

Technische Universität Berlin

Fakultät IV

Institut für Energie- und Automatisierungstechnik

Fachgebiet Lichttechnik



# **Entwicklung und Realisierung einer Messeinrichtung mit den Sensoren AS7261 und AS72651 von ams**

**Bachelorarbeit**

Vorgelegt von: Lennard Bödiger

Matrikelnr.: 363470

Studiengang: Technische Informatik

31. August 2020

# **1 Einleitung**

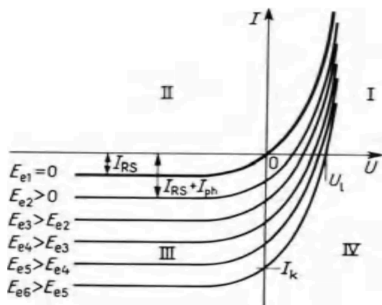
## 2 Technische Grundlagen

### 2.1 Fotodioden

Photodioden sind beleuchtete pn-Übergänge. Im Kurzschlussbetrieb ( $U = 0$ ) fließt ein über einen Bereich von mehr als acht Zehnerpotenzen linear von der Beleuchtungsstärke abhängiger Kurzschlussstrom  $I_k$  (Abb. 1a). Allerdings hängt der Kurzschlussstrom auch von der Eindringtiefe in das Silizium Substrat ab, welche wiederum von der Wellenlänge abhängt (Abb 1b). Außerdem ändert sich der sich der Absorptionskoeffizient von Silizium mit der Temperatur.

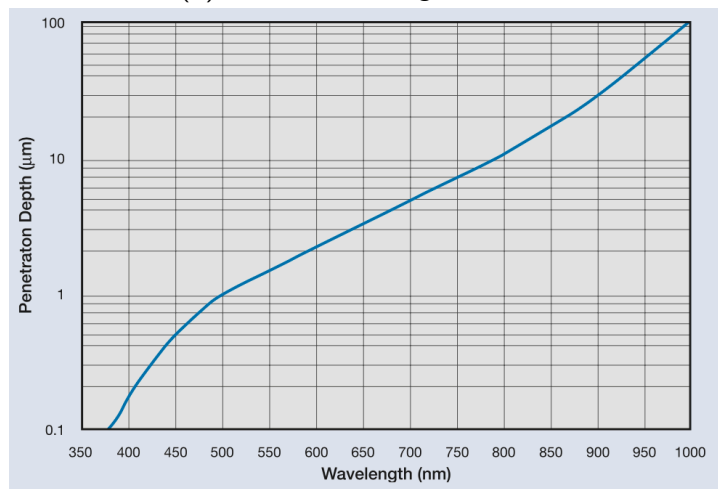
Ich habe die Sensoren mit Luft gelötet, aber da dieses QFN Package einfach ein Pain zum Löten ist, brauche ich immer mal wieder mehrere versuche, und früher oder später läuft mir Flussmittel in den Sensor/ ich brenne ihn an weil ich zu lange auf einer Stelle bleibe. Das sind also alles Probleme, die mit etwas Kapton Tape auf der Sensor Öffnung und mehr Übung zu lösen sind, aber es wäre super mal ein sauberes referenboard zu haben.

(a) Kennlinienfeld Photodiode



Kennlinienfeld  $I = f(U)$  der Photodiode mit der Bestrahlungsstärke  $E_e$  als Parameter Kurzschlussstrom  $I_k$  bei  $U = 0$

(b) Silizium-Eindringtiefe-Licht



Quelle: osioptoelectronics.com

Damit Rückschlüsse über den Kurzschlussstrom  $I_K$  zur Lichtintensität zulässig sind, muss also die Temperatur konstant oder zumindest bekannt sein. Außerdem ist es wichtig, bei Tageslichtmessungen, dass einfallende Licht auf einen möglichst begrenzten Wellenlängenbereich zu beschränken, da so ein möglichst akkurater Temperatur und Frequenzabhängiger kompensations faktor gewählt werden kann.

## 2.2 I2C

I2C ist ein simples und effizientes Busprotokoll. Es wurde ursprünglich von Phillips entwickelt, wird aber seit einigen Jahren von NXP weiterentwickelt. In seiner simpelsten Form ermöglicht es einen Master mit bis zu 128 Slave-Geräten zu verbinden. Dafür werden nur 2 Leitungen benötigt, die die SCL und SDA genannt werden. SCL ist die Taktleitung. Sie wird verwendet, um alle Datenübertragungen über den I2C-Bus zu synchronisieren. SDA ist die Datenleitung. Außerdem müssen alle Bus-Teilnehmer mit dem gleichen GND-Potential verbunden sein, um Stromfluss über SDA und SCL-Leitungen zu ermöglichen.

Da SCL und SDA als "open drain" betrieben werden, was bedeutet, dass die Bus-Teilnehmer den Output Low aber nicht High setzen können, muss ein Pull-up-Widerstand zur Versorgungsspannung verwendet werden.

Die Clock-Leitung SCL wird nur vom Bus-Master gesteuert. Die SDA-Leitung wird vom Master und Slave genutzt; allerdings antworten die Slaves im Normalbetrieb nur nachdem sie vom Master auf ihrer Adresse eine Anfrage erhalten haben.

## 3 Hardware Komponenten

### 3.1 Sensoren

Die Sensoren aus der AS726X Reihe sind in der Lage Licht, also elektromagnetische Strahlung zu messen. In jedem Sensor sind 6 Photodioden verbaut. Vor jeder Photodiode ist ein Silizium-Interferenzfilter montiert, welcher wie ein Bandpassfilter arbeitet, er ist nur für einen bestimmten Ausschnitt des Lichtspektrums durchlässig. Jeder Baustein enthält einen Analog-digital-Wandler mit 16 Bit Auflösung, der den Strom aus den unterschiedlichen Fotodioden integriert. Nach Abschluss einer Messung wird das integrierte Ergebnis in die entsprechenden Datenregister übertragen.

So kann über das beschriebene Sensorarray die farbliche Zusammensetzung des eingestrahnten Lichts erfasst werden.

Abbildung 2: AS726X

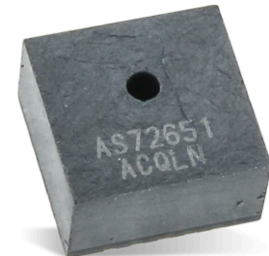
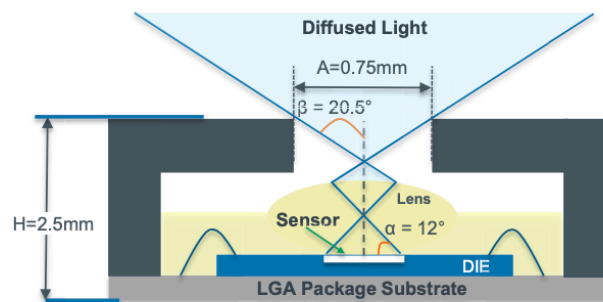


Abbildung 3: Seitenansicht AS726X



Quelle: Datenblatt AS7261

Wie in Abb:3 dargestellt, fällt das Licht durch die Öffnung in der Mitte des Sensors ein, eine intern verbaute Linse verteilt das Licht auf die Interferenzfilter. Die Genauigkeit der Filter verändert sich je nach Einstrahlwinkel, daher ist es wichtig, vor den Sensor noch eine Streuscheibe zu montieren.

Gemessenen Daten können über UART oder I2C an einen Mikrocontroller übertragen werden, da über UART nur ein Gerät verbunden werden kann, eignet sich aber für diesen Anwendungsfall nur die I2C Schnittstelle.

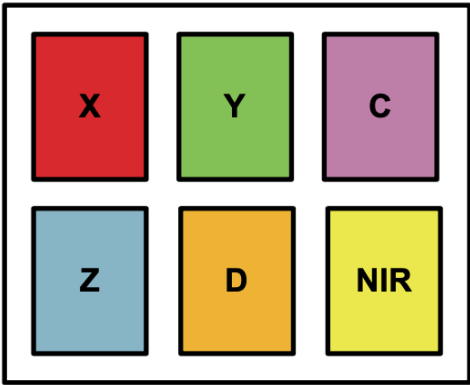
Alle Sensoren erhalten vom Hersteller dieselbe nicht veränderbare I2C Adresse: 0x49. Daher muss ein I2C Translator genutzt werden, welcher es ermöglicht, mehrere Sensoren im gleichen Bussystem zu adressieren(siehe Abschnitt 3.3).

Die Modelle unterscheiden sich durch die verbauten Silizium-Interferenzfilter, also die unterscheidbaren Wellenlängenbereiche sowie in der benötigten Peripherie. Die grundsätzliche Messmethode ist aber immer gleich. Im Folgenden werden die verwendeten Sensoren AS7261(3.1.1) sowie der AS7265X(3.1.2) beschrieben.

### 3.1.1 AS7261

Das Sensorarray des AS7261 unterscheidet zwischen X,Y,Z,C,D und NIR.

Abbildung 4: AS7261-Sensor Array



Quelle: Datenblatt AS7261

Die Ergebnisse des ADC werden direkt, ohne das der Temperaturdrift der Photodioden berücksichtigt wird in die in Tabelle 1 beschriebenen Register geschrieben.

Tabelle 1: Your caption.

kürzel	Bezeichnung	Register	Filtereigenschaften
C	Clear	0x12-0x13	kein Filter
D	Dark	0x10-0x11	Lichtdurchlässigkeit des Gehäuses
NIR	nahes Infrarot	0x0E-0x0F	?????
X	X (CIE 1931)	0x08-0x09	????
Y	X (CIE 1931)	0x0A-0x0B	????
Z	X (CIE 1931)	0x0C-0x0D	?????

Da die Messergebnisse der unterschiedlichen Wellenlängenbereiche den in ?? genannten Verzerrungen unterliegen, werden auch noch berichtigte X,Y,Z-Werte bereitgestellt.

kürzel	Register	Berichtigungs Formel
Cal-X	0x14:0x17	????
Cal-Y	0x18:0x1B	????
Cal-Z	00x1C:0x1F	?????

Es gibt 3 sogenannte Bank Modes in denen der Sensor Arbeiten Kann.

### Bank Mode 0

Die Konvertierungen erfolgen kontinuierlich und Daten sind in den I2C-Registern X, Y, Z und NIR verfügbar.

### Bank Mode 1

Die Konvertierungen erfolgen kontinuierlich und Daten sind in den I2C-Registern X, Y, D und C verfügbar.

### Bank Mode 2

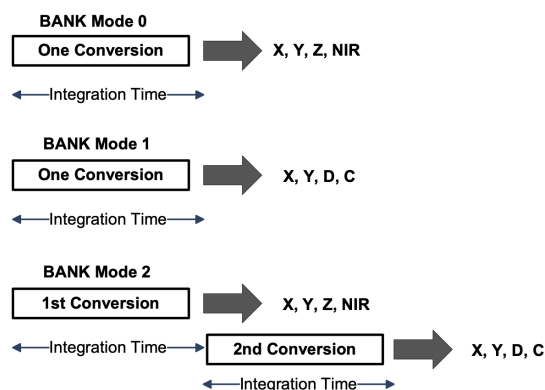
Die Konvertierungen erfolgen kontinuierlich, und Daten sind nach zwei Integrationsperioden in den Registern X, Y, Z, NIR, D und C verfügbar. In diesem Modus können auch die kalibrierten, korrigierten Werte auch aus den entsprechenden I2C-Registern abgerufen werden.

### Bank Mode 3

Die Konvertierungen erfolgen nur einmal, und Daten sind wie in Bank Mode 2 nach zwei Integrationsperioden in den Registern X, Y, Z, NIR, D und C verfügbar. Auch Die kalibrierten, korrigierten Werte auch aus den entsprechenden I2C-Registern können abgerufen werden. Das DATA RDY-Bit wird auf 1 gesetzt, sobald Daten verfügbar sind.

Für diesen Anwendungsfall wird Bankmode 3 verwendet da so an alle angeschlossenen sensoren möglichst gleichzeitig eine messung gestartet werden kann. Die daten können nach abgeschlossener messung an den NanoPi übertragen werden.

Abbildung 5: AS7261-Bank Modes



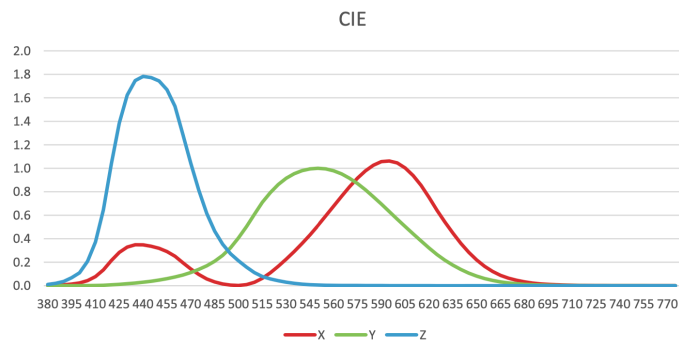


Abbildung 6: AS7261-Sensor Array

### 3.1.2 AS7265X

AS7265X beschreibt AS72651, AS72652 und AS72653 wobei der AS72651 als master für AS72652 und AS72653 fungiert indem er über einen weiteren separaten I2C Bus ihre Daten abfragt und ansonsten wie der AS7261 arbeitet.

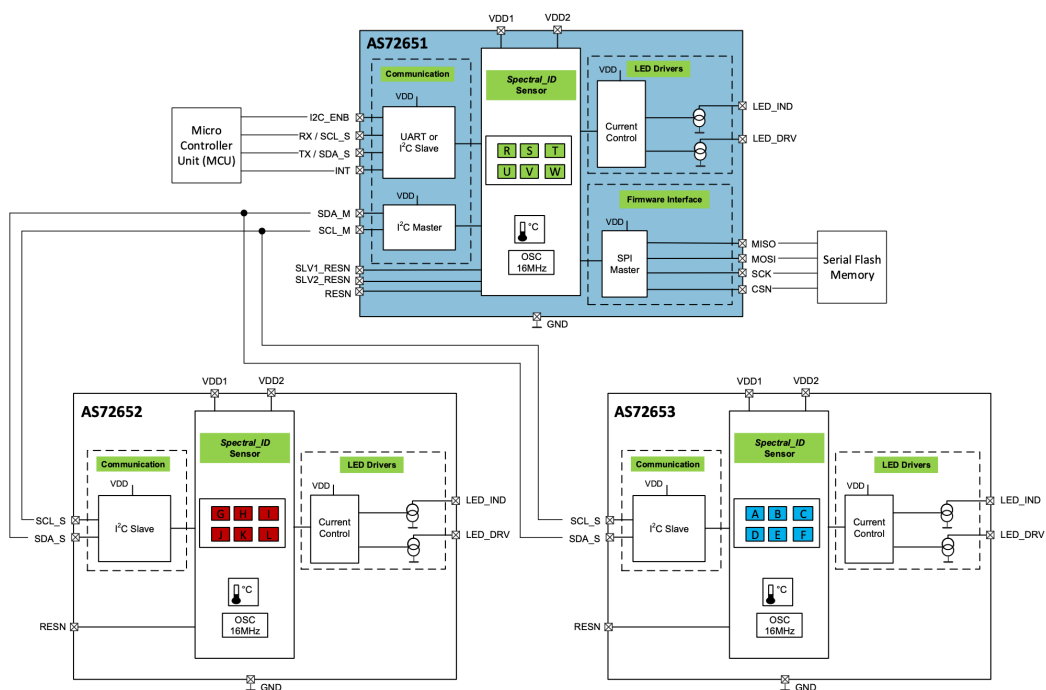


Abbildung 7: S7265X-Scematic



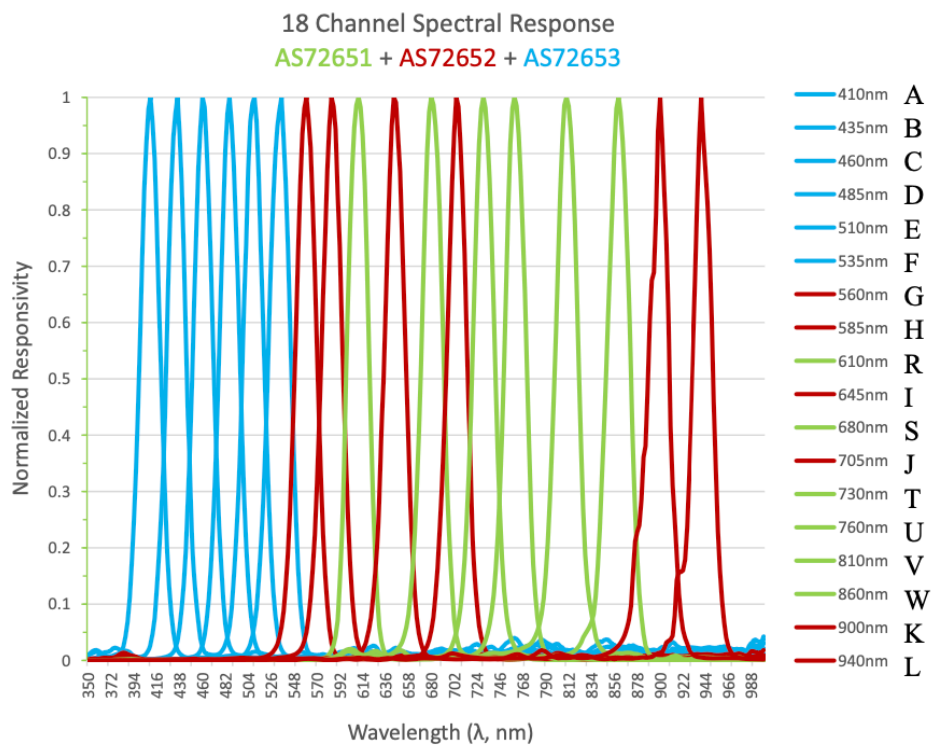


Abbildung 8: AS7261-Spectral Responsivity

Die drei Sensoren messen in Kombination mit 18 unterschiedliche Photodioden, so können 18 unterschiedliche Frequenz Channel im Bereich zwischen 410 nm und 940 nm mit einer Halbwertsbreite von jeweils 20 nm erfassen. Die Frequenz Channel sind wie in Abb: TODO zu sehen mit den Buchstaben A-L gekennzeichnet.

## 3.2 Mikrocontroller

Bei der Auswahl des Mikrocontrollers ist die kleine Bauform, ausreichend langlebiger Speicher sowie eine Netzwerkschnittstelle und I2C Anschluss entscheidend.

Die abfrage der Messdaten, sowie die Messkonfiguration soll über einen Fernzugriff möglich sein. Die Daten sollen grafisch in einem Webinterface dargestellt werden ohne das eine weitere Server Instanz benötigt wird. Daher eignet sich ein Linux fähiger Einplatinencomputer besser als ein simplerer Mikrocontroller. Außerdem ermöglicht ein Einplatinencomputer einfache nachträgliche Änderungen ohne das eine komplexe Entwicklungsumgebung eingerichtet werden muss.

Der NanoPi NEO2 Black erfüllt alle diese Anforderungen:

Abmessungen	4 cm x 4 cm
Speicher	eMMC Flash Module Socket
Anschlüsse	10/100/1000M Ethernet
GPIO	UART, I2C, IO
RAM	1 GB
CPU	Allwinner H5 Quad-Core Cortex-A53
Preis	TODO

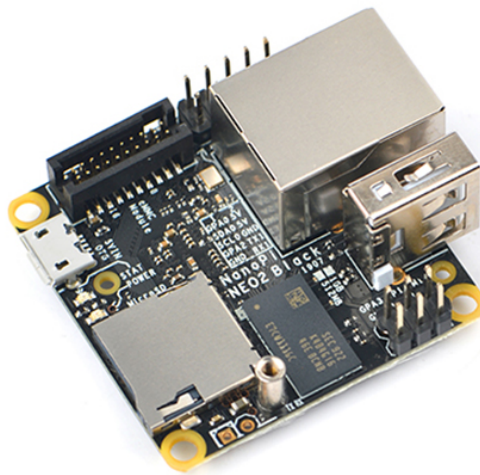


Abbildung 9: NanoPi NEO2 Black

An den eMMC Socket kann bis zu 128 GB Flash speicher angeschlossen werden. TODO warum reichen 32 GB.

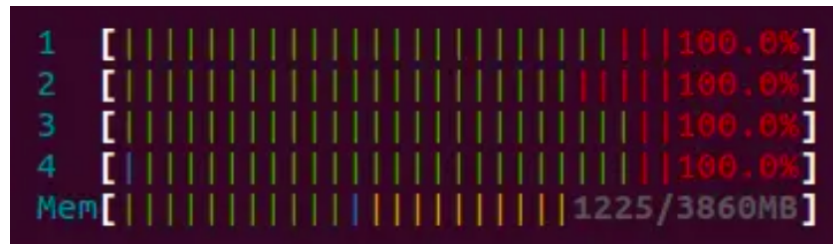
Da eine kabelgebundene Lösung mehr Zuverlässigkeit bietet, wird eine Netzwerkverbindung über Ethernet einer WLAN-Schnittstelle vorgezogen. Es besteht aber die Möglichkeit, einen externen USB WLAN-Adapter nachzurüsten.

Die I2C Schnittstelle des NanoPi arbeitet mit 3.3V allerdings wird nur ein 5V und kein 3,3V Output bereitgestellt, daher muss ein stepdown Wandler verwendet werden, um die Sensorboards mit Strom zu versorgen.

Die CPU ist für den Anwendungsfall weitaus ausreichend dimensioniert. In Abbildung 10 ist ein Performancetest zu sehen, die reihen 1-4 beschreiben die prozentuale CPU Auslastung

der jeweiligen Prozessorkerne. Mem beschreibt die Auslastung des Arbeitsspeichers.  
Für den Performancetest wurde eine Messung an 10 Sensor Boards mit minimalem Messintervall gestartet. Außerdem wurden gleichzeitig Daten über Grafana exportiert.  
TODO: Richtiges Bild Performance Test

Abbildung 10: CPU-Performance



### 3.3 I2C Address Translator LTC4316

Da, wie in Abschnitt 3.1 genannt alle Sensoren unter derselben I2C Adresse erreichbar sind, wird ein I2C Translator genutzt, um für eine individuelle Adressierung zu sorgen.

Abbildung 11: I2C-Bus im Messaufbau



Wie in Abb 11 zu sehen wird für jeden Sensor ein LTC4316 an die Busschnittstelle des NanoPi angeschlossen.(SDAIN, SCLIN).

An jeden LTC4316 wird ein AS7261 oder AS72651 angeschlossen.(SDAOUT, SCLOUT)  
 Bei Kommunikation vom Nano-Pi zum Sensor wird dann die I2C Adresse mit einem Faktor  
 (Translation Byte) welcher mit diskreten Widerständen eingestellt wird mit Fomel 1 verrech-  
 net, um so die Adresse anzupassen.(XORH,XORL). Um das Translation Byte einzustellen  
 müssen die Widerstände bla,bla und bla wie in Abb ?? am LTC4316 angeschlossen werden.

$$SensorAdresse \oplus TranslationByte = NeueAdresse \quad (1)$$

#### Beispiel Rechnung

$$0x49 \oplus 0x01 = 0x48$$

$$0x49 \oplus 0x02 = 0x4b$$

$$0x49 \oplus 0x05 = 0x4c$$

$$0x49 \oplus 0x06 = 0x4f$$

$$0x49 \oplus 0x0A = 0x43$$

$$0x49 \oplus 0x49 = 0x00$$

Abbildung 12: Translation  
Byte



In Tabelle 2 und 3 sind die unterschiedlichen Konfigurationen des Translation Bytes aufgelistet.

Im Handbuch ?? ist eine Liste zu finde welche Translation Bytes bereits verwendet werden. Wenn weitere Sensor Boards angefertigt werden ist die Liste dort weiter zu pflegen.

Tabelle 2: Untere 4 Bit des Translation Byte

a3	a2	a1	a0	$R_{LT}$	$R_{LB}$
0	0	0	0	Open	Short
0	0	0	1	976	102
0	0	1	0	976	182
0	0	1	1	1000	280
0	1	0	0	1000	392
0	1	0	1	1000	523
0	1	1	0	1000	681
0	1	1	1	1000	887
1	0	0	0	887	1000
1	0	0	1	681	1000
1	0	1	0	523	1000
1	0	1	1	392	1000
1	1	0	0	280	1000
1	1	0	1	182	976
1	1	1	0	102	976
1	1	1	1	Short	Open

Tabelle 3: Obere 3 Bit des Translation Byte

a6	a5	a4	$R_{LT}$	$R_{LB}$
0	0	0	Open	Short
0	0	1	976	102
0	1	0	976	182
0	1	1	1000	280
1	0	0	1000	392
1	0	1	1000	523
1	1	0	1000	681
1	1	1	1000	887

### 3.4 Companion Flash

Die Sensoren AS7261 und AS72651 benötigen einen flash speicher von welchem sie ihre Firmware laden können. Die jeweilige Firmware von AMS wird mithilfe von Flashcat-USB, einem

USB Memory Programmer über das SPI Protokoll auf den den Flash Speicher übertragen.  
Der AT25SF041-SSHD-B wurde aus der von AMS bereitgestellten liste kompatiebler Flash  
speichern ausgewählt da er am günstigsten ist.

## **4 System Topologie**

affe

## **5 Software**

## **6 Platine**

## **7 Benutzerhandbuch**

## **8 Messungen**

## **9 Zusammenfassung**

## **Literatur**