

Seminar: Agentensysteme

Autonome Luft- und Landfahrzeuge

Dozent: Dr. Dietmar Lammers
Veranstaltung: „Agentensysteme“,
WS 2005/06

Robert Bräuning, Dominik Heider

Inhalte

- Kapitel 1: Drohnen (UAV)
 - Einführung
 - UAV-Systeme
 - UAVs der Bundeswehr
 - Geschichte
 - Historische Entwicklung
 - Einsatzgebiete
 - Free-Flight-Konzept
 - Vorteile und Probleme
 - Rechtliches

Inhalte

- Kapitel 2: führerlose Fahrzeuge (AGV)
 - Einführung
 - Geschichte
 - Autonome Fahrzeuge im Straßenverkehr
 - Beispiel: ARGO
 - Car 2 Car
 - Autonome Off-Road Fahrzeuge
 - Grand DARPA Challenge
 - Off-Road vs. On-Road
 - Sensorik
- Kapitel 3: Ausblick

Einführung

„Niemand darf ein Roboter einem Menschen Schaden zufügen.“

Erste Asimovsches Gesetz der Robotik

Kapitel 1: Drohnen (UAV)

- Was sind Drohnen?
 - Eine Drohne ist ein unbemanntes, wiederverwendbares Luftfahrzeug
 - **U**n manned **A**erial **V**ehicle
 - Autonom oder ferngesteuert (RPV)
 - Vorwiegend militärischer Einsatz
 - Teilweise auch bewaffnet (UCAV)
- Keine UAVs sind
 - Alle mit einem Sprengkopf ausgestatteten Systeme
 - z.B. Torpedos, Raketen (smarte Munition)

UAV - System

- 3 Komponenten
 - Kontrollstation
 - Kommunikationsinfrastruktur
 - Trägerplattform für Sensoren / Waffen

 - z.B. PREDATOR der U.S. Airforce
SHADOW-200 der U.S. Army
Hierbei 4 Maschinen pro Kontrollstation

UAV - Typen

- HALE (High Altitude Long Endurance)
 - Einsatzhöhe >15000m
 - Einsatzdauer >24 Std.
 - Vorteile:
 - Große Übersicht
 - Luftraumsicherung für Feind sehr aufwendig
 - Nur 2 Modelle:
 - PREDATOR (B), 3t, USA
 - Global Hawk, 11,5t, USA
 - Eagle II verfehlt knapp Kategorie, europäisch-israelische Kooperation

UAV - Typen

- HALE (High Altitude Long Endurance)



UAV - Typen

- MALE (Medium Altitude Long Endurance)
 - Einsatzhöhe $5000 < x < 15000\text{m}$
 - Einsatzdauer >24 Std.
 - Gewicht 0,5 - 2,5t
 - Aufgaben
 - Taktische Aufklärung
 - Vereinzelt als UCAV
 - Beispiele:
 - PREDATOR (A)
 - X-45
 - Eagle II

UAV - Typen

- MALE (Medium Altitude Long Endurance)



UAV - Typen

- TUAV (Tactical Unmanned Aerial Vehicles)
 - Einsatzhöhe $1000 < x < 5000\text{m}$
 - Einsatzdauer $1 < x < 6$ Std.
 - Größte Gruppe
 - Sehr viele unterschiedliche Systeme
 - Start wie Flugzeug
 - Start mit Katapult / Startraketen
 - Landung über Fallschirm / Fangnetze
 - Aufgaben
 - Luftnahaufklärung für Bodentruppen

UAV - Typen

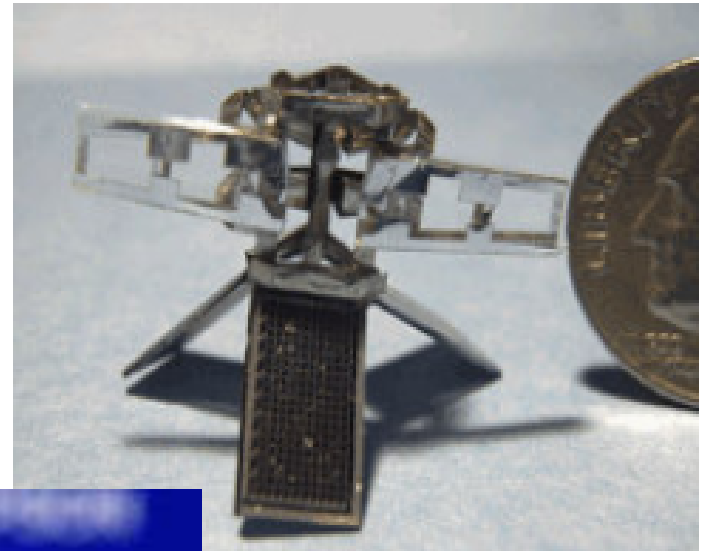
- MUAV (Mini Unmanned Aerial Vehicles)
 - Einsatzhöhe < 250m
 - Einsatzdauer < 1 Std.
 - Gewicht < 20Kg
 - Reichweite < 10km
 - Aufgaben
 - Nur Standbilder, da Sensoren nicht stabilisiert

UAV - Typen

- MAV (Mikro UAV)
 - Gewicht ca. 80g
 - Geschwindigkeit ca. 30km/h
 - Aufgaben
 - Vorwiegend Einsatz bei Geheimdiensten
 - Probleme
 - Werden leicht vom Wind angetrieben aufgrund des Gewichts und Geschwindigkeit

UAV - Typen

- MAV (Mikro UAV)



UAVs der Bundeswehr

- ALADIN (abbildende luftgestützte Aufklärungsdrohne im Nächstbereich)
 - Echtzeitübertragung
 - Kamera, Infrarot
 - GPS-Modul
 - Autonom (GPS-Route)
 - Sehr niedrige Signatur (Elektromotor)
 - Reichweite 5km
 - Flughöhe < 200m
 - Flugdauer ca. 45min



UAVs der Bundeswehr

- CL-289
 - Echtzeitübertragung
 - Reihenkamera
 - IR-Scanner
 - Autonom (GPS-Route)
 - Navigation auch ohne GPS
 - Reichweite 400km
 - Flughöhe 3000m
 - Geschwindigkeit 740km/h
 - Über Trägerrakete gestartet
 - Landung mit Fallschirm



UAVs der Bundeswehr

- LUNA
 - Echtzeitübertragung
 - Reihenkamera
 - IR-Scanner
 - Ferngesteuert oder Routen
 - Reichweite 65km
 - Flugdauer 3 Std.
 - Über Katapult gestartet

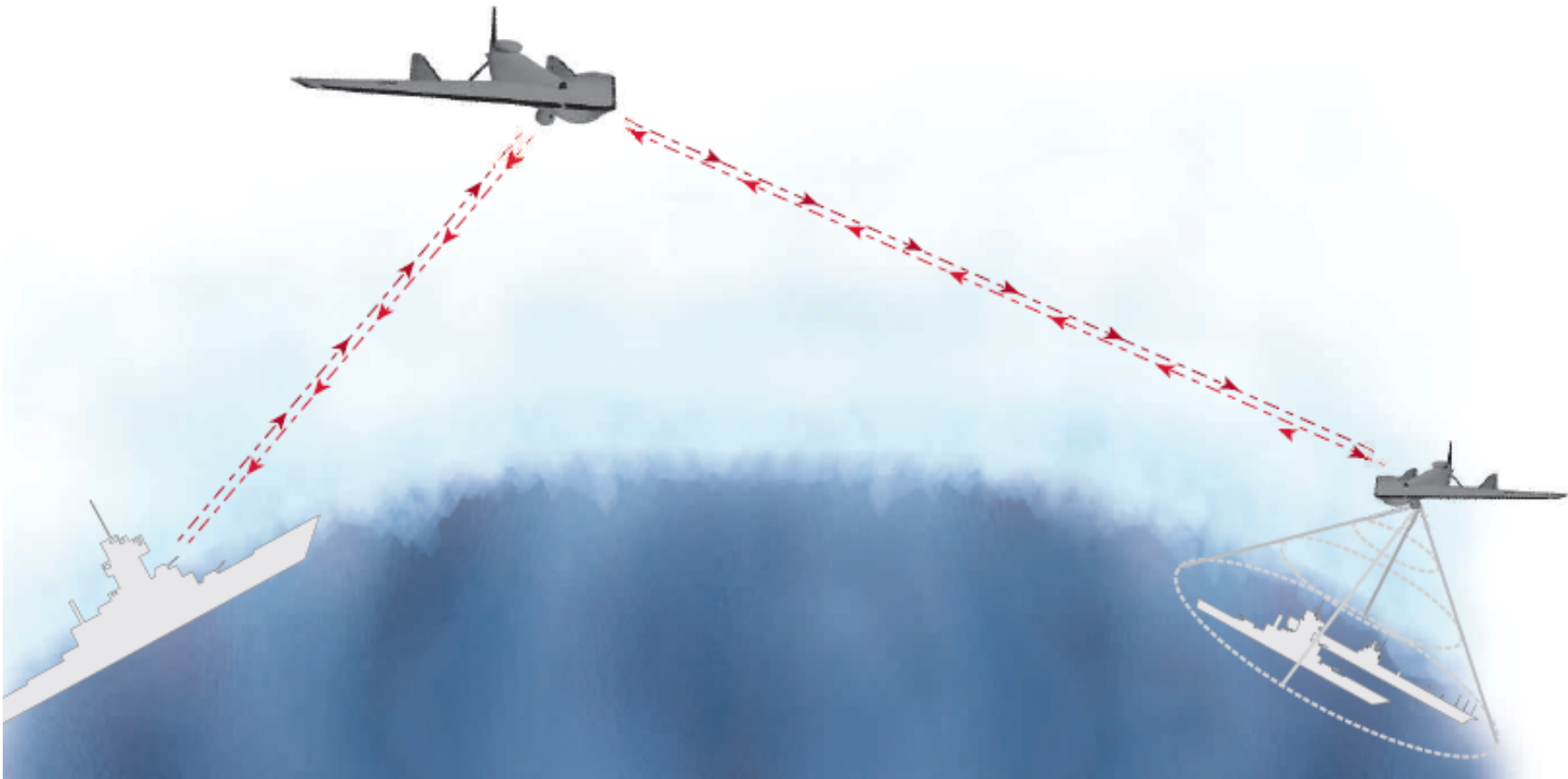


UAVs der Bundeswehr

- X-13
 - Reichweite 200km
 - Einsatzdauer 6 Std.
 - Einsatzhöhe 3000m
 - Geschwindigkeit 180km/h
 - Autonomer Flug und Landung
 - SAR-Sensor
 - IR-Sensor
 - Hochauflösende Kamera

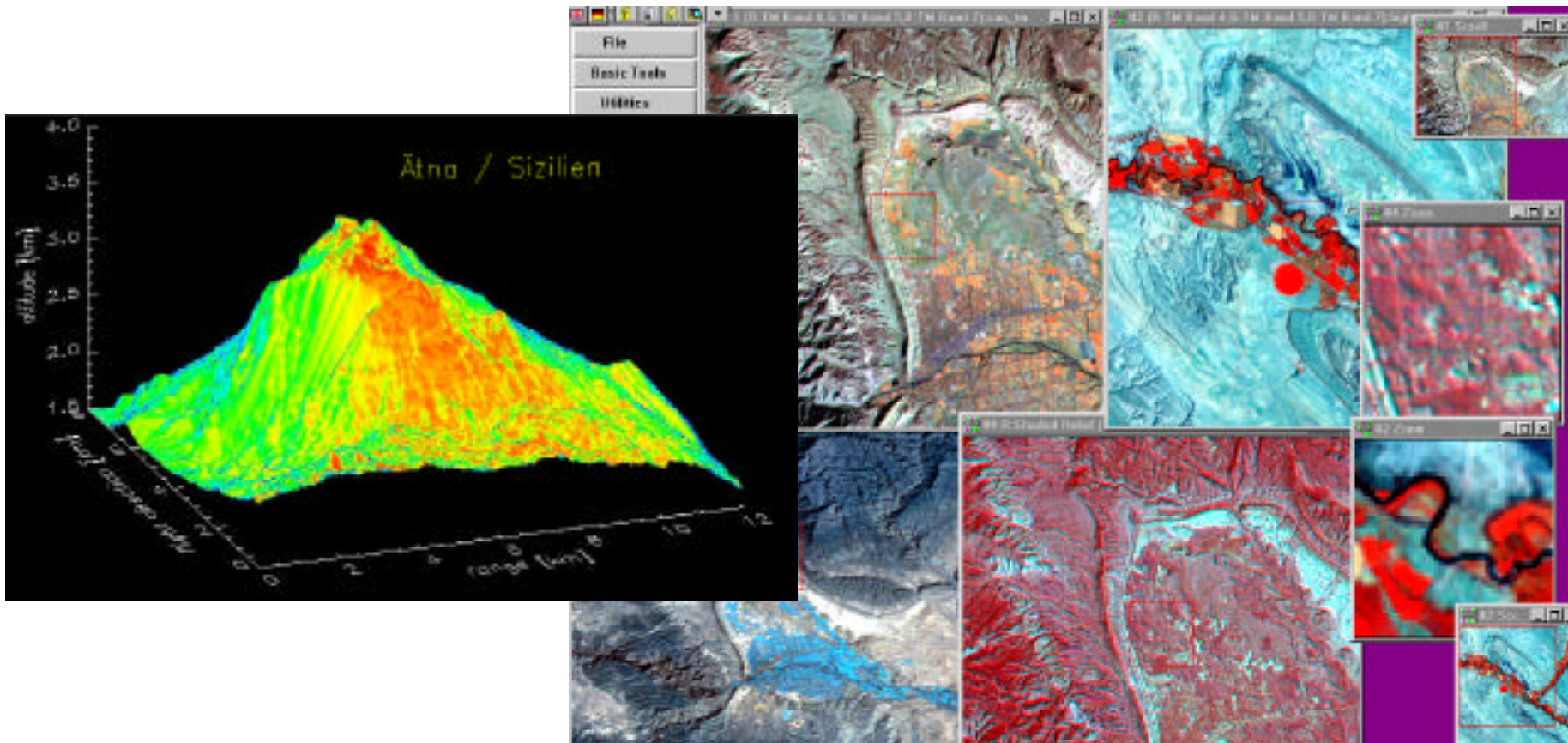
UAVs der Bundeswehr

- Jenseits des Horizonts mit Relaisdrohne



SAR-Sensor

- Über Mikrowellen
- Unterschiedliche Reflexionseigenschaften der Oberflächen



UAVs der Bundeswehr

- FANCOPTER
 - Reichweite 500m
 - Flugdauer 15min
 - Tageslicht-Videokamera
 - Autonomer Start und Landung
 - Ferngesteuert
 - Zur urbanen Aufklärung



Historische Entwicklung

- Erste Versuche nach dem 1. Weltkrieg
 - DH.288 Queen Bee (ferngesteuertes Flugzeug)
- 1964/75: Aufklärungsdrohnen in Nordkorea, China und Vietnam
- 60er: D-21, 4000km/h, 29000m Höhe
Abbruch aus technischen Gründen
- 1982: Libanon-Invasion: Syrische SAM-Stellungen in Bekatal aufgeklärt
- 1979-87: Aquila-Programm, USA

Historische Entwicklung

- SHADOW-Programm
- PIONEER-Programm
- Momentan USA und Israel führend
- Gesamtinvestition USA: über 6 Mrd. Euro

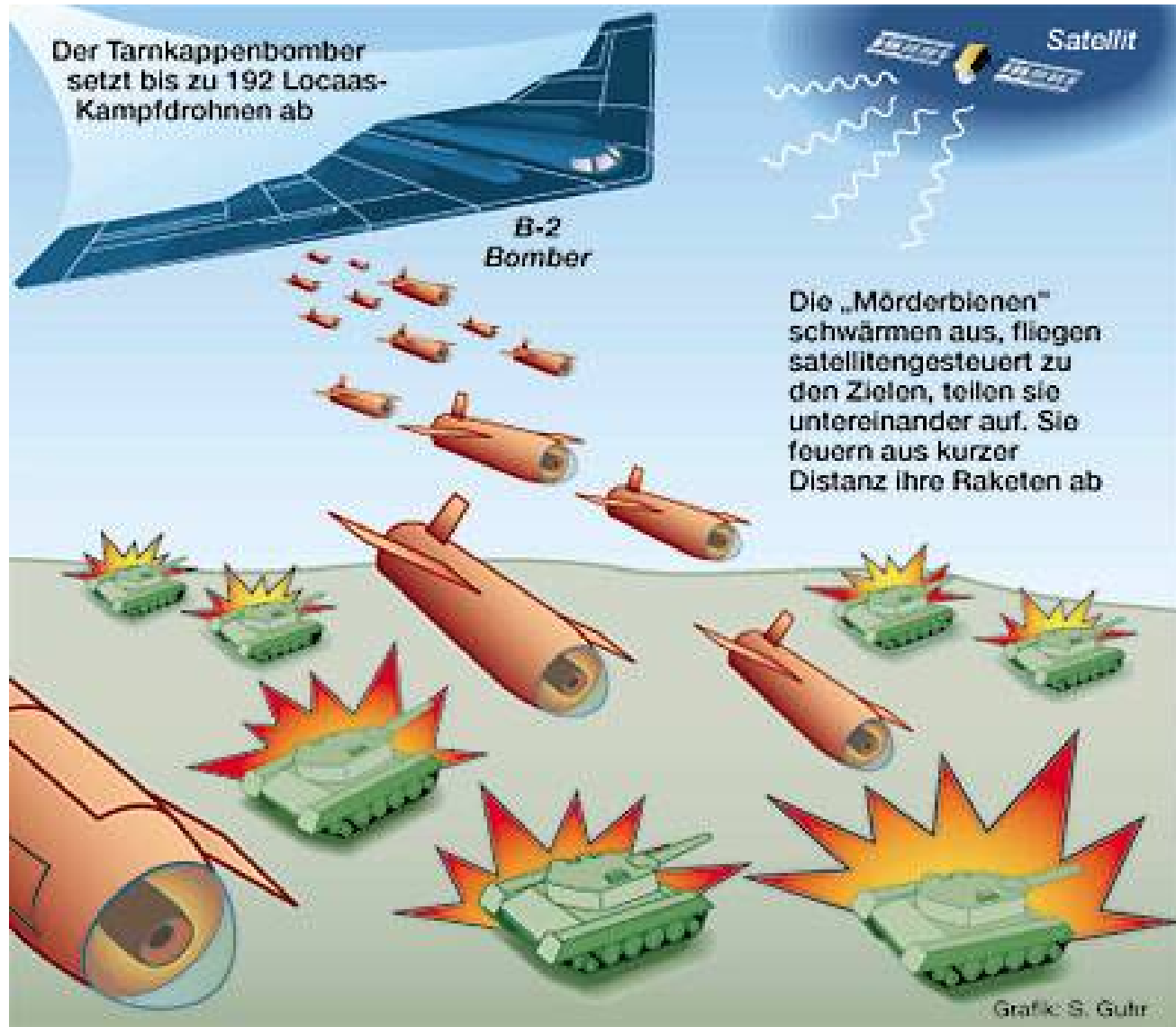
UAV - Einsatzgebiete

- Einsätze in Afghanistan, Jemen
- Nov '02: Al-Qaida Terrorist Ali Kaid Sihian Harithi von PREDATOR (A) aufgespürt und getötet.
- Aufklärungseinsätze im Kosovo und Irak
- Ziel:
 - Vollständige Ersetzung bemannter Flüge
 - Mittelfristig: Bekämpfung gegnerischer Luftabwehr und Luftnahunterstützung
 - Nur in speziellen Bereichen, z.B. Search & Rescue wird Einsatz von Menschen unverzichtbar bleiben

UAV - Einsatzgebiete

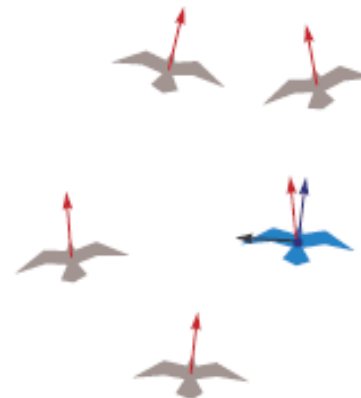
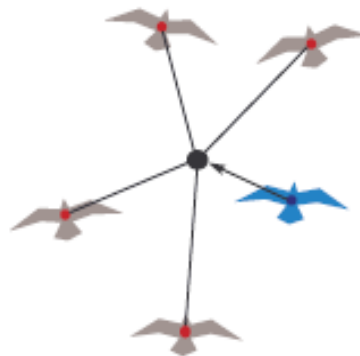
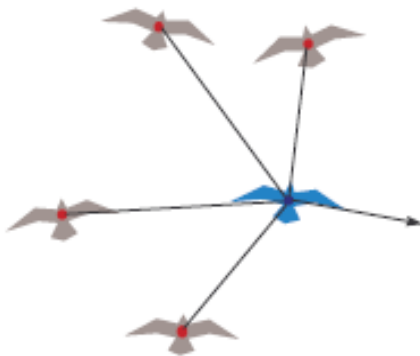
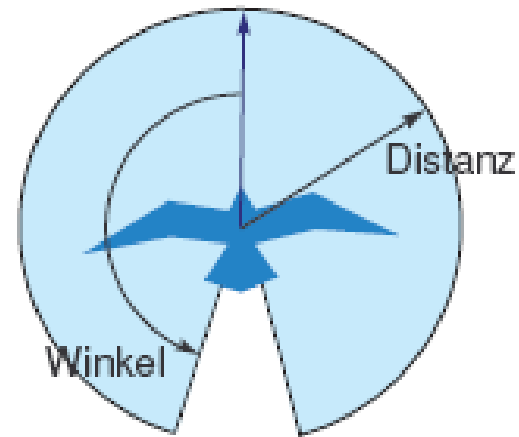
- Kampfdrohne „LOCAAS“ (Low Cost Autonomous Attack System)
 - nur 80 cm lang
 - mit einem Düsenmotor mit Benzin für rund 30 Minuten
 - Laser-Radar
 - Tarnkappenbomber setzt bis zu 192 LOCAAS ab
 - Ausschwärmen wie Vogelschwarm (Boids)
 - Künstliche Intelligenz zur Zielerkennung

LOCAAS



Boids

- Basieren auf 3 Regeln
 - Separation
 - Cohesion
 - Alignment



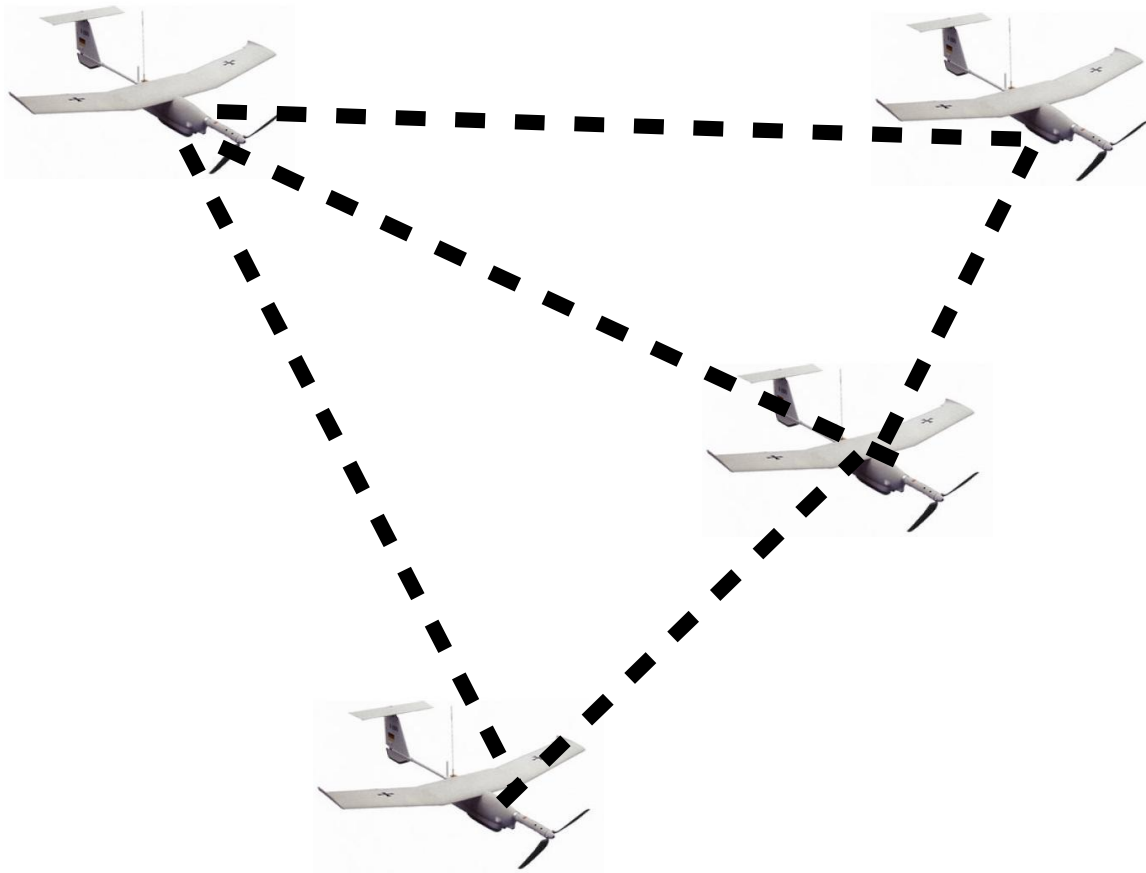
Free-Flight-Konzept

- TCAS (Traffic Alert and Collision Avoidance System)
 - UAVs passieren nur bei Start und Landung die bemannten Flugzonen
 - Keine zentrale Luftverkehrssteuerung, sondern dezentrale Luftverkehrslenkung
 - Luftraummanagement automatisiert zwischen einzelnen Flugzeugen selbst

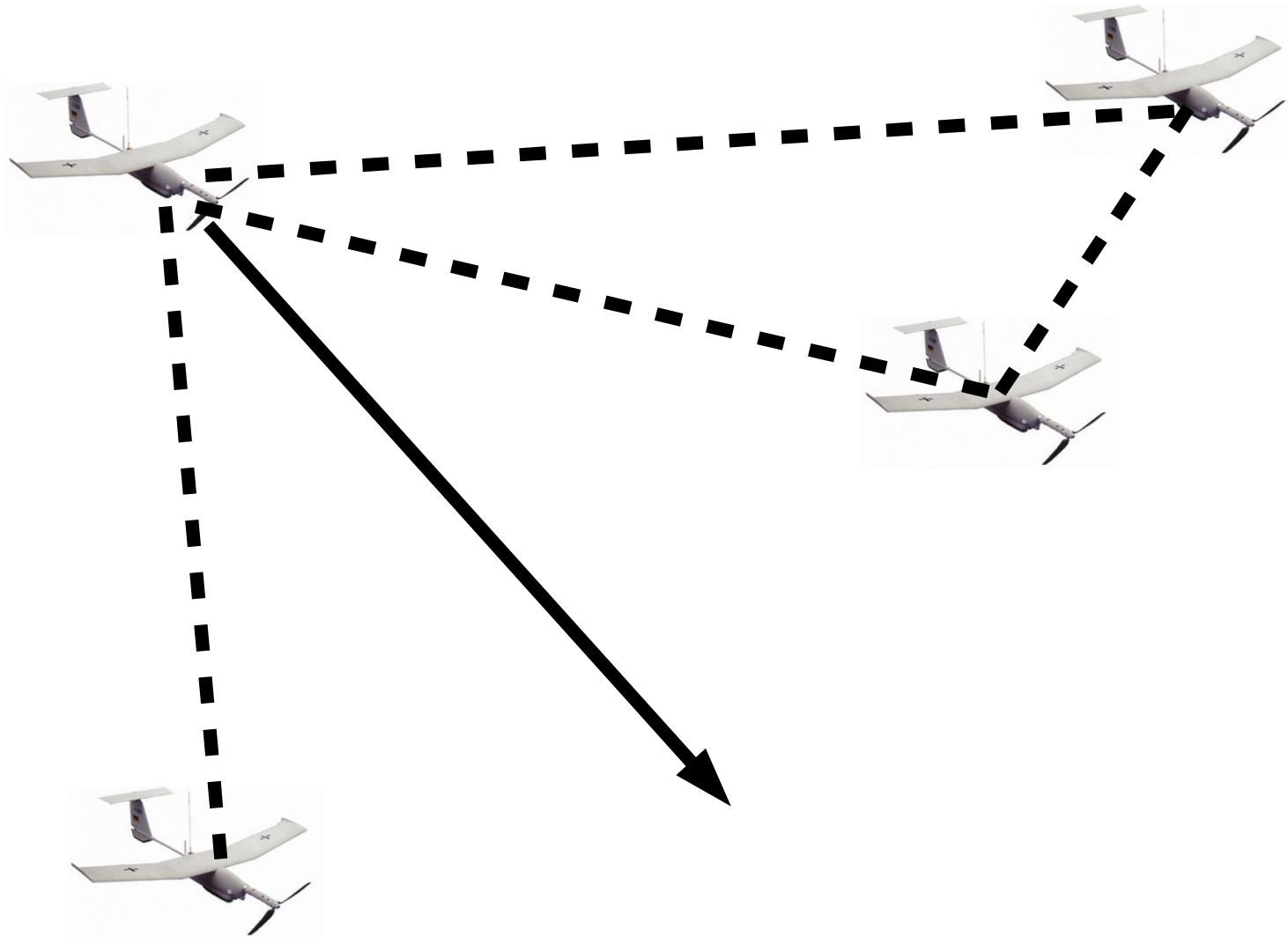
Free-Flight-Konzept

- Während des Fluges im Free-Flight-Luftraum überwacht das System automatisch den umgebenden Luftraum
- Von allen benachbarten UAVs Positions- und Flugabsichtsdaten werden übertragen
- Wird ein Konflikt mit einem anderen Flugzeug erkannt, wählt das System anhand eines Regelwerks eine Route, um beispielsweise dem anderen Flugzeug auszuweichen
- Dabei wird die bestgeeignete Flugbahn berücksichtigt
 - Keine Konflikte
 - Geringste Flugzeit zum Ziel

Free-Flight-Konzept



Free-Flight-Konzept



Free-Flight-Konzept

- Durch Kommunikation untereinander
 - UAVs in Kampfverbänden agieren
 - Lagebilderstattung wird optimiert
- In ziviler Luftfahrt
 - Kollisionsvermeidung
 - Schnellere Flüge zum Ziel
 - Managementaufwand verringert

Vorteile von UAVs

- Verweildauer
- Kosteneinsparungen
- Risikoverminderung
- Einsatzbereitschaft
- Größenvorteil
- Psychologische Wirkung auf Feind
- Manövrierfähigkeit

Vorteile von UAVs

- Drahtlose Netzwerke erzeugen massive synergetische Effekte
- Lagebilderstattung wird optimiert

-> **Netzwerkorientierte Kriegsführung**

Probleme

- PREDATOR (A)
 - Von Kontrollstation über Joystick (Pilot und Waffenbediener)
 - Teilweise Störungen der Signale
 - Verzögerungen bis zu 1 Sekunde
- Global Hawk
 - Autonom (weitgehend)
 - Lagekontrolle, Navigation, Subsystemkontrollen vom Bordcomputer ausgeführt
 - Kontrollstation gibt nur Autorisierungsbefehle

Probleme

- Achillesferse: Datenübertragung
 - Global Hawk fliegt bei Verbindungsabbruch zur Heimatbasis zurück
 - PREDATOR fällt vom Himmel
 - Meisten Verluste gehen auf Verbindungsabbruch zurück
 - F-16 hat Unfallrate von 3,5 pro 100.000 Flugstunden
 - Zivilflüge Unfallrate von 0,8 pro 100.000 Flugstunden
 - UAVs Unfallrate 100 pro 100.000 Flugstunden
 - Kein Vertrauen in der Öffentlichkeit

UAV und Agenten

- UAV ein Agent?
 - Autonomie
 - Intelligenz
 - Reaktivität
 - Kommunikation / Interaktion
 - Mobilität
 - Sozialverhalten
 - Adaptivität

Rechtliches

- UAVs machen keine Gefangenen
- Feinde haben nicht die Chance sich zu ergeben
- Feinde werden immer getötet
- Steht im Konflikt mit „Genfer Abkommen“:
 - Verbot der Erschießung von Soldaten, die sich ergeben haben

Rechtliches

- § 1 LuftVO
 - [...] dass Sicherheit und Ordnung im Luftverkehr gewährleistet sind und kein anderer gefährdet oder geschädigt wird.
- § 2 LuftVO
 - Die Vorschriften dieser Verordnung [...] gelten für den verantwortlichen Luftfahrzeugführer unabhängig davon, ob er das Luftfahrzeug selbst bedient oder nicht.
- Trotz Automatisierung nicht Rechner, sondern Mensch verantwortlich

Kann er das aber?

Wer wird bei Fehlern strafrechtlich verfolgt?

Warum überhaupt fahrerlose Systeme?

- Industrielle Aspekte
 - Geringerer Personalbedarf und Steigerung der Produktivität
- Sicherheitsaspekte
 - Computer ist zuverlässiger als der Mensch
- Ökologische Aspekte
 - Bessere Straßenausnutzung, weniger Staus
- Militärische Aspekte

Fahrerlose Transportfahrzeuge (1)

- Schon in den 50er Jahren erste fahrerlose Transportfahrzeuge (FFT) im Einsatz
- FFT fanden sehr schnell große Akzeptanz in der Industrie
- Heute sind mehr als 50 000 FFT europaweit im Einsatz
- FFT haben sich als sehr sich und zuverlässig erwiesen



Fahrerlose Transportfahrzeuge (2)

- Bis in die 80er Jahre Steuerung der FFT über Leitdrähte
- Über Magnetfeldsensoren wird das elektrische Feld des Drahtes wahrgenommen
- Bodenkontrollstation verändert Spannung der Drähte
- Sehr unflexible Steuerung
- Intelligente Kontrollstation, dumme Fahrzeuge!

Fahrerlose Transportfahrzeuge (3)

- In den 80er Entwicklung von drahtlosen fahrerlosen Transportsystemen (FTS)
 - Navigation durch Laser und Magnettraster
 - Hohe Flexibilität und Genauigkeit:
 - Die Streckenführung kann schnell geändert werden
- Die meisten FTS haben heute eine zentrale Leitsteuerung
=> Fahrzeuge sind nicht wirklich autonom

Shakey

- 1966-1972 entwickelt
- Erster mobiler Roboter, der über seine Handlungen selbst „nachdachte“ und die Umgebung visuell wahrnahm
- Sensoren: Kamera, Abstandssensoren, Kollisionssensoren
- Konnte Gegenstände erkennen und um sie herum navigieren
- Anwendung vor allem im Labor



Fahrerlose Fahrzeuge im Straßenverkehr (1)

- Probleme:
 - Höhere Geschwindigkeiten gefordert
 - Wahrnehmung von Hindernissen bzw. der Umwelt allgemein
 - Steuerung der Fahrzeuge
 - Kommunikation der Fahrzeuge
 - Äußere Bedingungen (Beschaffenheit der Straße, Witterung, etc.)

Fahrerlose Fahrzeuge im Straßenverkehr (2)

- Seit Mitte der 80er Jahre viele Forschungsprojekte
- 1987 VaMoRs Projekt der Bundeswehr Universität München
- 1987 – 1994 Industrie- und Forschungsprojekt „Prometheus“
 - VAMP Projekt der Bundeswehr Universität München
 - Argo-Projekt der Universität Parma
- NavLab Gruppe der Carnegie Mellon University



Beispiel: ARGO (1)

- Sensoren:
 - Günstige s/w Kameras (< 200 DM)
 - Geschwindigkeitssensor
- Rechner:
 - PC Pentium MMX, 200MHz, 32 MegaBytes RAM, Linux Betriebssystem
- Geschwindigkeiten bis 100 km/h möglich
- Ergebnis: Im Juni 1998 legte das Fahrzeug 1800 km zurück (größtenteils autonom!!!)



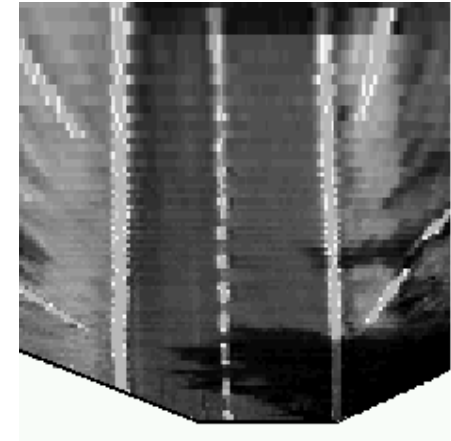
Beispiel: ARGO (2)

- Steuerung:
 - Die Fahrbahnmarkierungen dienen zur Orientierung
 - Probleme:
 - Die Kameras erzeugen große Datenmengen (25 Bilder/s á 450 000 Pixel)
 - Räumliche Tiefe der Bilder
 - Lösung: Inverse Perspective Mapping (IPM)



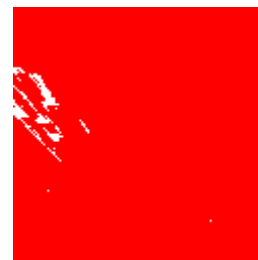
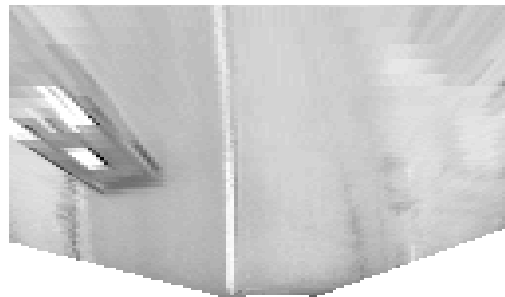
Beispiel: ARGO (3)

- Bild nach IPM:
- Annahme zur Fahrbahnerkennung:
 - Pixel die wesentlich heller sind als ihre horizontalen Nachbarpixel in einem gewissen Abstand gehören zur Fahrbahnmarkierung
- Problem:
 - Unterschiedliche Lichtverhältnisse und Fahrbahnmarkierungen können die Fahrbahnerkennung erschweren



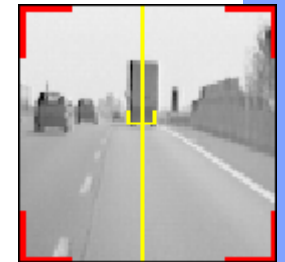
Beispiel: ARGO (4)

- Hinderniserkennung:
 1. Durch IPM veränderte Bilder der linken und rechten Kamera werden pixelweise verglichen
 2. Hindernisse werden durch große, fast dreieckige Cluster deutlich



Beispiel: ARGO (5)

- Annahme zur Fahrzeugerkennung:
 - Ein Fahrzeug ist im Allgemeinen symmetrisch
- Vorgehen:
 1. Ein interessanter Bereich wird identifiziert
 2. Vertikale Symmetrien werden gesucht
 3. Die untere Grenze des Fahrzeugs wird gesucht
 4. Die obere Grenze des Fahrzeugs wird gesucht



Beispiel: ARGO (6)

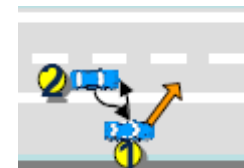
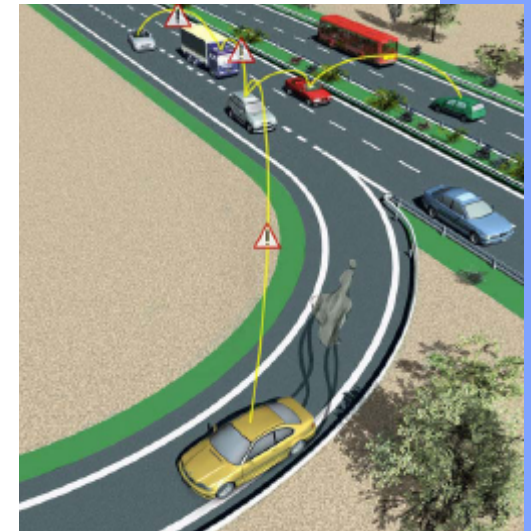
- Probleme:
 - „Ungewöhnliche“ Fahrbahnmarkierungen:
 - Rechtspfeile zum abbiegen
 - Andersfarbige Linien in Baustellen
 - Lichtverhältnisse
 - Nasse Fahrbahn
 - Verlassen eines Tunnels
 - Fahren bei Nacht

Car 2 Car (1)

- Car2Car Communication Consortium
- Mitglieder: BMW, Audi, Volkswagen, Fiat, ...
- Ziel: Bis 2010 Entwicklung eines europäischen Industriestandards zur Kommunikation zwischen Fahrzeugen
- Fahrzeuge sollen sich gegenseitig über die Verkehrslage informieren

Car 2 Car (2)

- Basiert auf der WLAN Technik (aber anderer Frequenzbereich : 5 GHz)
- Aufbau eines Ad-hoc Netzwerkes
- Jedes Fahrzeug ist mit allen Fahrzeugen in seiner Umgebung verbunden
- Reichweite soll nach vorne und hinten ca. 1000m, zu den Seiten 100 m betragen
- Probleme: Sicherheit und fehlende Infrastruktur des Netzes



Fahrerlose Fahrzeuge im Straßenverkehr (3)

- Fazit:
 - Fahrerlose Fahrzeuge auf Autobahnen heute nahezu ohne Probleme möglich
 - Auch mit vergleichsweise wenig Geld realisierbar und leicht umsetzbar
 - Abseits von Autobahnen noch ungelöste Probleme:
 - Erkennen von Straßenschildern und Ampeln
 - Komplexerer Straßenverlauf
 - Wesentlich größere Datenflut

DARPA Grand Challenge (1)

- **D**efense **A**dvanced **R**esearch **P**rojects **A**gency
(Technologieabteilung des Pentagon)
- Wettbewerb für unbemannte, autonome Fahrzeuge
- 13.03.2004 erste Grand Challenge ausgeschrieben:
 - Ziel: 150 Milen (240 km) durch die Mojave Wüste (Nevada)
unter 10 Stunden
 - Preis für das Sieger-Team: 1 Mio. US-Dollar

DARPA Grand Challenge (2)

- Regeln:
 - Es dürfen keine Steuersignale von außen gegeben werden
 - Die Route wird durch GPS Wegpunkte vorgegeben
 - Es gibt keine Restriktionen bezüglich der Fahrbahn
 - Das Fahrzeug darf die Umgebung nicht „beschädigen“
 - ...

Grand Challenge 2004 (1)

- 106 Teams haben sich angemeldet
- 15 Teams kamen durch die Qualifikation
- Ergebnis:
 - Das erfolgreichste Fahrzeug legte 7,4 Meilen (11,8 km) zurück (nur 5 % der Gesamtdistanz !)

Grand Challenge 2004 (1)

- 106 Teams haben sich angemeldet
- 15 Teams kamen durch die Qualifikation
- Ergebnis:
 - Das erfolgreichste Fahrzeug legte 7,4 Meilen (11,8 km) zurück (nur 5 % der Gesamtdistanz !)



Grand Challenge 2004 (1)

- 106 Teams haben sich angemeldet
- 15 Teams kamen durch die Qualifikation
- Ergebnis:
 - Das erfolgreichste Fahrzeug legte 7,4 Meilen (11,8 km) zurück (nur 5 % der Gesamtdistanz !)



Grand Challenge 2004 (2)

- Kilometer 8 bis 12 stellte sich als „Bot-Killer“ heraus
 - Red Team: Bei Kilometer 12 kam das Fahrzeug vom Kurs ab, durchbrach einen Begrenzungszaun, rammte ein Hindernis und fing Feuer
 - SciAutonicsII: Bei Kilometer 10,7 kam das Fahrzeug von der Straße ab und steckte in der Böschung fest
 - Golem Group: Bei Kilometer 8,3 blieb das Fahrzeug bei einem steilen Anstieg einfach stehen

Grand Challenge 2004 (3)

- Warum war das Ergebnis so schlecht?
 - Einige Fahrzeuge konnten den Wegpunkten gut folgen, aber Hindernisse nur schlecht erkennen
 - Andere Fahrzeuge „sahen“ Hindernisse, wo gar keine waren
 - Probleme, den befahrbaren Bereich zu erkennen
- Eher Software als Hardwareprobleme!

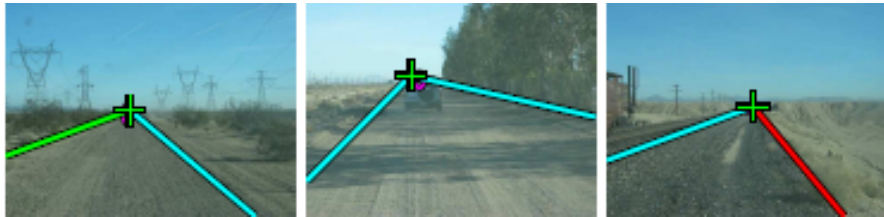
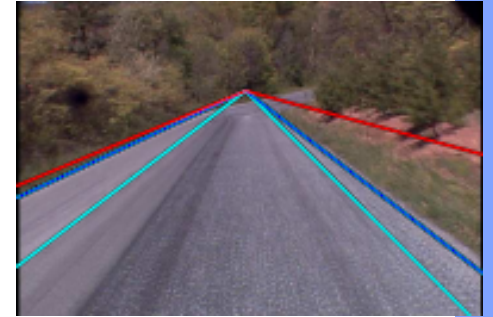
Offroad <-> Onroad

- Onroad:
 - Straße finden und folgen (Wegplanung)
 - Finden und umfahren von Hindernissen
 - Andere Fahrzeuge erkennen
- Offroad:
 - Finden von befahrbaren Korridoren
 - Finden und umfahren von Hindernissen
 - Andere Fahrzeuge erkennen



Road Tracking

- Kantenbasierte Methoden
- Regionenbasierte Methoden
- Texturbasierte „Fluchtpunkt“-Methoden



Sensorik

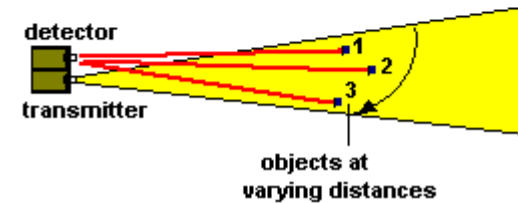
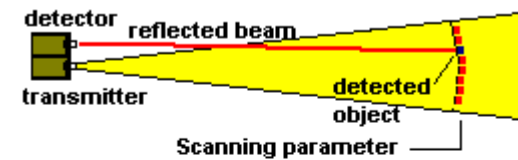
- RADAR
- LADAR
- Kameras
- GPS

RADAR

- **Radio Detection And Ranging**
- Große Reichweite (Bis etwa 200 Meter)
- Nicht anfällig bei Regen, Schnee, etc.
- Relativ günstig
- Geringe Genauigkeit
 - Kleinere Objekte, die zudem nicht aus Metall sind, werden nicht zuverlässig erkannt

LADAR

- **L**aser **D**etection **A**nd **R**anging
- Mittlere Reichweite (Bis etwa 25 m)
- Gemessen wird die Dauer bis das Licht am Detektor ankommt oder die Intensität
- Gut bei relativ langsamen Geschwindigkeiten
- Wird beeinflusst durch schlechtes Wetter
- Runde Oberflächen, schwarz, blau und violett sind schlechte Reflektoren



Kameras

- Reichweite etwas höher als beim LADAR
- „Dichtere“ Daten
- Günstig
- Mehrere Kameras für räumliches Sehen
- Datenflut
 - Analyse der Daten erfordert in der Regel viel Zeit bzw. Rechenleistung
- Abhängig von Wetter und Lichtverhältnissen

Grand Challenge 2005 (1)

- Preisgeld jetzt 2 Mio. US-Dollar
- 132 Meilen (211 km) unter 10 Stunden
- 195 Teams haben sich angemeldet
- 23 Teams wurden zum Rennen zugelassen

Grand Challenge 2005 (2)

- Ergebnis:

Platz	Team	Zeit (Std:Min)
1	Stanford Racing Team	6:54
2	Red Team	7:05
3	Red Team Too	7:14
4	The Gray Team	7:30
5	Team Terra Max	12:51

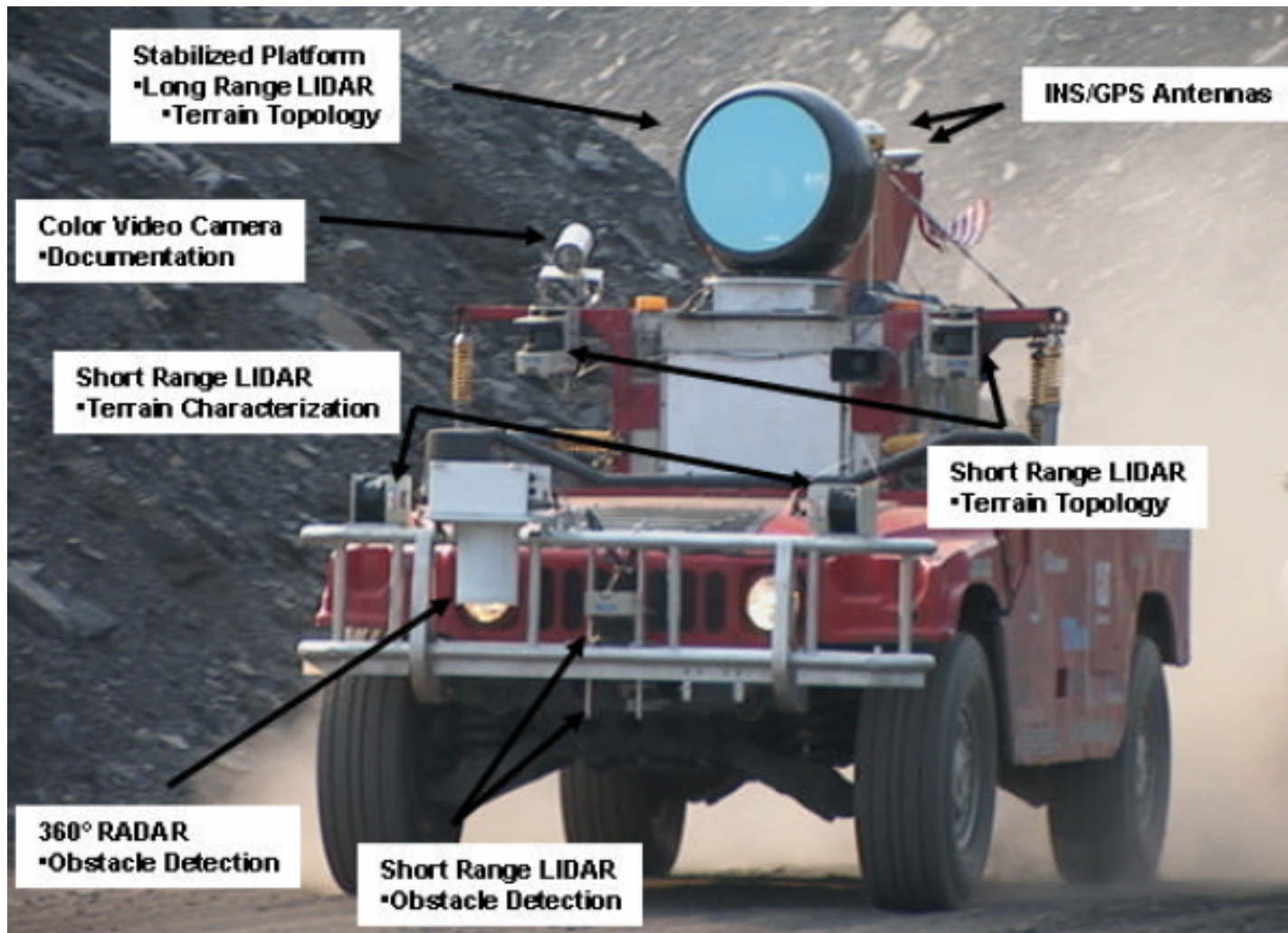


- Alle anderen Teams legten im Durchschnitt 25 Meilen zurück

Red Team (1)

- 12 Mio. US-Dollar Budget
- Etwa 80 Softwaremodule wurden geschrieben
- 1,5 Millionen Zeilen Code in C/C++
- Betriebssystem: Linux
- 7 Pentium M Computer, 4 Pentium III PC/104 stacks
- Gigabit Netzwerk Verbindung
- Sensoren liefern 5 MB/s Rohdaten (~ 18 GB/h)

Red Team (2)



Red Team (3)

- Verwendung topografischer Daten:
 - Mögliche Strecken (3200 km) wurden abgefahren und Sensordaten aufgezeichnet
 - Die Sensordaten sind in das Navigationssystem eingeflossen
 - Ein Off-Board System analysiert die RDDF und erstellt ein Path Definiton File

Red Team (4)

- Path Finding / Obstacle Detection
 - Die Welt besteht aus einer „Terrain Cost Map“ und einer „Obstacle Map“
 - „Terrain Cost Map“:
 - Vergleichen der relativen Höhe eines Bereichs in Bezug zu den Nachbarbereichen
 - Zuweisen von Kosten zwischen 0 und 255
 - „Obstacle Map“:
 - Enthält alle erkannten Hindernisse
 - Fusion von beiden Karten ergibt Welt Modell

Stanford Racing Team (1)

- Gut 500 000 Dollar Budget
- 31 Software Module
- Knapp 100 000 Zeilen Code in C/C++
- Betriebssystem: Linux
- 6 Pentium M Computer
- Gigabit Netzwerk
- 250 MB Sensordaten pro Stunde ohne Kamera
- Mit Kamera weitere 12 GB/h

Stanford Racing Team (2)

- Sensoren:
 - 5 LIDAR Sensoren für den Nahbereich (25 m)
 - 1 Farbkamera (kein räumliches Sehen!)
 - 2 RADAR Antennen (bis 200 m)
 - GPS System

Stanford Racing Team (3)

- Die Werte der Sensoren werden zu einer „Drivability Map“ zusammengesetzt
- Bei der Navigation werden nur die in Echtzeit gesammelten Daten verwendet
- Durch Testfahrten lernte das System von menschlichen Fahrern
- Fehlerrate bei Interpretation von Sensordaten 12% auf 0,02 % gesenkt

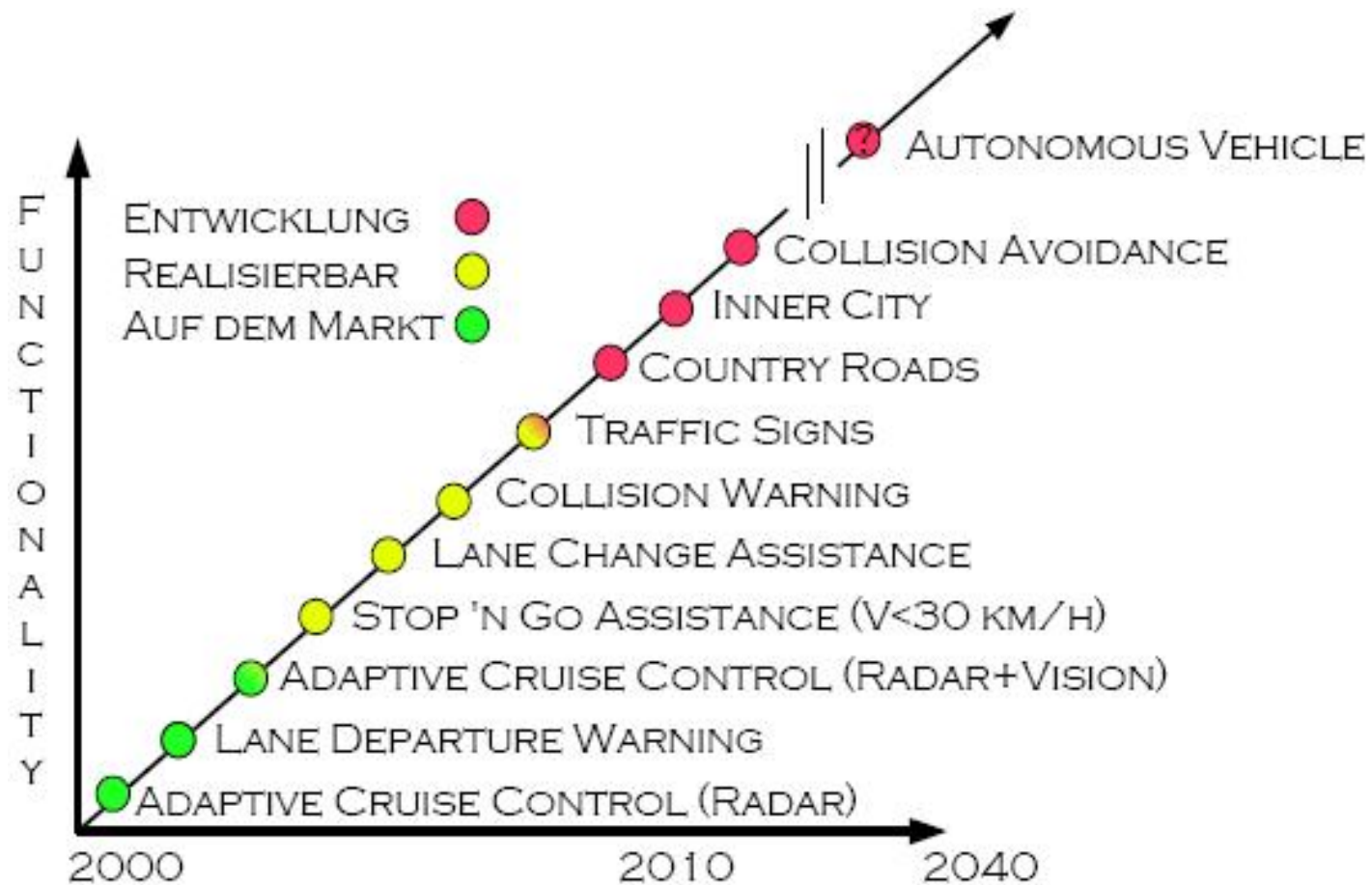
Autonome Off-Road Fahrzeuge

- Fazit:
 - Mit großem technischem Aufwand und unter optimalen äußeren Bedingungen realisierbar
 - Gute Fortschritte sind sichtbar

Kapitel 3: Ausblick

- UAVs und AGVs auch im zivilen Einsatz
- Passagiertransport, Warentransport
- Optimierung von Verkehrswegen und Stauvermeidung durch interagierende Agenten
- Optimale Nutzung von Ressourcen
- Optimierung von Reisedauer durch optimale Wegrouten
- Wegfallen von Verkehrsteuerungen wie Ampeln, Schilder etc.
- Unfallrisiko wird herabgesenkt durch Agenteninteraktion

Kapitel 3: Ausblick



Kapitel 3: Ausblick

- Nachteile:
 - Asymetrische Kriegsförderung (Guerillia)
 - Horrorszenario: „Verlust der Kontrolle“
 - (Noch) kein Vertrauen in der Öffentlichkeit

„Wo bloß Roboter, nicht aber Menschen aufs Spiel gesetzt werden, sinkt die Schwelle für bewaffnete Konflikte. Die "Automatisierung des Schlachtfelds", noch so ein Begriff aus dem Pentagon, erhöht die Kriegsgefahr.“ DIE ZEIT

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!