

Grundlagen von bildgebenden TOF-Sensoren hoher Reichweite (METROPOS)

*Dr. Wilfried Wagner, Dipl.-Inform. Niemann, Dipl.-Ing. Holger Zeng,
Dipl.-Phys. Rainer Wolf, Dr. Klaus-Dieter Gruner
(Projektlaufzeit: 01.08.2010 – 28.02.2013)*

Das FuE-Vorhaben ist Bestandteil und Teilprojekt des Kooperationsprojektes „Entwicklung eines Metrischen Objektpositionssystems“ (METROPOS)“, das gemeinsam mit der iris GmbH, der OSA Opto Light GmbH, der ESYS GmbH, der Pironex GmbH, der HU Berlin und der TU Berlin durchgeführt und vom BMWi im Rahmen des Zentralen Innovationsprogramms Mittelstand (ZIM) – Modul ZIM-KOOP/KF - gefördert wurde.

Zielstellung:

Der Schwerpunkt des Teilprojektes liegt auf der Untersuchung der Grundlagen eines Flugzeitsensors mit erhöhter Reichweite. Ausgangspunkt ist dabei der bereits im OUT e.V. entwickelte 3d-Sensorchip mit einer 32x32 Bildpunktmatrix. Dieser Chip arbeitet ohne Rauschunterdrückung und hat daher eine Reichweite von ca. 5 m. Wir haben ein Modell entwickelt, das auf der Grundlage einfacher energetischer Betrachtungen die Anzahl der Signalelektronen im Empfangspixel berechnet. Wir betrachten unser spezielles Messprinzip mit Akkumulationen in benachbarten Belichtungsfenstern. Zusätzlich werden Rauschterme insbesondere das Resetrauschen berücksichtigt. Auf der Grundlage des LENA2-Sensors wurde ein verbesserter 3d-Abstandssensor entwickelt, der für den Einbau in das Testfahrzeug zur Verfügung steht.

Ergebnisse:

Der LENA2-Chip des OUT e.V. ist im Rahmen eines 0,6µm-MLM-CMOS-Prozesses der XFab Erfurt hergestellt worden.

Das Resetrauschen erweist sich schnell als die entscheidende Begrenzung für die Reichweite und die Messgenauigkeit. Im Rahmen des Projektes wurde eine Methode zur Unterdrückung des Resetrauschens entwickelt und in der Metal-Fix-Version des LENA2-Chips umgesetzt. Da beim Redesign des Layouts nicht mehr alle Masken zur Verfügung stehen, konnte nur eine eingeschränkte Variante realisiert werden.

Im OUT e.V. sind in Zusammenarbeit mit der iris GmbH Ideen zur Reduktion des Resetrauschens in typischen CMOS-Imager-Schaltungen entwickelt worden. Das Prinzip beruht auf der Abtastung eines Referenzwertes und des eigentlichen Signals plus Referenzwert. In der Stufe zur korrelierten Doppelabtastung (CDS) wird dann die Differenz aus beiden Messungen gebildet.

Standardmäßig besteht die APS-Zelle (aps – active pixel sensor) des Bildwandlers aus dem Reset-Schalter, dem globalen Shutter und der Integrationskapazität. Über einen Spannungsfolger kann die Signalspannung ausgelesen werden. Die Grundidee unserer Rauschreduktion besteht im Aufbau eines zusätzlichen Signalpfades über den nach dem Resetvorgang die Resetspannung der Photodiode zur Weiterverarbeitung zur Verfügung steht. Die Wirksamkeit dieser Maßnahme hängt wesentlich davon ab, wie gut die beiden Signalwege aufeinander abgestimmt sind, d.h. die Signalwege sollten gleiche Eigenschaften haben und die einzelnen Komponenten müssen in unmittelbarer Nachbarschaft auf dem IC platziert sein (Matching Verhalten). Bei der Differenzbildung in der CDS-Stufe wird das Resetrauschen eliminiert.

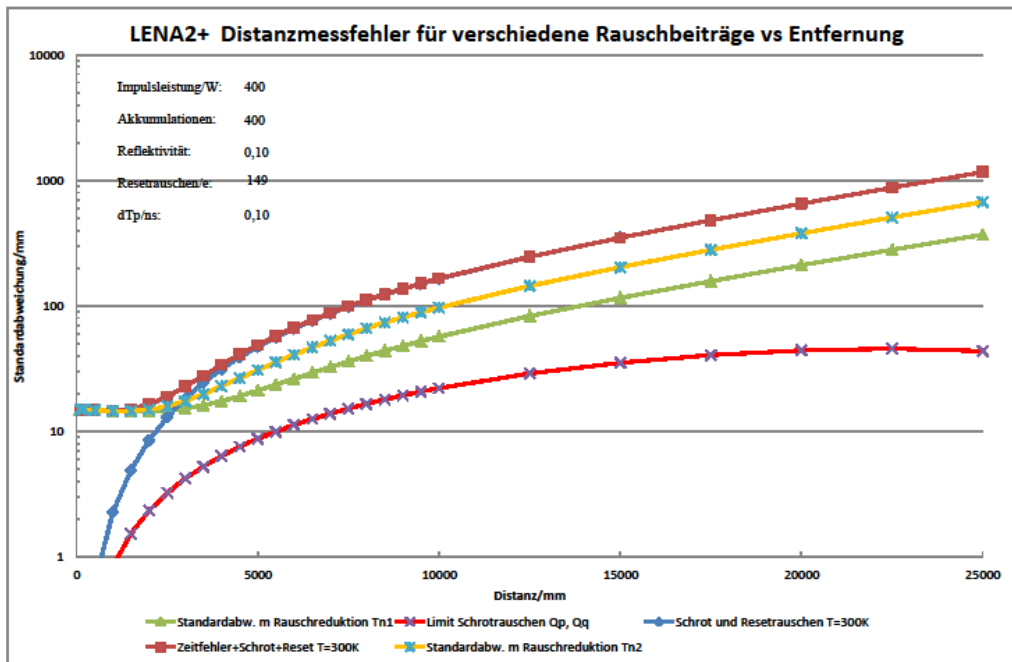


Abb. 23: Rauscheigenschaften des 4000-Pixel-Chips bei 400 W Impulsleistung und 400 Akkumulationen.

In der Abbildung 23 sind die Rauscheigenschaften eines 4000-Pixel-Chips in Abhängigkeit von der Güte der Rauschreduktion in einer Simulation dargestellt. Die oberste Kurve beschreibt den Fall ohne Rauschreduktion und die unterste Kurve stellt den Grenzfall des Schrotrauschens dar.

Nach Fertigstellung des 3d-Abstandssensors mit dem überarbeiteten Board wurden erste Messungen zur Abschätzung des zufälligen Fehlers der Abstandsmessung (Standardabweichung) durchgeführt. In der Abbildung unten sind die Standardabweichungen für 64 zentrale Pixel des Sensors dargestellt. Die Messdistanz betrug 200 cm zu einer weißen Wand mit einer Reflexion von ca. 70%. Bei dieser Messung wurde eine Optik mit kleinerer Apertur verwendet, die Laserleistung betrug nominell 50 W. Mit unserem Simulationsprogramm konnten wir diese Messergebnisse annähernd reproduzieren (Standardabweichung ca. 40 mm), wenn wir einen Jitterfehler von 200 ps annehmen.

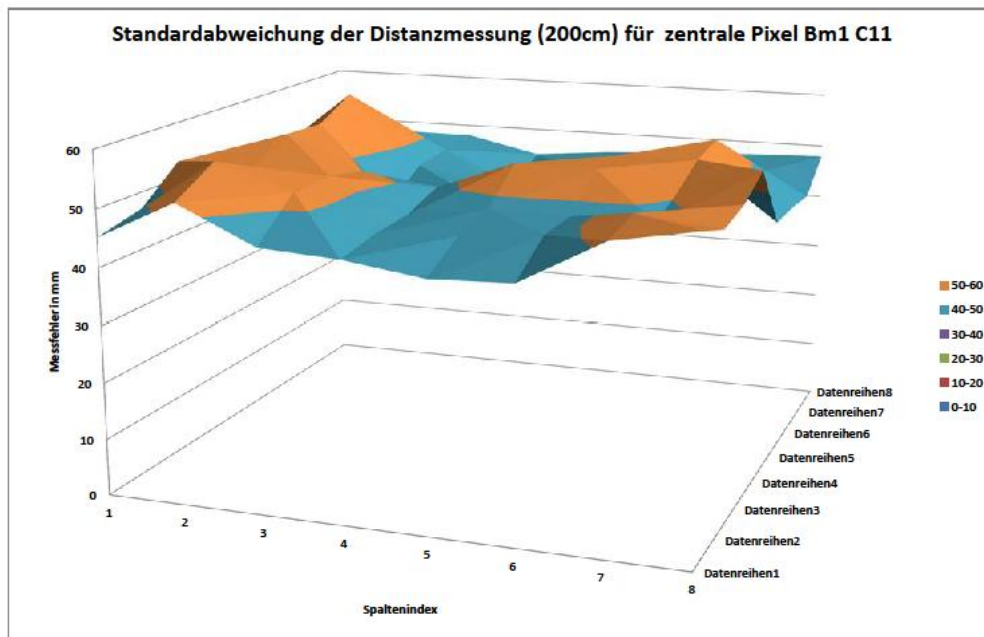


Abb. 24: Gemessener zufälliger Fehler der Abstandsmessung für 64 zentrale Pixel des LENA2-Chips

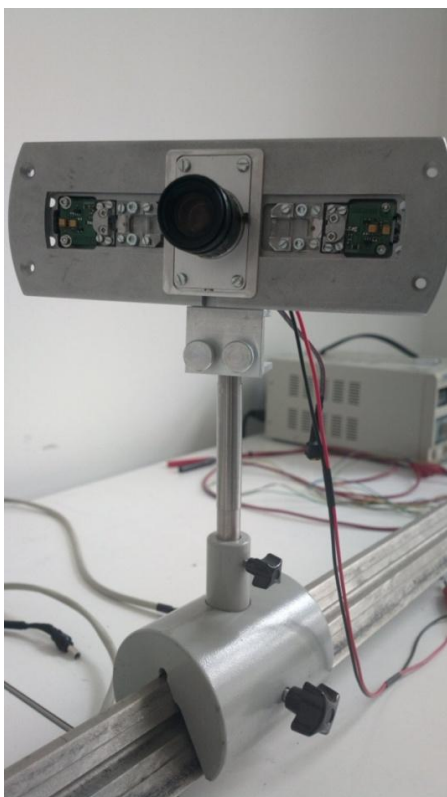


Abb. 25: Einbaufertiger 3d-Sensor mit LENA2-Chip, optische Deckel auf den Emittlern entfernt.

In der Abbildung ist der fertige METROPOS-Sensor im neuen Gehäuse zu sehen. Die Optik in der Mitte ist die Empfangsoptik, seitlich sind die Laseremitter mit ihrer Strahlformungsoptik

zu erkennen (optische Deckel entfernt). Es handelt sich hierbei um die einbaufertige Version für die Testplattform mit dem neuen Sensorboard (2. Variante) aus dem vorliegenden Projekt. Für den Einbau in die Testplattform sind noch einige kleinere Anpassungen infolge des leicht veränderten Formfaktors erforderlich.

Anwendungsmöglichkeiten:

Auf der Grundlage des LENA2-Sensors wurde ein verbesserter 3d-Abstandssensor entwickelt, der für den Einbau in das Testfahrzeug zur Verfügung steht.

Zum Einbau des 3d-TOF-Sensors in das Fahrzeug wurden unterschiedliche Konfigurationen untersucht. Einbauhöhe, Neigungswinkel und Öffnungswinkel des Sensors bestimmen das Sichtfeld. Je nach Einbaukonfiguration ist die Bordsteinkante bei unterschiedlichen Abständen des Fahrzeuges im Sichtfeld des Sensors.

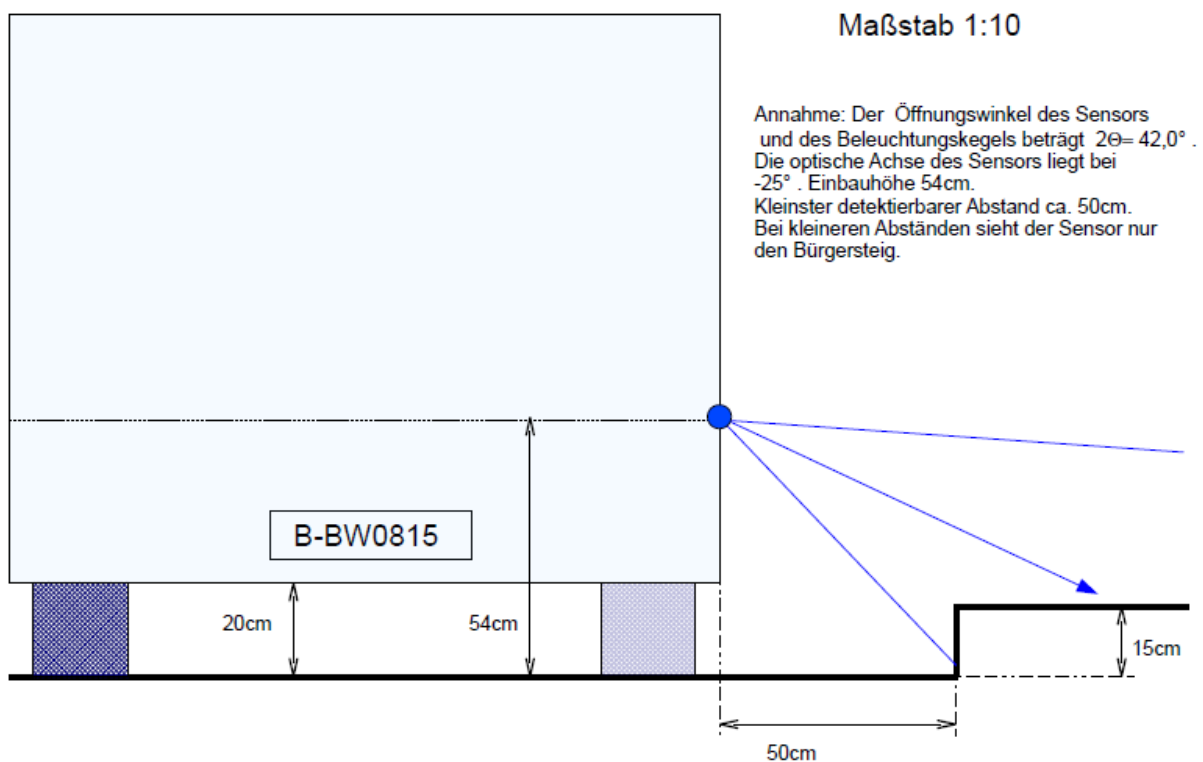


Abb. 26: Sensorkonfiguration und Erfassungsbereich der Umgebung

Zur Erkennung der Bordsteinkante hat sich ein seitlicher Einbau in ca. 50 cm Höhe mit Neigung zur Fahrbahn (siehe Abbildung 26) als vorteilhaft erwiesen. Für das präzise Anfahren der Haltestelle mit minimalem Abstand zum Bordstein ist eine Vergrößerung des Neigungswinkels bzw. des Öffnungswinkels des Sensors erforderlich.

Ausblick:

Die Pixelauflösung von 3D-TOF Sensoren wird sich mit den nächsten Chipgenerationen weiter erhöhen. Bei dadurch kleiner werdenden Pixelflächen bleibt die Rauschoptimierung zur Erzielung mittlerer und großer Reichweiten ein Schwerpunkt.

Die Anwendungen reichen von der Personenzählung bis zur Kollisionsverhütung autark fahrender Transportsysteme bei sehr guter Gleichlichtunempfindlichkeit vor allem im Außenbereich. Hier sind diese mit Laserflash arbeitenden Sensoren allen anderen optischen 3D-Systemen überlegen.