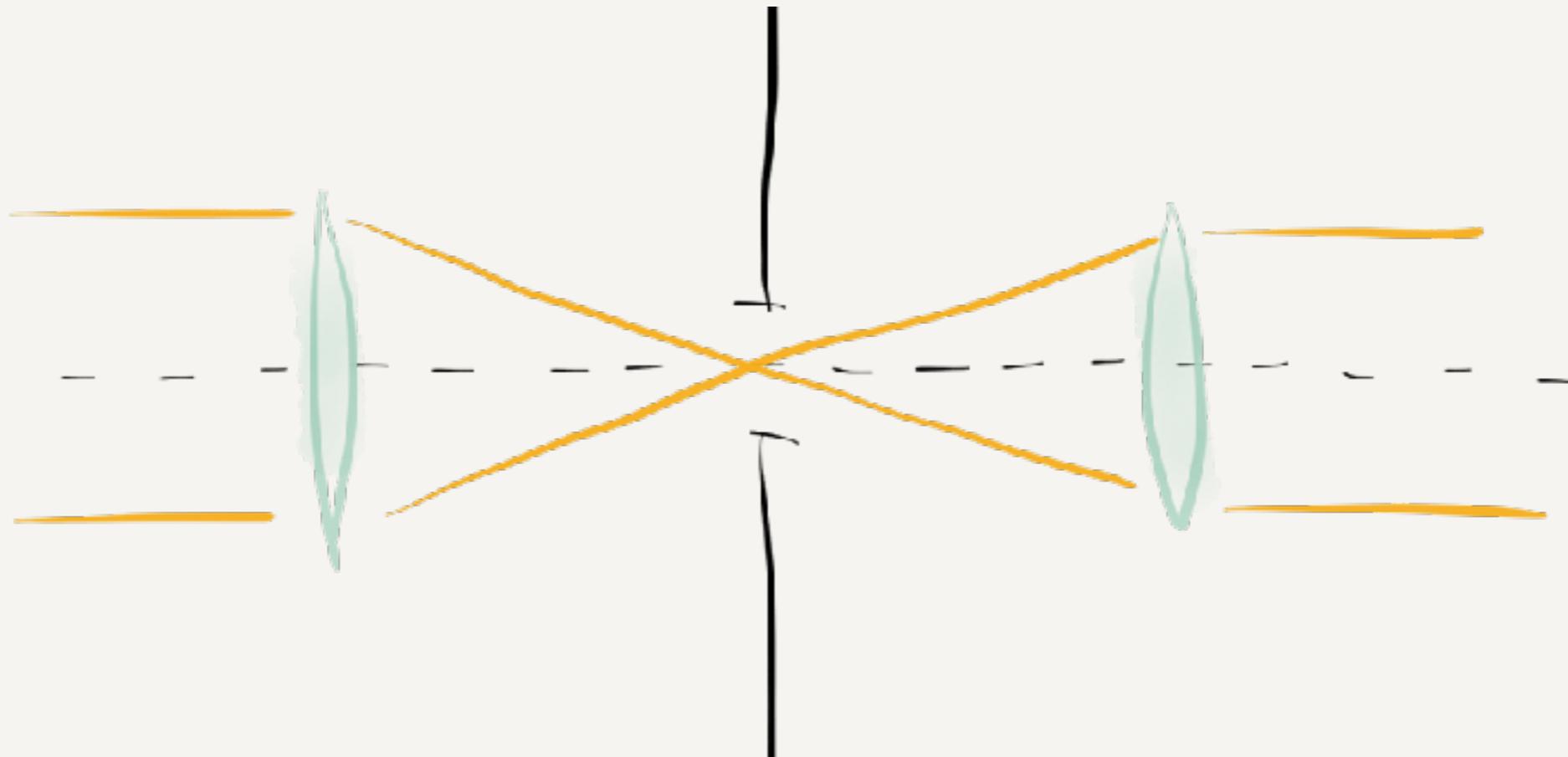


Fortgeschrittene Photonik

Technische Nutzung von Licht



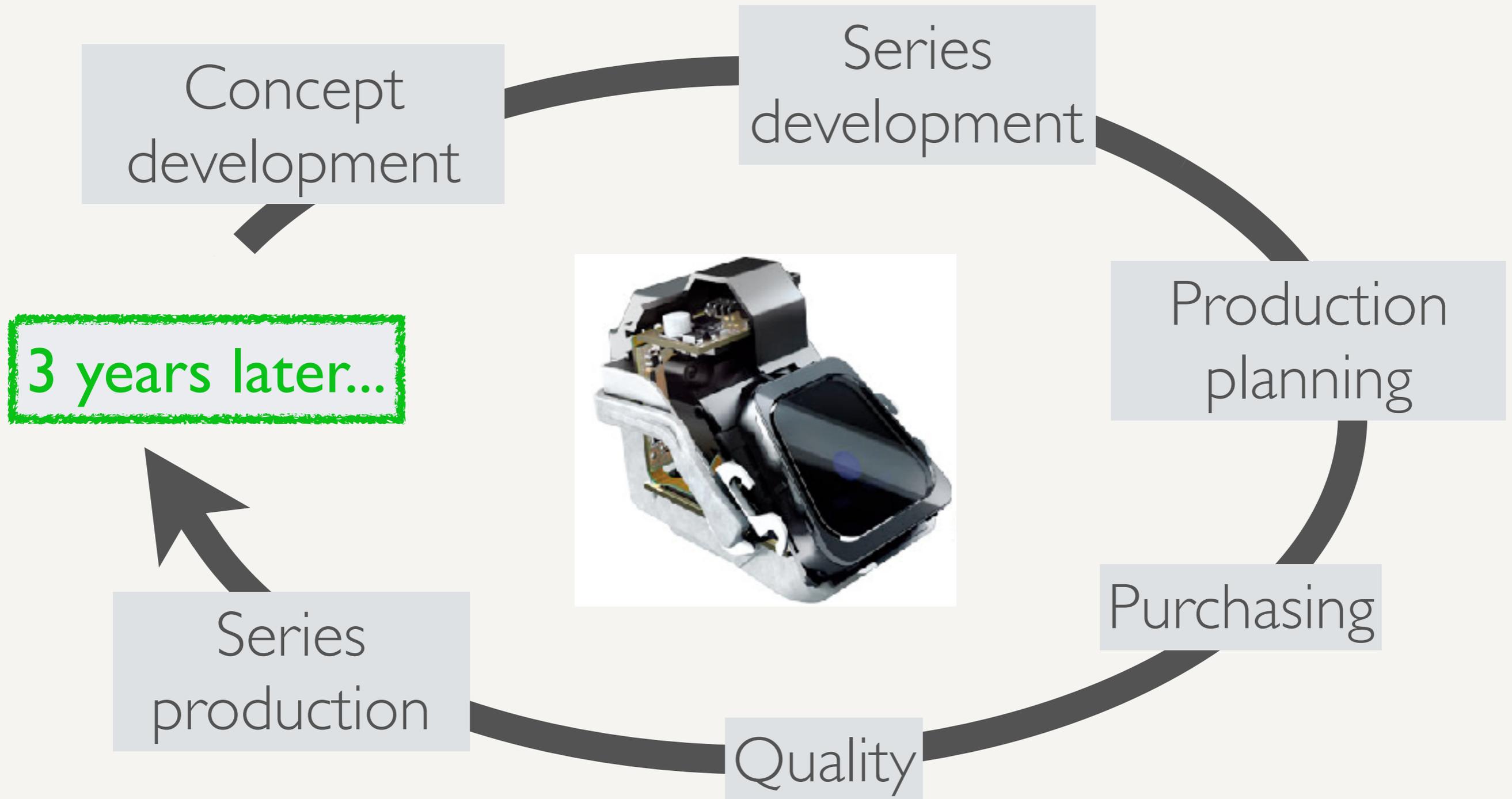
Fahrerassistenzkamera

Überblick Fahrerassistenz-Kamera

- Überblick über Entwicklung eines Produktes in der Automobil-Industrie
- Optik-Eigenschaften von Fahrerassistenz-Kameras
- Typen von Fahrerassistenz-Kameras und Funktionen

Entwicklung in der Automobil- Industrie

Developing an automotive camera



Automobil-Entwicklung

Schwerpunkt:
Fahrerassistenzkameras

- Lastenheft und Spezifikationen
- Klimaprüfungen
- Qualitätsprozesse
- Testfahrten



<http://www.kostal.com/german/2-01-01-08.html>

Lastenheft und Spezifikation

- **Lastenheft** beschreibt die Anforderungen des Kunden:
 - ▶ Funktionalität
 - ▶ Vorgehensweise (Prozesse)
 - ▶ Randbedingungen
- Muss vom Lieferanten (Tier I) eingehalten werden
- **Pflichtenheft / Technische Spezifikation** beschreibt die Fähigkeiten des Produkts vom Zulieferer
 - ▶ Arbeitsbereich
 - ▶ Schnittstellenbeschreibung (mechanisch, elektrisch, optisch)
- Muss vom Kunden (OEM) eingehalten werden.

Geschäftsgrundlage und Bestandteil der vertraglichen Vereinbarungen

Klima-Prüfungen

- Lebensdauersimulation durch künstliche Alterung (Stress):
 - ▶ Thermisch
 - ▶ Elektrisch
 - ▶ Mechanisch
- Damit soll sicher gestellt werden, dass das Produkt überall auf der Welt für die gesamte Lebensdauer funktioniert.
- Temperaturwechsel
- Temperaturschock
- Feuchtigkeit
- Kombinierte Temperatur-Feuchte-Zyklen
- Unter- und Überspannung
- EMV und ESD
- Vibrationen
- Auf Boden werfen
- Mit Cola überschütten
- Mit Staub vollblasen

Zeitaufwand Klimaprüfungen

- Temperaturwechsel werden gerne mit vielen Wiederholungen (Zyklen) durchgeführt.
- Nehmen Sie an:
 - ▶ 300 Voll-Zyklen
 - ▶ Halbe Stunde Haltezeit je bei T_{\min} und T_{\max} .
 - ▶ 20min Rampe
- Wie lange läuft der gesamte Versuch?

Qualität: ISO/TS 16949

- Norm zur Qualitätssicherung von Produkten in der Automobilbranche
 - Definiert, wie der Zulieferer sein Produkt entwickeln, produzieren und prüfen muss.
 - Riese Anzahl an Prozessen, die eingehalten werden müssen.
 - Dient auch zur Zertifizierung von Unternehmen.
 - Sehr hoher Aufwand um für Millionen von Stückzahlen über Jahre hinweg konstante Qualität zu erhalten.
- Beispiele:
- Fehleranalyse (8d-Report)
 - Prüfmaß (serienbegleitende Prüfung relevanter Größen)
 - Kontrollplan und Produktions- / Warenfluss

Testfahrten

- Spezifisch für Fahrerassistenz-Kameras, weil die Interaktion mit der ganzen Welt geprüft werden muss.
 - Muss in allen Ländern der Welt getestet werden, in denen der Kunde (OEM) das Fahrzeug verkauft.
 - Extrem zeit- und kostenintensiv
- Tags und nachts
 - Dämmerung morgens und abends
 - Direktes Sonnenlicht und Bewölkung
 - Hohe und niedrige Geschwindigkeit
 - Viel und wenig Verkehr
 - Andere Verkehrsteilnehmer: Pkw, Lkw, Motorräder, Fahrradfahrer und Fußgänger
 - Stadt, Landstraße, Autobahn
 - Baustellen
 - Regen, Hagel, Graupel, Schnee, Nebel
 - Kurvig oder grade
 - Bergig, hügelig oder flach
 - Schmale und breite Straße
 - Einspurig und vierspurig
 - ...

Optische Eigenschaften

Abbildung Grundbegriffe

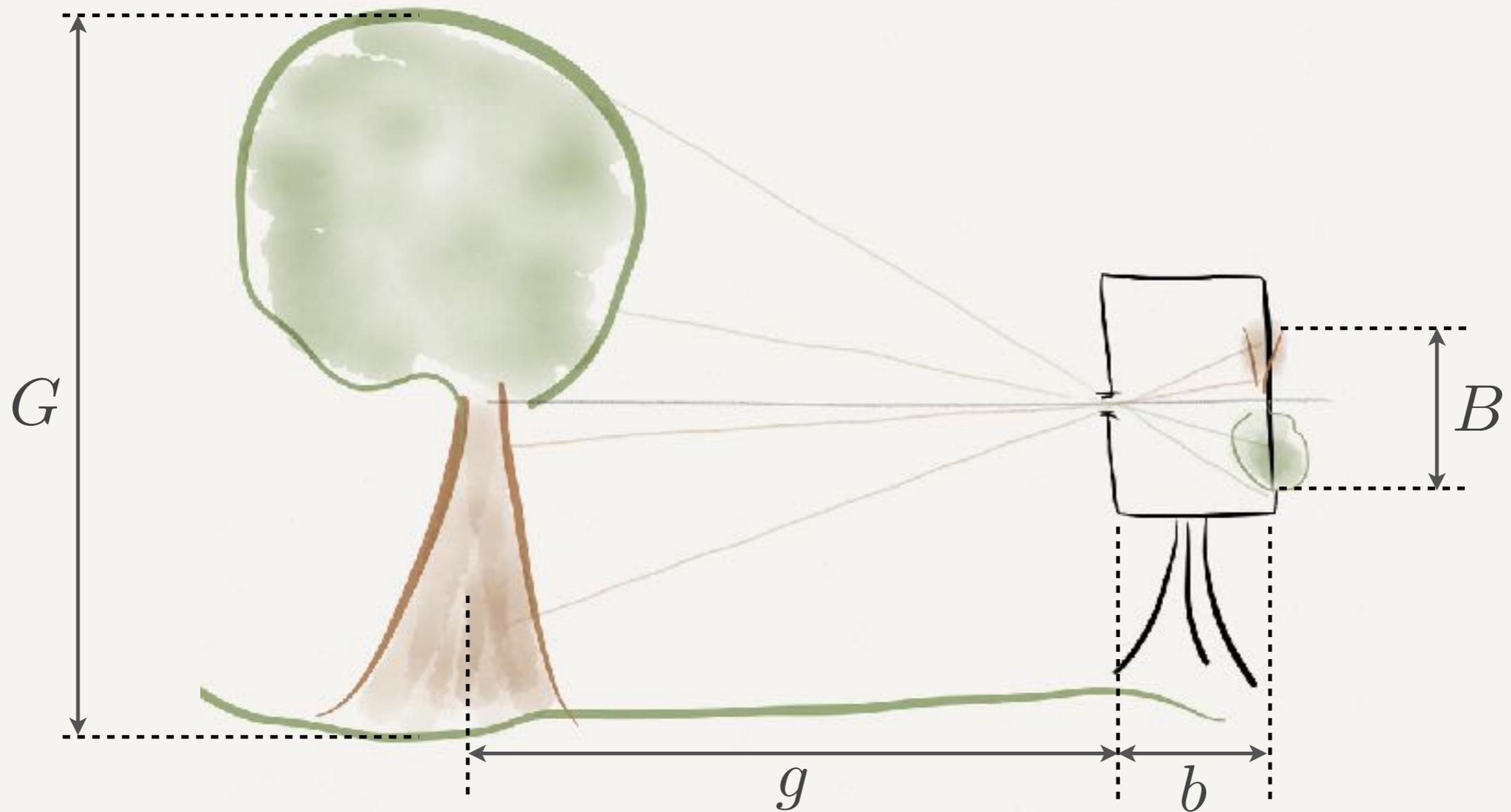
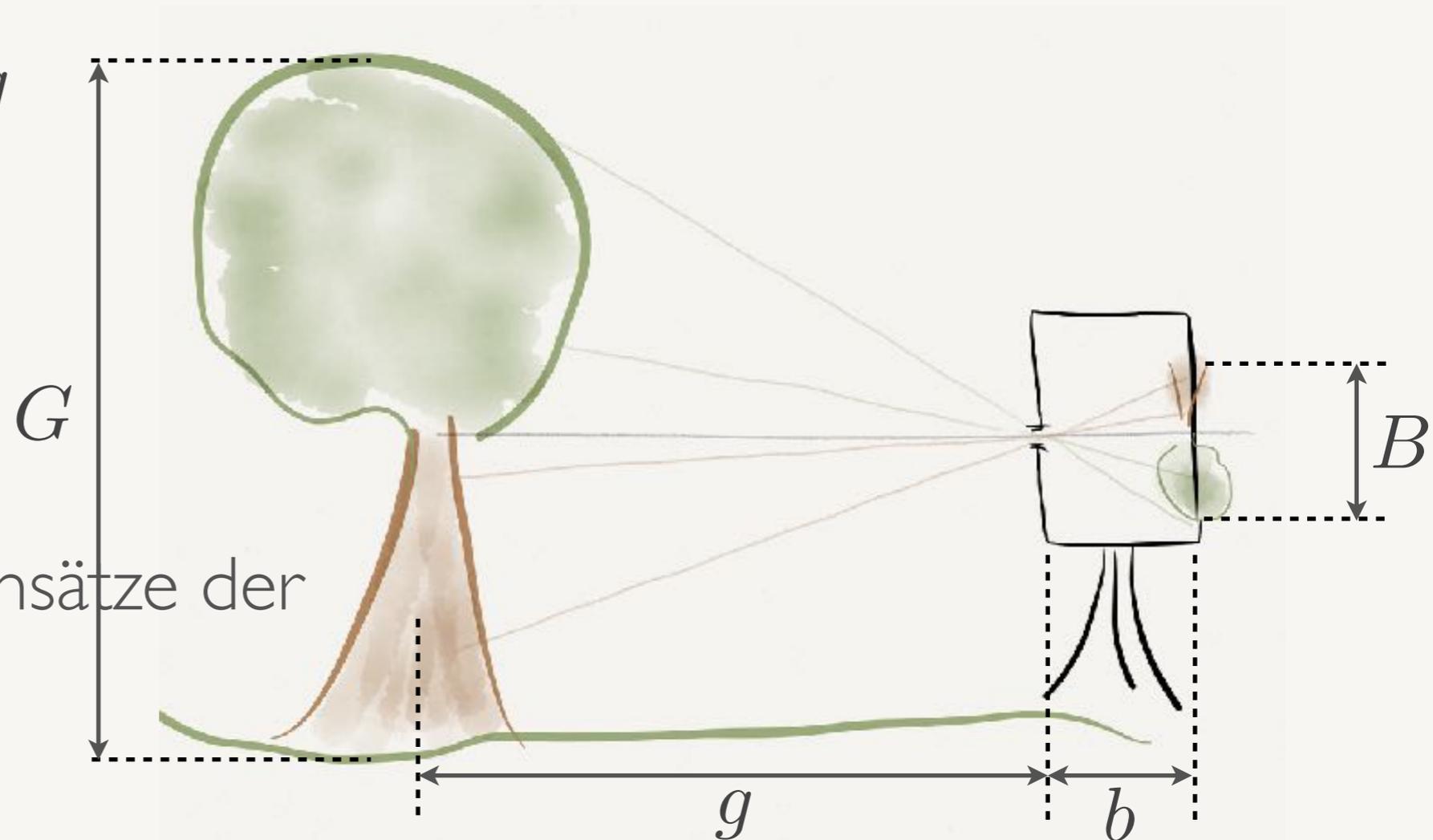


Abbildung Grundbegriffe

- Gegenstandsgröße G
- Gegenstandsweite g
- Bildgröße B
- Bildweite b
- Es gelten die Strahlensätze der Geometrie
- Abbildungsmaßstab:

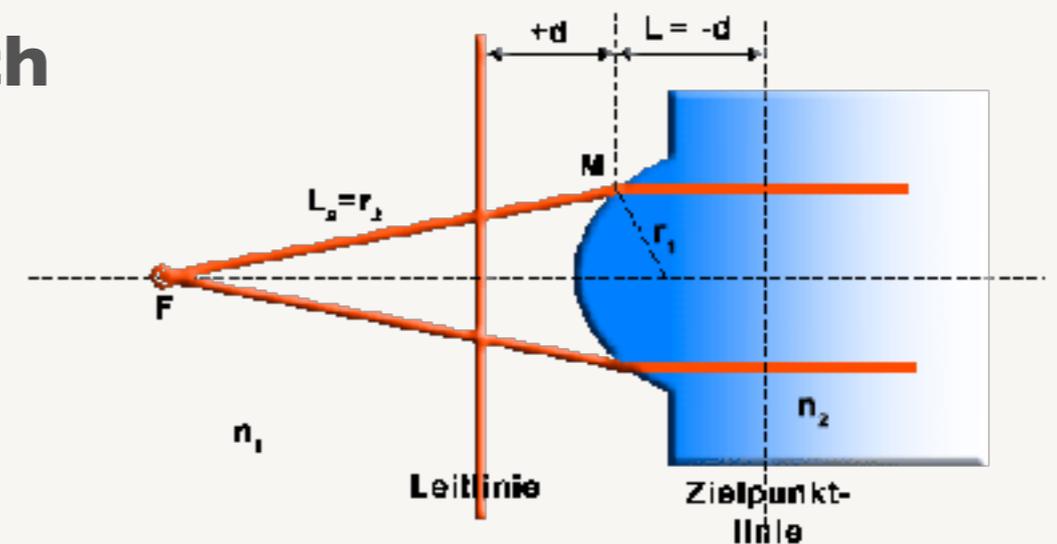
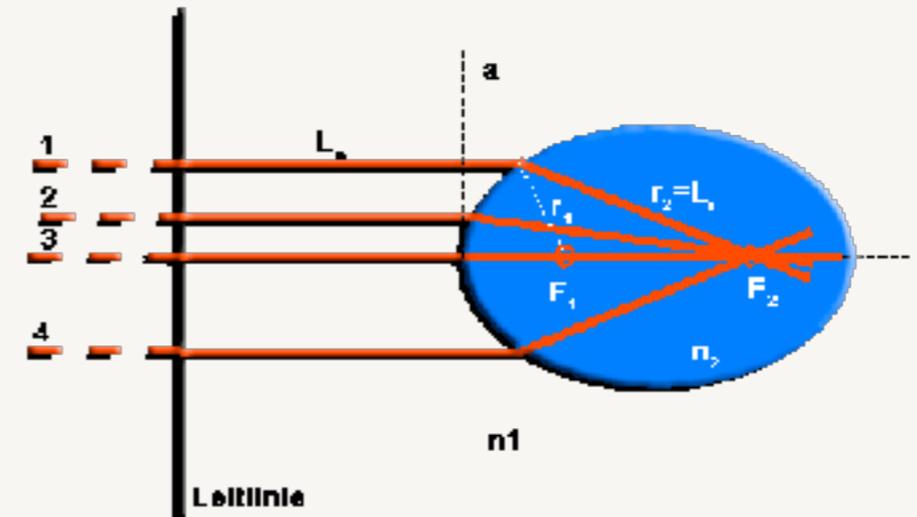
$$A = \frac{B}{G} = \frac{b}{g}$$



Linseform

Asphärisch und sphärisch

- Nach Fermat'schen Prinzip:
 1. Parallele Strahlen, Linse: Ellipse
 2. Divergente Strahlen, Linse: Hyperbel
 3. Parallele Strahlen, Spiegel: Parabel
- Diese Flächenformen werden unter **asphärisch** zusammengefasst
- Es gibt keine Form, die gleichzeitig für alle Situationen perfekt funktioniert!
- In der Praxis werden (fast) immer Kugelflächen genommen, also **sphärische** Formen
- Sphärische Formen führen zu Abbildungsfehler

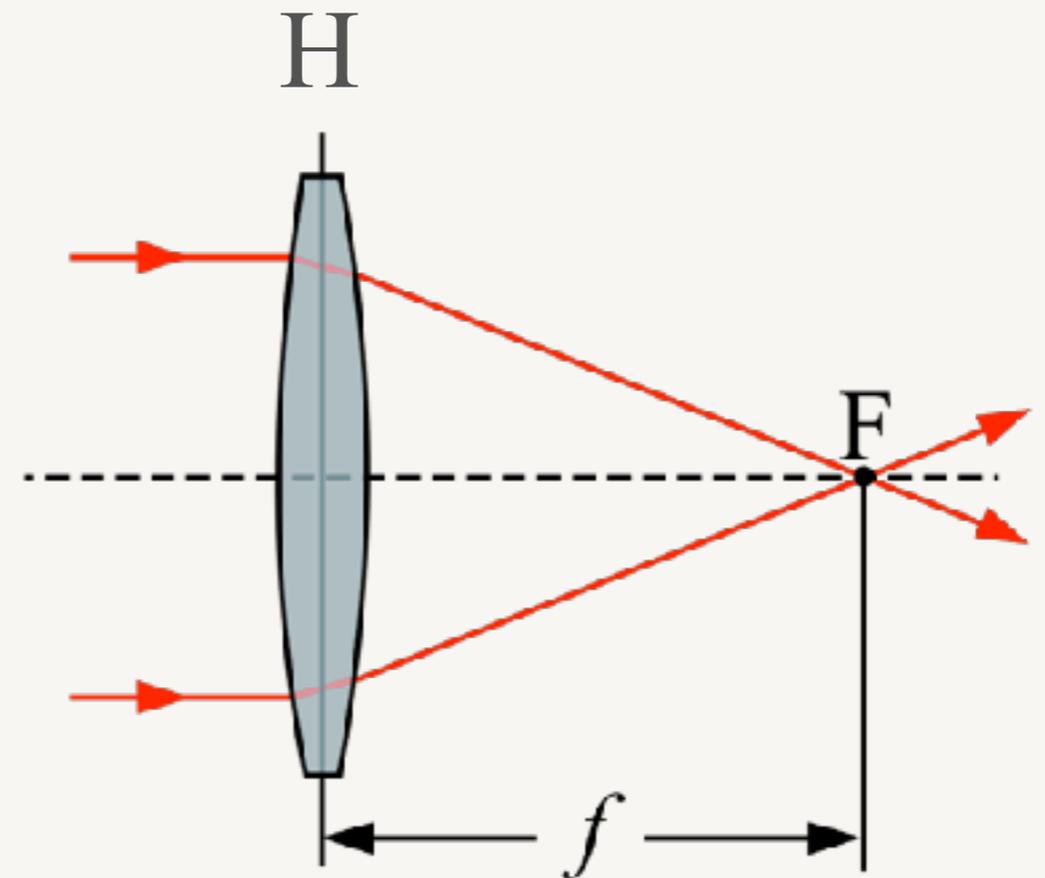


Bilder mit freundlicher Genehmigung von
R. Rodloff, geometrische-optik.de:
Linseform

Dünne Linse

Brennweite

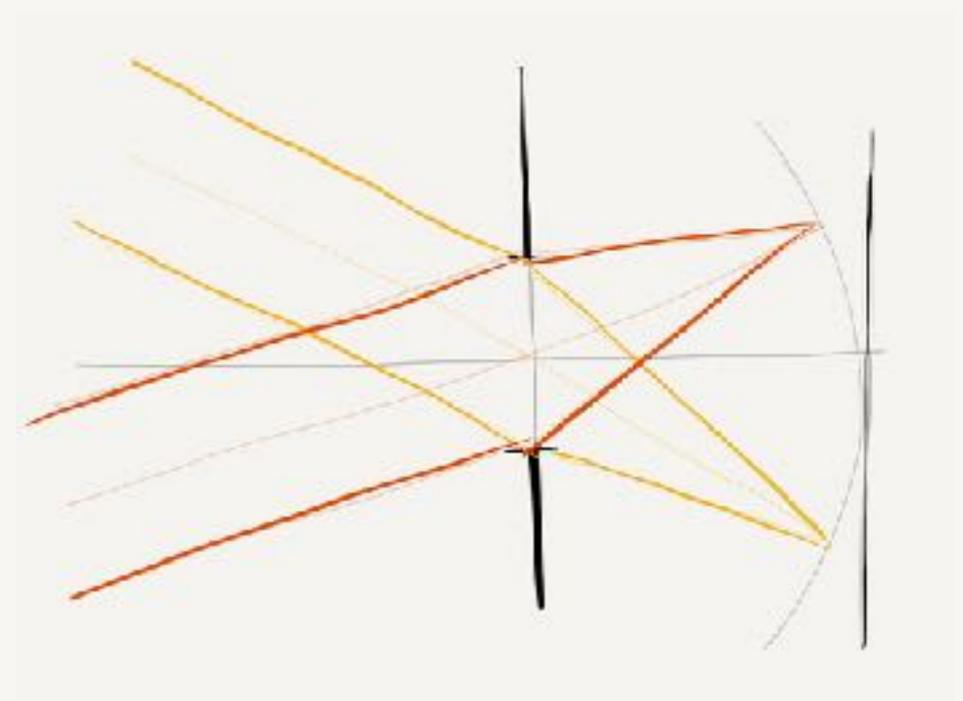
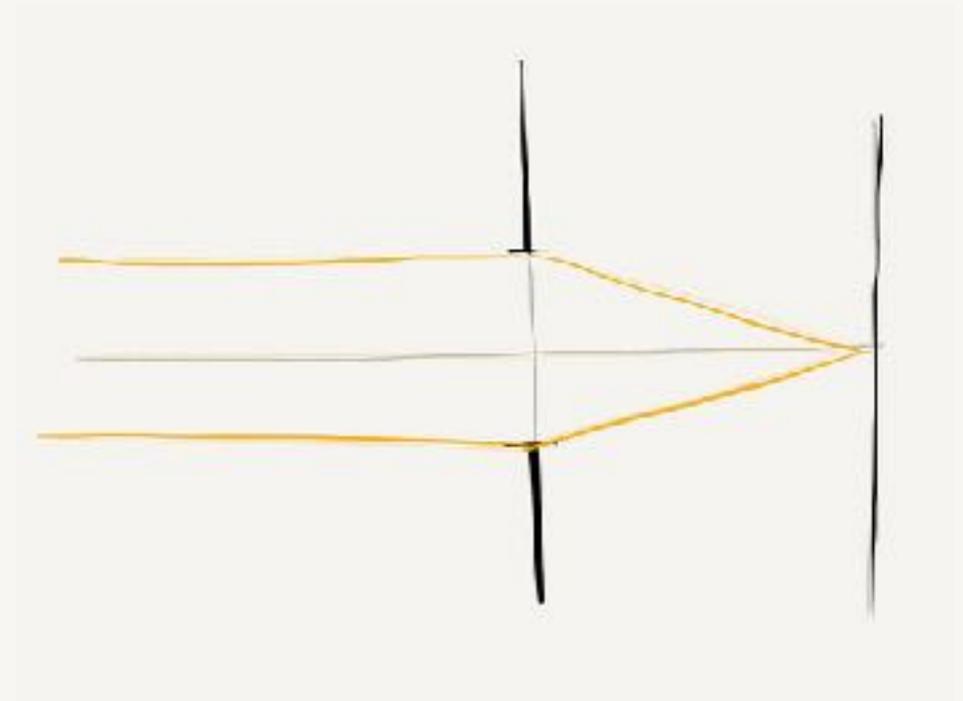
- Die Brechung an zwei Flächen wird auf eine einzige Brechung an der **Hauptebene** (engl. *principal plane*) reduziert.
- Es gibt immer zwei Hauptebenen, dazu später mehr
- Lichtstrahlen parallel zur optischen Achse werden auf einen **Brennpunkt F** Punkt abgebildet (engl. *focal point*)
- Der Abstand zwischen der Hauptebene und dem Brennpunkt nennt man **Brennweite** (engl. *focal length*).



Dünne Linse

Parallele Strahlen und Bildfeldwölbung

- Parallel Strahlen werden immer auf einen Punkt abgebildet.
- Unterschiedliche Einfallswinkel werden an unterschiedlichen Orten abgebildet.
- Im Allgemeinen liegen alle Abbildungspunkte auf einer gekrümmten Fläche.
- Diese Fläche bzw. die Abweichung der Fläche von einer Ebene nennt man **Bildfeldwölbung** (engl *field curvature*).



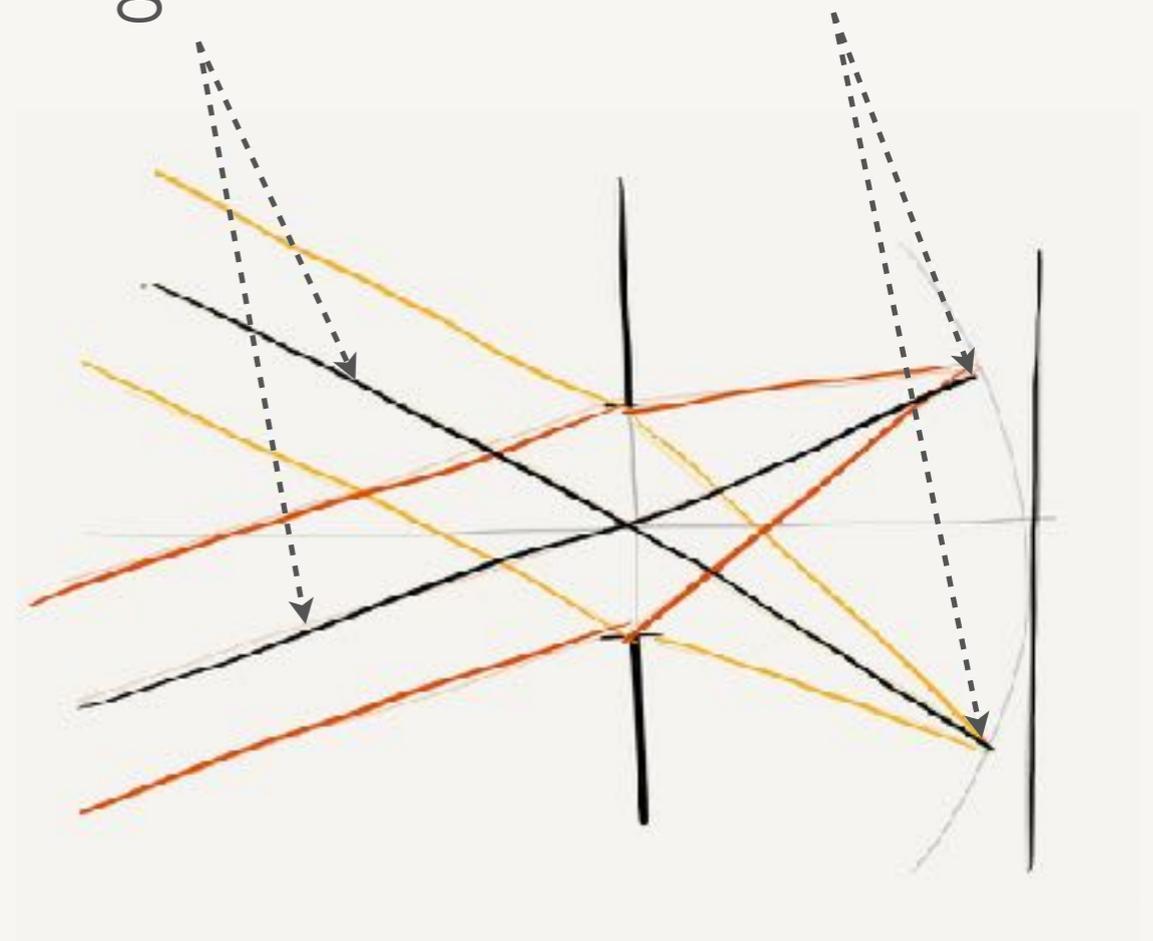
Dünne Linse

Parallele Strahlen und Bildfeldwölbung

- Parallel Strahlen werden immer auf einen Punkt abgebildet.
- Die Richtung der Abbildung ist wie bei der Camera Obscura, d.h. der Strahl durch die Mitte der Apertur gibt die Richtung vor.
- Der Schnittpunkt mit den Randstrahlen bestimmt den Ort auf der Bildfeldwölbung.

Richtung / Winkel

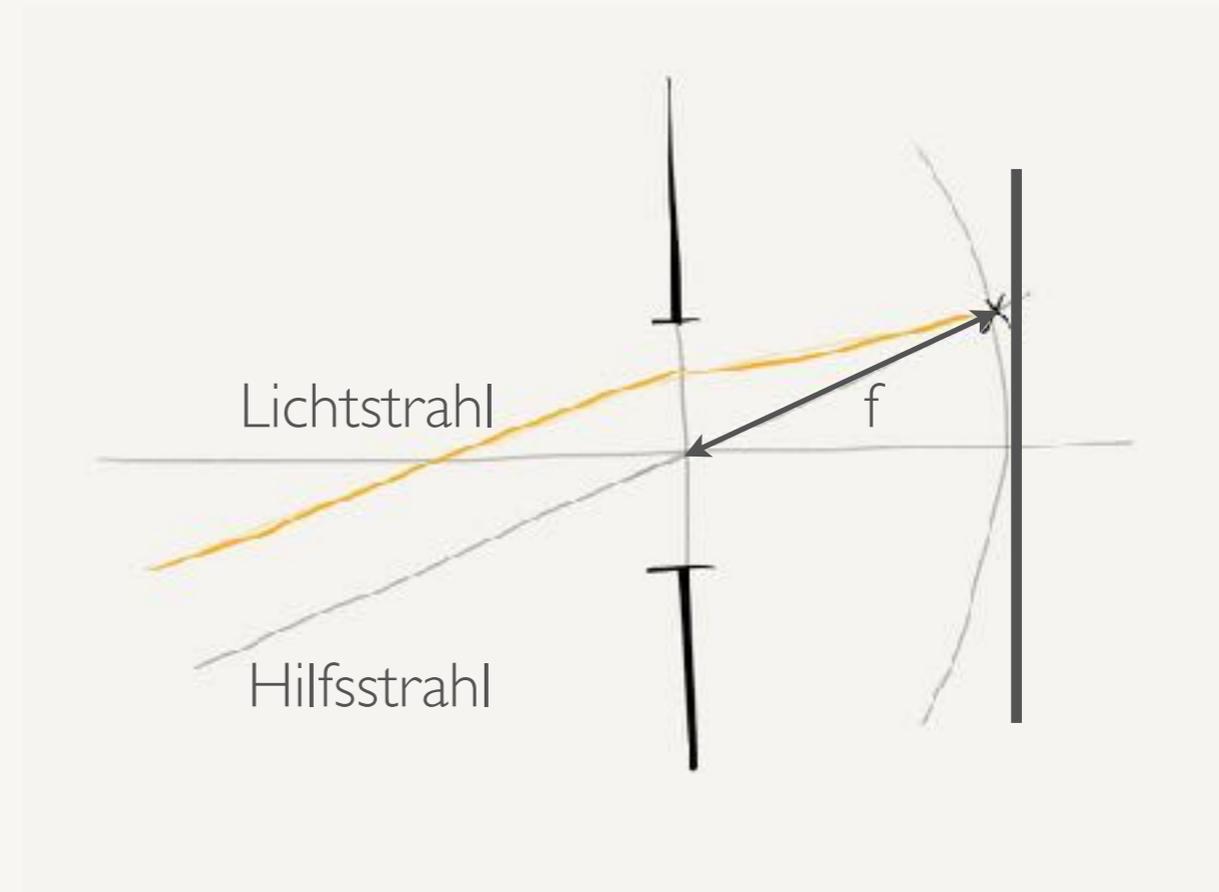
Ort



Dünne Linse

Abbildung eines beliebigen Strahls

- Ein Strahl kommt irgendwo in der Apertur unter irgendeinem Winkel an.
- Als Hilfsstrahl wird der dazu parallele Strahl konstruiert, der durch die Mitte der Apertur geht.
- Im Abstand der Brennweite liegt der Bildpunkt auf dem Hilfsstrahl.
- Alternativ kann der Schnittpunkt mit einer Bild-Ebene gebildet werden, die den Abstand f zur Linse hat.



Linse

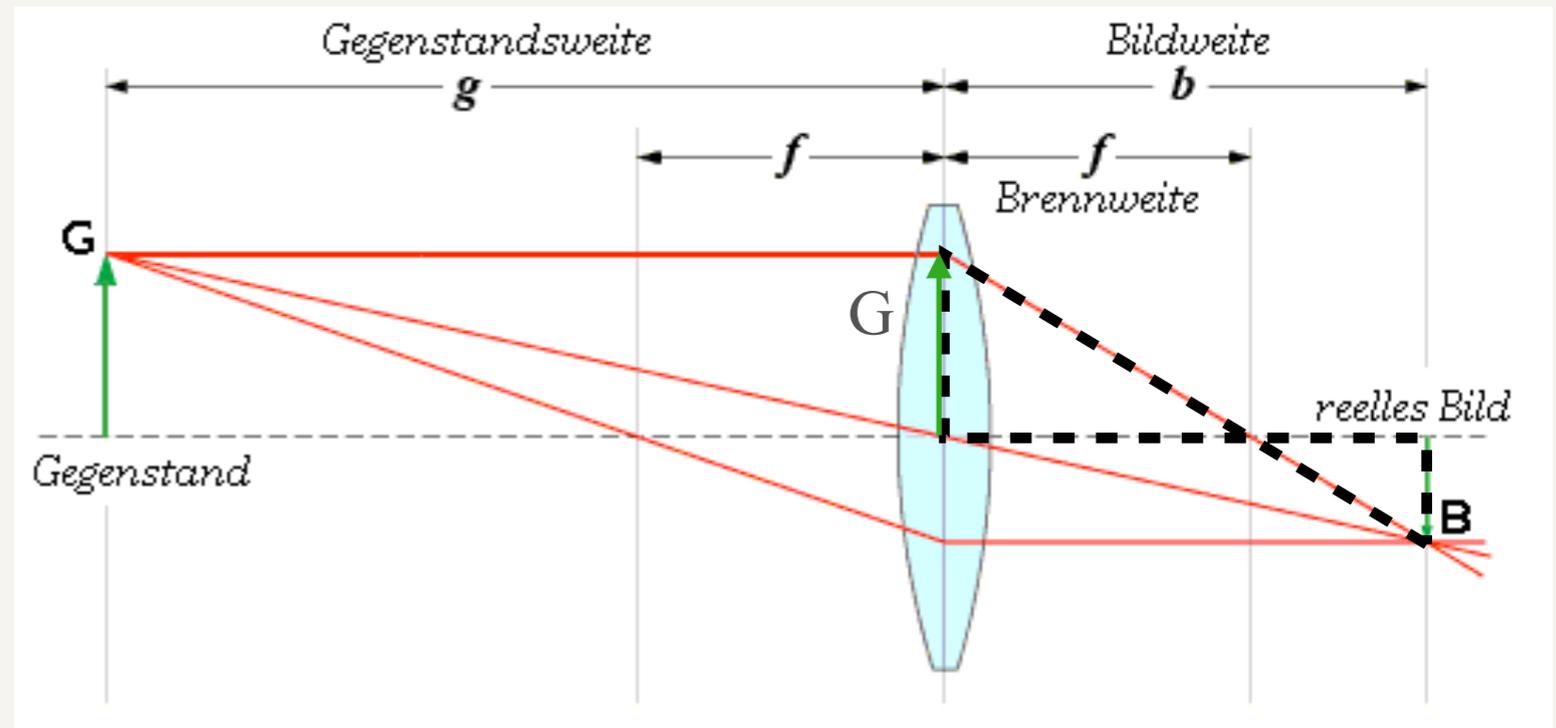
Abbildungsmaßstab:

$$A = \frac{B}{G} = \frac{b}{g}$$

Strahlensatz:

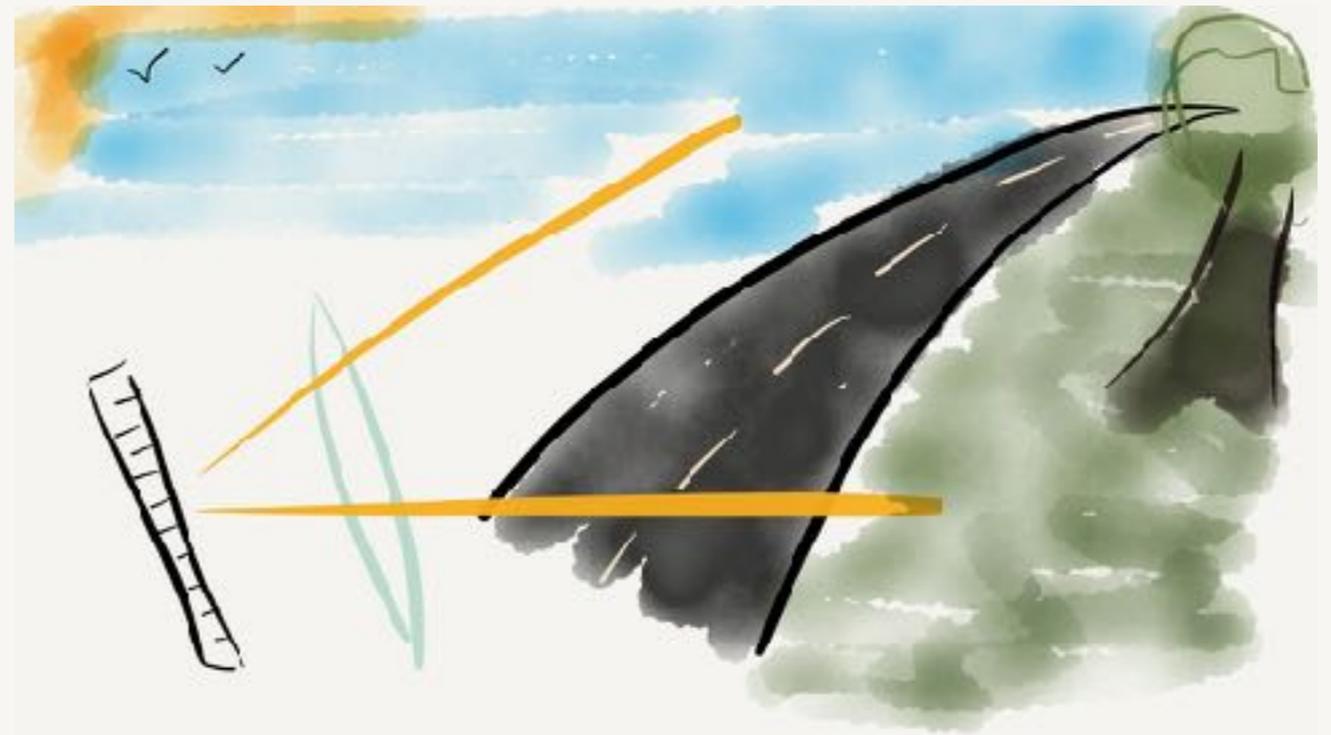
$$\frac{B}{G} = \frac{b - f}{f} = \frac{b}{g}$$

$$\Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{1}{g} + \frac{1}{b}$$



Fahrerassistenz-Kamera

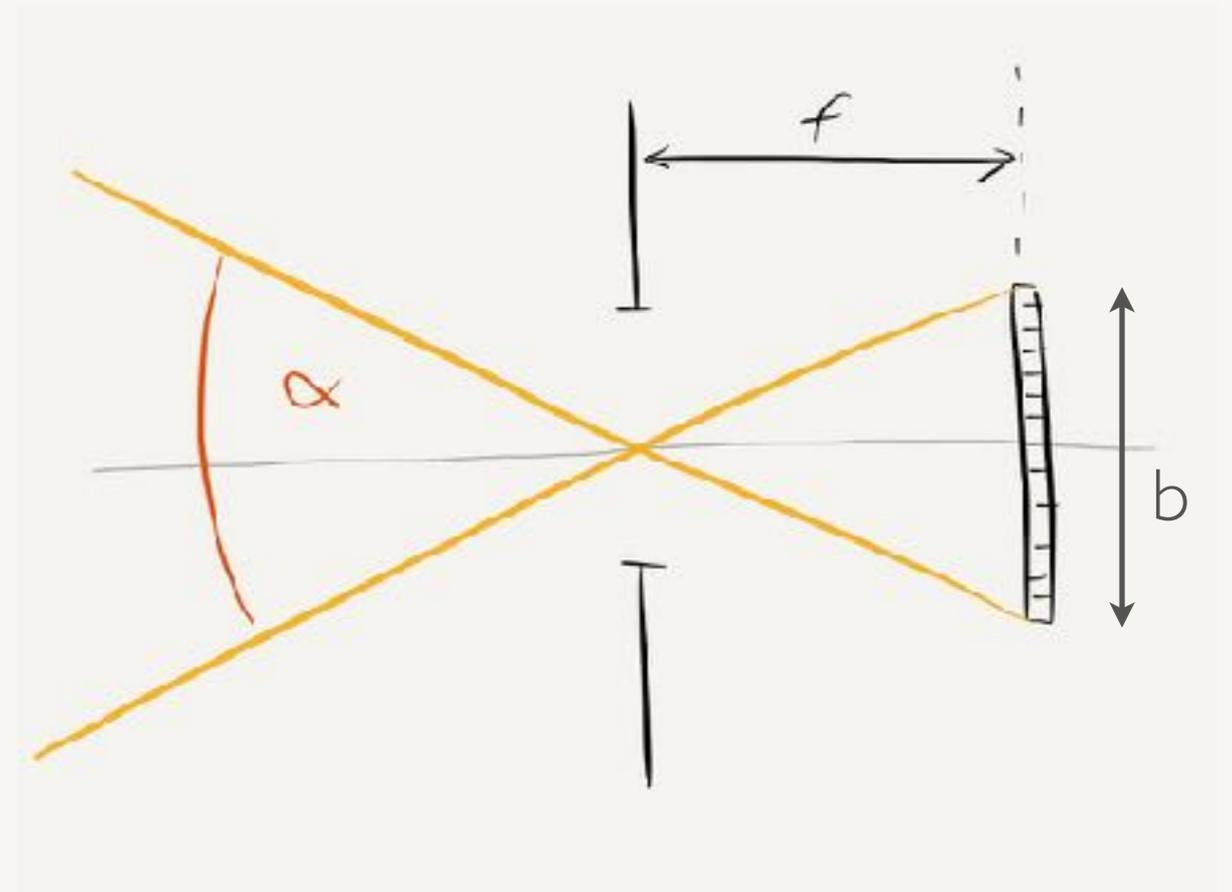
- Perspektivische Abbildung einer 3d-Welt auf einen 2d-Bildaufnehmer
- Kann keine Entfernungen messen
- Typische Sensorgröße: VGA (640 x 480 Pixel)
- Kleiner Bauraum erwünscht
- Hohe Dynamik (Tag / Nacht)
- Hohe Geschwindigkeit



Blickfeld

- Das Blickfeld ist die Winkelangabe, welcher Bereich der Außenwelt erfasst wird.
- Berechnen Sie das Blickfeld als Kombination von Sensorgröße b und Brennweite f :

$$\alpha = 2 \cdot \arctan \frac{b}{2f}$$



Aufgaben

- Welches Blickfeld hat Ihr Smartphone? Behelfen Sie sich mit den Unterlagen von letzter Woche und einer kurzen Internet-Recherche.
- Welches Blickfeld hat eine Fahrerassistenz-Kamera bei folgenden Daten:
 - ▶ Brennweite 6mm
 - ▶ 752px mal 640px
 - ▶ Pixelgröße 6 μ m.
- Schätzen Sie ab welches Blickfeld für eine gute Schilderererkennung benötigt wird.

Lochkamera

- Umgekehrt wird aus der Bildinformation auf Positionen (genauer: Richtungen) externer Objekte geschlossen.
- Hierzu wird ein Lochkamera-Modell angenommen.
- Ihr Kunde wünscht, dass auf 100m zwei Objekte mit einem Abstand von 10cm sauber aufgelöst werden können. Geht das mit der Kamera von eben?

Fluchtpunkt

<http://www.panoramio.com/photo/31530086?tag=Fluchtpunkt>

- Zwei parallele Strahlen (z.B. eine Straßenmarkierung) einer perspektivischen Abbildung treffen sich im **Fluchtpunkt** (engl. *focus of expansion*).
- Wichtiger Referenzpunkt für die Bildverarbeitung:
 - ▶ Gibt die Bewegungsrichtung an
 - ▶ Liegt auf dem Horizont.



<http://www.mactechnews.de/gallery/picture/Tote-Autobahn-73420.html>

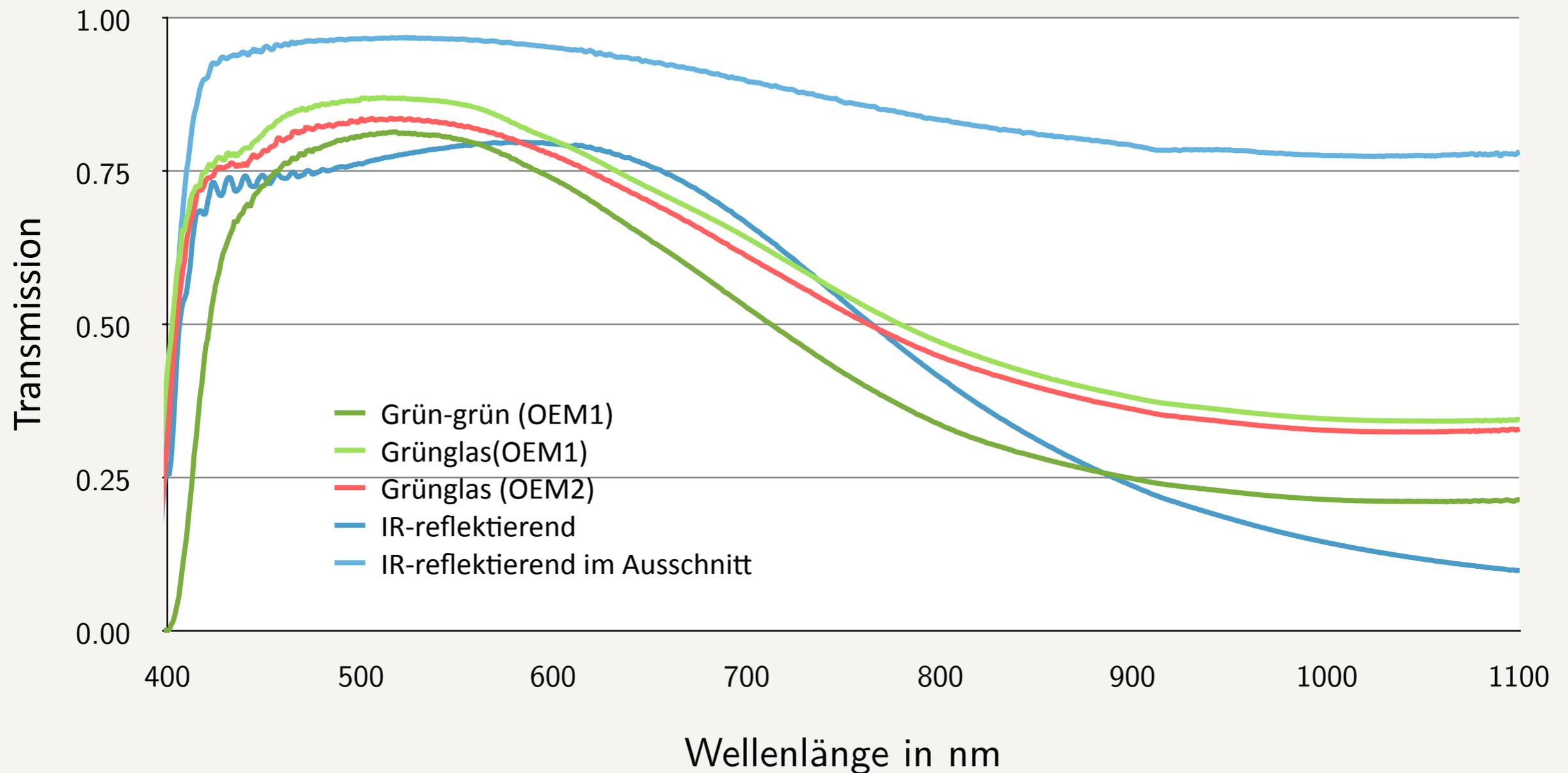
Transmission der Windschutzscheibe

- Verbundglas-Scheiben
- Kombinationen von Klarglas- und Grünglas-Scheibe
- Funktionsgebende Folie
 - ▶ IR-absorbierend
 - ▶ Akustisch dämmend
 - ▶ Head-up Display: mit Winkel
- Ausschnitte möglich für Kamera oder andere Sensorik
- Unterschiedliche Transmission führt zu anderem optischen Verhalten.



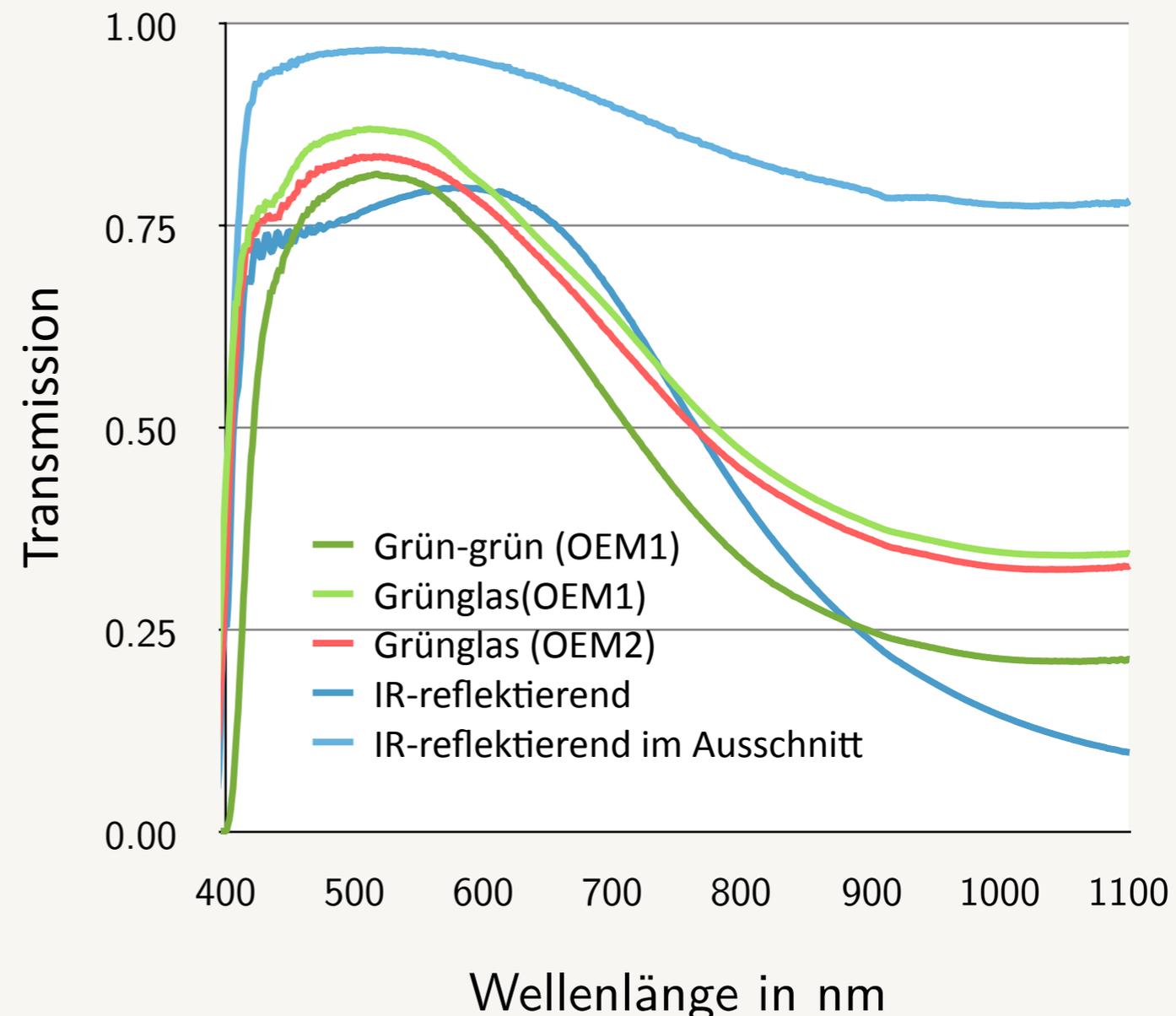
Beispiel: 5mm-Scheibe
4.96mm \pm 0.2mm

Transmissionsspektren



Transmissionsspektren

- Welchen Unterschied machen die Spektren bei der Signalverarbeitung?
- Die relativen Intensitäten der einzelnen Farben verschieben sich!
- Ein IR-Sperrfilter reduziert das empfangene Spektrum und nivelliert die Unterschiede.



Funktionen

Frontblickende Kamera

- Fernlichtassistent
- Fahrspurassistent
 - ▶ Warnung
 - ▶ Spur halten
- Objekterkennung
 - ▶ Schilder
 - ▶ Personen
 - ▶ Fahrzeuge
- Notbremsassistent

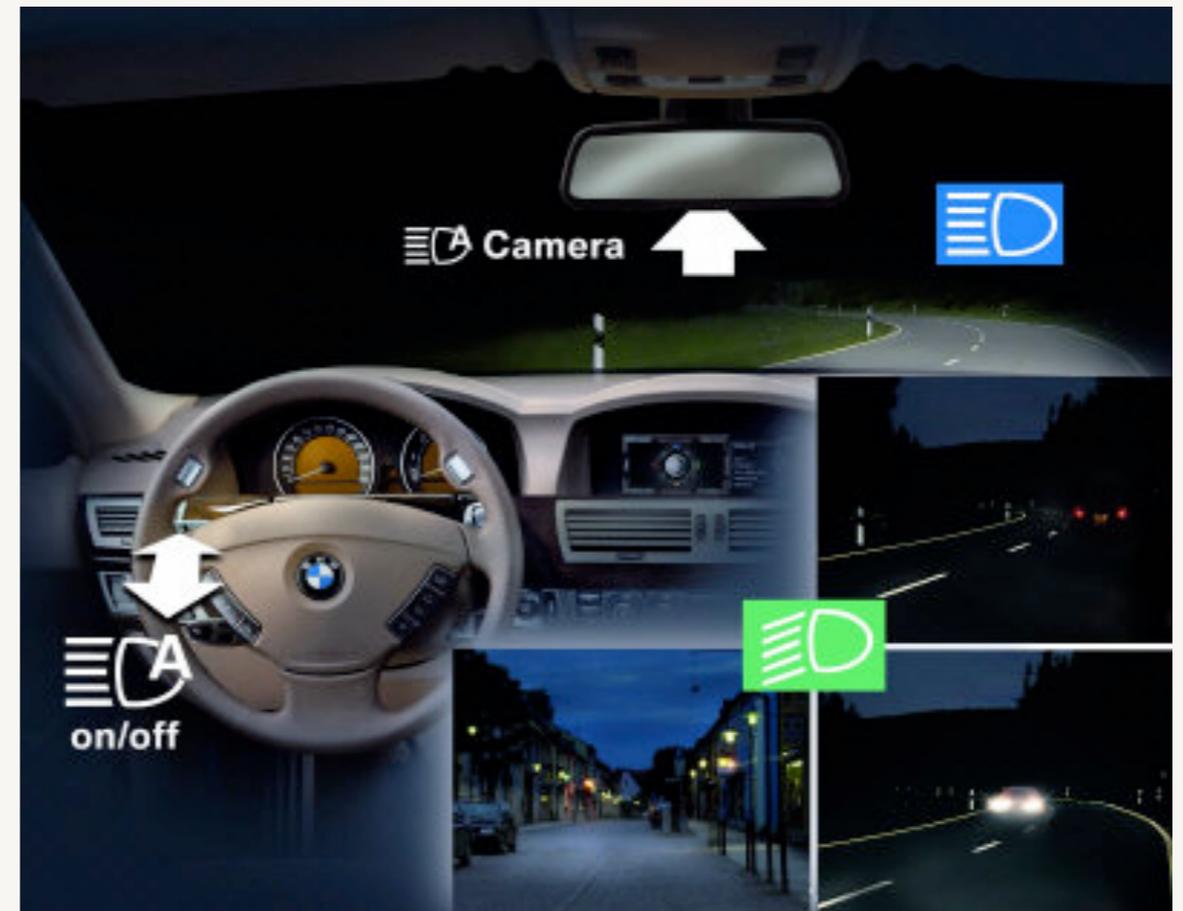


<http://www.kostal.com/german/2-01-01-08.html>

Fernlichtassistent

<http://www.mobileye.com/technology/applications/head-lamp-control/>

- Kamera erkennt Lichtquellen im Bild und kategorisiert diese:
 - ▶ Fahrzeug (Front / Heck)
 - ▶ Lichtquellen (Lampen, Ampeln, Häuser, etc.)
 - ▶ Eigenreflexionen (an Schildern)
- Je nach Situation kann das Fernlicht angeschaltet werden oder muss trotz Lichtquelle angeschaltet bleiben.

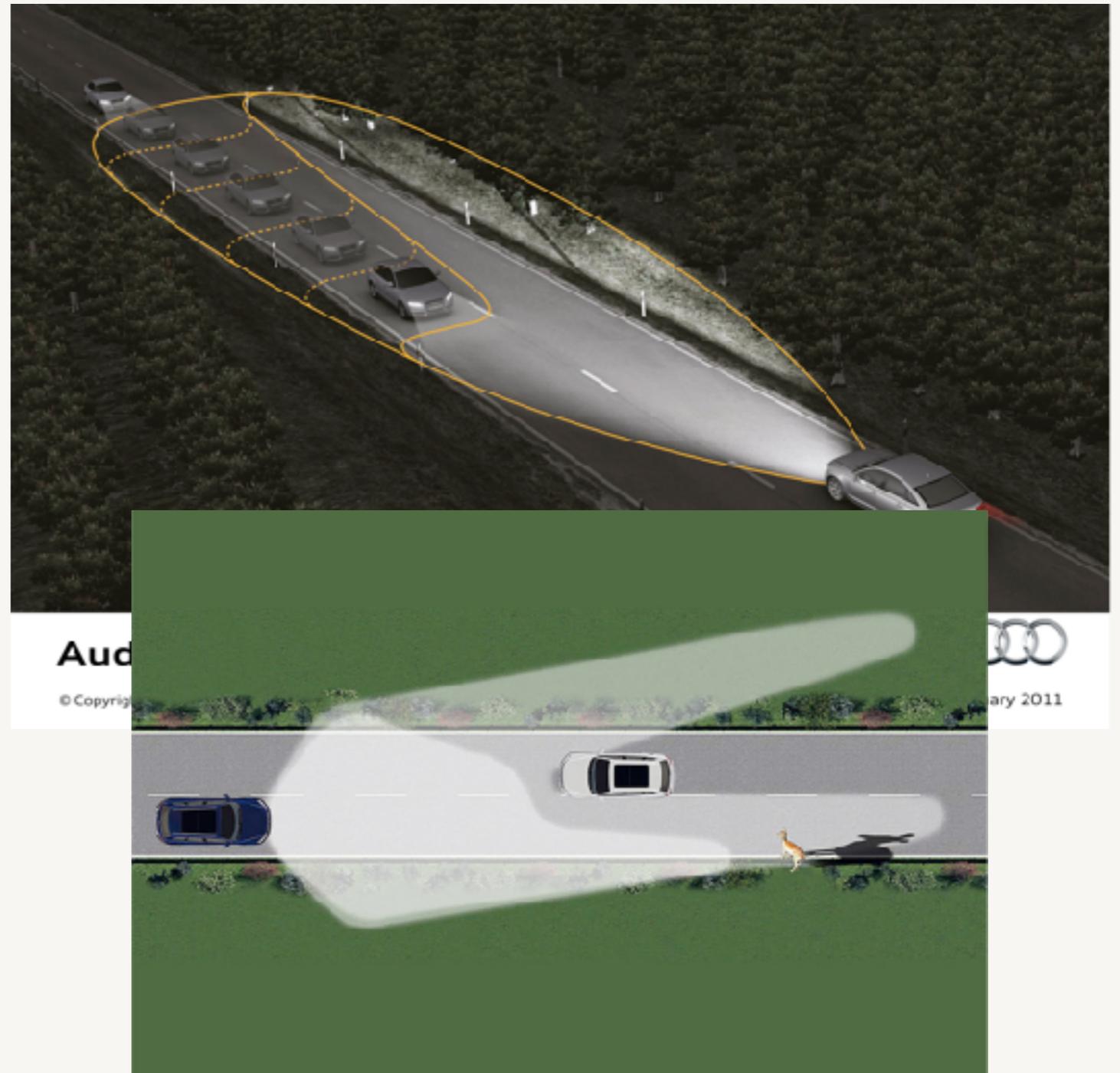


<http://www.autopressnews.com/2005/2005csm/m08eng/bmw2/highbeamassist.shtml>

Fernlichtassistent

Typen

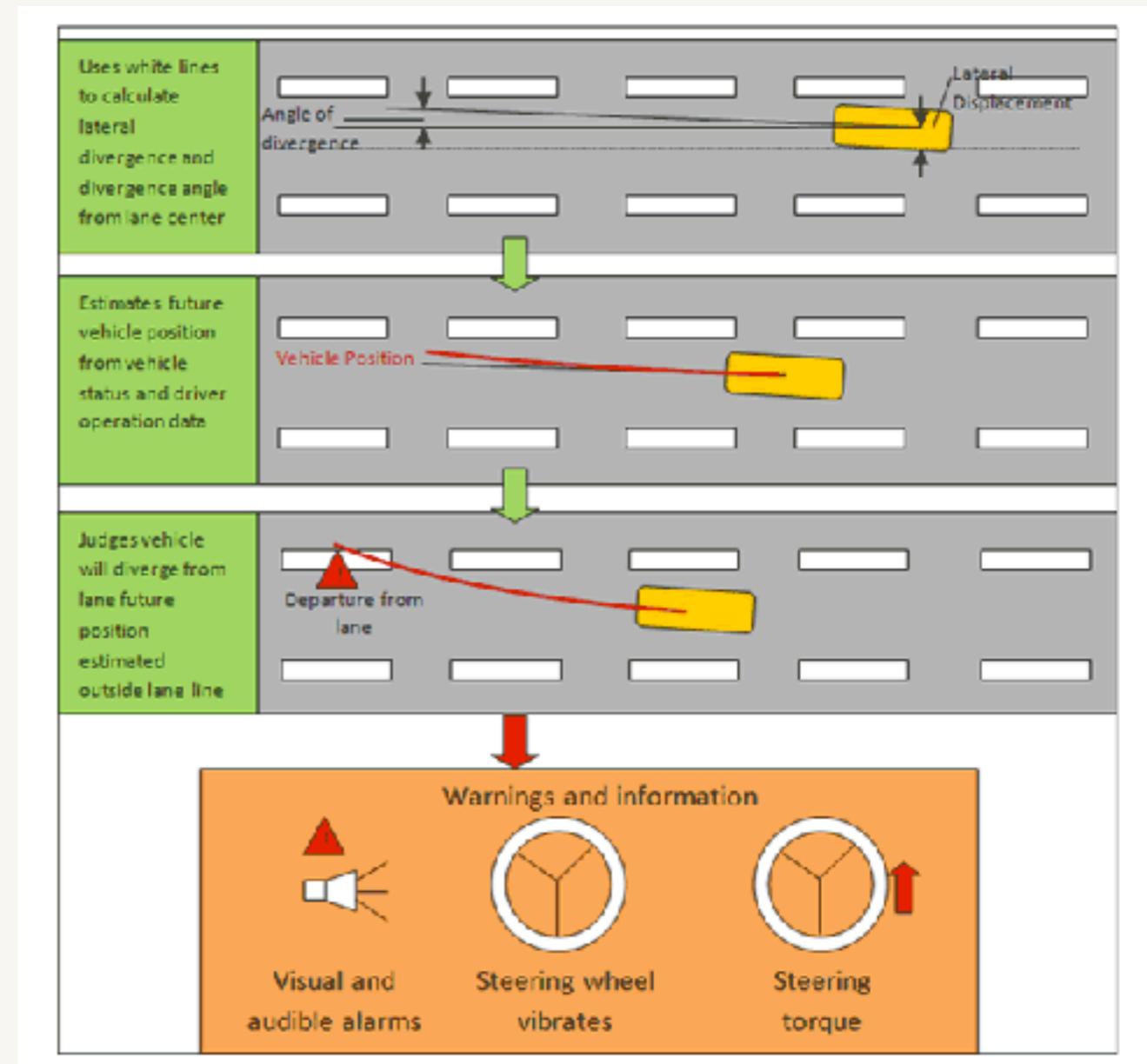
1. An / Aus
2. Gleitende Fernlichtgrenze
3. Links / rechts angepasstes Fernlicht
4. Maskierung der anderen Verkehrsteilnehmer



Fahrspurassistent

<http://www.mobileye.com/technology/applications/lane-detection/>

- Kamera erkennt die Fahrspuren und fittet ein Modell an.
- Die Fahrzeugposition innerhalb der Spur wird ermittelt.
- Lenkwinkelanschlag, Geschwindigkeit und Position des Fahrzeugs erlauben die Vorhersage, wann die Fahrspur verlassen wird.
- Je nach System kann gewarnt oder gelenkt werden.



<http://www.cvel.clemson.edu/auto/systems/lane-departure-warning.html>

Erkennung von Verkehrsschildern

<http://www.mobileye.com/technology/applications/traffic-sign-detection/>

ADAC-Test

- Anzeige der aktuellen Geschwindigkeitsbegrenzung
- Nur eine Auswahl an Schildern wird aktuell erkannt.
- Zusatzschilder mit kleiner Schrift erst mit höherer Auflösung möglich.
- Dynamische Anzeigetafeln werden auch erkannt, sind aber schwierig



Quelle: Bosch TSR



Other danger, Obstacles with right of way from the right, Bend, Bend, Double bend, Double bend, Steep hill downwards (20%), Steep gradient (15%), Slipperiness, Falling or fallen rocks, Falling or fallen rocks, Loose clippings, Side winds, Road narrows on both sides, Road narrows on right, Road narrows on left, Road works



Traffic queues, Two-way traffic, Opening or swing bridge ahead, Outcrop or river bank, Traffic signals, Pedestrians, Pedestrian crossing, Children, Bicycles, Cattle, Wild animals crossing, Low lying aircraft, Level crossing with barrier or gate ahead, Level crossing without barrier or gate ahead

Regulatory signs



Give priority to all transport, Give way, Stop, Oncoming traffic has priority, Turn right ahead, Turn right, Go straight or right, Roundabout, One-way, Yield right, Use shoulder as lane (2 lanes plus shoulder), Use shoulder as lane, Don't use shoulder as lane, Priority to clear shoulder vehicles (2 lanes plus shoulder), Bus stop, Taxi, Bicycle lane



Horse lane, Pedestrian area, Shared path, Shared path, Pedestrian zone, End of pedestrian zone, Bicycle lane, End of bicycle road, Bus lane, No vehicles, No motor vehicles, Prohibition of motor vehicles with a gross vehicle weight of over 35 metric tons including their trailers and trailers, other than passenger cars, buses and coaches, No bicycles, No motorcycles, No pedestrians, No entry for motor vehicles, No motor vehicles subject to identification of dangerous goods



Weight limit (5.5t), Axle load limit (8t), Width limit (2m), Weight limit (3.8m), Length limit, No entry, Snow chains are required, No vehicles transporting goods dangerous to water reserves, Zone to reduce harmful air pollutants, End of a traffic restricted area to reduce harmful air pollutants, No U-turn, No traffic allowed without indicated minimum distance between vehicles, Speed limit (60), Start of a 30 km zone, End of a 30 km zone, Minimum Speed (30), No overtaking



No overtaking by lorries, End of speed limit, End of minimum speed, End of no overtaking, End of no overtaking to lorries, End of all speed and passing limits, No stopping, No parking, No parking zone, End of no parking zone, Pedestrian crossing, Stop line, Linear road boundary, One-lane line boundary, Direction arrow, Advance notice error, Marking for banned area



Marking for stopping or no parking area

Information signs

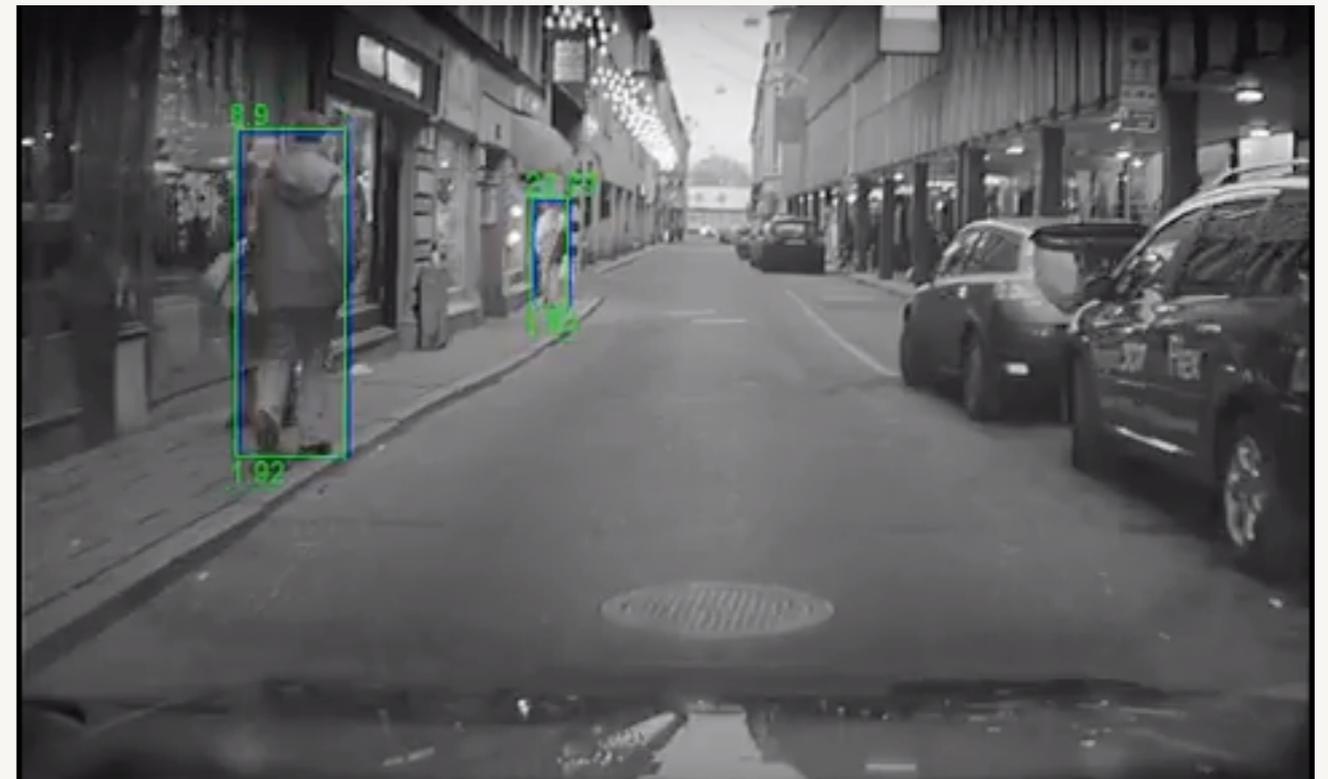


Crossroads, Priority road, End of priority road, Priority over oncoming traffic, Parking place, Pedestrian crossing, Dead end, Beginning of an advisory speed sign, End of an advisory speed sign

Personenerkennung

<http://www.mobileye.com/technology/applications/pedestrian-detection/>

- Erkennt vollständig sichtbare Personen
- Zwei Funktionen:
 - ▶ Warnung
 - ▶ Automatische Notbremse



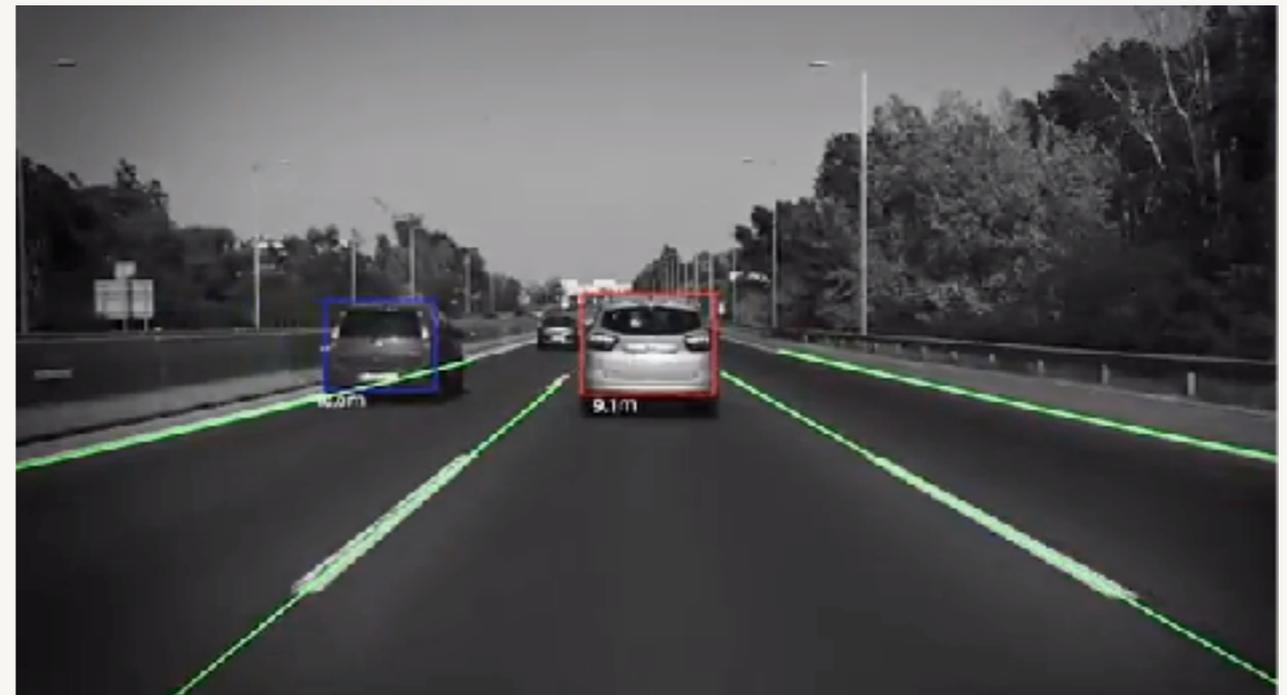
<http://www.youtube.com/watch?v=b5ZrZVe2BT8>

Fahrzeugeterkennung

<http://www.mobileye.com/technology/applications/vehicle-detection/>

<http://www.youtube.com/watch?v=EeDXq3xBdb0>

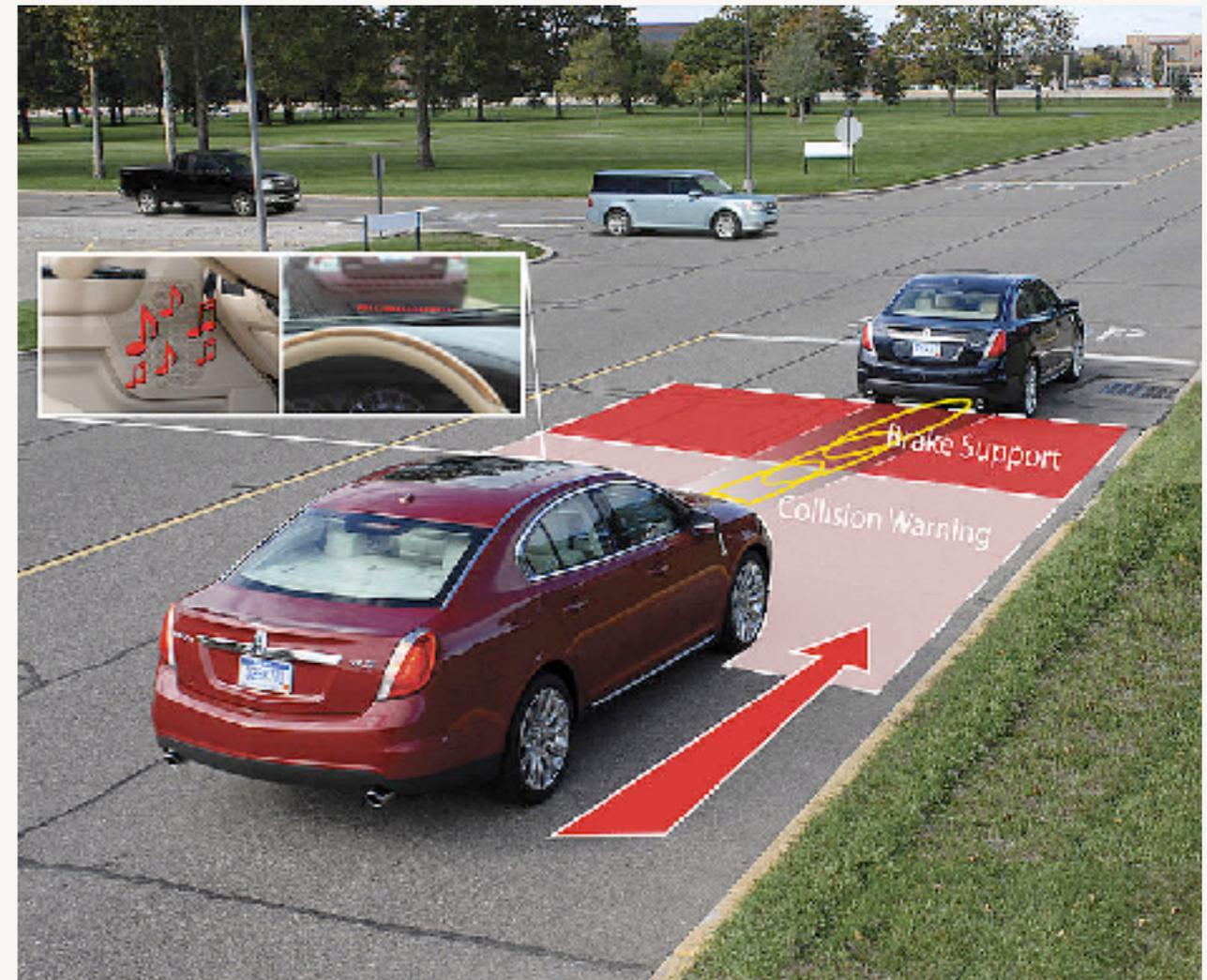
- Erkennt vorausfahrende Fahrzeuge
- Drei Funktionen:
 - ▶ Warnung
 - ▶ Automatische Notbremse
 - ▶ Kamera-basierter adaptiver Geschwindigkeitsregler



ADAC-Test

Notbremsassistent

- Erst Warnung
- Dann automatische Bremse



Stereokameras

Conti Stereo-Kamera

- Eine Mono-Kamera kann Entfernungen nur schätzen, eine Stereo-Kamera kann messen.
- Eine Stereo-Kamera kann deswegen die Geschwindigkeit eines Objekts ebenfalls bestimmen.
- Auch teilverdeckte Objekte können detektiert werden.



www.youtube.com/watch?v=seLe0JS4GAg

<http://www.6d-vision.de/>

Nachtsicht

- Verwendet IR-Licht zur Verbesserung der Nachtsicht
- Zwei Systeme
 - ▶ Aktive im nahen IR mit IR-Scheinwerfern
 - ▶ Passive im mittleren IR mit Wärmestrahlung

Nachtsicht Passives System

- Nutzt die Wärmestrahlung von Objekten, insbesondere lebenden wie Menschen und Tiere
- Graustufenbild: viel Wärme wird hell dargestellt.
- Keine Blendung, weil Lichtquellen in dem Bereich nicht oder wenig strahlen.
- Kann keine ‚kalten‘ Objekte erkennen.

<http://www.iclickfun.com/bmw-night-vision-with-pedestrian-recognition/>



Nachtsicht Passives System

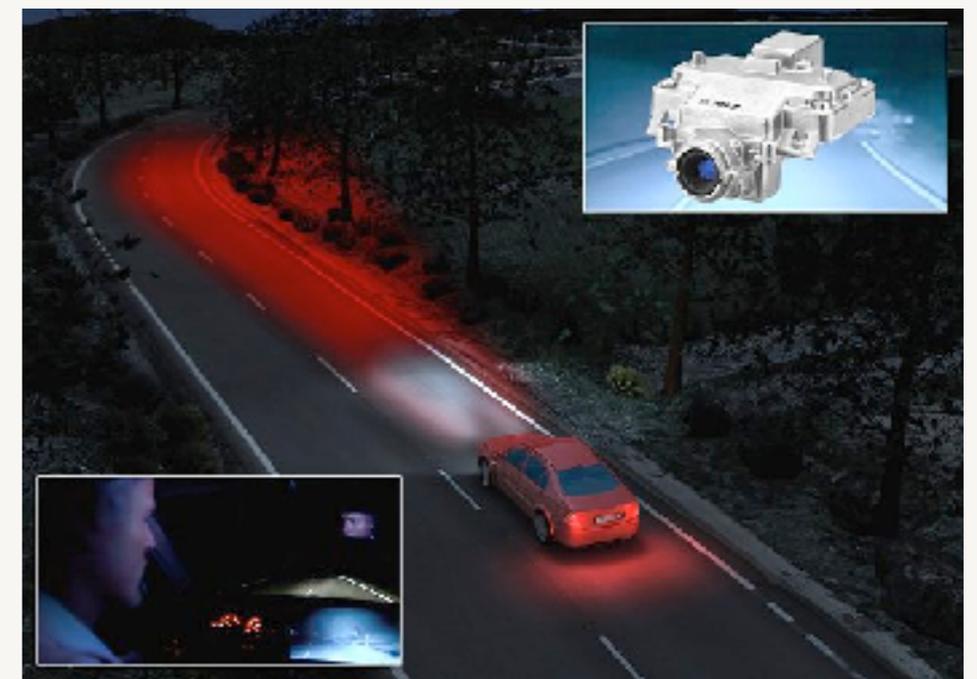
- Windschutzscheibe transmittiert kein fernes IR-Licht.
- Daher muss die Kamera (= Bolometer) mit direktem Blick nach draußen installiert werden.
- Hier: unter der Stoßstange



Nachtsicht Aktives System

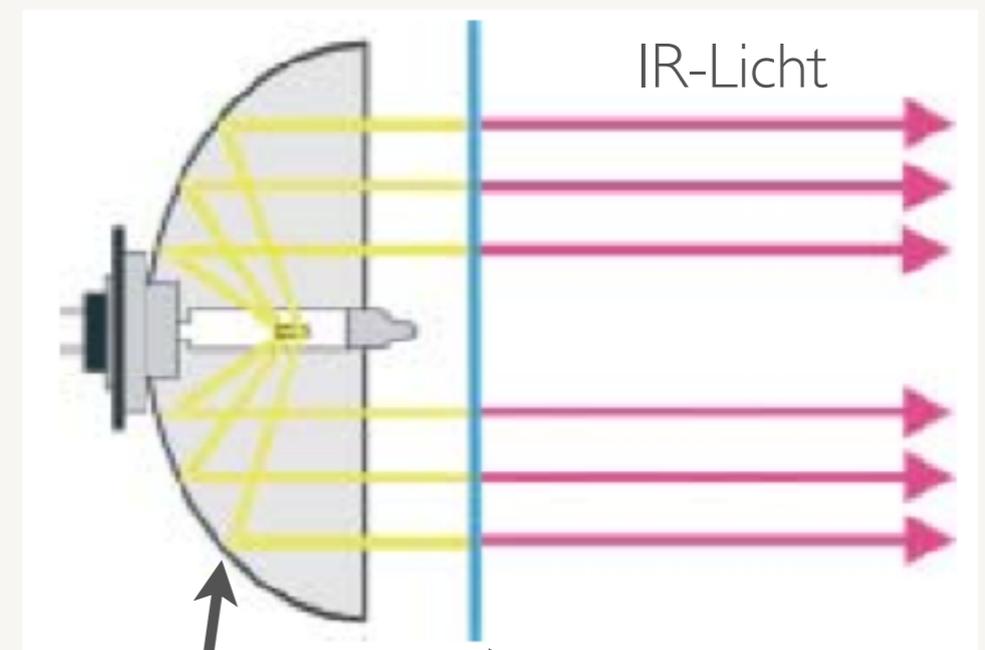
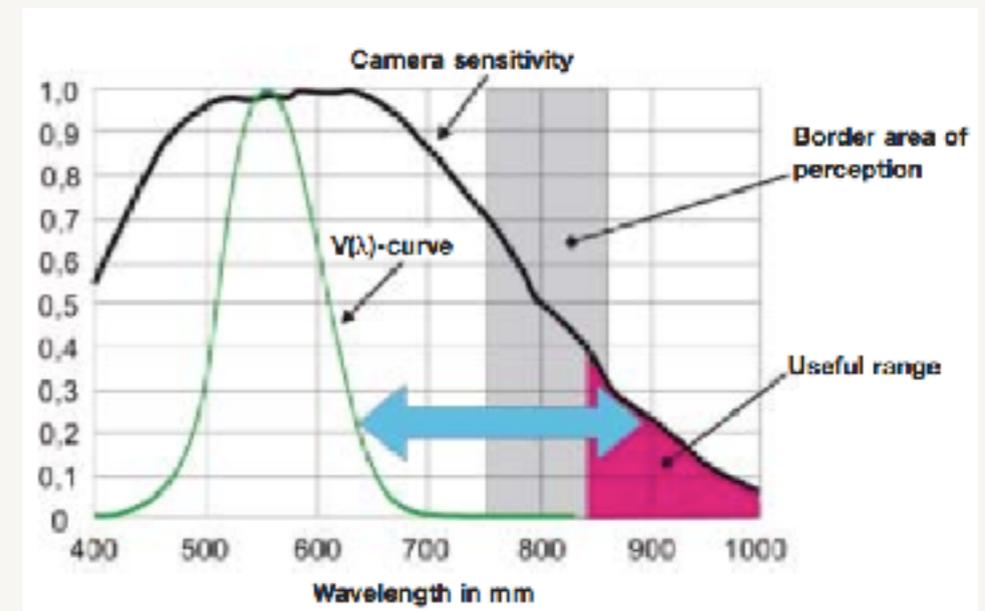
Quelle: [Autoevolution](#)

- Frontscheinwerfer senden IR-Fernlicht im nahen IR aus.
- Eine Kamera hinter der WSS zeichnet das Bild auf.
- Es wird in Graustufen im Display dargestellt.



Nachtsicht Aktives System

- Das System muss soweit im IR arbeiten, dass der Gegenverkehr sicher nicht geblendet wird.
- Für hohe Effizienz der Lichterzeugung und -detektion aber so nah wie möglich am sichtbaren Bereich.
- Durch Tageslicht-Sperrfilter vor dem normalen Fernlicht wird der sichtbare Teil des Spektrums ausgeblendet.



Halogen-Leuchte (Planck'scher Strahler)

Tageslicht-Sperrfilter

Rückfahrkamera

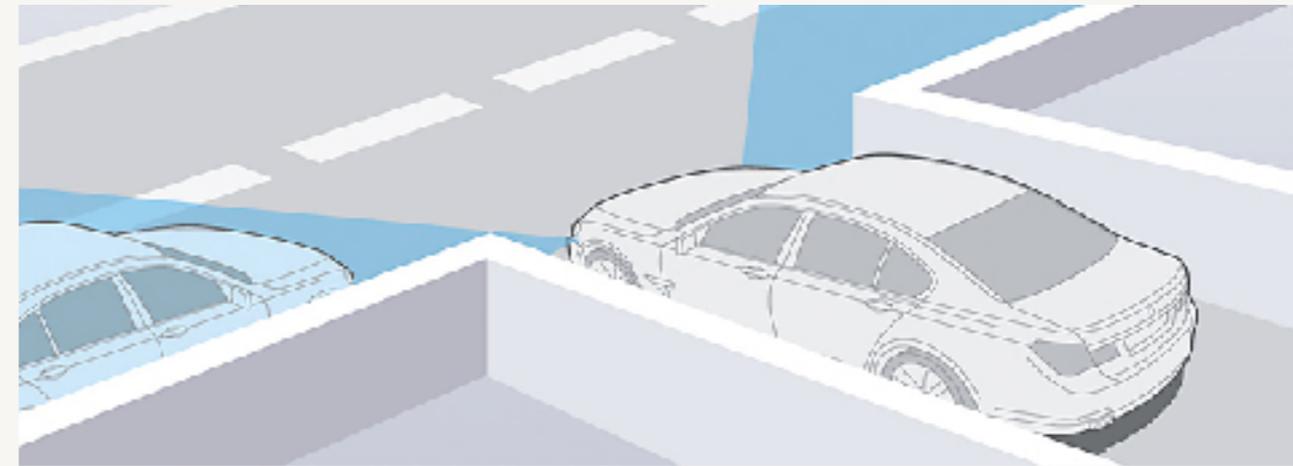
- Ermöglicht die Sicht nach hinten beim Rangieren.
- Wird in den USA diskutiert per Gesetz vorzuschreiben.
- Optik: kann mit Fischaugen-Objektiv ausgerüstet sein und das Bild kann dann entzerrt werden.



http://money.cnn.com/2012/02/29/autos/rearview_cameras_postponed/index.htm

Seitenkameras

- Im der vorderen Stoßstange sind links und rechts zwei Kameras eingebaut.
- Die Bilder werden auf dem Monitor dargestellt.
- Bei Ausfahrten sehr nützlich.



Kameras statt Seitenspiegel

- Verringerung des Windwiderstands
- Reduzierung des Verbrauchs



Kamera statt Rückspiegel

- Notgedrungen: das Fahrzeug (Audi R8 e-tron) hat keine Heckscheibe.



[http://www.auto.de/magazin/showArticle/article/83534/
Bildschirm-statt-Innenspiegel-Die-Kamera-schaut-nach-hinten](http://www.auto.de/magazin/showArticle/article/83534/Bildschirm-statt-Innenspiegel-Die-Kamera-schaut-nach-hinten)