



Brennpunkt Meßtechnik  
FH-Hannover  
12. Und 13. September 2002

Positionsbestimmung von Fahrzeugen  
mit Hilfe von Videosensoren

## Positionsbestimmung von Fahrzeugen mit Hilfe von Videosensoren

---

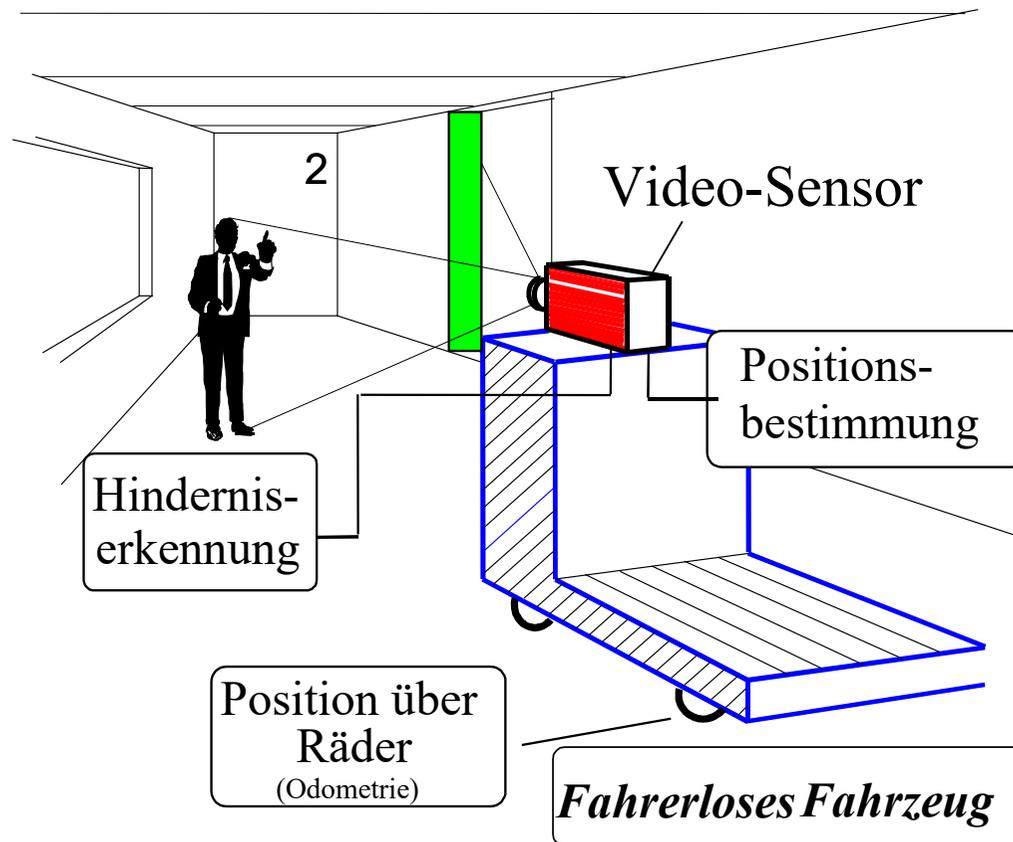


### Service-Roboter



### Fahrerloses Fahrzeug mit Stereo-Videosensorik

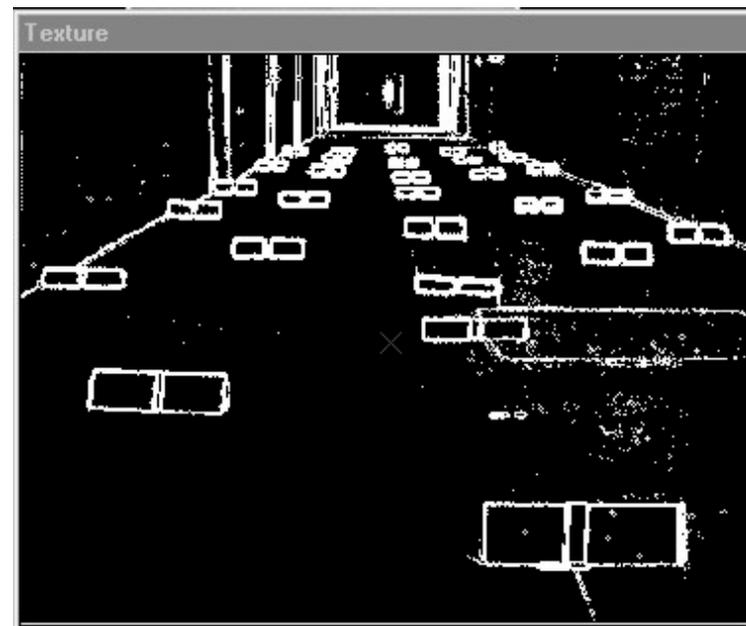
## Positionsbestimmung von Fahrzeugen mit Hilfe von Videosensoren





## Positionsbestimmung von Fahrzeugen mit Hilfe von Videosensoren

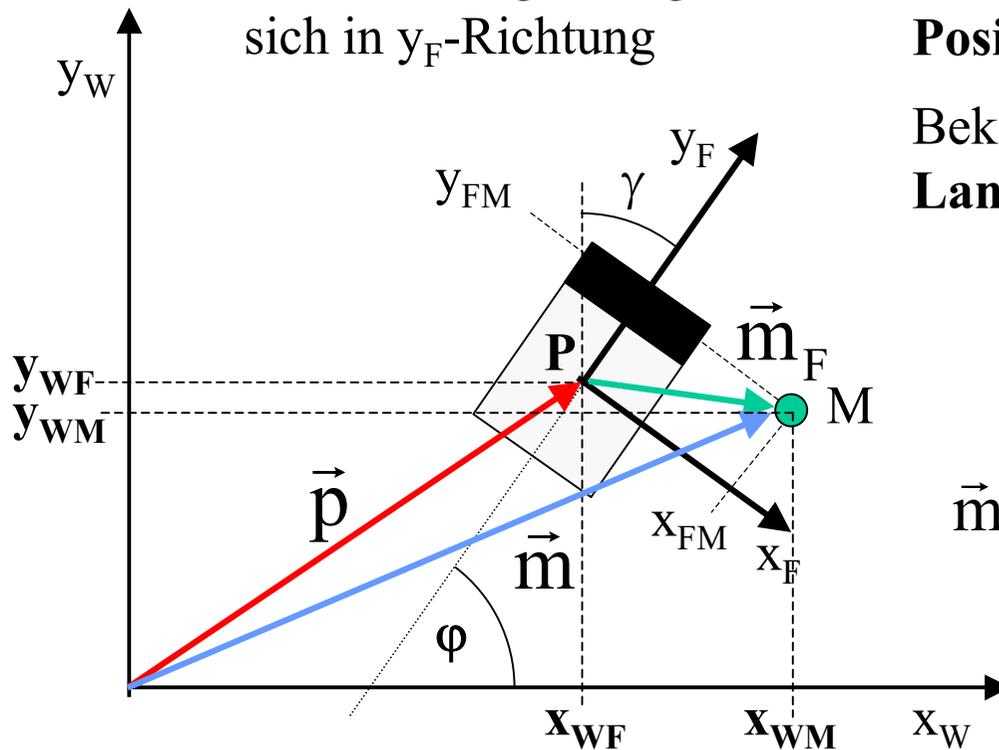
---



Kellergang mit erkennbaren Landmarken (Testfeld)

Positionsbestimmung von Fahrzeugen mit Hilfe von Videosensoren

Das Fahrzeug bewegt  
 sich in  $y_F$ -Richtung



Zu bestimmen sind:

**Position P, Richtungswinkel  $\varphi$ .**

Bekannt ist:

**Landmarke M**

$$\vec{p} = \vec{m} - \vec{m}_F$$

$$\vec{m} = \begin{Bmatrix} x_{WM} \\ y_{WM} \end{Bmatrix} \quad \vec{p} = \begin{Bmatrix} x_{WF} \\ y_{WF} \end{Bmatrix} \quad \vec{m}_F = \begin{Bmatrix} x_{FM} \\ y_{FM} \end{Bmatrix}$$

## Positionsbestimmung von Fahrzeugen mit Hilfe von Videosensoren

---

$$\begin{Bmatrix} x_{WF} \\ y_{WF} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} x_{WM} \\ y_{WM} \end{Bmatrix} - \mathbf{S}(\varphi) \begin{Bmatrix} x_{FM} \\ y_{FM} \end{Bmatrix}$$

$$\mathbf{S}(\varphi) = \begin{Bmatrix} \sin \varphi & \cos \varphi \\ -\cos \varphi & \sin \varphi \end{Bmatrix}$$

Die Position des Fahrzeuges kann aus der Markenposition und den Sensordaten ermittelt werden, wenn  $\varphi$  bekannt ist.

## Positionsbestimmung von Fahrzeugen mit Hilfe von Videosensoren

---

$$x_{WF} = x_{WM} - x_{FM} \mathbf{\sin} \varphi - y_{FM} \mathbf{\cos} \varphi$$

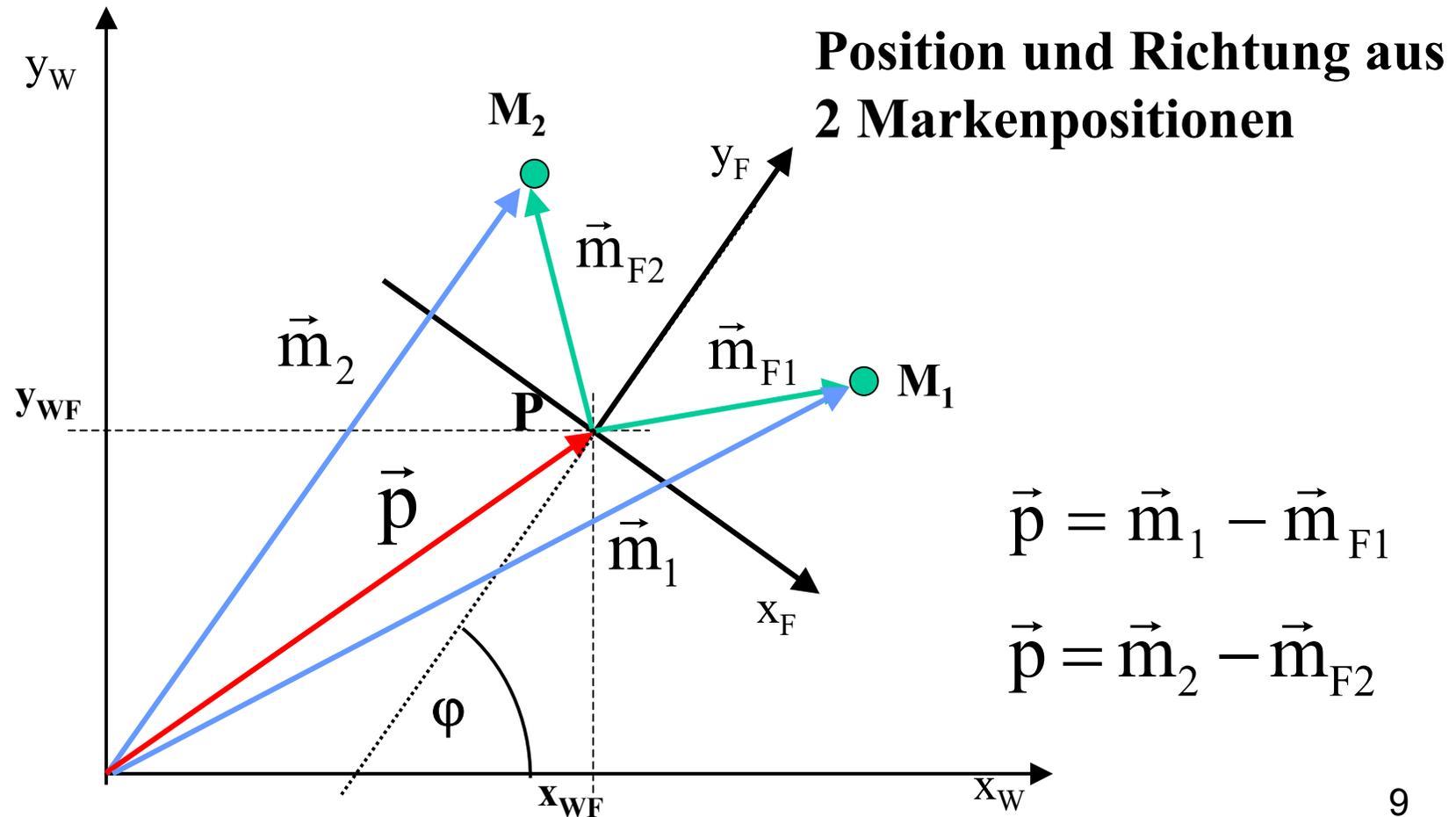
$$y_{WF} = y_{WM} + x_{FM} \mathbf{\cos} \varphi - y_{FM} \mathbf{\sin} \varphi$$

Fehlerrechnung für  $x_{WF}$ :

$$\Delta x_{WF} = \frac{\partial x_{WF}}{\partial x_{FM}} \Delta x_{FM} + \frac{\partial x_{WF}}{\partial y_{FM}} \Delta y_{FM} + \frac{\partial x_{WF}}{\partial \varphi} \Delta \varphi$$

$$\frac{\Delta x_{WF}}{x_{WF}} = -\frac{x_{FM}}{x_{WF}} \frac{\Delta x_{FM}}{x_{FM}} \mathbf{\sin} \varphi - \frac{y_{FM}}{x_{WF}} \frac{\Delta y_{FM}}{y_{FM}} \mathbf{\cos} \varphi - \left( \frac{x_{FM}}{x_{WF}} \mathbf{\cos} \varphi + \frac{y_{FM}}{x_{WF}} \mathbf{\sin} \varphi \right) \Delta \varphi$$

## Positionsbestimmung von Fahrzeugen mit Hilfe von Videosensoren



## Positionsbestimmung von Fahrzeugen mit Hilfe von Videosensoren

---

$$\vec{m}_1 - \vec{m}_2 = \vec{m}_{F1} - \vec{m}_{F2}$$

$$\begin{Bmatrix} x_{WM1} - x_{WM2} \\ y_{WM1} - y_{WM2} \end{Bmatrix} = \mathbf{S}(\varphi) \begin{Bmatrix} x_{FM1} - x_{FM2} \\ y_{FM1} - y_{FM2} \end{Bmatrix}$$

$$\begin{Bmatrix} a \\ b \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \sin \varphi & \cos \varphi \\ -\cos \varphi & \sin \varphi \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} c \\ d \end{Bmatrix}$$

$$\mathbf{tan} \varphi = \frac{ac + bd}{ad - bc} \qquad \varphi = \mathbf{arctan} \frac{ac + bd}{ad - bc}$$

## Positionsbestimmung von Fahrzeugen mit Hilfe von Videosensoren

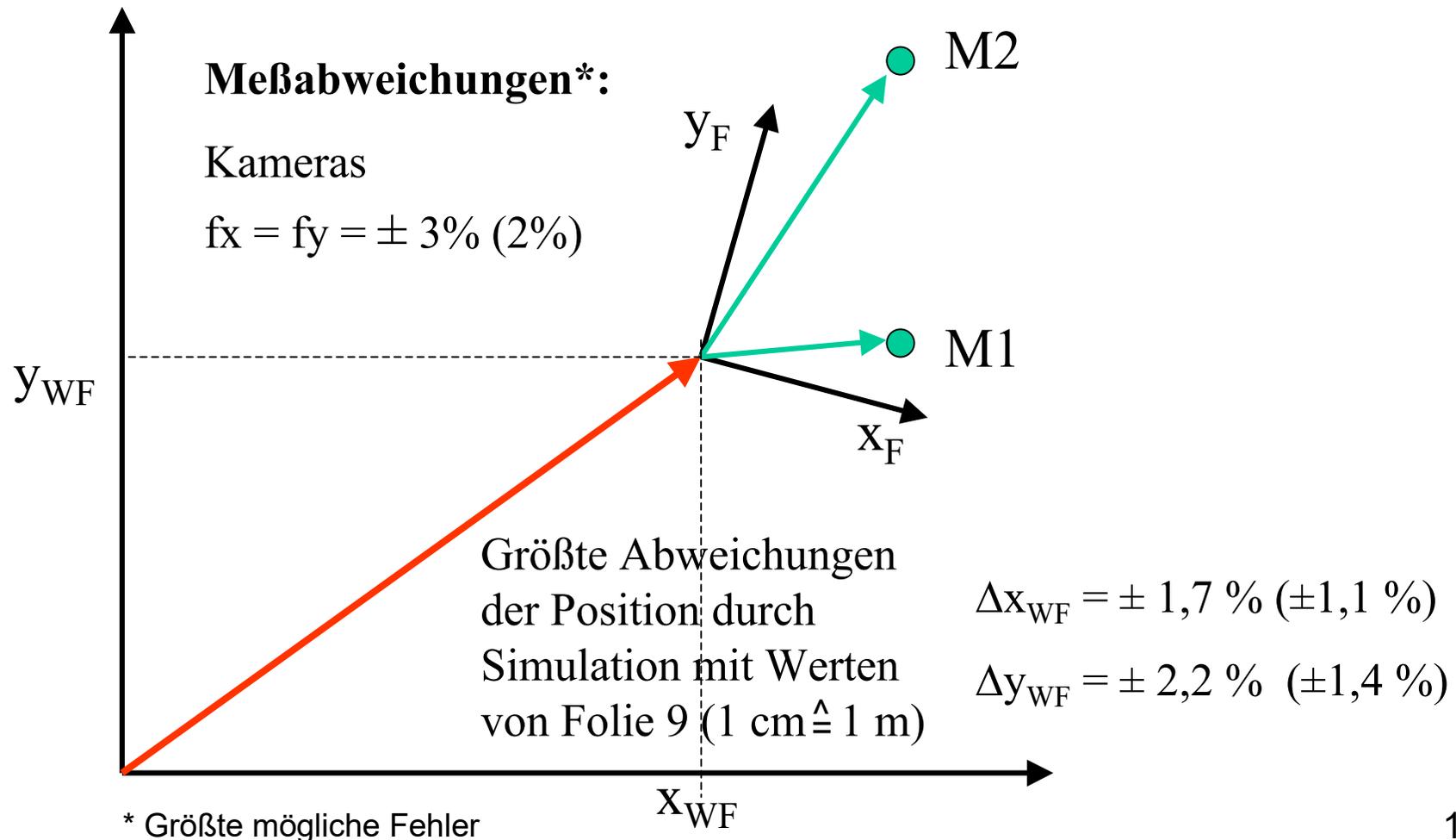
---

$$\Delta \tan \varphi = \frac{\partial \tan \varphi}{\partial c} \Delta c + \frac{\partial \tan \varphi}{\partial d} \Delta d$$

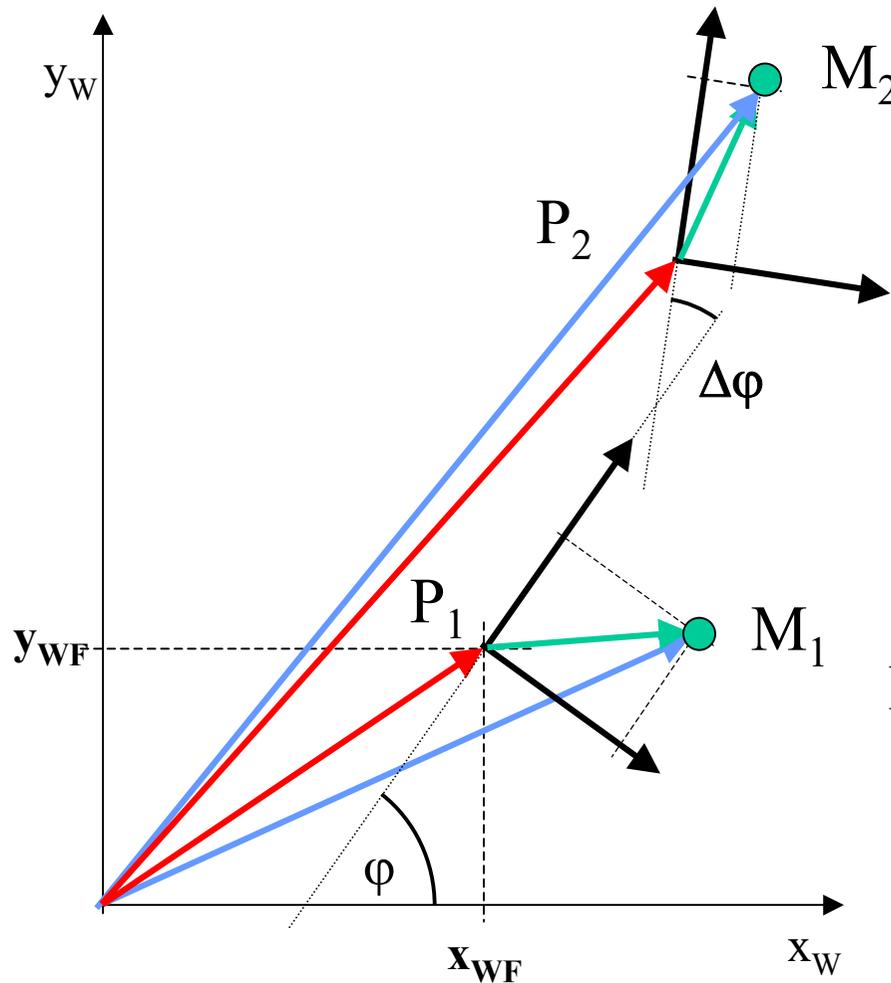
$$\Delta \tan \varphi = \frac{cd(a^2 + b^2)}{(ad - bc)^2} \left\{ \frac{\Delta c}{c} - \frac{\Delta d}{d} \right\} \quad \Delta \varphi = \arctan(\Delta \tan \varphi)$$

$$\frac{\Delta c}{c} = \frac{\left( \frac{\Delta x_{FM1}}{x_{FM1}} - \frac{x_{FM2}}{x_{FM1}} \frac{\Delta x_{FM2}}{x_{FM2}} \right)}{\left( 1 - \frac{x_{FM2}}{x_{FM1}} \right)} \quad \frac{\Delta d}{d} = \frac{\left( \frac{\Delta y_{FM1}}{y_{FM1}} - \frac{y_{FM2}}{y_{FM1}} \frac{\Delta y_{FM2}}{y_{FM2}} \right)}{\left( 1 - \frac{y_{FM2}}{y_{FM1}} \right)}$$

## Positionsbestimmung von Fahrzeugen mit Hilfe von Videosensoren



## Positionsbestimmung von Fahrzeugen mit Hilfe von Videosensoren



**Position und Richtung  
aus 2 Markenpositionen**

$$\mathbf{R}(\Delta\varphi) = \begin{Bmatrix} \cos \Delta\varphi & -\sin \Delta\varphi \\ \sin \Delta\varphi & \cos \Delta\varphi \end{Bmatrix}$$

## Positionsbestimmung von Fahrzeugen mit Hilfe von Videosensoren

---

$$\vec{p}_1 = \vec{m}_1 - \vec{m}_{F1} \quad \vec{p}_2 = \vec{m}_2 - \vec{m}_{F2}$$

$$(\vec{m}_1 - \vec{m}_2) - (\vec{p}_1 - \vec{p}_2) = \vec{m}_{F1} - \vec{m}_{F2}$$

$$\begin{bmatrix} x_{WM1} - x_{WM2} \\ y_{WM1} - y_{WM2} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} x_{WF1} - x_{WF2} \\ y_{WF1} - y_{WF2} \end{bmatrix} = \mathbf{S}(\varphi) \cdot \left\{ \begin{bmatrix} x_{FM1} \\ y_{MF1} \end{bmatrix} - \mathbf{R}(\Delta\varphi) \cdot \begin{bmatrix} x_{FM2} \\ y_{MF2} \end{bmatrix} \right\}$$

$$\begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{sin} \varphi & \mathbf{cos} \varphi \\ -\mathbf{cos} \varphi & \mathbf{sin} \varphi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c \\ d \end{bmatrix} \quad \mathbf{tan} \varphi = \frac{ac + bd}{ad - bc}$$

$$a = [x_{WM1} - x_{WM2}] - (x_{WF1} - x_{WF2})$$

$$b = [y_{WM1} - y_{WM2}] - (y_{WF1} - y_{WF2})$$

Abstand der Positionen  
 und  $\Delta\varphi$   
 odometrisch messen

$$c = x_{FM1} - x_{FM2} \mathbf{cos} \Delta\varphi + y_{FM2} \mathbf{sin} \Delta\varphi$$

$$d = y_{FM1} - x_{FM2} \mathbf{sin} \Delta\varphi - y_{FM2} \mathbf{cos} \Delta\varphi$$

## Positionsbestimmung von Fahrzeugen mit Hilfe von Videosensoren

---

### Zusammenfassung

- Stereo-Videosensoren eignen sich für die Navigation Fahrerloser Fahrzeuge und von Service-Robotern.
- Die Fahrzeugposition kann mit Hilfe natürlicher Landmarken bestimmt werden. Fehlergrenze abhängig von Kameraauflösung. Fehlergrenzen im niedrigen Prozentbereich.
- Zur Bestimmung von Position und Richtung sind mindestens 2 Landmarken erforderlich.
- Die sequentielle Erfassung von 2 Landmarken führt zu Lösungen mit vielen Differenzen. Daher auf große Differenzen der Markenkoordinaten achten.