

Vorlesung: Angewandte Sensorik

Prof. J. Zhang

zhang@informatik.uni-hamburg.de

Universität Hamburg

Fachbereich Informatik

AB Technische Aspekte Multimodaler Systeme

4. November 2005

Prof. J. Zhang
zhang@informatik.uni-hamburg.de

4. November 2005

Inhaltsverzeichnis

3. Eigenschaften von Sensoren	41
Transferfunktion	42
Messbereichsumfang	49
Ausgabebereich	51
Genauigkeit	52
Kalibrationsfehler	56
Hysterese	59
Sättigung	61
Wiederholgenauigkeit	62
Totband	64
Dynamische Eigenschaften	67
Umwelteinflüsse	71

Prof. J. Zhang
zhang@informatik.uni-hamburg.de

4. November 2005

Weitere Sensoreigenschaften 72

Prof. J. Zhang
zhang@informatik.uni-hamburg.de

4. November 2005

Eigenschaften von Sensoren

- Ein Eingangssignal muss eventuell mehrmals konvertiert werden, bis der Sensor ein elektrisches Ausgangssignal ausgibt.
- In diesem Kapitel wird der Sensor als 'Black Box' betrachtet.
- Es interessiert uns im Folgenden nur die Beziehung zwischen Eingangs- und Ausgangssignal.

Prof. J. Zhang
Vorlesung: Angewandte Sensorik

Seite 41
4. November 2005

Transferfunktion (1)

- Jeder Sensor besitzt eine *ideale* bzw. *theoretische* Beziehung zwischen Eingangs- und Ausgangssignal.
- Das Ausgangssignal S repräsentiert dabei den *wahren* Wert des Eingangssignals s .

Definition:

Die ideale Beziehung zwischen Eingangs- und Ausgangssignal eines Sensors wird beschrieben durch die **Transferfunktion** $S = f(s)$.

Transferfunktion (2)

- Lineare Transferfunktion:

$$S = a + b \cdot s$$

- Logarithmische Transferfunktion:

$$S = a + k \cdot \ln s$$

- Exponentiale Transferfunktion:

$$S = a \cdot e^{ks}$$

- weitere Transferfunktionen:

$$S = a_0 + a_1 \cdot s^k$$

oder beliebige Polynome höherer Ordnung

Transferfunktion (3)

- k ist eine Konstante
- a ist das Ausgangssignal bei einem Eingangssignal von 0
- b ist die Steigung
- b wird in diesem Zusammenhang oft als *Sensitivität* bezeichnet

Sensitivität

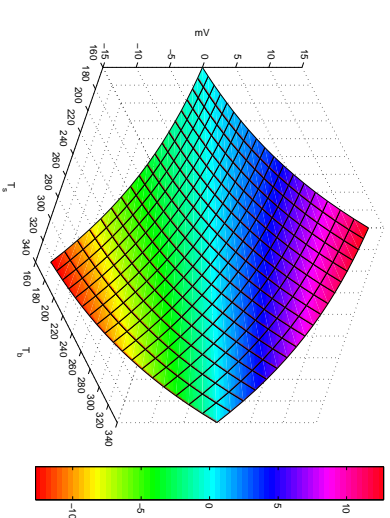
Für nicht-lineare Transferfunktionen ist die Sensitivität für jeden Eingangswert s_i wie folgt definiert:

$$b = \frac{dS(s_i)}{ds}$$

Approximation einer Transferfunktion

- Einige nicht-lineare Transferfunktionen sind linear in einem eingeschränkten Bereich.
- Nicht-lineare Transferfunktionen können durch mehrere lineare Funktionen approximiert werden.
- Die Differenz zwischen wahren und linear approximiertem Ausgangssignal sollte unter einem zu spezifizierenden Limit liegen.

Transferfunktion: Wärmestrahlungssensor



Mehrdimensionale Transferfunktionen

- Transferfunktion kann von mehr als einem Stimulus abhängen.
- **Beispiel:** Infrarot-Wärmestrahlungssensor

$$U = G(T_b^4 - T_s^4) \quad (\text{Stefan} - \text{Boltzmann} - \text{Gesetz})$$

- ◆ G – Konstante
- ◆ T_b – absolute Temperatur des gemessenen Objektes
- ◆ T_s – absolute Temperatur der Sensoroberfläche
- ◆ U – Ausgangsspannung
- ◆ Sensitivität in Bezug auf die Temperatur des gemessenen Objektes:

$$b = \frac{\delta U}{\delta T_b} = 4GT_b^3$$

Messbereichsumfang

Definition:

Der dynamische Bereich eines Stimulus, der von einem Sensor erfasst wird, wird **Messbereichsumfang** (engl. *Span* oder *Full Scale Input*) genannt.

- bezieht den höchsten für einen Sensor zulässigen Stimuluswert
- größere Stimuli können den Sensor beschädigen

Dezibel

- Der Messbereichsumfang wird bei großen dynamischen und nicht-linearen Eingangssignalen oft in *Dezibel* angegeben.
- Dezibel ist ein logarithmisches Maß für ein Verhältnis G von Kraft, Strom oder Spannung:

$$G [dB] = 20 \log \frac{s_2}{s_1}$$

Ausgabebereich

Definition:

Der **Ausgabebereich** (endl. *Full Scale Output*) eines Sensors ist das Intervall zwischen dem Ausgangssignal bei kleinstem und größtem angelegten Stimulus.

Genauigkeit

- Eine wichtige Eigenschaft eines Sensors ist die *Genauigkeit*.
- eigentlich: Ungenauigkeit
- Die Genauigkeit beschreibt die maximale Abweichung zwischen den idealen und den vom Sensor ausgegebenen Werten.
- Wie bei jeder Messung spricht man von *systematischen* und *zufälligen* Fehlern eines Sensors.

siehe: Messfehler und Fehlerrechnung

Reale Transferfunktion (1)

- Im Vergleich zur idealen Transferfunktion sind reale Sensoren immer ungenau.
- Die Transferfunktion eines realen Sensors heißt daher: *reale Transferfunktion*.
- Problem: Sie ist im Gegensatz zu idealen Transferfunktionen meistens weder nicht-linear noch monoton.
- Gründe: Unterschiede im Material und in der Herstellung; Fehler im Design, Toleranzen in der Herstellung, ...
- Trotzdem: Jeder Sensor sollte innerhalb der angegebenen Genauigkeit arbeiten.

Reale Transferfunktion (2)

- Erlaubte Abweichung von der idealen Transferfunktion: $\pm \Delta$
- Abweichung zwischen idealer und realer Transferfunktion: $\pm \delta$

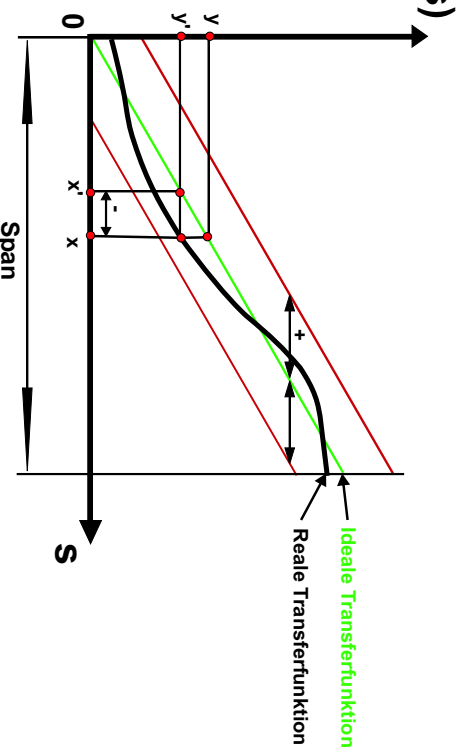
$$\delta \leq \Delta$$

Beispiel: Stimulus x

- ideale Transferfunktion: $y = f_{ideal}(x)$
- reale Transferfunktion: $y' = f_{real}(x)$

⇒ Nimmt man die ideale Transferfunktion, um vom Ergebnis y' auf den Stimulus abzubilden erhält man x' und $\delta = x - x'$.

Reale Transferfunktion (3)

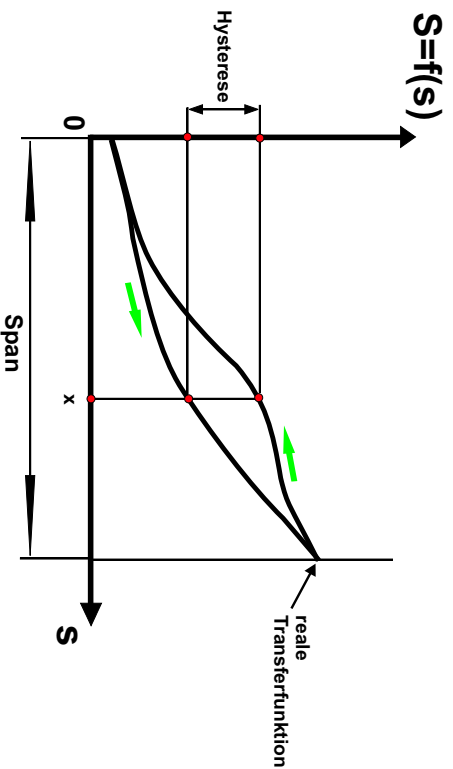
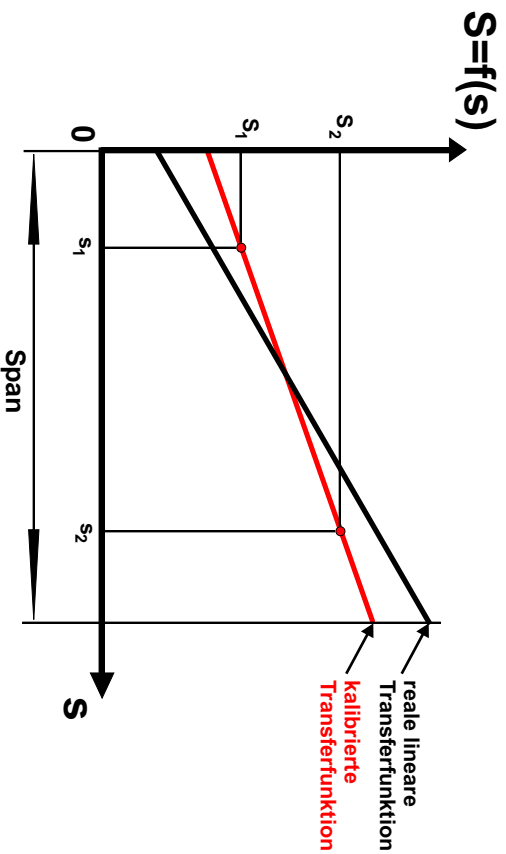


Kalibrationsfehler

- Firmen *kalibrieren* neue Sensoren nach der Herstellung.
- Es ergibt sich ein systematischer Fehler: der *Kalibrationsfehler*.
- Die Ausgabe des Sensors wird für jeden Stimulus um eine Konstante verschoben.
- Dieser Fehler ist nicht unbedingt gleichmäßig über den Eingabebereich verteilt.

Beispiel: Einfache Kalibration

- Ein Sensor hat eine lineare Transferfunktion.
- Für jeden hergestellten Sensor kann die Steigung aus Materialgründen unterschiedlich sein.
- Der Hersteller bestimmt daher die Steigung für jeden Sensor:
 - ◆ Es werden zwei Stimuli s_1 und s_2 angelegt.
 - ◆ Der Sensor antwortet mit den zugehörigen Signalen S_1 und S_2 .
 - ◆ Die Steigung für diesen Sensor kann bestimmt werden.
- ◆ **Problem:** Die Steigung wird aufgrund von Messfehlern nicht mit der realen übereinstimmen.



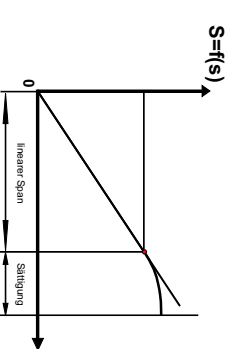
Hysteresefehler

Definition:

Ein **Hysteresefehler** ist die Abweichung des Ausgangssignals eines Sensors für einen bestimmten Stimuluswert, je nachdem, aus welcher Richtung der Stimulus sich diesem Wert nähert.

Sättigung

- Fast jeder Sensor hat Arbeitsbereichsgrenzen.
- Viele Sensoren haben eine lineare Transferfunktion, ...
- aber: Ab einem bestimmten Stimuluswert wird nicht mehr die gewünschten Ausgabe erzeugt.
- Man spricht dann von **Sättigung**:

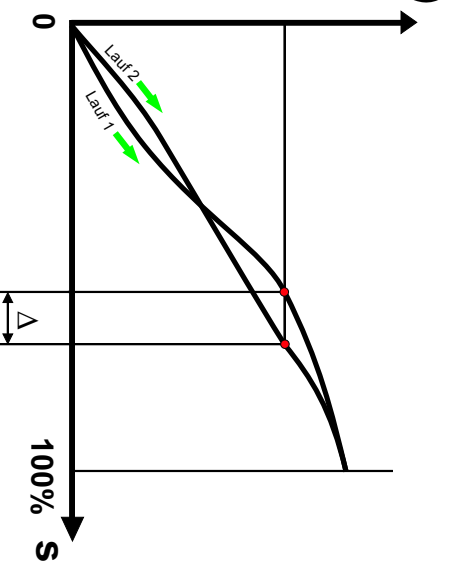


Wiederholgenauigkeit (1)

- Ein Sensor kann bei gleichen Bedingungen unterschiedliche Ausgabewerte produzieren.
- Dieser Fehler entspricht der *Wiederholgenauigkeit*.
- Für zwei Kalibrationszyklen normalerweise: *Maximale Distanz* Δ *zweier Stimuli mit gleichem Ausgangssignal*.
- Die Wiederholgenauigkeit wird anteilig zum Span angegeben:

$$\delta_r = \frac{\Delta}{Span} \cdot 100\%$$

Wiederholgenauigkeit (2)

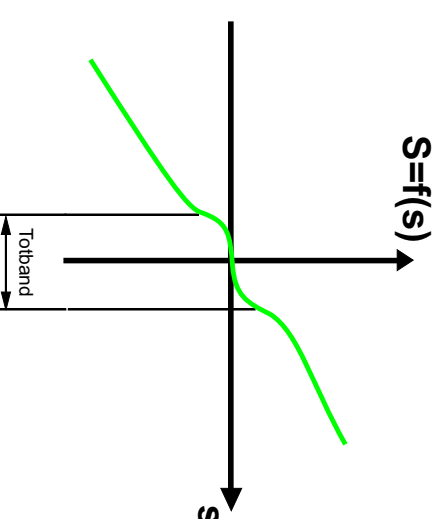


Totband (1)

Definition:

Ein Sensor hat ein **Totband**, wenn er in einem zusammenhängenden Bereich des Eingangssignals mit dem gleichen Ausgangssignal (oft 0) reagiert.

Totband (2)



Auflösung

Definition:

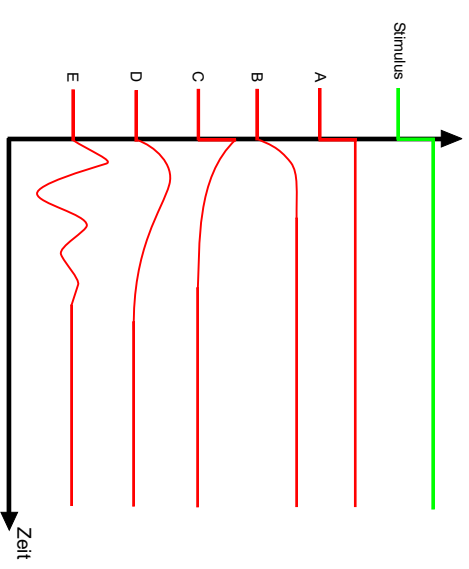
Die **Auflösung** beschreibt den kleinsten Änderungsschritt des Stimulus, der vom Sensor erfasst wird.

- Beispiele: Potentiometer, Winkel bei Lasermesssystemen, ...
- Die Auflösung kann sich über den gesamten Eingangsbereich ändern.
- Die Auflösung digitaler Ausgabeformate ist durch die Anzahl der Bits im Ausgabeformat definiert (Audio: 8bit/16bit/20bit/24bit).
- Sind die Schritte nicht messbar, hat der Sensor eine *kontinuierliche* bzw. *infinitesimale* Auflösung.

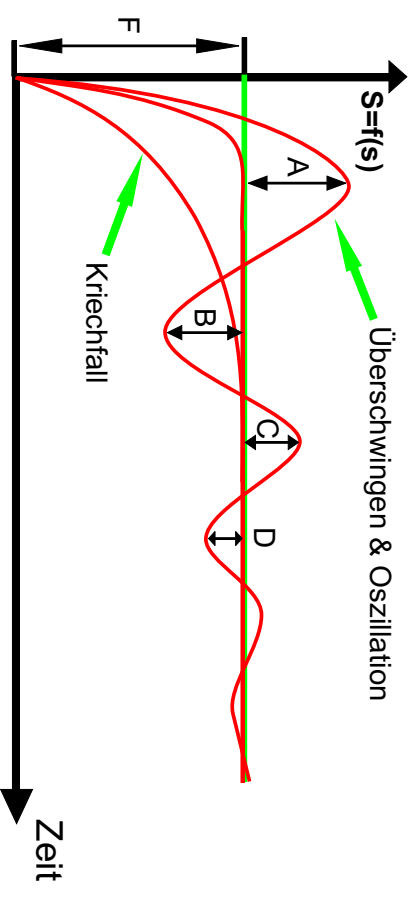
Dynamische Eigenschaften

- Für statische Eingangssignale beschreiben die bisher genannten Eigenschaften einen Sensor vollständig.
- Wenn das Eingangssignal variiert, gilt dies nicht mehr.
- Grund: Der Sensor reagiert nicht immer direkt auf den Stimulus.
- Ein Sensor gibt daher nicht immer gleichzeitig zum Stimulus den zugehörigen Ausgabewert aus.
- Dies nennt man die *dynamischen Eigenschaften* eines Sensors.
- Der entstehende Fehler heißt *dynamischer Fehler*.

Antwortverhalten



Dämpfung



Dämpfungsfaktor

Für den oszillierenden Fall kann ein *Dämpfungsfaktor* bestimmt werden:

$$\text{Dämpfungsfaktor} = \frac{F}{A} = \frac{A}{B} = \frac{B}{C} = usw.$$

Umwelteinflüsse

- minimal und maximale zulässige Umgebungstemperatur
- minimal und maximal zulässige Luftfeuchtigkeit
- Kurz- und Langzeitstabilität (Drift) (Hilfe bei Langzeitdrift: Pre-Aging erhöht Stabilität)
- statische und dynamische Änderungen von elektromagnetischen Feldern, Gravitationskräften, Vibrationen, Strahlung , etc.
- Selbsterhitzung z.B. durch Stromfluss

Weitere Sensoreigenschaften

- Verlässlichkeit (z.B. durch Angabe der *mean-time-between-failure* (MTBF))
- besondere Eigenschaften für das Einsatzgebiet:
 - ◆ Design
 - ◆ Gewicht
 - ◆ Maße
 - ◆ Preis

Literatur

- [1] FRADEN, JACOB: *Handbook of modern sensors: physics, design, and applications*, Kapitel 2, Seiten 10–32. Springer-Verlag New York, Inc., 2. Auflage, 1996.