



# Präzisionsmessungen in der Leistungselektronik

Und auf was es ankommt



Elsys AG, Peter Wilhelm  
swissT.meeting, 23. September 2009

# Inhaltsverzeichnis

## Datenerfassung

- Vertikal
- Horizontal
- Trigger
- Phase

## Datenvisualisierung

## Datenanalyse

## Anwendungen



# Datenerfassung

## Eingangs-Verstärker

- Genauigkeit
- Eingangsbereich
- Vertikale Auflösung
- Eingang-Schaltung
- Mehr-Kanalig

## Phasenkorrektur

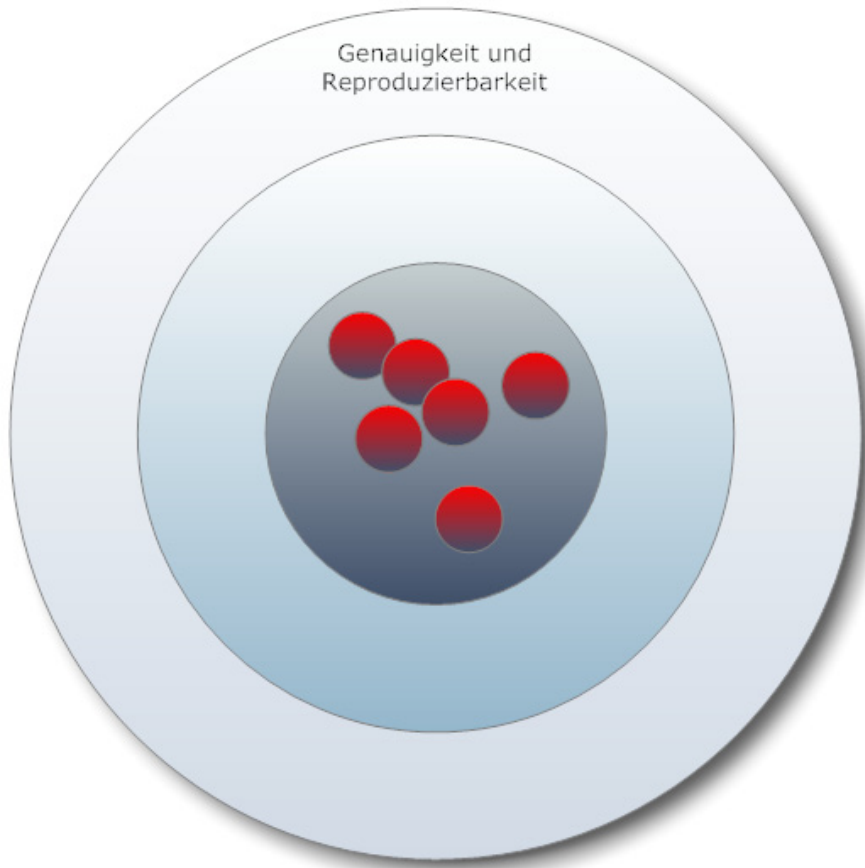
## Zeitbasis-Stufe

- Datenerfassungs-Mode
- Abtastrate
- Erfassungs-Speicher
- Zeit-Synchronisation

## Trigger

- Flankentriggerung
- Advanced Triggerung

# Genauigkeit und Reproduzierbarkeit



Wie genau ist meine Messung?

Die Genauigkeit ist oft angegeben in % FSR + Offsetfehler.

Mit viel Kalibrations-Aufwand kann eine Genauigkeit von  $<0.1\%$  des Messergebnisses erreicht werden.

Eine geringere Aussteuerung des Eingangsbereiches bedeutet grösseren Messfehler.

Je genauer das Messinstrument, desto weniger muss dessen Ungenauigkeit in Betracht gezogen werden.

# Eingangsverstärker - Eingangsbereich

Rauscharmer Eingangs-Verstärker.

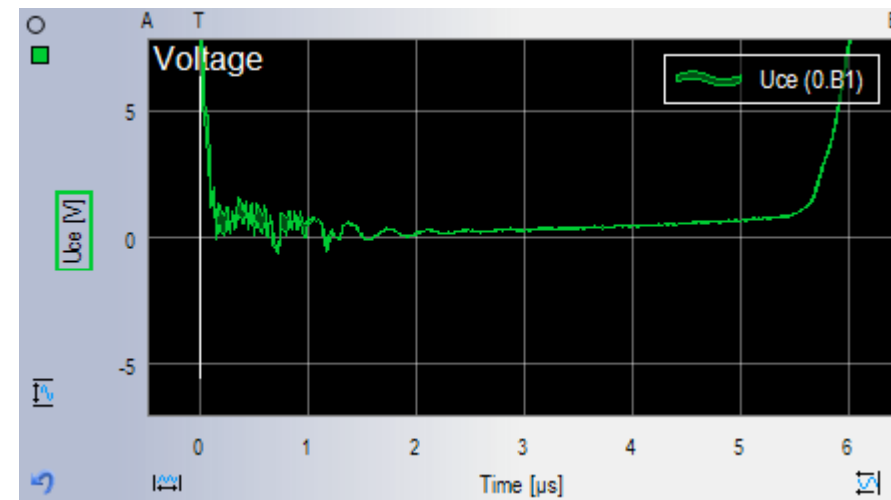
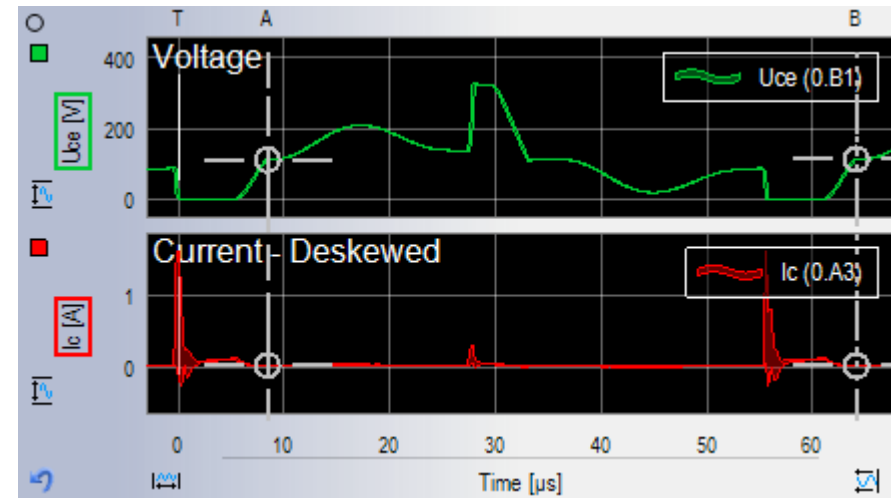
Grosser Dynamikbereich erwünscht zur direkten Messung.

Tastköpfe zur Erweiterung des Bereiches.

Offset-Kompensation von überlagerter Gleichspannung erwünscht, um im idealen Messbereich zu arbeiten.

Idealerweise nutzt das Eingangssignal 80% des Eingangsbereiches.  
Wichtig bei geringer Auflösung und falls der Fehler in % FSR angegeben ist.

Mehrere Kurvenfenster helfen Kurven zu organisieren und Eingangsbereiche auszunutzen.



# Eingangsverstärker - Vertikale Auflösung

Je höher die vertikale Auflösung des ADCs in bit umso kleiner der kleinste Schritt in Volt, der aufgelöst werden kann.

Eingangsbereich (FSR) :  $2^{\text{Anzahl Bit}}$   
berechnet die Auflösung in Volt.

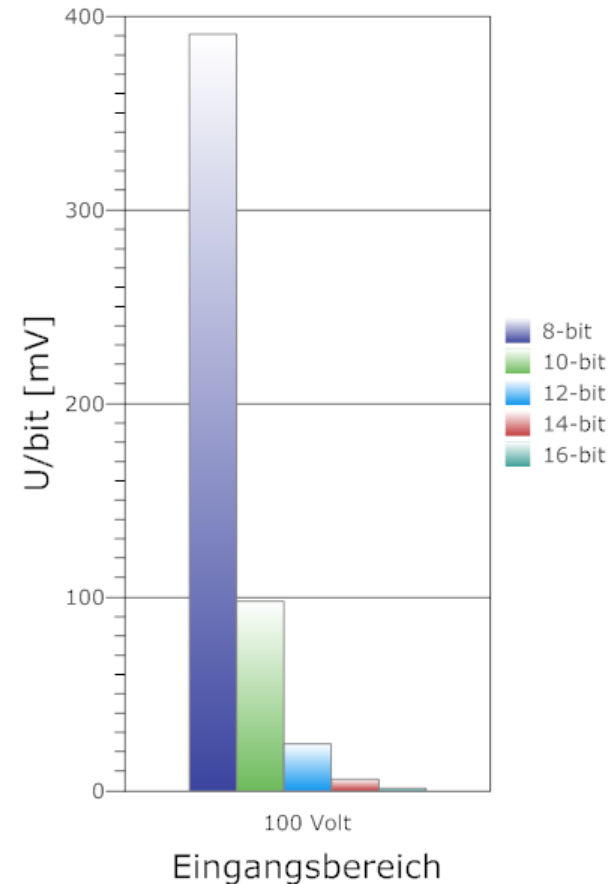
8-bit oder 10-bit der schnellen Oszilloskopen genügt meistens nicht.

Auflösungen von 12-, 14- oder 16-bit sind gefordert bis zu 100 MS/s.

Eingangsbereich gut ausleuchten, um keine Auflösung und damit Genauigkeit zu verschenken.

Die beste Auflösung nützt nichts bei verbrauchter Eingangs-Stufe.

Kleinste aufgelöste Spannung in Funktion der # Bit



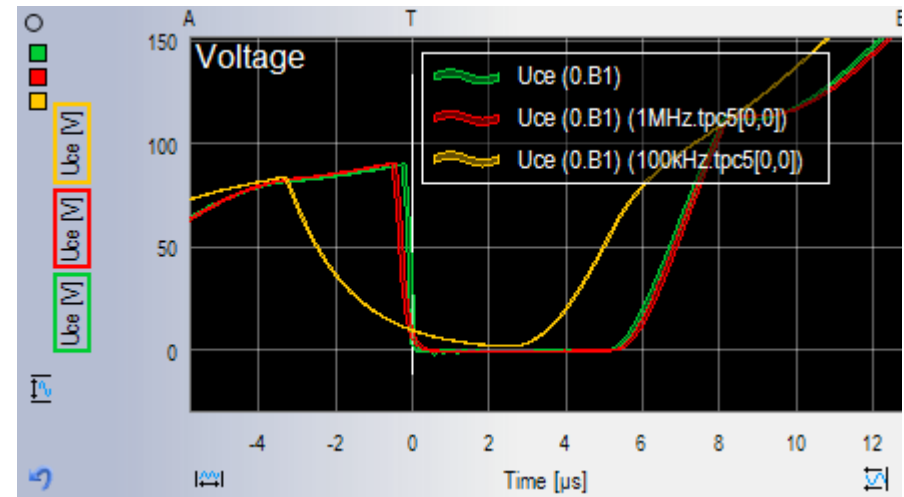
# Eingangsverstärker - Analoge Bandbreite

Nicht zu nahe an den -3dB Punkt herangehen, die Amplitude ist schon auf 70% gesunken.

Die Bandbreite ist direkt verknüpft mit der schnellstmöglichen Anstiegszeit. Oft sieht man: Anstiegszeit =  $0.35/\text{Bandbreite}$ ; Der Faktor 0.35 rührt her vom idealen 1-poligen Tiefpass. Man findet Faktoren im Bereich 0.35 - 0.5 in Funktion des Roll-Offs des Verstärkers.

Falls ein Tastkopf verwendet wird, so hat auch dieser eine Bandbreite und Einfluss auf die Systembandbreite.

Die erwartete Anstiegszeit des Signales leitet sich ab aus System-Anstiegszeit und gemessener Anstiegszeit.



$$\text{Bandbreite} = \frac{0.35}{t_{Tran}} \quad t_{Tran} = \frac{0.35}{\text{Bandbreite}}$$

$$t_{System} = \sqrt{t_{Tran}^2 + t_{Tastkopf}^2}$$

$$t_{Signal} = \sqrt{t_{Gemessen}^2 - t_{System}^2}$$

# Eingangsverstärker - Eingangsschaltung

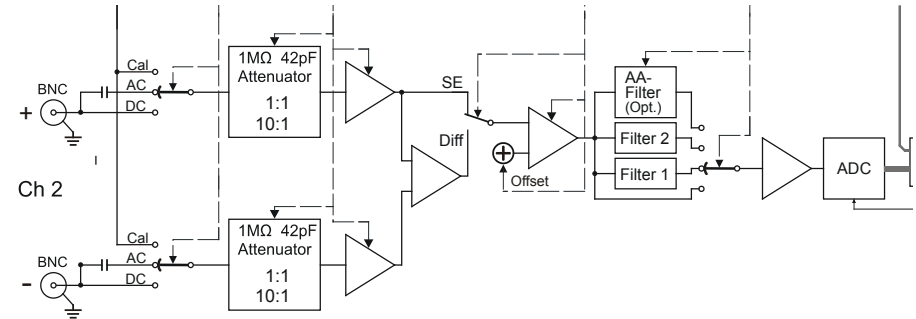
Viele Messungen in der Leistungselektronik sind nicht masse-bezogen (Single-Ended).

Differentialverstärker oder Differential-Eingangsstufe wird benötigt, um masse-frei zu messen.

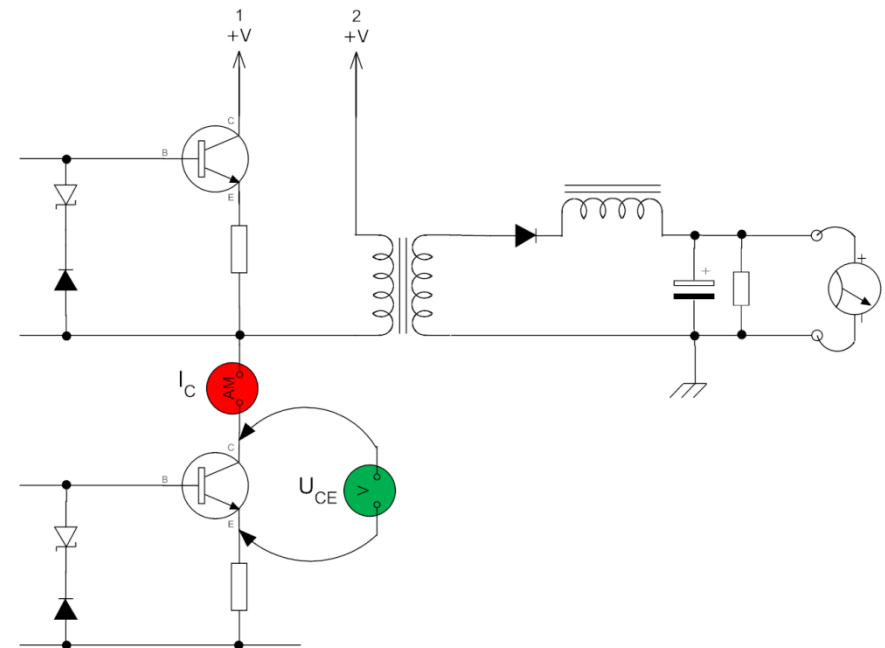
Es ist möglich, mit zwei massebezogenen Kanälen zu arbeiten und die Differenz in der Software zu bilden.

Für genauere Messungen ist eine echte Differential-Eingangsstufe erforderlich.

Differential-Tastköpfe müssen ein abgeglichenes Paar sein.



Channel 3 and 4 are similar as Ch 1 and 2  
4 Chn. Diff. TPCX Module



# Eingangungsverstärker - Mehrkanalig

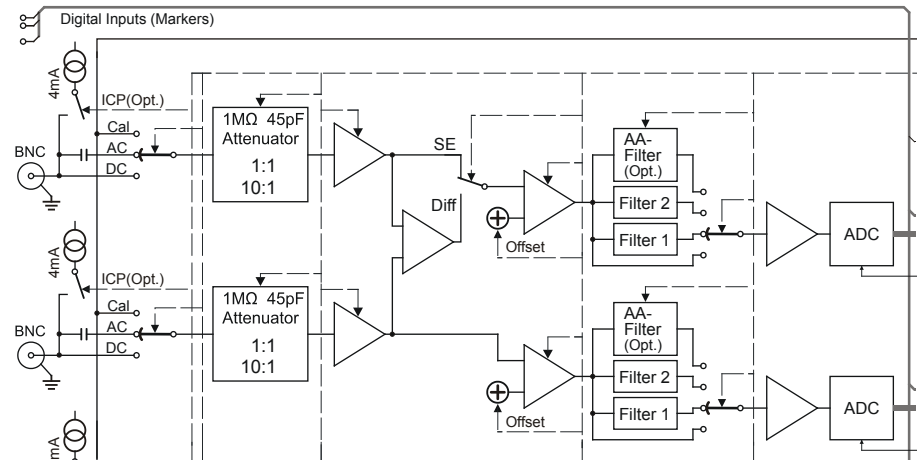
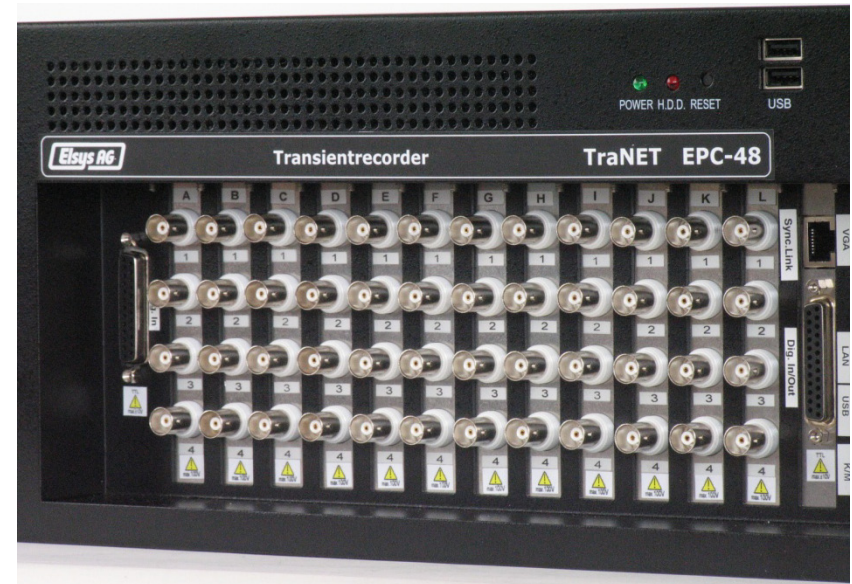
Oft werden mehr als 4 Kanäle benötigt.

1 Verstärkerstufe pro Kanal SE,     2  
Vorverstärker pro Kanal Diff.

1 ADC pro Kanal für synchrones  
abtasten.

Vielkanal-Systeme werden gebildet  
mittels sternförmigen Bus, der ein  
gemeinsames Referenztakt- und  
Triggersignal verteilt.

Die Software muss eine effiziente  
Bedienung ermöglichen.



# Zeitbasis-Stufe - Datenerfassungs-Mode

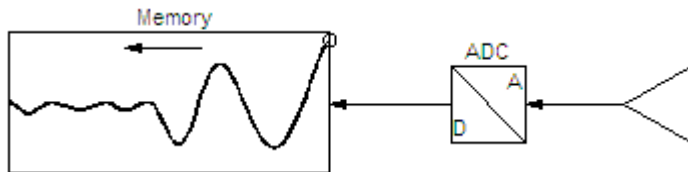
Unterschiedliche Anwendungen haben unterschiedliche Anforderungen an den Erfassungs-Mode.

## Scope- oder Live Mode

- Daten werden erfasst und visualisiert mit Lücken zwischen den Aufnahmen -> einfache qualitative Aufzeichnung.

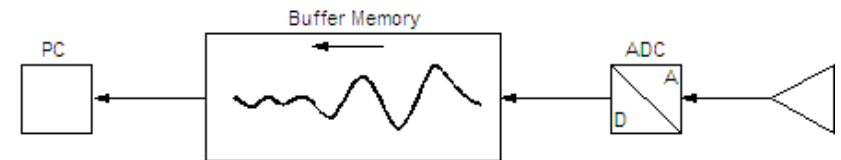
## Segment- oder Block Mode

- Daten werden praktisch lückenlos erfasst -> Burst-Mode Anwendungen.



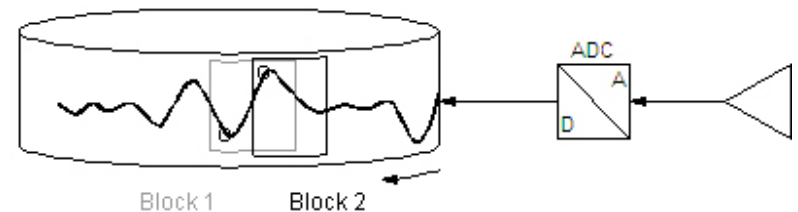
## Kontinuierliche Datenerfassung

- Lückenloses Aufzeichnen -> Langzeit-Aufnahmen, Ueberwachung.



## Segment- oder Block-Mode mit Ueberlappung.

- Die Ringspeicher-Technik erlaubt das Ueberlappen von Blöcken, womit Totzeiten zwischen den Aufnahmen verhindert werden können -> Ereignisgesteuerte Aufnahme mit Assoziierten Kanälen.



# Zeitbasis-Stufe - Abtaststrategie

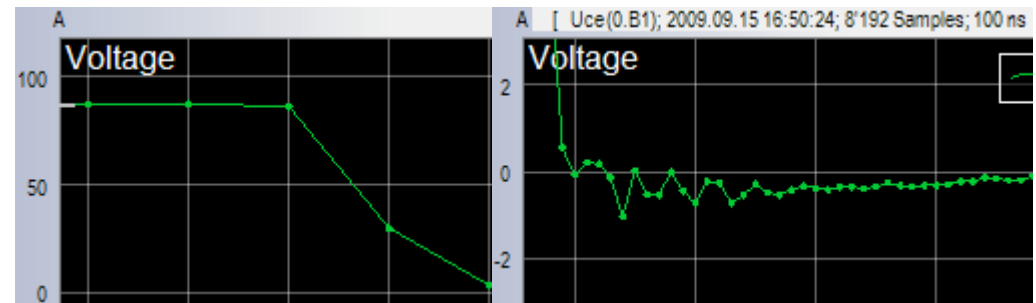
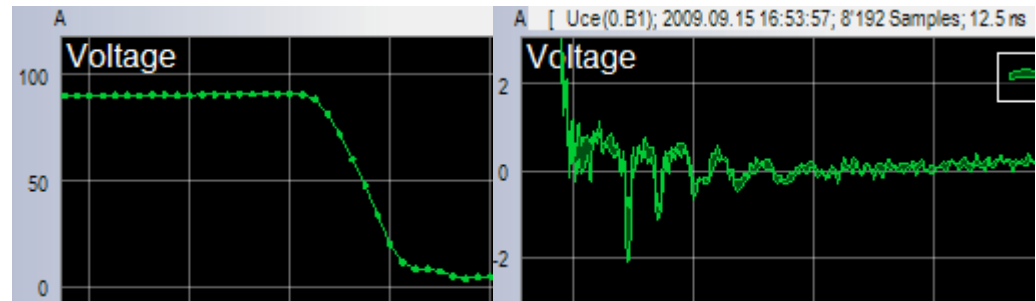
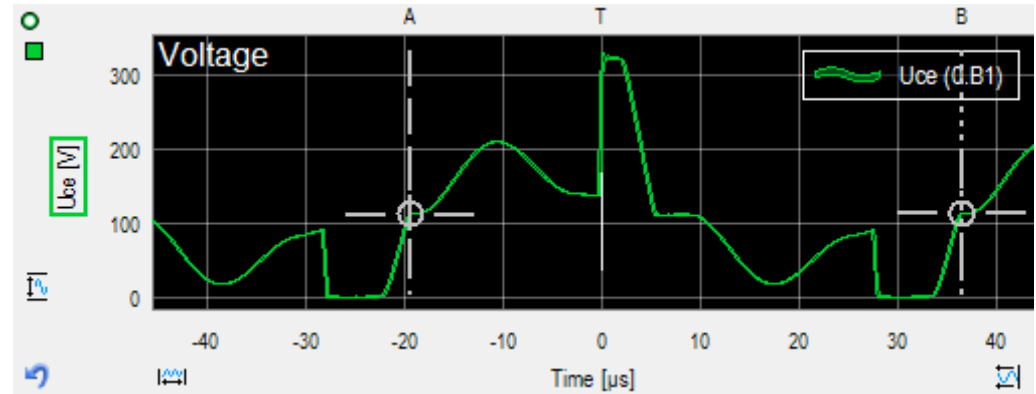
Nyquist Theorem - Mindestens 2 Samples pro Periode.

Sinuskurven mit mind. 4 Werten pro Periode.

Rechteck-Kurve mit mind. 8 Werten pro Periode.

Steile Flanken mit mind. 2 Werten auf der Flanke -> Nyquist Theorem.

Für genaue Messungen von Skalars wie Anstiegszeit und Steilheit sind 5 Werte auf der Flanke erforderlich.



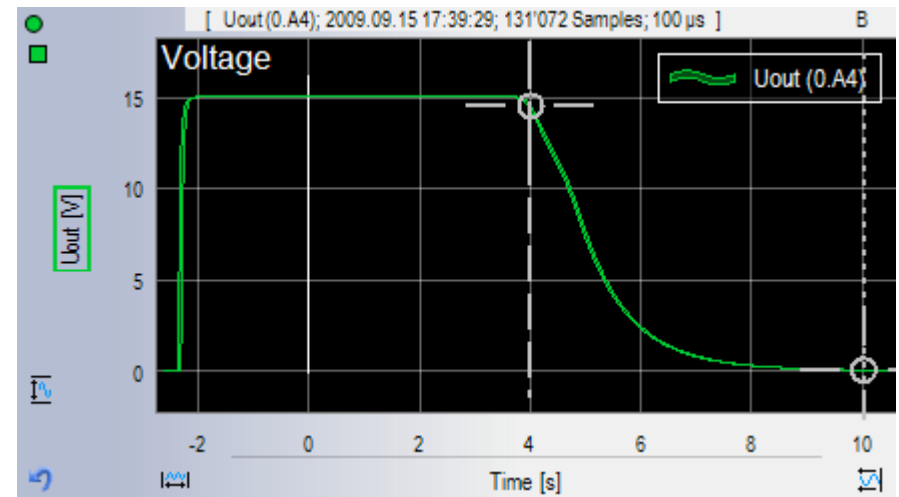
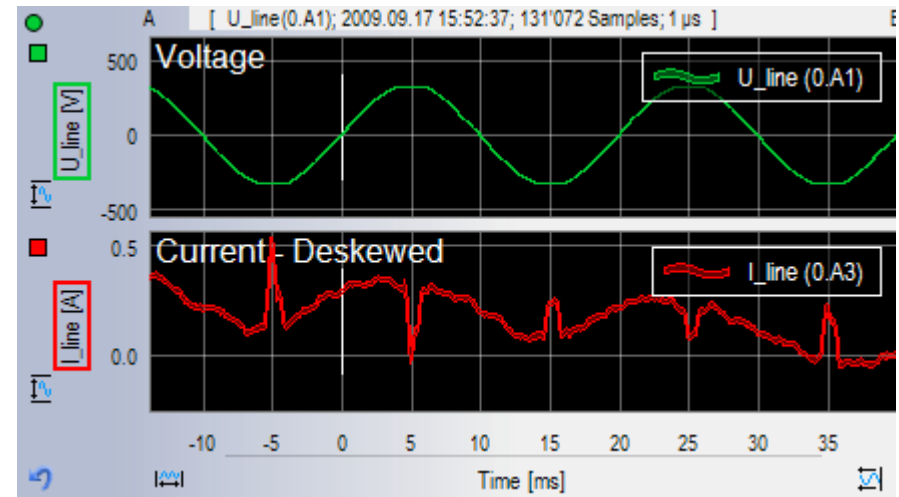
# Zeitbasis-Stufe - Erfassungsspeicher

Bei 50 Hz Signal Zeitfenster von min. 20 ms bei genügender Zeit-Auflösung.

Ein grösserer Speicher erlaubt ein grösseres Aufzeichnungsfenster bei gleicher Abtastrate.

Mehr Speicher bedeutet grössere Blöcke im Block-Mode

Die kontinuierliche Erfassung ist nicht betroffen, sondern schreibt direkt auf die Harddisk.



# Zeitbasis-Stufe - Zeit-Synchronisation

Zeitbasis-Stabilität in ppm des Erfassungsfensters, je kleiner desto besser. Die Takt-Genauigkeit bezieht sich auf die Langzeitstabilität der Zeitbasis.

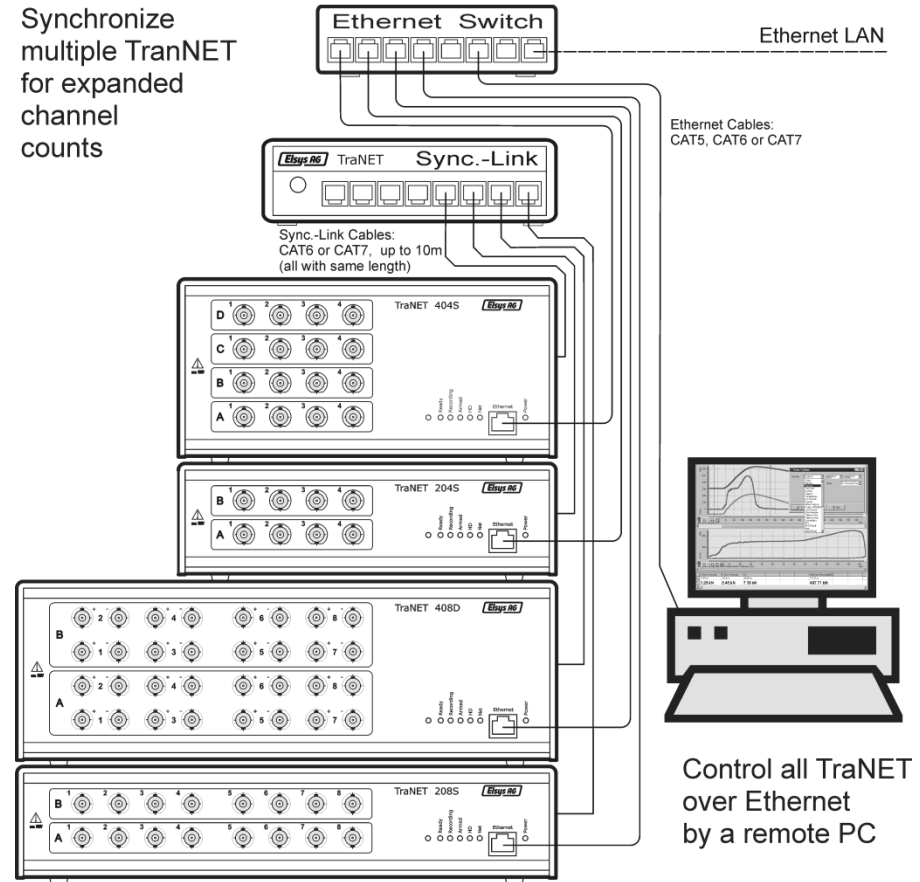
Minimale Zeitverschiebungen zwischen den Kanälen.

Bei mehreren Modulen oder Einschüben minimaler Zeitversatz von Modul zu Modul.

Mehrere Instrumente können synchronisiert werden mit IEEE 1588 oder proprietären Lösungen.

## Multiple Instrument Synchronization

Synchronize multiple TranNET for expanded channel counts



# Trigger - Flankentriggerung

Flankentriggerung ist standardmässig zu finden.

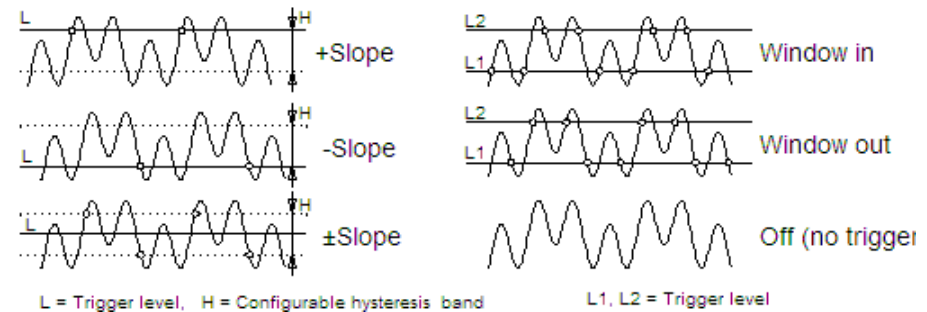
Fenster-Triggerung als Erweiterung der Flankentriggerung mit zwei Triggerschwellen.

Oft ist es schwierig stabil zu triggern, da die Trigger-Bedingung mehrmals erfüllt ist pro Periode.

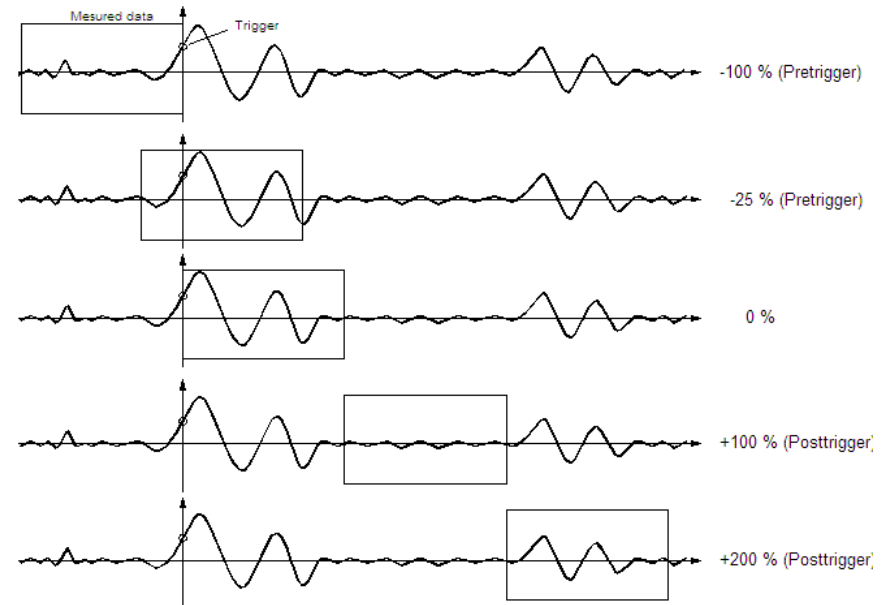
Dieser Trigger-Typ ist meistens nicht geeignet, um Anomalien im Signal zu finden.

Pre- und Post-Trigger Einstellungen in allen Datenerfassungs-Modi

Trigger-Kind



Trigger delay

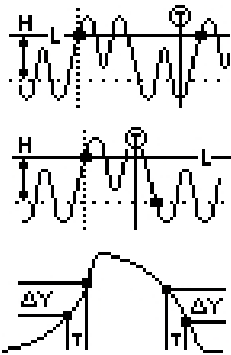


# Trigger - Erweiterte Triggerfunktionen

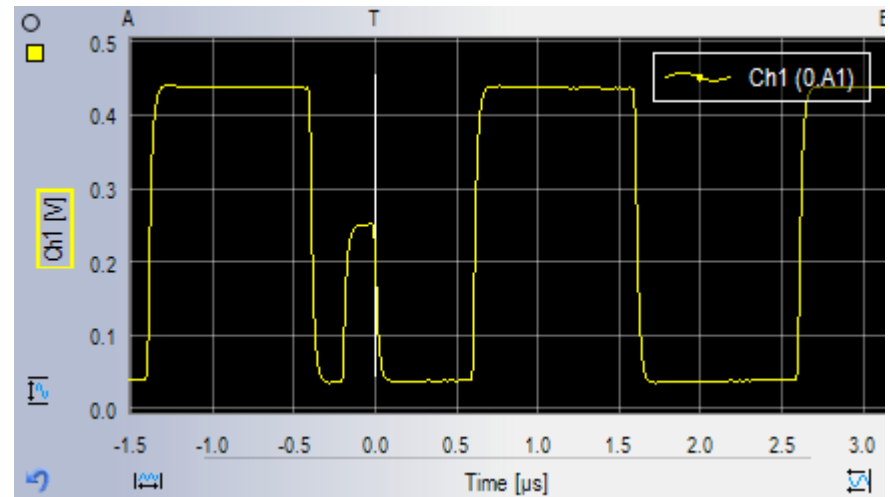
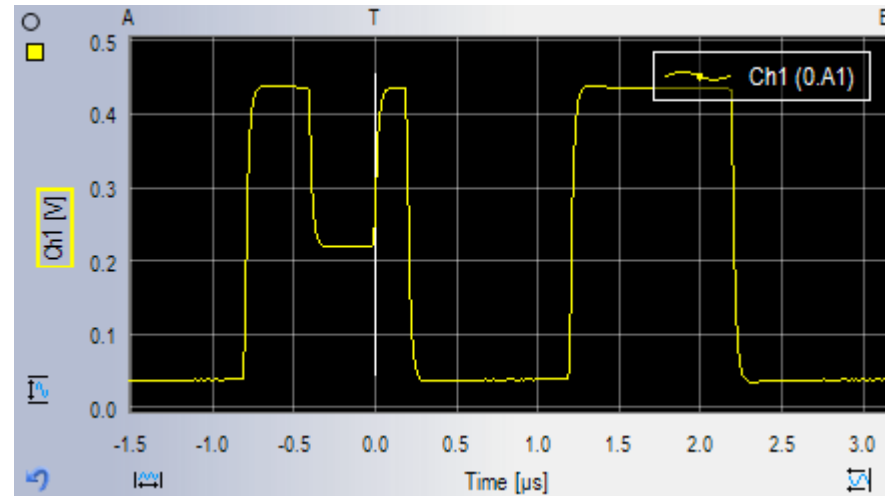
Erst erweiterte Triggerfunktionen erlauben seltene Vorkommnisse im Signal zu isolieren.

## Trigger-Modi

- Periode oder Interval
- Pulsbreite
- Slew Rate
- ODER-Verknüpfung aller Trigger-Quellen
- Triggern auf das Produkt zweier Kurven - Leistungskurve



Erweiterte Triggerfunktionen sind ein Muss bei der Fehlersuche



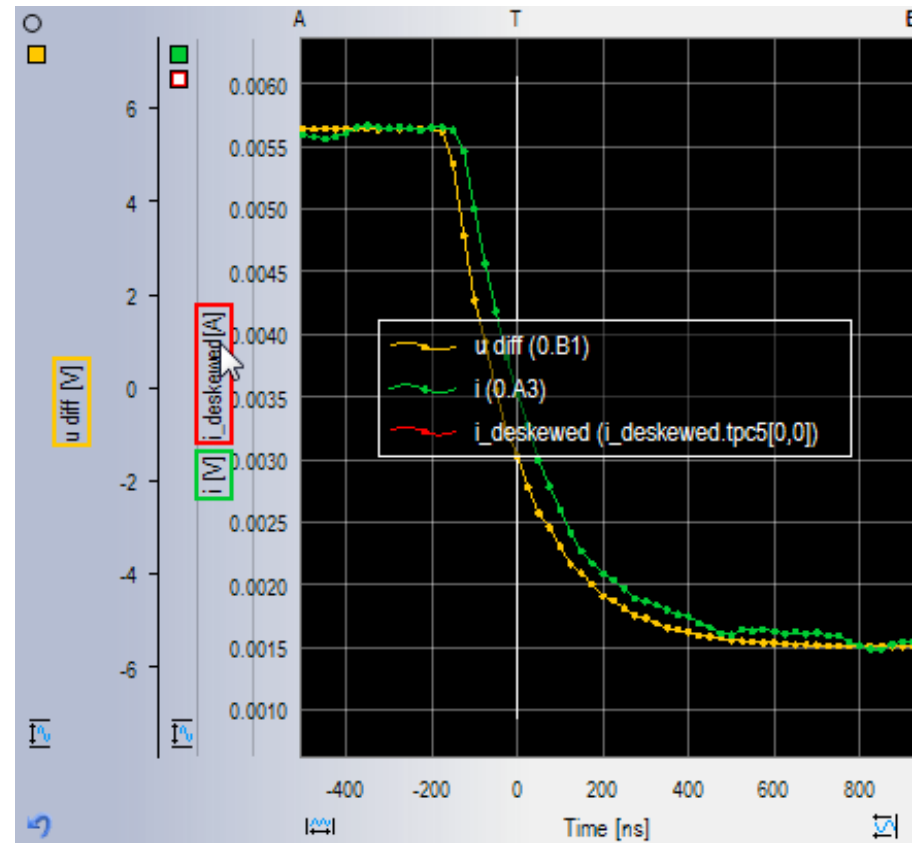
# Phasenfehler-Kompensation

Unterschiedliche Kabellängen  
kompensieren

Tastköpfe können ungleiche  
Bandbreiten und unterschiedliche  
Signal-Laufzeiten haben

Ansatz: gleiche Quelle verwenden für  
Spannung und Strom; Signale  
überlappen, Knie der negativen  
Flanke verwenden zum Abgleich

Erst nach einem Abgleich sollten  
Messgrößen wie Phase und  
Wirkleistung bestimmt werden



# Datenvisualisierung

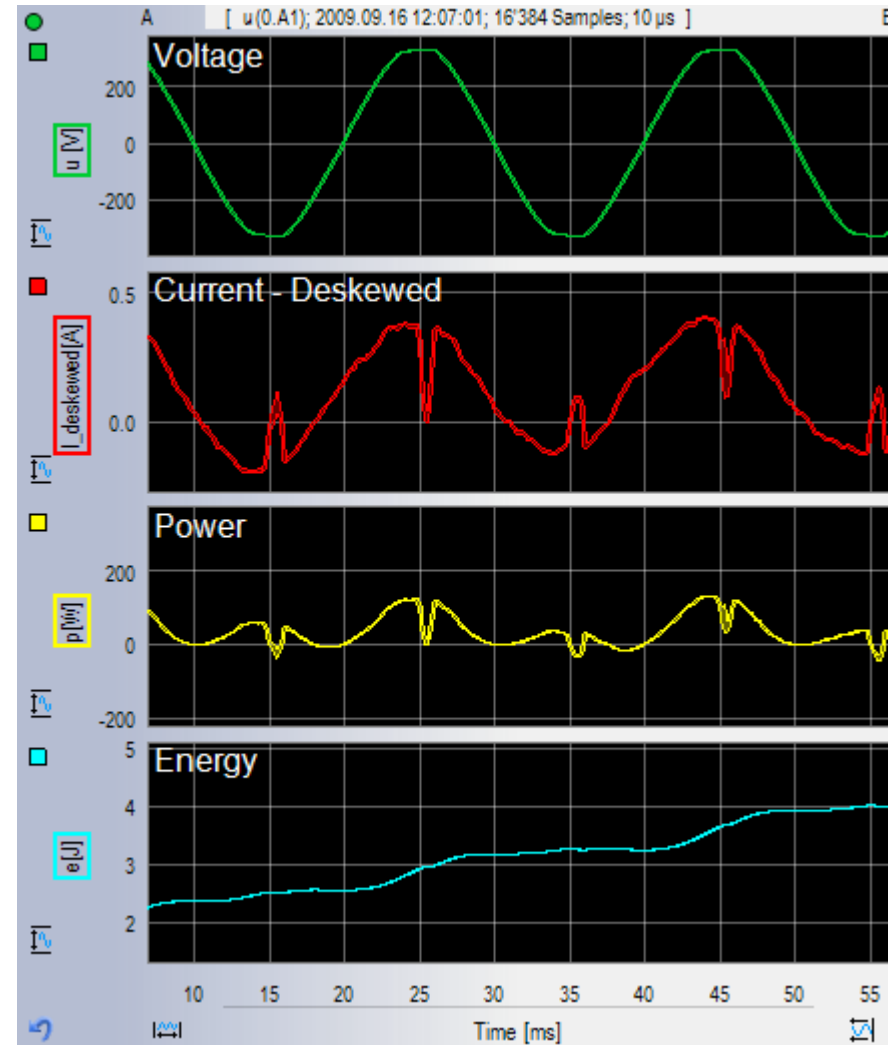
Darauf achten, dass die Kurven übersichtlich dargestellt sind und trotzdem den vollen Eingangs- und Displaybereich nutzen.

Kurven übereinander zum Vergleich.

Zeitachse relativ oder absolut.

Y-t, X-Y, Spektrum.

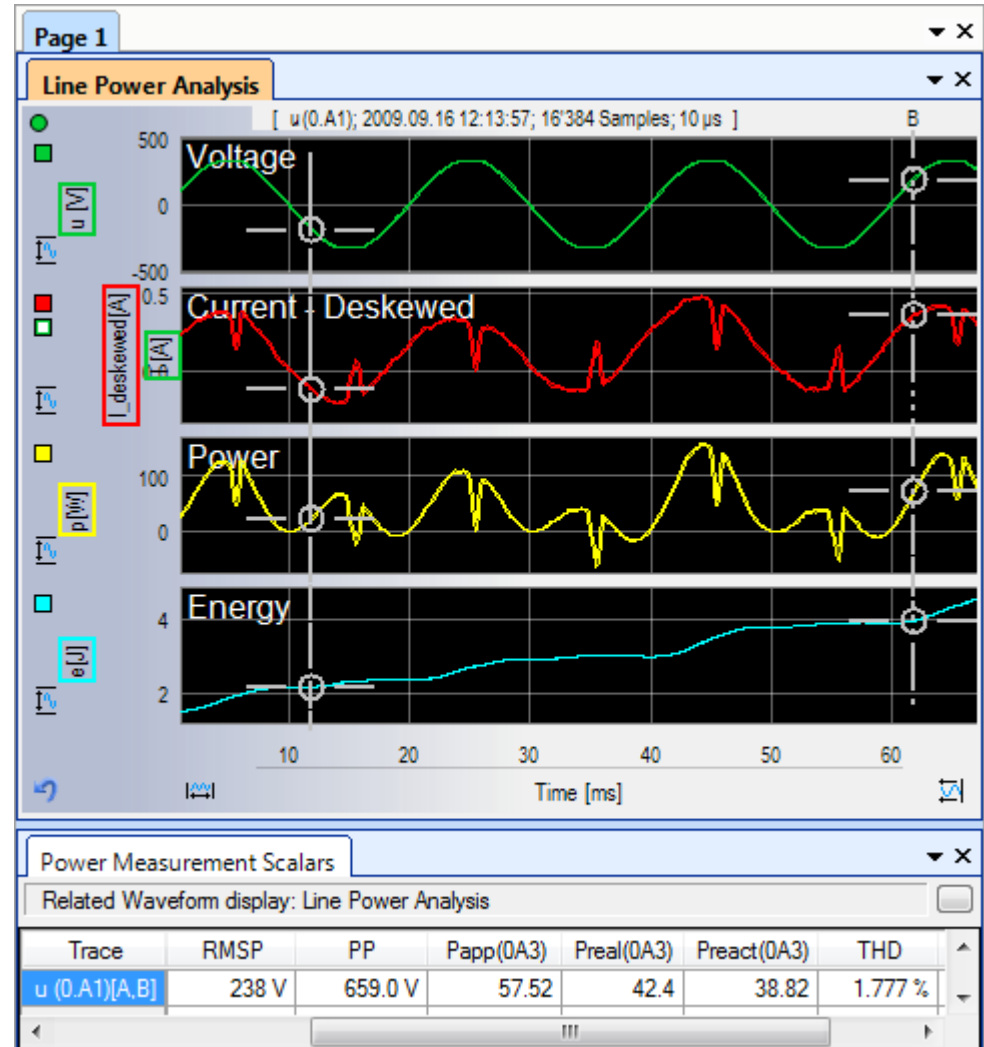
Unbeschränkter Zoom-Faktor bis zu den Samples und den Bits.



# Datenanalyse - Skalarfunktionen

## Leistungsmessungen am Netz

- Scheinleistung S
- Wirkleistung P
- Blindleistung Q
- Power Factor
- $\cos(\phi)$
- Phase
- P1 - Leistung bei der Fundamentalfrequenz
- THD - Totale Harmonische Verzerrung



# Datenanalyse - Mathematikfunktionen

## Leistungsmessungen am Netz

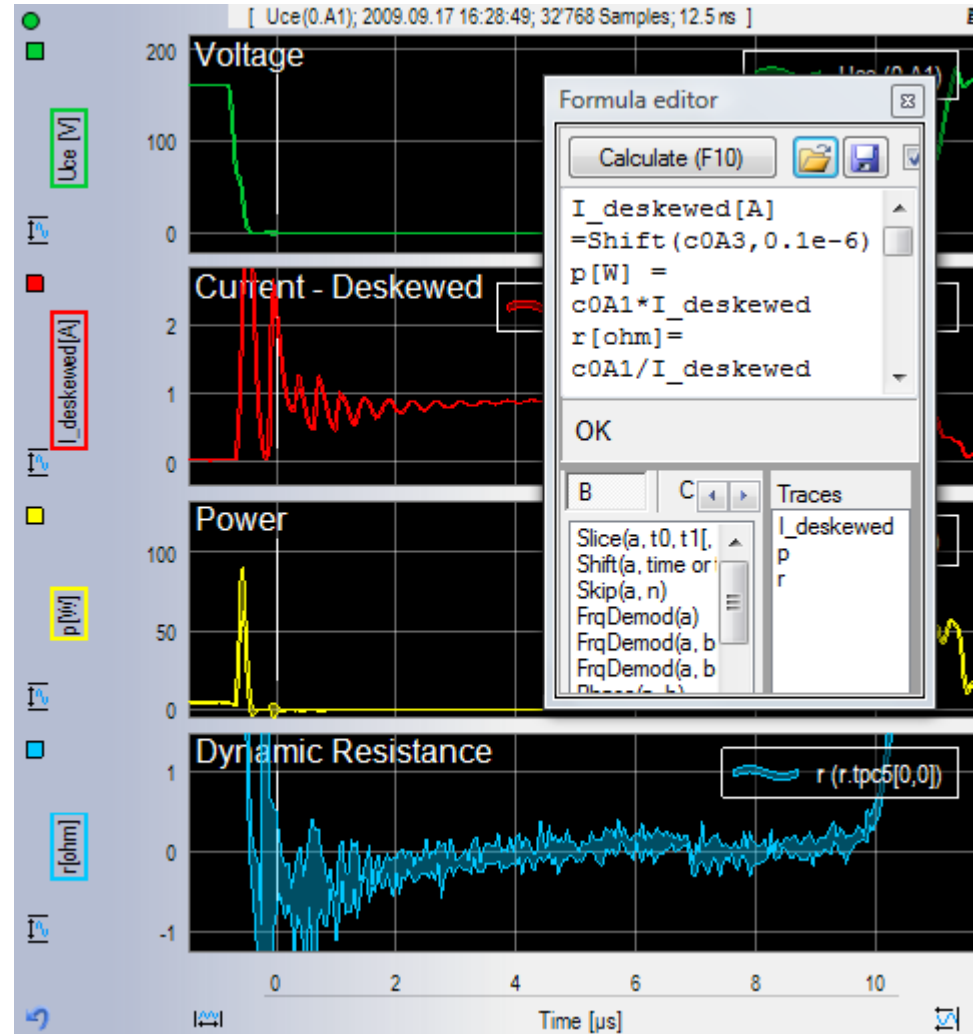
- Multiplikation - Leistung
- Integration - Energie
- Zeitverschiebung
- Glättungs- und Filterfunktionen

## Leistungsmessungen am Bauteil

- Multiplikation - Verlustleistung
- Division - Dynamischer Widerstand
- Zeitverschiebung

## Modulations-Analyse

- Frequenz-Demodulation
- Pulsbreiten-Demodulation
- Tastverhältnis-Demodulation

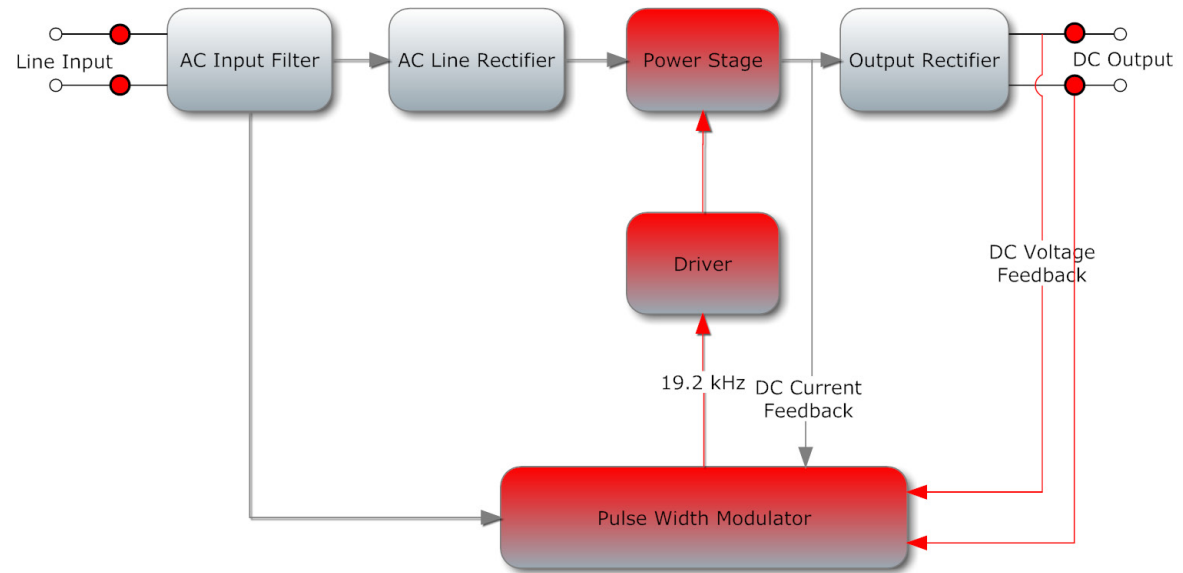


# Anwendungen

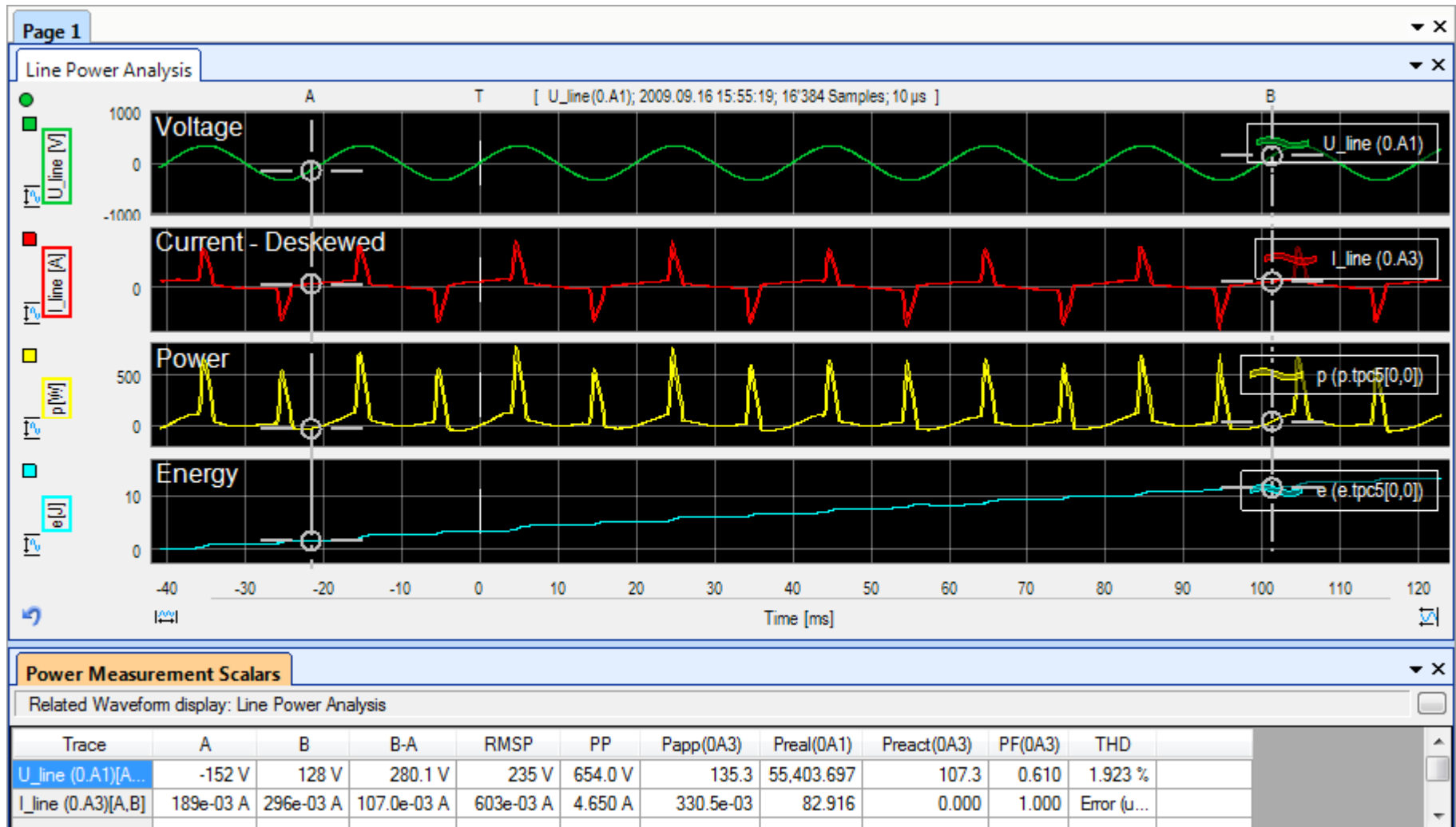
Messungen am Netz

Messungen am Bauteil im  
Schaltnetzteil

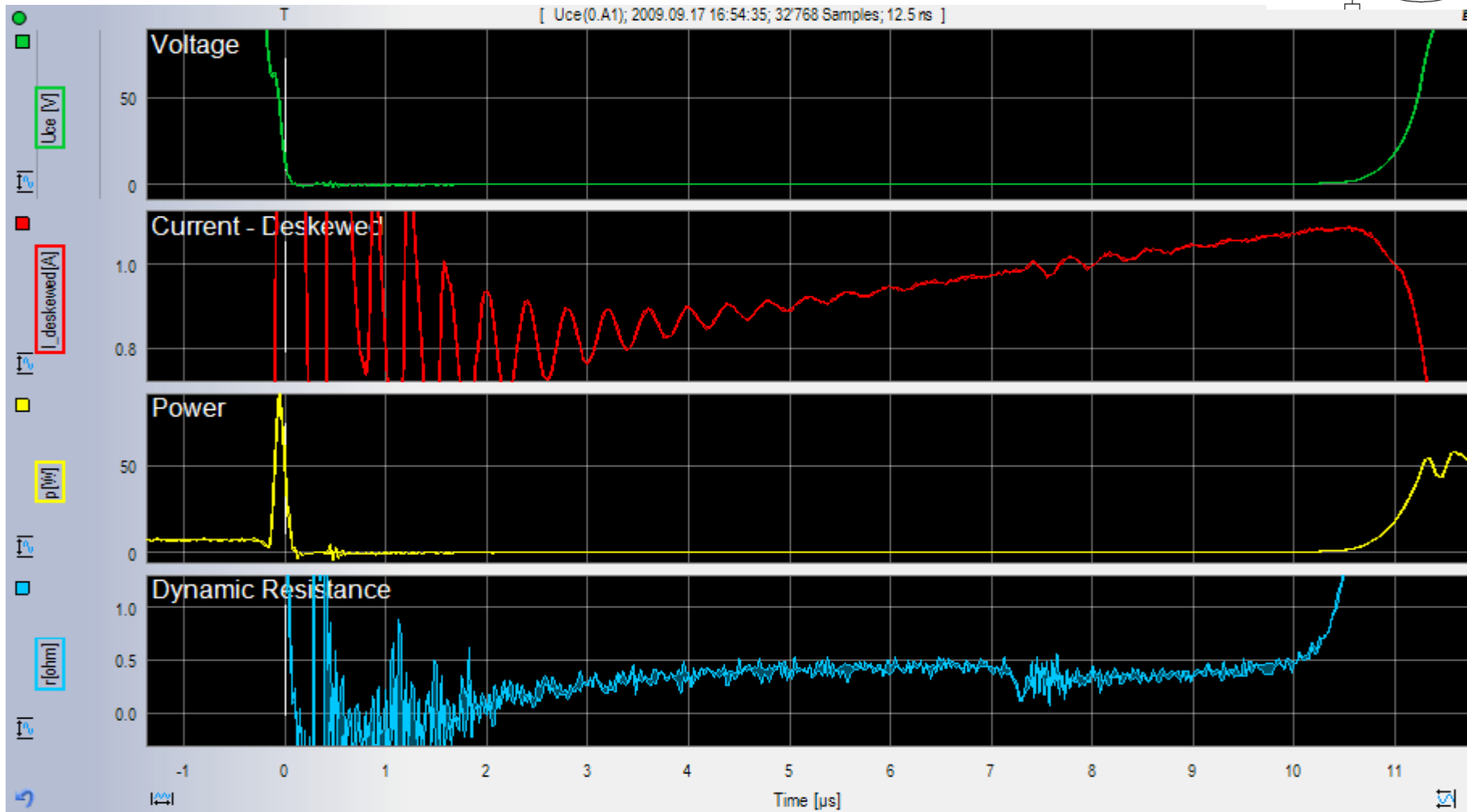
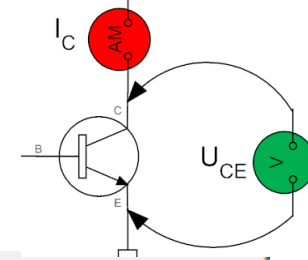
Messungen am Regelkreis im  
Schaltnetzteil



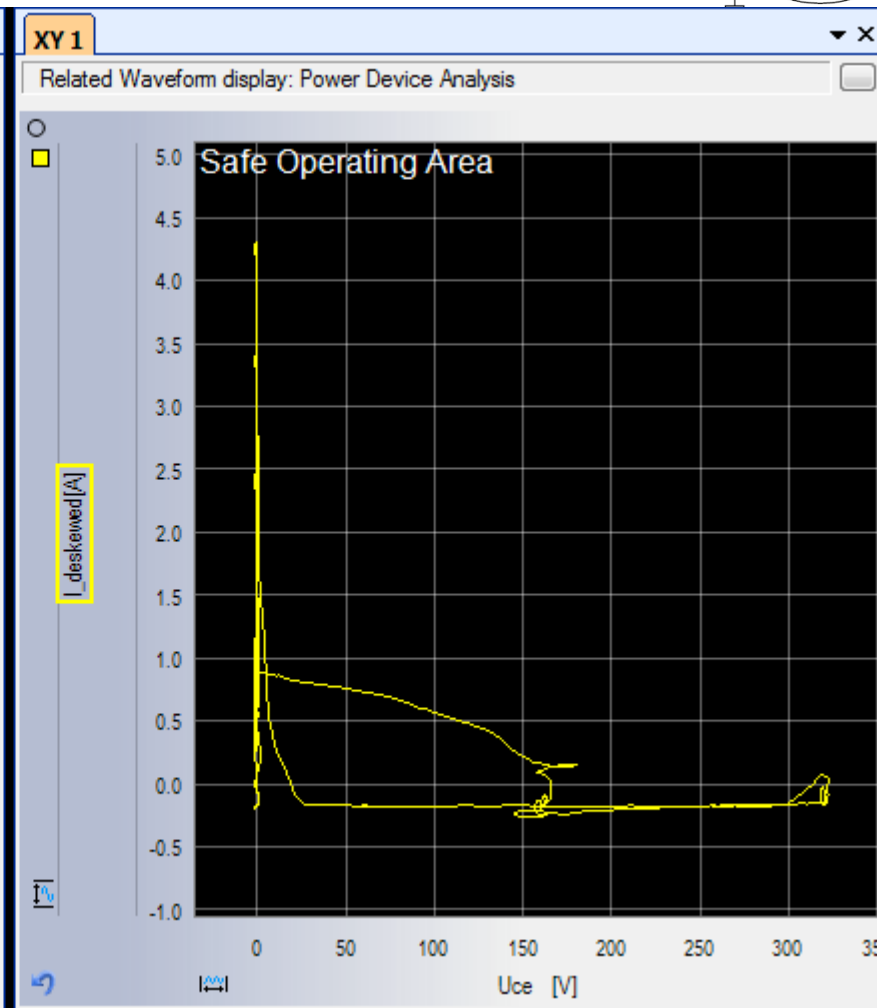
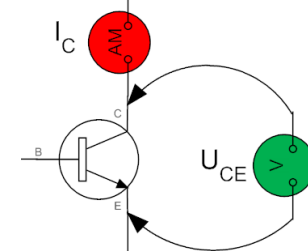
# Messungen am Netz



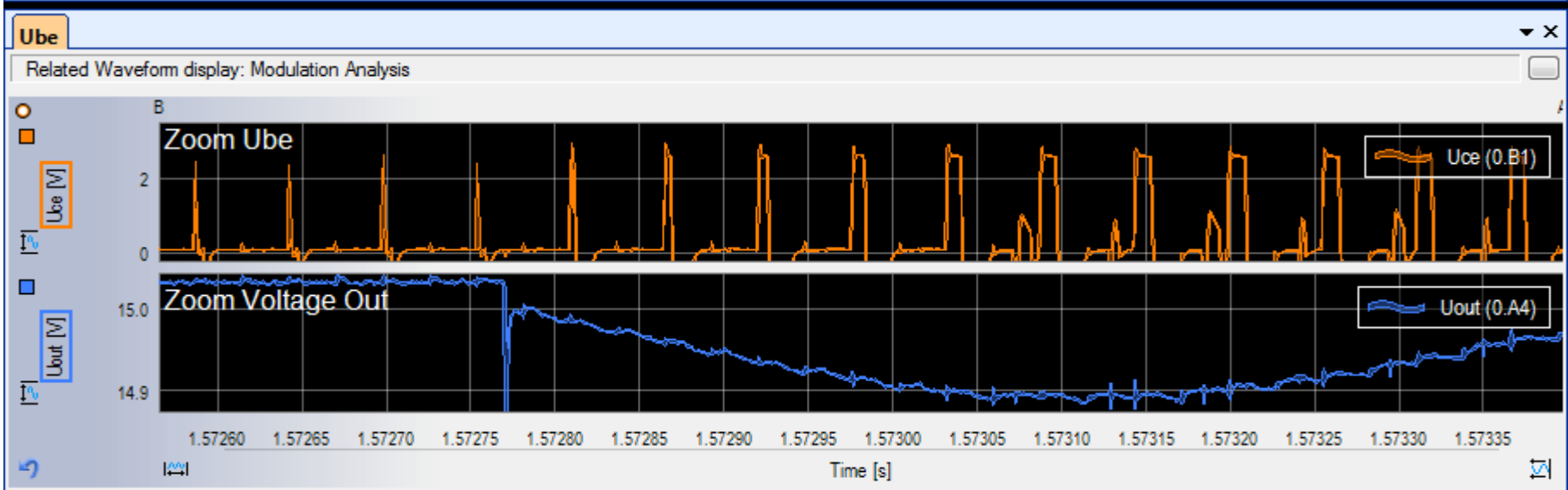
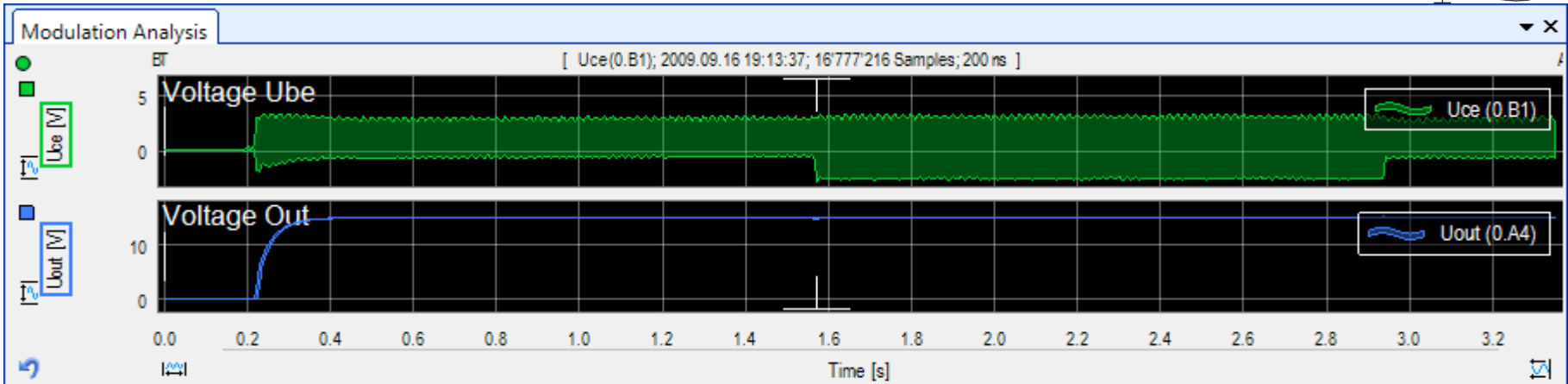
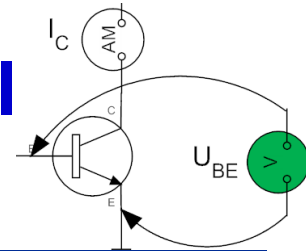
# Messungen am Bauteil im Schaltnetzteil



# Messungen am Bauteil im Schaltnetzteil



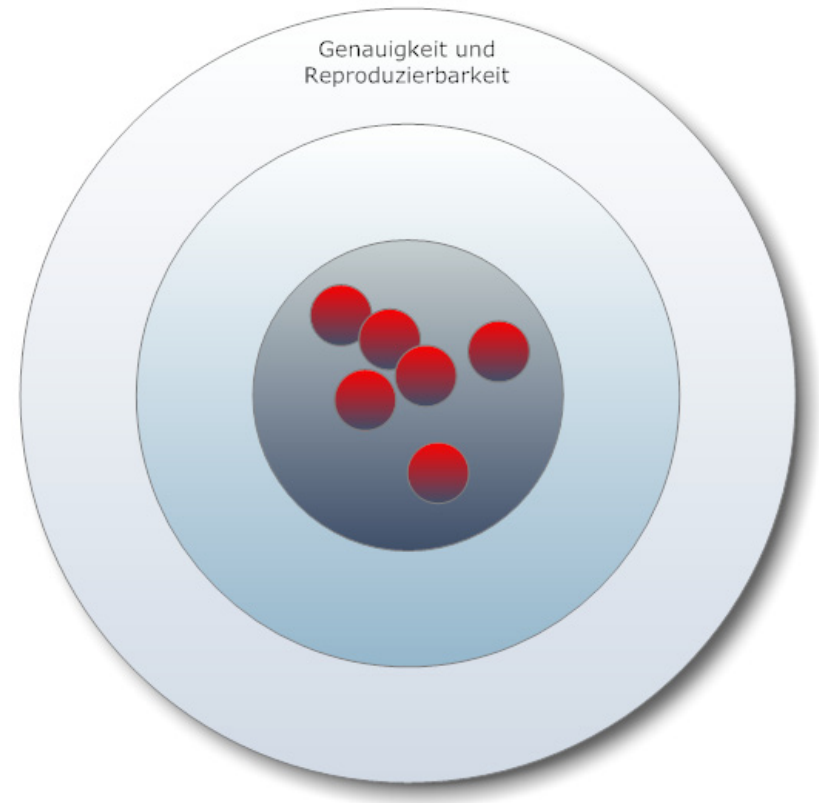
# Messungen am Regelkreis im Schaltnetzteil



# Zusammenfassung

Genauere Messungen sind abhängig von vielen Parametern wie:

- **Genauigkeit und Reproduzierbarkeit**
- Vertikale Auflösung
- Ausleuchten des Eingangsbereiches - Kombination Bereich und Offset
- Abtastrate / Zeitliche Auflösung
- System-Bandbreite
- Synchronisation der Kanäle und Instrumente
- Phasenkorrektur

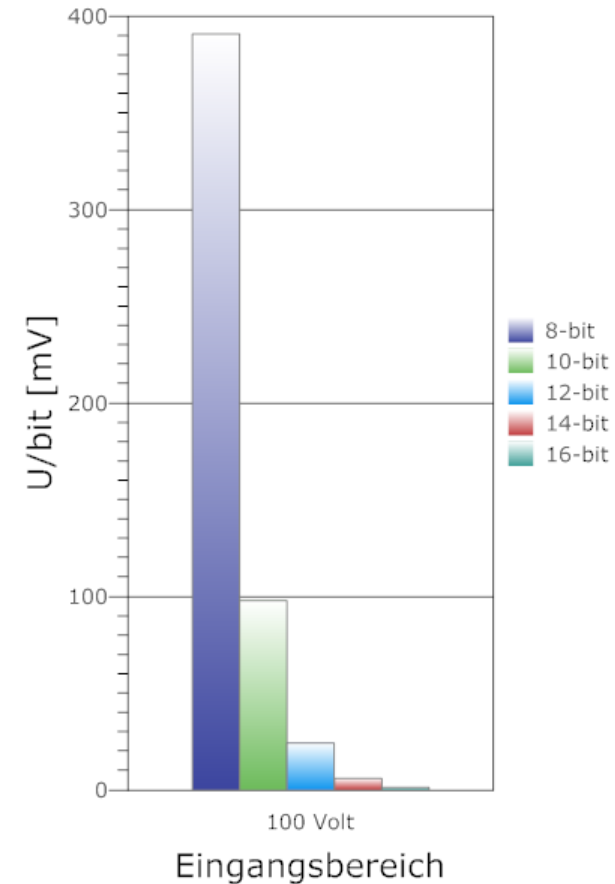


# Zusammenfassung

Genauere Messungen sind abhängig von vielen Parametern wie:

- Genauigkeit und Reproduzierbarkeit
- **Vertikale Auflösung**
- Ausleuchten des Eingangsbereiches - Kombination Bereich und Offset
- Abtastrate / Zeitliche Auflösung
- System-Bandbreite
- Synchronisation der Kanäle und Instrumente
- Phasenkorrektur

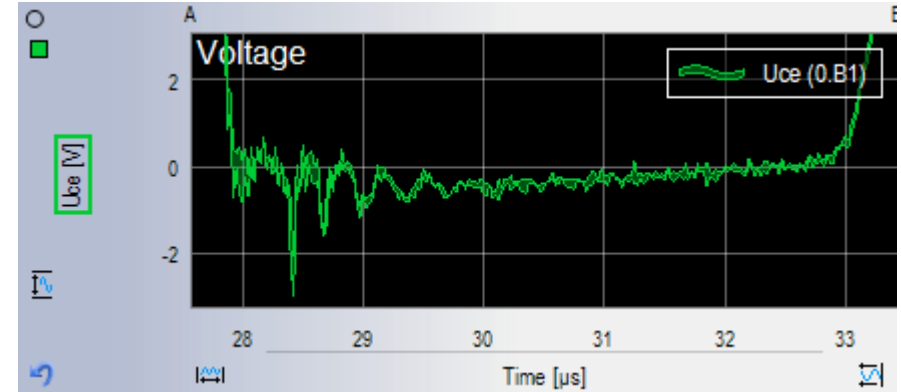
Kleinste aufgelöste Spannung in Funktion der # Bit



# Zusammenfassung

Genauere Messungen sind abhängig von vielen Parametern wie:

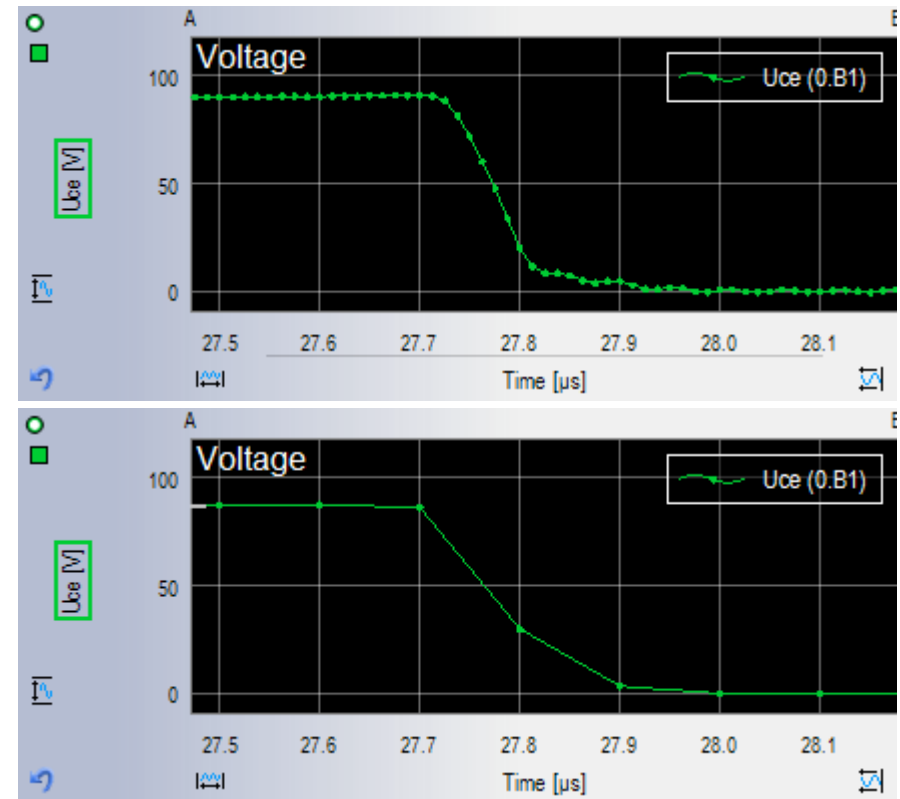
- Genauigkeit und Reproduzierbarkeit
- Vertikale Auflösung
- **Ausleuchten des Eingangsbereiches - Kombination Bereich und Offset**
- Abtastrate / Zeitliche Auflösung
- System-Bandbreite
- Synchronisation der Kanäle und Instrumente
- Phasenkorrektur



# Zusammenfassung

Genauere Messungen sind abhängig von vielen Parametern wie:

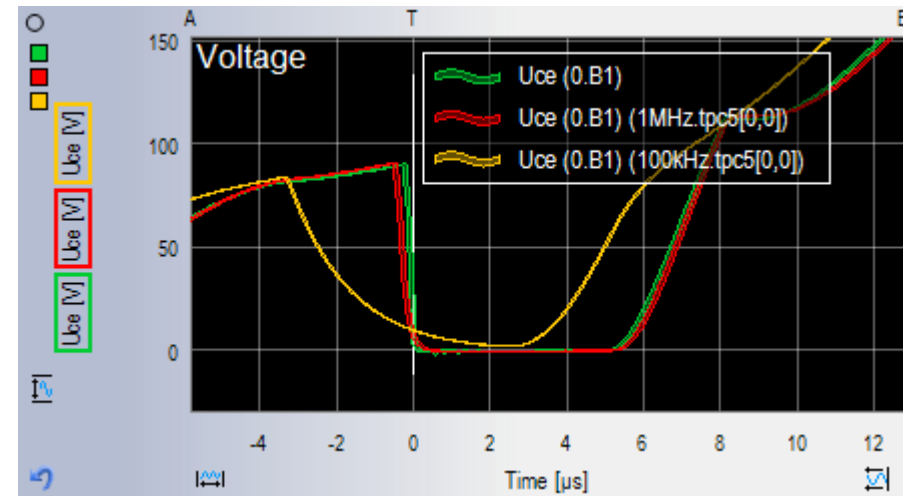
- Genauigkeit und Reproduzierbarkeit
- Vertikale Auflösung
- Ausleuchten des Eingangsbereiches - Kombination Bereich und Offset
- **Abtastrate / Zeitliche Auflösung**
- System-Bandbreite
- Synchronisation der Kanäle und Instrumente
- Phasenkorrektur



# Zusammenfassung

Genauere Messungen sind abhängig von vielen Parametern wie:

- Genauigkeit und Reproduzierbarkeit
- Vertikale Auflösung
- Ausleuchten des Eingangsbereiches - Kombination Bereich und Offset
- Abtastrate / Zeitliche Auflösung
- **System-Bandbreite**
- Synchronisation der Kanäle und Instrumente
- Phasenkorrektur

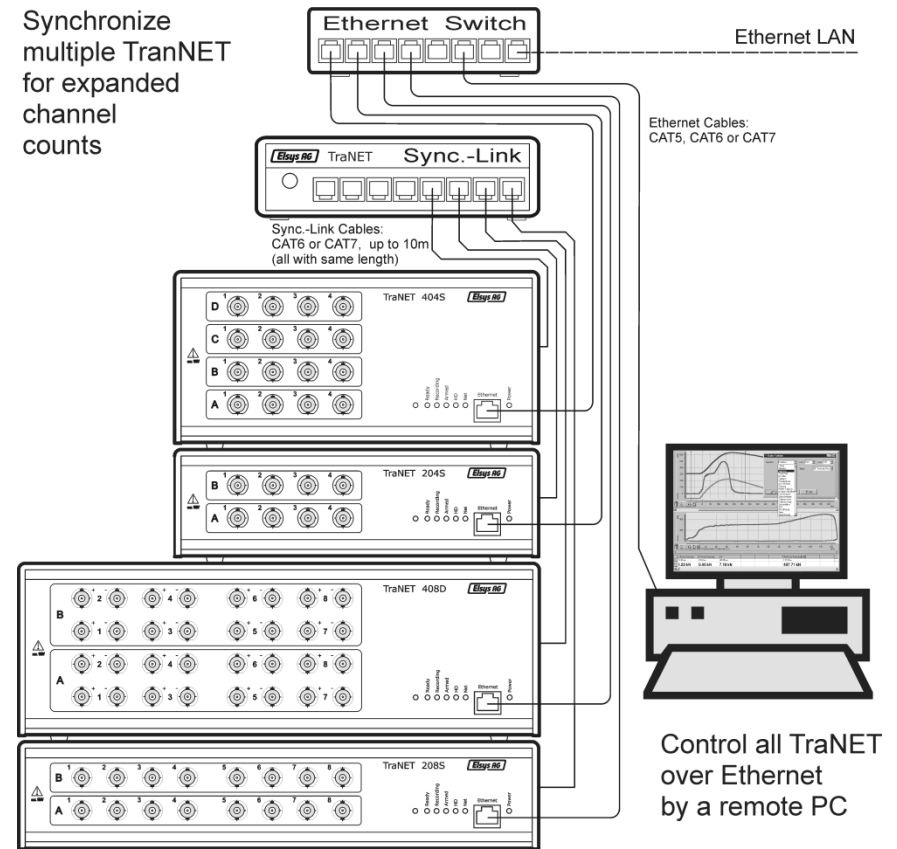


# Zusammenfassung

Genauere Messungen sind abhängig von vielen Parametern wie:

- Genauigkeit und Reproduzierbarkeit
- Vertikale Auflösung
- Ausleuchten des Eingangsbereiches - Kombination Bereich und Offset
- Abtastrate / Zeitliche Auflösung
- System-Bandbreite
- **Synchronisation der Kanäle und Instrumente**
- Phasenkorrektur

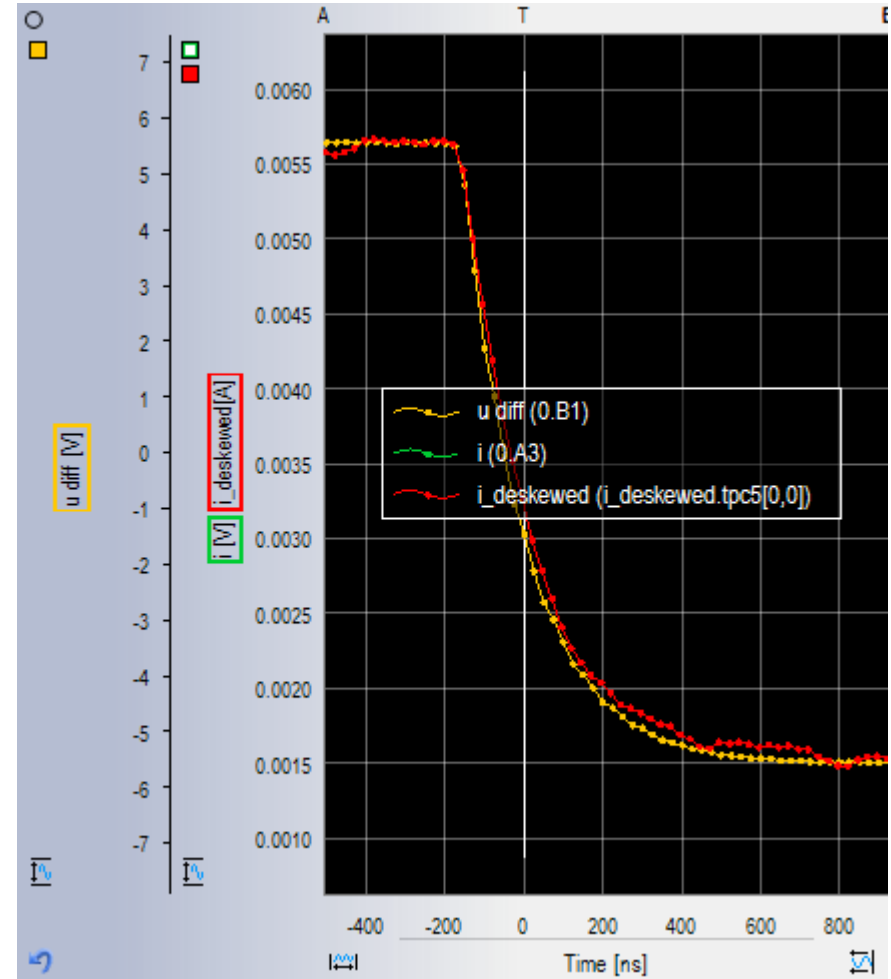
## Multiple Instrument Synchronization



# Zusammenfassung

Genauere Messungen sind abhängig von vielen Parametern wie:

- Genauigkeit und Reproduzierbarkeit
- Vertikale Auflösung
- Ausleuchten des Eingangsbereiches - Kombination Bereich und Offset
- Abtastrate / Zeitliche Auflösung
- System-Bandbreite
- Synchronisation der Kanäle und Instrumente
- **Phasenkorrektur**



# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Besuchen Sie uns am Stand 9 Elstar

[www.elstar.ch](http://www.elstar.ch)

[www.elsys.ch](http://www.elsys.ch)

[info@elstar.ch](mailto:info@elstar.ch)

[info@elsys.ch](mailto:info@elsys.ch)



Elsys AG, Peter Wilhelm

swissT.meeting, 23. September 2009