

Plug and Play Drehmomentmessung

von Dr. Wilfried Krimmel

Vertrieb Schweiz:

TRANSMETRA haltec GmbH
Rundbuckstrasse 2
8212 Neuhausen a. Rhf.
Tel. 052 624 86 26
Email info@transmetra.ch
<http://www.transmetra.ch>

1 Einführung

Ziel der neuen Generation an Drehmomentsensoren (Bild 1) ist es dem Anwender die Drehmomentmesstechnik so einfach wie nur möglich zu machen. Dies wurde durch konsequente Weiterentwicklung der bestehenden digitalen Drehmomentsensoren erreicht. Der Anwender benötigt keine teuren Messverstärker, deren Bedienung oft kompliziert gestaltet ist. Durch einen einfachen in kürzester Zeit herstellbaren elektrischen Messaufbau kann sich der Anwender mehr auf den mechanischen Teil der Messaufgabe konzentrieren. Dies wurde mit der Integration eines USB-Anschlusses in den Sensor erreicht. Der Vorteil dieser Verbindungsart liegt darin, dass durch das Plug and Play Prinzip eine Messung innerhalb weniger Sekunden möglich ist und der Sensor direkt aus dem USB-Anschluss elektrisch versorgt werden kann. Als Anzeige- und Auswerteeinheit genügt ein handelsüblicher Rechner mit USB-Anschluss. Vor der Inbetriebnahme muss lediglich einmalig unter Administratorrechten der USB-Treiber auf den Rechner aufgespielt werden, der dann für alle Lorenzsensoren mit USB-Anschluss verwendet werden kann. Die mitgelieferte Messsoftware ist auch ohne Installation auf dem Rechner lauffähig und nimmt dem Anwender fast alle Einstellungen ab. Die gemessenen Werte lassen sich als CSV-Datei abspeichern und anschließend mittels einem Tabellenkalkulationsprogramm weiter auswerten. Das auf dem Bildschirm dargestellte Diagramm lässt sich als BMP-Datei auf den Rechner sichern. Dieser Sensor ist also überall dort ideal, wo Drehmomente schnell und unkompliziert gemessen werden sollen, wie in der Entwicklung, im Versuch und auch in der Fertigung z.B. zur Überprüfung von Produktionsanlagen.



Bild 1: Drehmomentaufnahme DR-3000 mit USB-Anschluss

2 Aufbau eines modernen Drehmomentsensors

2.1 Mechanischer Aufbau

Nun wollen wir uns dem mechanischen Aufbau des modernen digitalen Drehmomentsensors, wie er im Bild 2 dargestellt ist, zuwenden.

Auf der im Gehäuse gelagerten Welle befindet sich eine im Durchmesser verjüngte Stelle, auf welche die Dehnungsmessstreifenbrücke appliziert ist. Mit auf der Welle ist auch der rotierende Teil des Transformator-drehübertragers und die Elektronik befestigt. Ein Transformator-drehübertrager besteht aus zwei zueinander konzentrischen Spulen, wie im Bild 3 dargestellt. Die beiden Spulen sind durch einen Luftspalt voneinander getrennt, damit kann die eine Spule auf dem Rotor und die andere im Stator befestigt werden. Die Übertragung von Energie bzw. Messsignalen erfolgt nach dem gleichen Prinzip wie bei einem Transformator, woher auch der Name des Drehübertragers stammt.

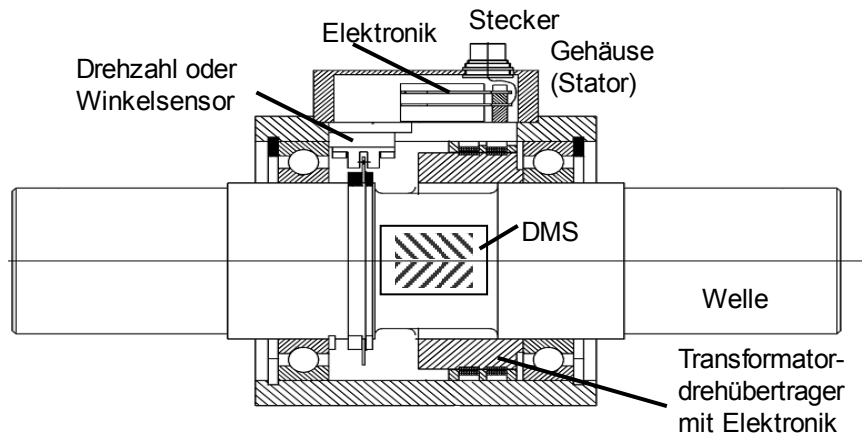


Bild 2: Moderner Drehmomentsensor mit integrierter Elektronik

Im Gehäuse ist der stationäre Teil des Drehübertragers und eine weitere Elektronik untergebracht. Zum elektrischen Anschluss des Sensors befindet sich ein Stecker im Gehäuse.

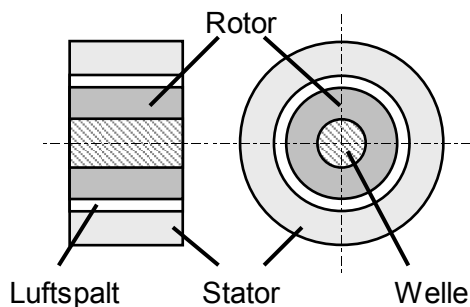


Bild 3: Transformator-drehübertrager

2.2 Funktionsprinzip der Elektronik

Wie wir bereits gesehen haben, erfolgt die Messwertaufnahme mittels Dehnungsmessstreifen (DMS) auf der rotierenden Welle (Bild 4). Das hier abgegriffene Messsignal wird sofort verstärkt und digitalisiert, vorher sorgt aber ein analoges Filter für die Vermeidung von Alias-Effekten, die sonst durch die A/D-Wandlung entstehen würden. Dieses digitale Signal gelangt anschließend in einen Prozessor, der es zur Übertragung in Form eines seriellen Wortes auf den Stator vorbereitet. Die Übertragung vom Rotor zum Stator erfolgt über einen Transformator Drehübertrager. Der große Vorteil dieses Drehübertragers liegt in seiner bidirektionalen Verwendung. Es können Signale sowohl von der rotierenden Welle auf den Stator, als auch in umgekehrter Richtung übertragen werden. Dies wird für die Übertragung von Befehlen auf den Rotor, so wie die Kontrollaufschaltung, verwendet.

Im Stator wird das Datensignal aufbereitet und anschließend in einem Prozessor auf ein serielles Signal umgesetzt. Danach folgt ein Konverter, der für die Umsetzung der seriellen Daten in ein USB-Protokoll verantwortlich ist. Die Daten werden anschließend über den USB-Anschluss auf den Rechner übertragen.

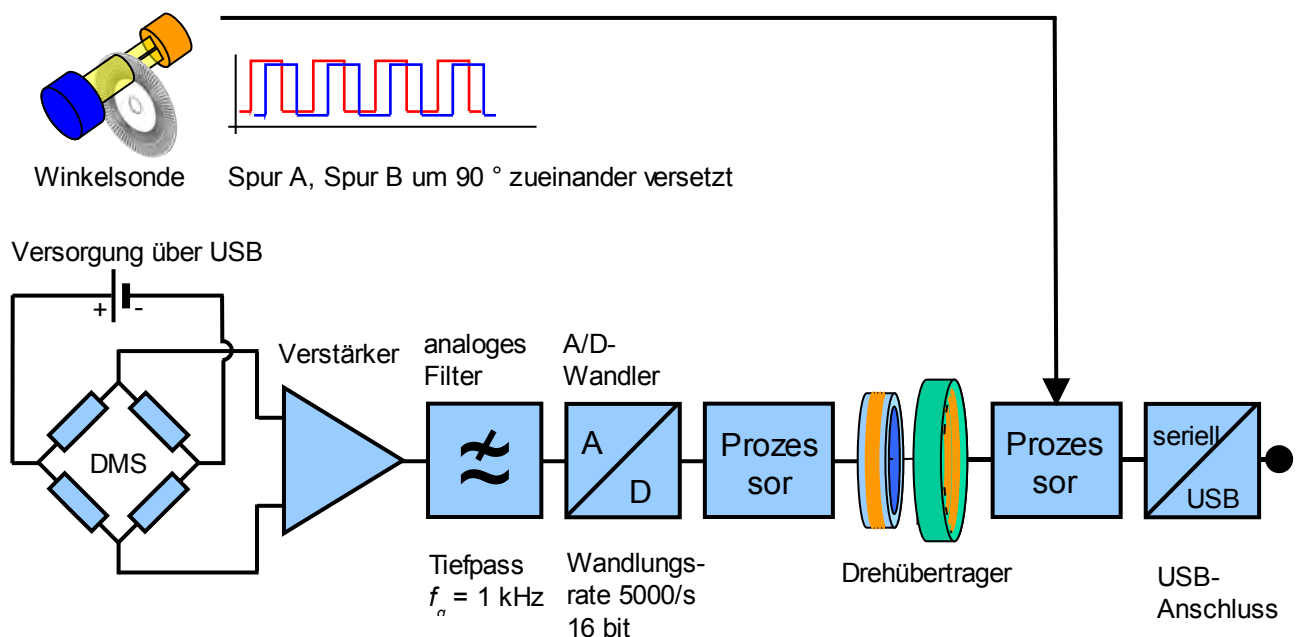


Bild 4: Blockschaltbild für Sensor mit eingebauter Elektronik

Durch die Verwendung von Prozessoren lassen sich Daten wie Seriennummer, Kalibrierwerte, Messbereich, Kalibrierdatum usw. im Drehmomentsensor abspeichern, die dann zur automatischen Konfiguration von der Messsoftware ausgelesen werden, was zu einer hohen Betriebssicherheit führt. Da die Versorgung des Sensors über die 5 V Gleichspannung der USB-Schnittstelle erfolgt, sind keine weiteren Netzgeräte notwendig.

Wird bei mechanisch unbelastetem Aufnahme der 100 % Kontrolle betätigt, so erfolgt innerhalb des Sensors eine Verstimmung der DMS-Messbrücke. Als Antwort wird am Ausgang ein dem Nenndrehmoment entsprechendes Signal abgegeben, das zur regelmäßigen Kontrolle der Messeinrichtung gerne verwendet wird.

2.3 Drehwinkel- und Drehzahlmessung

Die Erfassung des Winkels bzw. der Drehzahl erfolgt nach zwei unterschiedliche Methoden. Beim Drehwinkel werden vom TTL-Signal des Winkelsensors (Bild 3) nur die Flanken weiterverarbeitet, so dass für jede Flanke ein impulsförmiges Signal vorliegt. Damit erhält man bei zwei Winkelspuren mit je 360 ° pro Umdrehung 4 x 360 Impulse also 1440 Impulse, was einer Auflösung von 1/4 ° entspricht. Die Information der Drehrichtung erhält man aus der Phasenverschiebung der zwei Winkelspuren.

Vom Sensor werden nicht wie üblich TTL-Signale ausgegeben, sondern direkt das aufbereitete Winkelsignal in der Einheit Grad. Man erhält also immer zum Drehmoment den korrekten Drehwinkel.

Bei der Drehzahlmessung wird anders vorgegangen, hier wird eine Periodendauermessung durchgeführt und daraus die Drehzahl bestimmt. Auch hier hat man nicht ein TTL-Signal als Wert zur Verfügung, sondern direkt die Drehzahl in der Einheit 1/min. Sowohl bei der Drehzahlmessung als auch bei der Winkelmessung wird das Ergebnis als 16 bit-Wert vom Sensor ausgegeben.

2.4 Sensorkommunikation

Die Kommunikation mit dem Sensor erfolgt mit einem von Lorenz entwickelten Protokoll. Es enthält eine Anzahl von Befehlen, mit denen der Sensor konfiguriert werden kann und stellt sicher, dass die Messwertübertragung reibungslos funktioniert. Weiter beinhaltet es unterschiedliche Übertragungsmodi, von denen zwei bei diesem Sensor zum Einsatz kommen.

Im **Grundmodus** werden alle wichtigen Kommandos zum Steuern und Konfigurieren des Sensors zur Verfügung gestellt. Die Kommunikation ist mit Checksummen abgesichert und bietet bei der Übertragung höchste Datensicherheit. Einziger Nachteil ist, dass keine hohen Messraten erreichbar sind. Dieser Modus wird für die Übertragung der Konfigurationsdaten und für Messdatenraten von 1/h bis 10/s (1 pro Stunde bis 10 pro Sekunde) verwendet.

Für die Übertragung von Messwerten unter dem Betriebssystem Windows¹ enthält das Protokoll noch den **Speed Optimized Streaming Mode**. In diesem Modus ist die Messrate auf einen festen Wert von 200 Messungen pro Sekunde eingestellt. Hierbei sendet der Sensor kontinuierlich, mit der eingestellten Messrate, die gemessenen Werte an den Rechner. Die Messrate kann vom Anwender im Bereich zwischen 20/s und 2500/s umgestellt werden.

3 Die Kommunikation über USB

USB ist die Abkürzung für "**U**niversal **S**erial **B**us". Es ist ein Schnittstellensystem für den Anschluss von bis zu 127 Peripheriegeräten wie Drucker, Digitalkameras, Mäuse, Scanner, Messgeräte usw.

Auch wenn der Name den Begriff Bus enthält ist es kein Bussystem, denn an einem Bus (z.B. CAN, RS-485, SCSI) hängen mehrere Geräte an einer Leitung. Bei dem USB handelt es sich um eine sternförmige Anbindung der Geräte an einen Rechner oder einen Hub. D. h. jedes Gerät ist mit einer eigenen Leitung mit dem Rechner bzw. Hub verbunden. Die Schnittstelle ist bitseriell, die Daten werden also nacheinander übertragen.

USB-Geräte können während dem Betrieb eingesteckt und auch wieder entfernt werden, sie sind also hot-plugging und plug & play-fähig. Vom Betriebssystem wird der Gerätewechsel automatisch erkannt, sofern der Treiber auf dem Rechner vorhanden ist, andernfalls wird die Installation des Treibers vom Betriebssystem angefordert.

Über diesen Standard können bis zu 480 Mbit/s an Daten übertragen werden, was auch für Messzwecke eine ausreichende Geschwindigkeit darstellt. Wenn ein Gerät über USB mit dem Computer Daten austauscht, so geschieht dies immer über eine direkte Verbindung, eine sogenannte Pipe. Die Kommunikation über diese Pipe erfolgt mittels gesendeter Informationspakete. Diese Pakete können wie in Bild 5 gezeigt in drei Pakettypen unterteilt werden. Zuerst wird das **Tokenpaket** (Synchronisierungspaket) gesendet. Bei ihm wird die Übertragungsrichtung, USB Adresse und Nummer des Endpoint übertragen. Danach folgen **Datenpakete** bzw. Statusinformationen. Die Übertragung wird abgeschlossen durch das **Handshake-Paket**. Es wird vom Gerät an den Rechner zurückgesendet und enthält die Information, ob die Daten korrekt übertragen wurden.

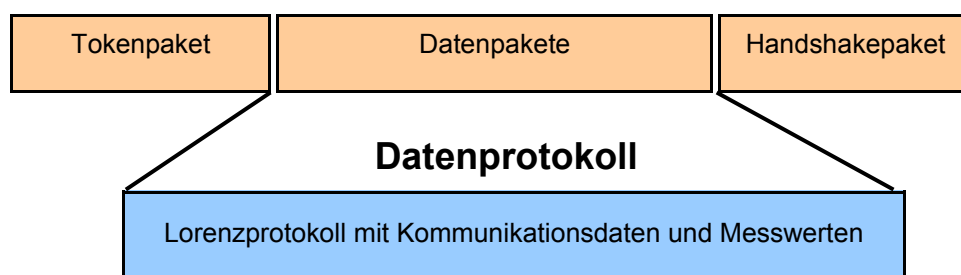


Bild 5: Aufteilung der Pakettypen beim USB-Protokoll

Wie bereits beschrieben kommuniziert der Master (Kommunikationssoftware) mit dem Slave (Sensor) über das Lorenzprotokoll. Für die Übertragung zwischen Rechner und Sensor wird aber das Protokoll des USB-Anschlusses verwendet. Deshalb werden die Befehle des Lorenzprotokolls mit den Messwerten zu Datenpaketen zusammengefasst und vom USB-Protokoll als Dateninformation übertragen. Die Elemente wie Messdaten, Steuerbefehle, Prüfsummen usw. des Sensors werden also durch den USB-Bus getunnelt. Vereinfacht dargestellt läuft die Kommunikation zwischen dem Sensor und der auf dem Rechner installierten Software wie im Bild 6 dargestellt ab.

¹ Windows ist eine eingetragene Wortmarke der Microsoft Corporation, Redmond, Washington, US. 170238_TM.odt

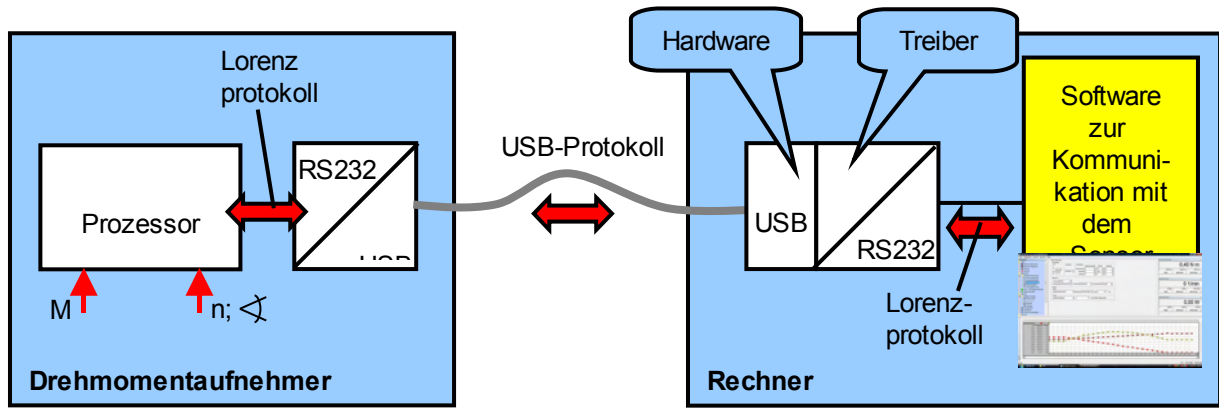


Bild 6: Kommunikation von Rechner mit Sensor

Der Ausgang aus dem Prozessor im Drehmomentsensor ist ein serielles Datensignal, das dem einer RS 232-Schnittstelle entspricht. Dieses Signal wird dann in einem Konverter in einen USB-Anschluss mit dem zugehörigen USB-Protokoll umgewandelt. Der auf den Rechner aufgespielte Treiber übernimmt die Kommunikation über die USB-Schnittstelle und gibt ein serielles Signal zurück. Die mitgelieferte Kommunikationssoftware auf dem Rechner sieht also keine USB-Schnittstelle sondern einen COM-Port, der durch den Treiber virtuell dargestellt wird.

Bei der Kommunikation des Rechners mit dem Sensor werden vom Rechner Befehle an den Sensor geschickt, worauf dieser sie verarbeitet und ausführt. Da intern eine serielle Schnittstelle simuliert wird, muss die Baudrate für Sender und Empfänger eingestellt werden und identisch sein. Dies geschieht automatisch durch die Kommunikationssoftware.

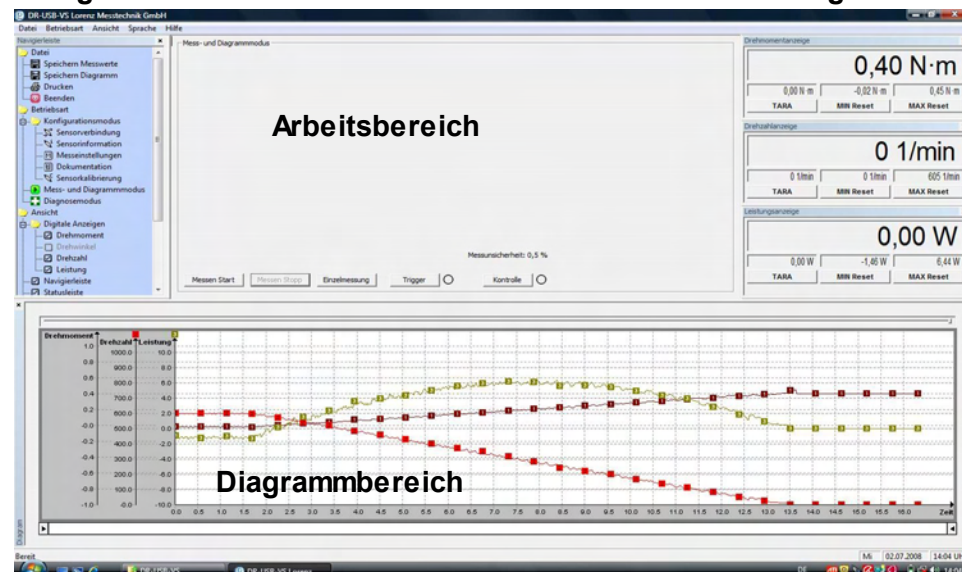
Die Datenübertragung erfolgt sowohl für den Drehmomentmesswert, als auch für Winkel bzw. Drehzahl jeweils als 16 bit Datenwort. Damit werden über die USB-Schnittstelle noch nicht einmal 2 Mbit Daten pro Sekunde übertragen. Wir sehen also, dass nur ein kleiner Teil der Übertragungsmöglichkeit durch den Drehmomentsensor verwendet wird. Selbst bei einem USB 1.1 Anschluss wird die mögliche Bandbreite von 12 Mbit/s nur zum Teil benötigt.

4 Kommunikationssoftware

Zur Abrundung des Messsystems wird noch die notwendige Kommunikationssoftware zum Sensor mitgeliefert. Diese Software kann ohne Installation auf den Rechner aufgespielt werden. Für die Kommunikation mit dem Sensor ist lediglich ein USB-Treiber notwendig, der unter Administratorrechten auf dem Rechner installiert wird. Die Kommunikationssoftware kann gleichzeitig die Messgrößen Drehmoment, Drehwinkel bzw. Drehzahl je nach Sensorausführung erfassen. Aus Drehmoment und Drehzahl berechnet die Software die mechanische Leistung und bringt sie zur Anzeige.

Navigierbereich

Anzeigebereich



Drehmoment
Leistung
Drehzahl

Bild 7: Arbeitsfläche der Kommunikationssoftware

Der Grundaufbau der Kommunikationssoftware besteht aus einem Navigier-, Arbeits-, Anzeige- und dem Diagrammbereich (Bild 7). Die in der Navigierleiste unter dem Ordner Betriebsart aufgerufenen Dialoge werden im Arbeitsbereich dargestellt. Im Anzeigebereich befinden sich die für den Sensor sinnvollen Fenster für die Anzeige der Messwerte, wie z.B. Drehmoment-, Drehzahl- und Leistungsanzeige. Im Diagrammbereich werden die angezeigten Messwerte als Funktion von der Zeit bzw. einer der aufgenommenen physikalischen Messgrößen dargestellt. Zur besseren Übersicht lässt sich jedes Anzeigeelement auf die Desktopoberfläche des Rechners ablegen. Die Schriftgröße passt sich dabei automatisch an die Fenstergröße an.

Ein typischer Ablauf einer Messung sieht wie folgt aus: Zuerst wird der Sensor an den Rechner angeschlossen, dann wird die Software gestartet, die den Sensor automatisch erkennt. Danach beginnt die Messung mit „Messen Start“. Die Messwerte werden im Anzeigebereich und im Diagramm dargestellt. Nach „Messen Stopp“ können die erhaltenen Messwerte als CSV-Datei abgespeichert werden. Die Sicherung der grafischen Darstellung erfolgt als Bilddatei. CSV-Dateien können mit handelsüblichen Tabellenkalkulationsprogrammen weiter ausgewertet werden.

Selbstverständlich lassen sich sehr viele Einstellungen an den Messprozess anpassen.

Hier eine Auswahl an Möglichkeiten.

Sensorverbindung ○ COM-Port	Messeinstellungen ○ Messgröße ○ Diagramm ○ Trigger ○ Vorzeichen	Dokumentation ○ Pfad ○ Adresse ○ Einstellungen für CSV-Datei ○ Automatisches Speichern	Sensorkalibrierung ○ Benutzer-kalibrierung
--------------------------------	---	--	---

5 Anwendung in einer Belastungseinrichtung

Die Belastungseinrichtung (Bild 8) besteht aus einer Bremse und einem Prüfling, zwischen die freifliegend der Drehmomentaufnehmer mit zwei Halbkupplungen eingebaut ist. Kupplungen werden verwendet, um nicht zu vermeidende Verlagerungen der Wellen, auszugleichen. Denn durch Wellenverlagerungen werden undefiniert große Störkräfte in den Drehmomentsensor eingeleitet, welche zu großen Messfehlern führen können. Halbkupplungen gleichen nur axiale und winklige Verlagerungen aus. Wird der Aufnehmer zwischen zwei Halbkupplungen eingebaut, bildet er das Zwischenstück für eine Vollkupplung. Damit kann diese Anordnung axiale, radiale und winklige Verlagerungen zwischen den beiden Wellen von Bremse und Prüfling ausgleichen.

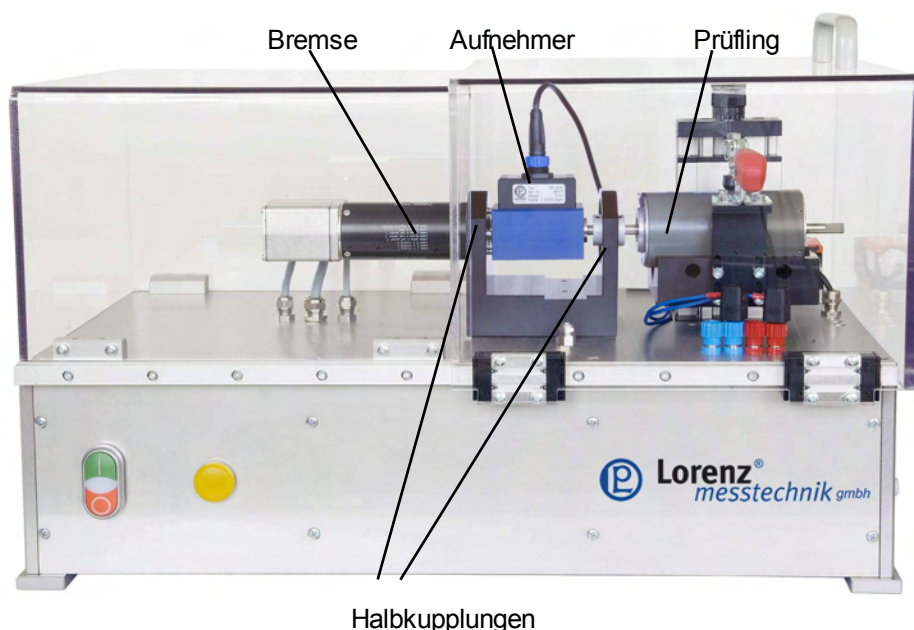


Bild 8: Belastungsvorrichtung für die Prüfung von Elektromotoren

Mit der Rechnersoftware können diverse Messkurven und Kennlinien z.B. von Motoren aufgenommen werden. Als X-Achse der grafischen Darstellung ist eine der gemessenen bzw. berechneten Größe, oder die Zeit wählbar.