



Fachgebiet Fahrzeugtechnik  
Prof. Dr. rer. nat. Hermann Winner



# **Einfluss des horizontalen Sichtbereichs eines Radarsensors auf die ACC-System-Performance in Kurvensituationen**

**Dipl.-Ing. Steffen Luh**

**Aktive Sicherheit durch Fahrerassistenz,  
04. und 05. April 2006, München**

Projektpartner:

**BOSCH**



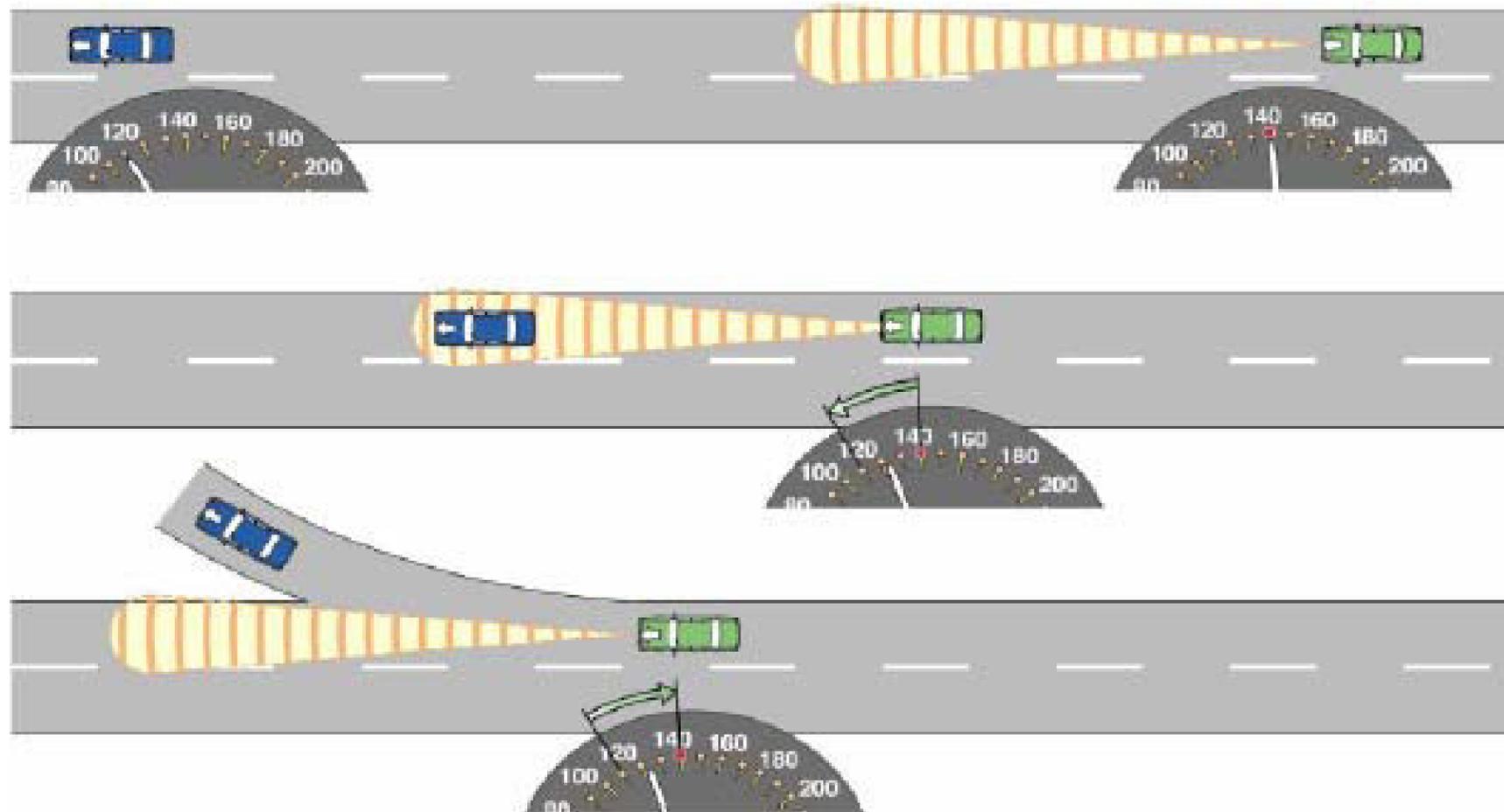
Kraftfahrzeugtechnik



- › **Motivation und Einleitung**
- › **Methodik der Untersuchung**
- › **Ergebnisse**
- › **Fazit**



## ACC (Adaptive Cruise Control) - Funktionsweise



Kein Zielobjekt  
→ freie Fahrt

Zielobjekt vorhanden  
→ Auto bremst

Kein Zielobjekt  
→ Auto beschleunigt auf die  
eingestellte Geschwindigkeit

Quelle: Adaptive Fahrgeschwindigkeitsregelung ACC. Robert Bosch GmbH



## Aktuelle ACC-Fahrzeuge



Quelle: BMW AG



Quelle: Audi AG



Quelle:  
Daimler-Chrysler AG

Verschiedenen Systemausprägungen:

- Dynamik im Beschleunigungs-/ Verzögerungsverhalten
- Unterschiede in der Sensorleistungsfähigkeit (bspw. Reichweite oder Sichtbereich)

Unter anderem laut Prestl\* ist das limitierte Sichtfeld von ACC-Systemen der 1. Generation neben der zuverlässigen Situationsinterpretation die wichtigste Systemgrenze, die sich als Schwachpunkt vor allem in einer späten Erkennung von einscherenden Fahrzeugen bzw. einer eingeschränkten Kurvenfähigkeit äußern kann.

- ACC-Systeme der 2. Generation verfügen über:
  - a) eine größere longitudinale Reichweite und/oder
  - b) einen vergrößerten lateralen Sichtbereich

\* Prestl, W: Adaptive Cruise Control ACC; Elektronik im Kraftfahrzeugwesen, 4. Auflage, Renningen, Expert Verlag; 2004.



## **Abgeleitete Fragestellung:**

**Zusatznutzen für Verbraucher und System:**

**Können durch eine Erweiterung des horizontalen Radarsensorsichtbereichs**

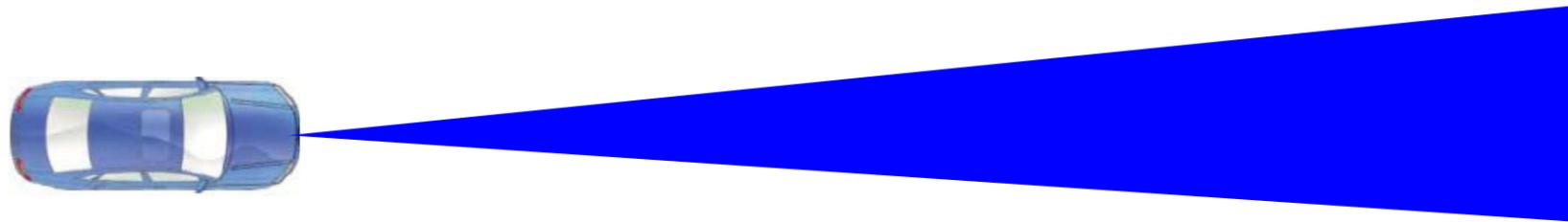
- **Das Folgeverhalten / Erkennen in Kurven verbessert werden?**
- **Die Erkennung von einscherenden Fahrzeugen verbessert werden?**
- **Die feststellbaren Systemstörungen konstant bleiben?**
- **Die Unterschiede vom Nutzer wahrgenommen werden?**



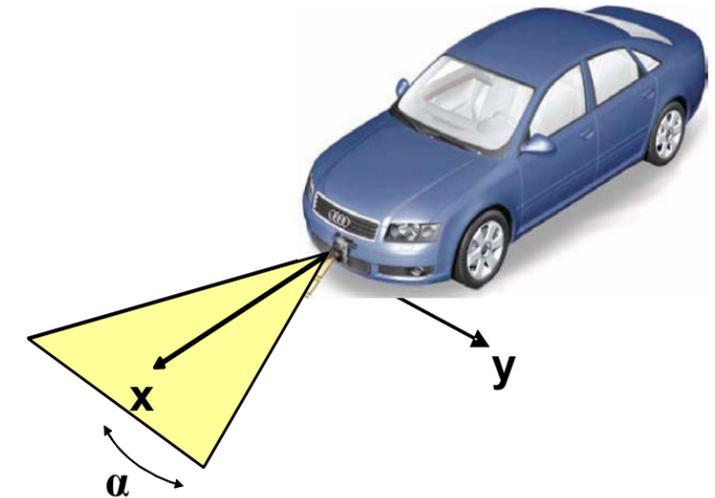
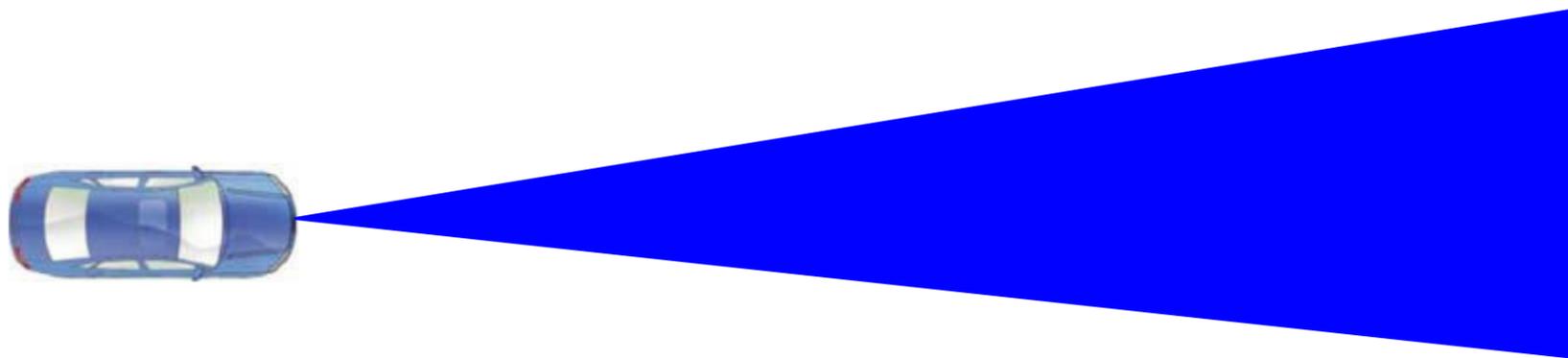
## Versuchskonzept

Sichtbereichsvarianten:

1. Sichtbereichskontur ( $\alpha = \pm 4^\circ$ ,  $x=200\text{m}$ )



2. Sichtbereichskontur ( $\alpha = \pm 8^\circ$ ,  $x=200\text{m}$ )





## Versuchskonzept

Rahmenbedingungen:

1. An Seriensystem angelehnte ACC-Funktion
2. 30 männl. Probanden „ACC-erfahren“
3. Versuchsstrecke „Rundkurs“

Gesamtfahrleistung:  
11460Km

Gesamtfahrzeit:  
ca. 150h

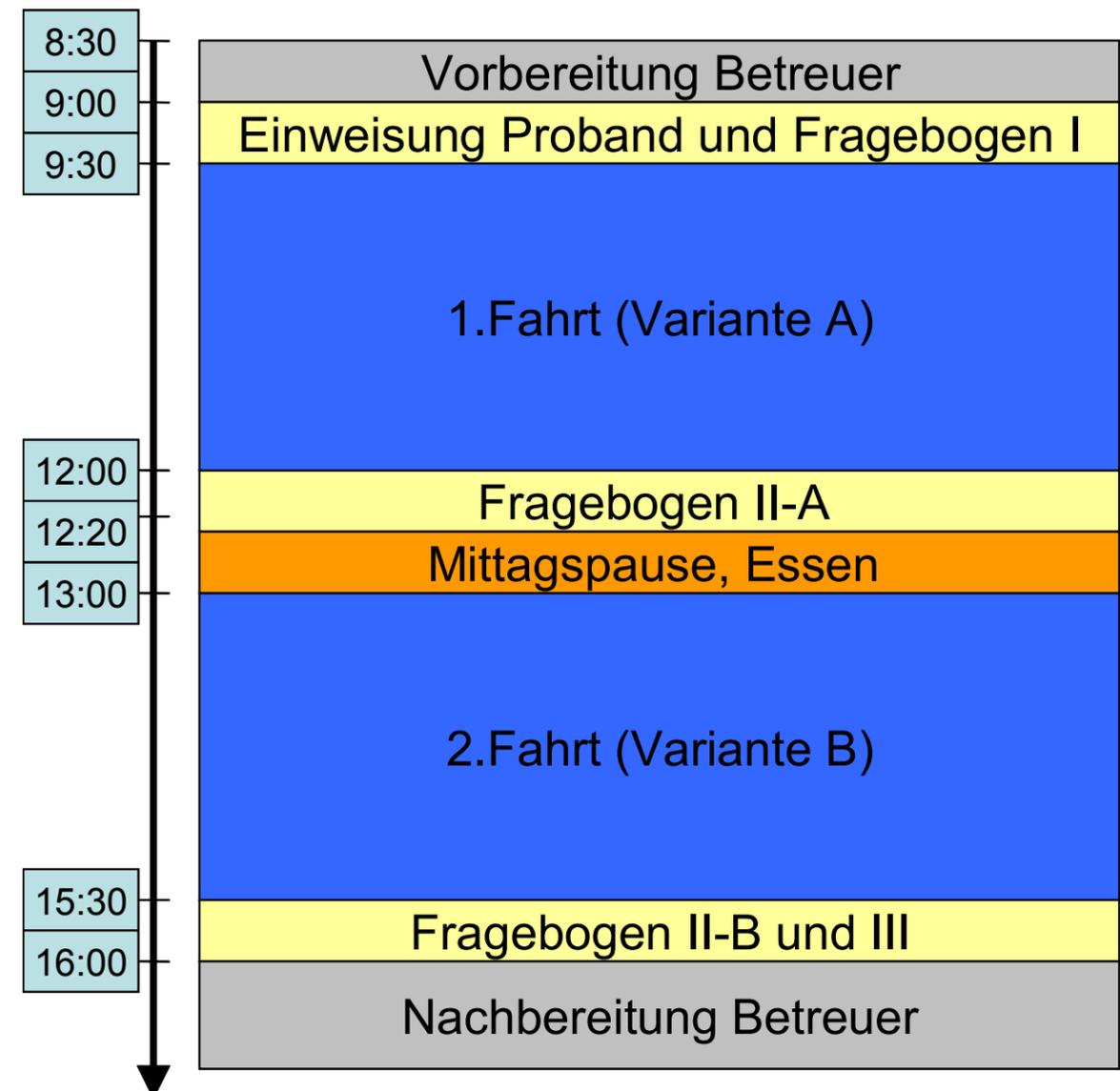




## Versuchskonzept

Rahmenbedingungen:

1. An Seriensystem angelehnte ACC-Funktion
2. 30 männliche Probanden „ACC-erfahren“
3. Versuchsstrecke „Rundkurs“
4. Reproduzierbarer Tagesablauf

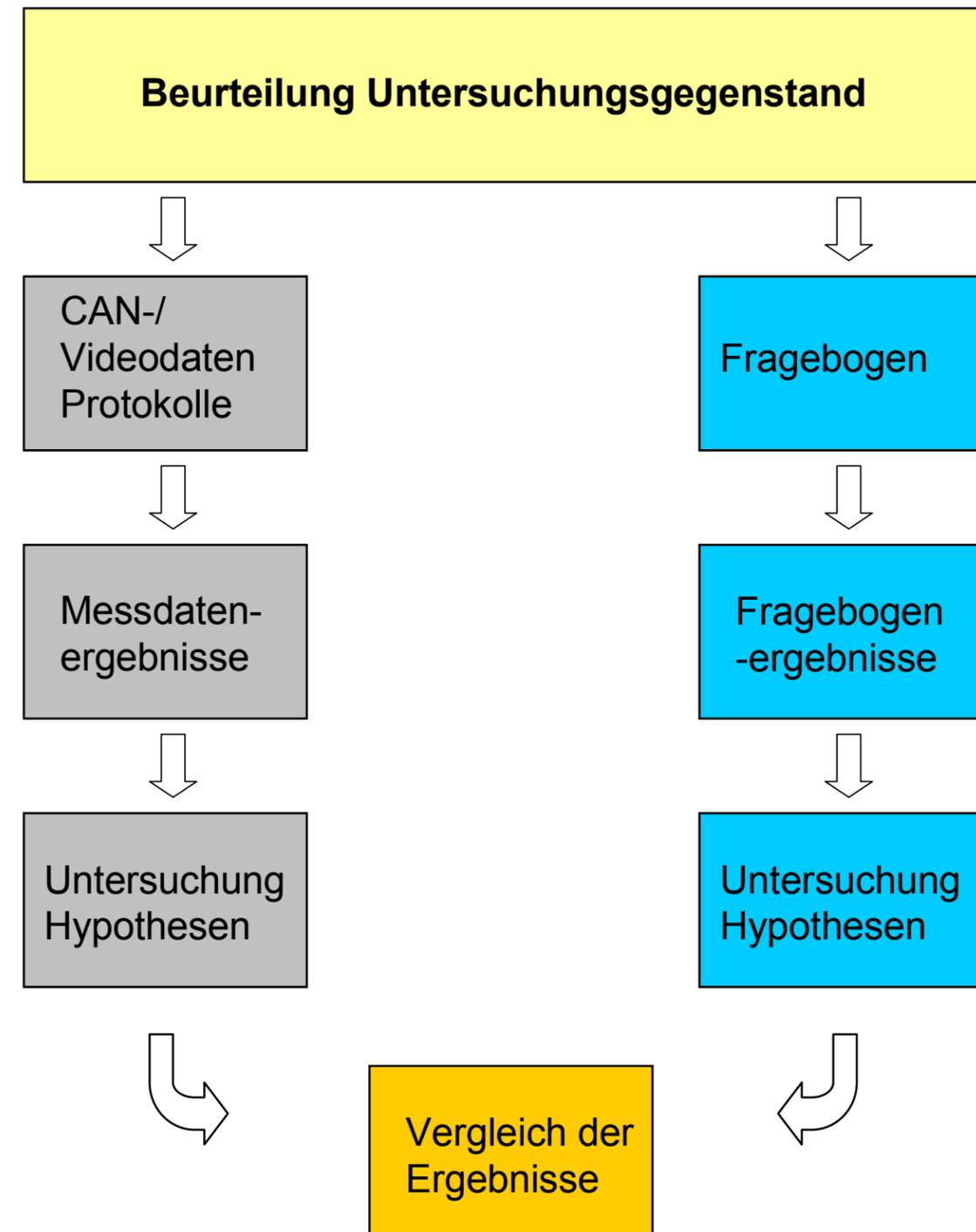




## Versuchskonzept

Rahmenbedingungen:

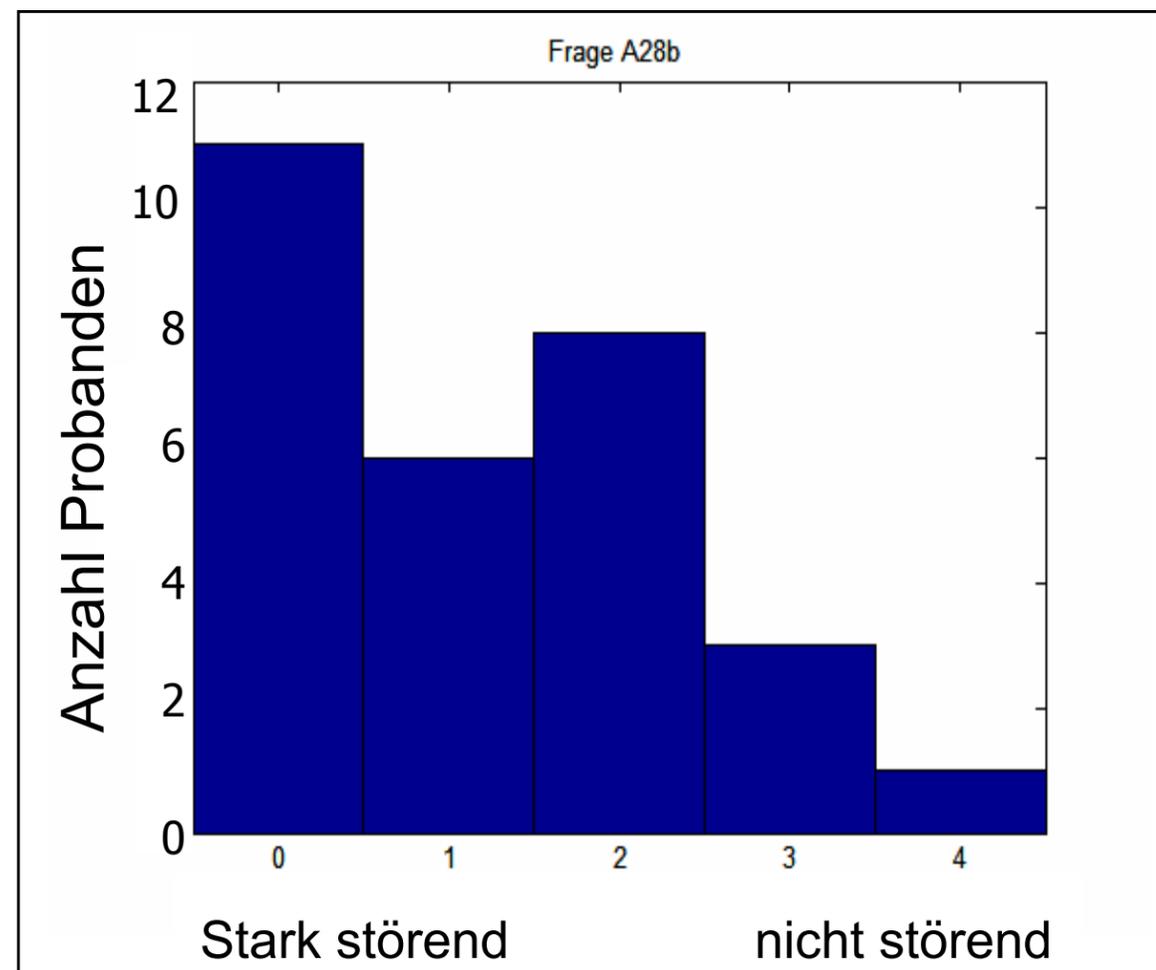
1. An Seriensystem angelehnte ACC-Funktion
2. 30 männliche Probanden „ACC-erfahren“
3. Versuchsstrecke „Rundkurs“
4. Reproduzierbarer Tagesablauf
5. Auswertungskonzept  
Vergleich objektive Messdaten – subjektiver Probandeneindruck





## Probandencharakteristik

|             |   |
|-------------|---|
|             | <b>Inwieweit würden Sie die folgenden Situationen als störend empfinden?</b>  |
| <b>A28b</b> | <b>Das System verliert ein bereits erkanntes Objekt auf kurviger Strecke.</b> <b>stark störend</b> 0   0   0   0   0 <b>nicht störend</b> |



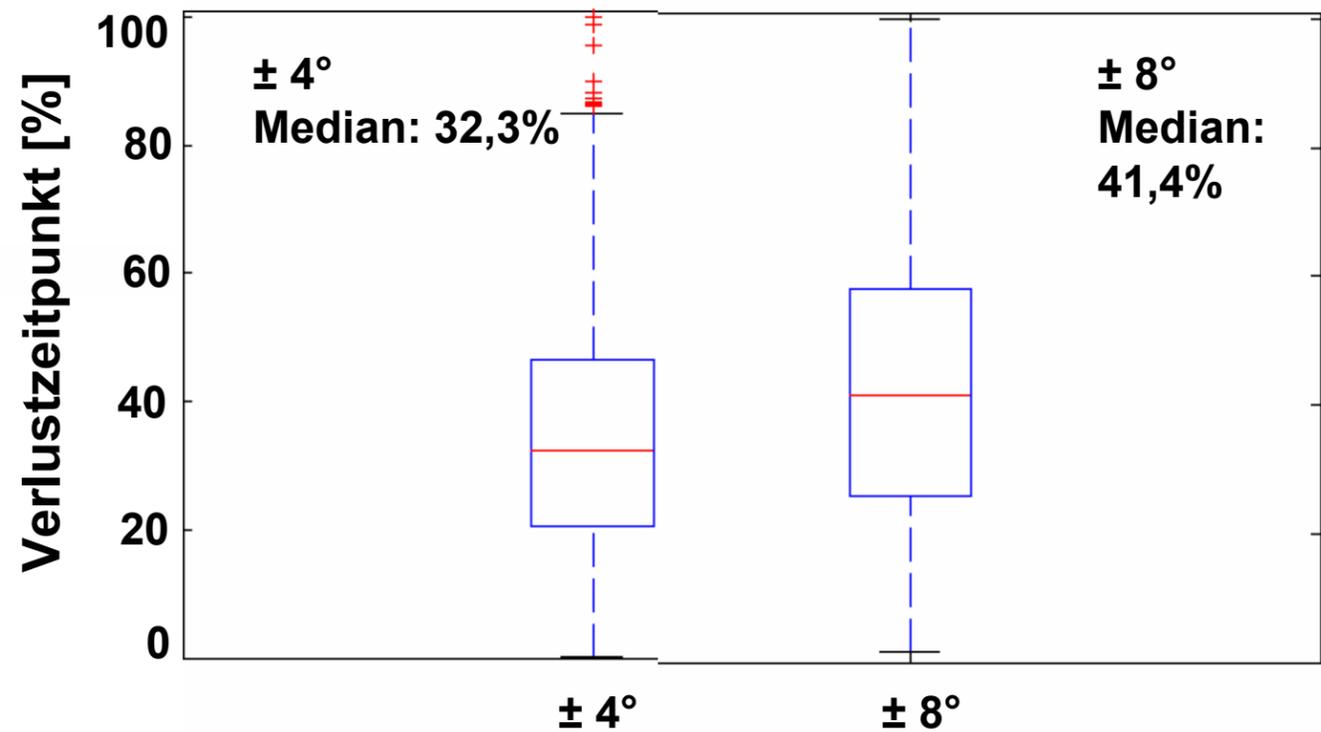
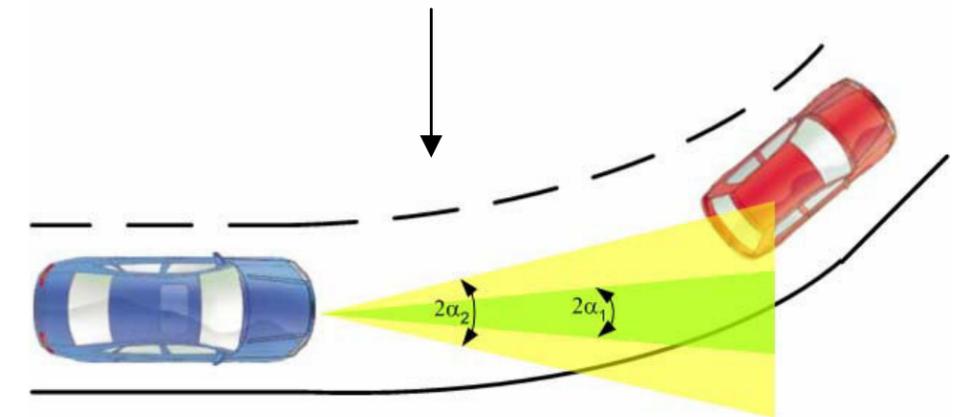
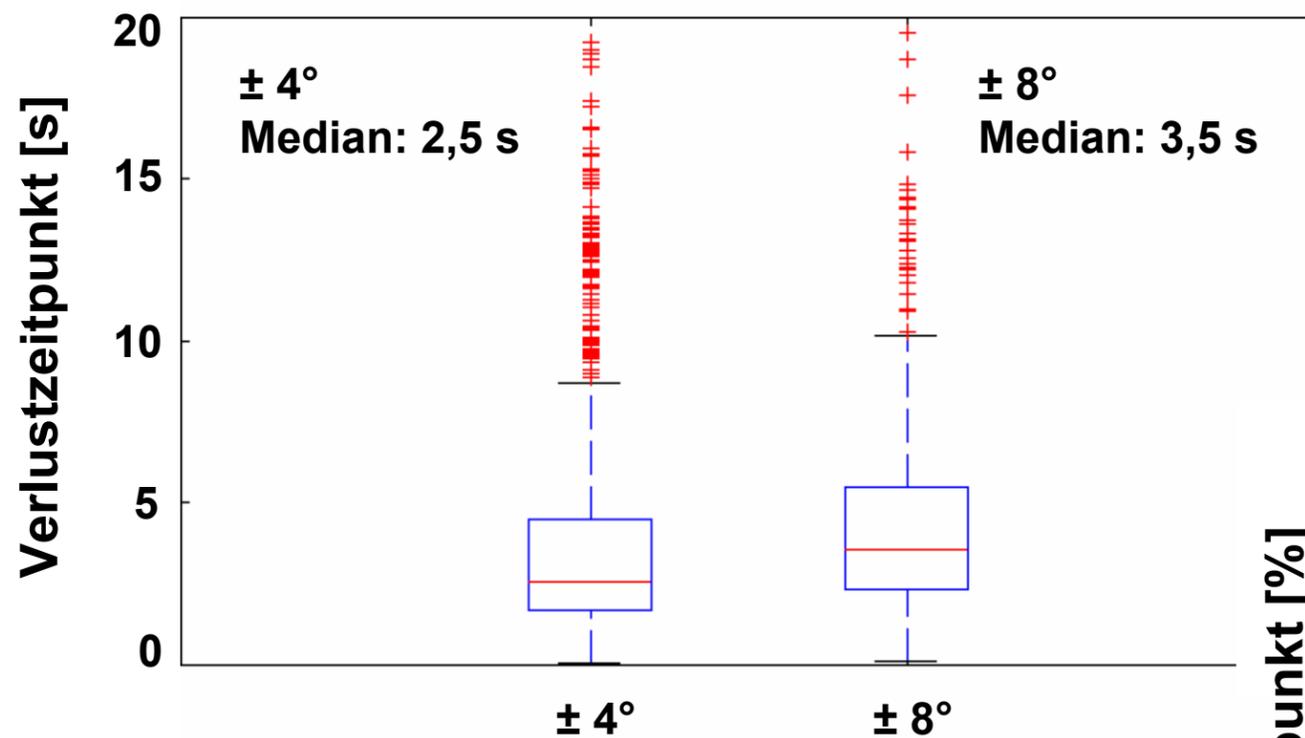


## ■ Identifizierte Kurvensituationen

| Identifizierung Kurven            | Insgesamt notierte Situationen |               |
|-----------------------------------|--------------------------------|---------------|
|                                   | $\pm 4^\circ$                  | $\pm 8^\circ$ |
| Anzahl Kurven                     | 2647                           | 2769          |
| Anzahl Rechtskurven               | 1297                           | 1387          |
| % Rechtskurven                    | 49,00 %                        | 50,09 %       |
| Anzahl Kurven mit aktiviertem ACC | 2341                           | 2543          |
| % Kurven mit aktiviertem ACC      | 88,44 %                        | 91,84 %       |



## ■ Zeitliche Dauer der Erkennung von vorausfahrenden Fahrzeugen auf der eigenen Fahrspur in Kurven

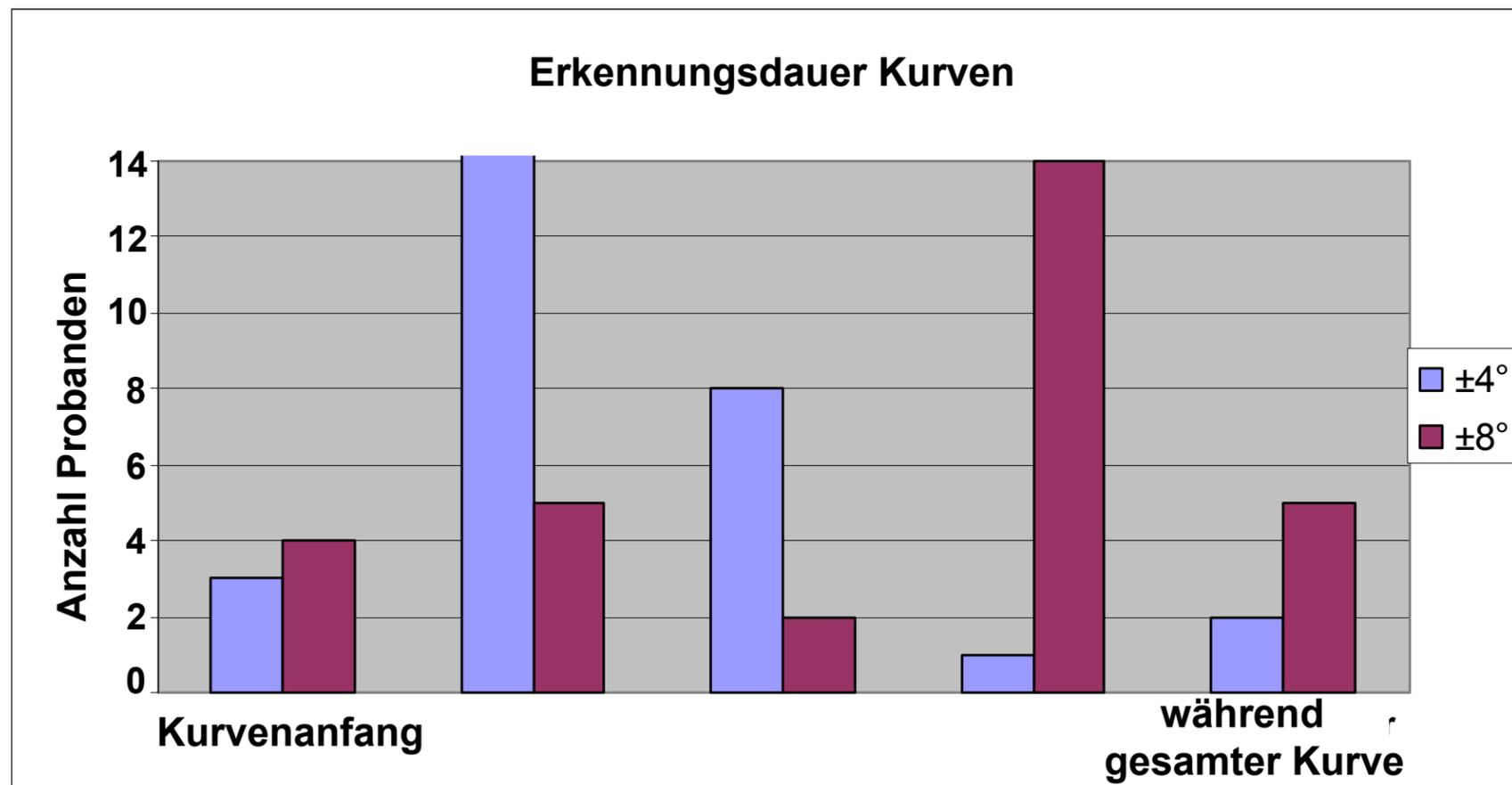


→ **Höchstsignifikant längere Erkennung mit der  $\pm 8^\circ$ -Version.**



# Ergebnisse

| Wie lange wurden vor Ihnen fahrende Fahrzeuge auf der eigenen Fahrspur in Kurven auf der einspurigen Landstraße erkannt? |  |
|--|--|
| C 3  |  |
| Variante A   | am Kurvenanfang <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> während der gesamten Kurvenfahrt |
| Variante B   | am Kurvenanfang <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> während der gesamten Kurvenfahrt |

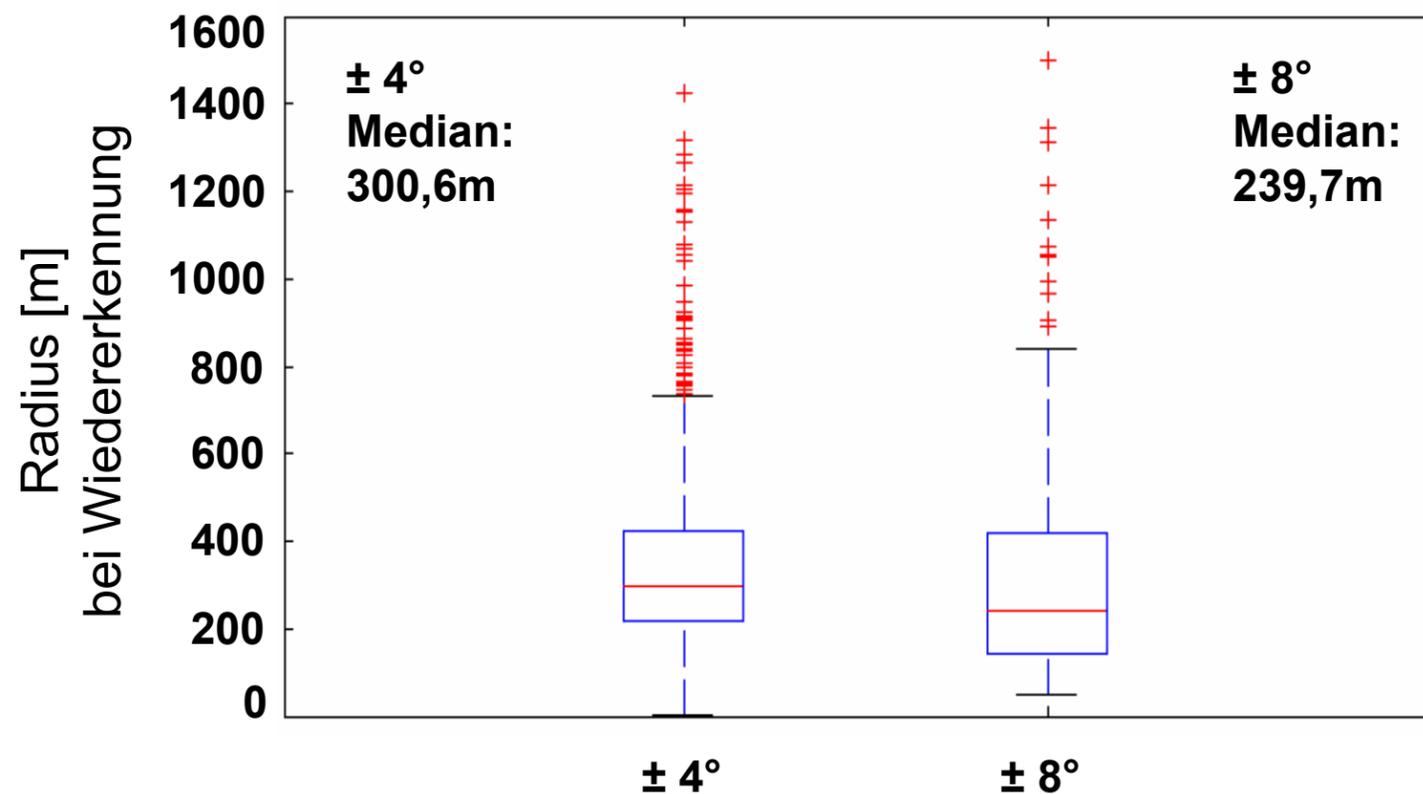


■ Gleichheit der Verteilung der Antworten kann mit  $p=0,008$  widerlegt werden.

→ Probanden empfinden eine hochsignifikant längere Erkennung eines Zielfahrzeugs mit der  $\pm 8^\circ$ -Version.



## ■ Wiedererkennung von Fahrzeugen nach einem Zielverlust in Kurven

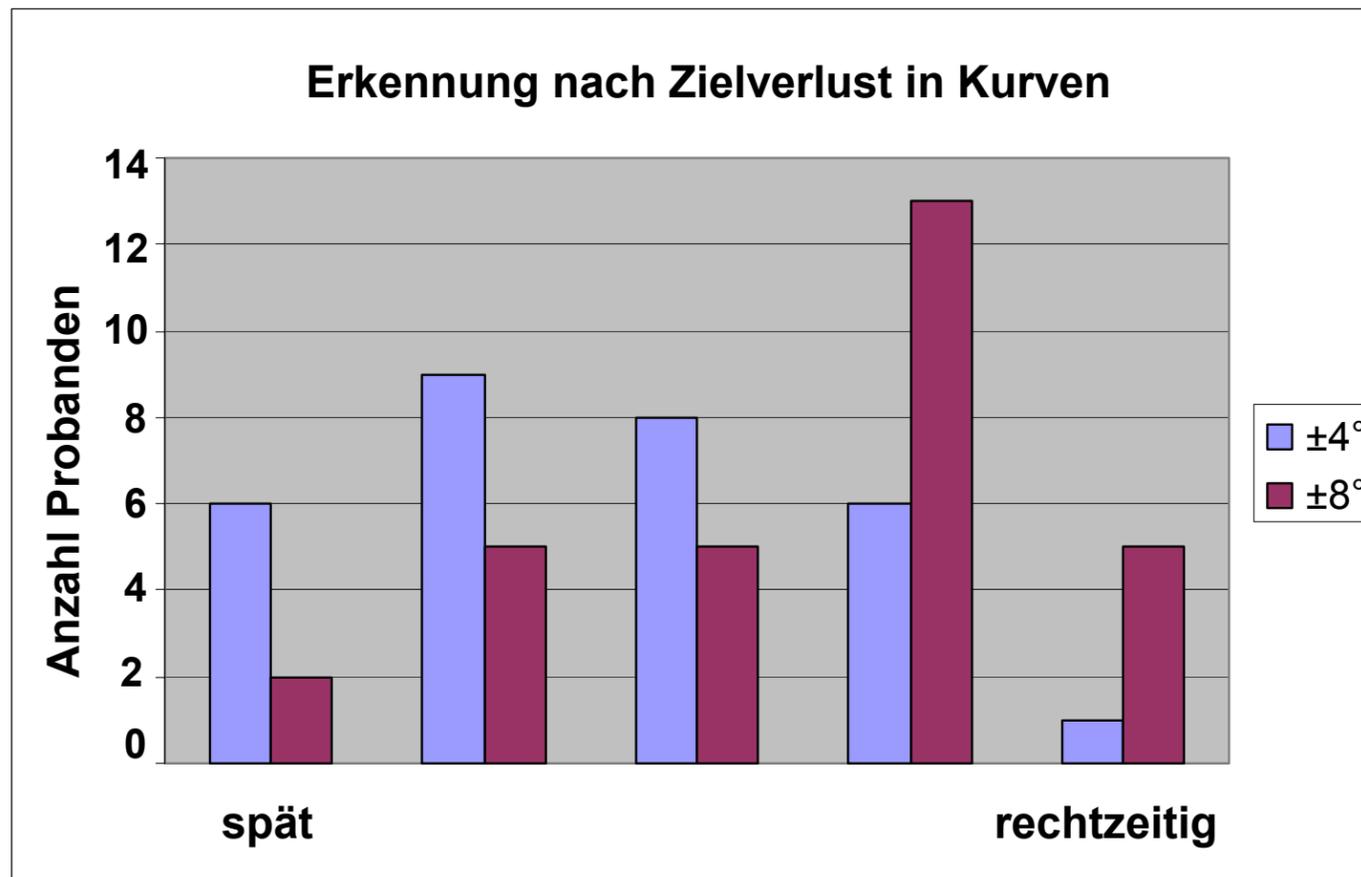


→ Höchstsignifikant kleinerer Kurvenradius bei Wiedererkennung mit der  $\pm 8^\circ$ -Version.



# Ergebnisse

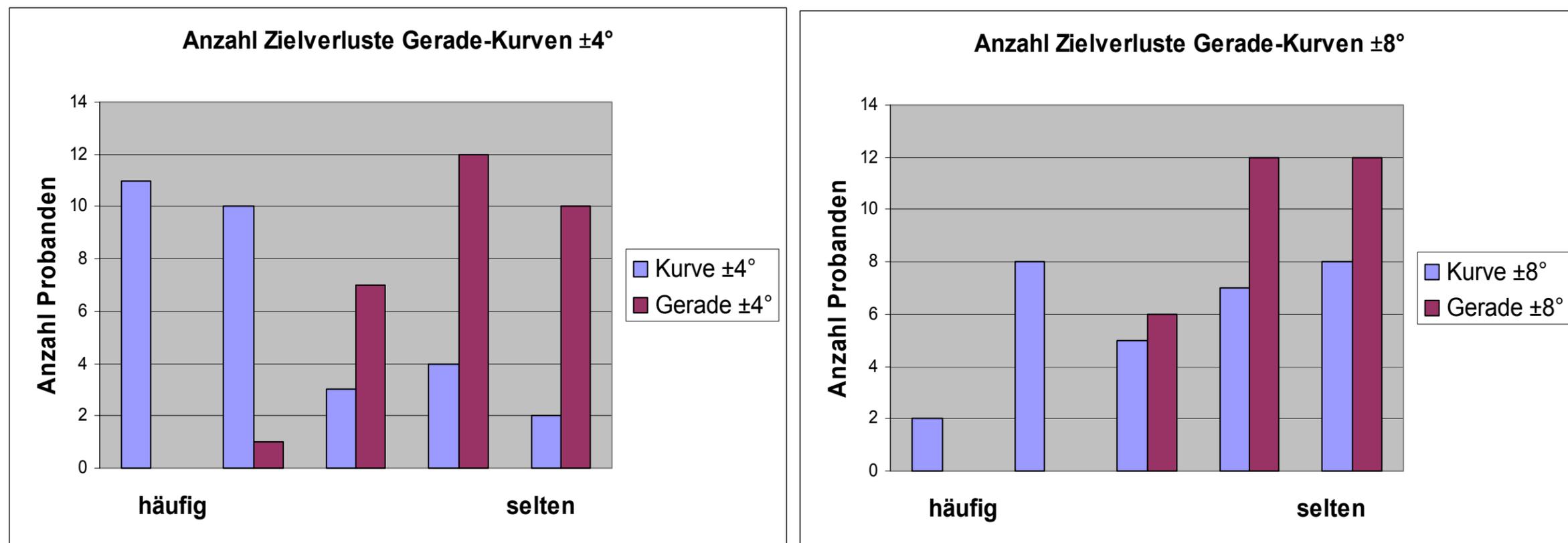
|     |  |      |                       |                       |                       |                       |             |
|-----|--|------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------------|
| C 6 | Wie wurden vor Ihnen fahrende Fahrzeuge <b>nach einem Zielverlust</b> auf der eigenen Fahrspur <b>in Kurven auf der einspurigen Landstraße</b> wieder erkannt? |      |                       |                       |                       |                       |             |
|     | Variante A   | spät | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | rechtzeitig |
|     | Variante B   | spät | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | rechtzeitig |



- Gleichheit der Verteilung der Antworten kann mit  $p=0,097$  nicht widerlegt werden.
- Unterschied bei Erkennung nach Zielverlust in Kurven war bei der gegebenen Probandenanzahl zu gering, um diesen signifikant werden zu lassen.



## ■ Unterscheidung hinsichtlich der Anzahl der Zielverluste zwischen Geraden und Kurven



- Gleichheit der Verteilung der Antworten kann mit  $p=0,000$  für  $\pm 4^\circ$  und  $p=0,021$  für  $\pm 8^\circ$  widerlegt werden.

→ Probanden können bei der Beurteilung der Anzahl der Zielverluste zwischen Geraden und Kurven höchst- bzw. signifikant unterscheiden.

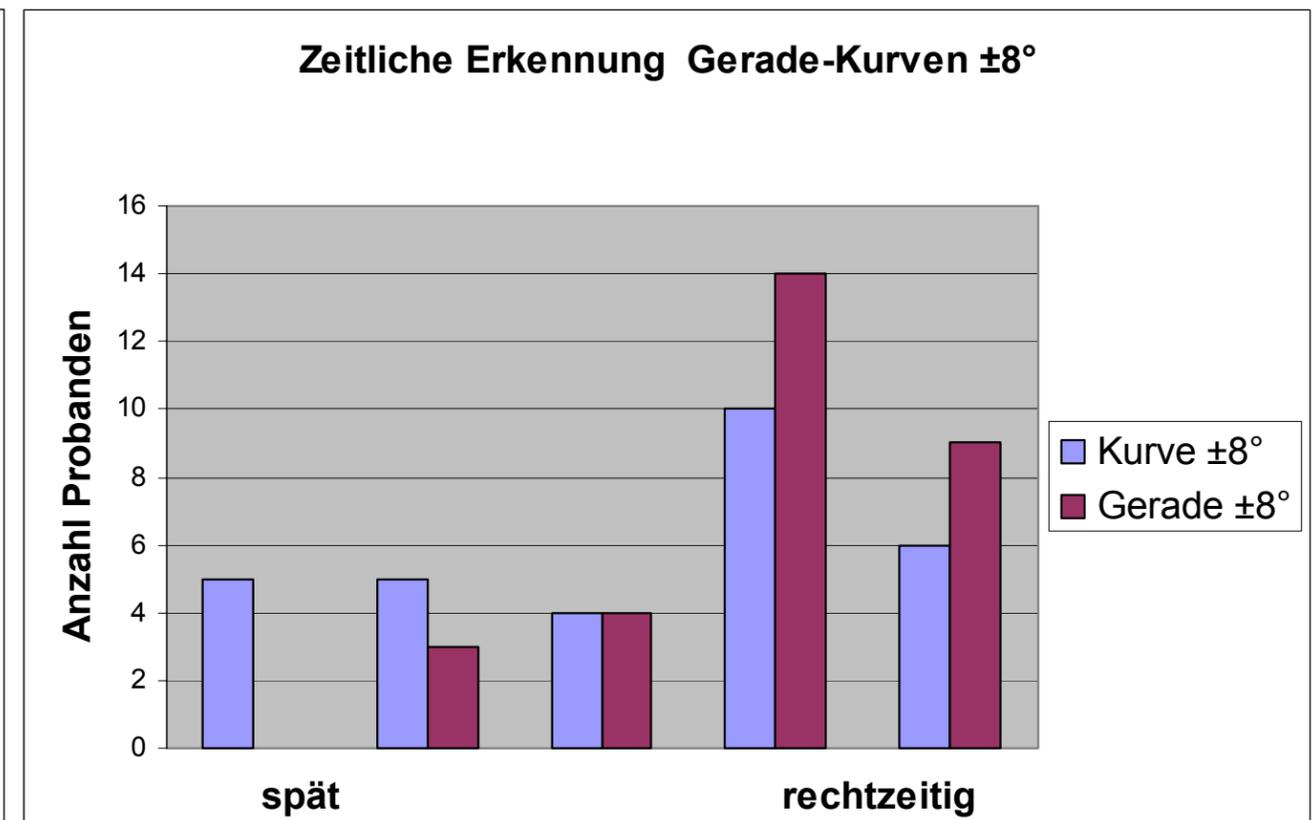
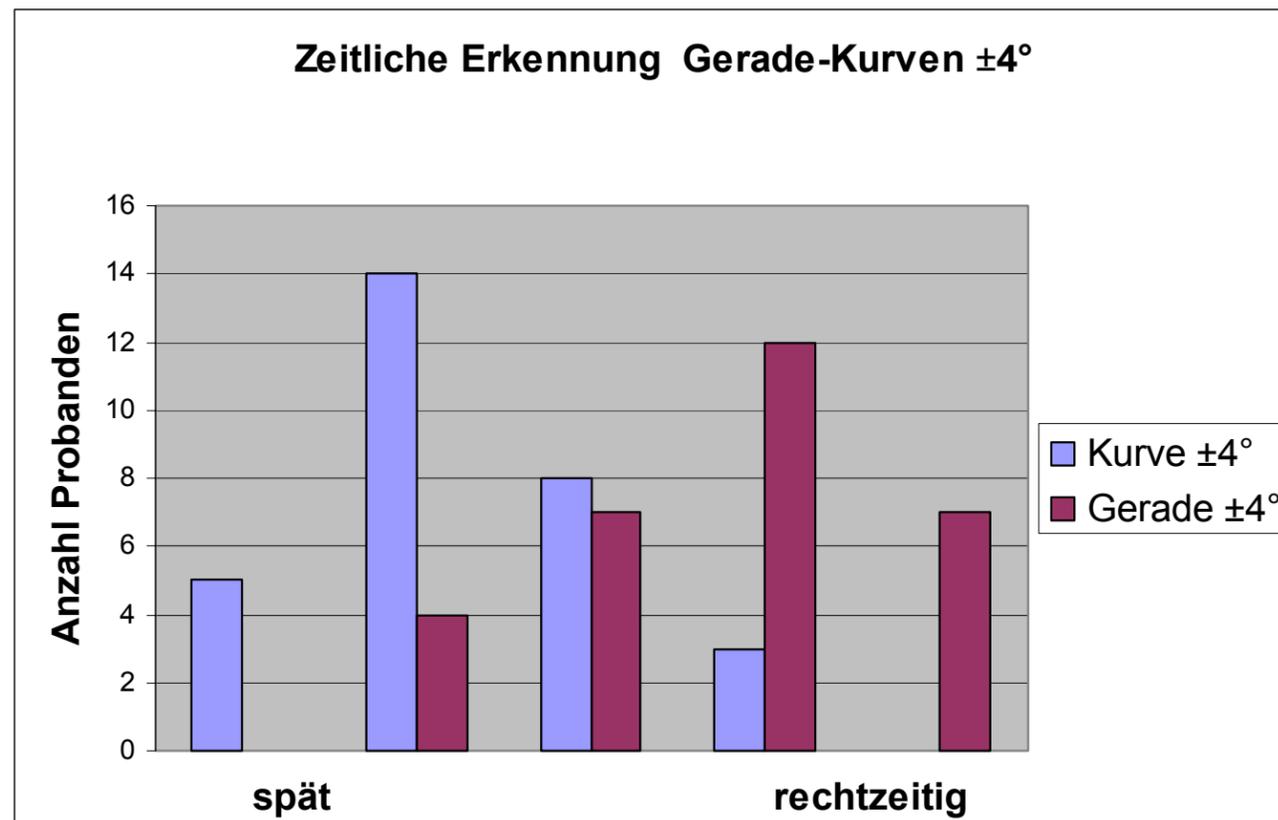


## ■ Unterscheidung hinsichtlich des Erkennungszeitpunktes von vorausfahrenden Fahrzeugen auf der eigenen Fahrspur zwischen Geraden und Kurven

|    |  |      |                       |                       |                       |                       |                       |             |
|----|--|------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------------|
|    | <b>Wie wurden vor Ihnen fahrende Fahrzeuge auf der eigenen Fahrspur in Kurven erkannt?</b> |      |                       |                       |                       |                       |                       |             |
| C1 | Variante A   | spät | <input type="radio"/> | rechtzeitig |
|    | Variante B   | spät | <input type="radio"/> | rechtzeitig |
| C2 | <b>Wie wurden vor Ihnen fahrende Fahrzeuge auf der eigenen geraden Fahrspur erkannt?</b>   |      |                       |                       |                       |                       |                       |             |
|    |  |      |                       |                       |                       |                       |                       |             |



# Ergebnisse

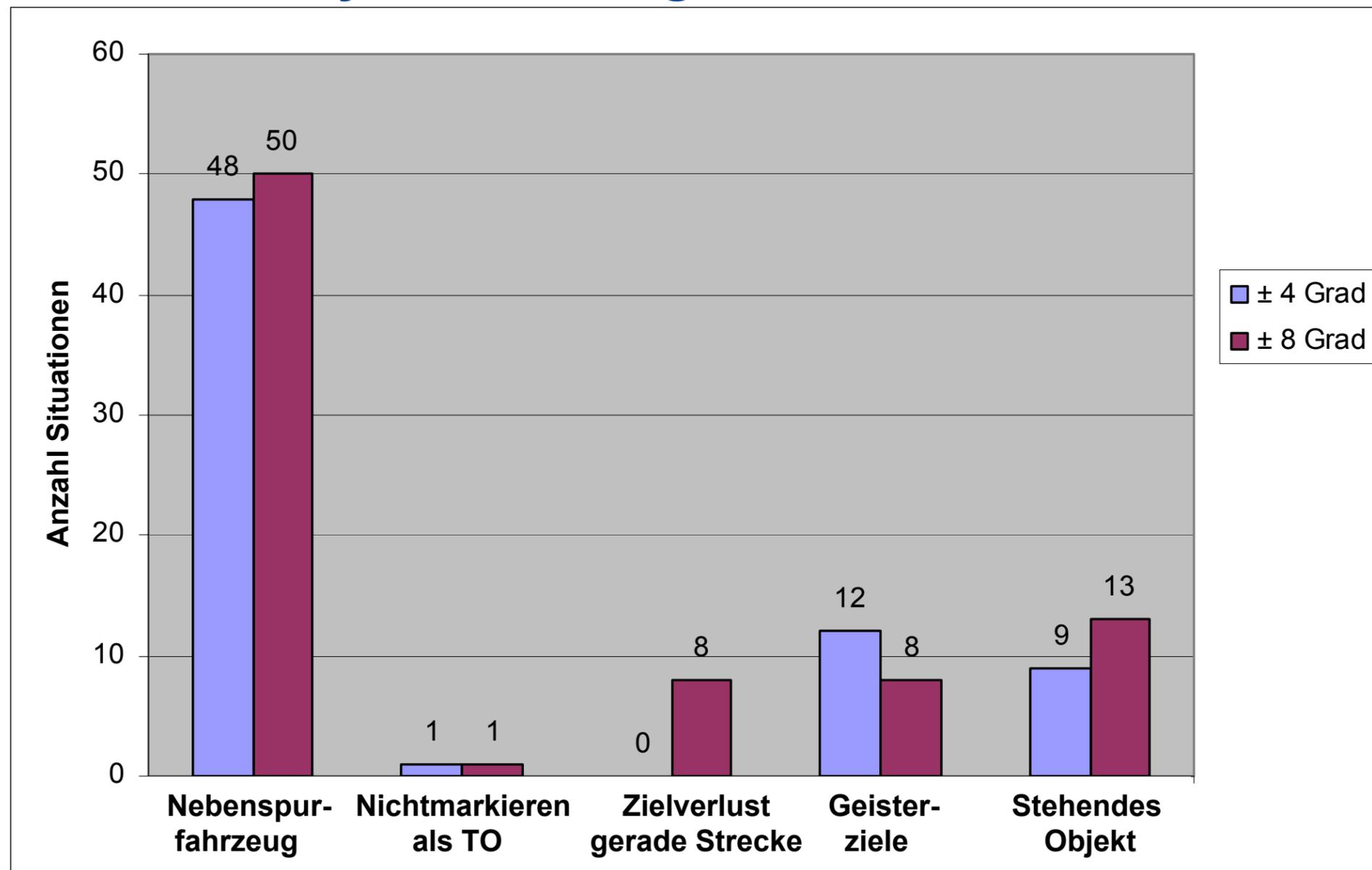


■ Gleichheit der Verteilung der Antworten kann mit  $p=0,044$  ( $\pm 4^\circ$ ) und  $p=0,011$  ( $\pm 8^\circ$ ) widerlegt werden.

→ Probanden erkennen Unterschied zwischen Gerade und Kurve (Erkennungszeitpunkt).



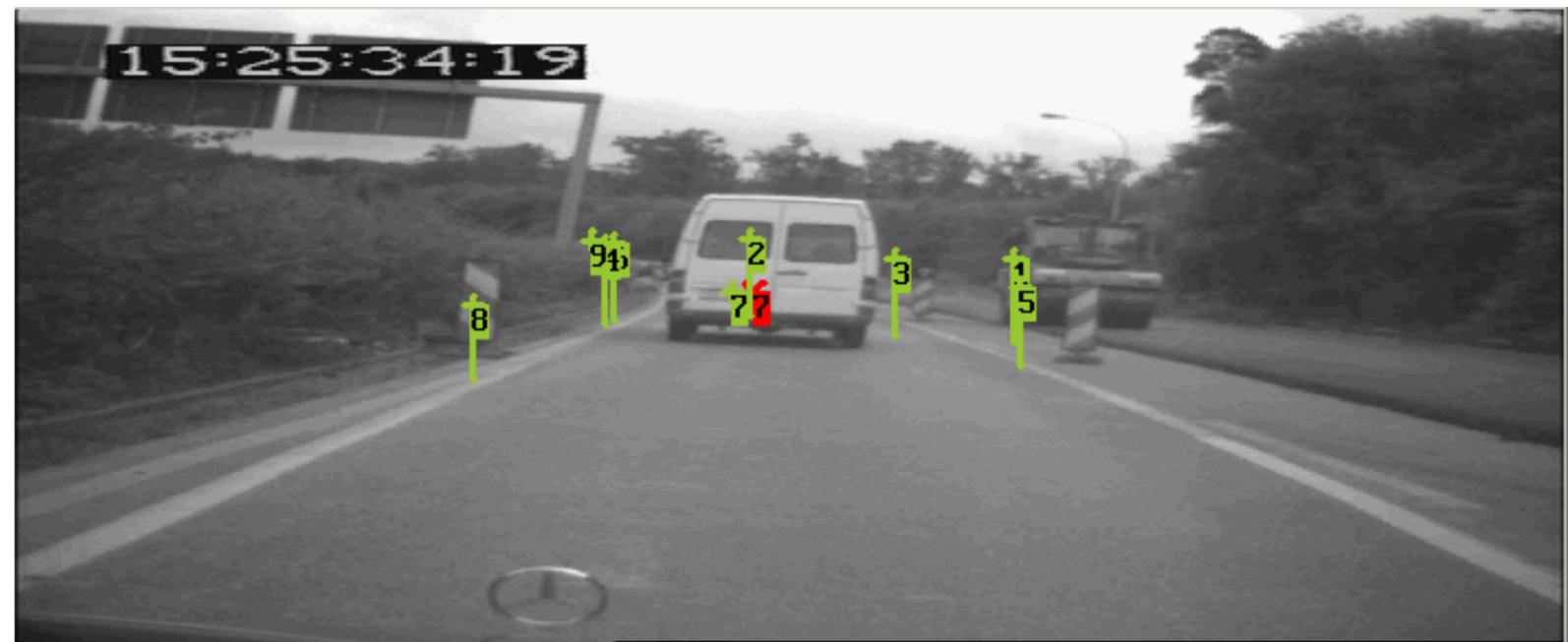
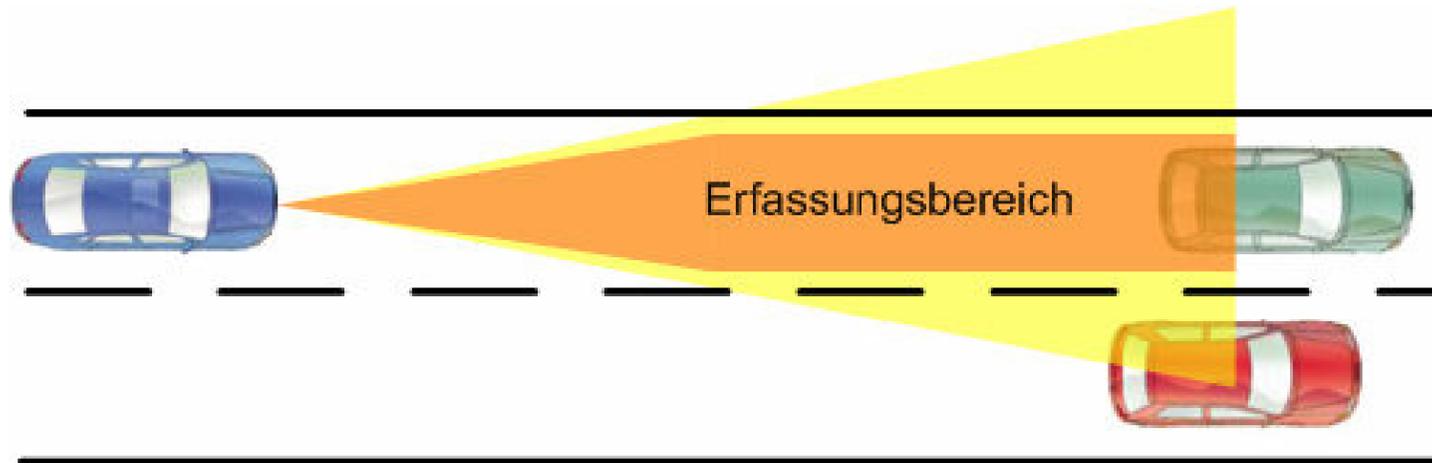
## ■ Anzahl der Systemstörungen



- $\pm 4^\circ$ -Version: 1,2 Störungen pro gefahrene 100 Kilometer oder 1 Störung / Stunde
- $\pm 8^\circ$ -Version: 1,3 Störungen pro gefahrene 100 Kilometer oder 1 Störung / Stunde



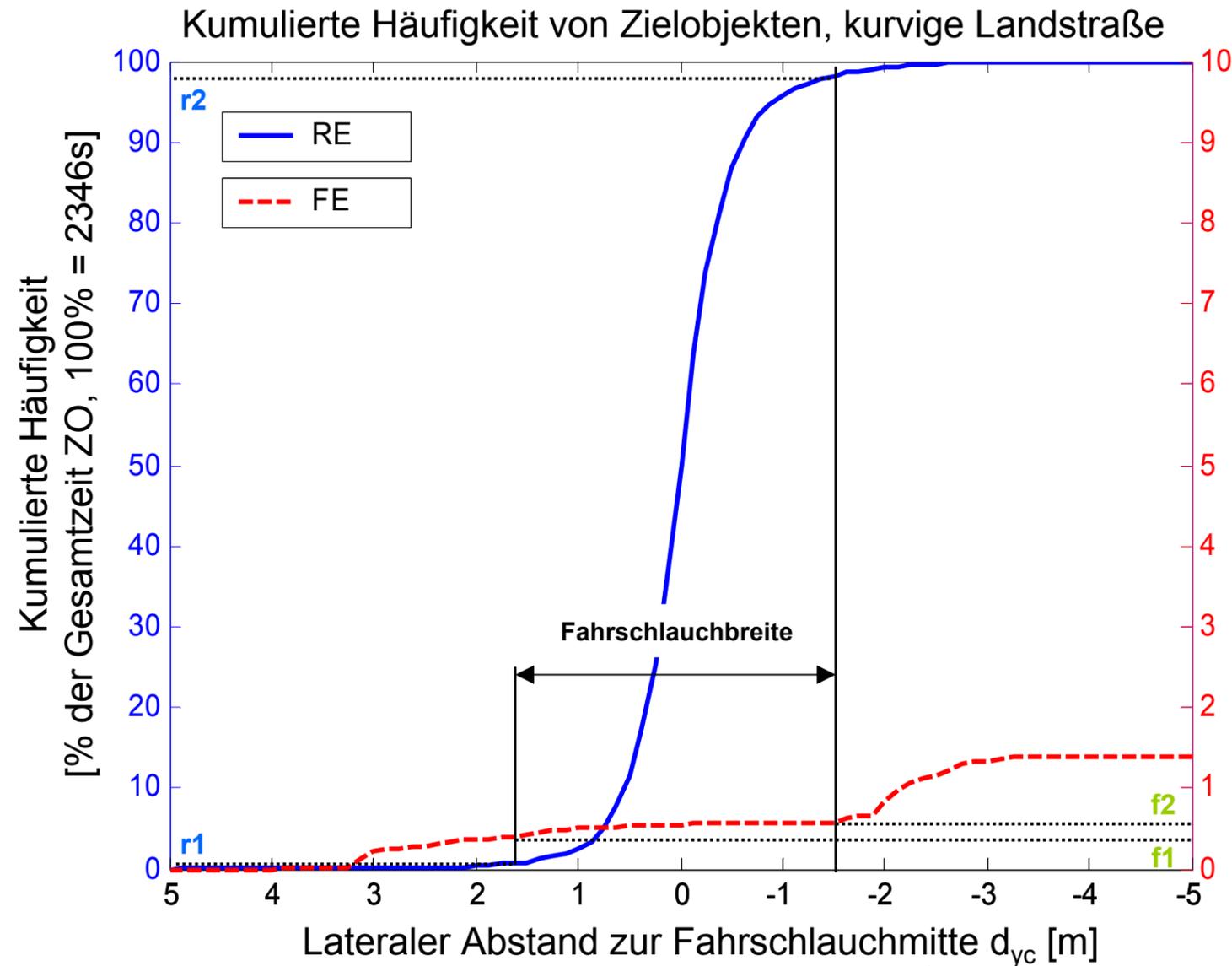
## ■ Fahrschlauchuntersuchung (Erfassungsbereich)



■ Richtig erkanntes Zielobjekt (rot markiert)



## ■ Fahrschlauchuntersuchung



**Kostenfunktion:**

$$K = \frac{(R - r_2) + r_1 + k_{\text{falsch}} (f_2 - f_1)}{R}$$

|                        | Summe der RE | Summe der FE | Verhältnis FE/RE |
|------------------------|--------------|--------------|------------------|
|                        | [s]          | [s]          | [%]              |
| 1-streifige Landstraße | 7137         | 249          | 3,5              |
| Kurvige Landstraße     | 2346         | 33           | 1,4              |

ZO: Zielobjekte

RE: Richtige Erkennungen

FE: Falsche Erkennungen

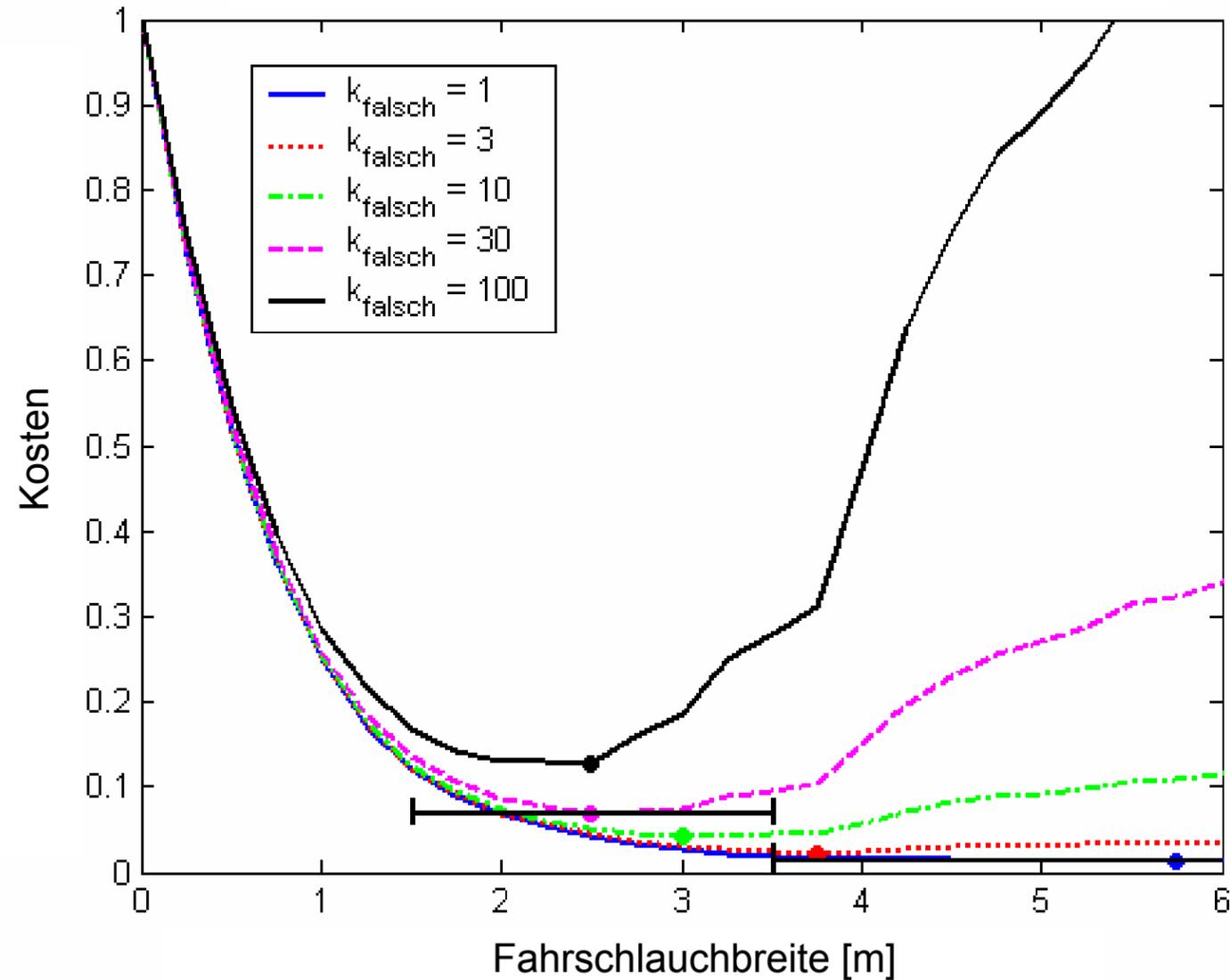
$k_{\text{falsch}}$ : Gewichtungsfaktor falsche Erkennungen

R: Gesamtmenge richtige Erkennungen



# Ergebnisse

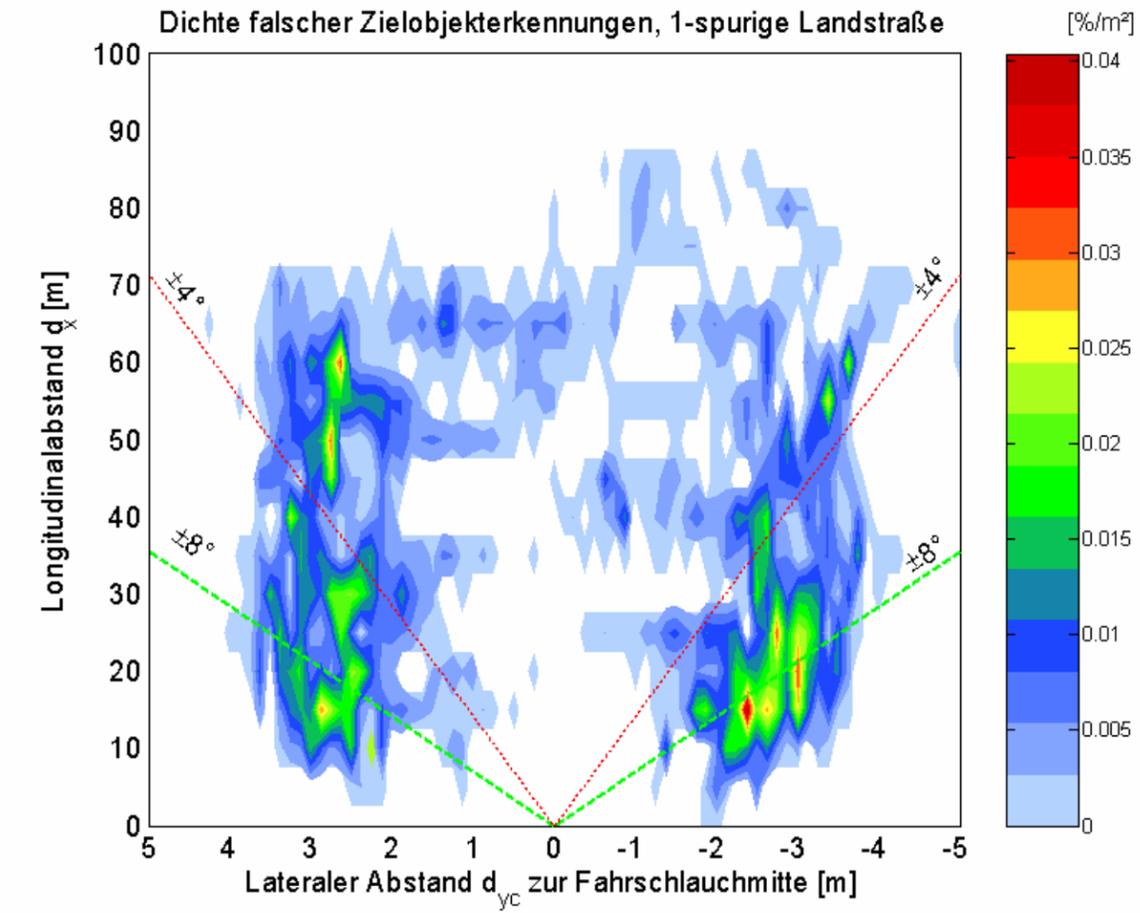
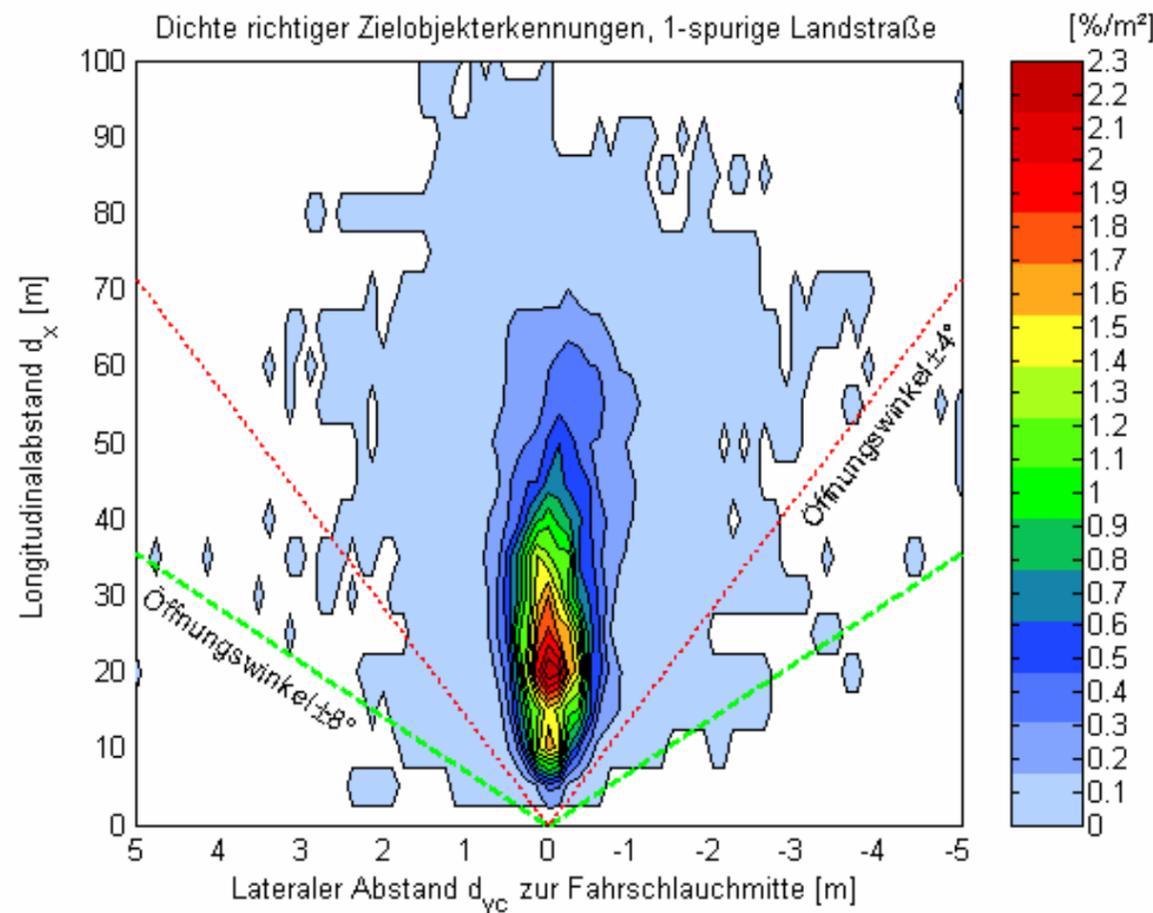
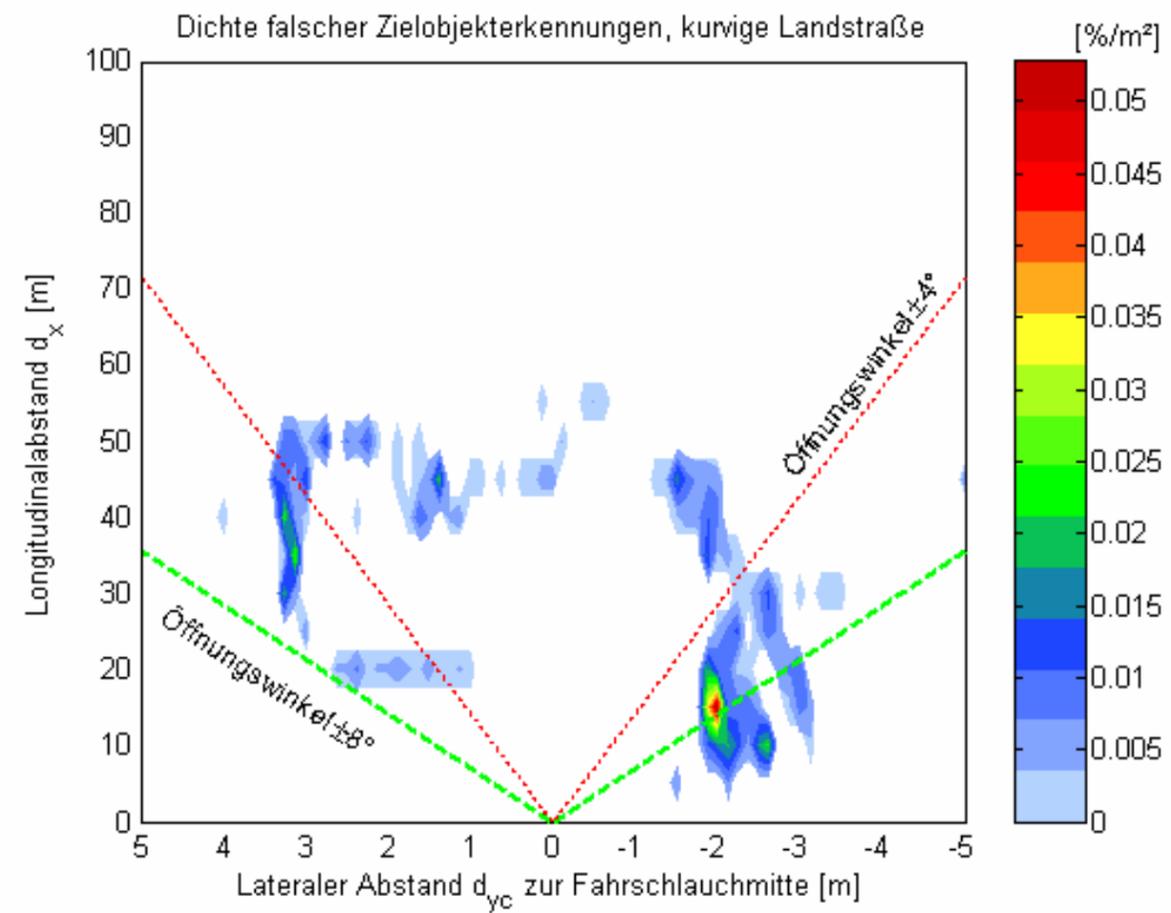
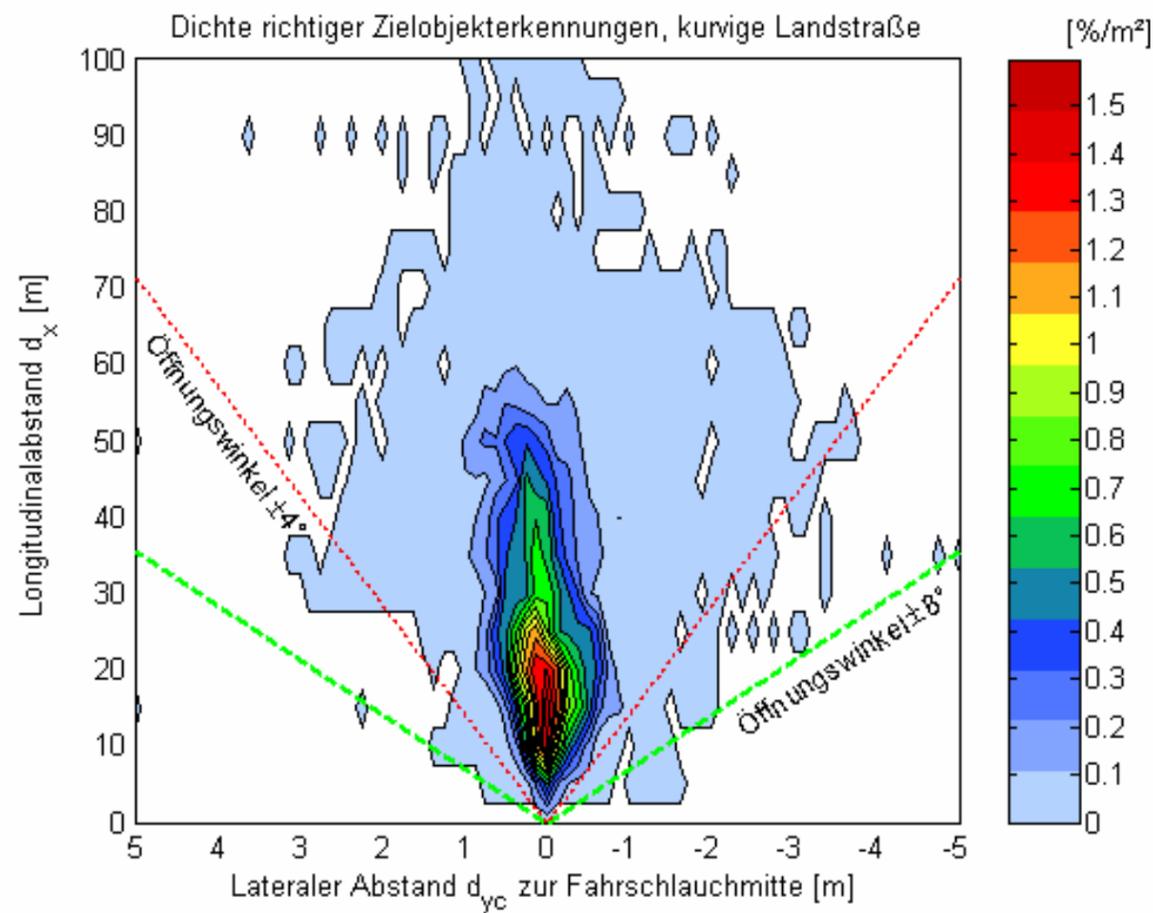
Kostenfunktion über Fahrschlauchbreite, kurvige Landstraße



Optimale Fahrschlauchbreiten

| $k_{\text{falsch}}$    | 1    | 3    | 10   | 30   | 100 |
|------------------------|------|------|------|------|-----|
|                        | [m]  | [m]  | [m]  | [m]  | [m] |
| 1-streifige Landstraße | 4    | 3,5  | 2,75 | 2,25 | 1,5 |
| Kurvige Landstraße     | 5,75 | 3,75 | 3    | 2,5  | 2,5 |

→ Streckenabhängige optimale Fahrschlauchbreiten





## ■ Vergleich objektive Messdaten mit subjektiver Probandenbewertung

| Folgefahrt in Kurven                                 | Signifikanter Unterschied zwischen der $\pm 8^\circ$ -Version und $\pm 4^\circ$ -Version festgestellt für: |                                  |
|--|--|----------------------------------|
| Untersuchungsgegenstand                              | Objektive Messdaten  | Subjektive Probandenaussage      |
| Anzahl Zielverluste                                  | Ja (weniger bei $\pm 8^\circ$ )  | Ja (weniger bei $\pm 8^\circ$ )  |
| Erkennungsdauer Zielobjekt                           | Ja (länger bei $\pm 8^\circ$ )   | Ja (länger bei $\pm 8^\circ$ )   |
| Zeit nach Zielverlust bis Wiedererkennung Zielobjekt | Nein   | Nein*                            |
|  |  | Ja** (kürzer bei $\pm 8^\circ$ ) |

\* bezogen auf das Gesamtkollektiv der Probanden.

\*\* bezogen auf die Fahrerklasse „Zügig“.



**Durch eine Erweiterung des horizontalen Radarsensorsichtbereichs von  $\pm 4^\circ$  auf  $\pm 8^\circ$  können folgende Aussagen getroffen werden:**

- **Die Anzahl der Zielverluste wird reduziert (1335 zu 442).**
- **Der Verlust der Zielobjekte erfolgt bei kleineren Radien (270m zu 100m).**
- **Die Anzahl der Fahrereingriffe wird reduziert (231 zu 122).**
- **Es ist kein signifikanter Unterschied bei der zeitlichen Erkennung nach einem Zielverlust, bei Annäherungsfahrten und bei Fehlerkennungen festzustellen.**



- **Verbesserungspotential hauptsächlich bei Erfassungs- und Erkennungszeiten, d.h. weniger sensor- sondern zielauswahlbedingt.**
  
- **Signifikant einflussreiche Parameter bzgl. der Verbesserung des ACC-Verhaltens sind:**
  - **Sichtbereich**
  - **Längsabstand**
  - **Relativgeschwindigkeit**
  
- **Optimale Fahrschlauchbreiten sind streckenabhängig**