



# Objektivierung des wahrgenommenen Diskomforts bei Schwingungen in Traktorkabinen

**Manuel Weis**

John Deere Werke Mannheim



**JOHN DEERE**

# Übersicht

1. Komfort <--> Diskomfort
2. Bewertung von Ganzkörperschwingungen (ISO 2631.1)
3. Verbesserungspotential und neuer Ansatz
4. Interaktive Fahrsimulation zur Komfortbewertung
5. Zusammenfassung und Ausblick

# Übersicht

1. **Komfort <--> Diskomfort**
2. Bewertung von Ganzkörperschwingungen (ISO 2631.1)
3. Verbesserungspotential und neuer Ansatz
4. Interaktive Fahrsimulation zur Komfortbewertung
5. Zusammenfassung und Ausblick

# 1. Komfort <--> Diskomfort

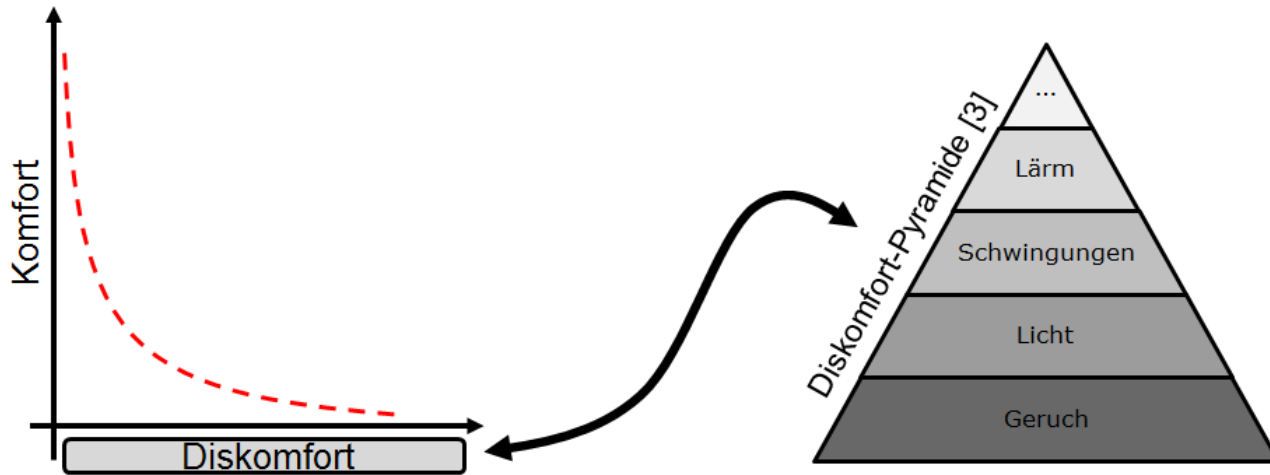
**1958: Hertzberg**

Komfort ist die Abwesenheit von Diskomfort [1]



**1996: Zhang, Helander und Drury**

Komfort und Diskomfort sind zwei unabhängige Dimensionen, orthogonale Achsen [2]



Im allgemeinen Sprachgebrauch verbindet man Komfort mit Aspekten des Diskomforts (siehe Herzberg).

# Übersicht

1. Komfort <--> Diskomfort
2. **Bewertung von Ganzkörperschwingungen (ISO 2631.1)**
3. Verbesserungspotential und neuer Ansatz
4. Interaktive Fahrsimulation zur Komfortbewertung
5. Zusammenfassung und Ausblick

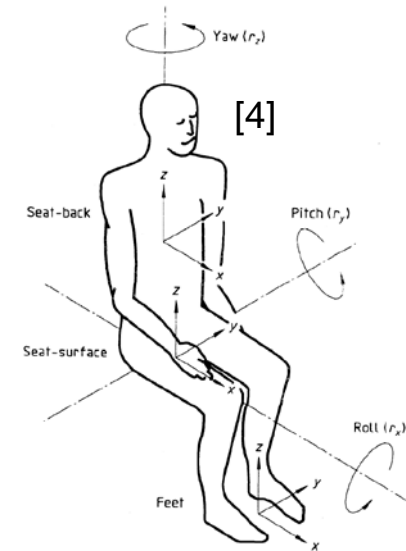
## 2. Bewertung von Ganzkörperschwingungen (ISO 2631.1)

### ISO 2631.1 vollständige Komfortbewertungsmethode

→ Messstellen:

- Sitzfläche -----→ (x/y/z/rot x/rot y/rot z)
  - Rückenlehne ---→ (x/y/z)
  - Fußboden -----→ (x/y/z)
- } 12 Freiheitsgrade

→ Großer Instrumentierungs- und Auswertungsaufwand



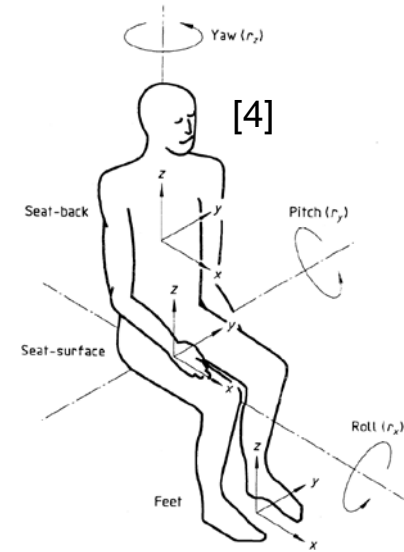
# 2. Bewertung von Ganzkörperschwingungen (ISO 2631.1)

## ISO 2631.1 vollständige Komfortbewertungsmethode

→ Messstellen:

- Sitzfläche -----→ (x/y/z/rot x/rot y/rot z)
  - Rückenlehne ----→ (x/y/z)
  - Fußboden -----→ (x/y/z)
- } 12 Freiheitsgrade

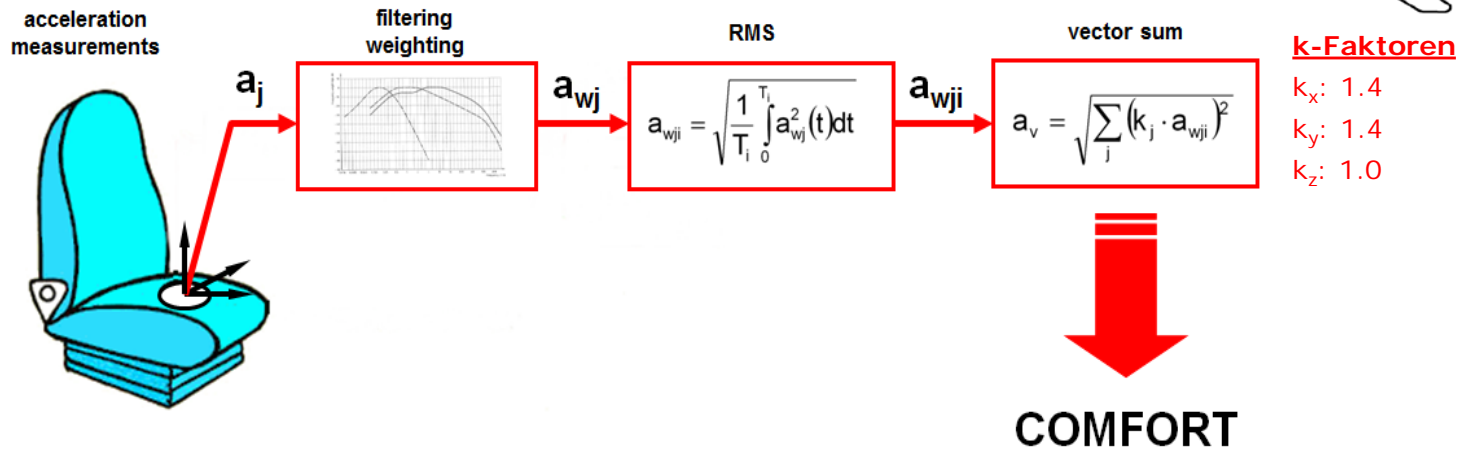
→ Großer Instrumentierungs- und Auswertungsaufwand



## ISO 2631.1 vereinfachte Komfortbewertungsmethode

→ Gemäß ISO 2631.1 für die meisten Fälle ausreichend

→ Geringer Instrumentierungs- und Auswertungsaufwand



# Übersicht

1. Komfort <--> Diskomfort
2. Bewertung von Ganzkörperschwingungen (ISO 2631.1)
3. **Verbesserungspotential und neuer Ansatz**
4. Interaktive Fahrsimulation zur Komfortbewertung
5. Zusammenfassung und Ausblick



### 3. Verbesserungspotential und neuer Ansatz

#### Problem:

- ISO 2631.1  $k_j$ -Faktoren entstammen Laborversuchen mit uni-axialer Anregung
- ISO 2631.1  $k_j$ -Faktoren unterschätzen den Einfluss der lateralen und longitudinalen Richtung [5, 6]

# 3. Verbesserungspotential und neuer Ansatz

## Problem:

- ISO 2631.1  $k_j$ -Faktoren entstammen Laborversuchen mit uni-axialer Anregung
- ISO 2631.1  $k_j$ -Faktoren unterschätzen den Einfluss der lateralen und longitudinalen Richtung [5, 6]

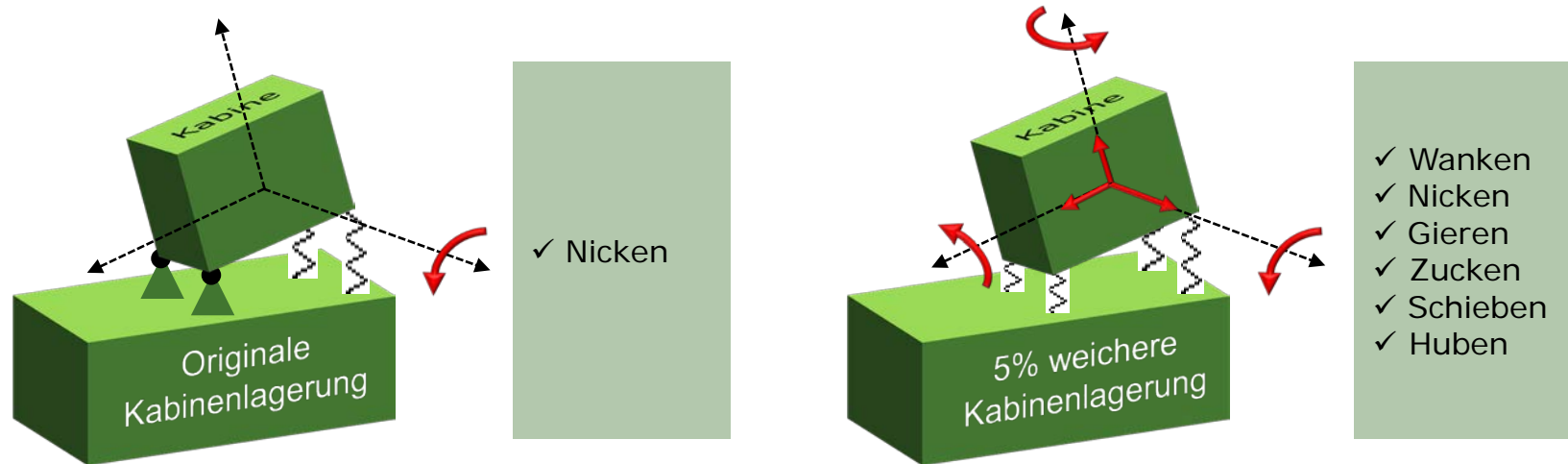
### • **Aus der Praxis bei John Deere:**

Weichere Gummilager als Kompromiss zwischen Fahrkomfort und Geräuschisolation

→ Bei kleinen Änderungen keine Auswirkungen laut Bewertung nach ISO 2631

→ ABER: Test-Fahrer empfinden Komfort schon bei 5% weicheren Lagern als inakzeptabel

→ **Durch die weicheren Kabinenlager wird aus dem 1-Freiheitsgrad-Konzept ein Multi-Freiheitsgrad-Konzept (überlagerte Schwingungen treten auf).**



### 3. Verbesserungspotential und neuer Ansatz

#### Idee:

- Modifizierte  $k_j$ -Faktoren finden oder neue Bewertungsmethode entwickeln
- Versuche/Studien mit Probanden erforderlich
  - Versuche sollen wiederholbar, kontrollierbar, realistisch sein → Simulator
  - Kombinationen von Anregungen in x-, y- and z-Richtung werden erzeugt
  - Testpersonen sollen subjektives Feedback abgeben
- Verwendung von statistischen DOE-Methoden, um verbesserte Faktoren oder neue Methodik zu entwickeln:

***Multiple linear Regression***

# 3. Verbesserungspotential und neuer Ansatz

## Multiple lineare Regression:

$$Y = b_0 + b_1 \cdot X_1^2 + b_2 \cdot X_2^2 + b_3 \cdot X_3^2$$



$$Y = (k_1)^2 \cdot X_1^2 + (k_2)^2 \cdot X_2^2 + (k_3)^2 \cdot X_3^2$$



$$K = \sqrt{(k_x)^2 \cdot a_{wx}^2 + (k_y)^2 \cdot a_{wy}^2 + (k_z)^2 \cdot a_{wz}^2}$$



**Aktuelle ISO2631-Methodik**

- mit  $X_{1,2,3}$  = Beschleunigungen (RMS) in x-, y- und z-Richtung (unabhängige Variablen)
- mit  $Y$  = Komfortwert (abhängige Variable)
- mit  $b_j$  = Koeffizienten,  $k_j$ -Faktoren

### 3. Verbesserungspotential und neuer Ansatz

#### Multiple lineare Regression:

$$Y = b_0 + b_1 \cdot X_1^2 + b_2 \cdot X_2^2 + b_3 \cdot X_3^2 + b_4 \cdot X_1 \cdot X_2 + b_5 \cdot X_1 \cdot X_3 + b_6 \cdot X_2 \cdot X_3 + b_7 \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot X_3$$

$$Y = (k_1)^2 \cdot X_1^2 + (k_2)^2 \cdot X_2^2 + (k_3)^2 \cdot X_3^2$$

$$K = \sqrt{(k_x)^2 \cdot a_{wx}^2 + (k_y)^2 \cdot a_{wy}^2 + (k_z)^2 \cdot a_{wz}^2}$$

**Aktuelle ISO2631-Methodik**

**Interaktionsterme**

- mit  $X_{1,2,3}$  = Beschleunigungen (RMS) in x-, y- und z-Richtung (unabhängige Variablen)
- mit  $Y$  = Komfortwert (abhängige Variable)
- mit  $b_j$  = Koeffizienten,  $k_j$ -Faktoren

# Übersicht

1. Komfort <--> Diskomfort
2. Bewertung von Ganzkörperschwingungen (ISO 2631.1)
3. Verbesserungspotential und neuer Ansatz
4. **Interaktive Fahrsimulation zur Komfortbewertung**
5. Zusammenfassung und Ausblick

# 4. Interaktive Fahrsimulation zur Komfortbewertung

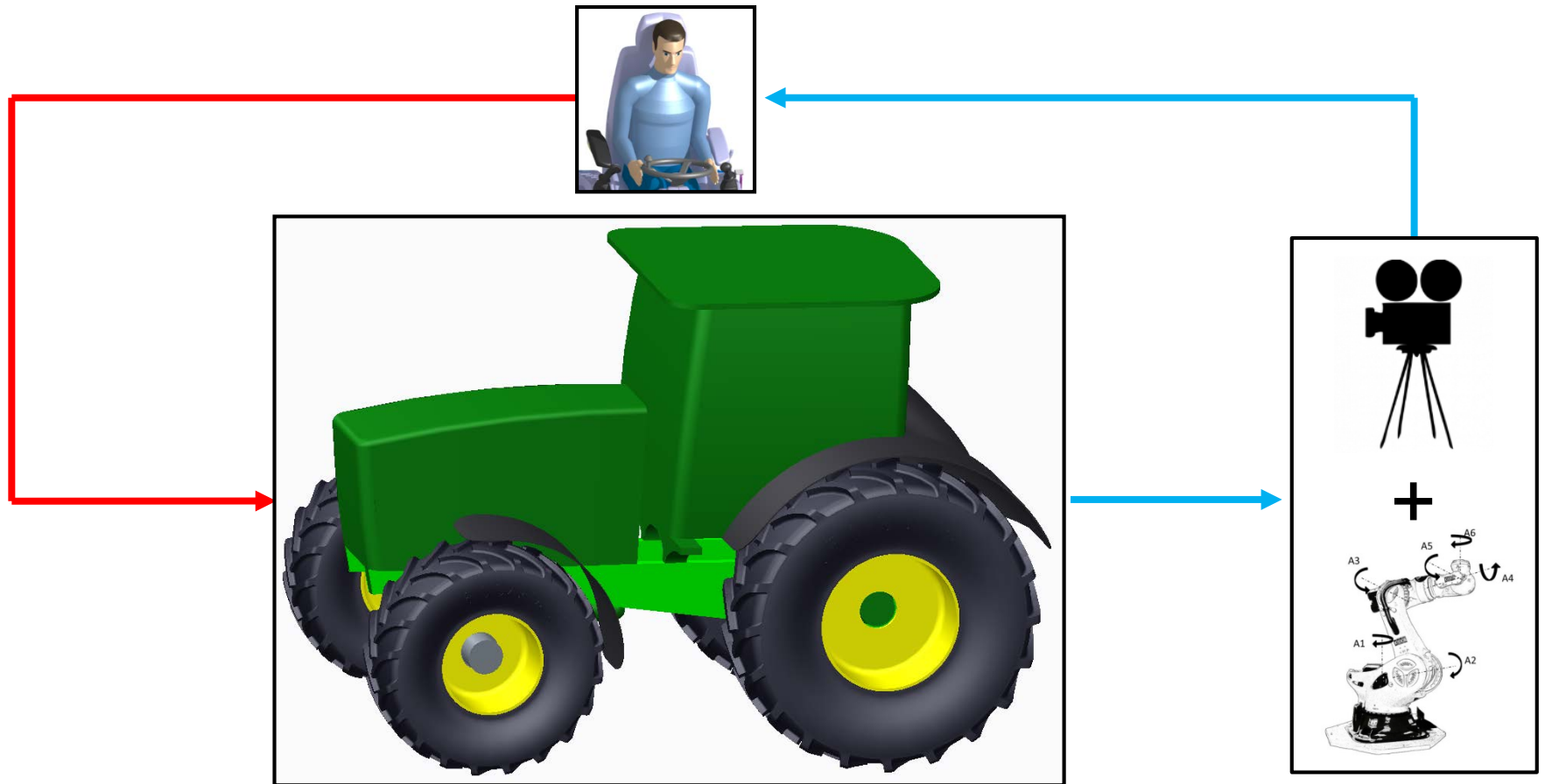
## Vorteile gegenüber realem System:

- + Kontrollierbarkeit
- + Wiederholbarkeit
- + Unabhängigkeit von Wetterverhältnissen

## Nachteile gegenüber realem System:

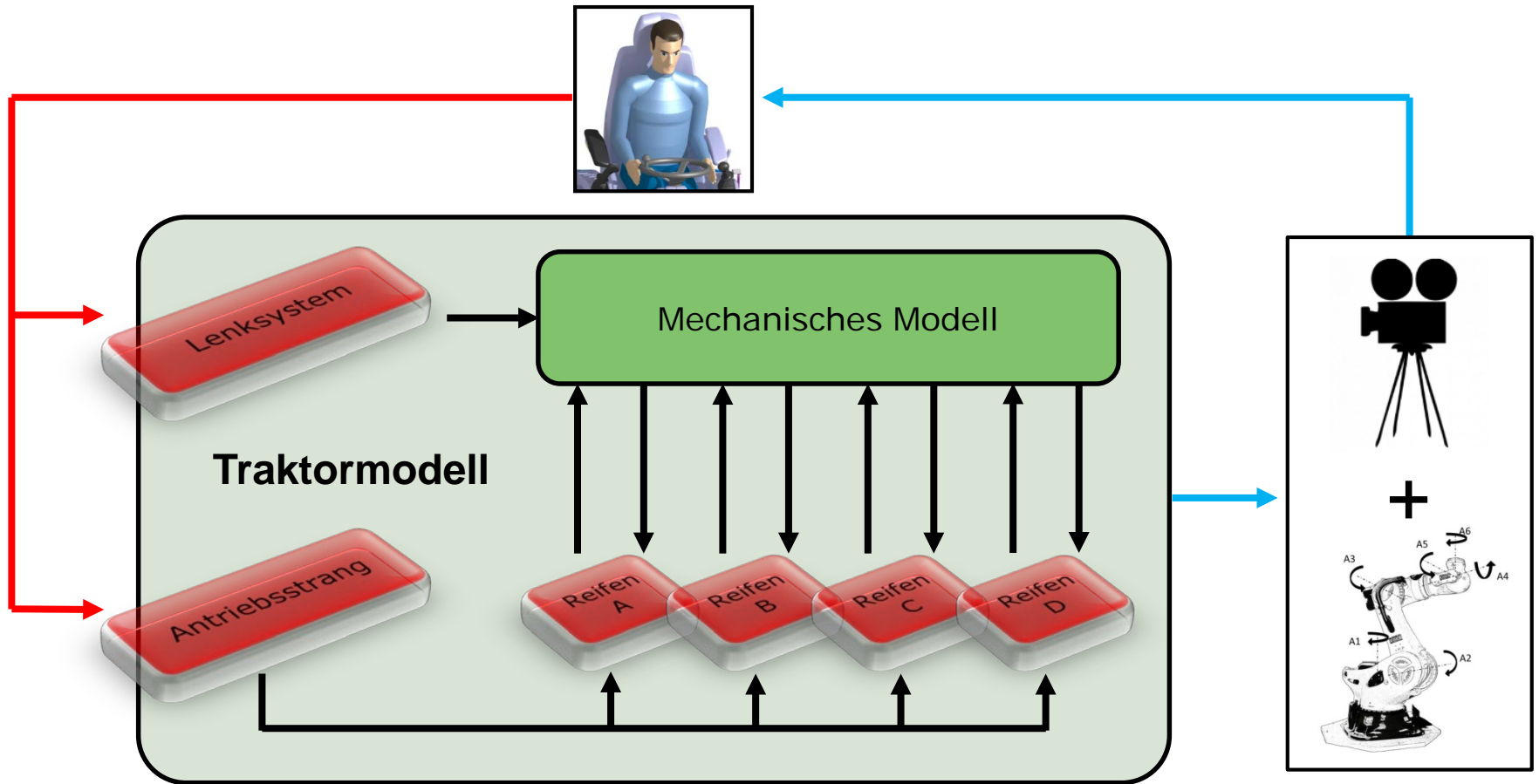
- „Essentially, all models are wrong, but some are useful.“ (George Box, Statistiker)
- Gefahr, dass Simulator und nicht das System bewertet wird

## 4. Interaktive Fahrsimulation zur Komfortbewertung

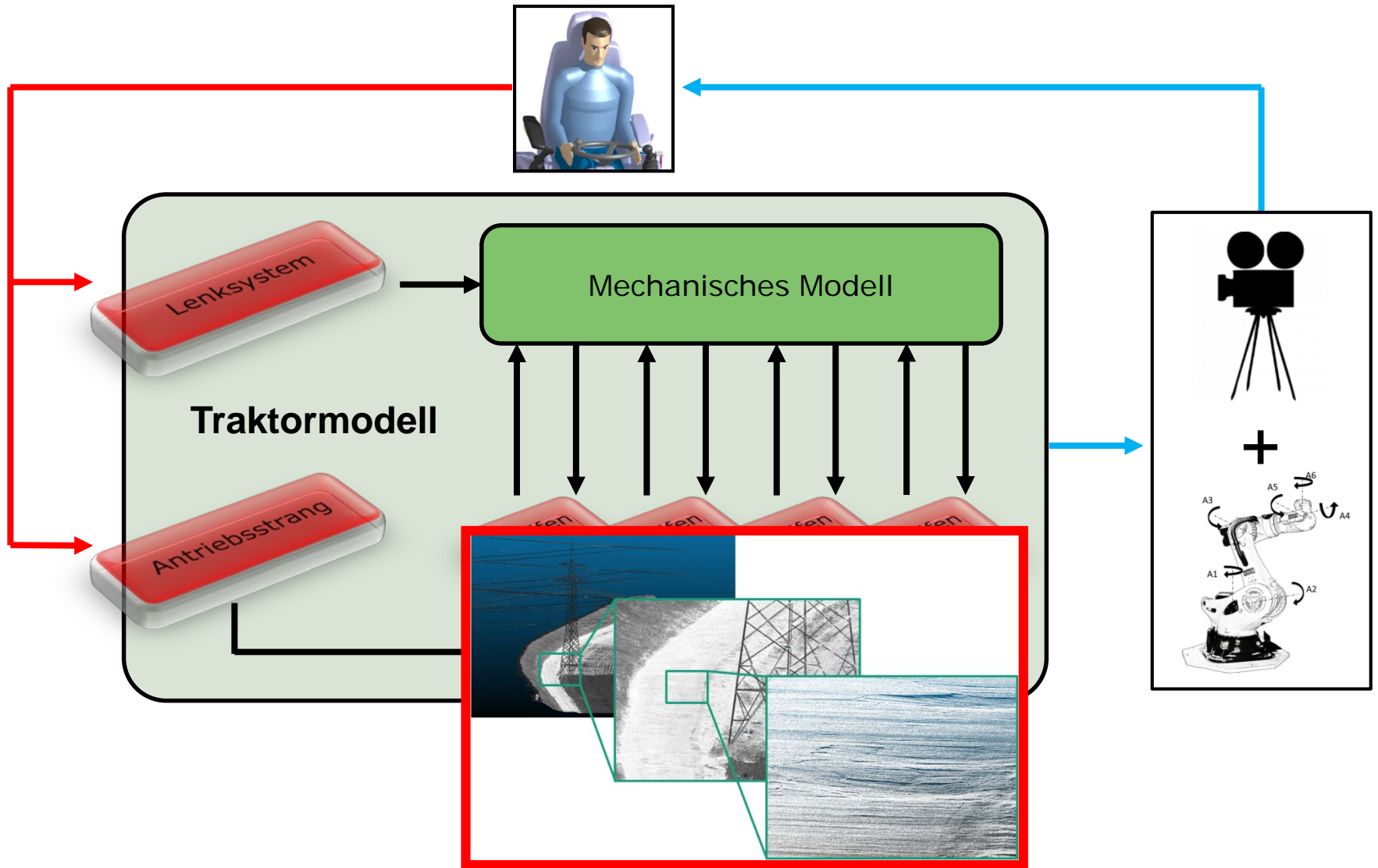




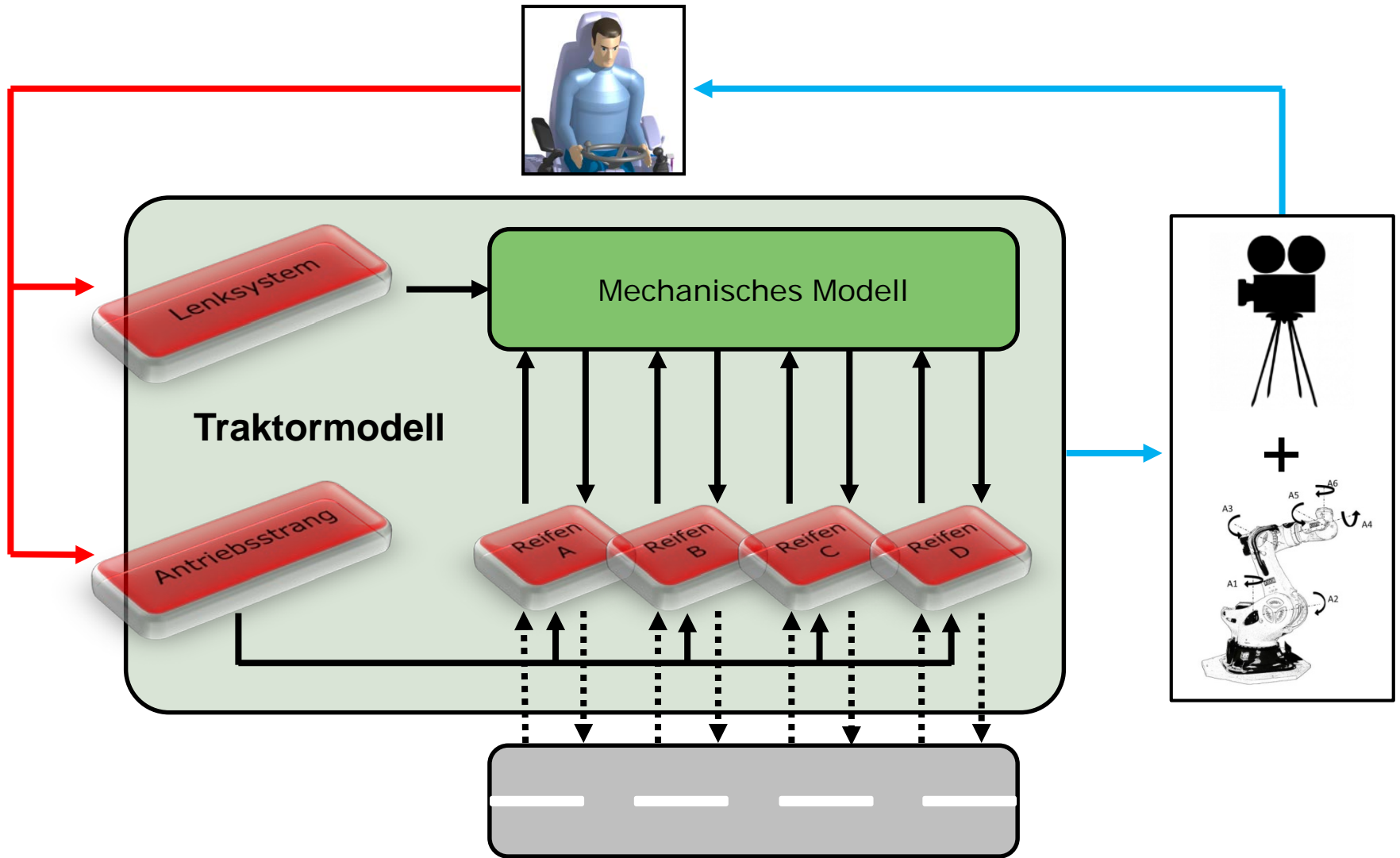
# 4. Interaktive Fahrsimulation zur Komfortbewertung



# 4. Interaktive Fahrsimulation zur Komfortbewertung



# 4. Interaktive Fahrsimulation zur Komfortbewertung

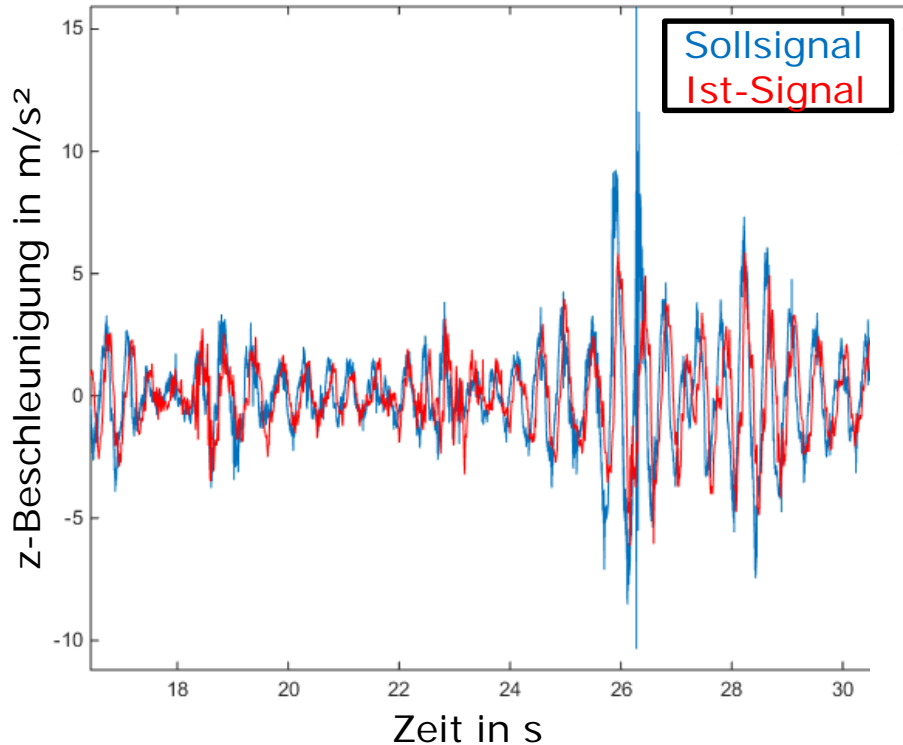


# 4. Interaktive Fahrsimulation zur Komfortbewertung

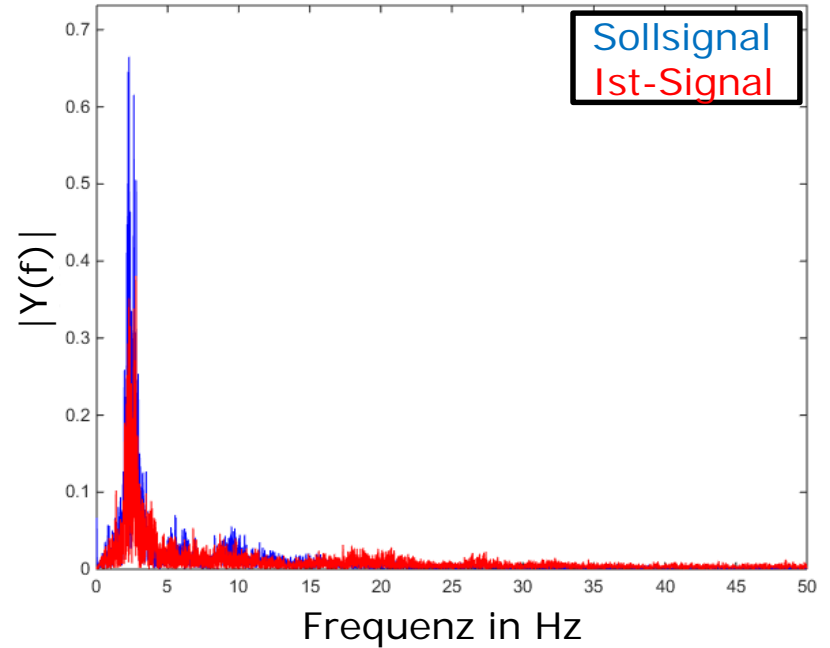
## Performance-Test des Simulators:

Vertikalbeschleunigung am Kabinenboden bei 30 km/h

Soll = gemessenes Signal am realen Traktor  
Ist = reproduziertes Signal im Simulator



Zeitbereich



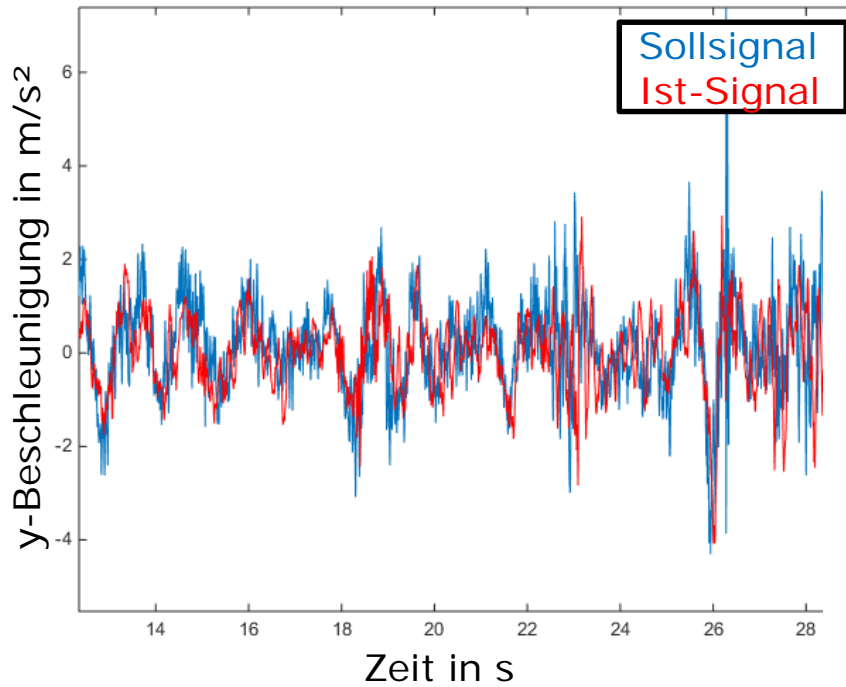
Bildbereich

# 4. Interaktive Fahrsimulation zur Komfortbewertung

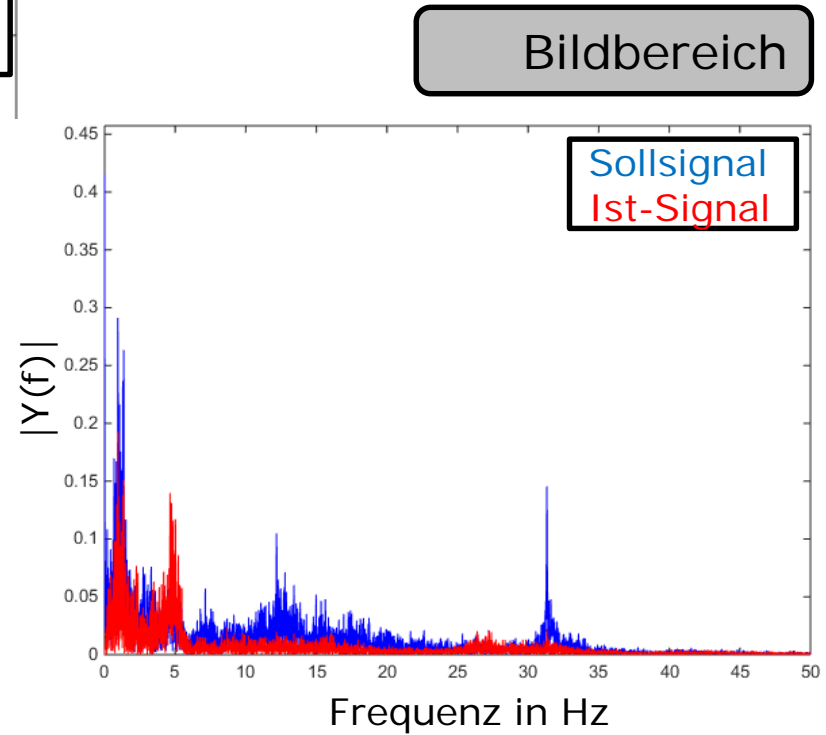
## Performance-Test des Simulators:

Lateralbeschleunigung am Kabinenboden bei 30 km/h

Soll = gemessenes Signal am realen Traktor  
Ist = reproduziertes Signal im Simulator



Zeitbereich

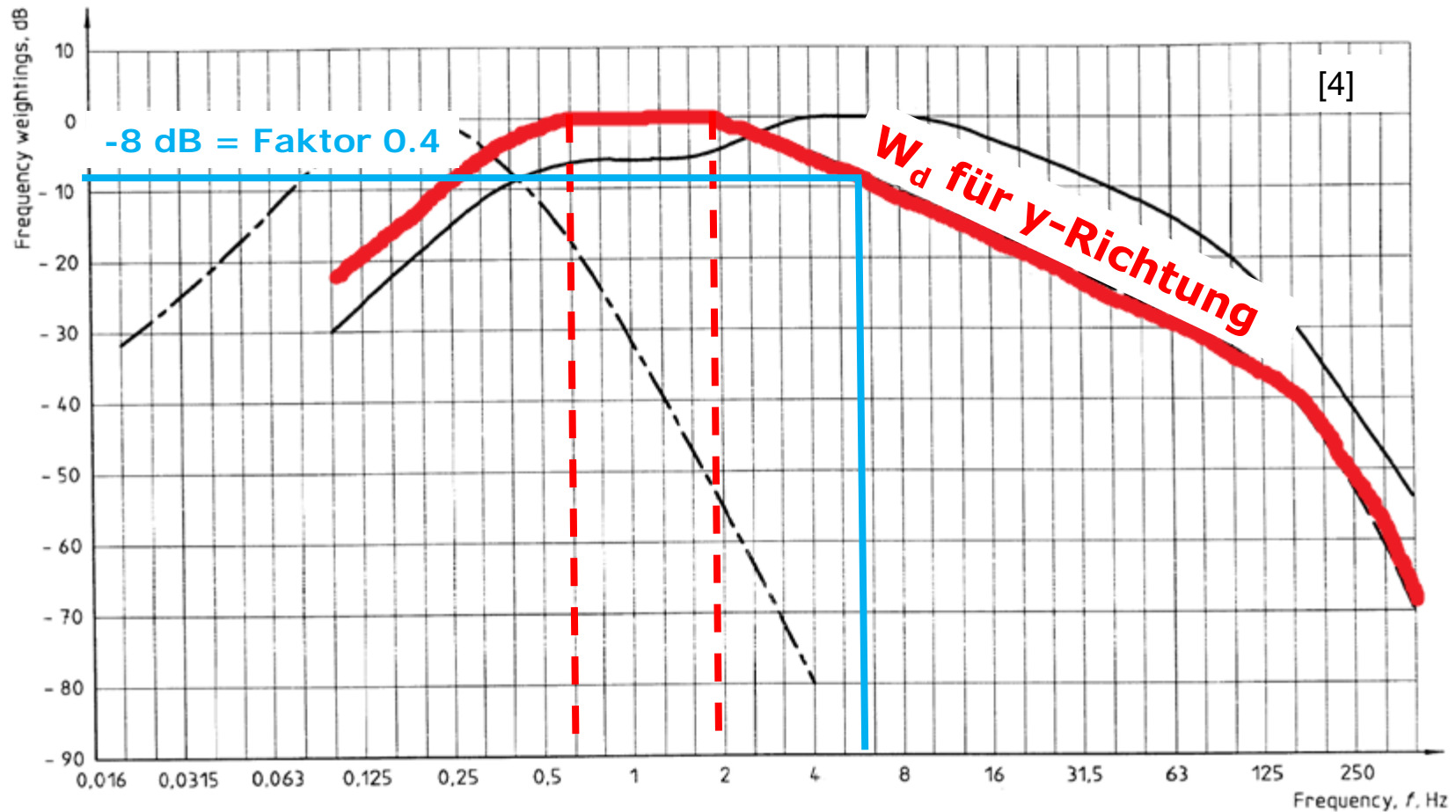


Bildbereich

# 4. Interaktive Fahrsimulation zur Komfortbewertung

## Performance-Test des Simulators:

Lateralbeschleunigung am Kabinenboden bei 30 km/h



# Übersicht

1. Komfort <--> Diskomfort
2. Bewertung von Ganzkörperschwingungen (ISO 2631.1)
3. Verbesserungspotential und neuer Ansatz
4. Interaktive Fahrsimulation zur Komfortbewertung
5. **Zusammenfassung und Ausblick**

## 5. Zusammenfassung und Ausblick

- ISO 2631.1 hat Verbesserungspotential:
  - ❑  $k_j$ -Faktoren der ISO2631.1 unterschätzen den Einfluss der lateralen und longitudinalen Richtung
  - ❑ In der Praxis zeigten sich Abweichungen zwischen Komfortwert nach ISO und subjektiver Wahrnehmung
  
- Optimierte Faktoren oder neue Methodik erforderlich:
  - ❑ Tests mit Probanden notwendig
  - ❑ Wiederholbarkeit, Kontrollierbarkeit, Realitätsnähe → Traktor-Fahrsimulation
  
- Im niederfrequenten Bereich bis 5 Hz höchste Performance des Bewegungssystems
  
- Ausblick:
  - ❑ Durchführung einer Studie
  - ❑ Ableiten verbesserter Faktoren, einer angepassten Methodik
  - ❑ Validierung der Ergebnisse



# Quellen

- [1] Hertzberg, H.T.E.:  
Annotated Bibliography of applied physical anthropology in human engineering,  
Report No. WADC-TR-56-30, Wright-Patterson Air Force Base. OH: Aero-Medical library, 1958
  
- [2] Zhang, L.; Helander, M.G.; Drury, C.G.:  
Identifying factors of comfort and discomfort in sitting. Human Factors, 1996.
  
- [3] Bubb, Heiner:  
Komfort und Diskomfort. In: Ergonomie Aktuell Ausgabe 4 (2003), S. 5–8.
  
- [4] –,—:  
International Organization for Standardization: Mechanical vibration and shock: Evaluation of human exposure to whole-body vibration. Part 1: general requirements. International Standard, ISO 2631-1, Second edition 1997-05-01, 1997.
  
- [5] Marjanen, Y.:  
Validation and improvement of the ISO 2631-1 (1997) standard method for evaluating discomfort from whole-body vibration in a multi-axis environment, Dissertation, Loughborough University, 2010.
  
- [6] Mansfield, N.J.; Maeda, S.:  
Subjective ratings of whole-body vibration for single- and multi-axis motion. Journal of the Acoustical Society of America, 130 (6), pp. 3723-3728, 2011 .

## Alle Klarheiten beseitigt?

