsspannung
Typ PSU500L**



Technische Daten

Eingangsgrößen		
Eingangsspannung	115VAC / 230VAC	45 - 66 Hz
Eingangsspannungstoleranz	-10% bis +15%	
Stromaufnahme bei Nennlast	bei 115VAC max. 4,4A, bei 230VAC max. 2,2A	
Schutzschaltung	-	
Netztafelüberbrückung	20 mSek. typ.	
Ausgangsgrößen		
Ausgangsspannung U_{Nenn}	siehe Tabelle unten	
Ausgangsstrom I_{Nenn}	siehe Tabelle unten	
Strombegrenzung	-	
Regelwertglatt (100Hz)	< 2%	
Regelgrößen		
Regelabweichung Last	-	
Regelabweichung Netz	-	
Regelzeit	-	
Betriebsdaten		
Einschaltzeit (EO)	100%	
Arbeits temperatur	-30°C bis +70°C	
Leistungsabweichung bei Temp.	-	
Lagertemperaturbereich	-30°C ... +75°C	
Kühlung	natürliche Konvektion	
	empfohlener Freiraum je 15mm	
Schutzvorrichtungen		
Vorsicherung	bei 115VAC 12,5Aträge, bei 230VAC 6,3Aträge	
Ausgangsicherung	in Höhe des Nennausgangsstroms	
Überlastschutz	-	
MTBF	>100.000 h	
Sicherheitsdaten		
Prüfspannung Typ	5 kVAC gemäß VDE 0551	
Hochspannungsfestigkeit	Eingang / Ausgang 3,75 kVAC nach VDE 0608 / IEC 380	
Funklenstörgrad	< K nach VDE 0875 und VDE 0877	
Schutzklasse	Klasse 1 mit PE-Anschluss (EN 60050)	
Schutzkleinspannung	PELV (EN 60204), SELV (EN 60050)	
Umgebungsfeuchte	95% relative Feuchte im Jahresdurchschnitt	
	Befeuchtung möglich - tropentauglich	
Schutzart Gehäuse	IP 65	
Schutzart Klemmen	IP 20 (VGB4)	
Rückleitfähigkeit	>30g bei 39Hz in X,Y und Z, nach IEC 60068-2-27	
Angewandte Bauvorschriften		
gemäß VDE	VDE 0100, 0110, 0113, 0551, 0160W2, 0808	
IEC	IEC 60364, IEC 60308-4-1-2, IEC 60068-2-3 IEC 60068-2-11-52, IEC 60929, IEC 380	
EN	EN 60950, EN 60068-1 EN 1000-6-1-2, EN 50178, EN 60204, EN 1558-2-17 EN 60204, EN 60529, EN 61000-4-3-3-4-5-6-8-11 EN 60068-1, EN 60068-2-1-2-3-6-27-30 EN 4501, EN 6021	
CSA / UL	CSA-C 22.2 / UL 60950, UL 908, UL 1950	
Mechanik		
Befestigung	Wandmontage - aufschraubbar	

Laststromdiagramm
bei nomineller Eingangsspannung



Nennausgangsspannung	12,0Vdc	24,0Vdc	28,0Vdc	36,0Vdc	48,0Vdc	60,0Vdc	90,0Vdc	110,0Vdc	130,0Vdc
Einstellbereich der Ausgangsspannung	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Typ	PSU500L12	PSU500L24	PSU500L28	PSU500L36	PSU500L48	PSU500L60	PSU500L90	PSU500L110	PSU500L130
Nennausgangsstrom	3,0Amp.	15,0Amp.	14,0Amp.	10,0Amp.	8,0Amp.	6,0Amp.	5,0Amp.	4,0Amp.	3,5Amp.
Leistung	360Watt	360Watt	392Watt	360Watt	384Watt	360Watt	450Watt	440Watt	455Watt
Wirkungsgrad	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%
Abmessungen (B x H x T)	171x224x103	171x224x103	171x224x103	171x224x103	171x224x103	171x224x103	171x224x103	171x224x103	171x224x103
Gewicht	ca. 8,1kg	ca. 8,1kg	ca. 8,1kg	ca. 8,1kg	ca. 8,1kg	ca. 8,1kg	ca. 8,1kg	ca. 8,1kg	ca. 8,1kg
Bestell-Nr.	58912	58924	58928	58936	58948	58960	58990	589110	589130

Postfach 1521 Telefon: 04102 - 42082 E-Mail: info@feas.de
D - 22905 AHRENSBURG Telefax: 04102 - 40930 Internet: www.feas.de

Treiber

Leistungsumfang:

- bipolare Schrittmotorendstufe
- nur eine Versorgungsspannung notwendig
- Voll- Halb- oder Mikroschrittbetrieb
- Ansteuerung TTL / C-MOS / SPS-Pegel (24V) kompatibel
- stufenlos einstellbarer Arbeits- bzw. Ruhestrom
- automatische Stromreduzierung bei Motorstillstand
- galvanische Trennung
- aktive Kühlung
- Statusanzeige über Siebensegmentanzeige
- universell einsetzbar
- passt in jeden 19"-Einschub
- potentialfreie Relais-Arbeitskontakte (z.B. für Fräsmotor, Absaugung)
- Programmierung über serielle Schnittstelle (RS232)
- Programm in Festwertspeicher downloadbar für standalone Anwendungen
- kaskadierbar auf bis zu 4 Achsen
- Analogeingang (z.B. für Joystickanschluß)

Technische Daten:

Versorgungsspannung	24 ... 48 VDC
Max. Stromaufnahme	6,5 A
Phasenströme	max. 3 A (stufenlos einstellbar)
Referenzschalter (an 9-pol SUBD)	mechanischer Schließkontakt gegen Spannung oder pnp-Näherungssensor
Ausgabefrequenz	max. 5 kHz
Eingänge	Takt / Richtung / Freigabe / Referenzschalter / Sicherheitsenschalter / Jobstart / Jobstop / Pause / Parken / Referenzanforderung / 2 Eingänge für kundenspez. Anwendungen
Ausgänge	2 x 1 potentialfreier Arbeitskontakt (48V/1A)

Technische Änderungen vorbehalten.

-3-

1. Einführung

Die Schrittmotorsteuerkarte SMC3000 dient zur Ansteuerung von bipolaren Schrittmotoren im mittleren Leistungsbereich.

Eine variable externe Spannungsversorgung und kontinuierlich einstellbare Phasenströme garantieren eine einfache Adaption an viele Motortypen.

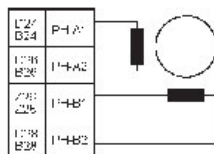
Zur Einarbeitung in die Theorie von Schrittmotoren verweisen wir auf folgende Literatur:

Schrittmotor-Antriebe
Franzis-Verlag GmbH
Autor: Prautzsch

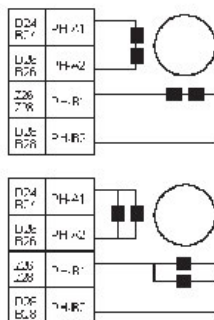
-4-

2.3 Motoranschluß

Bei 2-Phasen - Schrittmotoren wird jeweils eine Phase an den Klemmen D24-B24 / D26-B26 bzw. Z26-Z28 / D28-B28 angeschlossen.



Sollen 4-Phasen - Schrittmotoren an die Schrittmotorkarte angeschlossen werden, müssen jeweils zwei Phasen zusammengeführt werden (seriell oder parallel).



-9-

2.4 Drehrichtung der Motoren

Die Drehrichtung der angeschlossenen Motoren kann durch Vertauschen der Anschlußleitungen einzelner Phasen umgekehrt werden:

Beispiel: 2-Phasen - Schrittmotor:

Phase1: Klemme D24-B24 / D26-B26
Phase2: Klemme Z26-Z28 / D28-B28

Durch Vertauschen der beiden Anschlußdrähte D24-B24 / D26-B26 wird eine Drehrichtungsumkehr erreicht. Den gleichen Effekt erreicht man durch Vertauschen der Anschlußdrähte an den Klemmen Z26-Z28 / D28-B28.

2.5 Einstellen des Phasen-Ruhestromes

über Spindeltrimmer P2 von 0 – 3A (zu Messen am Mittelabgriff von P2).

$$\text{Formel: } I_{\text{PHR}} = V_{\text{ref}} \cdot 0.605 \text{ [A]}$$

bei $V_{\text{ref}} = 0,83\text{V}$ ergibt sich ein Phasenstrom von 0,5A.

Der Phasenstrom wird bei Motorstillstand automatisch auf den eingestellten Wert reduziert.

2.6 Einstellen des Phasen-Arbeitsstroms

über Spindeltrimmer P1 von 0 – 3A (zu Messen am Mittelabgriff von P1)

$$\text{Formel: } I_{\text{PHA}} = V_{\text{ref}} \cdot 0.605 \text{ [A]}$$

bei $V_{\text{ref}} = 3,31\text{V}$ ergibt sich ein Phasenstrom von 2,0A.

bei $V_{\text{ref}} = 4,13\text{V}$ ergibt sich ein Phasenstrom von 2,5A.

-10-

2.7 Jumper J1, J2, J3, J4

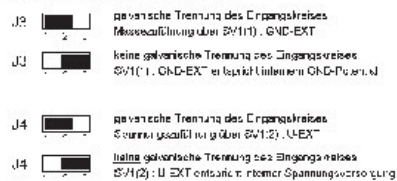
Die Stellung des Jumpers J1 entscheidet, wie das Relais K1 angesteuert werden kann, der Jumper J2, wie das Relais K2 angesteuert wird.

Ansteuerung der Relais



Die Jumper J3 bzw J4 entscheiden, wie der Eingangskreis versorgt wird.

Stromversorgung des Eingangskreises



Auslieferungszustand: J1-J4 befinden sich in Stellung 2-3

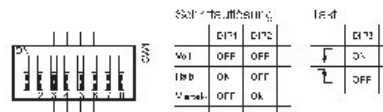
Achtung

Jumper-Änderungen nur im spannungslosen Zustand durchführen!

-11-

2.8 DIP-FIX-Schalter

Mit den DIP-Schalter DIP1 bzw DIP2 kann die Schrittauflösung eingestellt werden:



Sind DIP1 und DIP2 in Stellung OFF, arbeitet die Steuerung im **Vollschrittbetrieb**:

Ein Motor mit 1.8° / Schritt führt bei 200 Schritten eine 360° Drehung aus.

Befindet sich DIP1 in Stellung ON und DIP2 in Stellung OFF, arbeitet die Steuerung im **Halbschrittbetrieb**:

Ein Motor mit 1.8° / Schritt führt bei 200 Schritten eine 180° Drehung aus.

Befindet sich DIP1 in Stellung OFF und DIP2 in Stellung ON, arbeitet die Steuerung im **Viertschrittbetrieb**:

Ein Motor mit 1.8° / Schritt führt bei 200 Schritten eine 90° Drehung aus.

DIP3 legt fest, auf welche Flanke, die Eingangssignale reagieren.

DIP 8 dient zur Systemprogrammierung. DIP 8 muß immer in Stellung OFF sein!

-12-

2.10 Die Statusanzeige

Dezimalpunkt	Bedeutung
0	Betriebsspannung ist angelegt
1	Endstufe gesperrt (FREIGABE-Eingang nicht beschaltet oder Sicherheitsendschalter gedrückt)
2	bereit für Steuerkommandos
3	Referenzfahrt Achse X wird ausgeführt
4	Referenzfahrt Achse Y wird ausgeführt
5	Referenzfahrt Achse Z wird ausgeführt
6	Referenzfahrt Achse U wird ausgeführt
7	Job wird abgearbeitet
8	kein Job vorhanden (noch nicht vorhanden)
9	Vektorfahrt
A	Download Firmware
b	-
c	Pause
d	Parken
e	Datenempfang in Festwertspeicher
f	-
g	-

weitere Statusmeldungen sind in Vorbereitung

3. Anhang

3.1 Technische Daten

- Ausgabefrequenz (=Geschw.) 65-5000 Hz (+/-5%)
- Serielle Übertragungsgeschw. 19200 Baud

3.2 Lieferumfang

- Programmdiskette
- Dokumentation
- Adapterkabel zur Herstellung einer seriellen Verbindung
- Adapterkabel zum Heranführen der Eingangssignale

EMIS GmbH • Zur Drehscheibe 4 • 92637 Weiden
Tel. 0961/32040 Fax 0961/31494
www.emisgmbh.de

-19-

PK

2-Phasen Schrittmotoren
Serie



56,4 mm

Schrittwinkel 1,8°
Standard-Typ



Technische Daten

Modell Einzelwelle Doppelwelle	Anschlussstyp	Haltemoment Nm	Strom pro Phase A/Phase	Spannung V DC	Widerstand pro Phase Ω /Phase	Induktivität mH/Phase	Rotorträgheit J kg·m²	Leitungs- drähte (Litzen)	Anschluß- diagramm (siehe Seite 10)
PK264-01A	Bipolar (Seriell)	0,48	0,71	8,1	11,4	21,6	120×10³	6	
PK264-01B	Unipolar	0,39	1	5,7	5,7	5,4			
PK264-02A	Bipolar (Seriell)	0,48	1,4	3,9	2,8	5,8	120×10³	6	
PK264-02B	Unipolar	0,39	2	2,8	1,4	1,4			
PK264-03A	Bipolar (Seriell)	0,48	2,1	2,6	1,28	2,4	120×10³	6	
PK264-03B	Unipolar	0,39	3	1,9	0,83	0,8			
PK264-E2.0A	Bipolar (Parallel)	0,48	2,8	1,96	0,7	1,4	120×10³	8	
PK264-E2.0B	Bipolar (Seriell)	0,48	1,4	3,9	2,8	5,8			
	Unipolar	0,39	2	2,8	1,4	1,4			
PK266-01A	Bipolar (Seriell)	1,17	0,71	11	14,8	40	300×10³	6	
PK266-01B	Unipolar	0,9	1	7,4	7,4	10			
PK266-02A	Bipolar (Seriell)	1,17	1,4	5	3,6	10	300×10³	6	
PK266-02B	Unipolar	0,9	2	3,6	1,8	2,5			
PK266-03A	Bipolar (Seriell)	1,17	2,1	3,2	1,5	4,4	300×10³	6	
PK266-03B	Unipolar	0,9	3	2,3	0,75	1,1			
PK266-E2.0A	Bipolar (Parallel)	1,17	2,8	2,52	0,9	2,5	300×10³	8	
PK266-E2.0B	Bipolar (Seriell)	1,17	1,4	5	3,6	10			
	Unipolar	0,9	2	3,6	1,8	2,5			
PK268-01A	Bipolar (Seriell)	1,75	0,71	12	17,2	56	480×10³	6	
PK268-01B	Unipolar	1,35	1	8,6	8,6	14			
PK268-02A	Bipolar (Seriell)	1,75	1,4	6,3	4,5	14,4	480×10³	6	
PK268-02B	Unipolar	1,35	2	4,5	2,25	3,6			
PK268-03A	Bipolar (Seriell)	1,75	2,1	4,2	2	6,4	480×10³	6	
PK268-03B	Unipolar	1,35	3	3	1	1,8			
PK268-E2.0A	Bipolar (Parallel)	1,75	2,8	3,16	1,13	3,6	480×10³	8	
PK268-E2.0B	Bipolar (Seriell)	1,75	1,4	6,3	4,5	14,4			
	Unipolar	1,35	2	4,5	2,25	3,6			

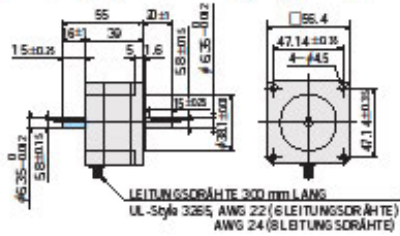
• Schutzgrad: IP30



■ Abmessungen Einheit: mm

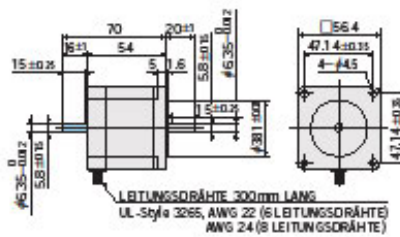
● **PK264-0□A, PK264-E2.0A** (Einzelwelle) Gewicht 0,45 kg

● **PK264-0□B, PK264-E2.0B** (Doppelwelle) Gewicht 0,45 kg



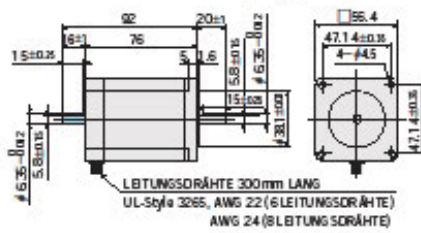
● **PK266-0□A, PK266-E2.0A** (Einzelwelle) Gewicht 0,7 kg

● **PK266-0□B, PK266-E2.0B** (Doppelwelle) Gewicht 0,7 kg

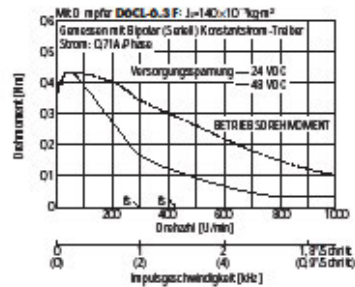
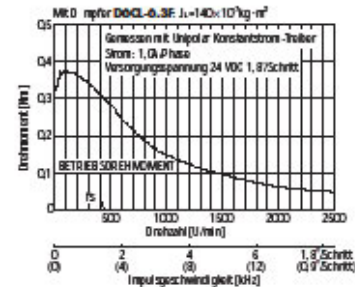
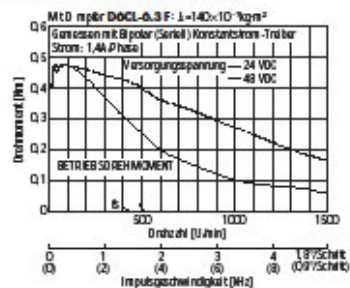
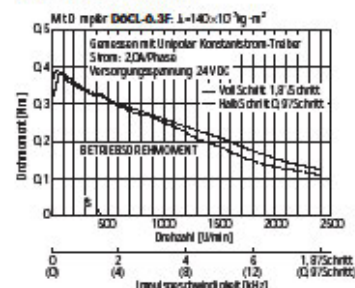
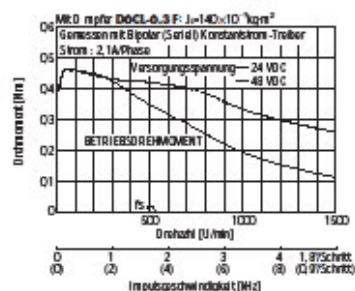
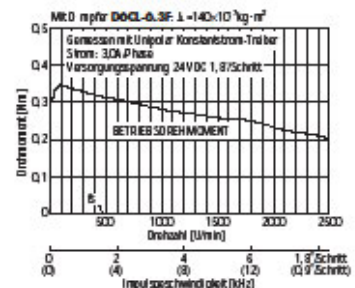
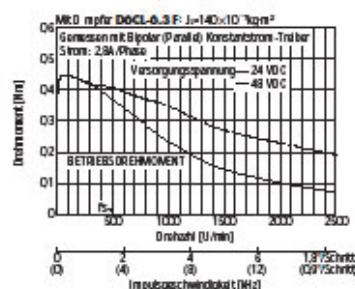
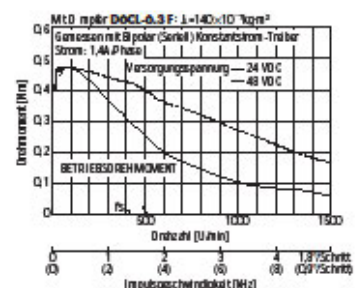


● **PK268-0□A, PK268-E2.0A** (Einzelwelle) Gewicht 1 kg

● **PK268-0□B, PK268-E2.0B** (Doppelwelle) Gewicht 1 kg



● Diese Abmessungen beziehen sich auf Doppelwellenmodelle. Für Einzelwellenmodelle ignorieren Sie die farbigen Bereiche.

■ Drehzahl-Drehmoment-Charakteristiken fs: Maximum-Startimpulsrate
● PK264-01B Bipolar (Seriell)

● PK264-01B Unipolar

● PK264-02B Bipolar (Seriell)

● PK264-02B Unipolar

● PK264-03B Bipolar (Seriell)

● PK264-03B Unipolar

● PK264-E2.0B Bipolar (Parallel)

● PK264-E2.0B Bipolar (Seriell)


Kraftsensor



U9B

Kraftaufnehmer

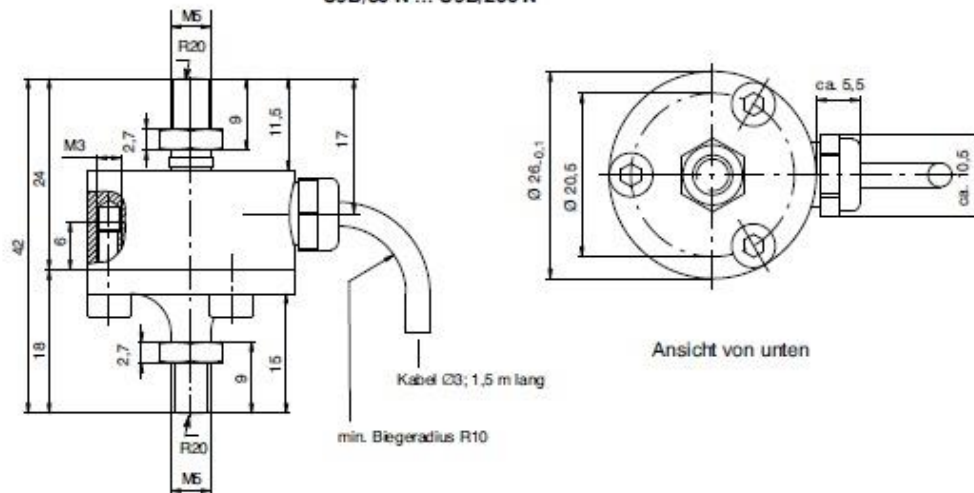
Charakteristische Merkmale

- Zug-/Druckkraftaufnehmer aus nicht rostendem Material
- Nennkräfte 50 N ... 50 kN
- Kleine Abmessungen
- Genauigkeitsklasse 0,5
- Wartungsfreie Gelenköse als Krafteinleitungshilfe

Datenblatt

Abmessungen (in mm)

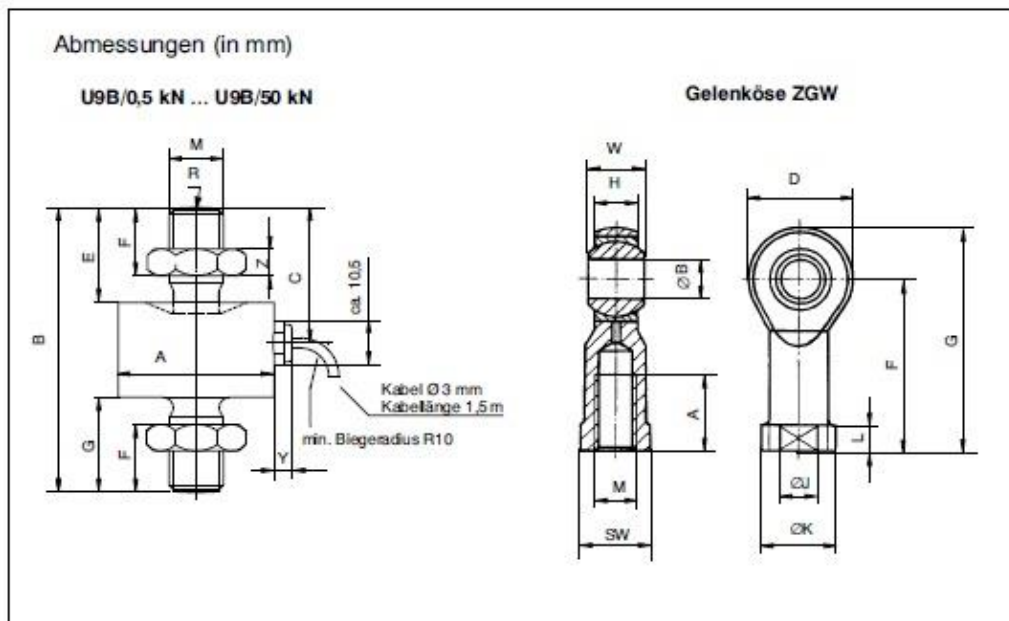
U9B/50 N ... U9B/200 N



Ansicht von unten

B0142-5.5 de





Nennkraft U9B	A _{0,1}	B	C	E	F	G	M	R	Y	Z
0,5 ... 1 kN	26	44,5	20,5	13	9,5	13,5	M5	20	ca. 5,5	2,7
2 ... 20 kN	26	60	28,5	21	16	21	M10	40	ca. 5,5	5
50 kN	46	84	40	28	21,5	28	M16x1,5	80	ca. 5,5	8

Gelenköse:

Nennkraft ZGW	A	B ^{1/2}	D	F	G	H	J	K	L	M	SW	W
50 N ... 1 kN	10	5	18	27	36	6	9	11	4	M5	9	8
2 ... 20 kN	20	10	28	43	57	10,5	15	19	6,5	M10	17	14
50 kN	28	16	42	64	85	15	22	27	8	M16x1,5	22	21

Belegung der Kabeladern (Vierleiter-Schaltung)



Technische Daten (Angaben gemäß VDI/VDE 2638)

Typ	U96												
Nennkraft	F_{nom}	N	50	100	200								
		kN				0,5	1	2	5	10	20	50	
Nennkennwert	C_{nom}	mV/V	1										
Genaueigkeitsklasse			0,5										
Relative Kennwertabweichung	d_C	%	$\leq \pm 1$ Zug / $\leq \pm 2$ Druck										
Relative Spannweite in unveränderter Einbaustellung	d_{ig}	%	$\leq \pm 0,5$										
Abweichung des Nullsignals	$(d_{s,0})$	mV/V	$\pm 0,075$				$\pm 0,2$						
Relative Umkehrspanne (bei 0,5 F_{nom})	$v_{0,5}$	%	$\leq \pm 0,5$										
Relative Linearitätsabweichung	d_{lin}	%	$\leq \pm 0,5$										
Relatives Kriechen über 30 min.	$d_{\alpha F, E}$	%	$\leq \pm 0,2$										
Temperatureinfluss auf den Kennwert pro 10 K im Nenntemperaturbereich im Gebrauchstemperaturbereich	TK_C	%	$\leq \pm 0,5$ $\leq \pm 0,8$										
Temperatureinfluss auf das Nullsignal pro 10 K im Nenntemperaturbereich im Gebrauchstemperaturbereich	TK_0	%	$\leq \pm 0,5$ $\leq \pm 0,8$										
Ausgangswiderstand	R_a	Ω	300 ... 400				< 350						
Eingangswiderstand	R_e	Ω	> 345				300 ... 400						
Isolationswiderstand	R_{is}	G Ω	> 10^9										
Referenzspeisespannung	U_{ref}	V	5										
Gebrauchsbereich der Speisespannung	$B_{U, G}$	V	0,5 ... 12										
Referenztemperatur	T_{ref}	$^{\circ}\text{C}$	+ 23										
Nenntemperaturbereich	$B_{T, nom}$	$^{\circ}\text{C}$	-10 ... +70										
Gebrauchstemperaturbereich	$B_{T, G}$	$^{\circ}\text{C}$	-30 ... +85										
Lagerungstemperaturbereich	$B_{T, S}$	$^{\circ}\text{C}$	-30 ... +85										
Maximale Gebrauchskraft	(F_G)	% v. F_{nom}	200				120						
Bruchkraft	(F_B)		> 200										
Statische Grenzquerkraft ¹⁾	(F_Q)		40				20						
Nennmessweg $\pm 15\%$	s_{nom}	mm	< 0,1				0,04		0,06	0,09	0,11	0,13	
Grundresonanzfrequenz $\pm 15\%$	f_G	kHz	7,3	10	15,7	15,5	23,7	18,7	20	23	27,8	20	
Zulässige Schwingbeanspruchung (Schwingbreite nach DIN 50100)	F_{rb}	% v. F_{nom}	70										40
Gewicht, ca.		g	75				100					400	
Schutzart nach DIN EN 60529			IP67										
Kabellänge		m	1,5										

¹⁾ bezogen auf einen Kräfteleitungs Punkt 2 mm über der Membran

Messverstärker

3.1 Verstärker AE101, AE301, AE501

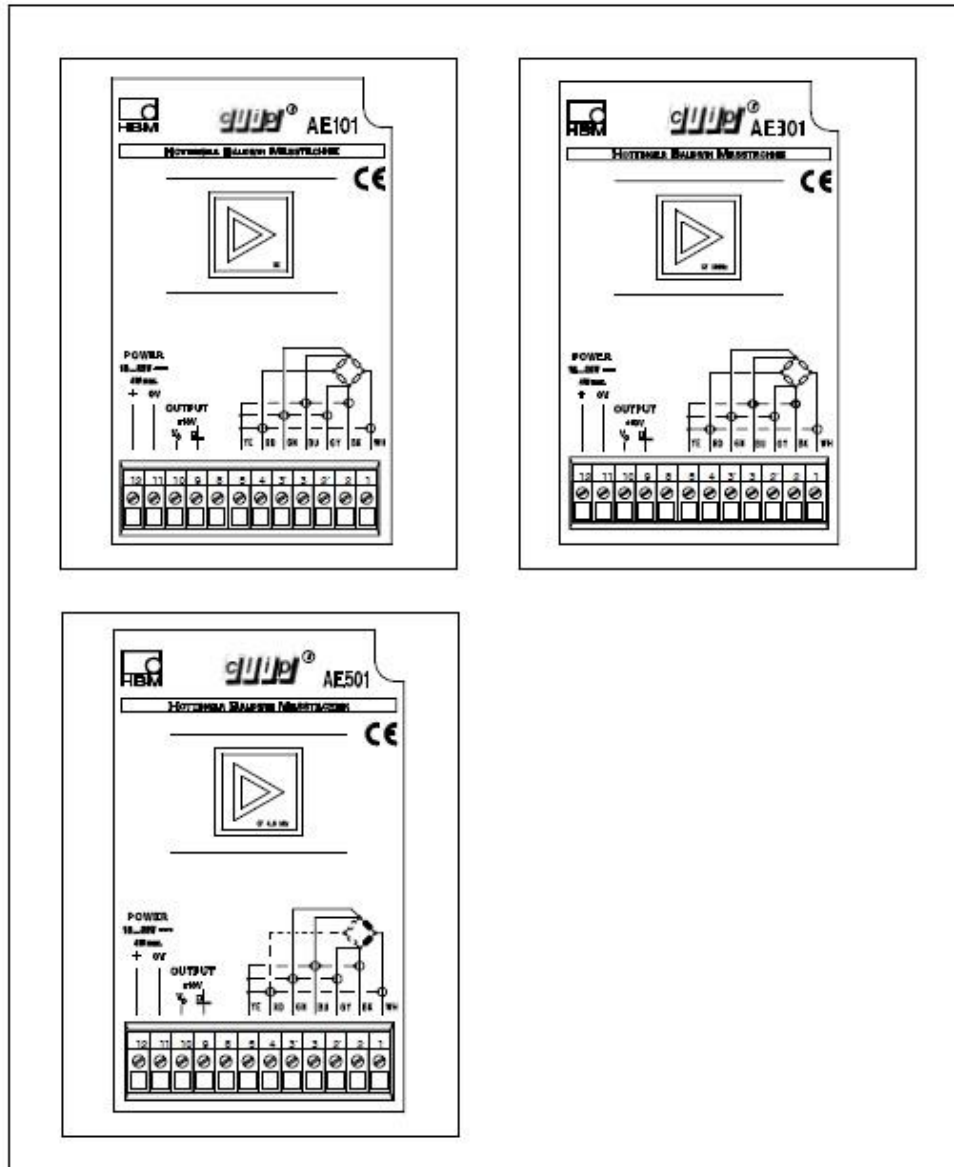


Abb.3.1: Anschlüsse der Messverstärker

Typ	AE101, AE301, AE501	
Klemme	Funktion	Farbe (HBM - Kabel)
1	Messsignal	WH (weiß)
2	Brückenspeisespannung	BK (schwarz)
2'	Fühlerleitung	GY (grau)
3	Brückenspeisespannung	BU (blau)
3'	Fühlerleitung	GN (grün)
4	Messsignal	RD (rot)
5	Schirm / Erdung	YE (gelb)
8	Synchronisation (entfällt bei AE101)	
9	Betriebsspannungsnull ^{*)}	
10	Ausgangsspannung	
11	Versorgungsspannungsnull ^{*)}	
12	Versorgungsspannung	

^{*)} Betriebsspannungsnull und Versorgungsspannungsnull sind intern miteinander verbunden.

Tab. 3.1: Anschlussbelegung Verstärker

Die Klemme 5 des Clip-Verstärkers sowie der Schirmanschluss des Aufnehmers sind zu erden (z.B. Anschluss an Schirmschiene). Werden die Verstärker in einem metallischen Gehäuse mit PG-Verschraubungen (z.B. Schaltschrank oder ClipIG) eingesetzt, so ist der Aufnehmerschirm großflächig an der PG-Verschraubung aufzulegen.

4 Einstellungen

Vor dem Einstellen sind folgende Maßnahmen durchzuführen:

- Aufnehmerkabel anschließen
- Versorgungsspannung einschalten
- Schraube an der rechten oberen Gehäuseecke lösen und Gehäusedeckel herunterklappen.

4.1 Messverstärker AE101

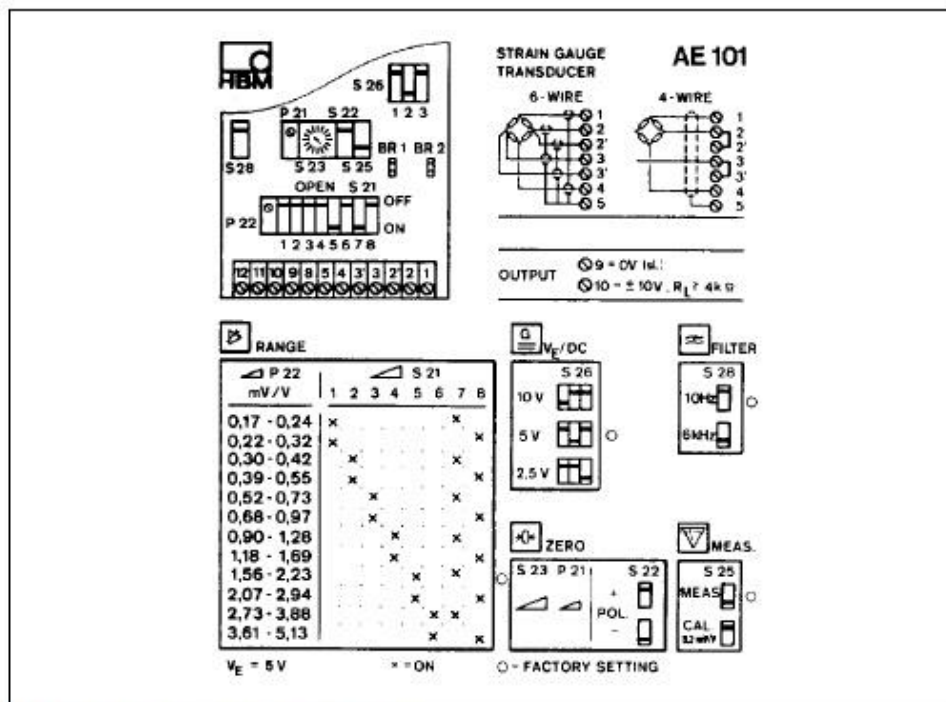


Abb. 4.1: Klebeschild im Gehäuse

• Anschlussart

Der Aufnehmeranschluss erfolgt standardmäßig in 6-Leitertechnik (mit zwei Fühlerleitungen). Soll der Aufnehmer in 4-Leiterschaltung angeschlossen werden, so sind die Klemmen 2 und 2' und 3 und 3' durch Drahtbrücken zu verbinden.

- **Brückenspeisespannung**

Die Brückenspeisespannung V_E ist entsprechend dem Widerstand R_B der DMS-Vollbrücke mit dem Schalter S26 auszuwählen.

Brückenspeisespannung V_E	Aufnehmerwiderstand R_B
10 V	340...5000 Ω
5 V	170...5000 Ω
2,5 V	85...5000 Ω

- **Messfrequenzbereich**

Der Messfrequenzbereich kann mit S28 auf 10 Hz oder 6 kHz eingestellt werden.

- **Nullpunkt**

- Aufnehmer entlasten bzw. Vorlast aufbringen
- Ausgangsspannung mit Digitalvoltmeter messen und mit Drehschalter S23 auf kleinste Anzeige bringen (ggf. Polarität mit S22 umschalten);
Feinabgleich mit P21 auf 0,000 V

- **Messbereich**

Um eine möglichst hohe Auflösung des Messwertes zu erhalten, sollte die max. Ausgangsspannung des Verstärkers (± 10 V) ausgenutzt werden.

AE101										
$V_E = 2,5 \text{ V}$	$V_E = 5 \text{ V}$	$V_E = 10 \text{ V}$	Schalterstellung S21							
mV/V	mV/V	mV/V	1	2	3	4	5	6	7	8
0,34–0,48	0,17–0,24	0,09–0,12	X						X	
0,44–0,64	0,22–0,32	0,11–0,16	X							X
0,60–0,84	0,30–0,42	0,15–0,21		X					X	
0,78–1,1	0,39–0,55	0,20–0,28		X						X
1,04–1,46	0,52–0,73	0,26–0,37			X				X	
1,36–1,94	0,68–0,97	0,34–0,49			X					X
1,80–2,56	0,90–1,28	0,45–0,64				X			X	
2,36–3,38	1,18–1,69	0,59–0,85				X				X
3,12–4,46	1,56–2,23	0,78–1,12					X		X	
4,14–5,88	2,07–2,94	1,04–1,47					X			X
5,46–7,76	2,73–3,88	1,37–1,94						X	X	
7,22–10,26	3,61–5,13	1,81–2,57						X		X

Tab. 4.1: Nennmesswert in Abhängigkeit der Brückenspeisespannung V_E

Werkseinstellung: $V_E = 5$ V; $M_B = 2$ mV/V

Allgemein:

$$\frac{\text{Teillast}}{\text{Nennlast}} \cdot \frac{10\text{V}}{\text{Messbereich in V}} \cdot \text{Kennwert in mV/V} = \text{Nennmesswert (Range) in mV/V}$$

Beispiel 1

Kraftaufnehmer 100N $\approx$ 2mV/V; Messbereich 60N $\approx$ 10V

$$\frac{60\text{ N}}{100\text{ N}} \cdot \frac{10\text{ V}}{10\text{ V}} \cdot 2\text{ mV/V} = 1,2\text{ mV/V}$$

Aufnehmer mit 60 N belasten.

Mit S21 entsprechendes Intervall gemäß Tab. 4.1 anwählen (4 + 7 einschalten) und mit P22 Ausgangsspannung auf exakt 10 V einstellen.

Zur Messbereichseinstellung ohne Anschluss eines Aufnehmers kann auch ein Kalibriergerät (z.B. K 3607) eingesetzt werden, welches das Aufnehmersignal simuliert.

• Additives Kalibriersignal

Die Justage des Messbereichs kann auch mit Hilfe des additiven Kalibriersignals (0,2 mV/V) durchgeführt werden.

Beispiel 2

Kraftaufnehmer 100 N $\approx$ 2 mV/V; Messbereich 60 N $\approx$ 10 V

$$\frac{60\text{ N}}{100\text{ N}} \cdot \frac{10\text{ V}}{10\text{ V}} \cdot 2\text{ mV/V} = 1,2\text{ mV/V}$$

Nennmesswert berechnen und nach durchgeführtem Nullabgleich (s.o.) mit S21 das entsprechende Messbereichsintervall anwählen. Additives Kalibriersignal zuschalten (S25 auf CAL stellen) und bei unbelastetem Aufnehmer mit P22 einstellen. Nach erfolgter Kalibrierung Schalter S25 auf MEAS stellen.

$$\frac{0,2\text{ mV/V}}{1,2\text{ mV/V}} \cdot 10\text{ V} = 1,667\text{ V}$$

Multifunktions-Messmodul

DT9834 Series

High-Performance Multifunction USB Data Acquisition Modules

Overview

The DT9834 is a series of high-speed, high-performance USB data acquisition (DAQ) modules. These USB DAQ modules are available in a variety of configurations, allowing you to choose the number of analog I/O channels and packaging that suits your application.

The DT9834 Series combines the functionality of multiple boards in a single USB 2.0 module to provide simultaneous analog input, analog output, digital I/O, and counter/timer operations. Available in a number of configurations, the DT9834 Series provides maximum flexibility. All modules feature 16 digital input lines, 16 digital output lines, and 5 counter/timer channels.

Key Features

- Simultaneous subsystem operation: analog input, analog output, digital I/O, counter/timer
- 16 single-ended (SE)/8 differential (DIFF) analog inputs

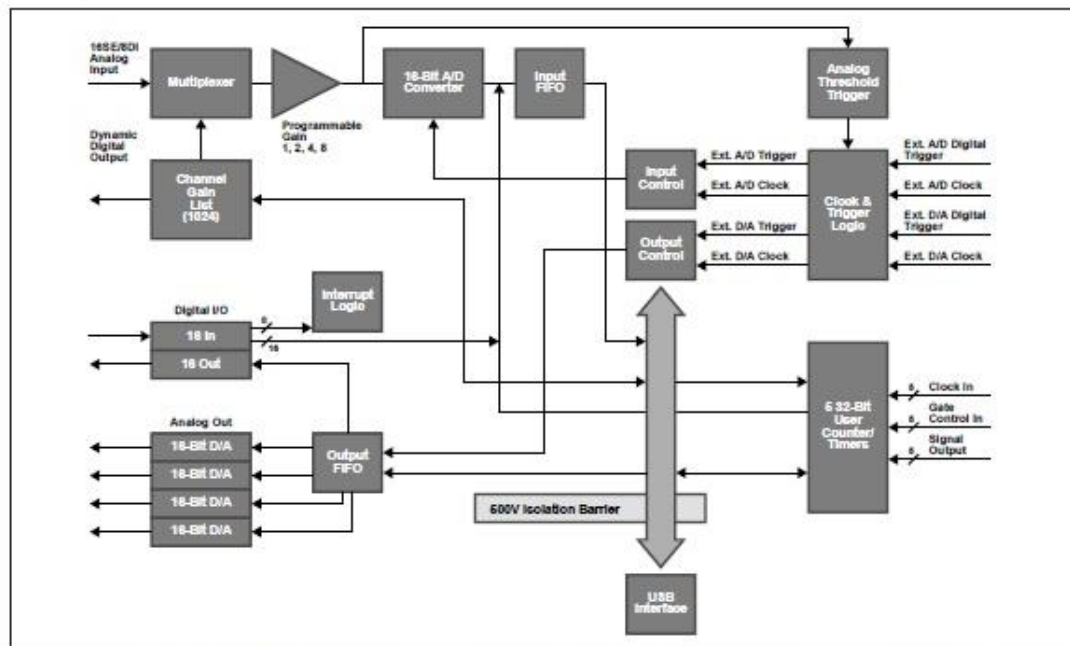


DT9834 Series modules are available in two configurations: BNC connection box and OEM embedded version.

- 16-bit resolution
- Fast sampling: 500 kS/s
- 32 DIO, 5 counter/timers
- Optional 16-bit deglitched D/A: 500 kS/s/ch for waveform generation
- ± 500 V galvanic isolation protects signal integrity
- OEM or BNC packaging
- Includes free QuickDAQ software to get up and running quickly

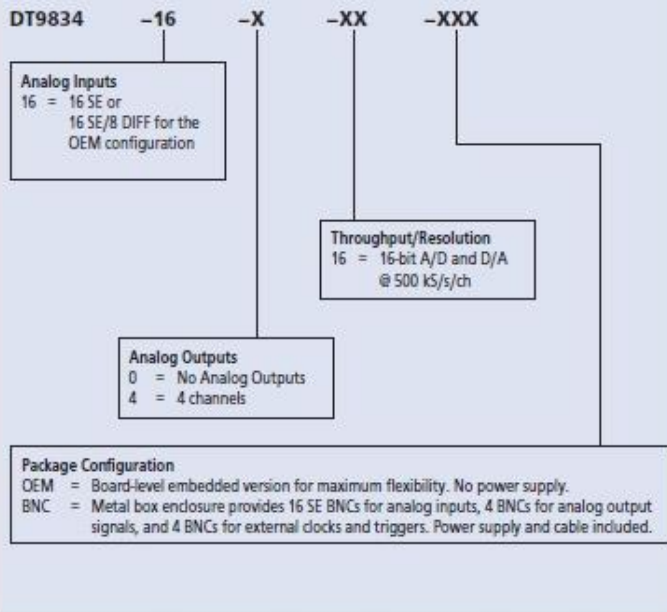
Supported Operating Systems

- Windows® 10/8/7/Vista® 32/64-bit



The DT9834 Series provides USB 2.0 multifunction modules for simultaneous A/D, D/A, DIO, and counter/timer subsystem operation. This detailed block diagram shows the relationship of each subsystem and the control signals used in the series. For flexible, cost-effective solutions, you can choose the number of analog I/O channels as well as the packaging configuration that suits your application.

Ordering Guide



Ordering Summary

ACCESSORIES

- **BNC DIN Rail Kit** – Kit for mounting USB modules in BNC enclosure to a DIN rail. Includes mounting clips, screws, and instructions. DIN Rail not included.
- **EP355** – Screw terminal panel for attaching analog I/O and digital I/O signals (for OEM configurations only).
- **EP361** – A +5 V power supply (included with BNC and STP configurations).

FREE SOFTWARE

- **QuickDAQ**
- **DAQ Adaptor for MATLAB** – Access the analysis and visualization tools of MATLAB®.
- **LV-Link** – Access the power of Data Translation boards through LabVIEW™.

OPTIONAL SOFTWARE

- **QuickDAQ FFT Analysis Option** (License Required)
- **QuickDAQ Advanced FFT Analysis Option** (License Required)

Module	Analog In	Analog Out	Resolution	Input Ranges*	Throughput	Digital In	Digital Out	Counters	Packaging
DT9834-16-0-16-OEM	16 SE/8 DIFF	—	16-bit	PGH	500 kS/s	16	16	5	OEM
DT9834-16-4-16-BNC	16 SE	4	16-bit	PGH	500 kS/s	16	16	5	BNC
DT9834-16-4-16-OEM	16 SE/8 DIFF	4	16-bit	PGH	500 kS/s	16	16	5	OEM

*PGH input range: ±10, 5, 2.5, 1.25 volts.

AC-Lüfter



W2K121 Series

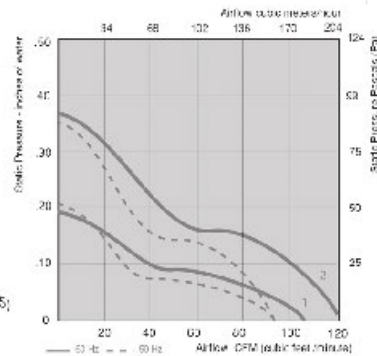
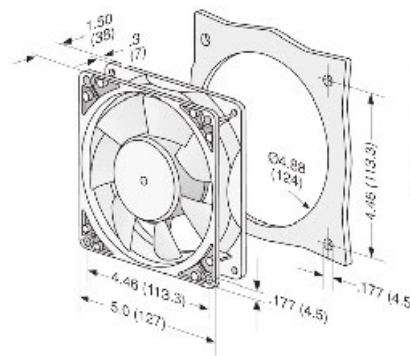
127x127x38mm

Tubeaxial

- AC fans with external rotor shaded-pole motor. Impedance protected against overloading.
- Metal fan housing, Impeller of plastic PP.
- Air exhaust over intake. Rotational direction CCW looking at rotor.
- Mounting from either face using two 4.5 mm holes.
- Electrical connection via 2 lead pins 2.5 x 0.5 mm.
- Fan housing with ground lug for series Id 4x8 DIN 7800-C.
- UL, CSA, VDE approvals on some models, please contact application engineering.

Part Number										
W2K121-A811-13	1	100	116	6080	14	41	66	Ball	Terminals	1.26
W2K121-A811-30	1	100	116	9080	14	41	92	Ball	Terminals	1.26
W2K121-AA15-01	2	121	116	6080	17	47	76	Ball	Leads	1.26
W2K121-AA15-06	2	121	118	8080	17	47	78	Ball	Leads	1.28
W2K121-AA15-18	2	121	116	6080	17	47	76	Ball	Terminals	1.26
W2K121-AA15-06	2	121	118	8080	17	47	78	Ball	Terminals	1.28
W2K121-A807-13	1	100	230	6080	14	41	66	Ball	Terminals	1.26
W2K121-A807-30	1	100	230	8080	14	41	66	Ball	Terminals	1.26
W2K121-AA01-01	2	121	230	8080	17	47	75	Ball	Leads	1.25
W2K121-AA01-06	2	121	230	6080	17	47	76	Ball	Leads	1.26
W2K121-AA01-18	2	121	230	8080	17	47	75	Ball	Terminals	1.25
W2K121-AA01-06	2	121	230	6080	17	47	76	Ball	Terminals	1.26

Fan Type	Lead Wire
AA01-01	280 mm long
AA01-03	AA15-01
AA15-05	AA01-02

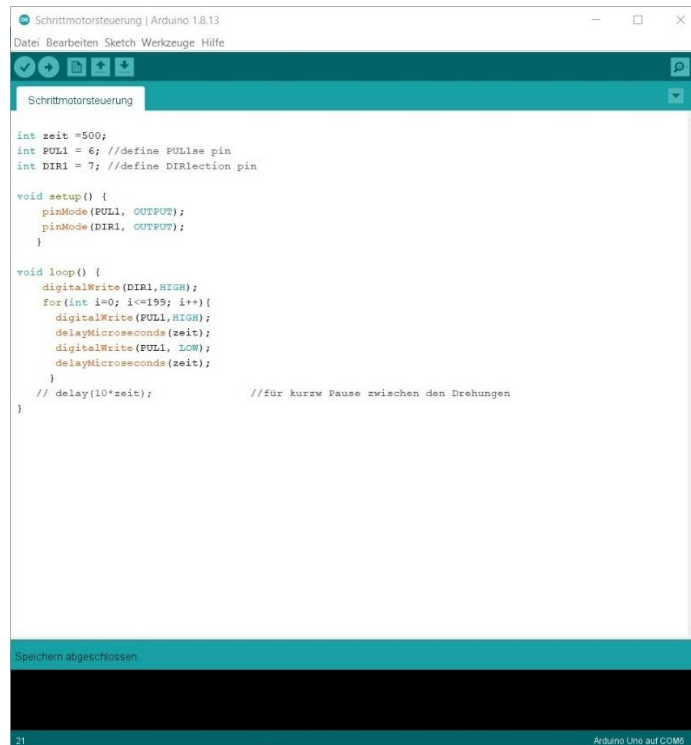


ebmpapst

e-mail: sales@us.ebmpapst.com • TEL: 860-674-1915 • FAX: 860-674-9535
 ebm-papst Inc., 100 Hyde Road, Farmington, CT 06034 USA
 ebm-papst Inc., 2004 © ebm-papst Inc. reserves the right to change any specifications or data without notice

QUELLCODES

Arduino-Programmierung: Schrittmotor



```

Schrittmotorsteuerung | Arduino 1.8.13
Datei Bearbeiten Sketch Werkzeuge Hilfe

Schrittmotorsteuerung

int zeit = 500;
int PUL1 = 6; //define PULsee pin
int DIR1 = 7; //define DIRlection pin

void setup() {
  pinMode(PUL1, OUTPUT);
  pinMode(DIR1, OUTPUT);
}

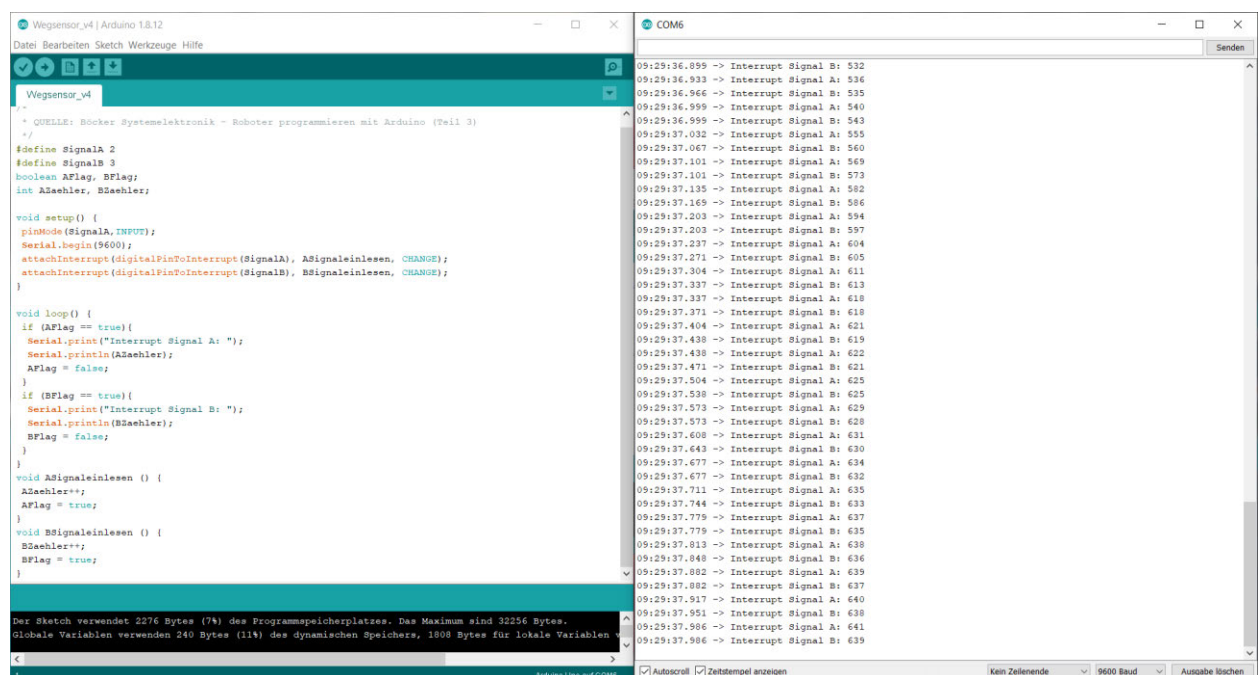
void loop() {
  digitalWrite(DIR1,HIGH);
  for(int i=0; i<=199; i++){
    digitalWrite(PUL1,HIGH);
    delayMicroseconds(zeit);
    digitalWrite(PUL1, LOW);
    delayMicroseconds(zeit);
  }
  // delay(10*zeit);          //für kurzw Pause zwischen den Drehungen
}

Speichern abgeschlossen.

21 Arduino Uno auf COM5

```

Arduino-Programmierung: Pulszählung Wegsensoren



```

Wegsensor_v4 | Arduino 1.8.12
Datei Bearbeiten Sketch Werkzeuge Hilfe

Wegsensor_v4

/*
 * QUELLE: Böcker Systemelektronik - Roboter programmieren mit Arduino (Teil 3)
 */

#define Signala 2
#define SignalB 3
boolean AFlag, BFlag;
int Azaehler, Bzaehler;

void setup() {
  pinMode(Signala,INPUT);
  Serial.begin(9600);
  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(Signala), ASignaleinlesen, CHANGE);
  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(SignalB), BSignaleinlesen, CHANGE);
}

void loop() {
  if (AFlag == true){
    Serial.print("Interrupt Signal A: ");
    Serial.println(Azaehler);
    AFlag = false;
  }
  if (BFlag == true){
    Serial.print("Interrupt Signal B: ");
    Serial.println(Bzaehler);
    BFlag = false;
  }
}

void ASignaleinlesen () {
  Azaehler++;
  AFlag = true;
}

void BSignaleinlesen () {
  Bzaehler++;
  BFlag = true;
}

Der Sketch verwendet 2276 Bytes (7%) des Programmspeicherplatzes. Das Maximum sind 32256 Bytes.
Globale Variablen verwenden 240 Bytes (11%) des dynamischen Speichers, 1808 Bytes für lokale Variablen v

1 Arduino Uno auf COM5
Autoscroll Zeitstempel anzeigen Kein Zeilenende 9600 Baud Ausgabe löschen

```

32Bit-MATLAB® -Programmierung. Schrittmotorsteuerung über Multifunktions-Messmodul

```

1 %% Schrittmotorsteuerung
2 close all
3 clear all
4 clc
5
6 % Abtastrate für Output
7 fs_out = 50000; % bei 10000 und freq = 1000 läuft SM ebenfalls sehr ruhig (wie Arduino)
8
9 % Square Testsignal erzeugen
10 freq = 500; % Hz // 1 Hz seeehr langsam,
11 amp = 2.5; % Volt
12 anz = 200; %Schrittzahl // 15 //Anzahl der Schwingungen; mit 15 wird ganzes Plotfenster ausgefüllt
13 t = 0 : 1/fs_out : anz/freq; % 0:0.002:40 = von 0s in 0.002s Schrittwerten nach 40s
14 PUL = amp * square(2*pi*freq*t)+2.5; %2pi*freq = Kreisfrequenz
15 DIR = zeros(1,length(PUL));
16 %DIR(1:length(PUL))= 5; %5 // Drehsinnänderung
17
18 PUL = PUL'; % ' Transponiert
19 DIR = DIR'; %für zweiten Kanal
20
21 %=====< Analogousgang-Einstellung >=====
22 ao = analogoutput('dtdl'); %funktioniert auch ohne 0: ...('dtdl',0);
23 addchannel(ao,[1 3]); %,['DAC Ch0','DAC Ch1'] %Folgende Syntax ist möglich: 0:1 = Null bis Eins; [0:1] = Spaltenmatrix; [0 1] = Zeilenmatrix
24 % [0 1bis4] = SM1 (bei [0 2] lässt sich Richtung per Code ändern)
25 % & [1 2bis4] = SM2 (bei [1 3] lässt sich Richtung per
26 % Code ändern)
27 ao.bufferingmode = 'auto';
28 set(ao,'SampleRate',fs_out)
29 ao.OutOfDataMode = 'DefaultValue';
30 ao.Channel.DefaultChannelValue = 0;
31
32
33 %=====< Signaloutput >=====
34 putdata(ao,[PUL DIR]); % Outputkanalanzahl = Matrixanzahl (PUL DIR = Zeilenmatrix) // Muss Kanalanzahl entsprechen ! nur 1x PUL, Rest DIR sonst hakt es
35 start(ao) %Analog-Output

```

64Bit-MATLAB® -Programmierung. Schrittmotorsteuerung über Multifunktions-Messmodul

```

1 %% Schrittmotorsteuerung_64bit
2 close all
3 clear all
4 clc
5
6 % Abtastrate für Output
7 fs_out = 50000; % bei 10000 und freq = 1000 läuft SM ebenfalls sehr ruhig (wie Arduino)
8
9 % Square Testsignal erzeugen
10 freq = 500; % Hz // 1 Hz seeehr langsam,
11 amp = 2.5; % Volt
12 anz = 200; %Schrittzahl // 15 //Anzahl der Schwingungen; mit 15 wird ganzes Plotfenster ausgefüllt
13 t = 0 : 1/fs_out : anz/freq; % 0:0.002:40 = von 0s in 0.002s Schrittwerten nach 40s
14 PUL = amp * square(2*pi*freq*t)+2.5; %2pi*freq = Kreisfrequenz
15 DIR = zeros(1,length(PUL));
16 %DIR(1:length(PUL))= 5; %5 // Drehsinnänderung
17 PUL = PUL'; % ' Transponiert
18 DIR = DIR'; %für zweiten Kanal
19
20 %=====< Analogousgang-Einstellung >=====
21 % Example wegen 64-BIT-VERSION:
22 s = daq.createSession('ni');
23 s.addAnalogOutputChannel('cDAQ1Mod2', 'ao0', 'Voltage');
24 data = sin(linspace(0, 2*pi, 1000));
25 s.queueOutputData(data);
26 s.startForeground();
27 s = daq.createSession('dt');
28 s.Rate = fs_out;
29 ch0 = s.addAnalogOutputChannel('dt9834(00)', '0', 'Voltage');
30 ch3 = s.addAnalogOutputChannel('dt9834(00)', '3', 'Voltage');
31
32 %=====< Signaloutput >=====
33
34 queueOutputData(s,[PUL DIR]);
35 startForeground(s);

```

Anhang B: Datenblätter von neuen Komponenten

24 V Netzteil

AC-DC

600-800 Watts SMR Series

xppower.com **XP**



- Up to 900 W Peak Output Power
- Single Outputs from 12 V to 48 V
- Compact Size
- Remote On/Off
- SEMI F47 Compliant
- Optional Current Share
- 3 Year Warranty

Specification

Input

Input Voltage	• 90-264 VAC (120-370 VDC)
Input Frequency	• 47-63 Hz
Input Current	• SMR600: 9 A at 90 VAC, 3.5 A at 230 VAC SMR800: 11 A at 90 VAC, 5 A at 230 VAC
Inrush Current	• 70 A at 230 VAC
Power Factor	• >0.9
Earth Leakage Current	• <2.4 mA max at 264 VAC
Input Protection	• Fitted with a T12 A/250 V fuse

Output

Output Voltage	• See table
Output Voltage Trim	• $\pm 5\%$
Initial Set Accuracy	• $\pm 1\%$
Minimum Load	• 1% (see note 9)
Start Up Delay	• 1.5 s at 230 VAC
Start Up Rise Time	• 40 ms typical
Hold Up Time	• 16 ms min at 120 VAC
Line Regulation	• $\pm 0.5\%$, low line to high line
Load Regulation	• $\pm 1\%$, 1-100% load (see note 8)
Over/Undershoot	• 5% max
Transient Response	• 5% max deviation, 500 μ s recovery to within 1% for a 50% load change
Ripple & Noise	• 1% of nominal output voltage (see note 2)
Overvoltage Protection	• 110-130% recycle input to reset
Overtemperature Protection	• Measured internally with auto recovery
Overload Protection	• 110-140% with auto recovery
Short Circuit Protection	• Trip and restart (Hiccup mode)
Remote Sense	• Compensates for up to 0.5 V line drop (not available with current share)
Remote On/Off	• On = TTL Logic HIGH, or open circuit Off = TTL Logic LOW or short circuit
Current Share	• Optional single wire current share within 10% for up to 4 units (add suffix '-I' to model number) Note that this option includes output blocking diodes. Remote sense is not available with current share.

General

Efficiency	• See model table
Isolation	• 3000 VAC Input to Output 1500 VAC Input to Ground 250 VDC Output to Ground
Switching Frequency	• 60 kHz PFC, 25 kHz PWM typical
Power Density	• SMR600: 6.16 W/in ³ , SMR800: 8.2 W/in ³
Signals	• Green LED for Power On, Power Good TTL HIGH within 100-500 ms and LOW ≤ 1 ms before loss of regulation
Current Monitor	• 0.5 V to 3 V output denoting 0-100% output current
MTBF	• 150 kHrs min to MIL-HDBK-217F at 25 °C, GB

Environmental

Operating Temperature	• 0 °C to +70 °C, derates from 100% load at +50 °C to 50% load at +70 °C
Cooling	• Integral fan
Operating Humidity	• 5-90%, non-condensing
Storage Temperature	• -20 °C to +85 °C
Operating Altitude	• 3000 m
Vibration	• 5-50 Hz, acceleration 7.35 ms ² on X, Y and Z axis

EMC & Safety

Emissions	• FCC Part 15 & EN55022, level B conducted and radiated
Harmonic Currents	• EN61000-3-2 class A EN61000-3-2 class C for loads $\geq 20\%$
Voltage Flicker	• EN61000-3-3
ESD Immunity	• EN61000-4-2, level 3 Perf Criteria A
Radiated Immunity	• EN61000-4-3, 3 V/m Perf Criteria A
EFT/Burst	• EN61000-4-4, level 2 Perf Criteria A
Surge	• EN61000-4-5, installation class 3 Perf Criteria A
Conducted Immunity	• EN61000-4-6, 3V Perf Criteria A
Dips & Interruptions	• EN61000-4-11, 30V 10 ms, 60% 100 ms, 100% 5000 ms Perf Criteria A, B, B
Safety Approvals	• UL60950, CSA C22.2 No. 950, EN60950-1:2001, CE Mark LVD, SEMI F47 compliant (high line only) at 100% rated power output



T H E X P E R T S I N P O W E R

Models and Ratings

SMR600-800 XP

Output Power	Output Voltage ⁽¹⁾	Output Current		Ripple & Noise ⁽²⁾	Efficiency		Model Number
		Maximum	Peak ⁽¹⁾		115 VAC	230 VAC	
600 W	12 V	50.00 A	75.00 A	120 mV	79%	83%	SMR600PS12
600 W	24 V	25.00 A	37.50 A	240 mV	80%	85%	SMR600PS24
600 W	48 V	12.50 A	18.75 A	480 mV	81%	86%	SMR600PS48
750 W	12 V	62.50 A	75.00 A	120 mV	79%	83%	SMR800PS12
800 W	24 V	33.33 A	37.50 A	240 mV	80%	85%	SMR800PS24
800 W	48 V	16.67 A	18.75 A	480 mV	81%	86%	SMR800PS48

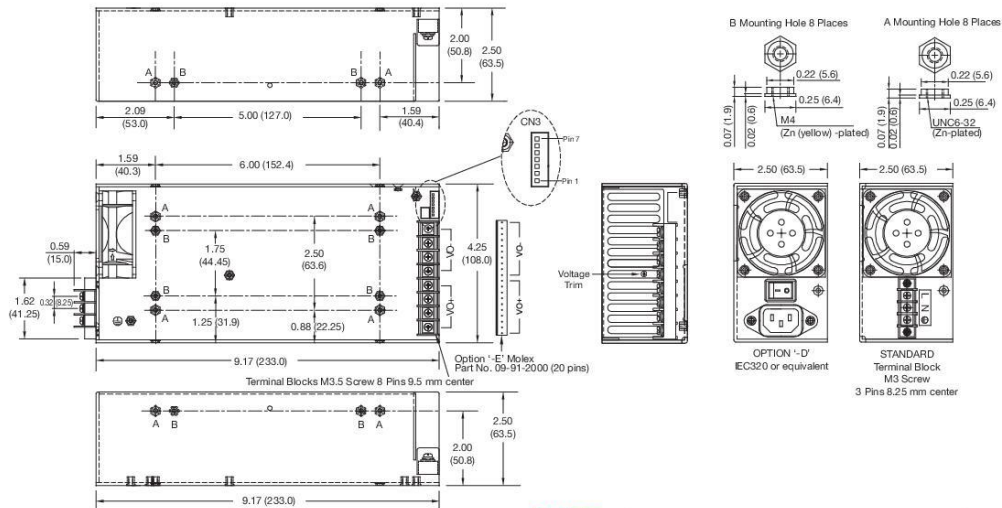
Notes

1. Peak current can be taken for 500 μ s, average power should not exceed the maximum power.
2. Ripple & Noise is measured using 0.1 μ F ceramic and 22 μ F electrolytic capacitor, 20 MHz bandwidth.
3. Load regulation increases to 2% for 0-100% load change.
4. For Top Fan versions replace SMR with SMT.

5. For U-channel versions replace SMR with SMS.
6. For output currents >50 A please use remote sense to meet load regulation ratings.
7. Other output voltages available in OEM quantities, please contact sales.
8. Minimum load required to meet ripple and noise specification.

Mechanical Details

Covered Version



CN3 (Signals)	
Pin	Function
1	Current monitor
2*	Current share
3	Return
4	Power good
5	Remote On/Off
6*	-Remote sense
7*	+Remote sense

*If optional current share is fitted then remote sense function is excluded.

Options

Option	SMR	SMT	SMS
Current Share + output blocking diodes ⁽¹⁾	-I	-I	-I
Molex Output Connector ⁽¹⁾	-E	-E	-E
Molex Input Connector ⁽¹⁾	-F	-F	-F
Molex Input Molex Output ⁽¹⁾	-G	-G	-G
IEC320 Inlet	-D		
IEC Inlet Molex Outlet ⁽¹⁾	-F		

(1) Available for OEM quantities, contact Sales.
For multiple option codes, place codes in alphabetical order, e.g. SMR800PS12-EI

Notes

1. All dimensions are in inches (mm).
2. Weight: 3.30 lbs (1.5 kg) approx.
3. Tolerance: ± 0.012 (± 0.3).
4. Logic connector CN3 mates with: JST XHP-7 or equivalent & JST SXH-002T-P0.6 crimp terminals.
5. Maximum mounting screw penetration: 0.12 (3.0) on base & 0.25 (6.3) on each side.
6. Maximum screw terminal torque: Output: 15.7 lbs-in (1.8 Nm) Input: 7 lbs-in (0.8 Nm)



T H E X P E R T S I N P O W E R

48 V Netzteil

TDK-Lambda**RWS-B Series****50-600W Single Output General Purpose Power Supplies****Features**

- ◆ Low Cost
- ◆ Wide Range AC Input 85 - 265VAC (300VAC for 5s)
- ◆ UL508 Certification on Select Models
- ◆ Enclosed Construction
- ◆ Compact Size
- ◆ 7 Year Warranty

**Key Market Segments & Applications**

Specifications		RWS50B	RWS100B	RWS150B	RWS300B	RWS600B
Model						
AC Input Voltage range (1)	VAC	85 - 265VAC (47 - 63Hz), 300VAC for 5 seconds				
DC Input Voltage range	VDC	120 - 370VDC (330VDC for RWS600B)*				
Inrush Current (100 / 200VAC)	A	18 / 36	15 / 30	16 / 32	17 / 34	20 / 40
Power Factor (100 / 200VAC)	-	Meets EN61000-3-2 (0.95 / 0.9)				
Input Current (115/230VAC) (Typ)	A	1.0 / 0.65	1.2 / 0.6	1.8 / 0.9	3.6 / 1.9	6.6 / 3.6
Temperature Coefficient	-	(5V: 0.9/0.45) (5V: 1.3/0.7) (5V: 3.1/1.6) (5V: 6.2/3.2)				
Regulation	-	<0.02%/°C				
Overcurrent Protection	-	See sheet 2				
Overvoltage Protection	-	>105%, Constant Current Style				
Hold Up Time (Typ at 100% load)	V	115-140%, Cycle AC line to reset				
Leakage Current (max)	ms	20ms (RWS50B: 15ms at 100VAC input)				
Remote Sense	uA	750uA maximum, typically 175uA at 115VAC, 63Hz				
Operating Temperature	-	No				
Storage Temperature	-	-20 to +70°C, see note (3) and instruction manual for low temperature derating				
Operating Humidity (non condensing)	-	-30 to +75°C				
Storage Humidity (non condensing)	%RH	30 - 90%RH				
Cooling	%RH	10 - 90%RH				
Withstand Voltage	-	Convection				
Isolation Resistance	-	Internal Fan				
Vibration (non operating)	-	Input to Ground 2kVAC, Input to Output 3kVAC, Output to Ground 500VAC for 1 min.				
Shock	-	>100M at 25°C & 70%RH, Output to Ground 500VDC				
Safety Agency Approvals (2)	-	10 - 55Hz: 19.6m/s ² (sweep 1 min) X, Y, Z for 1 hour				
Conducted & Radiated EMI	-	< 196.1 m/s ²				
Line Dips	-	IEC/EN/UL/CSA60950-1, IEC/EN/UL/CSA62368-1, UL508 and CE Mark				
Immunity	-	EN55011 / EN55022-B, FCC Class B, VCCI-B				
Weight (Typ)	-	SEMI-F47 (200VAC input)				
Size (WxHxD)	-	IEC61000-4-2, -3, -4, -5, -6, -8, -11, IEC61000-6-2				
MTBF - Telcordia SR-332 issue 3**	g	230	400	480	900	1600
Warranty	mm	82 x 34 x 81.5	94 x 39 x 108	94 x 41 x 128	102 x 41 x 170	120 x 61 x 190
	In	3.23 x 1.34 x 3.2	3.7 x 1.54 x 4.25	3.7 x 1.61 x 5.04	4.02 x 1.61 x 6.7	4.72 x 2.4 x 7.48
	Hours	4,170,949	1,978,533	2,235,743	2,027,824	2,157,340
	Yrs	Seven Years				

*Safety certified for AC input only ** 24V output model, 25°C ambient, full load, 230VAC input

Notes: (1) See instruction manual for derating below 115VAC input

(2) UL508 & CSA C22.2 No.107.1-01 on RWS50B-5, -12, -24, RWS100B-5, -12, -24, RWS150B-5, -12, -24, RWS300B-12, -15, -24, -36 & -48 RWS600B-24 only

(3) RWS50-100B derates linearly above 45°C to 20% load at 70°C, 150B derates above 40°C and 300-600B derates above 50°C to 50% load at 70°C

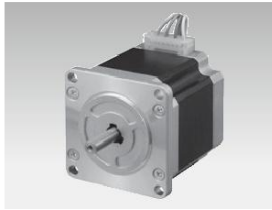
RWS-B Series

[illegible]

For Additional Information, please visit
<https://product.tdk.com/info/en/products/power/index.html>

Schrittmotor

Stepping Motors



56 mm sq.

1.8°/step RoHS

 Bipolar winding, Lead wire type
 Unipolar winding, Lead wire type ▶ p. 52

Customizing

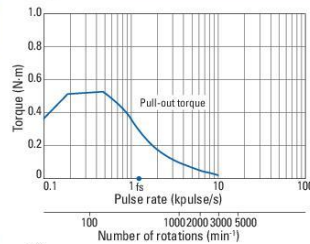
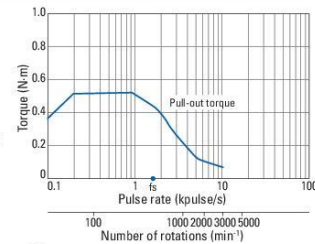
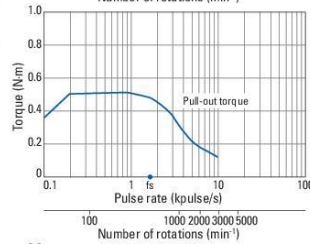
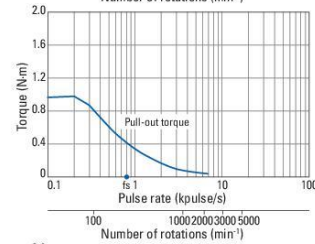
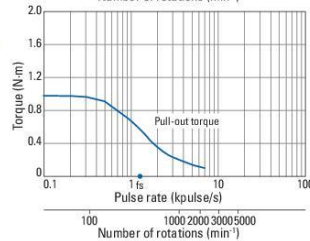
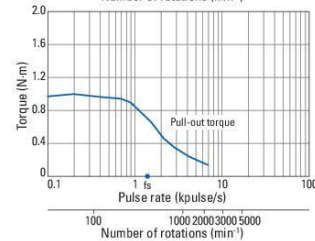
[Hollow](#) [Shaft modification](#)
[Decelerator](#) [Encoder](#)

Varies depending on the model number and quantity. Contact us for details.

Bipolar winding, Lead wire type

Model no.		Holding torque at 2-phase energization	Rated current	Wiring resistance	Winding inductance	Rotor inertia	Mass	Motor length (L)	Shaft diameter (D)	Shaft thickness (T)
Single shaft	Dual shaft	N·m min.	A/phase	Ω/phase	mH/phase	×10 ⁻⁴ ·kg·m ²	kg	mm	mm	mm
103H7121-5640	103H7121-5610	0.55	1	4.3	14.5	0.1	0.47	41.8	ø6.35-0.013	5.8
103H7121-5740	103H7121-5710	0.55	2	1.1	3.7	0.1	0.47	41.8	ø6.35-0.013	5.8
103H7121-5840	103H7121-5810	0.55	3	0.54	1.74	0.1	0.47	41.8	ø6.35-0.013	5.8
103H7123-5640	103H7123-5610	1.0	1	5.7	29.4	0.21	0.65	53.8	ø6.35-0.013	5.8
103H7123-5740	103H7123-5710	1.0	2	1.5	7.5	0.21	0.65	53.8	ø6.35-0.013	5.8
103H7123-5840	103H7123-5810	1.0	3	0.7	3.5	0.21	0.65	53.8	ø6.35-0.013	5.8
103H7126-5640	103H7126-5610	1.6	1	7.7	34.6	0.36	0.98	75.8	ø6.35-0.013	5.8
103H7126-5740	103H7126-5710	1.6	2	2	9.1	0.36	0.98	75.8	ø6.35-0.013	5.8
103H7126-5840	103H7126-5810	1.6	3	0.94	4	0.36	0.98	75.8	ø6.35-0.013	5.8
103H7128-5640	103H7128-5610	2.0	1	8.9	40.1	0.49	1.3	94.8	ø8-0.015	7.5
103H7128-5740	103H7128-5710	2.0	2	2.3	10.4	0.49	1.3	94.8	ø8-0.015	7.5
103H7128-5840	103H7128-5810	2.0	3	1.03	4.3	0.49	1.3	94.8	ø8-0.015	7.5

Characteristics diagram

103H7121-5640
103H7121-5610
 Constant current circuit
 Source voltage: 24 VDC
 Operating current:
 1 A/phase, 2-phase
 energization (full-step)
 Pull-out torque:
 $J=0.94 \times 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ (use the
 rubber coupling)
 f_s : Maximum self-start
 frequency when not
 loaded
103H7121-5740
103H7121-5710
 Constant current circuit
 Source voltage: 24 VDC
 Operating current:
 2 A/phase, 2-phase
 energization (full-step)
 Pull-out torque:
 $J=0.94 \times 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ (use the
 rubber coupling)
 f_s : Maximum self-start
 frequency when not
 loaded
103H7121-5840
103H7121-5810
 Constant current circuit
 Source voltage: 24 VDC
 Operating current:
 3 A/phase, 2-phase
 energization (full-step)
 Pull-out torque:
 $J=0.94 \times 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ (use the
 rubber coupling)
 f_s : Maximum self-start
 frequency when not
 loaded
103H7123-5640
103H7123-5610
 Constant current circuit
 Source voltage: 24 VDC
 Operating current:
 1 A/phase, 2-phase
 energization (full-step)
 Pull-out torque:
 $J=2.6 \times 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ (use the
 rubber coupling)
 f_s : Maximum self-start
 frequency when not
 loaded
103H7123-5740
103H7123-5710
 Constant current circuit
 Source voltage: 24 VDC
 Operating current:
 2 A/phase, 2-phase
 energization (full-step)
 Pull-out torque:
 $J=2.6 \times 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ (use the
 rubber coupling)
 f_s : Maximum self-start
 frequency when not
 loaded
103H7123-5840
103H7123-5810
 Constant current circuit
 Source voltage: 24 VDC
 Operating current:
 3 A/phase, 2-phase
 energization (full-step)
 Pull-out torque:
 $J=2.6 \times 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ (use the
 rubber coupling)
 f_s : Maximum self-start
 frequency when not
 loaded


Kraftsensor



U9C

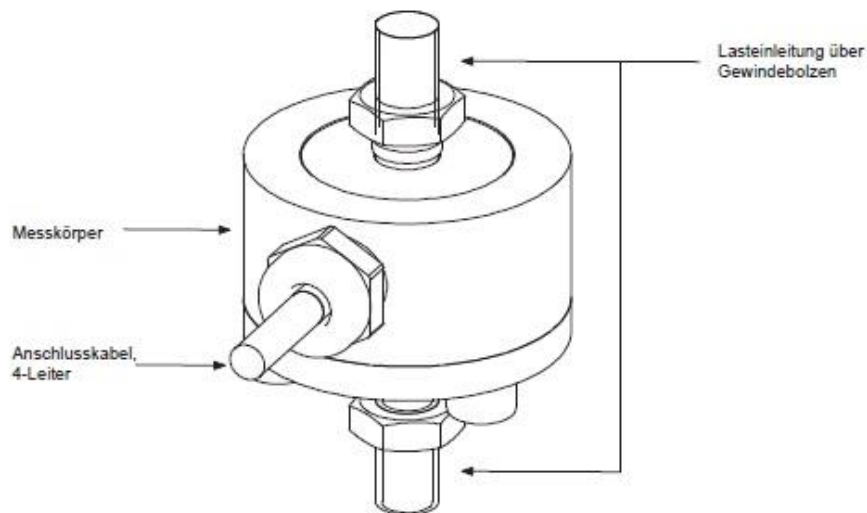
Kraftaufnehmer

Charakteristische Merkmale

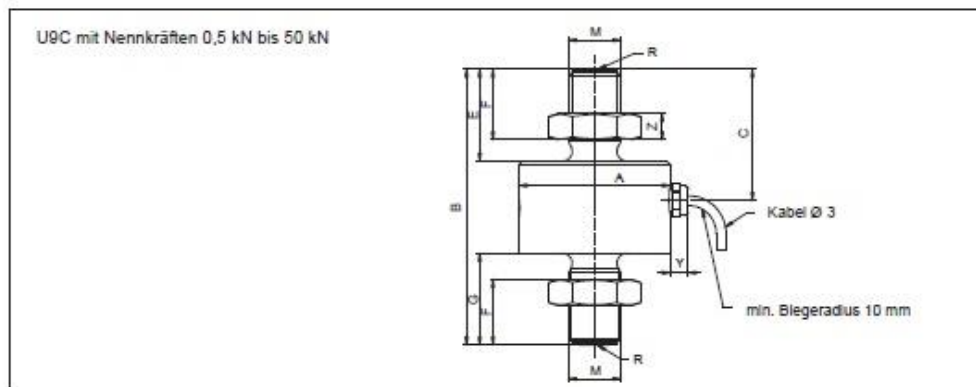
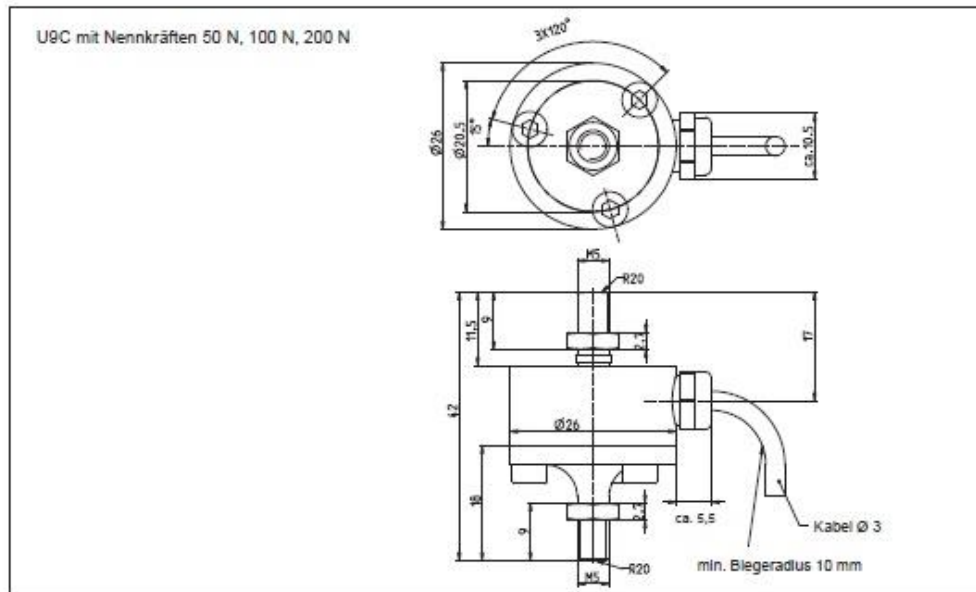
- Zug-/Druckkraftaufnehmer
- Genauigkeitsklasse 0,2
- Nennkräfte 50 N...50 kN
- Auf Wunsch als Messkette mit fest angeschlossenem Inline-Verstärker verfügbar
- Rostfrei, Schutzklasse IP67
- Konfigurierbar mit verschiedenen Kabellängen, auf Wunsch Steckermontage
- hohe Steifigkeit, hervorragend für dynamische Messaufgaben geeignet

Datenblatt

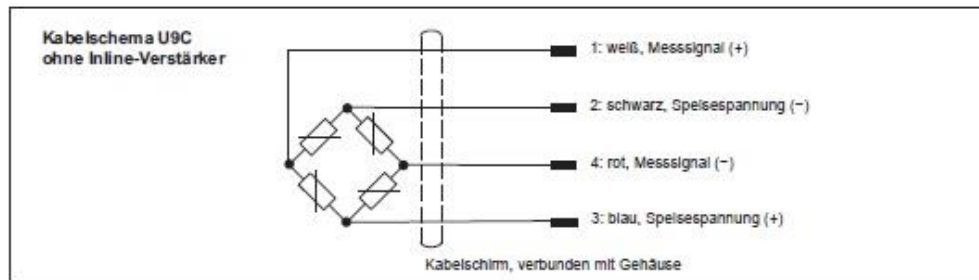
Prinzip Kraftaufnehmer U9C



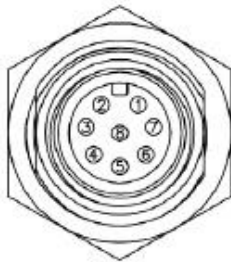
Abmessungen (in mm)



Nennkraft der U9C	A-Ø,1	B	C	E	F	G	M	R	Y	Z
	[mm]									
0,5kN bis 1kN	26	44,5	20,5	13	9,5	13,5	M5	20	ca. 5,5	2,7
2kN bis 20kN	26	60	28,5	21	16	21	M10	40	ca. 5,5	5
50kN	46	84	40	28	21,5	28	M16x1,5	80	ca. 5,5	8

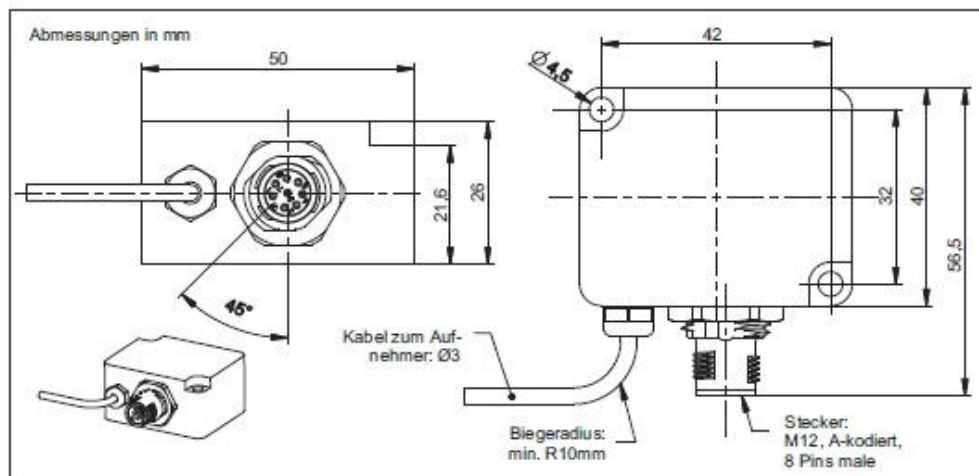


Verschaltungsschema Inline-Verstärker



Pin	Version VA 1 (Spannungsausgang)	Version VA 2 (Stromausgang)	Belegung der Kabel- adem des Anschluss- kabels KAB168
1	Versorgungsspannung 0 V (GND)		weiß
2	Nicht belegt		braun
3	Steuereingang Nullsetzen		grün
4	Nicht belegt		gelb
5	Ausgangssignal 0 ... 10 V	Ausgangssignal 4 ... 20 mA	grau
6	Ausgangssignal 0 V	Nicht belegt	rosa
7	Nicht belegt		blau
8	Spannungsversorgung -19 ... +30 V		rot

Abmessungen des Inline-Verstärkers



Zubehör	Bestellnummer
KAB168-5, PUR-Anschlusskabel mit M12-Stecker und freien Enden, 5 m lang	1-KAB168-5
KAB168-20, PUR-Anschlusskabel mit M12-Stecker und freien Enden, 20 m lang	1-KAB168-20

Technische Daten U9C

Nennkraft	F _{nom}	N	50	100	200							
		kN				0,5	1	2	5	10	20	50
Genauigkeit												
Genauigkeitsklasse			0,2									
relative Spannweite in unveränderter Einbaulage	b _{rg}	%	< 0,2									
relative Umkehrspanne	v _{0,5}	%	< 0,2									
Linearitätsabweichung	d _{lin}	%	< 0,2									
relatives Kriechen (30 min)	d _{cr,F}	%	< 0,2				< 0,1					
Biegemomenteinfluss bei 10% F _{nom} * 10mm (typisch)	d _{Mb}	%	0,055		0,045		2,35				2,45	0,5
Temperatureinfluss auf den Kennwert												
im Nenntemperaturbereich	TK _C	%/10K	0,2									
im Gebrauchstemperaturbereich	TK _C	%/10K	< 0,5									
Temperatureinfluss auf das Nullsignal												
im Nenntemperaturbereich	TK ₀	%/10K	< 0,2									
im Gebrauchstemperaturbereich	TK ₀	%/10K	< 0,50									
Elektrische Kennwerte												
Nennkennwert	C _{nom}	mV/V	1									
relative Abweichung des Nullsignals	d _{s,0}	mV/V	+/- 0,2									
Kennwertabweichung	d _c	%	< +/1 Zug , < +/2 Druck									
Kennwertunterschied Zug/Druck	d _{zd}	%	< 2									
Eingangswiderstand	R _e	Ω	250 - 400				300 - 450					
Ausgangswiderstand	R _a	Ω	200 - 400				145 - 450					
Isolationswiderstand	R _{is}	Ω	> 1*10 ⁹									
Gebrauchsbereich der Speisepannung	B _{u,gt}	V	0,5...12									
Referenzspeisepannung	U _{mf}	V	5									
Anschluss			4-Leiterschaltung									
Temperatur												
Referenztemperatur	t _{ref}	°C	23									
Nenntemperaturbereich	B _{t,nom}	°C	-10...+70									
Gebrauchstemperaturbereich	B _{t,g}	°C	-30...+85									
Lagertemperaturbereich	B _{t,s}	°C	-30...+85									
Mechanische Kenngrößen												
Maximale Gebrauchskraft	F _G	% von F _{nom}	200				150					
Grenzkraft	F _L		>200				> 150					
Bruchkraft	F _B		> 400									
Grenzdrehmoment		Nm	1,7	3,4	2,5	3,7	4,5	28	23	11	11	35
Grenzbiegemoment bei Belastung mit Nennkraft		Nm	0,17	0,7	1,5	3,7	3,8	10,2	14,4	8,2	8,6	28,5
statische Grenzquerkraft bei Belastung mit Nennkraft ²⁾	F _q	% von F _{nom}	100				50	100	50	18	6	8
Nennmessweg		mm	0,008				0,018		0,03	0,05	0,09	0,14
Grundresonanzfrequenz		kHz	6,5	9,1	12,6	15,3	15,9	13,2	14,5	14,6	14,6	7,2
Relative Schwingbreite		% von F _{nom}	70				80					70

Nennkraft	F _{nom}	N	50	100	200							
		kN				0,5	1	2	5	10	20	50
Maximale Schockbelastung nach IEC 60068-2-6												
Anzahl									1.000			
Dauer		ms							3			
Beschleunigung		m/s ²							1.000			
Schwingbeanspruchung nach IEC 60068-2-27												
Frequenzbereich		Hz							5 ... 65			
Dauer		min							30			
Beschleunigung		m/s ²							150			
Allgemeine Angaben												
Schutzart nach EN 60529 ¹⁾									IP67			
Federkörperwerkstoff									Stahl			
Vergussmasse									Silikon			
Kabel									Vierleiterschaltung, PUR - Isolierung			
Kabellänge		m							1,5, 3, 7, 12			
Gewicht		g			75				100			400

¹⁾ 1 m Wassersäule; 0,5 h

²⁾ Reine Querkraft ohne Biegemoment

Technische Daten Inline-Verstärker

Modultyp		VA1	VA2
Genauigkeit			
Genauigkeitsklasse	%	0,15	
Relative Linearitätsabweichung	%	0,01	
Temperatureinfluss auf die Verstärkung	%	0,10	
Temperatureinfluss auf den Nullpunkt	%	0,15	
Elektrische Kennwerte			
Ausgangssignal		0 ... 10 V	4 ... 20 mA
Nennkennwert		10 V	16 mA
Kennwerttoleranz		± 0,1 V	± 0,16 mA
Nullsignal		5 V	12 mA
Bereich des Ausgangssignals		-0,3 ... 11 V	3 ... 21 mA
Grenzfrequenz (-3 dB)	kHz	2	
Versorgungsspannung	V	19 ... 30	
Nennversorgungsspannung	V	24	
Maximal Stromaufnahme	mA	15	30
Temperatur			
Nenntemperaturbereich	°C	-10...+50	
Gebrauchstemperaturbereich	°C	-20...+60	
Lagerungstemperaturbereich	°C	-25...+85	
Referenztemperatur	°C	23	
Maximale Schockbelastung nach IEC 60068-2-6			
Anzahl			1.000
Dauer	ms		3
Beschleunigung	m/s ²		1.000

Multifunktions-Messmodul

SPECIFICATIONS

USB-6341

16 AI (16-Bit, 500 kS/s), 2 AO (900 kS/s), 24 DIO USB Multifunction I/O Device

Definitions

Warranted specifications describe the performance of a model under stated operating conditions and are covered by the model warranty.

Characteristics describe values that are relevant to the use of the model under stated operating conditions but are not covered by the model warranty.

- *Typical* specifications describe the performance met by a majority of models.
- *Nominal* specifications describe an attribute that is based on design, conformance testing, or supplemental testing.

Specifications are *Typical* unless otherwise noted.

Conditions

Specifications are valid at 25 °C unless otherwise noted.

Analog Input

Number of channels	16 single ended or 8 differential
ADC resolution	16 bits
DNL	No missing codes guaranteed
INL	Refer to AI Absolute Accuracy.

Sample rate	
Single channel maximum	500 kSample/s
Multichannel maximum (aggregate)	500 kSample/s
Minimum	No minimum
Timing resolution	10 ns
Timing accuracy	50 ppm of sample rate
Input coupling	DC
Input range	± 0.2 V, ± 1 V, ± 5 V, ± 10 V
Maximum working voltage for analog inputs (signal + common mode)	± 11 V of AI GND
CMRR (DC to 60 Hz)	100 dB
Input impedance	
Device on	
AI+ to AI GND	>10 G Ω in parallel with 100 pF
AI- to AI GND	>10 G Ω in parallel with 100 pF
Device off	
AI+ to AI GND	1,200 Ω
AI- to AI GND	1,200 Ω
Input bias current	± 100 pA
Crosstalk (at 100 kHz)	
Adjacent channels	-75 dB
Non-adjacent channels	-90 dB
Small signal bandwidth (-3 dB)	1.2 MHz
Input FIFO size	2,047 samples
Scan list memory	4,095 entries
Data transfers	USB Signal Stream, programmed I/O
Overvoltage protection for all analog input and sense channels	
Device on	± 25 V for up to two AI pins
Device off	± 15 V for up to two AI pins
Input current during overvoltage condition	± 20 mA maximum/AI pin

AO Absolute Accuracy Equation

$$AbsoluteAccuracy = OutputValue \cdot (GainError) + Range \cdot (OffsetError)$$

$$GainError = ResidualGainError + GainTempco \cdot (TempChangeFromLastInternalCal) + ReferenceTempco \cdot (TempChangeFromLastExternalCal)$$

$$OffsetError = ResidualOffsetError + OffsetTempco \cdot (TempChangeFromLastInternalCal) + INLError$$

Digital I/O/PFI

Static Characteristics

Number of channels	24 total, 8 (P0.<0..7>), 16 (PFI <0..7>/P1, PFI <8..15>/P2)
Ground reference	D GND
Direction control	Each terminal individually programmable as input or output
Pull-down resistor	50 kΩ typical, 20 kΩ minimum
Input voltage protection	±20 V on up to two pins



Caution Stresses beyond those listed under the *Input voltage protection* specification may cause permanent damage to the device.

Waveform Characteristics (Port 0 Only)

Terminals used	Port 0 (P0.<0..7>)
Port/sample size	Up to 8 bits
Waveform generation (DO) FIFO	2,047 samples
Waveform acquisition (DI) FIFO	255 samples
DO or DI Sample Clock frequency	0 to 1 MHz, system and bus activity dependent
Data transfers	USB Signal Stream, programmed I/O
Digital line filter settings	160 ns, 10.24 μs, 5.12 ms, disable

PFI/Port 1/Port 2 Functionality

Functionality	Static digital input, static digital output, timing input, timing output
Timing output sources	Many AI, AO, counter, DI, DO timing signals
Debounce filter settings	90 ns, 5.12 μ s, 2.56 ms, custom interval, disable; programmable high and low transitions; selectable per input

Recommended Operating Conditions

Input high voltage (V_{IH})	
Minimum	2.2 V
Maximum	5.25 V
Input low voltage (V_{IL})	
Minimum	0 V
Maximum	0.8 V
Output high current (I_{OH})	
P0.<0..7>	-24 mA maximum
PFI <0..15>/P1/P2	-16 mA maximum
Output low current (I_{OL})	
P0.<0..7>	24 mA maximum
PFI <0..15>/P1/P2	16 mA maximum

Digital I/O Characteristics

Positive-going threshold (V_{T+})	2.2 V maximum
Negative-going threshold (V_{T-})	0.8 V minimum
Delta VT hysteresis ($V_{T+} - V_{T-}$)	0.2 V minimum
I_{IL} input low current ($V_{IN} = 0$ V)	-10 μ A maximum
I_{IH} input high current ($V_{IN} = 5$ V)	250 μ A maximum

Analog input function	Start Trigger, Reference Trigger, Pause Trigger, Sample Clock, Convert Clock, Sample Clock Timebase
Analog output function	Start Trigger, Pause Trigger, Sample Clock, Sample Clock Timebase
Counter/timer functions	Gate, Source, HW_Arm, Aux, A, B, Z, Up_Down, Sample Clock
Digital waveform generation (DO) function	Start Trigger, Pause Trigger, Sample Clock, Sample Clock Timebase
Digital waveform acquisition (DI) function	Start Trigger, Reference Trigger, Pause Trigger, Sample Clock, Sample Clock Timebase

Bus Interface

USB compatibility	USB 2.0 Hi-Speed or full-speed ²
USB Signal Stream	8, can be used for analog input, analog output, digital input, digital output, counter/timer 0, counter/timer 1, counter/timer 2, counter/timer 3

Power Requirements



Caution The protection provided by the device can be impaired if the device is used in a manner not described in the *X Series User Manual*.



Caution The USB device must be powered with an NI offered AC adapter or a National Electric Code (NEC) Class 2 DC source that meets the power requirements for the device and has appropriate safety certification marks for country of use.

Power supply requirements	11 VDC to 30 VDC, 30 W, 2 positions 3.5 mm pitch pluggable screw terminal with screw locks similar to Phoenix Contact MC 1,5/2-STF-3,5 BK
Power input mating connector	Phoenix Contact MC 1,5/2-GF-3,5 BK or equivalent

² Operating on a full-speed bus results in lower performance, and you might not be able to achieve maximum sampling/update rates.

Current Limits



Caution Exceeding the current limits may cause unpredictable device behavior.

+5 V terminal	1 A maximum ³
P0/PFI/P1/P2 and +5 V terminals combined	2 A maximum

Physical Characteristics

Enclosure dimensions (includes connectors)

BNC	20.3 cm × 18.5 cm × 6.8 cm (8.0 in. × 7.3 in. × 2.7 in.)
Screw terminal	26.4 cm × 17.3 cm × 3.6 cm (10.4 in. × 6.8 in. × 1.4 in.)

Weight

BNC	1.520 kg (3 lb 5.6 oz)
Screw terminal	1.406 kg (3 lb 1.6 oz)

I/O connectors

BNC	
Device connector	20 BNCs and 30 screw terminals
Screw terminal wiring gauge	0.2047 mm ² to 1.3087 mm ² (16 AWG to 24 AWG)
Screw terminal	
Device connector	64 screw terminals
Screw terminal wiring gauge	0.2047 mm ² to 1.3087 mm ² (16 AWG to 24 AWG)



Note For more information about the connectors used for DAQ devices, refer to the document, *NI DAQ Device Custom Cables, Replacement Connectors, and Screws*, by going to ni.com/info and entering the Info Code `rdspmb`.

³ Has self-resetting fuse that opens when current exceeds this specification.

DC-Lüfter

NMB™

NMBTC.COM / 818.341.3355

06015KA (60° x 15°)

Legacy Part No. 2406KL

General Specifications**Motor Protection:**

Auto Restart/Polarity Protection

Insulation Resistance:10M Ω or over with a DC500V Megger**Dielectric Withstand Voltage: AC 700V 1s****Allowable Ambient Temperature Range:**

-10°C ~ +60°C (Operating)

-40°C ~ +80°C (Storage)

(non-condensing environment)

Expected Life

Failure Rate: 10%

25°C 70,000 Hours (L00/B00)

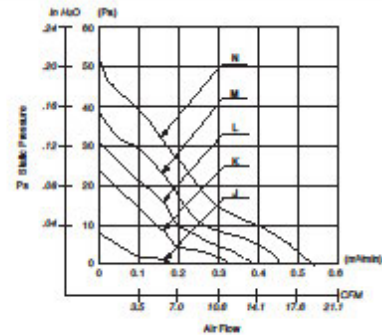
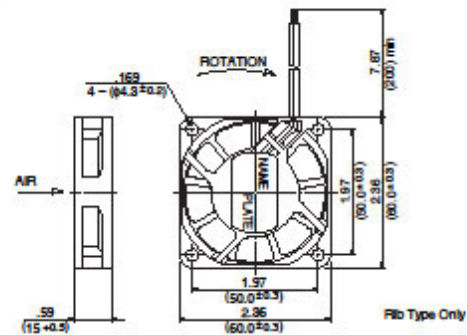
Material

Casing : Plastic (Black) UL94V-0

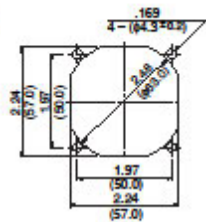
Impeller : Plastic (Black) UL94V-0

Bearing : Ball Bearing

Lead Wire: UL1007, AWG26, +Red, -Black

Characteristic Curves**Outline****Panel Cut-Outs**

Units: Inch (mm)



INLET SIDE / OUTLET SIDE

Specifications

MODEL	LEGACY P/N	Rated Voltage	Operating Voltage	Current	Input Power	Speed	Max. Air Flow		Max. Static Pressure		Noise	Mass
		(V)	(V)	(A)*	(W)*	(min ⁻¹)*	CFM*	(m ³ /min)*	In H ₂ O	(Pa)*	(dB)*	(g)
06015KA-12J-AA-00	2406KL-04W-B10-L00	12	7.0 ~ 13.8	0.04	0.48	1800	6.7	0.19	.03	8.5	19.0	45
06015KA-12K-AA-00	2406KL-04W-B20-L00	12	6.0 ~ 13.8	0.07	0.84	3100	11.6	0.33	.09	23.4	25.0	45
06015KA-12L-AA-00	2406KL-04W-B30-L00	12	6.0 ~ 13.8	0.09	1.08	3600	14.1	0.40	.13	31.3	28.0	45
06015KA-12M-AA-00	2406KL-04W-B40-L00	12	6.0 ~ 13.8	0.13	1.56	4100	15.9	0.45	.16	39.7	31.0	45
06015KA-12N-AA-00	2406KL-04W-B50-L00	12	6.0 ~ 13.8	0.16	1.92	4600	18.3	0.52	.20	51.2	34.0	45
06015KA-24J-AA-00	2406KL-05W-B10-L00	24	18.5 ~ 27.6	0.04	0.96	1800	6.7	0.19	.03	8.5	19.0	45
06015KA-24K-AA-00	2406KL-05W-B20-L00	24	12.0 ~ 27.6	0.06	1.44	3100	11.6	0.33	.09	23.4	25.0	45
06015KA-24L-AA-00	2406KL-05W-B30-L00	24	12.0 ~ 27.6	0.06	1.44	3600	14.1	0.40	.13	31.3	28.0	45
06015KA-24M-AA-00	2406KL-05W-B40-L00	24	10.0 ~ 27.6	0.07	1.68	4100	15.9	0.45	.16	39.7	31.0	45
06015KA-24N-AA-00	2406KL-05W-B50-L00	24	10.0 ~ 27.6	0.10	2.40	4600	18.3	0.52	.20	51.2	34.0	45

Rotation: Clockwise

Airflow Outlet: Air Out Over Struts

*1: Average Values in Free Air

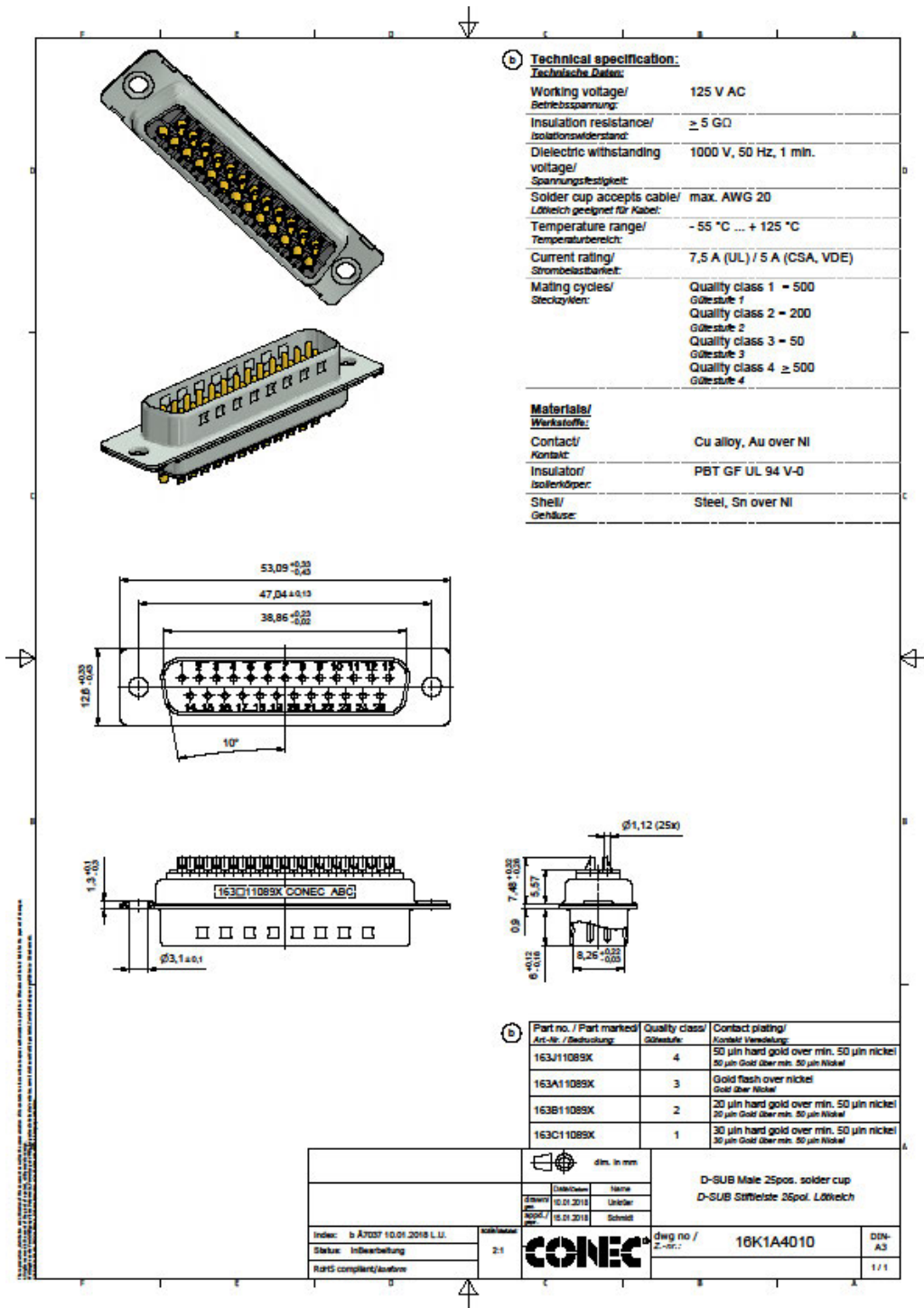
Note: Locked Rotor/Tach Available

DC Axial Fans

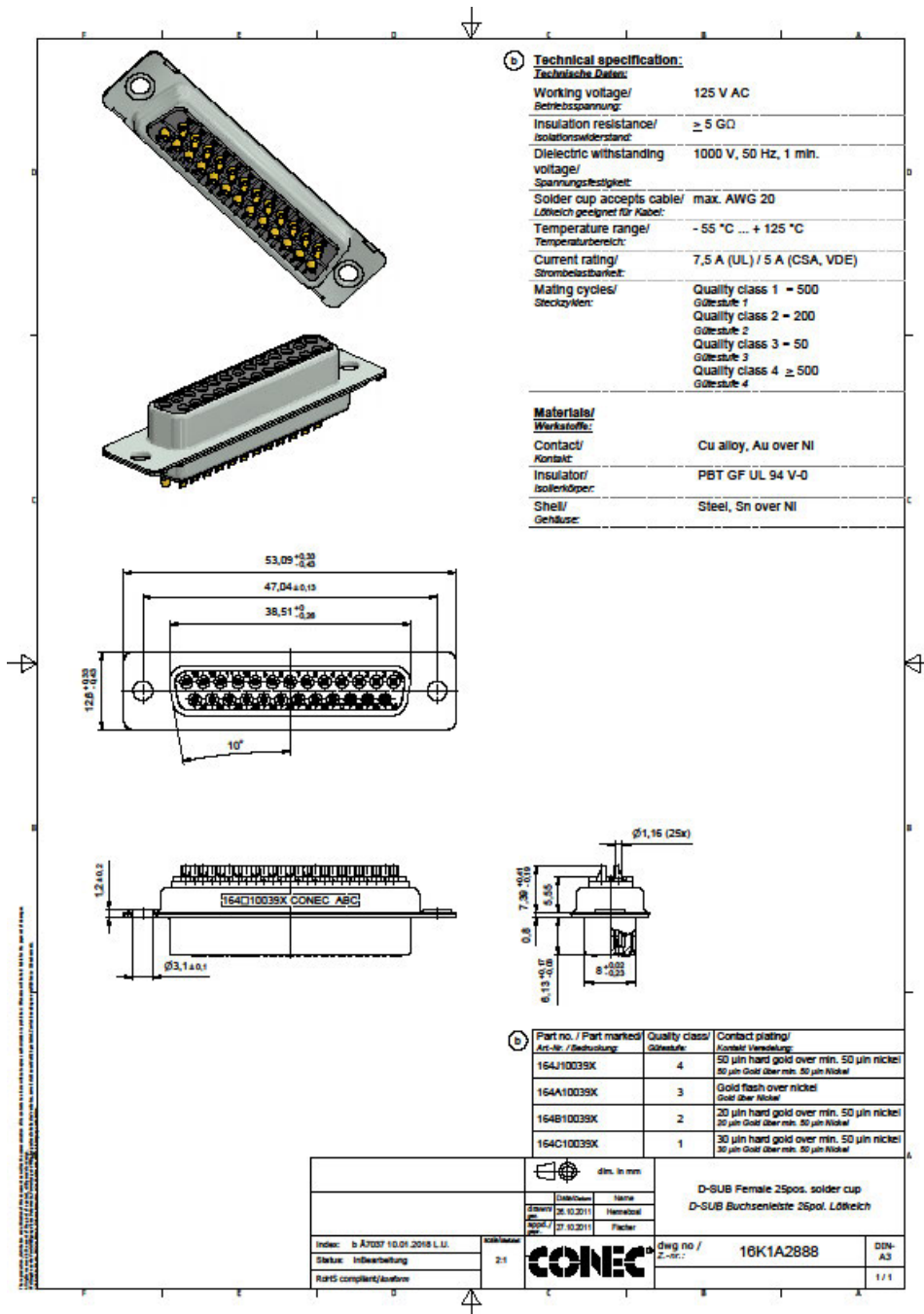
DC-Lüfter-Schutzgitter

			KEYSTONE ELECTRONICS CORP. ASTORIA, N.Y. 11105-2017	
			PART NAME MINI-FAN GUARD	
MATERIAL ABS UL 94V-0			FINISH -	
DATE 10.14.04			DRN BY BOONE	
REV. 1X			APP 1X	
TO DIMENSIONS DECIMAL $\pm .020$ [± 0.50] ANGULAR $\pm 1^\circ$ UNLESS OTHERWISE SPECIFIED			DWG NO. 8467	

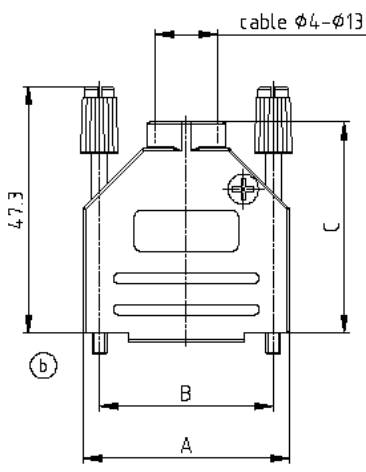
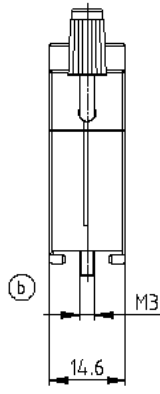
D-Sub-Stift



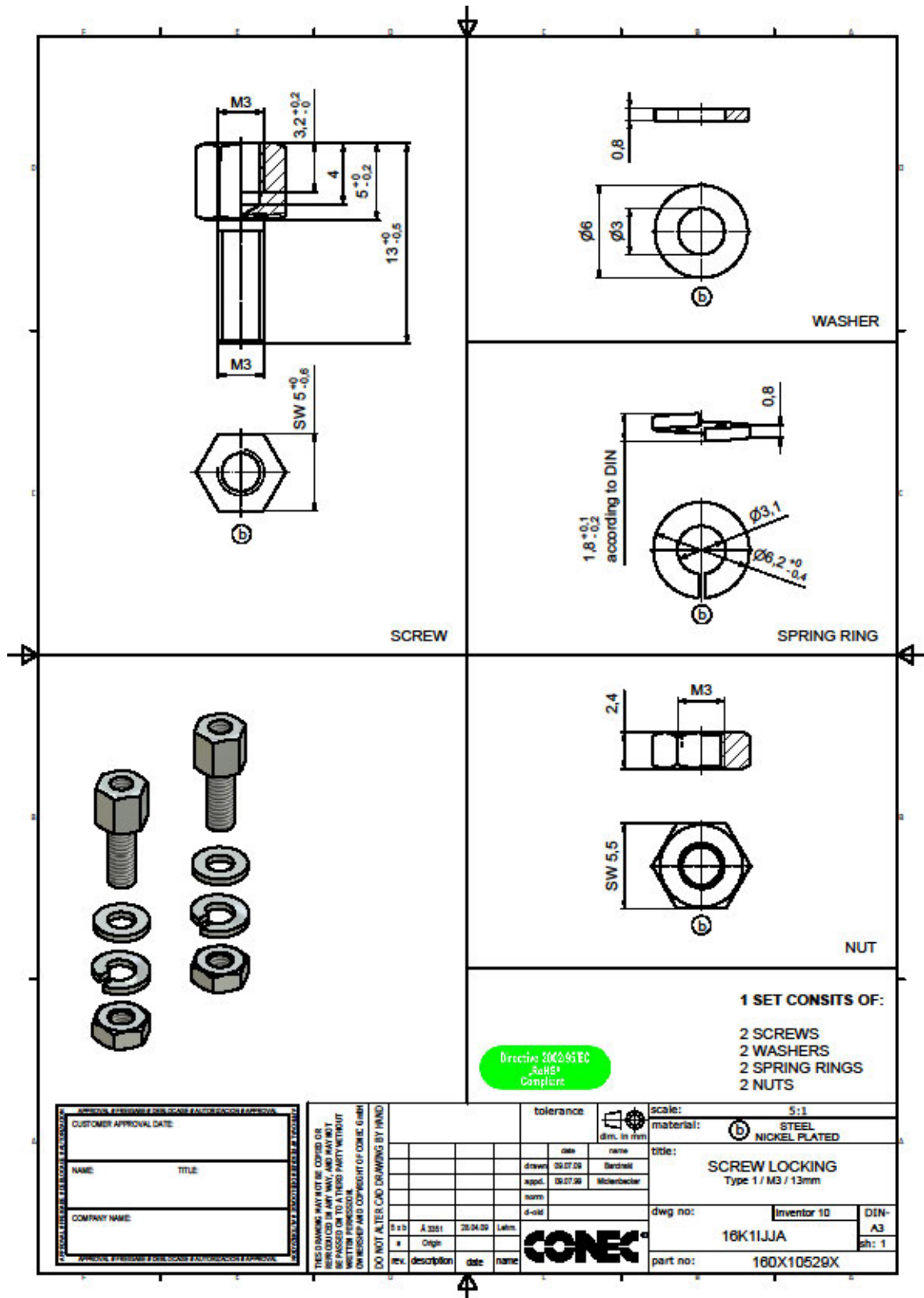
D-Sub-Buchse



D-Sub-Haube

4	3	2	1																																																																	
		used for: D-SUB																																																																		
F			F																																																																	
E			E																																																																	
D			D																																																																	
C	<table border="1" style="margin: 10px auto; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>No. of pos.</th> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> <th>Part NO. Bulk package</th> <th>Part NO. Single package</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>9</td> <td>31.2</td> <td>25.0</td> <td>38.3</td> <td>165X02649X</td> <td>165X02649XE</td> </tr> <tr> <td>15</td> <td>39.3</td> <td>33.3</td> <td>40.5</td> <td>165X02659X</td> <td>165X02659XE</td> </tr> <tr> <td>25</td> <td>53.4</td> <td>47.0</td> <td>47.8</td> <td>165X02669X</td> <td>165X02669XE</td> </tr> <tr> <td>37</td> <td>69.9</td> <td>63.5</td> <td>52.2</td> <td>165X02679X</td> <td>165X02679XE</td> </tr> </tbody> </table>		No. of pos.	A	B	C	Part NO. Bulk package	Part NO. Single package	9	31.2	25.0	38.3	165X02649X	165X02649XE	15	39.3	33.3	40.5	165X02659X	165X02659XE	25	53.4	47.0	47.8	165X02669X	165X02669XE	37	69.9	63.5	52.2	165X02679X	165X02679XE	C																																			
No. of pos.	A	B	C	Part NO. Bulk package	Part NO. Single package																																																															
9	31.2	25.0	38.3	165X02649X	165X02649XE																																																															
15	39.3	33.3	40.5	165X02659X	165X02659XE																																																															
25	53.4	47.0	47.8	165X02669X	165X02669XE																																																															
37	69.9	63.5	52.2	165X02679X	165X02679XE																																																															
B	ⓑ TECHNICAL DATA: 1. BACKSHELL HALVES: ZINC DIE-CAST; NICKEL PLATED 2. ASSEMBLY SCREWS: STEEL; TIN PLATED 3. JACK SCREWS: STEEL; TIN PLATED + PA6 4. CABLE STRAIN RELIEF: PC 5. TEMPERATURE RANGE: -40°C to +120°C 6. ATTENUATION FACTOR: >40dB BETWEEN 30 MHz AND 1 GHz 7. ASSEMBLY INSTRUCTION SEE SHEET 2		B																																																																	
Directive 2002/95/EC RoHS compliant																																																																				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="4" rowspan="4" style="width: 30%; vertical-align: top;"> THIS DRAWING MAY NOT BE COPIED OR REPRODUCED IN ANY WAY, AND MAY NOT BE PASSED ON TO A THIRD PARTY WITHOUT WRITTEN PERMISSION. OWNERSHIP AND COPYRIGHT OF CONEC GmbH DO NOT ALTER CAD DRAWING BY HAND </td> <td colspan="2" style="text-align: center;">tolerance</td> <td rowspan="4" style="width: 10%; text-align: center;">  dim. in mm </td> <td colspan="2" style="text-align: center;">scale: 1:1</td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td colspan="2" style="text-align: center;">material: SEE NOTES</td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td colspan="2" rowspan="2" style="text-align: center;"> title: METAL HOOD 9-37pos. EMI/RFI SHIELDING with straight cable exit and jack screws </td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;"> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%; text-align: center;">2006</td> <td style="width: 10%; text-align: center;">date</td> <td style="width: 10%; text-align: center;">name</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">drawn</td> <td style="text-align: center;">23.03.</td> <td style="text-align: center;">Lehmenkühler</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">appd.</td> <td style="text-align: center;">24.03.</td> <td style="text-align: center;">Mickenbecker</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">norm</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">d-std</td> <td></td> <td></td> </tr> </table> </td> <td colspan="2" style="text-align: center;">  </td> <td colspan="2" style="text-align: center;"> dwg no: 16K1A1784 part no: SEE TABLE </td> <td rowspan="4" style="width: 10%; text-align: center; vertical-align: middle;"> DIN-A 4 sh:1/2 </td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;"> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%; text-align: center;">4 x b</td> <td style="width: 10%; text-align: center;">Ä 4.169</td> <td style="width: 10%; text-align: center;">30.11.2011</td> <td style="width: 10%; text-align: center;">Lehmen</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">a</td> <td style="text-align: center;">Original</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">rev.</td> <td style="text-align: center;">description</td> <td style="text-align: center;">date</td> <td style="text-align: center;">name</td> </tr> </table> </td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">4</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">3</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">2</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">1</td> </tr> </table>				THIS DRAWING MAY NOT BE COPIED OR REPRODUCED IN ANY WAY, AND MAY NOT BE PASSED ON TO A THIRD PARTY WITHOUT WRITTEN PERMISSION. OWNERSHIP AND COPYRIGHT OF CONEC GmbH DO NOT ALTER CAD DRAWING BY HAND				tolerance		 dim. in mm	scale: 1:1				material: SEE NOTES				title: METAL HOOD 9-37pos. EMI/RFI SHIELDING with straight cable exit and jack screws				<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%; text-align: center;">2006</td> <td style="width: 10%; text-align: center;">date</td> <td style="width: 10%; text-align: center;">name</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">drawn</td> <td style="text-align: center;">23.03.</td> <td style="text-align: center;">Lehmenkühler</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">appd.</td> <td style="text-align: center;">24.03.</td> <td style="text-align: center;">Mickenbecker</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">norm</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">d-std</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>		2006	date	name	drawn	23.03.	Lehmenkühler	appd.	24.03.	Mickenbecker	norm			d-std					dwg no: 16K1A1784 part no: SEE TABLE		DIN-A 4 sh:1/2	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%; text-align: center;">4 x b</td> <td style="width: 10%; text-align: center;">Ä 4.169</td> <td style="width: 10%; text-align: center;">30.11.2011</td> <td style="width: 10%; text-align: center;">Lehmen</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">a</td> <td style="text-align: center;">Original</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">rev.</td> <td style="text-align: center;">description</td> <td style="text-align: center;">date</td> <td style="text-align: center;">name</td> </tr> </table>		4 x b	Ä 4.169	30.11.2011	Lehmen	a	Original			rev.	description	date	name			4		3		2		1	
THIS DRAWING MAY NOT BE COPIED OR REPRODUCED IN ANY WAY, AND MAY NOT BE PASSED ON TO A THIRD PARTY WITHOUT WRITTEN PERMISSION. OWNERSHIP AND COPYRIGHT OF CONEC GmbH DO NOT ALTER CAD DRAWING BY HAND								tolerance			 dim. in mm	scale: 1:1																																																								
												material: SEE NOTES																																																								
												title: METAL HOOD 9-37pos. EMI/RFI SHIELDING with straight cable exit and jack screws																																																								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%; text-align: center;">2006</td> <td style="width: 10%; text-align: center;">date</td> <td style="width: 10%; text-align: center;">name</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">drawn</td> <td style="text-align: center;">23.03.</td> <td style="text-align: center;">Lehmenkühler</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">appd.</td> <td style="text-align: center;">24.03.</td> <td style="text-align: center;">Mickenbecker</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">norm</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">d-std</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>		2006	date	name	drawn	23.03.	Lehmenkühler	appd.	24.03.	Mickenbecker	norm			d-std					dwg no: 16K1A1784 part no: SEE TABLE		DIN-A 4 sh:1/2																																															
2006	date	name																																																																		
drawn	23.03.	Lehmenkühler																																																																		
appd.	24.03.	Mickenbecker																																																																		
norm																																																																				
d-std																																																																				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%; text-align: center;">4 x b</td> <td style="width: 10%; text-align: center;">Ä 4.169</td> <td style="width: 10%; text-align: center;">30.11.2011</td> <td style="width: 10%; text-align: center;">Lehmen</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">a</td> <td style="text-align: center;">Original</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">rev.</td> <td style="text-align: center;">description</td> <td style="text-align: center;">date</td> <td style="text-align: center;">name</td> </tr> </table>		4 x b	Ä 4.169	30.11.2011	Lehmen	a	Original			rev.	description	date	name																																																							
4 x b	Ä 4.169	30.11.2011	Lehmen																																																																	
a	Original																																																																			
rev.	description	date	name																																																																	
4		3		2		1																																																														

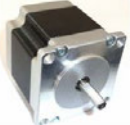
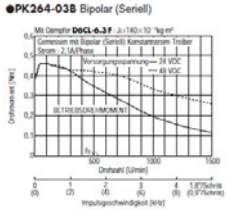
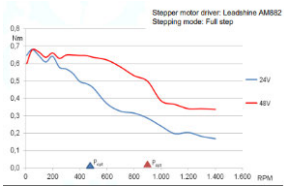
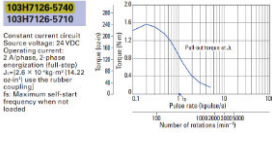
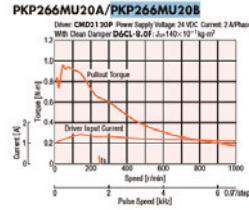
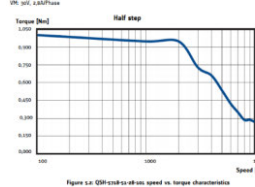
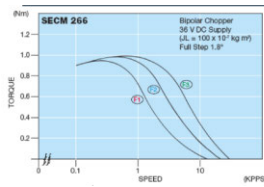
D-Sub-Befestigung



Anhang C: Tabellen und Unterlagen zur Umsetzung

Vergleich der Komponentenauswahl

FAVORIT								
	Einheit	Aktuell	Option 1	Option 2	Option 3	Option 4	Option 5	Option 6
Komponente		24V-Netzteil						
								
Hersteller		TDK Lambda	TDK Lambda	XP POWER	MW MEAN WELL			
Modell		SWS50-24	QM5FSDL 24SCS	SMR800PS24	HRP-600-24			
Ausgangsspannung, nenn	V	24	24	24	24			
Ausgangsspannungsbereich	V	21,6 - 26,4	24-26,4	keine Angabe (k.A)	21,6 - 28,8			
Ausgangsstrom	A	2,1	25	33,33	27			
Ausgangsleistung	W	50.4	600	800	648			
Ausgangskanäle		2	2	4	3			
Kühlung		passiv	aktiv	aktiv	aktiv			
Anschluss Eingang		Schraubklemmen	Schraubklemmen / Kaltstecker (IEC60320)	Kaltstecker	Schraubklemmen			
Dimensionen (lxbxh)	mm	37 x 92 x 159	63 x 127 x 268	63 x 108 x 233	63 x 105 x 218			
Masse	kg	0,4	1,42	1,5	1,5			
Preis	€ (netto)	-	335,90	465,72	119,30			
Bemerkung		abgekündigt		Kaltersteckerverbindung mit Schalter				
Schrittmotorsteuercarte								
Komponente								
Hersteller		EMIS	EMIS	Faulhaber	Orientalmotor	McLennan	GeckoDrive	Leadshine
Modell		SMC3000	SMC2200	MCST3601	CMD2120P	MSE570 Evo 2	G201X	MX3660
Eingangsspannung	V	24 - 48	12 - 24	9 - 36	21,6-26,4	15 - 48	18 - 80	20 - 60
Eingangsstrom, max	A	6,5	6	k.A	2,9	2,7	k.A	k.A
Leistung, max	W	312	144	k.A	76,5	129,6	13	k.A
Phasenstrom	A	3	2,2	1,1	2	3,5	7	6
Uni-/Bipolar		Bipolar	Bipolar	k.A	Unipolar	Bipolar	k.A	k.A
Eingangssignale		TTL	TTL	TTL	Optokoppler	TTL	TTL	TTL
Motoranschluss		1	3	1	1	1	1	3
Schrittbetriebe		1/1, 1/2, 1/4	1/1, 1/2, 1/4, 1/16	1/1 - 1/256	1/1 , 1/2	1/1 , 1/2	k.A	1/1 - 1/64
Ausgabefrequenz	kHz	5	20	16	k.A	k.A	300	200
Dimensionen (lxbxh)	mm	(19" Einschub)	160 x 100	13 x 47 x 68	33 x 50 x 65	35 x 100 x 160	21 x 63 x 63	37 x 77 x 162
Masse	kg	0,33	0,27	k.A	0,05	k.A	0,1	0,45
Preis	€ (netto)	149,-	189,-	568,88	111,00	210,93	188,30	209,24
Bemerkung		abgekündigt / Restbestand						

Schrittmotor								
Komponente								
Hersteller		Vexta	Sorotec	Sanyo	Orientalmotor	Trinamic	EC Motion	
Modell		PK264-03B	57BYGH250D	103H7126-5710	PKP266MU20B	QSH5718-51-28-101	SECM266-E2.0	
Phasen (Spulenanzahl)		2	2	2	2	2	2	
Ansteuerung		Uni- / Bipolar	Uni- / Bipolar	Uni- / Bipolar	Unipolar	Bipolar	Uni- / Bipolar	
Phasenspannung	V	1,9 / 2,6	2,6	4	4	2,3	k.A	
Phasenstrom	A	3 / 2,1	2	2	2	2,8	2,8	
Leistung, max	W	11,4 / 11	10,4	16	16	12,8	-	
Schrittinkel	°	1,8	1,8	1,8	0,9	1,8	1,8	
Haltemoment	Nm	0,38 / 0,48	0,95	1,6	1,1	1	1,17	
Dimensionen (lxbxh)	mm	56 x 56 x 39	56 x 56 x 54	56 x 56 x 75,8	56 x 56 x 54	56 x 56 x 51	56 x 56 x 54	
Doppelschaft		ja	nein	ja	ja	nein	ja	
Masse	kg	0,45	0,7	0,98	0,73	0,65	0,85	
Preis	€ (netto)	63,00	16,72	57,81	44,00	39,70	95,70	
Bemerkung								
Wegaufnehmer								
Komponente								
Hersteller		Lika Electronics	Lika Electronics	Lika Electronics	WayCon			
Modell		SME2-L-2-10-I-3	SME21-L-2-10-N-L2-B	SMK-L-2-10-N-L2	MXI21-L-2-2-L2-N			
Eingangsspannung	V	10 - 30	10 - 30	10 - 30	10 - 30			
Eingangsstrom	A	0,07	0,07	0,07	0,07			
Leistung, max	W	2,1	2,1	2,1	2,1			
Auflösung	mm	0,01	0,01	0,01	0,002			
Ausgangssignal		TTL	TTL	TTL	TTL			
Abstand Sensor-Magnetband	mm	0,1 - 1	0,1 - 1	0,1 - 4	0,1 - 1			
Verfahrgeschwindigkeit, max	m/s	16	16	2,5	16			
Dimensionen (lxbxh)	mm	40 x 10 x 25	43 x 10 x 25	40 x 10 x 25	40 x 10 x 25			
Masse	kg	0,04	k.A	k.A	k.A			
Preis	€ (netto)	-	192,00		151,00			
Bemerkung		abgekündigt						

Kraftaufnehmer								
Komponente								
Hersteller	-	HBM	HBM	Kistler	WIKA	GTM	GTM	Baumer
Modell	-	U9B/100N	U9C/100N	4578A0,1	F2221	KL	KS	DLM20-S0
Nennkraft	N	100	100	100	100	100	200	100
Gebrauchskraft, max	N	200	200		150	150	300	150
Bruchkraft	N	>200	>200		>300	250	>600	200
Nennkennwert	mV/V	1	1	2	2	2	2	1
Referenzspeisespannung	V	5	5					
Gebrauchsbereich Speisespannung	V	0,5 - 12	0,5 - 12					0,5 - 12
Anschluss	-	4-Leiter	4-Leiter	4-Leiter (Rundstecker) & 6-Leiter (9-poliger D-Sub-Stecker)	4-Leiter	6-Leiter	6-Leiter	4-Leiter
Dimension (dxh)	mm	ø26 x 24	ø26 x 24	ø70 x 28	ø25 x 20	ø72 x 40	ø77 x 24	ø25 x 18
Masse	kg	0,075	0,075	0,5	0,1	0,3	0,3	0,023
Preis (netto)	€		620,35	1150	994,70	1040	990	620,90
Kommentar		abgekündigt	Montage am Demonstrator wie U9B	zzgl. Krafteinleitungskalotte		zzgl. Krafteinleitungskalotte	zzgl. Krafteinleitungskalotte	
Für Kontaktinformationen Zeilen 121-124 einblenden								
Messverstärker								
Komponente								
Hersteller		HBM	HBM	Geitmann	Althen			
Modell		AE101	ClipX BM40	ISO-DMS1-M2-5k-BW-V1	SG-IP-24E-B10			
Versorgungsspannung	V	15-26	10 - 30	21 - 27	18 - 30			
Eingangsstrom	A	0,1	0,16	0,05	0,13			
Leistung, max	W	2,6	5	1,35	4			
Anschluss technik		4- & 6-Leiter	4- & 6-Leiter	4- & 6-Leiter	4-Leiter	7		
Dimensionen (lxbxh)	mm	77 x 111 x 42	25 x 100 x 118	23 x 99 x 115	57 x 80 x 175			
Ausgangsbereich	V	+/- 10	+/- 10	+/- 10	+/- 10			
Masse	kg	0,14	0,36	0,14	0,75			
Preis	€ (netto)	-	550,00	380,00	610,00			
Bemerkung		abgekündigt						

Multifunktions-Messmodul								
Komponente								
Hersteller		Data Translation	Measurement Computing	National Instruments	Measurement Computing	Measurement Computing		
Modell		DT9834-8-4-16-BNC	USB - 1616HS	USB-6341	SC-1608-2AO-ENET	USB-1608GX		
Versorgungsspannung	V	5 (extern)	6-16	11 -30	12			
Eingangsstrom	A		0,6	1	1,7			
Leistung	W		3	30	20,4			
Eingangskanäle, analog		8	16	16	16	16		
Ein- & Ausgangskanäle, digital		32	24	24	8	8		
Ausgangskanäle, analog		4	0	2	2	0		
Auflösung	bit	16	16	16	16	16		
Abtastrate, max	kHz	500	1000	500	250	500		
Direkte Hardwareunterstützung durch Mathworks (Data Acquisition Toolbox)		nein, über "DAQ Adaptor for MATLAB" (Hersteller)	ja, ab R2017a	ja, ab R2014a bis heute (32bit- und 64bit-Windows)	nein	nein		
MATLAB-Versionen		32bit (bis R2015b) und 64bit (ab R2016a)	64bit	32bit und 64bit	-			
MATLAB Digital I/O Unterstützung		ja	nein, über DOT.net-Software	ja	-	nein, über DOT.net-Software		
Anschlussart		BNC	Schraubklemmen	Schraubklemmen	Schraubklemmen	Schrauben		
Datenübertragung		USB 2.0	USB	USB 2.0	Ethernet	USB		
Dimensionen (lxbxh)	mm	271 x 117 x 40	269 x 92 x 45	264 x 173 x 36	101 x 427 x 48			
Masse	kg	0,9	0,43	1,4	k.A			
Preis	€ (netto)	3970,-	1505,-	1500,-	1185,-			
Bemerkung		2015 von Measurement Computing Corporation (MCC) übernommen						

Vergleich der Aufbauzustände

Komponente	Einheit	Zustand "Ist"	Zustand "Instandsetzung"	Zustand "Optimierung"
24V-Netzteil				
				
Anzahl		1		1
Hersteller		TDK Lambda		XP POWER
Modell		SWS50-24		SMR800PS24
Ausgangsspannung	V	24		24
Ausgangsstrom	A	2,1		33,33
Ausgangsleistung	W	50,4		800
Ausgangskanäle		2		4
Dimensionen (lxbxh)	mm	37 x 92 x 159		233 x 108 x 63,5
Gewicht	kg	0,4		1,5
Preis	€ (netto)	-		465,72
Bemerkung		abgekündigt		
48V-Netzteil				
				
Anzahl		1	1	0
Hersteller		FEAS	TDK Lambda	-
Modell		PSU500L48	RWS-600B-48	-
Ausgangsspannung	V	48	48	-
Ausgangsstrom	A	8	12,5	-
Ausgangsleistung	W	384	600	-
Ausgangskanäle		3	2	-
Dimensionen (lxbxh)	mm	171 x 224 x 103	120 x 190 x 61	-
Gewicht	kg	8,1	1,6	-
Preis	€ (netto)	151,80	141,74	-
Bemerkung				-
Schrittmotorsteuerkarte				
				
Anzahl		2		1
Hersteller		EMIS		EMIS
Modell		SMC3000		SMC2200
Eingangsspannung	V	24-48		12 - 24
Eingangsstrom, max	A	6,5		6
Leistung, max	W	312		144
Phasenstrom	A	3		2,2
Eingangssignale		TTL		TTL
Motoranschluss		1		3
Schrittbetriebe		1/1, 1/2, 1/16		1/1, 1/2, 1/4, 1/16
Ausgabefrequenz	kHz	5		20
Dimensionen (lxbxh)	mm	217 x 100 x 40		160 x 100 x 30
Gewicht	kg	0,33		0,28
Preis	€ (netto)	149,-		189,-
Bemerkung		abgekündigt		Datenblatt angefordert

Komponente		Schrittmotor	
			
Anzahl		2	2
Hersteller		Vexta	Sanyo
Modell		PK264-03B	103H7126-5740
Phasen (Spulenanzahl)		2	2
Phasenspannung	V	2,6	4
Phasenstrom	A	2,1	2
Phasenwiderstand	Ω	1,26	2
Leistung, max	W	11	16
Ansteuerung		bipolar (seriell)	bipolar (seriell)
Schrittwinkel	°	1,8	1,8
Haltemoment	Nm	0,48	1,6
Doppelschaft erhältlich		ja	ja
Schaftdurchmesser	mm	6,35	6,35
Dimensionen (lxbxh)	mm	56 x 56 x 39	56 x 56 x 75,8
Gewicht	kg	0,45	0,98
Preis	€ (netto)	64,40	72,70
Bemerkung		abgekündigt // ein Schrittmotor mit Unwucht (Schaft)	

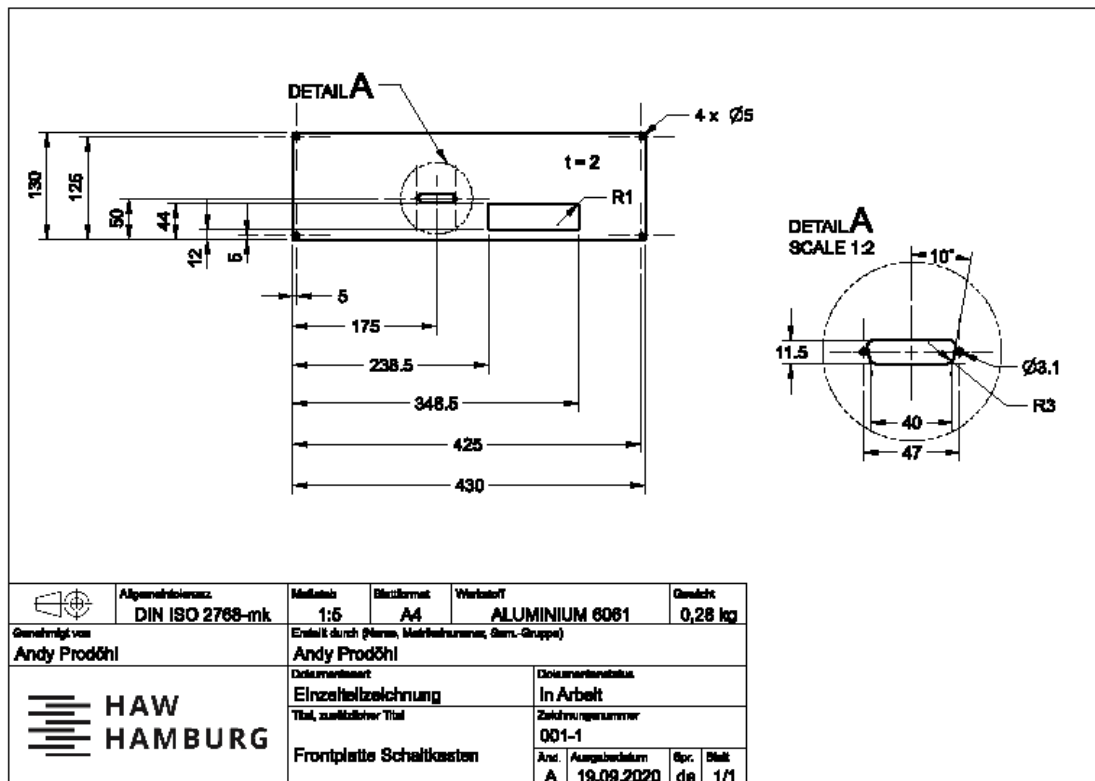
Wegaufnehmer			
			
Anzahl		3	
Hersteller		Lika	
Modell		SME2-L-2-10-I-3	
Eingangsspannung	V	10 - 30	
Eingangsstrom	A	0,07	
Leistung, max	W	2,1	
Auflösung	mm	0,01	
Ausgangssignal		TTL	
Verfahrgeschwindigkeit, max	m/s	16	
Dimensionen (lxbxh)	mm	40 x 10 x 25	
Gewicht	kg	0,04	
Preis	€ (netto)	-	
Bemerkung		abgekündigt	

Kraftaufnehmer			
			
Anzahl		1	1
Hersteller		HBM	HBM
Modell		U9B/100N	U9C/100N
Nennkraft	N	100	100
Nennkennwert	mV/V	1	1
Speisespannung	V	0,5-12	0,5-12
Anschluss		4-Leiter	4-Leiter
Dimensionen (lxbxh)	mm	ø26 x 24	ø26 x 24
Gewicht	kg	0,075	0,075
Preis	€ (netto)	-	620,35
Bemerkung		abgekündigt // Reparatur (fehlende Abgleichwiderstände) im Gange	

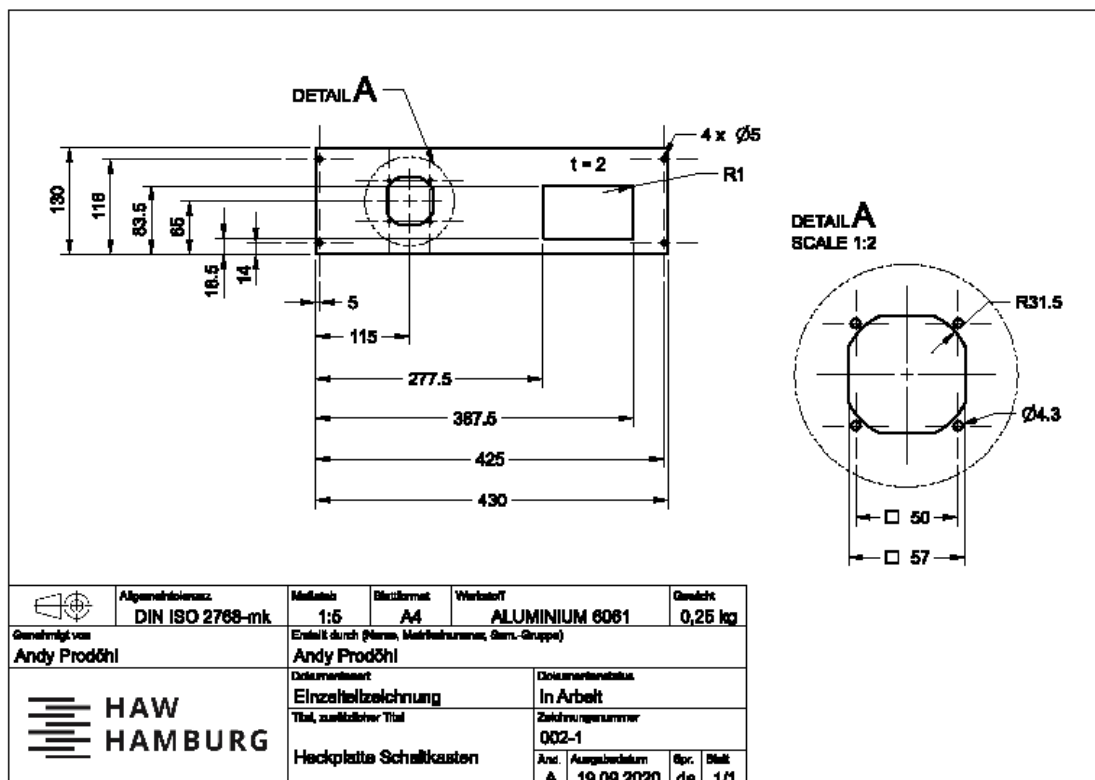
Messverstärker		
Komponente		
Anzahl		1
Hersteller		HBM
Modell		AE101
Versorgungsspannung	V	15-26
Eingangsstrom	A	0,1
Leistung, max	W	2,6
Anschlusstechnik		4- & 6-Leiter
Dimensionen (lxbxh)	mm	77 x 111 x 42
Gewicht	kg	0,14
Preis	€ (netto)	-
Bemerkung		abgekündigt
Multifunktions-Messmodul		
Komponente		
Anzahl		1
Hersteller		Data Translation
Modell		DT9834-8-4-16-BNC
Versorgungsspannung	V	5
Eingangsstrom	A	2
Leistung	W	10
Eingangskanäle, analog		8
Ein- & Ausgangskanäle, digital		32
Ausgangskanäle, analog		4
Auflösung	bit	16
Abtastrate, max	kHz	500
Anschlussart		BNC
Datenübertragung		USB 2.0
Dimensionen (lxbxh)	mm	271 x 117 x 40
Gewicht	kg	0,9
Preis	€ (netto)	3970,-
Direkte Hardwareunterstützung durch Mathworks (Data Acquisition Toolbox)		nein, über "DAQ Adaptor for MATLAB" (Hersteller)
MATLAB-Versionen		32bit (bis R2015b) und 64bit (ab R2016a)
Bemerkung		2015 von Measurement Computing Corporation (MCC) übernommen // Problemlösung mit MCC (Eingangssignale werden beschnitten)

Gesamtmasse			
Aufbauzustand		Ist	Instand
Gehäuse	kg		4,6
Demonstrator			10,95
24V-NT		0,4	1,5
48V-NT		8,1	1,6
SMSK		0,66	0,28
SM		0,9	1,96
WS			0,12
MV			0,14
KS		0,075	0,075
MM		0,9	1,4
		26,845	20,345
			21,025
Schaltkastenmasse			
Aufbauzustand		Ist	Instand
Gehäuse	kg		4,6
24V-NT		0,4	1,5
48V-NT		8,1	1,6
SMSK		0,66	0,28
MV			0,14
MM		0,9	1,4
Gesamtgewicht		14,8	8,3
			7,92
Demonstratormasse			
Aufbauzustand		Ist	Instand
Demonstrator	kg		10,95
SM		0,9	1,96
WS			0,12
KS		0,075	0,075
		12,045	12,045
			13,105

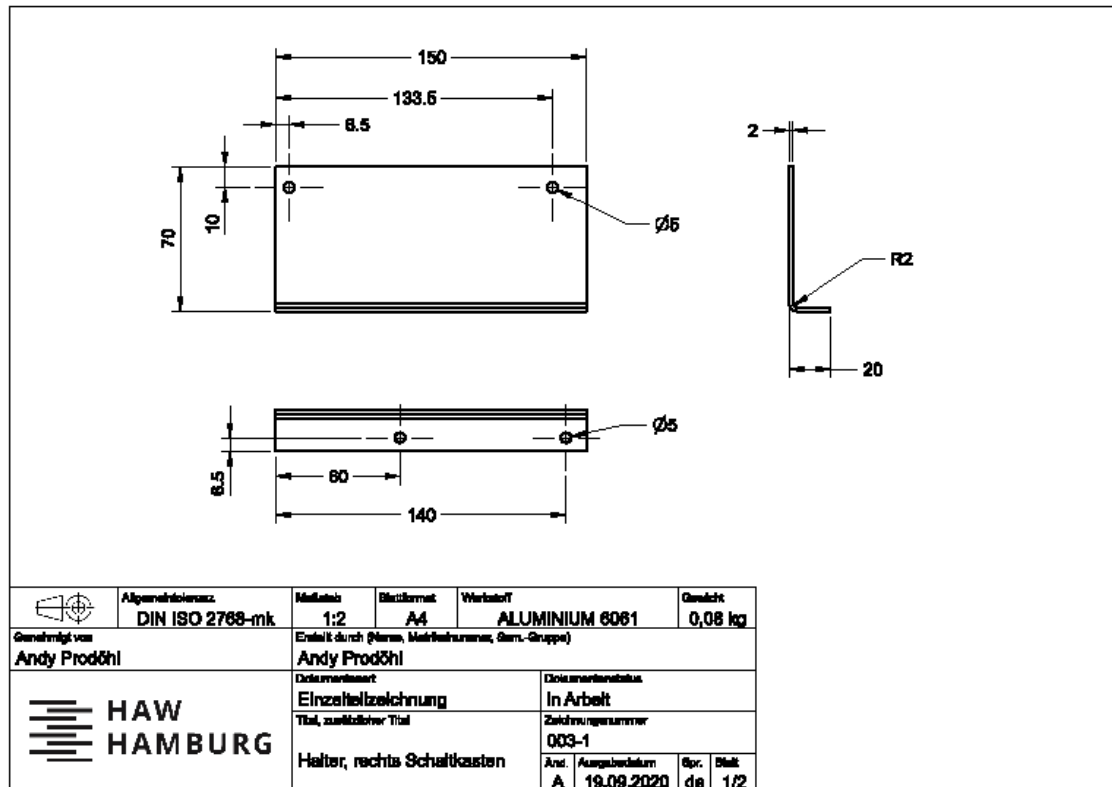
Technische Zeichnung Frontplatte



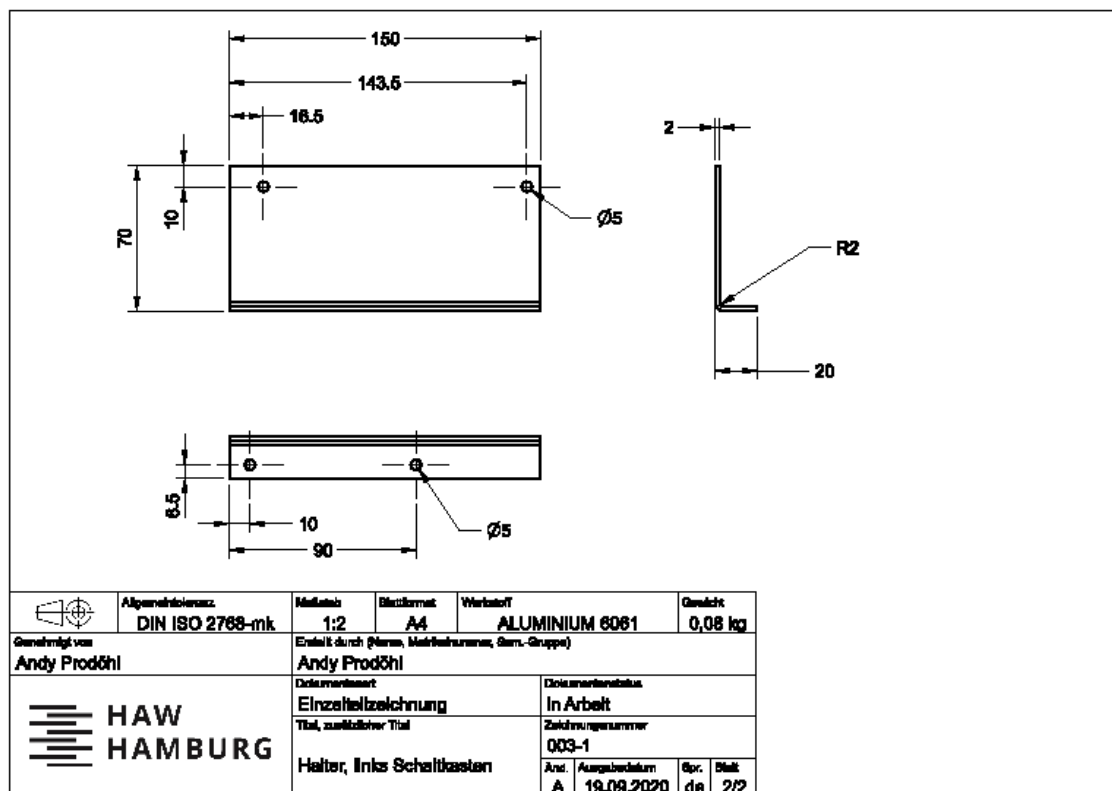
Technische Zeichnung Rückplatte



Technische Zeichnung Halter, rechts



Technische Zeichnung Halter, links



Pinbelegung D-Sub-Steckverbindung

Schwingungsdemonstrator									
Schaltkasten / Belegungsplan der D-Sub-Steckberbindung									
Belegungsplan von D-Subbuchse und -Stiftleiste					Agenda				
Pin	Funktion	Kabelfarbe	Kategorie	Typbezeichnung	Kürzel	Bezeichnung	Baugruppe	Funktionsgruppe	
1	Phase A1	Orange	SM1	Sanyo 103H7126-5710	SM1	Schrittmotor 1	Primärantrieb	Fußpunktanregung	
2	Phase A2	Blau			SM2	Schrittmotor 2	Sekundärantrieb	Unwuchtanregung	
3	Phase B1	Rot			KS	Kraftsensor	Prüfmaschine		
4	Phase B2	Gelb			WS1	Wegsensor 1	Primärantrieb	Fußpunktanregung	
5	Phase A1	Orange	SM2		WS2	Wegsensor 2	Sekundärantrieb		
6	Phase A2	Blau			WS3	Wegsensor 3	Zusatzmasse		
7	Phase B1	Rot							
8	Phase B2	Gelb							
9	Messsignal +	weiß	KS	HBM U9C/100N					
10	Speisespannung -	schwarz							
11	Messsignal -	rot							
12	Speisespannung +	blau							
13			frei						
14	Signal A	Gelb	WS1	Lika SME2-L-2-10-I-3					
15	Signal B	Grün							
16	Versorgungsspannung +	Rot							
17	Versorgungsspannung -	schwarz							
18	Signal A	Gelb	WS2						
19	Signal B	Grün							
20	Versorgungsspannung +	Rot							
21	Versorgungsspannung -	schwarz							
22	Signal A	Gelb	WS 3						
23	Signal B	Grün							
24	Versorgungsspannung +	Rot							
25	Versorgungsspannung -	schwarz							

Stückliste

Pos.	Kategorie	Hersteller	Bezeichnung	Quelle	Bestellcode	Stück / Packung	Anzahl [Stk]	Einzelpreis, netto [€]	Gesamtpreis, netto [€]	Material	Masse/Stk	Bemerkung
Verbesserter Schaltkasten												
1	24V-Netzteil	XP POWER	SMR800PS24	www.farnell.com	1436111	1	1	465,72 €	465,72 €	Verschiedene	1,500 kg	
2	Treiber	EMIS GmbH	SMC2200	www.emisgmbh.de	SMC2200	1	1	189,00 €	189,00 €	Verschiedene	0,280 kg	
3	Schrittmotor	Sanyo	103H7126-5710	www.mouser.de	978-103H7126-5710	1	2	57,81 €	115,62 €	Verschiedene	0,980 kg	
4	Kraftsensor	HBM	U9C/100N	www.hbm.com	1-U9C/100N	1	1	620,35 €	620,35 €	Edelstahl	0,075 kg	bereits für Instandsetzungs-Zustand beschafft
5	Multifunktions-Messmodul	National Instruments	USB-6341	www.ni.com	USB-6341	1	1	1.500,00 €	1.500,00 €	Verschiedene	1,400 kg	
6	Gehäuse	Vibracoustic	Frontplatte	Zeichnung	-	1	1	58,39 €	58,39 €	Aluminium, 6061	0,280 kg	Einzelkosten = Materialpreis + Fertigungskosten Materialpreis (Blechprofi24.de) -> In House - Fertigung (geschätzte Kosten pro Std = 50)
7	Gehäuse	Vibracoustic	Heckplatte	Zeichnung	-	1	1	58,39 €	58,39 €	Aluminium, 6062	0,250 kg	Einzelkosten = Materialpreis + Fertigungskosten Materialpreis (Blechprofi24.de) -> In House - Fertigung (geschätzte Kosten pro Std = 50)
8	Gehäuse	Vibracoustic	Halter, rechts	Zeichnung	-	1	1	34,92 €	34,92 €	Aluminium, 6063	0,080 kg	Einzelkosten = Materialpreis + Fertigungskosten Materialpreis (Blechprofi24.de / inkl. biegen) -> In House - Fertigung (geschätzte Kosten pro Std = 50)
9	Gehäuse	Vibracoustic	Halter, links	Zeichnung	-	1	1	34,92 €	34,92 €	Aluminium, 6064	0,080 kg	Einzelkosten = Materialpreis + Fertigungskosten Materialpreis (Blechprofi24.de / inkl. biegen) -> In House - Fertigung (geschätzte Kosten pro Std = 50)
10	DC-Lüfter	NMB Technologies	2406KL-05W-B10-L00	www.digikey.de	P15618-ND	1	1	7,88 €	7,88 €	Kunststoff	0,045 kg	
11	DC-Lüfter Gitter	Keystone Electronics	8467	www.digikey.de	36-8467-ND	1	1	2,46 €	2,46 €	Kunststoff	0,015 kg	
12	DC-Lüfter Schrauben	Häfele	M4 x 40 mm, Tellerkopf, Kreuzschlitz PZ 2	www.bauhaus.info	23515237	1	4	0,25 €	1,00 €	Stahl, verzinkt	0,002 kg	
13	DC-Lüfter U-Scheiben	Stabilit	4,3 x 9	www.bauhaus.info	10776619	90	8	1,55 €	1,55 €	Stahl, verzinkt	0,001 kg	
14	DC-Lüfter Muttern	Stabilit	M4	www.bauhaus.info	10777711	28	4	2,27 €	2,27 €	Stahl, verzinkt	0,001 kg	
15	D-Sub-Buchse	Conec	164A10039X	Angebot	164A10039X	1	1	2,52 €	2,52 €	Stahl	0,012 kg	50 Stk = Mindestbestellmenge
16	D-Sub-Stift	Conec	163A11089X	Angebot	163A11089X	1	1	1,98 €	1,98 €	Stahl	0,010 kg	50 Stk = Mindestbestellmenge
17	D-Sub-Montage	Conec	160X10529X	Angebot	160X10529X	1	2	0,50 €	1,00 €	Stahl	0,001 kg	100 Stk = Mindestbestellmenge
18	D-Sub-Haube	Conec	165X02669X	Angebot	165X02669X	1	1	3,55 €	3,55 €	Zinkdruckguss, vernickelt	0,005 kg	50 Stk = Mindestbestellmenge
19	Schrauben Halter-Netzteil	Häfele	M4 x 8 mm, Tellerkopf, Kreuzschlitz PZ 2	www.bauhaus.info	23515200	1	4	0,09 €	0,34 €	Stahl, verzinkt	0,001 kg	
20	U-Scheiben Halter-Netzteil	Stabilit	4,3 x 9	www.bauhaus.info	10776619	-	4	0,00 €	0,00 €	Stahl, verzinkt	0,001 kg	von Position 13
21	Schrauben Halter-Gehäuse	Häfele	M4 x 23 mm, Tellerkopf, Kreuzschlitz PZ 2	www.bauhaus.info	23515228	1	4	0,10 €	0,41 €	Stahl, Verzinkt	0,002 kg	
22	U-Scheiben Halter-Gehäuse	Stabilit	4,3 x 9	www.bauhaus.info	10776619	-	8	0,00 €	0,00 €	Stahl, verzinkt	0,001 kg	von Position 13
23	Muttern Halter-Gehäuse	Stabilit	M4	www.bauhaus.info	10777711	-	4	0,00 €	0,00 €	Stahl, verzinkt	0,001 kg	von Position 14
24	Klettband	Velcro	KS 885-20-S-150-5	www.klebeschop24.de	KS 885-20-S-150-5	5	1	8,99 €	8,99 €	Kunststoff	0,005 kg	
25	Kabel	-							0,00 €	Kupfer	0,100 kg	auf Lager
Zwischensumme									3.111,27 €	-	-	
Instandgesetzter Schaltkasten												
26	Treiber	EMIS GmbH	SMC3000	www.emisgmbh.de	SMC3000	1	1	149,00 €	149,00 €	Verschiedene	0,330 kg	
27	48V-Netzteil	TDK Lambda	RWS-600B-48	www.buerklin.com	70C1108	1	1	141,74 €	141,74 €	Verschiedene	1,600 kg	
Zwischensumme									290,74 €	-	-	
Gesamtsumme									3.402,01 €	-	-	

Anhang D: Selbstständigkeitserklärung



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Erklärung zur selbstständigen Bearbeitung einer Abschlussarbeit

Gemäß der Allgemeinen Prüfungs- und Studienordnung ist zusammen mit der Abschlussarbeit eine schriftliche Erklärung abzugeben, in der der Studierende bestätigt, dass die Abschlussarbeit „– bei einer Gruppenarbeit die entsprechend gekennzeichneten Teile der Arbeit [(§ 18 Abs. 1 APSO-TI-BM bzw. § 21 Abs. 1 APSO-INGI)] – ohne fremde Hilfe selbständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt wurden. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich zu machen.“

Quelle: § 10 Abs. 5 APSO-TI-BM bzw. § 15 Abs. 6 APSO-INGI

Dieses Blatt, mit der folgenden Erklärung, ist nach Fertigstellung der Abschlussarbeit durch den Studierenden auszufüllen und jeweils mit Originalunterschrift als letztes Blatt in das Prüfungsexemplar der Abschlussarbeit einzubinden.

Eine unrichtig abgegebene Erklärung kann -auch nachträglich- zur Ungültigkeit des Studienabschlusses führen.

Erklärung zur selbstständigen Bearbeitung der Arbeit

Hiermit versichere ich,

Name: _____

Vorname: _____

dass ich die vorliegende _____ – bzw. bei einer Gruppenarbeit die entsprechend gekennzeichneten Teile der Arbeit – mit dem Thema:

ohne fremde Hilfe selbständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich gemacht.

- die folgende Aussage ist bei Gruppenarbeiten auszufüllen und entfällt bei Einzelarbeiten -

Die Kennzeichnung der von mir erstellten und verantworteten Teile der _____ ist erfolgt durch:

Ort

Datum

Unterschrift im Original