

## TECH NOTE : Elektrische Leistungsberechnung im 3-Phasen-Betrieb mit QuantumX und catmanEasy/AP

Version: 2015-01-30

Autor: Christof Salcher

Status: **public**

### Aufgabenbeschreibung

In dieser TECH NOTE geht es um die **Analyse der elektrischen Leistung** und die **Optimierung des Energieverbrauchs** am Beispiel **Pumpenmotor einer Spritzgussmaschine** bei unterschiedlichen Parametrierungen des Prozesses. Verwendet wird das Datenerfassungssystem QuantumX zur zeitsynchronen Erfassung der elektrischen Größen Spannung und Strom, sowie einigen Temperaturen, Drücken aber auch Status- und Sensorinformationen aus der Maschine (Digitalausgänge, CAN-Bus-Anbindung) um die Analyse perfekt mit den einzelnen Prozessschritten abzugleichen.

Die Leistungsberechnung sowie die gesamte Signalanalyse im Zeit- und Frequenzbereich soll mit der Software catmanAP von HBM ausgeführt werden.

Die Rohdaten der 3 Spannungsphasen  $U_{L1-L3}$  und Ströme  $I_{L1-L3}$  der Maschine sollen mit höchster Datenrate gemessen, visualisiert und gespeichert werden.

Andere physikalische Größen wie Drücke sollen im 2 ms Takt (500Hz) aufgezeichnet werden. Temperaturen sollen im 100 ms Takt (10 Hz) aufgezeichnet werden. Statussignale sollen asynchron aufgezeichnet werden.

Der Motor ist auf seine Wirkleistung hin zu analysieren. Die Leistungsberechnung soll im 100 ms Takt (10 Hz) erfolgen.

Jeder veränderte Parametersatz soll in der Maschine durch ca. 25 Arbeitszyklen (gefertigte Spritzgussteile) auf eine möglichst breite Analysebasis gestellt werden. Alle Messungen sollen statistisch und auch rechnerisch analysiert werden und in einen kommentierten Messbericht in Microsoft Word oder Excel gespeichert werden.

### QuantumX

QuantumX unterstützt eine große Bandbreite unterschiedlicher Sensortechnologien und kann dadurch sehr viele unterschiedliche physikalische Größen erfassen. Der Ausdruck „Schweizer Messer der Messtechnik“ hat sich branchenübergreifend bei vielen tausenden Kunden etabliert – QuantumX ist das universelle Messwerkzeug. Das Produkt hat sich vor allem im Bereich Forschung und Entwicklung von Fahrzeugen, Schiffen und Flugzeugen und deren Systemteile, sowie Maschinen und Antrieben, aber auch in der Bauwerkstechnik bei der Analyse von Konstruktionen wie z.B. Brücken etabliert. Aber auch in Anwendungen wie Inspektion, Fehlersuche und Produktionsoptimierung finden sich viele Anwendungsbeispiele. QuantumX ist universell, kompakt, portabel, frei skalierbar, robust und verteilbar und eignet sich daher als Messdatenerfassungssystem für mobile als auch für stationäre Einsätze.

Zu den Hauptmessgrößen gehören typischerweise mechanische, elektrische und thermische Größen wie Dehnung, Weg, Drehmoment, Drehzahl, Kraft, elektrische Spannung und Strom, Temperatur, Druck, Schwingung, Vibration, Geschwindigkeit, Position, Beschleunigung, aber auch Durchfluss und viele weitere physikalische Größen eines dynamischen oder statischen Systems.

Die Anzahl der erfassten Messgrößen kann dabei beliebig sein. Das verteilbare Systemkonzept bietet hier Vorteile, da die Messtechnik nahe der Messstelle platziert werden kann und den Einsatz von kurzen vor-konfektionierten Sensorleitungen ermöglicht. Das erhöht die Messqualität bei bestimmten Sensortypen, reduziert die Installationskosten und bringt bei wiederkehrenden Aufgaben eine deutlich höhere Flexibilität.

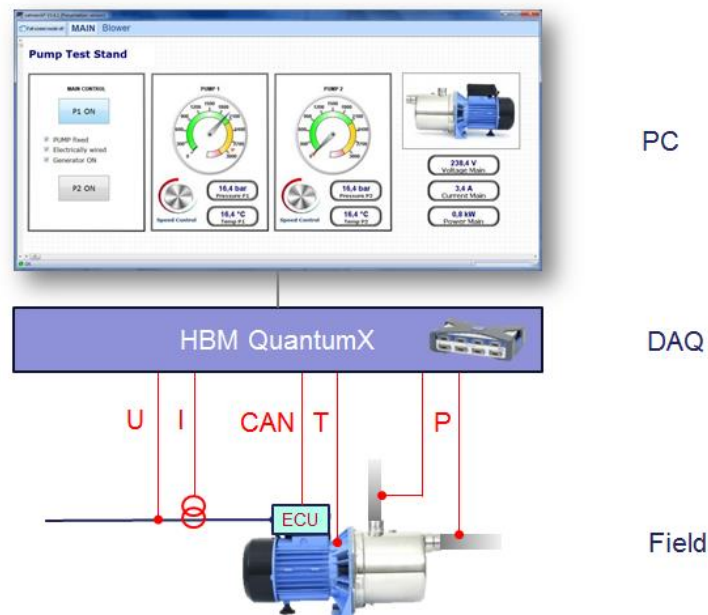


Bild: QuantumX – universelles Datenerfassungssystem zur Erfassung aller physikalischen Größen

### Messung der elektrischen Spannung

Die elektrischen Spannungen sollen direkt an den Klemmen im Schaltschrank abgegriffen und über isolierte Laborleitungen mit Bananenstecker auf der Geräteseite angeschlossen werden.

Speziell für die exakte und differentielle Erfassung elektrischer Spannungen in den Bereichen  $\pm 10\text{ V}$ ,  $\pm 100\text{ V}$  und  $\pm 1.000\text{ V}$  wurde das 4-Kanal-Messmodul QuantumX **MX403B** entwickelt. Die Kanäle sind galvanisch getrennt und können individuell parametrisiert werden: Messbereich, Datenrate pro Kanal bis 100 kS/sec, Filtertyp und -eckfrequenz. Der 24 Bit Sigma-Delta Analog-Digital-Wandler arbeitet mit ca. 6 MHz Grundfrequenz und erlaubt eine Signalauflösung (Bandbreite) von bis zu 38 kHz. Die **Genauigkeitsklasse** beträgt **0,05**. Das Modul wurde nach IEC61010 entwickelt und hat zudem ein **VDE**-Prüfzertifikat welches für höchste Sicherheit steht.



In der Antriebstechnik kommen Grundfrequenzen von wenigen Hz bis zu höchsten Schaltfrequenzen von 20 kHz vor. Bei hochdynamischen physikalischen Größen wie der elektrischen Spannung, sollte die AD-Wandlung wenigstens Faktor 20 bis teilweise 50 höher sein als die Grundfrequenz, um die Leistungskalkulation mit einer akzeptablen Genauigkeit umsetzen zu können. Bei der Bandbreitenangabe des MX403B gilt die -3 dB Eckfrequenz. Zu beachten ist dabei, dass hierbei die Amplitude bereits ca. 30 % gedämpft ist und ein Phasenfehler von 45° entsteht.

Der Anschluss von Spannungen an das Gerät erfolgt über Sicherheitslaborbuchsen.

Bei der Messung von elektrischen Spannungen kommt es natürlich darauf an, zu welchem Potenzial / Bezugspunkt man misst. Prinzipiell unterscheiden wir zwischen **3- und 4-Leiter-Drehstromsystemen**, je nachdem ob ein Neutralleiter zur Verfügung steht oder nicht. Danach richten sich auch die Messschaltungen für die Leistungsermittlung.

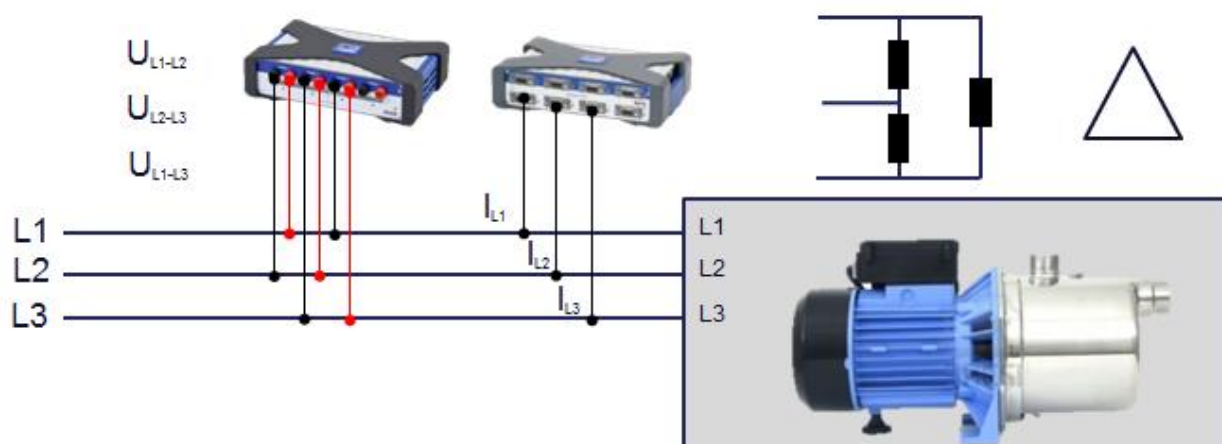


Bild: Spannungen und Ströme im 3-Leiter-System (Dreieckschaltung)

Drehstromantriebssysteme sind oft in Sternpunkt-Ausführung aufgebaut. Die drei Wicklungsstränge (L1, L2, L3) werden in einem Punkt im Antrieb zusammengeführt. Dieser Sternpunkt wurde früher in den Klemmkasten herausgeführt und zum Anlaufen in Stern-Dreieck-Umschaltung verwendet.

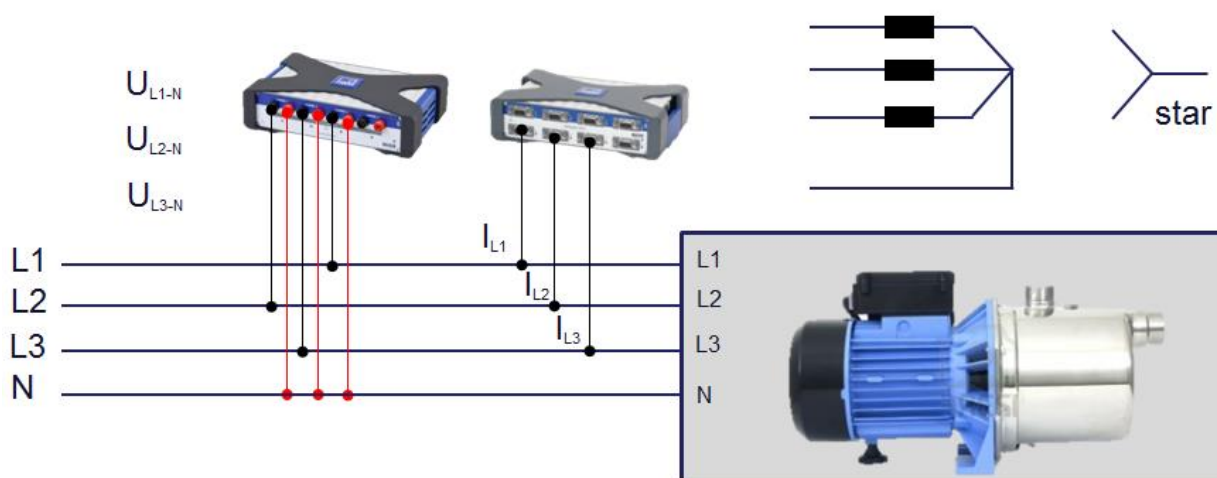


Bild: Spannungen und Ströme im 4-Leiter-System (Sternschaltung, mit Nullleiter)

Mit Verbreitung elektronischer Umrichter ist das immer weniger der Fall.

Die Leistung wird bei drei Phasen geometrisch aus den Einzelleistungen addiert; da man den Strom jeder Phase misst, muss man ihn entsprechend mit der Spannung jeder Phase multiplizieren. Die Phasenspannung kann in den seltensten Fällen direkt abgreifen. Daher bedient man sich einer der folgenden Maßnahmen:

- Berechnung der Sternspannungen  $U_{1N}$ ,  $U_{2N}$ ,  $U_{3N}$  aus den Dreiecksspannungen  $U_{12}$ ,  $U_{23}$ ,  $U_{31}$ . Das ist ungenau, wird aber praktiziert.
- Erzeugen eines Bezugspunkts außerhalb des Motors über ein R bzw. RC-Netzwerk (virtueller Sternpunkt). Dieses Verfahren ist eignet sich bei symmetrischen Lasten. Nimmt man jedoch an, dass der Antrieb vollkommen symmetrisch ausgelegt ist und sich als solcher verhält, bräuhete man theoretisch auch nur EINEN Leistungskanal. Das gilt es durch Messung zu analysieren.

Bei der Auslegung elektrischer Antriebe wird sehr darauf geachtet, symmetrische Lasten aufzubauen, d.h. über den Nullleiter fließt kein Strom. Ist der Sternpunkt nicht nach außen geführt (kein Nullleiter vorhanden), kann ein „**externer**

**virtueller Sternpunkt**“ aufgebaut werden. Dazu kann der Adapter **G068-2** von HBM eingesetzt werden. Im G068-2 befinden sich drei RC-Netzwerke. Die Box passt exakt auf die Sicherheits-Bananenbuchsen des MX403B, schränkt den Erfassungsbereich aber auf AC 600 V ein.

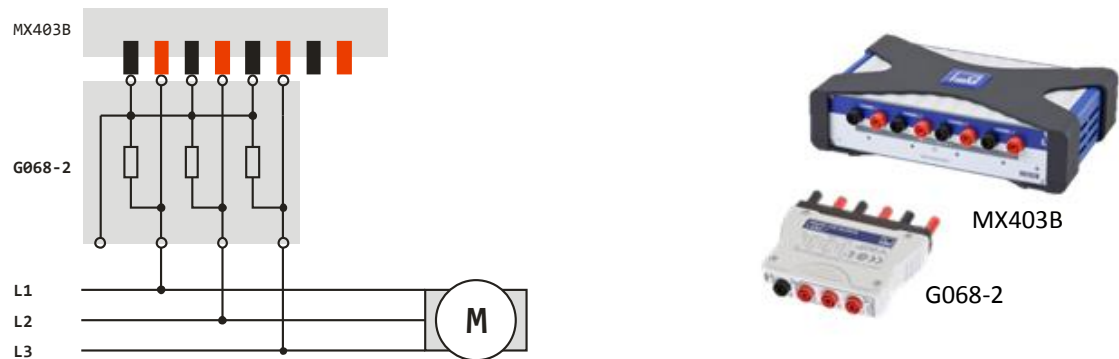


Bild: Virtueller Stern G068-2 von HBM am MX403B Spannungs-Messmodul

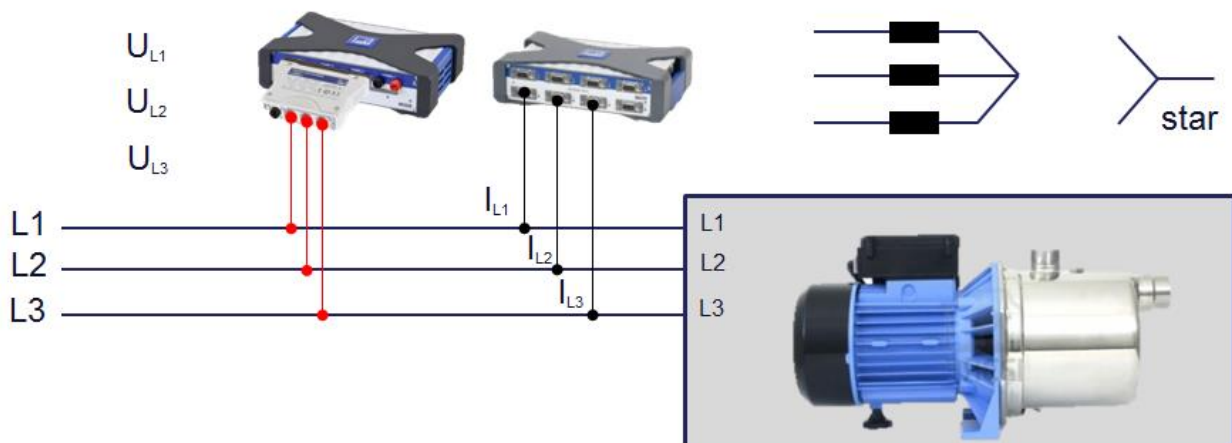


Bild: Spannungen und Ströme im 3-Leiter-System (Sternschaltung)

### Messung des elektrischen Stroms

Der elektrische Strom kann über unterschiedliche Messprinzipien erfasst werden.

#### Induktive Strommesszange

- geringe Genauigkeit > 1 %
- geringe Bandbreite
- AC + DC – fähig (Varianten)
- geeignet für grobe Leistungsmessung

#### Rogowskispule

- geringe Genauigkeit > 1 %
- hohe Bandbreite > 1 MHz
- nicht DC-fähig
- geeignet für grobe Leistungsmessung

#### Impulsstromwandler

- geringe Genauigkeit > 1 %
- hohe Bandbreite > 10 MHz

- nicht DC –fähig
- geeignet für grobe Leistungsmessung

**Hallsensorwandler**

- mittlere Genauigkeit > 0,5 %
- mittlere Bandbreite > 100 kHz
- AC + DC – fähig
- für die Leistungsmessung geeignet  
Beispiel: LEM T 700-S ULTRASTAB + Netzteil

**Koaxialshunt**

- hohe Genauigkeit
- hohe Bandbreite > 1 MHz
- AC + DC – fähig
- keine galvanische Trennung, CMR !
- optimal geeignet für die Leistungsmessung  
Empfehlung: Triaxialshunt

**Nullflusswandler**

- Hohe Bandbreite DC bis einige 100kHz
- Höchste Amplitudengenauigkeit im ppm Bereich
- Geringer Phasenwinkelfehler
- Geringster Offset
- Galvanische Trennung / hohe Gleichtaktunterdrückung
- optimal geeignet für hoch-präzise Leistungsmessung  
Beispiel: IT 60-S




Während der Nullflusswandler, Shunt oder der Hallsensorwandler präzise, phasensynchrone Messungen kleiner Ströme ermöglicht, eignen sich **Strommesszangen** besonders für zügige Strommessungen im 1-phasigen und 3-phasigen Betrieb ohne Umrichter. Strommesszangen ermöglichen in weiten Grenzen die galvanisch entkoppelte Messung von Wechselströmen (oft auch Gleichströmen) ohne Auftrennen des stromführenden Leiters. Strommesszangen sind zudem kostengünstig und ermöglichen eine Leistungsanalyse für Einsätze mit weniger hohem Genauigkeitsanspruch. Es gibt Strommesszangen für verschiedene Einsatzzwecke mit unterschiedlicher Auslegung (induktiv, Hall-Effekt). Das induktive Messprinzip führt zu einem Phasenverzug im Stromwandler (Englisch: skewing) zwischen realem Strom und elektrischer Ausgangsspannung der Stromzange, die vor der Leistungsberechnung zeitlich kompensiert werden muss. Dabei wird die gemessene elektrische Spannung einfach entsprechend verzögert. Der Phasenwinkelfehler variiert bei einigen Strommesszangen mit der Frequenz und über den Messbereich, was sich natürlich auf die Leistungsberechnung auswirkt! Je nach Messbereich kommen hier 3 bis 10° bei Referenzbedingungen vor. Aber Achtung, als Referenz dient hier meistens eine perfekte sinusförmige Spannung, 45...60 Hz, 23° C Umgebungstemperatur und 50% Luftfeuchte. Jede Abweichung von dieser Referenz kann und wird sich auf die Genauigkeit der Strommessung und damit der Leistungsberechnung auswirken.

Strommesszangen können an fast alle Messverstärker im Verbund angeschlossen werden, z.B. über einen Adapter **BNC auf SubHD** am Universalmessverstärker MX840A. Dieser Messverstärker kann auch andere Größen wie Drehmoment, Drehzahl, Temperatur, Beschleunigung, Vibration und CAN-Bus-Signale aufnehmen.

Strommesszangen können auch an das Spannungsmodul MX403B angeschlossen werden, entweder direkt über die **4 mm Sicherheitslaborbuchse** oder einen **Adapter BNC auf Sicherheitslaborbuchse** (HBM-Artikelnummer: 1-G067-2, 600 V CAT III).



HBM bietet ebenfalls Strommesszangen an:

	<p>HBM-Artikel: <b>1-G914-2</b>  Hersteller: AYA M1V20  Messbereich: 20 A, 20 - 5000 Hz  Anschluss: BNC</p>
	<p>HBM-Artikel: <b>1-G913-2</b>  Hersteller: AEMC SR661  Messbereich: 1200 A, 10 Hz - 100 kHz  Anschluss: BNC</p>
	<p>HBM-Artikel: <b>1-G912-2</b>  Hersteller: Fluke i30s  Messbereich: 30 A, 0 (DC) - 100 kHz  Anschluss: BNC</p>

### Andere Messgrößen

Neben den elektrischen Größen wie Spannung und Strom werden bei der Untersuchung von Antriebsmaschinen oder Generatoren oft noch andere physikalische Messgrößen erfasst, wie z.B. das Drehmoment und die Drehzahl der abgehenden Antriebswelle (z.B. mit HBM Drehmomentmesswelle T12 oder T40). Mit den Größen Drehmoment und Drehzahl kann die mechanische Leistung bestimmt. Liegt die elektrische Leistung vor, können Wirkungsgrad und damit die Arbeitspunkte der Maschine optimiert werden. Hilfreich ist zudem die Erfassung von Temperaturen mittels Sensoren wie PT100 oder Thermoelemente oder andere Größen wie Druck oder digitale Signale auf dem CAN-Bus.

Die 4- und 8-Kanal Universalmessverstärker **MX410B**, **MX440A** oder **MX840A** unterstützen unterschiedliche Sensor- und Aufnehmertypen pro Kanal und können alle thermischen, mechanischen oder elektrischen Größen erfassen. Zudem können Signale vom CAN-Bus zeitsynchron zu den analogen Eingängen erfasst werden.

Folgende Module werden in diesem Projekt verwendet:

- MX403B, 4-Kanaler Spannung zur Spannungserfassung (Messbereich 1000 V)
- MX403B, 4-Kanaler Spannung zur Stromerfassung (Messbereich 10 V)
- MX840A, 8-Kanaler Universalmessverstärker für Drücke, Temperaturen und Signale vom CAN-Bus, aber auch einige digitale Zustände aus der Maschine
- Optional MX879 für digitale Ein- oder Ausgänge

### Integration der Messtechnik

Nach Durchsicht der Verdrahtungspläne der Anlage wird folgendes festgelegt:

- die drei Phasenspannungen des Pumpenmotors werden im Schaltschrank direkt unterhalb der Sicherungen L1-L3 direkt von der Klemme abgegriffen (untergeklemmte abgeschnittene Sicherheitslaborleitung).
- die Strommesszangen werden um die Zuleitungen L1-L3 geklemmt.
- Das digitale Statussignal wird direkt vom Ausgangsmodul der SPS abgegriffen und auf einen Eingang des Messsystems geführt (Analogspannungseingang)

**ACHTUNG: Der Verbindung der Messtechnik zur Maschine muss komplett vom Betreiber umgesetzt werden!!!**

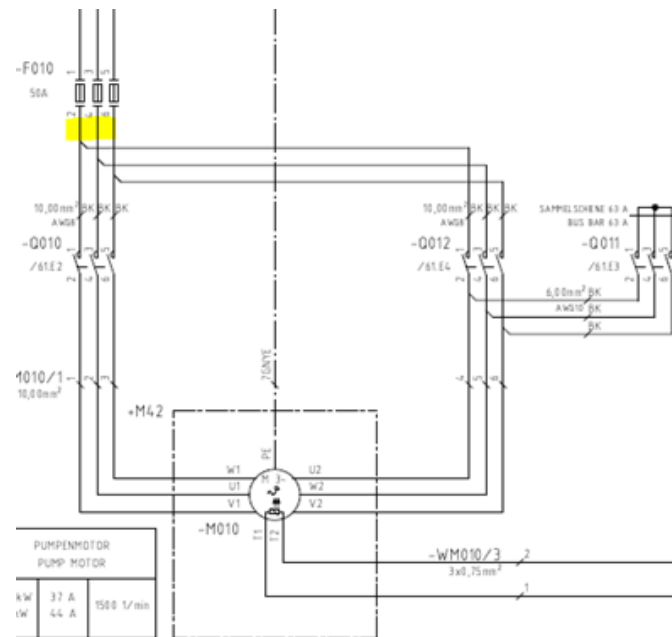


Bild: Anschlussbild des Pumpenmotors und Kennzeichnung der Messstellen für Spannung und Strom

Arbeiten an unter Spannung stehenden Teilen sind verboten

- Ausnahmen bestehen bei Wechselspannung  $U \leq 50V$ , Gleichspannung  $U \leq 120V$ .

Die fünf Sicherheitsregeln		
Regel	Erklärung	Beispiel
1. Freischalten	Freischalten aller Teile der Anlage, an denen gearbeitet werden soll.	Automaten abschalten, Sicherungseinsätze entfernen, Verbotsschilder anbringen.
2. Gegen Wiedereinschalten sichern	Irrtümliches oder vorzeitiges Wiedereinschalten muss verhindert werden.	Automaten mit Klebeband absichern, Sicherungseinsätze mitnehmen, Schalter durch Vorhängeschloss sichern.
3. Spannungsfreiheit feststellen	Spannungsfreiheit durch Fachkraft oder unterwiesene Person feststellen.	Anlage mit Spannungsprüfer oder geeigneten Messinstrumenten prüfen.
4. Erden und kurzschließen	Erdungs- und Kurzschließeinrichtungen immer zuerst erden, dann mit den kurzzuschließenden aktiven Teilen verbinden.	Erdungs- und Kurzschließeile müssen guten Kontakt geben und dürfen keine Anlagenteile berühren.
5. Benachbarte unter Spannung stehende Teile abdecken oder abschränken	Bei Anlagen unter 1 kV genügen zum Abdecken isolierende Tücher, Schläuche oder Formstücke, über 1 kV Absperrtafeln, Seile und Warntafeln. Immer entsprechenden Körperschutz tragen.	Beim Abdecken können aktive Teile berührt werden. Daher Körperschutz, z.B. enganliegende Kleidung, Schutzhelm mit Gesichtsschutz und Handschuhe tragen.

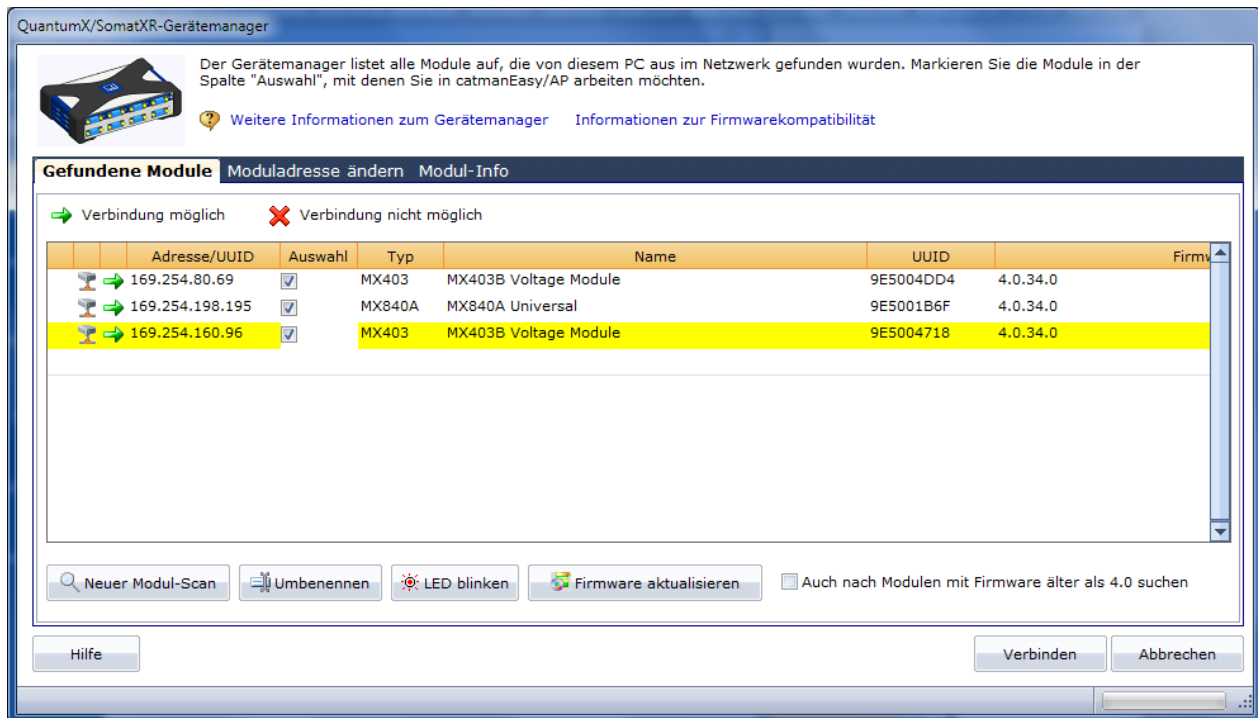
Bild: Zur Erinnerung – die 5 Sicherheitsregeln

Das Softwarewerkzeug catmanEasy/AP von HBM ist für die Parametrierung der Kanäle, Berechnungen, Messungen, Speicherung und Analyse zuständig.

### Messmodule auswählen

Die Software catmanAP zeigt beim Start die an den PC angeschlossenen Geräte. Die Module sind individuell selektierbar. Im weiteren Projektfortschritt können jeder Zeit Module hinzugefügt oder aber entfernt werden.



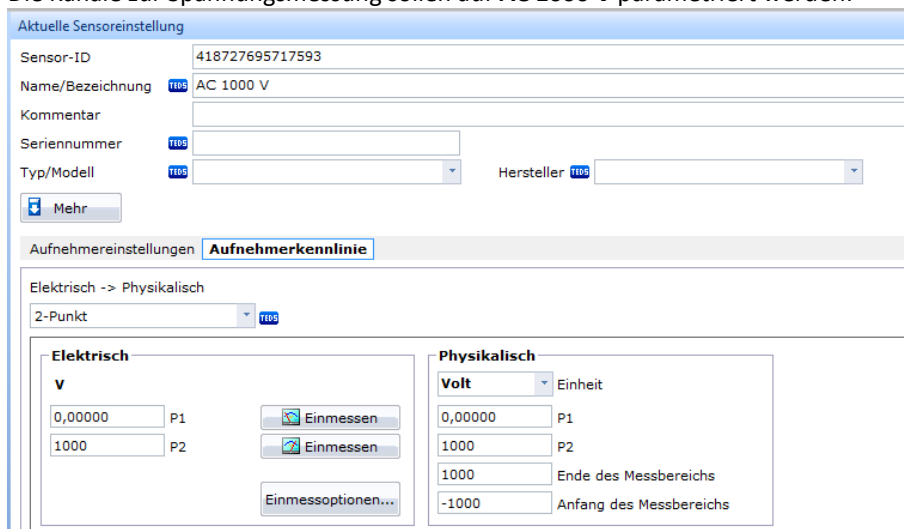


### Eine Datenbank für Sensordatenblätter und Signalbeschreibungen

Der Typ und die Skalierung des Messkanals werden mit Hilfe der integrierten Parametrier- und Sensordatenbank parametrierbar. Zur Vorbereitung dieses Schrittes müssen alle Sensoren oder Signalbeschreibungen in der Sensordatenbank wie in einem Datenblatt eindeutig beschrieben werden. Dieser Autorenschritt ist für beliebige Konfigurationen wiederholbar und damit sehr effizient, reproduzierbar und rückverfolgbar. Die Sensordatenbank dient auch dazu Signalbeschreibungen und CAN-Datenbasen aufzunehmen. Zukünftige Parametrierungen sind dadurch sehr schnell umsetzbar. Die Sensordatenbank kann zentral auf einen Server ausgelagert werden.

Für diesen Messjob müssen wir die Datenblätter der verwendeten Sensoren, sowie die Beschreibungen der Eingangssignale oder CAN-Nachrichten anlegen:

Die Kanäle zur Spannungsmessung sollen auf **AC 1000 V** parametrierbar werden:



Für die Strommessung wird die vom Kunden vorgegebene Strommesszange **WZ12E von Gossen Metrawatt** zum Einsatz kommen. Der Anschluss erfolgt über vorkonfektionierte Sicherheitslaborstecker.





Das Übersetzungsverhältnis von Strom zu Ausgangsspannung beträgt z.B. für WZ12E 100:1 (1 A = 10 mV oder 10mV/A).

Typ	WZ12A	WZ12B	WZ12C	WZ12D	WZ12E
Artikelnummer	Z219A	Z219B	Z219C	Z219D	Z823D
Messbereich	15...180 A~	10 mA...100 A~	1 mA...15 A~ 1 A...150 A~	30 mA...150 A~	0,2...150 A~
Frequenzbereich	45...65...400 Hz	45...65...500 Hz	45...65...400 Hz	45...65...500 Hz	30...45...65...500 Hz
Übersetzungs- verhältnis	1000 : 1	0,1 mV/mA	1 mV/mA 1 mV/A	1000 : 1	10 mV/A
Ausgangsbürde	< 5 Ω	> 1 MΩ	> 1 MΩ > 10 kΩ	< 50 Ω	> 10 kΩ
Eigenabweichung bei Referenzbedingungen	±3% v. M.	±1,5% v. M. ±1 mA	±3% v. M. ±0,15 mA ±2% v. M. ±0,1 A	±2,5% v. M. ±1 mA	±2% v. M. ±10 mA
Einflusseffekt Frequenz $f_{\min} \dots f_{\max}$	±3% v. M.	±1,5% v. M. ±1 mA	±3% v. M. ±0,15 mA ±2% v. M. ±0,1 A	±2,5% v. M. ±1 mA	±2% v. M. ±10 mA
Einflusseffekt Tempe- ratur $\Delta/10$ K (typ.)	±3% v. M.	±1,5% v. M.	±3% v. M.	±2,5% v. M.	±2% v. M.
Typ. Phasen- winkel- fehler	45...65 Hz $f_{\min} \dots f_{\max}$	nicht definiert	nicht definiert 3° 10°	3° 10°	2° 10°
max. Überlast	dauernd dyn. < 1s	360 A 900 A	200 A 500 A	300 A 750 A	300 A 750 A
Leerlaufspannung	max. 15 V <sup>1)</sup>	max. 15 V	max. 27 V	max. 27 V <sup>1)</sup>	max. 27 V

Bild: Datenblattangaben WZ12E

Die Kanäle zum Anschluss der **Strommesszange** parametrieren wir mit einem Sensordatenblatt für **WZ12E**. Je nachdem welchen Phasenverzug die Messzangen aufweisen. Da wir keine Referenz- oder ohmsche Kalibrierung vorliegen haben, nehmen wir den Wert aus dem Datenblatt der mit 2° Phasenwinkel angegeben ist (bei dem gemessenen 50 Hz Sinus ergibt sich somit Phasenlaufzeit  $t = \frac{1}{50 \text{ Hz}} * \frac{3^\circ}{360^\circ} = 1,67 \text{ ms}$ ). Die Strommesszange ist passiv aufgebaut und liefert pro Ampere 10 Millivolt (1 A = 10 mV)

Aktuelle Sensoreinstellung

Sensor-ID
418727737152778

Name/Bezeichnung
AC current clamp 10mV-A

Kommentar
Current clamp

Seriennummer

Typ/Modell
WZ11 / WZ12
Hersteller
Gossen Metrawatt

Mehr

Aufnehmereinstellungen
Aufnehmerkennlinie

Elektrisch -> Physikalisch
Nullpunkt-Spanne

Elektrisch

V

0,00000
Null

0,0100
Kennwert

Physikalisch

A
Einheit

0
Null

1
Nennwert

Die Kanäle werden via „drag and drop“ aus der Sensordatenbank heraus parametriert.

### Restliche Kanalparametrierung

Zur individuellen Kanalparametrierung gehören:

- Eine aussagekräftige, eindeutige Kanal- oder Signalbezeichnung.  
Tipp: damit sich die Weiterverwendung des Signals für Online-Berechnungen oder die Datenanalyse einfacher gestaltet.

Vorschlag: erstellen Sie eine firmenweite Nomenklatur wie Sie Ihre Messsignale beschreiben möchten (ID, Objekt, Mess-Ort, physikalischer Größe). Bei vielen Messstellen ist die Erstellung einer EXCEL-Liste sinnvoll. Diese können Sie auch zur Parametrierung aller Kanäle heranziehen.

Beispiel aus Fahrzeugtechnik wie z.B. FL\_damp\_t1 (Front left damping temperature 1)

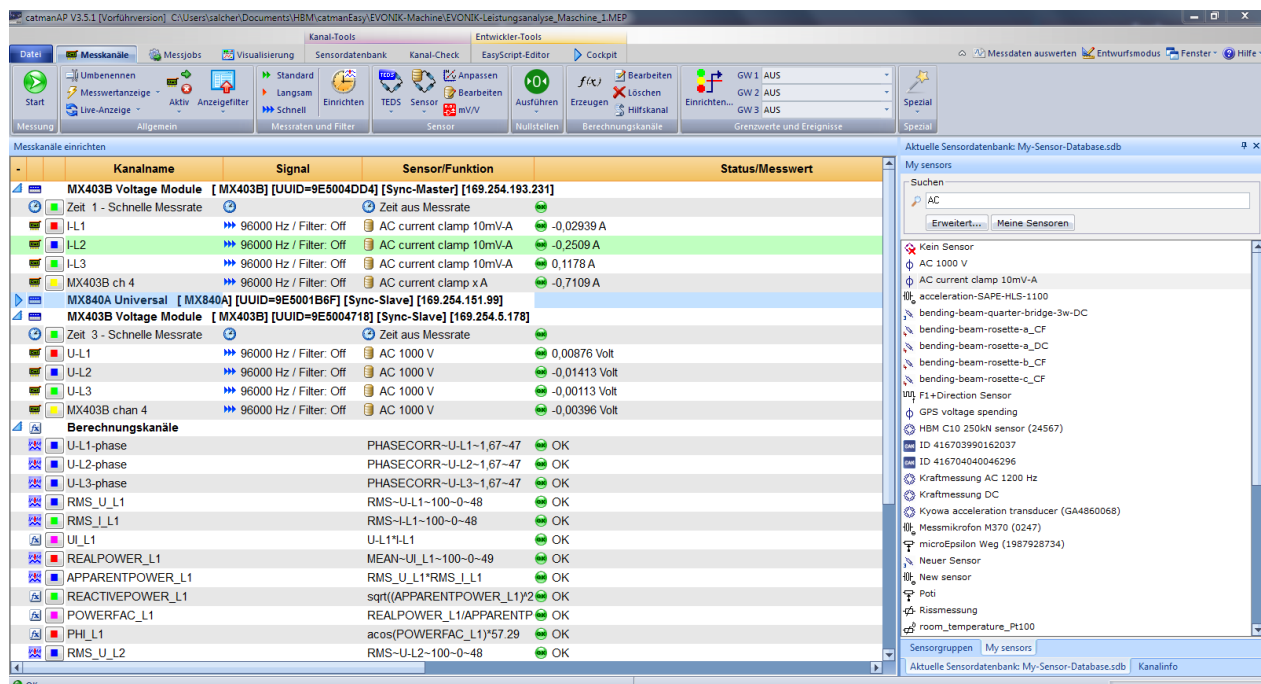
- Auswahl der Datenrate und Filter

**Tip:** Für die einfache Punkt-zu-Punkt-Datenanalyse empfiehlt sich lediglich eine Datenrate zu wählen.

Weniger ist mehr. Bei Filter verhält es sich ähnlich – beachten Sie speziell für Berechnungen und bei Analysen hoch-dynamischer Signale die Phasenlaufzeiten, die im Datenblatt dargestellt sind. Auch hier die Empfehlung bei der ersten Analyse mit hoher Datenrate und ohne Filter zu arbeiten, eine Frequenzanalyse vorzunehmen und Basis des Amplitudenspektrum den Filter zu setzen.

- Messwert nullen / rücksetzen oder sperren dieses Vorgangs

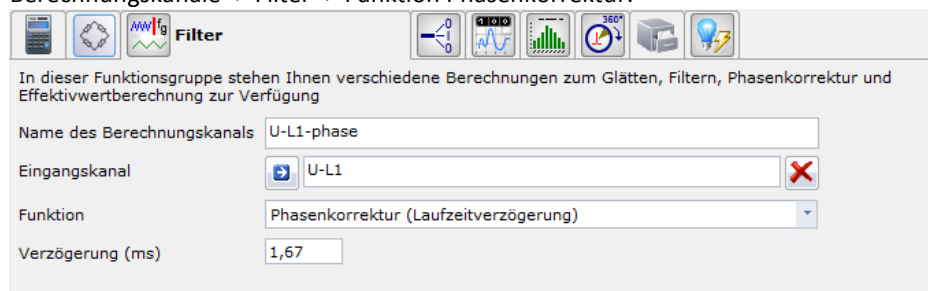
**Tip:** vor allem bei dynamischen Signalen empfiehlt sich über eine gewisse Zeit zu messen, zu mitteln und darauf zu Nullen. Falls Sie vor Messstart alle Kanäle Nullstellen möchten, achten Sie darauf, dass Temperaturkanäle oder Absolutwerte vor dem Nullen gesperrt sind.



### Phasenkorrektur beim Einsatz von Stromzangen:

Strommesszangen haben zumeist einen induktiven Messkern und damit einen Phasenverzug im Signalausgang, d.h. die Phase des Ausgangssignals des Wandlers ist gegenüber der Stromphase verzögert. Ist der Phasenverzug des Wandlers nicht bekannt, kann dieser einfach durch eine Erfassung von Strom und Spannung an einem ohmschen Verbraucher (z.B. Glühlampe) ausgemessen und über die Software catmanEasy/AP korrigiert werden. Die gemessene Spannung kann entsprechend verzögert werden. Aktuell wird der Phasenverzug nicht direkt im Gerät kompensiert; das übernimmt die PC-Software.

### Berechnungskanäle -> Filter -> Funktion Phasenkorrektur:



## Leistungsberechnung im Drehstromsystem

Die **Wirkleistung** berechnet sich als zeitlicher Mittelwert der Momentanleistung über eine Schwingung. Bei einem symmetrischen Drehstromverbraucher mit sinusförmigen Spannungen und Strömen ist der Momentanwert der gesamten Leistung konstant und entspricht damit gleichzeitig dem zeitlichen Mittelwert, also der Wirkleistung. Liegt eine Unsymmetrie des Verbrauchers vor, so ändert sich der Momentanwert zeitlich, der Mittelwert bleibt aber wiederum konstant.

$$\text{REAL POWER } R_1 = \text{MEAN}(U_1 * I_1)$$

Die gesamte Drehstromwirkleistung, die in DIN 40110-2:2002-11 [3] kollektive Wirkleistung genannt wird, ist die arithmetische Summe der Wirkleistungen aller drei Stränge.

$$\text{REAL POWER } R_{\Sigma} = R_1 + R_2 + R_3$$

Im deutschen Raum wird statt R oftmals P verwendet.

Zur Berechnung der kollektiven **Scheinleistung** wird zunächst aus den direkt messbaren Effektivwerten die kollektive Spannung und der kollektive Strom ermittelt.

$$\text{APPARENT POWER } S_1 = \text{RMS}(U_1) * \text{RMS}(I_1)$$

Die Scheinleistung ist grundsätzlich größer oder gleich dem Betrag der Wirkleistung:

$$S_{\Sigma} = U_{\Sigma} \cdot I_{\Sigma} \geq |P_{\Sigma}|. \text{ Nur im Fall gleich großer Spannungen und Ströme des Drehstromsystems sind die geometrische und}$$

$$\text{kollektive Scheinleistung identisch: } S_{\Sigma} \geq S_{\text{arith}} \geq S_{\text{geom}} \geq P_{\Sigma}.$$

Die kollektive Scheinleistung berücksichtigt die höhere Belastung eines Drehstromnetzes durch unsymmetrische Ströme.

Auch die gesamte **Blindleistung**, als kollektive Gesamtblindleistung bezeichnet, kann in einem Drehstromnetzwerk nicht direkt gemessen werden, sondern ist eine Rechengröße aus den zuvor ermittelten Leistungswerten:

$$\text{REACTIVE POWER } Q = \sqrt{S^2 - P^2}$$

Das Verhältnis aus dem Betrag der Wirkleistung zur Scheinleistung bestimmt den **Leistungsfaktor (Power Factor)**: Der Leistungsfaktor kann max. den Wert 1 erreichen. Dann ist die Gesamtblindleistung 0 var. Er ist somit ein Qualitätsfaktor für die Nutzung der Energieübertragung. Ein optimaler Netzzustand liegt vor, wenn der Zeitverlauf des Stroms proportional zur Spannung verläuft und beide sinusförmig sind, alle drei Leiter des Drehstromsystems gleichmäßig belastet sind, Spannung und Strom innerhalb der Mittelungszeitspanne konstant bleiben.

Strom- und Spannungssignale gleicher Frequenz können nur Wirkleistung und Verschiebungsblindleistung erzeugen, bei Unsymmetrie zusätzlich noch Unsymmetrieblindleistung. Strom- und Spannungssignale unterschiedlicher Frequenz (Oberschwingungsanteile) erzeugen Verzerrungsblindleistung.

$$\text{POWER FACTOR (rad)} = \cos \varphi = \frac{R}{S}$$

$$\varphi \text{ (Winkelgrad } ^\circ) = \varphi * 57.29$$

## Leistungsberechnung in catmanEasy/AP

Bei der Leistungsberechnung gehen wir von harmonischen Signalen aus und setzen voll auf die weit verbreiteten Standard-Formeln. Die Leistungsberechnung in catmanEasy/AP stützt sich auf ein Fenster-basiertes Verfahren. Die Genauigkeit der Leistungsberechnung hängt somit von der Grundfrequenz des Signals und der gewählten Fensterbreite ab.

Beispiel: 50 Hz Grundschnwingung -> 20 ms eine Periode -> 100 ms Fenster -> 5 Perioden im Mittel. Die berechnete Leistung kann zudem gefiltert werden.

Bei einer vollständigen Berechnung aller Größen in catmanEasy/AP werden Effektivwert (RMS) und auch der Mittelwert (MEAN) über ein Zeitfenster ermittelt.

### Die Formeln für Effektivwert (RMS) und Mittelwert (MEAN)

$$RMS(n) = \sqrt{((1-a) * Messwert(n)^2 + a * RMS(n-1))}$$

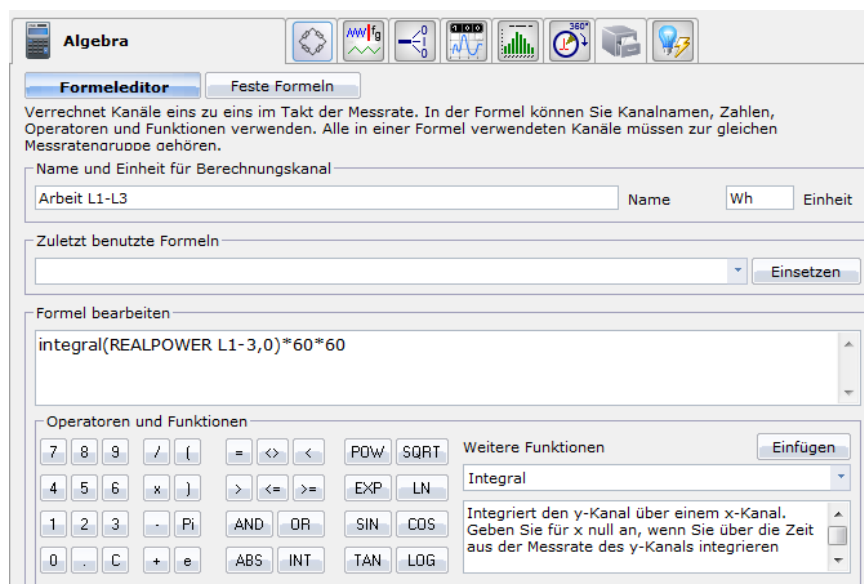
Wobei  $a = \exp(-1/(Messrate * Zeitfenster))$  ist. Analog wird MEAN gebildet:

$$Wobei a = e^{\frac{-1}{Messrate * Zeitfenster}}$$

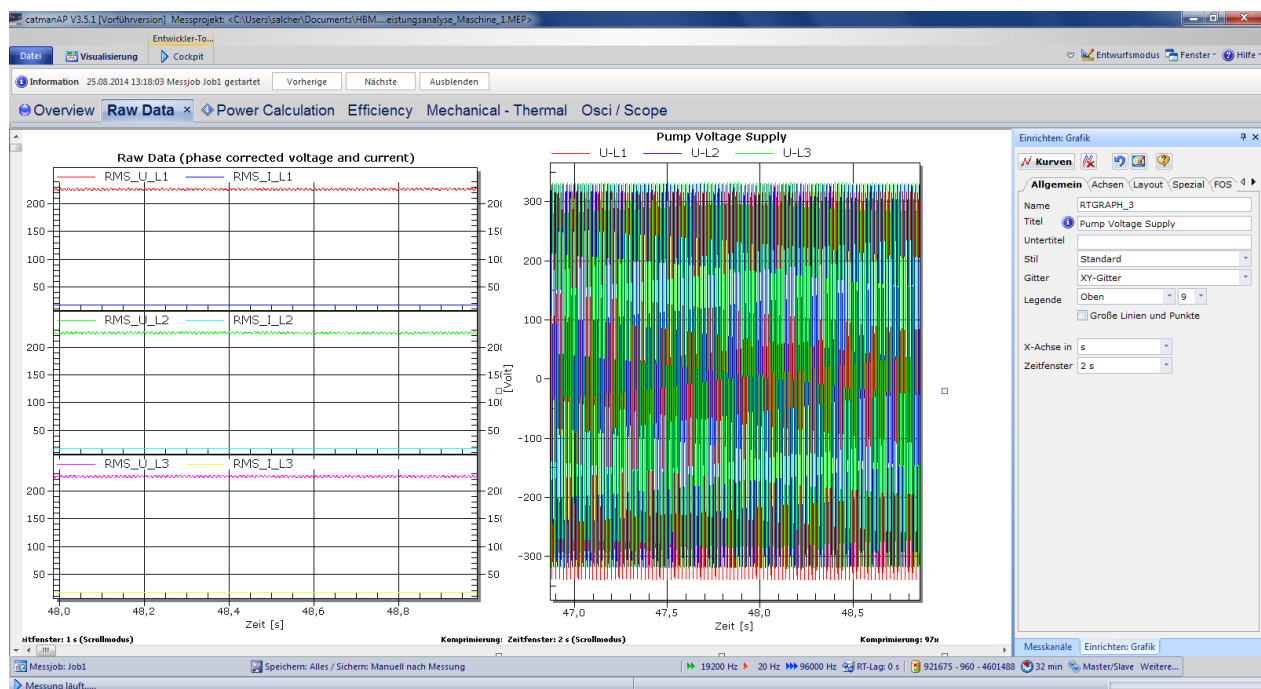
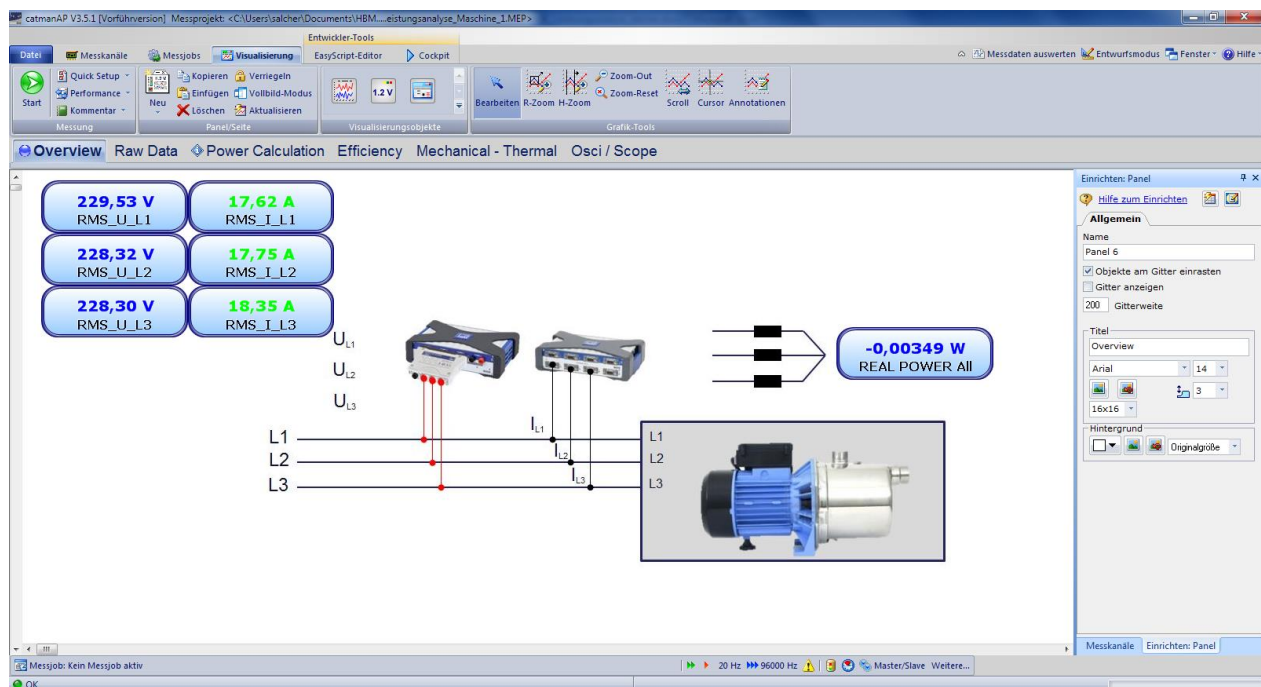
$$MEAN(n) = (1-a) * Messwert(n) + a * MEAN(n-1)$$

Das Verfahren ist schneller, benötigt praktisch keine Puffer und kann daher beliebig große Zeitfenster realisieren.

### Berechnung der Arbeit

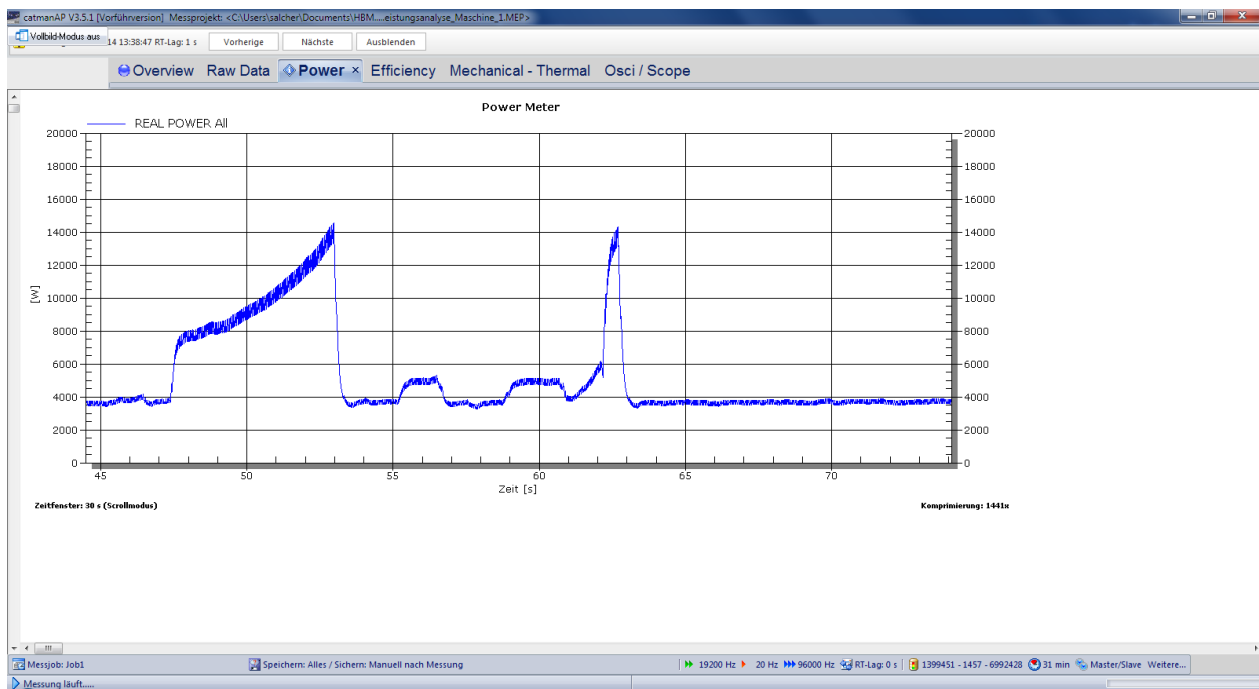


## Visualisierung in catmanEasy/AP

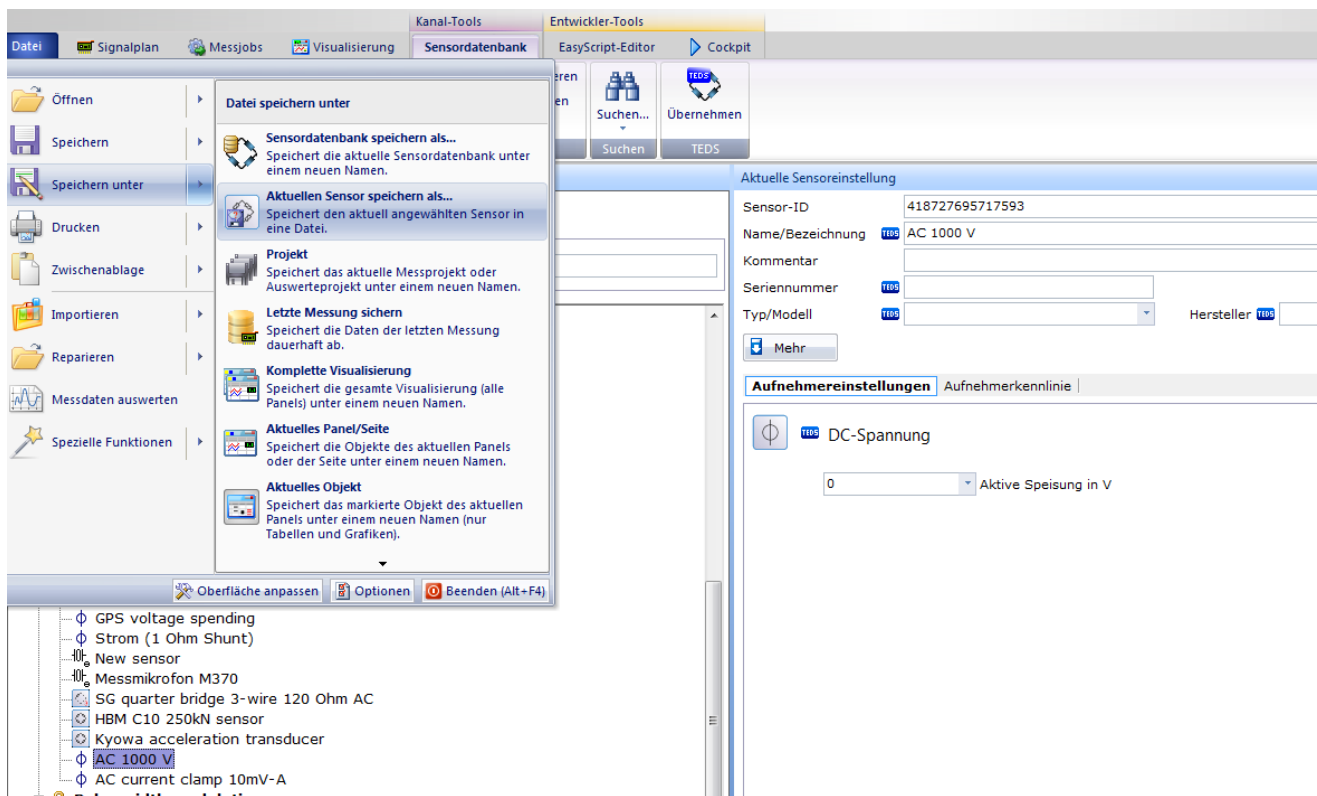


### Abbildung des Maschinenzyklus

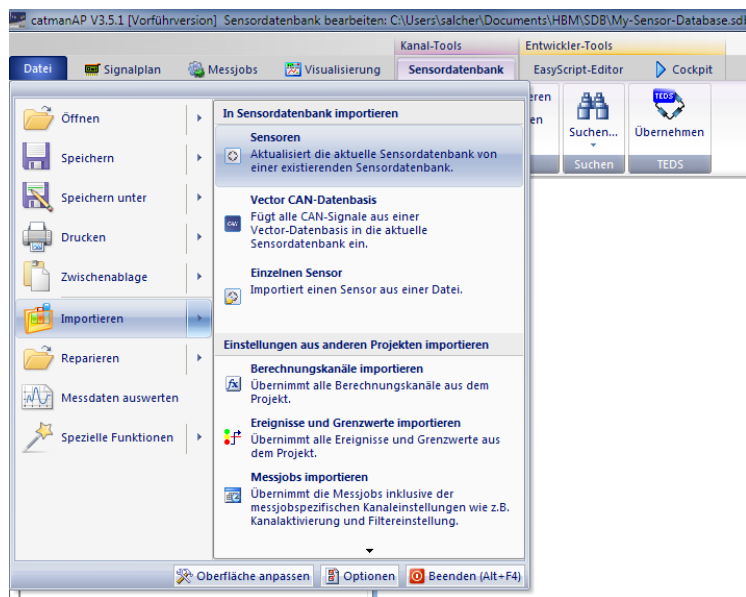
Der Maschinenzyklus beträgt ca. 110 Sekunden. Ein digitales Statussignal (24 V für 300 ms) aus der Maschinensteuerung fungiert als Starttrigger und startet den Messjob, erfasst die Daten und speichert diese nach 100 Sekunden in eine Binärdatei. Der Messjob wartet dann erneut auf den Starttrigger. Der Messjob kann unendlich lange oder wie in unserem Falle 30 mal durchgeführt werden. Diese Referenzmessungen sollen post-process verglichen und analysiert werden.



## Sensordaten exportieren



### Auf dem neuen PC ein einzelnes Sensordatenblatt in catmanEasy/AP importieren:



### Quellenangabe:

- D. Schröder: Elektrische Antriebe – Regelung von Antriebssystemen, 2. Auflage, 2001, Springerverlag
- Elektronische Messtechnik, Vogel Fachbuch, Ausgabe 6
- etz, Leistungsmessung nach DIN 40110 – Blindleistung bei rein ohmscher Last?  
Prof. Dr.-Ing. Friedhelm Milde, Leiter des Instituts für Leistungselektronik und Antriebstechnik der Fakultät für Elektrotechnik an der Hochschule Mannheim.
- Datenblatt Strommesszange WZ11 und WZ12 von Gossen Metrawatt

-- end

**Legal Disclaimer:** TECH NOTES are designed to provide a quick overview. TECH NOTES are continuously improved and so change frequently. HBM assumes no liability for the correctness and/or completeness of the descriptions. We reserve the right to make changes to the features and/or the descriptions at any time without prior notice.