

# **Innotesting 2020, Workshop Vibration**

## **Betrachtungen zum Clippen des Schwingprüfsignals Sinus-auf-Rauschen (SoR)**

Dr.-Ing. Werner Kuitzsch

Copyright © by Dr.-Ing. Werner Kuitzsch, 2019  
Wilhelmsruher Damm 99  
13439 Berlin

Alle Rechte vorbehalten. Kein Teil dieser Ausarbeitung darf in irgendeiner Form (Druck, Fotokopie oder einem anderen Verfahren) ohne schriftliche Genehmigung von Dr.-Ing. Werner Kuitzsch reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

# INHALT

Mixed-Mode-Signale des Sinus-auf-Breitbandrauschen (SoR)

Signalzusammensetzung

Komponenten

Kombination der Komponenten

Darstellungsweisen

Anregung, Prüfspektren (u.a. ISO 16750-3)

Dimensionsbehaftete Amplitude

Normierte Amplitude

Schwingregelkreis des SoRs

Messung, Crest-Wert (u.a. ISO 16750-3)

Komponenten, Rauschen, Sinus

Addition der Komponenten für unterschiedliche Amplitudenverhältnisse

Messungen bei unterschiedlichen Komponentenverhältnissen

Zeitsignal

Verteilungsdichte (linear)

Spektrale Leistungsdichte

Autokorrelationsfunktion

Vergleich des ungeclippten und geclippten SoR-Signals

Zeitverlauf

Verteilungsdichte (logarithmisch)

Messung Rauschsignal, Verteilungsdichte des Ausgangs- zu Eingangssignal beim Schwingprüfsystem



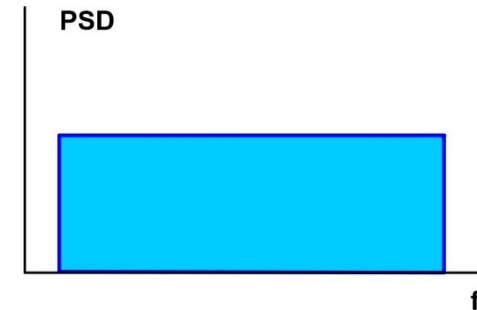
## Mixed-Mode

Mixed-Mode bezeichnet gemischte Anregungssignale aus mehreren Signalquellen wie:

➤ **Breitbandrauschen** ((Broadband) Random, BB)

PSD = Power Spectral Density, Spektrale Leistungsdichte in  $(\text{m/s}^2)^2/\text{Hz}$ ,  $\text{g}^2/\text{Hz}$

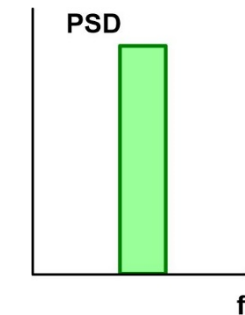
→ allgemeine Strukturschwingung am Einbauort des Prüflings



➤ **Schmalbandrauschen** (Narrowband Random, NB)

PSD = Power Spectral Density, Spektrale Leistungsdichte in  $(\text{m/s}^2)^2/\text{Hz}$ ,  $\text{g}^2/\text{Hz}$

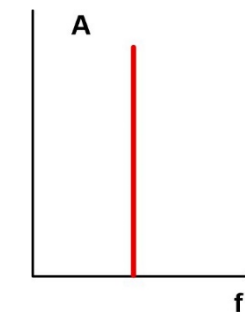
→ systemtypischer Anregungsprozess mit meist höherem Anregungspegels als BB



➤ **Sinus** (Sine, Tone, SI)

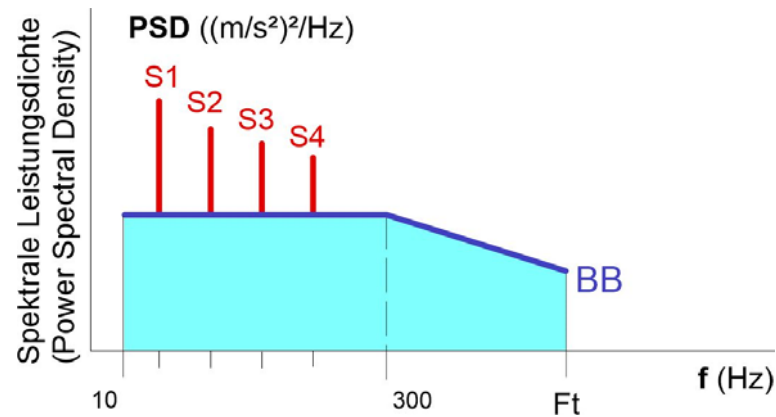
A = Sine Amplitude, Sinusamplitude in  $\text{m/s}^2$ , g

→ systemtypischer Anregungsprozess mit meist höherem Anregungspegels als BB



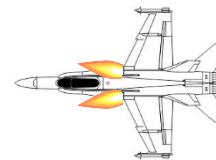
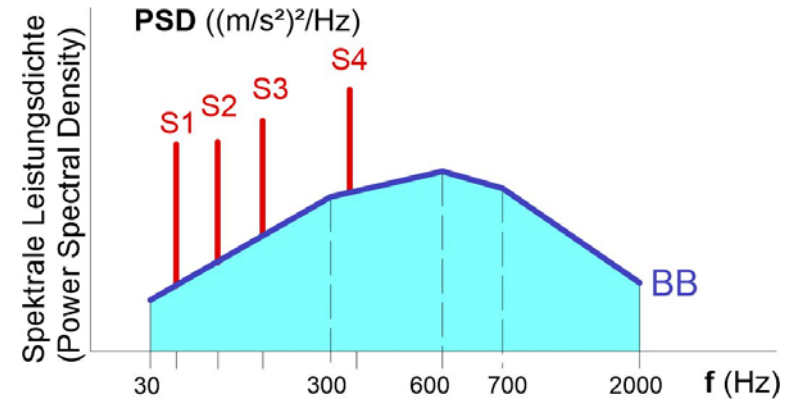
# Sinus-auf-Breitbandrauschen

## Festfrequenz-Sinus (SI) auf Rauschen (BB)



Helikopter

u.a.  
MIL-STD 810G, Method 514.6, Category 9  
Helicopter vibration exposure.

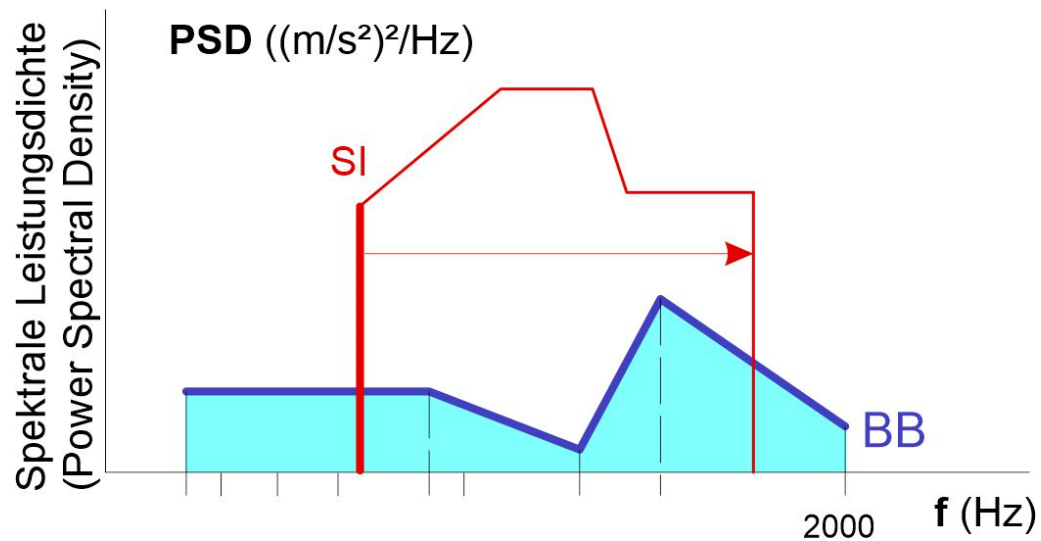


Maschinenwaffe

u.a.  
MIL-STD 810G, Method 519.6, Annex C & D  
Sine-On-Random Spectrum ...

# Sinus-auf-Breitbandrauschen

## Gleitfrequenz-Sinus (SI) auf Rauschen (BB)

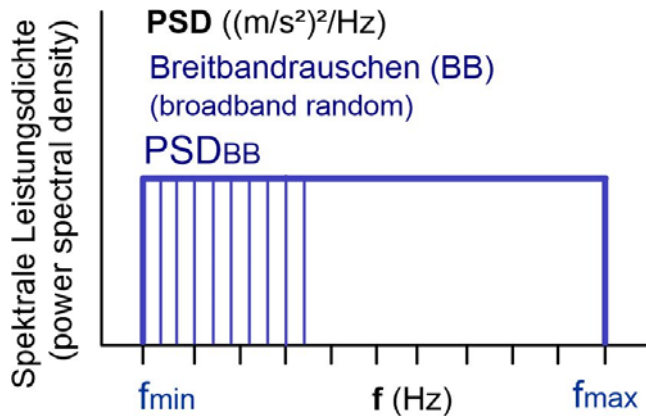


Kraftfahrzeug

u.a.  
ISO 16750-3  
Road vehicles –  
Environmental conditions and testing for  
electrical and electronic equipment –  
Part 3:  
Mechanical loads

# Komponenten

## Breitbandrauschen (BB)



Bandbreite (Hz):

$$B_{BB} = f_{max} - f_{min}$$

Effektivwert (m/s<sup>2</sup>):

$$BB_{RMS} = \sqrt{PSD_{BB} \cdot B_{BB}}$$

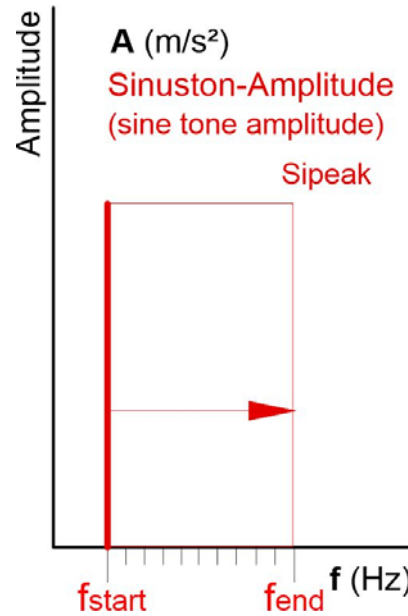
Spitzenwert (m/s<sup>2</sup>):

$$BB_{PEAK} = \sigma \cdot BB_{RMS}$$

mit  $\sigma \approx 3$  aus der Normalverteilung

## Sinus (SI, Tone)

Amplitude



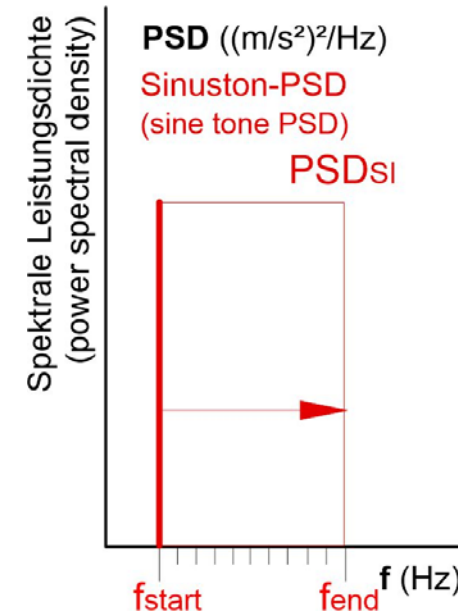
Spitzenwert (m/s<sup>2</sup>):

$$SI_{PEAK}$$

Effektivwert (m/s<sup>2</sup>):

$$SI_{RMS} = \frac{SI_{PEAK}}{\sqrt{2}}$$

Spektrale Leistungsdichte



Hilfsdarstellung des Sinus als PSD,  $\Delta f$ , Frequenzauflösung des Breitbandes ENBW, Window-Faktor ( $\approx 1,5$ )

“Leistungsdichte“ ((m/s<sup>2</sup>)<sup>2</sup>/Hz):

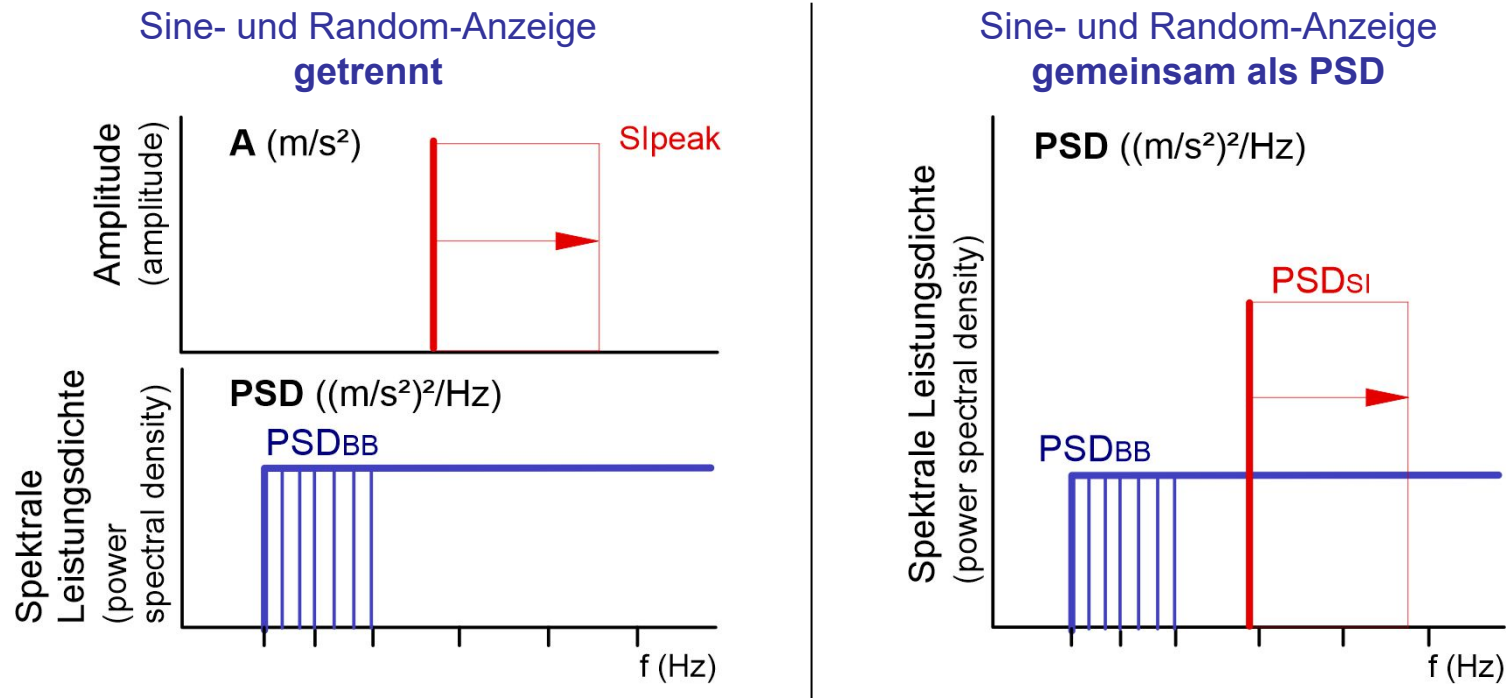
$$PSD_{SI} = \frac{SI_{RMS}^2}{\Delta f} \frac{1}{ENBW}$$

$$= \frac{SI_{PEAK}^2}{2 \cdot \Delta f \cdot ENBW}$$



# Kombination und Darstellungsweisen

## Sine (Tone) on Random (BB), **SUMMATION**



|                          |   |   |   |
|--------------------------|---|---|---|
|                          | Effektivwert (m/s²):                      |   | Spitzenwert (m/s²):   |
| <b>Breitbandrauschen</b> | $BB_{RMS} = \sqrt{PSD_{BB} \cdot B_{BB}}$ | → | $BB_{PEAK} = \sigma \cdot BB_{RMS}$   |
| <b>Sinus</b>             | $SI_{RMS} = \frac{SI_{PEAK}}{\sqrt{2}}$   | ← | $SI_{PEAK}$   |
| → <b>Gesamtsignal</b>    | $RMS = \sqrt{BB_{RMS}^2 + SI_{RMS}^2}$    |   | $PEAK = BB_{PEAK} + SI_{PEAK}$<br>$= \sigma \cdot BB_{RMS} + \sqrt{2} \cdot SI_{RMS}$ |

# Breitband-(BB)- & Sinus-(SI)-Prüfspektrum

Mixed-Mode Test: INNO16750-3

Setup Test Setup Schedule Test Function Data Review Utilities Help Quit

V4.5.0

Mixed-Mode Reference Table ISO16750-3

**- Component Table -**

| Component Type | Frequency Range (Hz) | Bandwidth (Hz) | Composition Method | Sweep | Auto-switch off/on[sec] | Tone/NB at Start | Tone/NB at Completion |
|----------------|----------------------|----------------|--------------------|-------|-------------------------|------------------|-----------------------|
| 1 Broadband    | 10.0-2000.0          |                |                    |       |                         |                  |                       |
| 2 Tone         | 100.0-440.0          |                | Max                | Log   | No                      | On               | On                    |

**- Edit Component Table -**

Component: 1 Type: Broadband Narrowband Tone

Bandwidth (Hz): Composition Method: Sum Max

**- Broadband Spectrum -**

| Break Point | Frequency (Hz) | Value ((m/sec <sup>2</sup> ) <sup>2</sup> /Hz) | Slope (dB/oct) | Alarm (-dB) | Alarm (+dB) | Abort (-dB) | Abort (+dB) |
|-------------|----------------|--|----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 1           | 10             | 10   |                | -3          | 3           | -6          | 6           |
| 2           | 100            | 10   |                | -3          | 3           | -6          | 6           |
| 3           | 300            | 0.51   |                |             |             |             |             |
| 4           | 500            | 20   |                |             |             |             |             |

**- Edit Broadband Spectrum -**

Breakpoint: 1

Breakpoint Frequency (Hz): 10

Value ((m/s<sup>2</sup>)<sup>2</sup>/Hz): 9.99999

Slope (dB/oct):

Alarm (-dB): -3 (+dB): 3

Abort (-dB): -6 (+dB): 6

**- Broadband Bandwidth -**

Minimum Frequency (Hz): 10

Maximum Frequency (Hz): 2000

Frequency Lines: 800

Units: m/s<sup>2</sup>, m/s, mm g, in/s, in g, m/s, mm

**- Broadband Level Tracking -**

Track Narrowband Sweep: No Yes

Control Narrowband: 2

Level at Low Frequency (dB):

Level at High Frequency (dB): 3

Pseudo Random Mode: No Yes

Rescale Broadband RMS (m/s<sup>2</sup>):

**Mixed-Mode Dynamic Limits**

Broadband Acceleration RMS (m/s<sup>2</sup>): 180.67

Overall Acceleration RMS (m/s<sup>2</sup>): 192.591

Overall Tracking RMS (m/s<sup>2</sup>): Off

Maximum Acceleration (m/s<sup>2</sup>): 637.422

Maximum Velocity (m/s): 0.671946

Maximum Displacement (mm): 9.24574

Minimum Frequency (Hz): 10

Maximum Frequency (Hz): 2000

Frequency Lines: 800

Frequency Resolution (Hz): 2.5

Werkbild: Spectral Dynamics, Schwingregelsystem, Jaguar.

**- Component Table -**

| Component Type | Frequency Range (Hz) | Bandwidth (Hz) | Composition Method | Sweep | Auto-switch off/on[sec] | Tone/NB at Start | Tone/NB at Completion |
|----------------|----------------------|----------------|--------------------|-------|-------------------------|------------------|-----------------------|
| 1 Broadband    | 10.0-2000.0          |                |                    |       |                         |                  |                       |
| 2 Tone         | 100.0-440.0          |                | Max                | Log   | No                      | On               | On                    |

**- Edit Component Table -**

Component: 2 Type: Broadband Narrowband Tone

Bandwidth (Hz): Composition Method: Sum Max

**- Tone Sweep Profile -**

| Segment | Ending Frequency | Type         | Value                | Alarm (-dB) | Alarm (+dB) | Abort (-dB) | Abort (+dB) |
|---------|------------------|--------------|----------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 1       | 100              | Acceleration | 100 m/s <sup>2</sup> | -3          | 3           | -6          | 6           |
| 2       | 200              | Lin-Lin Line | 200 m/s <sup>2</sup> |             |             |             |             |
| 3       | 240              | Acceleration | 200 m/s <sup>2</sup> |             |             |             |             |
| 4       | 255              | Acceleration | 150 m/s <sup>2</sup> |             |             |             |             |

**- Edit Tone Sweep Profile -**

Segment: 1

Segment Ending Frequency (Hz): 100

Acc ((m/s<sup>2</sup>)<sup>2</sup>/Hz): 1204.82 c (m/s<sup>2</sup>): 100

Type: Displacement Velocity Acceleration

Log-Log Line Lin-Lin Line

Alarm (-dB): -3 (+dB): 3

Abort (-dB): -6 (+dB): 6

**- Broadband Bandwidth -**

Minimum Frequency (Hz): 10

Maximum Frequency (Hz): 2000

Frequency Lines: 800

Units: m/s<sup>2</sup>, m/s, mm g, in/s, in g, m/s, mm

**- Sweep Parameters -**

Sweep Mode: Linear Log Off

Sweep Start Frequency (Hz): 100

Sweep End Frequency (Hz): 440

Sweep Rate (Oct/min): 0.5

Sweeps: 308.77 Sweep Duration: 022:00:00

Tone at Test Start: Off On

Tone at Sweep Completion: Off On

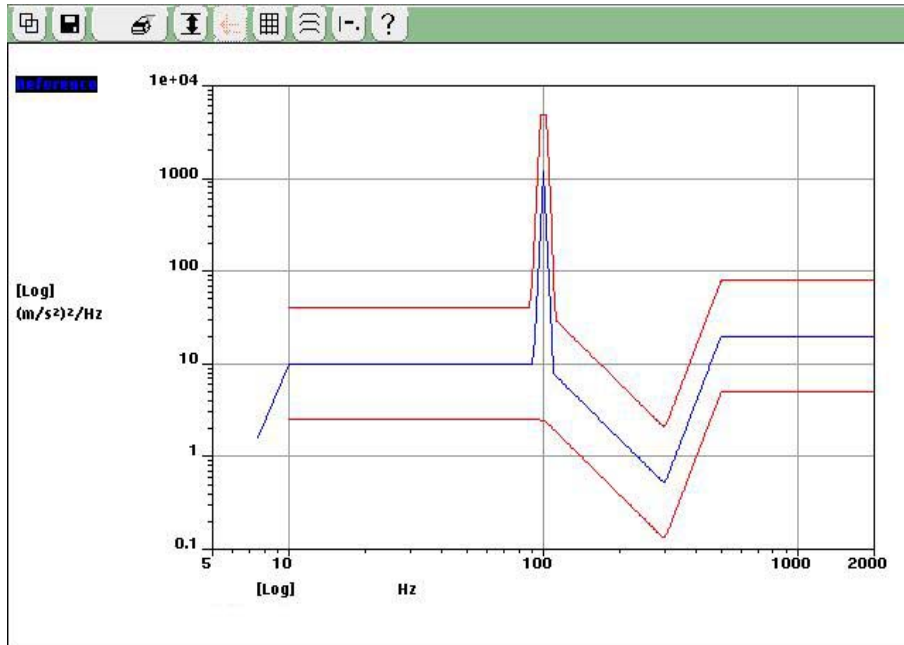
Auto-Switch: No Yes

On (sec): 15

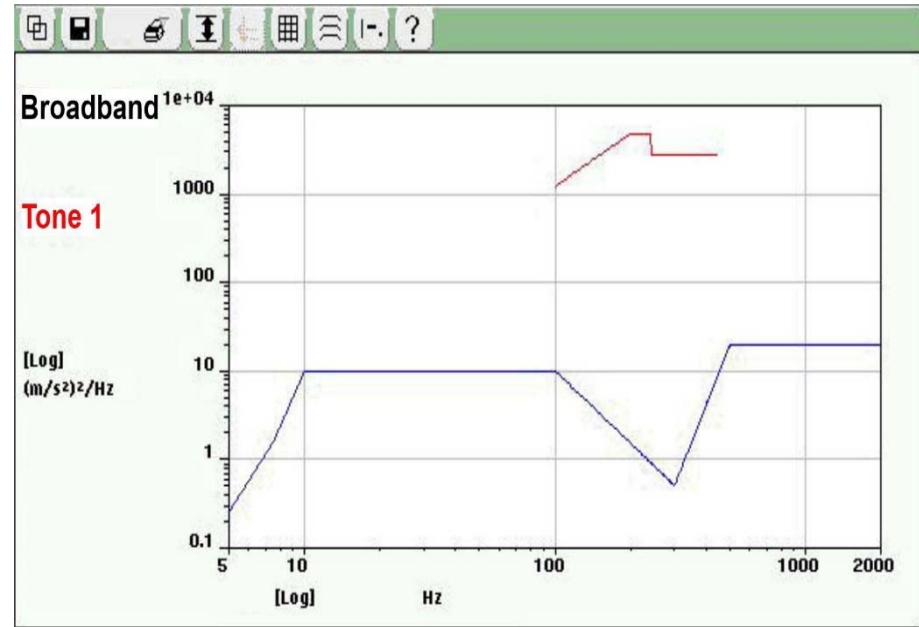
Off (sec): 10

# ANREGUNG, Breitband-(BB)- & Sinus-(SI)-Prüfspektrum

## Spektrale Leistungsdichte bei 100 Hz

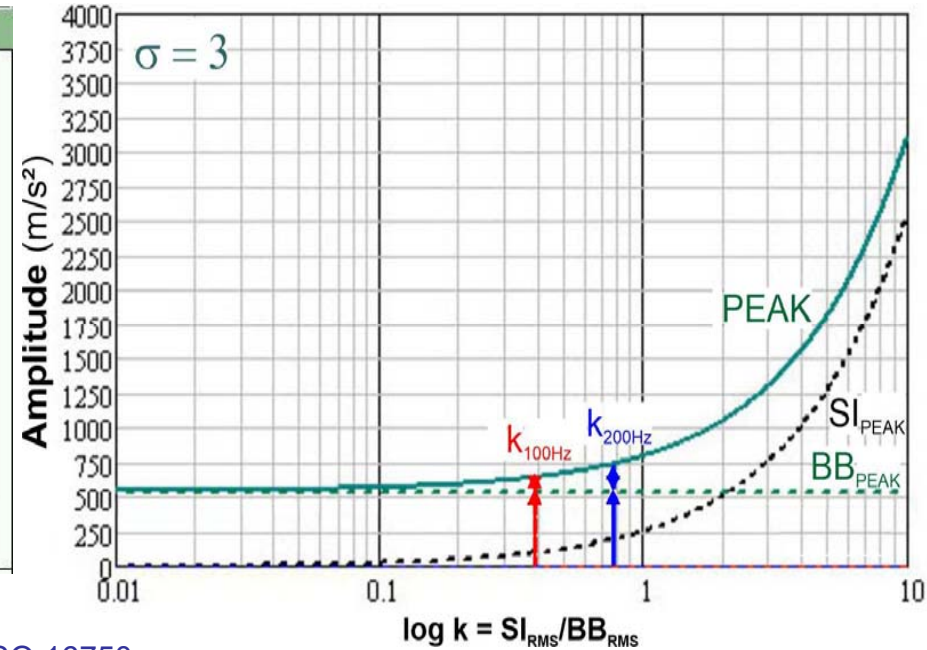
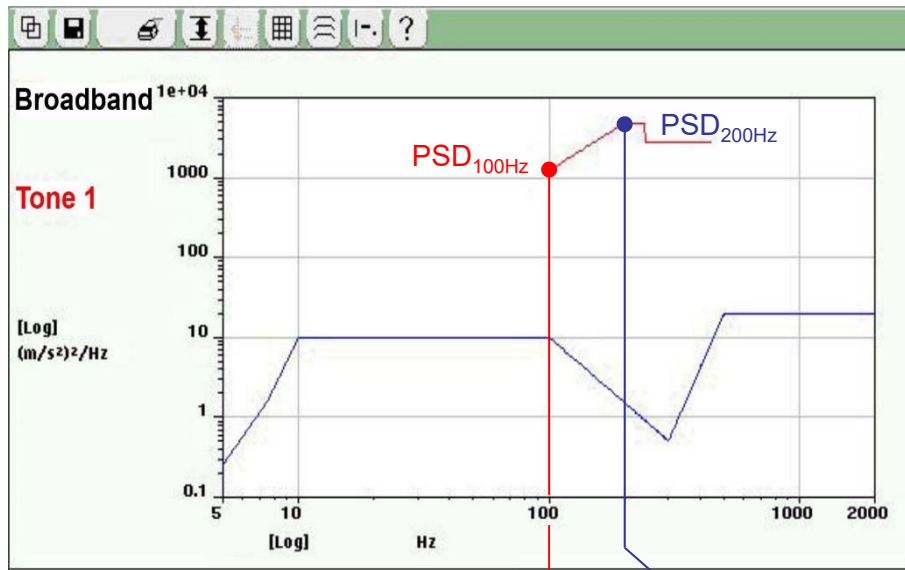


## Breitband und Gleitsinus-Profil



Werkbild: Spectral Dynamics, Schwingregelsystem, Jaguar.

# ANREGUNG, Breitband-(BB)- & Sinus-(SI)-Prüfspektrum



k-Werte an ausgewählten Punkten ↓ ↓ aus ISO 16750.

| Function                               | ISO 100Hz | ISO 200Hz | $\sigma = 3$        |
|--|-----------|-----------|---------------------|
| $BB_{RMS}$                             | 181       | 181       | (m/s <sup>2</sup> ) |
| $BB_{PEAK} = \sigma \cdot BB_{RMS}$    | 543       | 543       | (m/s <sup>2</sup> ) |
| $SI_{PEAK}$                            | 100       | 200       | (m/s <sup>2</sup> ) |
| $SI_{RMS} = SI_{PEAK} / \sqrt{2}$      | 70,71     | 141       | (m/s <sup>2</sup> ) |
| $RMS = \sqrt{BB_{RMS}^2 + SI_{RMS}^2}$ | 194       | 230       | (m/s <sup>2</sup> ) |
| $PEAK = BB_{PEAK} + SI_{PEAK}$         | 643       | 743       | (m/s <sup>2</sup> ) |
| $k = SI_{RMS} / BB_{RMS}$              | 0,3907    | 0,7813    |                     |

Diagramm der SoR-Gesamtamplitude

$$PEAK = BB_{PEAK} + SI_{PEAK} = \sigma \cdot BB_{RMS} + \sqrt{2} \cdot SI_{RMS}$$

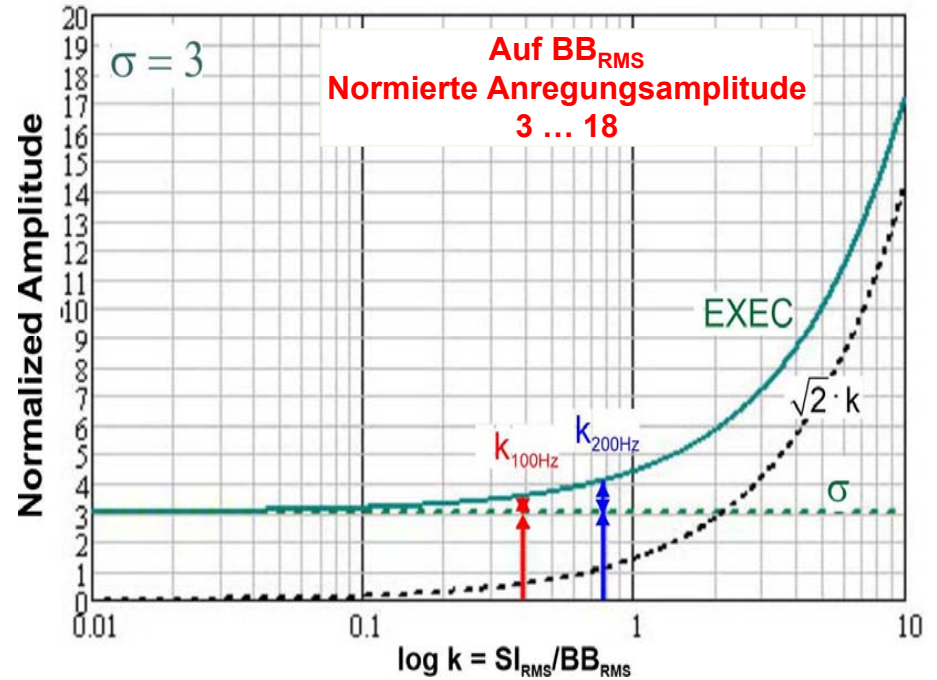
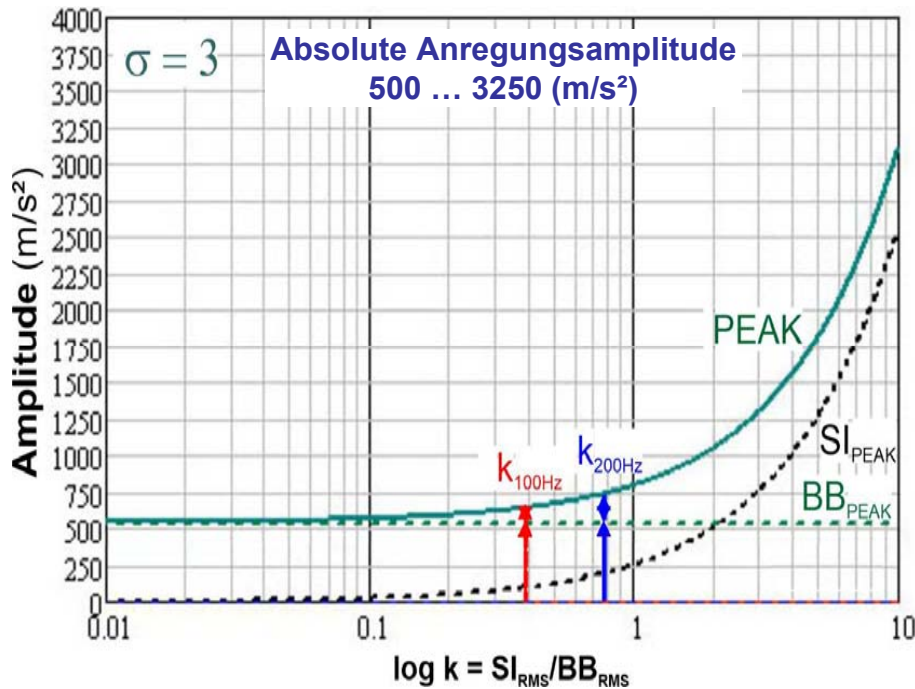
für ein **Sine-to-Random-Verhältnis**,

$$k = \frac{SI_{RMS}}{BB_{RMS}} \quad \text{im Bereich } 0,01 \dots 10.$$

In dem die Komponentenamplitude

- Rauschen  $BB_{PEAK}$  konstant bleibt,
- Sinus  $SI_{PEAK}$  ansteigt;

# ANREGUNG, Breitband-(BB)- & Sinus-(SI)-Prüfspektrum



Anregung, absolut (m/s<sup>2</sup>), siehe auch vorherige Seite:

$$PEAK = BB_{PEAK} + SI_{PEAK} = \sigma \cdot BB_{RMS} + \sqrt{2} \cdot SI_{RMS}$$

$$RMS = \sqrt{BB_{RMS}^2 + SI_{RMS}^2}$$

Anregung, normiert:

$$EXEC(k) = \sigma \cdot \frac{BB_{RMS}}{BB_{RMS}} + \sqrt{2} \cdot \frac{SI_{RMS}}{BB_{RMS}} = \sigma + \sqrt{2} \cdot k$$

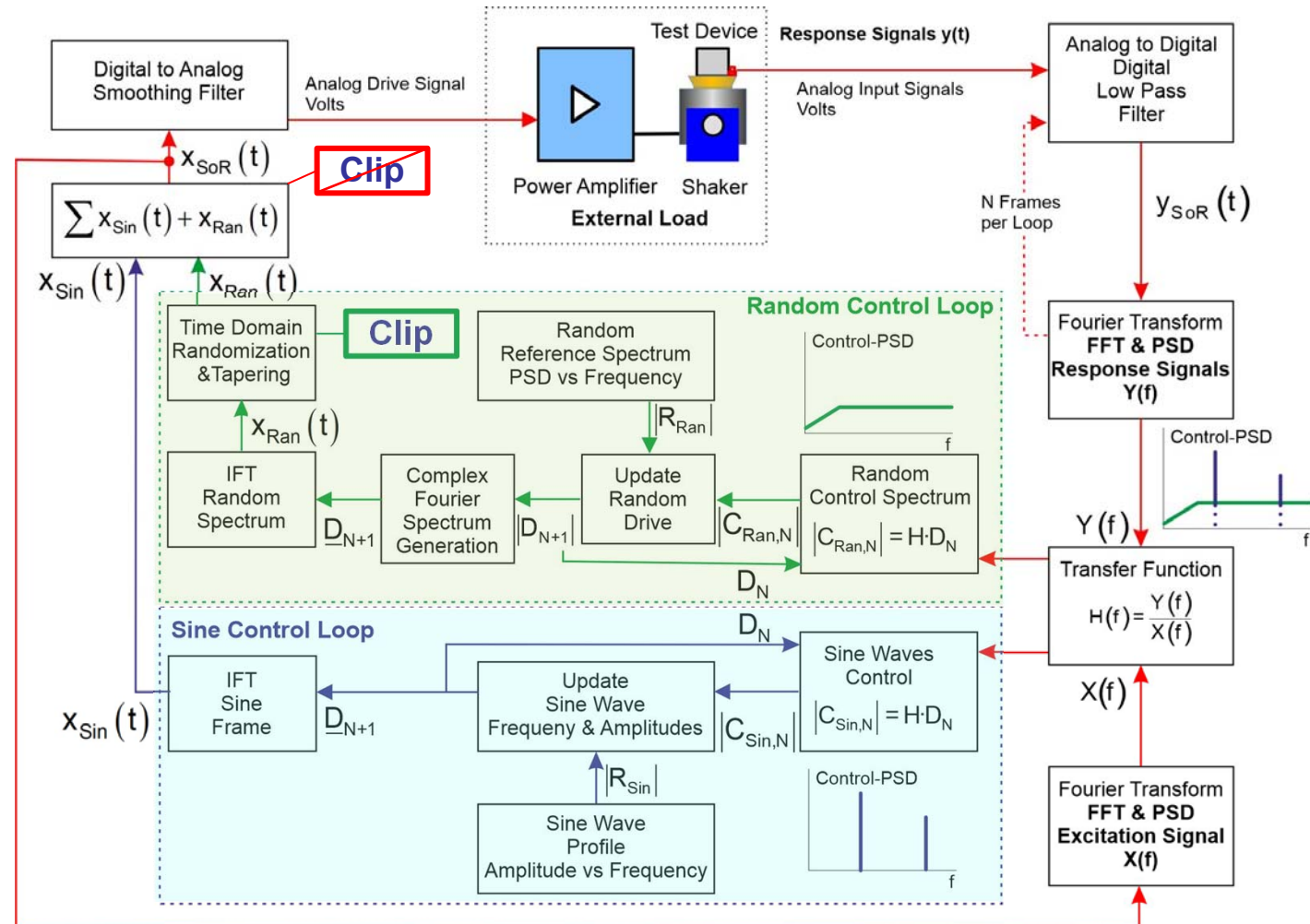
$$RMS(k) = \sqrt{\left(\frac{BB_{RMS}}{BB_{RMS}}\right)^2 + \left(\frac{SI_{RMS}}{BB_{RMS}}\right)^2} = \sqrt{1^2 + k^2}$$

Normierung mit Sine-to-Random-Ratio:  $SI_{RMS} = k \cdot BB_{RMS}$

| Function                       | ISO 100Hz | ISO 200Hz | $\sigma = 3$ |
|--------------------------------|-----------|-----------|--------------|
| $k = SI_{RMS}/BB_{RMS}$        | 0,3907    | 0,7813    |              |
| $BB_{PEAK} = \sigma$           | 3         | 3         |              |
| $SI_{PEAK} = \sqrt{2} \cdot k$ | 0,55      | 1,10      |              |
| $RMS = \sqrt{1^2 + k^2}$       | 1,07      | 1,27      |              |
| $EXEC = BB_{PEAK} + SI_{PEAK}$ | 3,55      | 4,10      |              |

# SCHWINGREGELUNG

SoR-Regelung mittels  $H(f) = \underline{Y}(f)/\underline{X}(f)$ .



Einsatz des Clippens im Regelkreis:

- Clippen nur des Rausch-Zeitsignals  $x_{Ran}(t)$ ; smooth clipping angebracht.
- Das SoR\_Gesamt-Zeitsignal,  $x_{Sin}(t) + x_{Ran}(t)$ , sollte nicht geclippt werden, weil damit Sinus-Amplitudenbegrenzung, höhere Harmonische und Beeinträchtigung der Regelung- $H(f)$ .

## MESSUNG, Crest-Wert

Bei Messungen wird im allgemeinen das SoR-Gesamtsignal aus Sinus und Rauschen erfasst. Deswegen wird im folgenden der Crest-Wert ausgewertet.

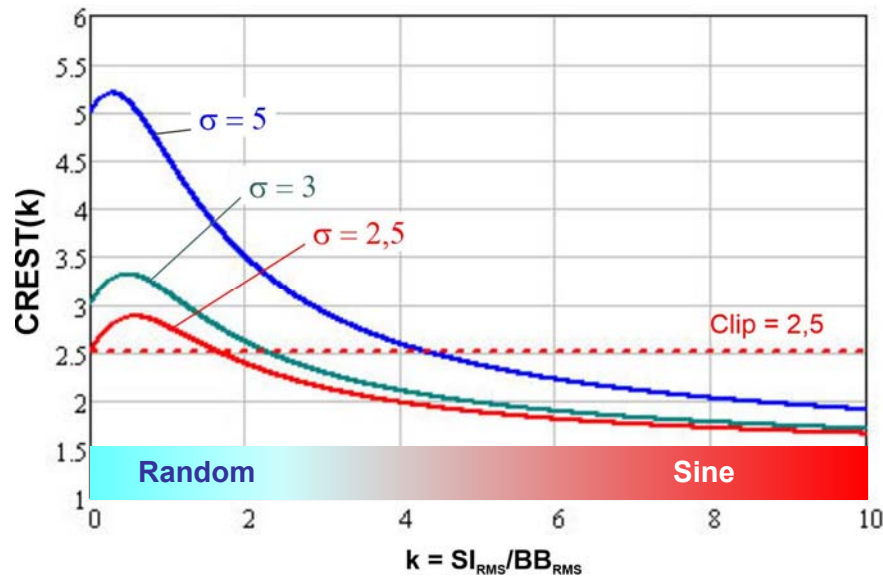
Der Crest-Wert des Signals ist sein Verhältnis aus maximaler Amplitude PEAK zu Effektivwert RMS:

$$\text{CREST} = \frac{\text{PEAK}}{\text{RMS}} = \frac{\sigma \cdot \text{BB}_{\text{RMS}} + \sqrt{2} \cdot \text{SI}_{\text{RMS}}}{\sqrt{\text{BB}_{\text{RMS}}^2 + \text{SI}_{\text{RMS}}^2}}$$

Wieder mit dem dimensionslosen **Sine-to-Random-Factor**  $k$ :  $k = \frac{\text{SI}_{\text{RMS}}}{\text{BB}_{\text{RMS}}}$  womit  $\text{SI}_{\text{RMS}} = k \cdot \text{BB}_{\text{RMS}}$

wird der Crest-Wert nur von der Variablen  $k$  abhängig sowie dem  $\sigma$ -Parameter der Normalverteilung:

$$\text{CREST}(k) = \frac{\sigma \cdot \text{BB}_{\text{RMS}} + \sqrt{2} \cdot k \cdot \text{BB}_{\text{RMS}}}{\sqrt{\text{BB}_{\text{RMS}}^2 + k^2 \cdot \text{BB}_{\text{RMS}}^2}} = \frac{\sigma + \sqrt{2} \cdot k}{\sqrt{1 + k^2}}$$



### Grenzwerte:

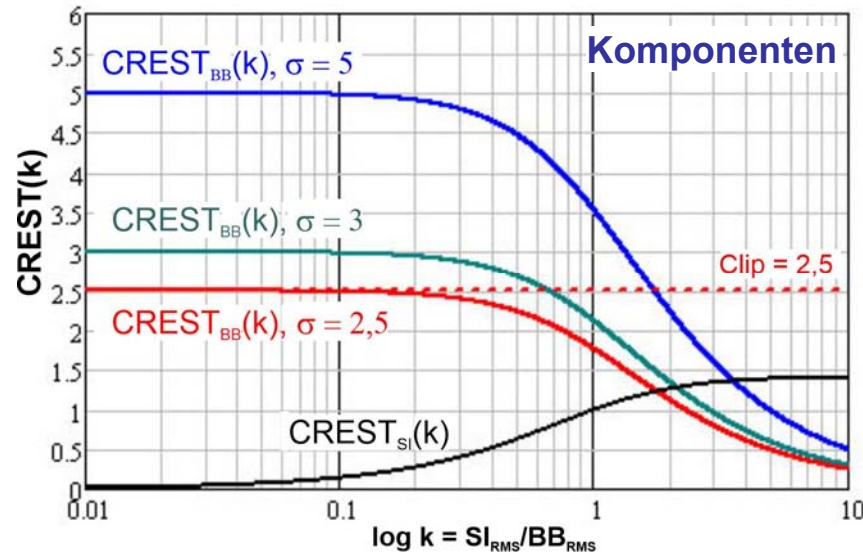
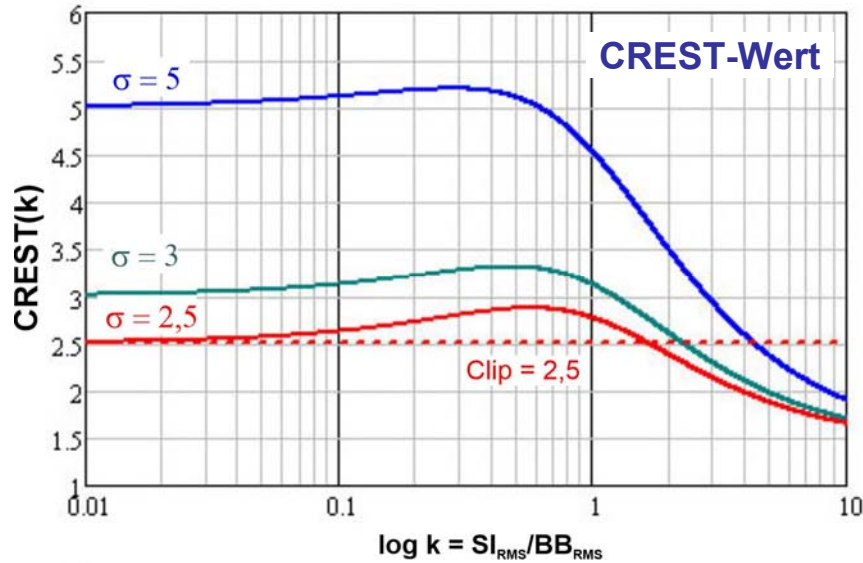
Kein Sinus, nur Rauschen:  $k = 0$   $\text{CREST}(0) = \sigma$

Nur Sinus, kein Rauschen:  $k \rightarrow \infty$   $\text{CREST}(\infty) \rightarrow \sqrt{2}$

Maximalwert:  $k_{\text{max}} = \frac{\sqrt{2}}{\sigma}$   $\text{CREST}(k_{\text{max}}) = \sqrt{2 + \sigma^2}$

# MESSUNG, Crest-Komponenten

Der Hauptbereich des SoR-Crest erstreckt sich bis  $k \approx 4$  und ist hier logarithmisch gedehnt.



**CREST-Wert**

$$CREST(k) = \frac{\sigma + \sqrt{2} \cdot k}{\sqrt{1+k^2}}$$

**Komponenten des CREST-Werts**

**Rauschen**

$$CREST_{BB}(k) = \frac{\sigma}{\sqrt{1+k^2}} \rightarrow 0$$

$\sigma$  abhängig!

**Sinus**

$$CREST_{SI}(k) = \frac{\sqrt{2} \cdot k}{\sqrt{1+k^2}} \rightarrow \sqrt{2}$$

$\sigma$  unabhängig,  
gleiche Sinusamplituden!



## Crest-Wert, Addition der Crest-Komponenten

Rausch-Komponente:  $CREST_{BB}(k) = \frac{\sigma}{\sqrt{1+k^2}}$

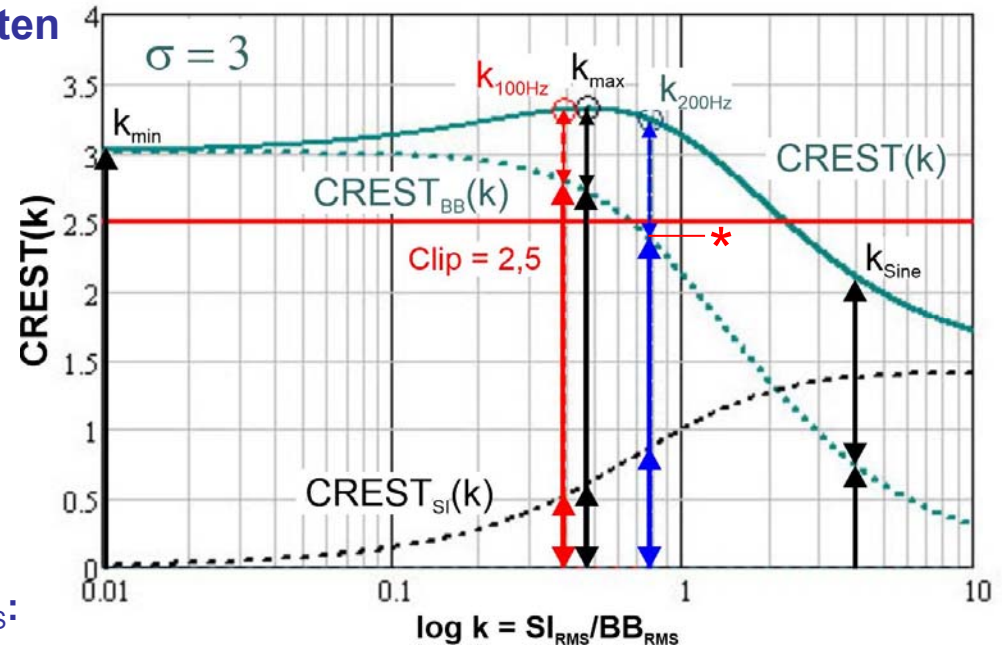
Sinus-Komponente:  $CREST_{SI}(k) = \frac{\sqrt{2} \cdot k}{\sqrt{1+k^2}}$

### CREST-Wert:

$$CREST(k) = CREST_{BB}(k) + CREST_{SI}(k) = \frac{\sigma + \sqrt{2} \cdot k}{\sqrt{1+k^2}}$$

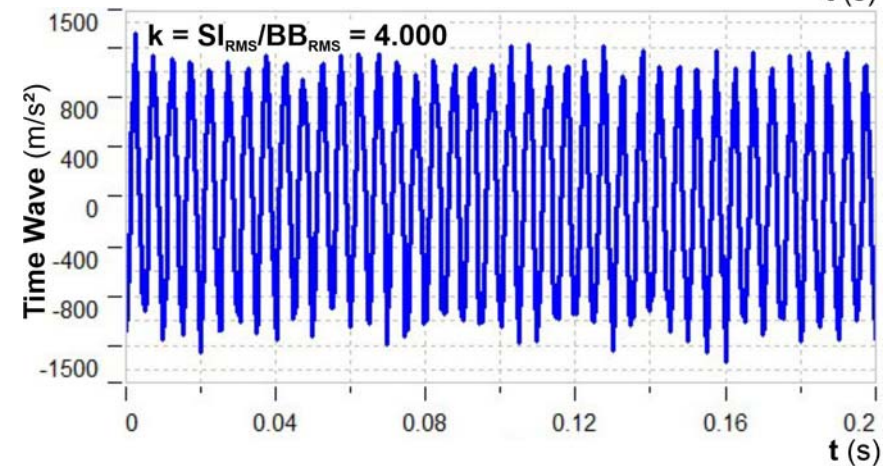
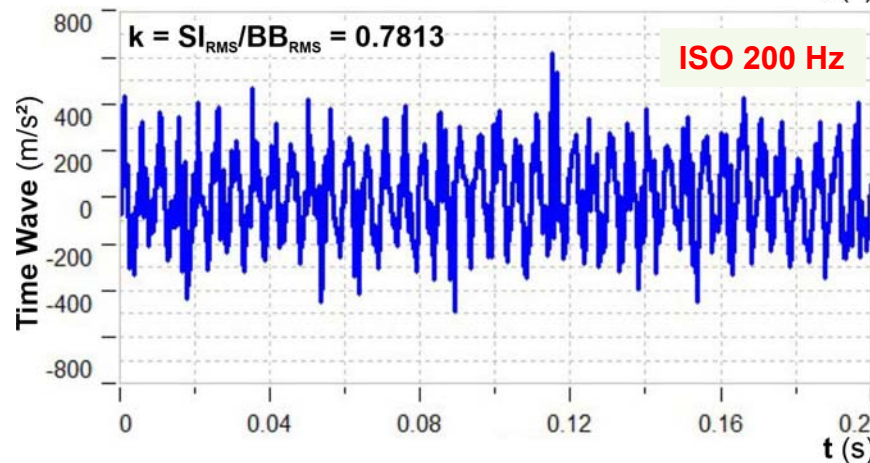
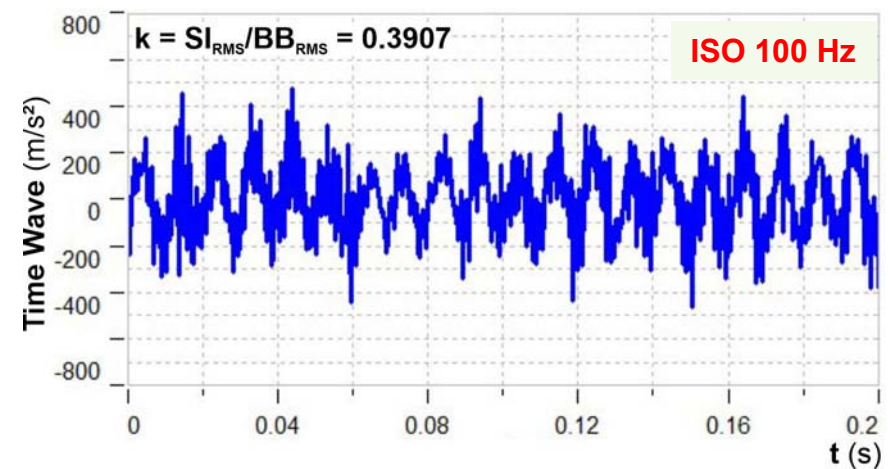
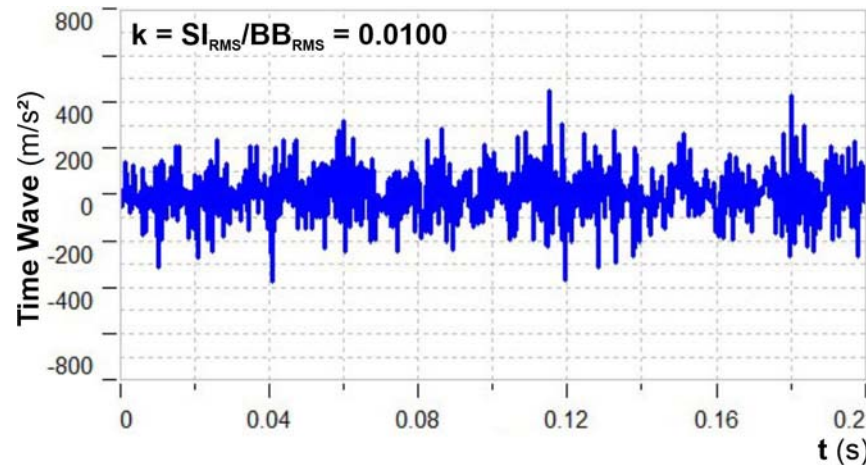
CREST-Faktoren bei ausgewählten  $k = SI_{RMS}/BB_{RMS}$ :

| Function                  | Minimum | ISO 100Hz | Maximum | ISO 200Hz | Sine  | Random                         |
|---------------------------|---------|-----------|---------|-----------|-------|--------------------------------|
| <b>k</b>                  | 0,0100  | 0,3907    | 0,4714  | 0,7813    | 4,000 | <b><math>\sigma = 3</math></b> |
| <b>BB<sub>RMS</sub></b>   | 181     | 181       | 181     | 181       | 181   | (m/s <sup>2</sup> )            |
| <b>BB<sub>PEAK</sub></b>  | 543     | 543       | 543     | 543       | 543   | (m/s <sup>2</sup> )            |
| <b>SI<sub>RMS</sub></b>   | 1,81    | 70,71     | 85,32   | 141       | 724   | (m/s <sup>2</sup> )            |
| <b>SI<sub>PEAK</sub></b>  | 2,56    | 100       | 121     | 200       | 1024  | (m/s <sup>2</sup> )            |
| <b>RMS</b>                | 181,01  | 194       | 200     | 230       | 746   | (m/s <sup>2</sup> )            |
| <b>PEAK</b>               | 545,56  | 643       | 664     | 743       | 1567  | (m/s <sup>2</sup> )            |
| <b>CREST(k)</b>           | 3,014   | 3,309     | 3,317   | 3,235     | 2,100 |                                |
| <b>CREST<sub>SI</sub></b> | 0,014   | 0,515     | 0,603   | 0,871     | 1,372 | ↕                              |
| <b>CREST<sub>BB</sub></b> | 3,000   | 2,794     | 2,714   | 2,364 *   | 0,728 | ↑                              |



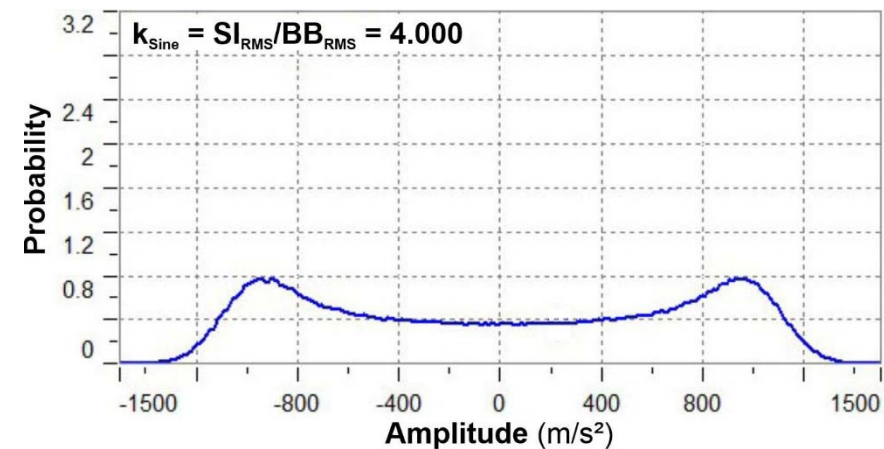
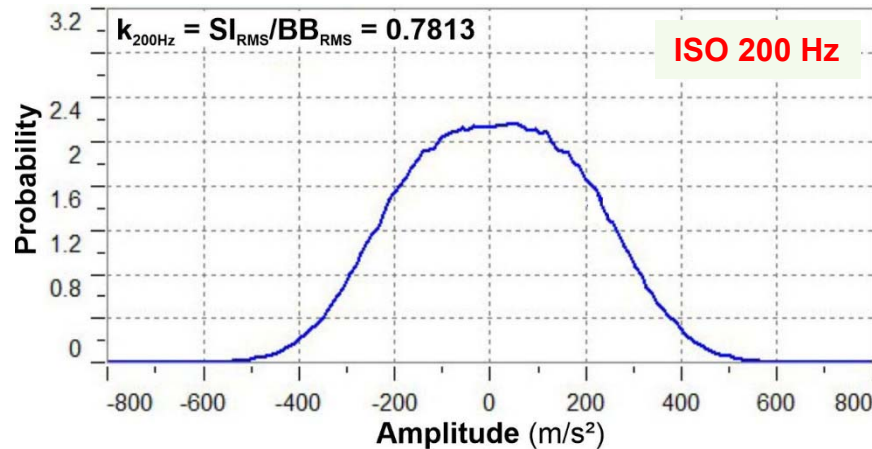
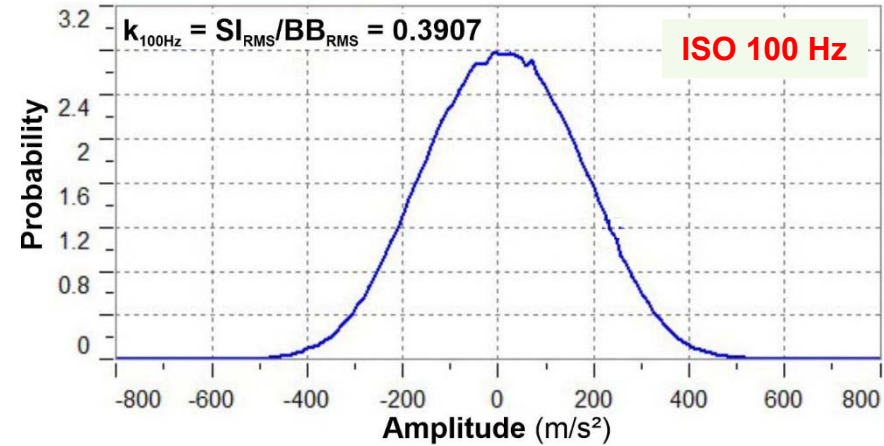
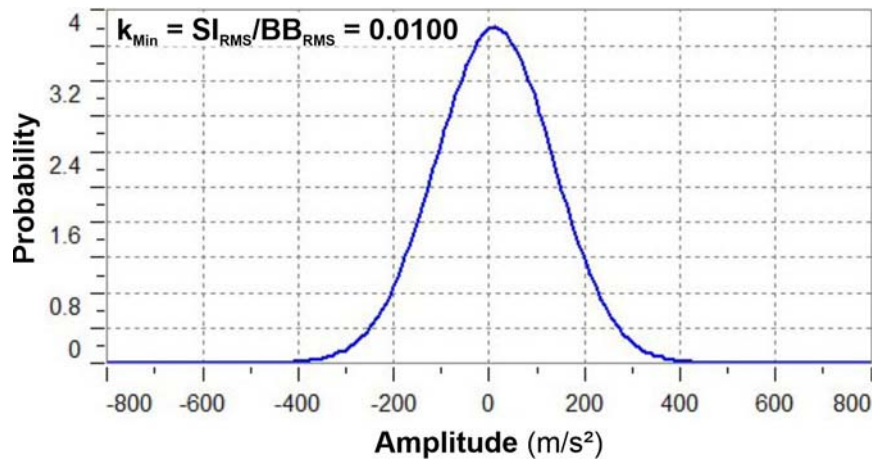
\*  $CREST_{BB,200Hz} = 2.364 < \text{Clip-Faktor } 2.5$ ,  
 der damit die Rauschamplituden  
 nicht begrenzt!

## Zeitverläufe für ansteigende k-Faktoren, Signal ist ungeclipped



- Mit zunehmendem  $k = SI_{RMS}/BB_{RMS}$ , d.h. höherem Sinusanteil, wird das Signal eher sinusförmig.
- Selbst bei 4-fach höherem Anteil ist noch der Rausch-Hintergrund zu erkennen; das Signal hat keine stationäre Sinusamplitude.

## Verteilungsdichte für ansteigende k-Faktoren, Signal ist ungeclippt



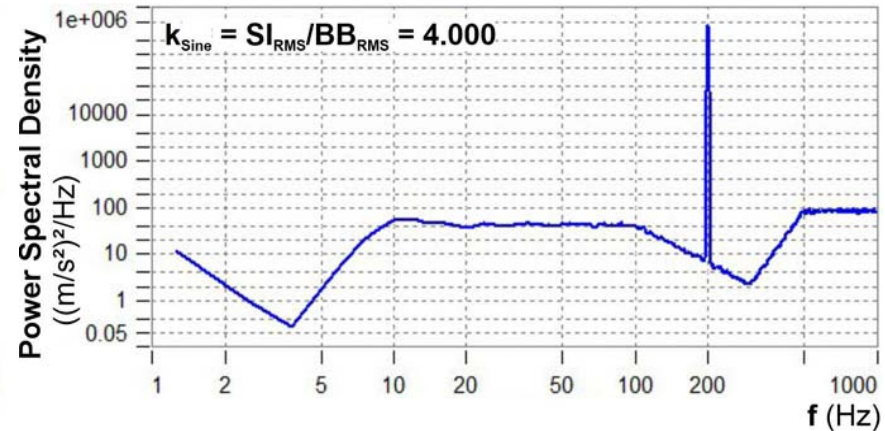
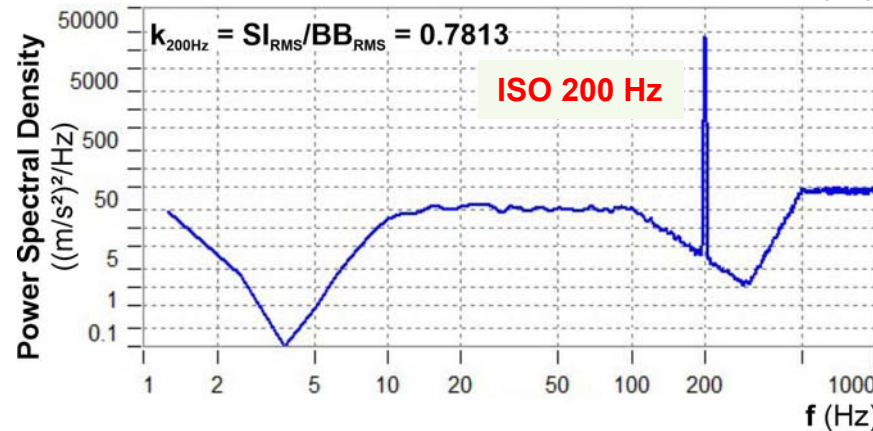
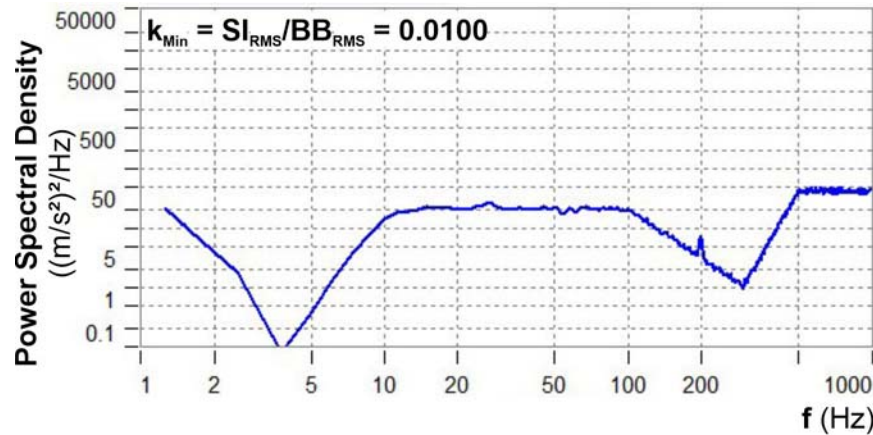
### Verteilungsdichte

(PDF = Probability Density Function)

$$p(a) = \lim_{\substack{\Delta a \rightarrow 0 \\ N \rightarrow \infty}} \frac{1}{\Delta a} \left( \frac{n_k}{N} \right)$$

- Beim reinen Rauschen, hier für  $k = 0.01$ , ist PDF normalverteilt.
- Mit zunehmendem Sinus-Anteil,  $k = 0.3907$  u.  $0.7813$ , und damit den weniger häufigen Rausch-Nullgängen verbreitert sich PDF.
- Bei überwiegendem Sinus-Anteil,  $k = 4$ , wird PDF typisch badewannenförmig jedoch – aufgrund des noch vorhandenen Rauschanteils – ohne scharfe Amplitudengrenzen bei  $\sqrt{2}$ .

## Spektrale Leistungsdichte für ansteigende k-Faktoren, Signal ist ungeclippt



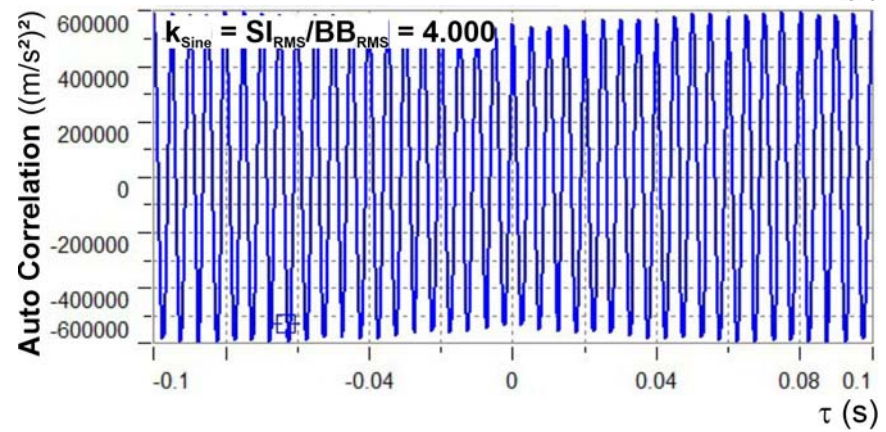
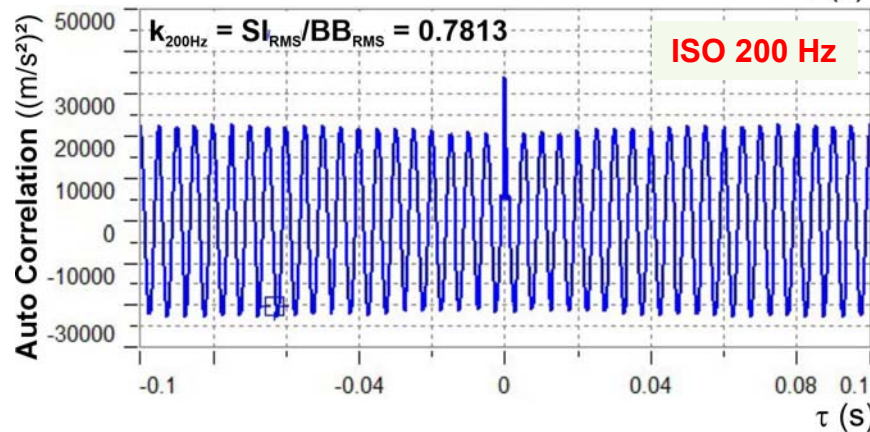
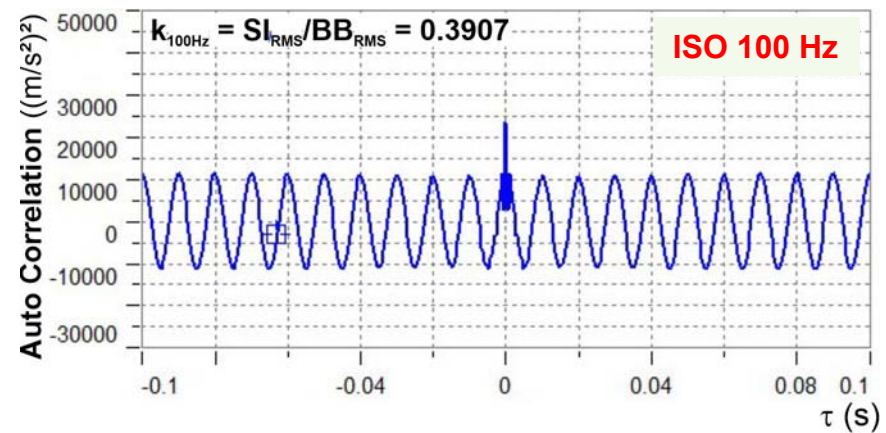
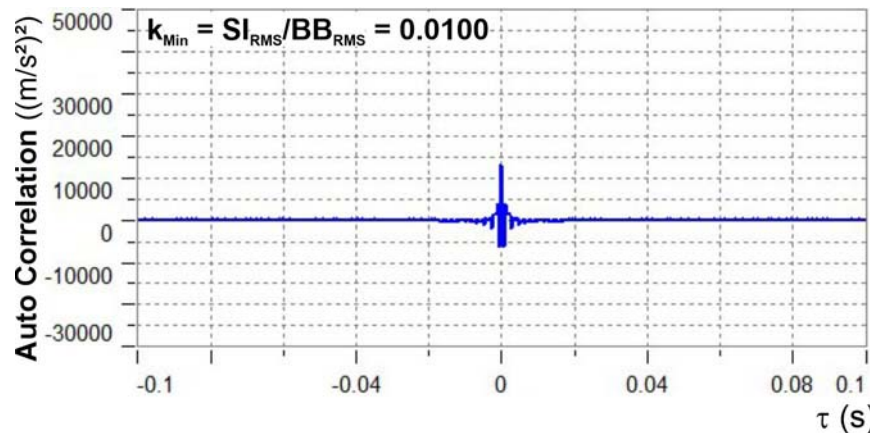
### Spektrale Leistungsdichte

(PSD = Power Spectral Density)

$$\text{PSD}(f) = \frac{\text{APS}(f)}{\Delta f} = \frac{|\underline{X}(f)|^2}{\Delta f} \frac{(\text{m/s}^2)^2}{\text{Hz}}$$

- Aus dem reinen Rauschen, hier für  $k = 0.01$ , sticht noch eine kleine Spitze von 2.56 m/s<sup>2</sup> des Sinus-Anteil bei 200Hz hervor, der zumindest für die SoR-Regelung notwendig gewesen ist.
- Mit zunehmendem Sinus-Anteil,  $k = 0.3907, 0.7813$  u. 4.000, steigt die Spitze weiter an bei gleichem Rausch-Anteil.
- Die PSD-Spitze selbst zeigt noch nicht, ob es sich wirklich um einen Sinus-Anteil, handelt.

## Autokorrelationsfunktion für ansteigende k-Faktoren, Signal ist ungeclippt



### Autokorrelationsfunktion

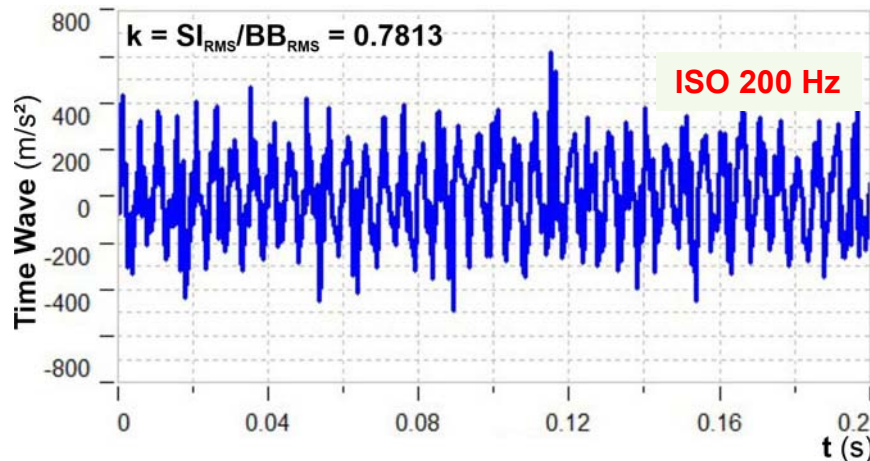
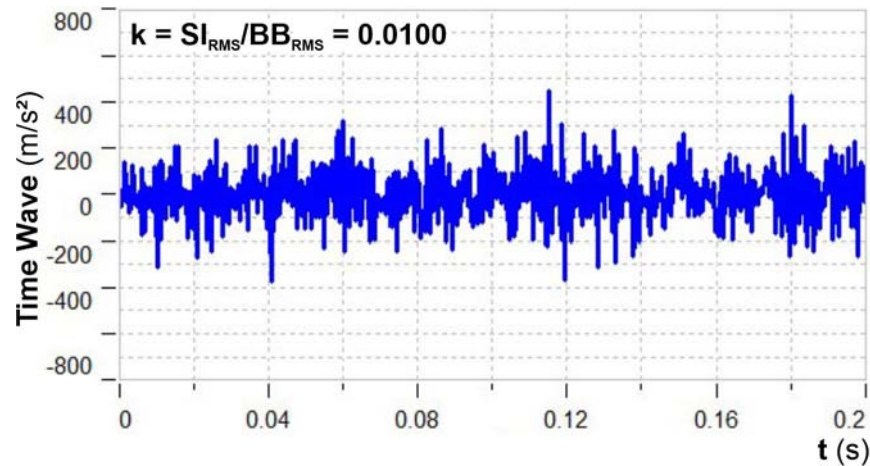
(COR = Auto Correlation Function)

$$\text{COR}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T a(t) \cdot a(t+\tau) dt \left( \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right)^2$$

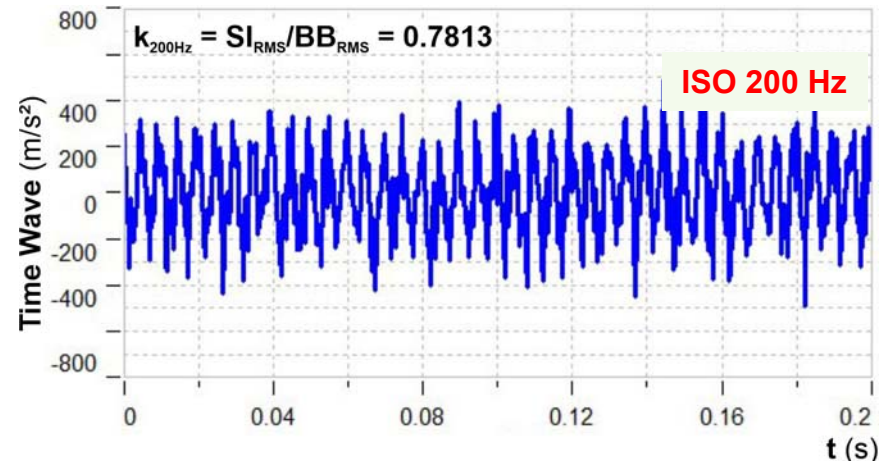
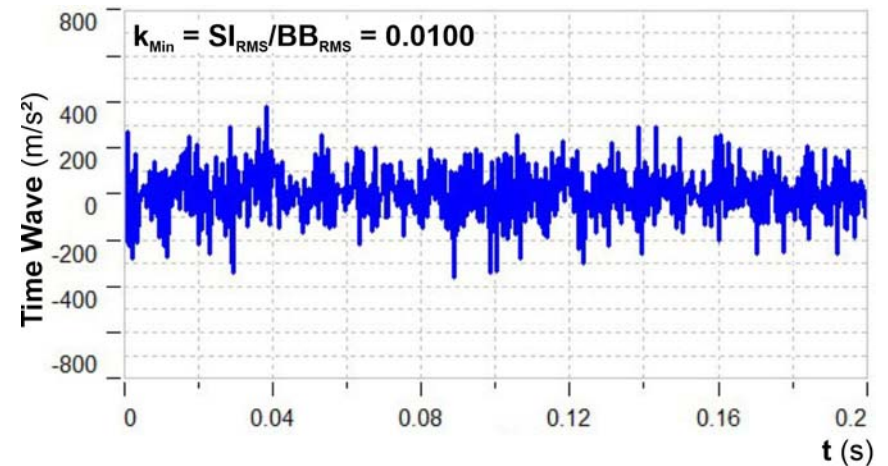
- Beim reinen Rauschen, hier für  $k = 0.01$ , hat COR bei der Zeitverschiebung  $\tau = 0$  den Wert  $B_{B_{\text{RMS}}}^2$ , bei  $\tau \neq 0$  den Wert 0 (hier eigentlich noch den kleinen Sinus-RMS-Wert  $1.81^2$ ).
- Mit zunehmendem Sinus-Anteil,  $k = 0.3907, 0.7813$ , zeigt COR für  $\tau = 0$  den Wert  $(B_{B_{\text{RMS}}}^2 + S_{I_{\text{RMS}}}^2)$  und  $\tau \neq 0$  den Sinus-Anteil  $S_{I_{\text{RMS}}}^2$  des Gesamtsignals.
- Beim Sinus-Anteil,  $k = 4.000$ , dominiert  $S_{I_{\text{RMS}}}^2$  auch bei  $\tau = 0$  die COR den  $\text{RMS}^2$  des Gesamtsignals.

## Zeitverläufe für ansteigende k-Faktoren, Signal ist ungeclippt und geclippt

No Clip

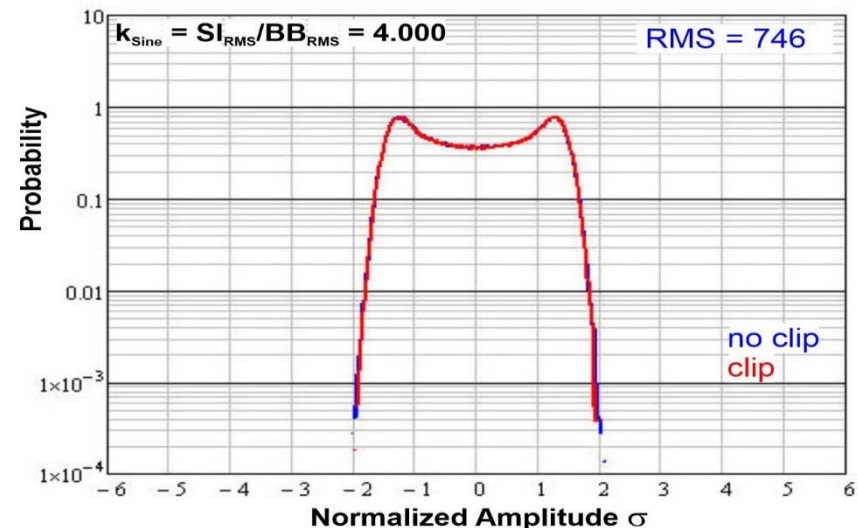
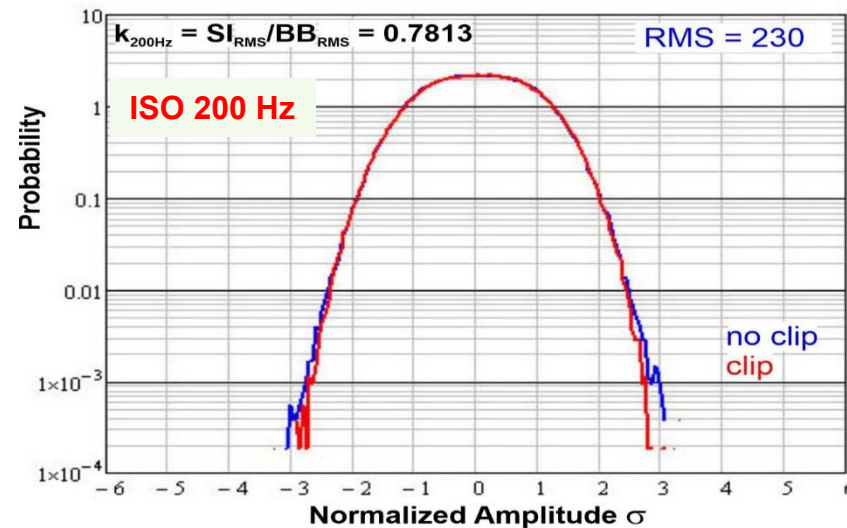
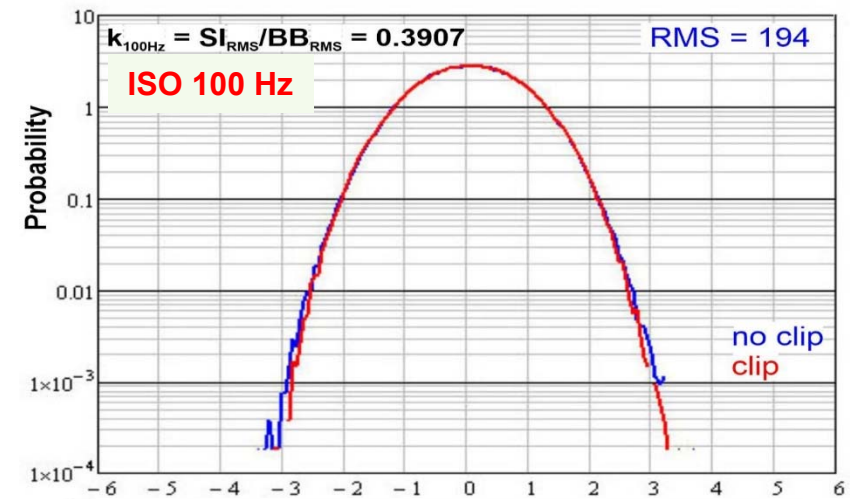
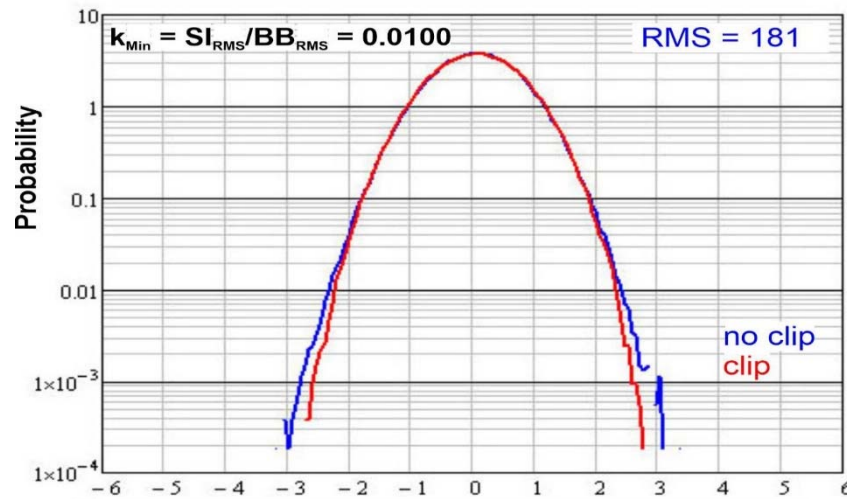


Clip 2.5



- Beim reinen Rauschen, hier für  $k = 0.01$ , sind die gemessenen Amplitudenspitzen des geclippten Signals weniger und kleiner; das Signal wird demnach geclippt.
- Beim sinusbehafteten Rauschsignal,  $k = 0.7813$ , weisen die gemessenen, ebenfalls etwas kleineren Amplitudenspitzen des geclippten Signals darauf hin, dass es geringfügig geclippt wird.

## Verteilungsdichte für ansteigende k-Faktoren, Signal ist nicht geclippt und geclippt



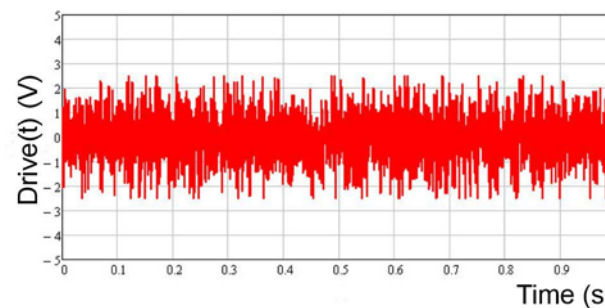
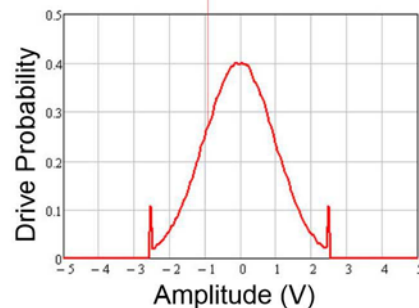
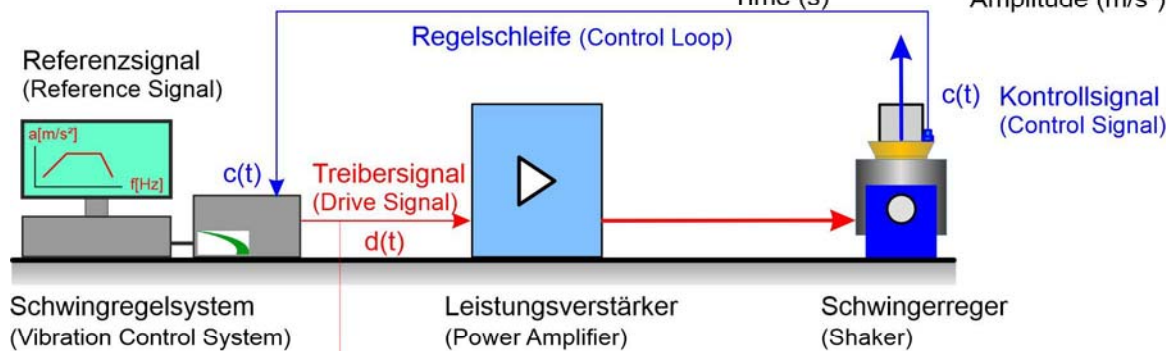
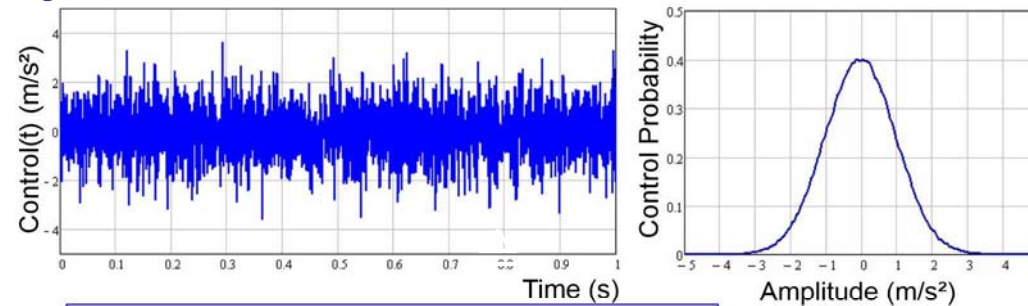
- Die anfangs gezeigten Verteilungsdichten (PDF) sind mit der linearen Verteilungsachse zu wenig aufgelöst, hier daher die logarithmische PDF-Y-Achse. Für die X-Achse sind die EU-Amplituden auf den RMS ( $\text{m/s}^2$ ) normiert, also auf  $\sigma = 1$  hin.
- Nur beim reinen Rauschen, hier für  $k = 0.01$ , wird wirklich geclippt, bei  $k = 0.3907$  u.  $0.7813$  zunehmend weniger und beim hohen Sinus-Anteil,  $k = 4.000$  garnicht.

# Messung Rauschsignal, Verteilungsdichte des Ausgangs- zu Eingangssignal beim Schwingprüfsystem

Bisherige Messungen im Kurzschluss des Schwingreglers.

Bei Messungen während des TAE-Shakerkursus – Biegebalken auf (200 N)-RMS-Shaker – hat sich gezeigt:

- das auf  $\sigma = 2.5$  geclippte Regelausgangssignal  $d(t)$  (Drive Probability) spiegelt sich nicht im Kontrollsignal  $c(t)$  (Control Probability) wieder!
- Eine zu geringe Schwingerregerkraft kann die schwingende, träge Masse nicht in das geclippte Drive-Signal zwingen. Das Kontrollsignal aus erzwungener und freier Schwingungsantwort führt wieder auf ein eher normalverteiltes Signal!



Originalmessungen standen nicht mehr zur Verfügung, die Kurven wurden zwecks Anschauung gerechnet.