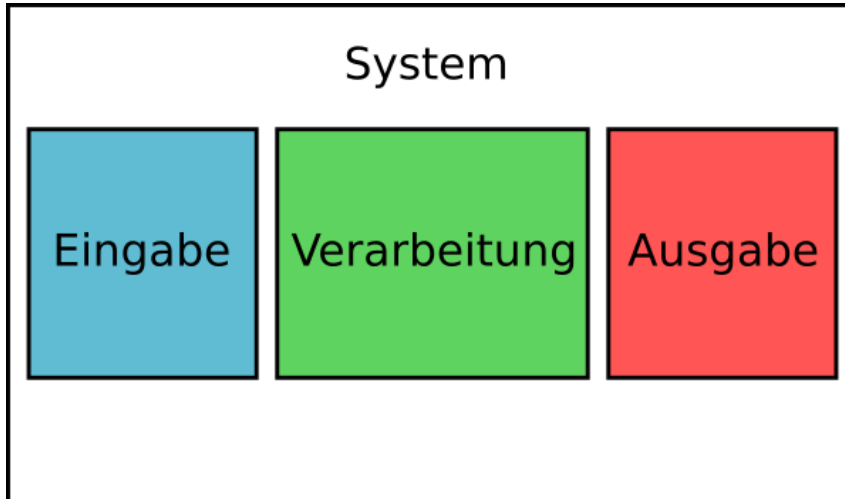


Architekturkonzept

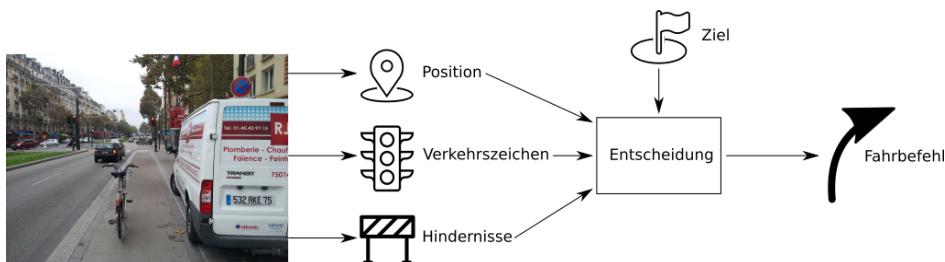
Einleitung

Ziel ist es, eine gemeinsame Architektur zu entwickeln, die sowohl vom SEC-Bike als auch vom Sonarboot als Grundlage genutzt werden kann. Jedes eingebettete System ist im Prinzip gleich aufgebaut und unterteilt sich in die folgenden drei Bausteine



In der Eingabe nehmen Sensoren die Umgebung wahr und wandeln die physikalischen Umgebungseindrücke in elektrische Signale um. Die Verarbeitung kombiniert auf einer Recheneinheit die Sensoreindrücke und trifft eine Entscheidung, die ein vorher bestimmtes Ziel verfolgt. In der Ausgabe führen Aktoren die getroffene Entscheidung aus.

SEC-Bike



Das SEC-Bike soll im Rahmen eines Forschungsprojekts des Bundes entstehen. Dabei handelt es sich um ein Lasten-Dreirad, das autonom fahren kann. Dieses kann per App bestellt werden um Personen auf kurzen Strecken komfortabel transportieren zu können. Ziel dieses Forschungsprojekts ist es, die Verkehrsbelastung in Ballungszentren zu reduzieren.

Untersuchungen zu Sensoren, die infrage kommen werden von einem anderen Studenten durchgeführt (Jens Juhl). Dieser hat folgende, in Frage kommende Sensoren aufgeführt:

- LIDAR
- (Stereo-) Kamera
- Ultraschall
- Beschleunigungssensoren
- GPS

Diese Sensoren sollen zwei maßgebliche Aufgaben erfüllen:

- Eigenlokalisierung
- Umgebungserkennung

Die Eigenlokalisierung ist notwendig, um das SEC-Bike an seinen Zielort zu führen. Dort sicher und ohne andere zu gefährden anzukommen, ermöglicht die Umgebungserkennung.

Aufgaben

- ✓ Torben Mehner Festlegen, was Teil dieser Arbeit ist
- ✓ Torben Mehner Zeitplan erstellen
- ✓ Torben Mehner Überprüfen, ob Libellium-Module Pin-kompatibel sind.
- ✓ Torben Mehner Matthias Diehl Batterie-Management in die Spannungsversorgung? zu individuell, lediglich Anforderung an Spannungsbereich festlegen Step-down-Regler bemessen
- ✓ Torben Mehner In Erfahrung bringen, welche Recheneinheit verwendet werden soll; Vorschlag: SLWRB4170A
- ✓ Torben Mehner Wie werden Motoren gesteuert? Ist ein Feedback notwendig? - evtl CAN-Bus (externer Controller)
- ✓ SD-Karten-Speicher
- ☐ Leistung/Peripherie für Subsystem Mikrocontroller (mightygecko von silabs bluetooth, thread, zigbee, sub-ghz)
- ✓ Matthias Diehl Mit Marc über MCU reden ist einverstanden, insgesamt die Plattform als "low-power" entwerfen inkl. Messungen und Stromsparanalyse
- ✓ Torben Mehner Thread IEEE 802.15.4 oder ZigBee
- ☐ Torben Mehner In Altium einarbeiten
- ✓ Torben Mehner BMP388 Drucksensor einbinden
- ✓ Vorschlag für externe Peripherie:

CAN: MCP25625

Ethernet: ENC28J60

Lora: SX1278 (muss nicht bestückt werden)

USB Uart (DEV_Interface): CP2102N
- ☐ Drahtloszugriff hacksicher machen. (Einfach rausziehen) FAST hat Frensteuerung, vllt übernehmen

LIDAR

LIDAR steht für Light Detection And Ranging und erkennt die Entfernung von Objekten im Umkreis mittels ausgesendeter Lichtstrahlen. Das LIDAR kann einzig zur Umgebungserkennung benutzt werden, da es nur Hindernisse erkennt.

(Stereo-) Kamera

Eine einfache Kamera dient der Umgebungserkennung, indem Hindernisse erkannt werden. Durch eine Stereokamera kann sogar der Abstand zu Hindernissen berechnet werden. Somit kann eine Stereokamera das LIDAR ersetzen, jedoch ist damit ein wesentlich höherer Rechenaufwand verbunden als mit dem LIDAR.

Die Kameradaten können aber noch für viel mehr genutzt werden. So ist es beispielsweise möglich Ampeln, Verkehrsschilder und den Fahrradweg zu erkennen. Ebenso ist eine Eigenlokalisierung möglich, indem die Kamerabilder mit einer riesigen Datenbank, die die Umgebung abbildet, verglichen werden.

Ultraschall

Ultraschall hat die selbe Funktionsweise wie das LIDAR, dient also auch der Umgebungsdetektion. Jedoch ist die Auswertung von Ultraschall-Signalen durch die geringere Ausbreitungsgeschwindigkeit der Schallwellen im Vergleich zu Lichtwellen sehr einfach. Das macht Ultraschall-Sensoren auch wesentlich günstiger als LIDAR-Sensoren, jedoch müssen Einbußen in der Störfestigkeit und Reichweite hingenommen werden. Durch die geringen Kosten können aber mehrere Sensoren verwendet werden.

GPS-Sensor

Dieser Sensor empfängt das Signal verschiedener Satelliten und errechnet daraus eine absolute Position. Diese hat jedoch eine Abweichung von knapp 10 Metern und die Funktion ist an den Satellitenempfang gebunden. In einem Tunnel oder unter Brücken funktioniert das Signal nicht. Daher muss die Lokalisierung für diese Zeit von einem anderen System übernommen werden.

Beschleunigungssensoren

Beschleunigungssensoren, oder IMUs (Inertial Measurement Units) messen die Beschleunigung, die auf den Sensor wirkt. Dabei gibt es Sensoren verschiedener Freiheitsgrade (DOF, Degrees of Freedom).

Ein 3DOF-Sensor misst drei Achsen, also entweder die Längsbeschleunigung in x-, y-, und z-Richtung oder die Winkelbeschleunigung um die x-, y- und z-Achse. Ein 6DOF-Sensor kombiniert diese beiden Möglichkeiten.

Durch die Integration über die Zeit, kann aus der Beschleunigung die absolute Position bestimmt werden. Diese ist jedoch nur kurzzeitstabil, da sich bereits kleine Abweichungen durch das Integral über längere Zeit stark auswirken. Daher ist es sinnvoll, eine Vergleichsmessung für die integrierten Größen durchzuführen. Deshalb wird bei einem 9DOF-Sensor das System um einen Magnetfeldsensor erweitert, der durch die Messung des Erdmagnetfelds eine absolute Lage bestimmen kann.

Um eine langzeitgenaue Referenzgröße für die Position zu erhalten, kann einen GPS-Sensor benutzen.

Kartendaten

Eine Karte ist eine Datenbank, die eine Position mit bekannten, statischen Hindernissen verknüpft. Die autonome Fahrt des SEC-Bikes wäre ohne Kartendaten nicht möglich, da eine Route auf Straßen oder Radwegen und nicht durch Häuser geplant werden muss.

Drehzahlmessung

Durch die Drehzahl der Räder kann die Fahrtgeschwindigkeit bestimmt werden. Diese kann als absolute Referenz für die Geschwindigkeit, eine integrale Größe eines IMUs benutzt werden.

- ☐ [Matthias Diehl](#) Der MightyGecko hat nicht genügend Peripherie (es fehlen 2 USART) um die Aufgabe, so wie sie im Moment steht, abzudecken. Eine Möglichkeit wäre, einen GiantGecko einzusetzen. Vgl. dazu das Dokument MCU-Belegung
- ☐ [30 Jul 2018 - 31 Jul 2018](#) [Matthias Diehl](#) Torben nicht am FZI

Boot

Ein autonom fahrendes Boot (ASV, Autonomous Surface Vehicle) benötigt, wie das SEC-Bike, Daten zur unmittelbaren Umgebung sowie zur eigenen Position. Je nach Einsatzort des ASVs ist die Umgebungskontrolle mehr oder weniger wichtig. Fährt es auf einer unbefahrenen Binnenwasserfläche, gibt es dort weniger Hindernisse zu erkennen. Auf einer SchiffsstraÙe ist mit wesentlich mehr Hindernissen zu rechnen.

Das hier beachtete Boot soll auf verkehrsfreien, stehenden Binnengewässern eingesetzt werden, weshalb die Anforderungen geringer sind. Die folgenden Sensoren sollten mindestens auf dem ASV vorhanden sein:

- Ultraschall
- Beschleunigungssensoren
- GPS

Sollte das ASV auf SchiffsstraÙen benutzt werden, ist ebenfalls noch eine Kamera und gegebenenfalls ein Radar oder LIDAR nötig.

Gemeinsamkeiten

Die beiden Anwendungsgebiete haben ähnliche Anforderungen, die durch eine gemeinsame Elektronik abgedeckt werden können. Diese Elektronik muss neben den Sensoren folgende Komponenten enthalten:

- Zentrale Recheneinheit
- Drahtlos-Datenverbindung
- Debug-Interface
- Stromversorgung

Recheneinheit

Die Recheneinheit muss ausreichend Rechenleistung haben, um alle Sensoren auszulesen, die Daten zu verarbeiten und darauf basierend eine Entscheidung zu fällen. Da eine Bildverarbeitung sehr Rechenaufwendig ist, muss die Recheneinheit viel leisten. Es wurde ein Nvidia Jetson-Board empfohlen.

Die Bildverarbeitung ist jedoch nur im SEC-Bike nötig, daher kann eine modulare Lösung mit zwei Recheneinheiten angestrebt werden. Dabei übernimmt ein Mikrocontroller das Auslesen der Sensoren sowie die Vorverarbeitung. Im Fall des SEC-Bikes können diese Informationen dann an das leistungsstarke Jetson-Board übertragen und dort weiter verarbeitet werden. Bei dem Boot kann die weitere Verarbeitung auf dem Mikrocontroller laufen.

Drahtlos-Datenverbindung

Die Datenverbindung benötigt nur eine geringe Bandbreite, da lediglich Positionsdaten und Zustände übertragen werden. Ein Stream von Video-Signalen ist nicht nötig.

Das SEC-Bike soll sich autonom zu dem Standort begeben, an den es mithilfe einer Smartphone-App bestellt wurde. Dazu muss es mindestens die Daten des Zielorts übermittelt bekommen. Da der Einsatz in Ballungszentren vorgesehen ist, kann auf vorhandene Netzwerkinfrastruktur, nämlich das Mobilfunknetz, zurückgegriffen werden.

Der Einsatzbereich des Boots liegt außerhalb von Ballungszentren, wo eine Mobilfunkabdeckung nicht zwangsweise gegeben ist. Da dieser Bereich aber räumlich sehr begrenzt ist, kann die Infrastruktur durch Aufstellen einer einzigen Basisstation selbst geschaffen werden.

Eine gemeinsame Lösung kann auch hier ein modularer Ansatz bieten. Die Firma Waspote stellt Module für IoT-Anwendungen her. Diese Firma hat sowohl ein Modul für Mobilfunk als auch für LoRa, was eine Alternative für das Boot ist.

Debug-Interface

Während der Entwicklung besteht die Notwendigkeit wesentlich mehr Daten als im eigentlichen Betrieb auszulesen. Dazu muss eine leistungsfähige Verbindung geschaffen werden. Das Jetson-Board unterstützt WLAN, was für das SEC-Bike als leistungsfähige Verbindung genutzt werden kann. Darüber können auch Video-Streams übertragen werden. Darüber hinaus bietet das Jetson-Board auch Displayanschlüsse, welche Onboard-Debugging erlauben.

Für das Boot sind einfachere Debug-Anschlüsse möglich, da dort die Bildverarbeitung wegfällt. Daher kann eine serielle Schnittstelle bereits reichen. Diese kann auch über Bluetooth realisiert werden. Etwas aufwändiger, dafür aber mächtiger ist die Implementierung einer WLAN-Schnittstelle mithilfe eines WiFi-Moduls.

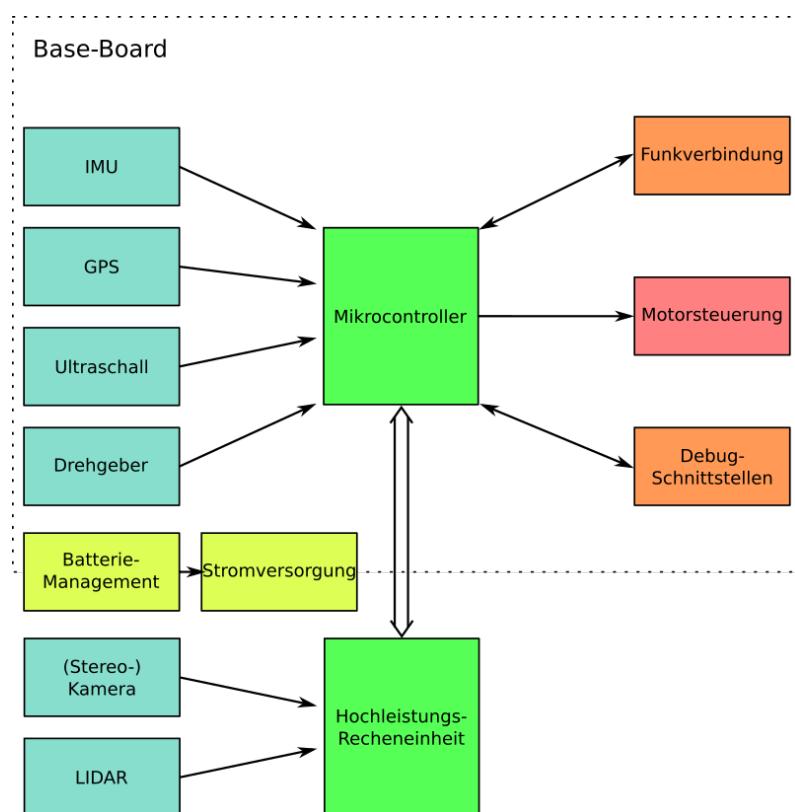
Stromversorgung

Die Stromversorgung wandelt die Eingangsspannung in verschiedene, von den Verbrauchern benötigte Spannungen um. Um diese entsprechend auszulegen ist zu klären, welche Verbraucher angeschlossen werden. Dazu sind entweder die Sensoren endgültig auszuwählen.

Ebenso wäre es möglich, einen Laderegler in die Stromversorgung einzubauen, sodass dieser nicht zusätzlich angeschlossen werden muss.

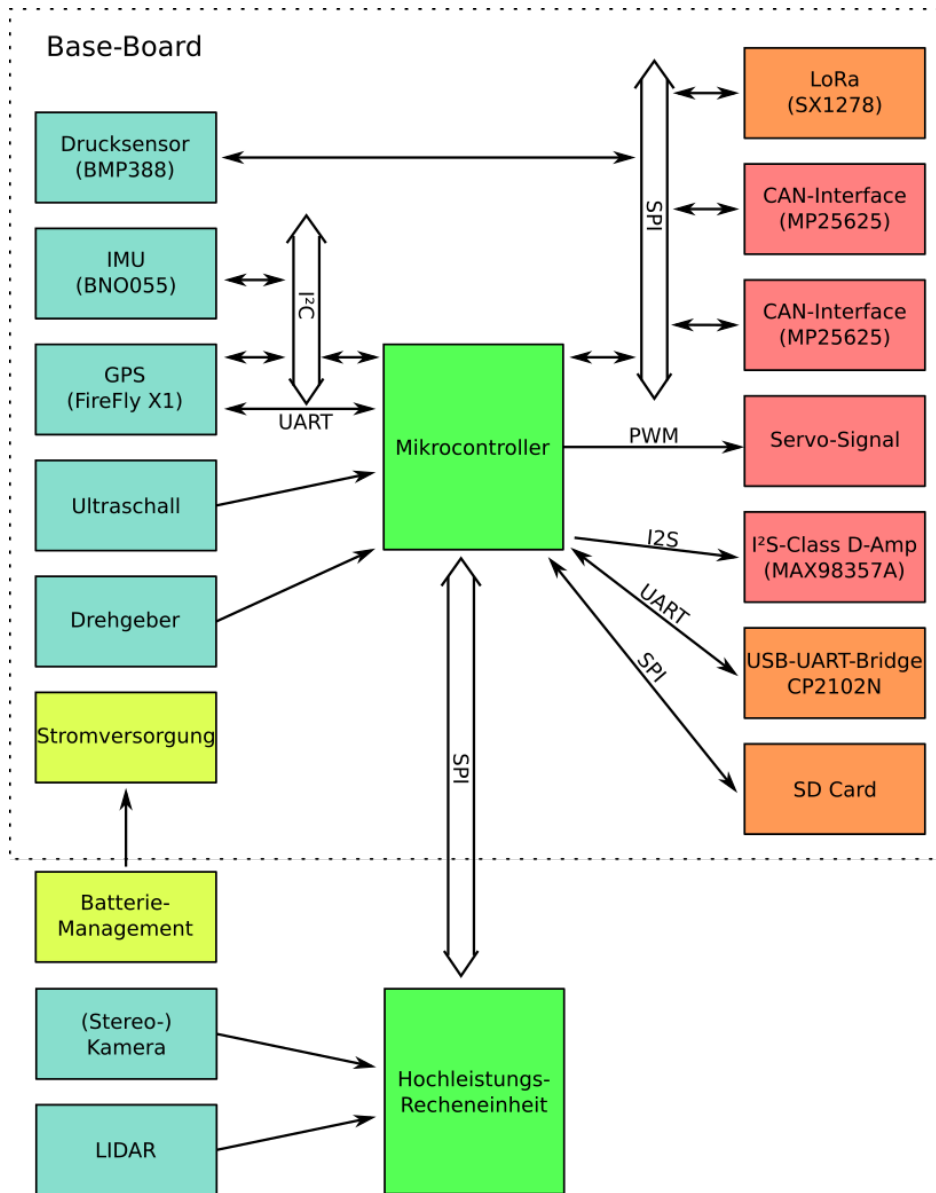
Lösungsansatz

Die Informationen aller Sensoren außer der Kamera können in einem Mikrocontroller verarbeitet werden. Da das von Jens ausgewählte LIDAR einen Ethernet-Anschluss hat, wäre hier eine Auswertung im leistungsfähigen Board einfacher.



Durch diese modulare Trennung, können beide Anwendungsgebiete mit beinahe gleicher Hardware realisiert werden. Für das Boot reicht das Base-Board, welches für das SEC-Bike um eine starke Recheneinheit mit Kamera und LIDAR ergänzt wird.

Detaillierte Architektur

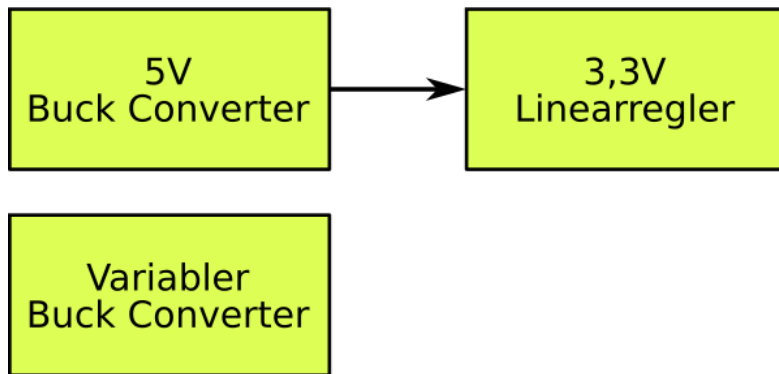


Endgültige Architektur

Stromversorgung und Batterie-Management

Das Batterie-Management-System (BMS) wird für eine bestimmte Batterie designed. Da diese jedoch vom Anwendungsfall abhängig ist, das Base-Board aber für ein breites Spektrum verwendbar sein soll, kann das BMS nicht in das Base-Board integriert werden.

Im Gegensatz dazu kann die Stromversorgung universell gehalten werden. Dazu muss sie jedoch überdimensioniert werden und kann damit nicht am Effizienzoptimum arbeiten. Die Stromversorgung soll die Batteriespannung auf die von den Komponenten benötigte Spannung herabsetzen. Sie soll aus folgenden Komponenten bestehen:



Variabler Buck-Converter

Der Variable Buck-Converter liefert die Energie für die Hochleistungsrecheneinheit. Da diese noch unbekannt ist, kann die Spannung eingestellt werden. Die Eingangsspannung kommt von der Pedelec-Batterie, die voraussichtlich 48V Nennspannung besitzt. Das bedeutet, dass die Ladeschlussspannung bei etwa 54V liegt. Der Buck-Converter muss, mit einem kleinen Sicherheitszuschlag, für eine Eingangsspannung von mindestens 64V ausgelegt sein.

Jens Juhl beurteilt vier Alternativen zur Bildverarbeitung, die im folgenden aufgelistet sind.

Board	Spannung [V]	Strom [A]
AIY Vision Kit	5	2,1
Intel UP² Grove	5	4..6
Intel Movidius Myriad 2 VPU	5	2,5+x
NVIDIA Jetson Evaluation Board	19	4,75
NVIDIA Jetson Module	12	0,5

Also muss der Buck-Converter auf eine Spannung zwischen 5V und 19V einstellbar sein und dabei einen Strom von mindestens 6A liefern können, bei einer maximalen Leistung von 90W.

Chip	Typ	Eingangsspannung [V]	Ausgangsspannung [V]	Ausgangsstrom [A]	Effizienz (48V-5V-1A)	Preis [€]
Texas Instruments LM5088	Controller	4,5..75	1,205...70	10	70%	2,92
Texas Instruments LM5145	Controller	6..75	0,8..40	30	60%	4,56
Linear LT3800	Controller	4..60	1,231..36	15	32%	5,57
Maxim MAX17506	Controller	4,5..60	0,9..0,9*Vin	4	85%	7,50
Microchip MIC2127A	Controller	4,5..75	0,6..30	5	84%	1,07

Da der MIC2127A alle nötigen Anforderungen erfüllt und am günstigsten ist, soll dieser verwendet werden. Dieser Buck-Converter benötigt zwei externe MOSFETs. Im Datenblatt wird für 5A Ausgangsstrom ein SiR878ADP von Vishay vorgeschlagen. Dieser wird vom Hersteller jedoch nicht mehr produziert. Daher soll ein neuer MOSFET ausgewählt werden, der dem vorherigen in Gate-Ladung und Durchlass-Widerstand ähnelt.

Eigenschaft	SIR878ADP	IPD180N10N3 G	SQJ476EP	ST D4 7N 10 F7 AG	S i R 8 7 8 B DP
R_DS, on [mOhm]	18	33	50	18	17
Gate Charge [nC]	21	25	20	25	29
Gate threshold voltage [V]	2.8	3.5	2.5	4.5	4.5

Der Vergleich zeigt, dass der STD47N10F7AG am besten geeignet ist, gefolgt vom IPD180N10N3 G, der zwar schlechtere Werte hat, dafür aber eine niedrige Gate-Schwellenspannung. Beide MOSFETs sind pinkompatibel und somit austauschbar.

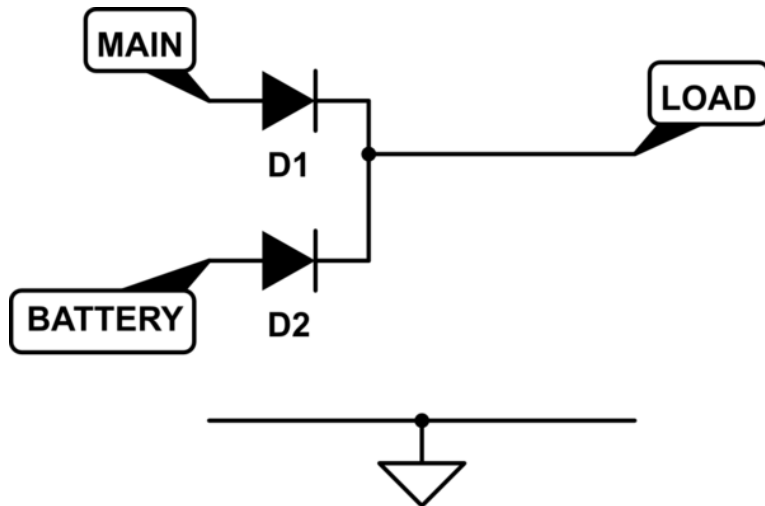
3,3V Festspannungsregler

Zum Erzeugen der 3,3V-Spannung wird ein Festspannungsregler eingesetzt. Dieser muss mindestens den von der Schaltung benötigten Strom von 590 mA liefern (vgl. BauteilAuswahl). Zum Einsatz soll ein LD1086D2M33TR von ST kommen. Dieser kann bis zu 1,5A Strom liefern, bei einem maximalen Dropout von 1,3V. Daher kann er an einer 5V-Versorgung betrieben werden.

Die abzuführende Leistung beträgt beim Maximalverbrauch der Schaltung $0,59A \cdot 1,7V = 1,003W$. Das führt beim größten SMD-Bauteil, dem D²PAK zu einer Temperatursteigerung von $1W \cdot 62,5K/W = 62,5K$. Um diese Temperatur zu senken, gibt es folgende Möglichkeiten:

- Eine entsprechend große PCB-Fläche die Kühlung unterstützt, evtl einen Kühlkörper vorsehen.
- Vorwiderstände, über die ein Teil der Spannung abfällt.
- Spannung des Schaltreglers auf 4,6V (die 5V Verbraucher benötigen mindestens 4,5V) senken. Das Absenken der Zwischenspannung verringert die Leistung auf 767mW und damit die Temperaturerhöhung auf 47,9K.

Das System soll auch ohne eine externe Batterie betrieben werden können. Daher soll die Schaltung automatisch die entsprechende Versorgung nutzen. Daher soll folgende Schaltung realisiert werden:



Diode	Vf (1A) [V]	If, cont [A]	Vr [V]	Preis (mouser) [€]
Infineon BAS3010A03WE6327HTSA1	0,47	1	30	0,34
Vishay VS-10BQ015HM3/5BT	0,32	1	15	0,45
Vishay VS-MBRS130L-M3/5BT	0,42	1	30	0,34
ON NSVR0320MW2T1G	0,50	1	20	0,32
Infineon BAT60AE6327HTSA1	0,37	3	10	0,39
Nexperia PMEG2010ER,115	0,34	1	20	0,32

Rectron FM5817-W	0,45	1	20	0,11
Panasonic DB2G42900L1	0,52	1	40	0,16

Die Preisdifferenz dieser Dioden ist gering. Da die Diode direkt vor den Festspannungsregler geschaltet wird, der auf 590 mA im Worst Case ausgelegt ist, reicht der spezifizierte Vorwärtssstrom aller Dioden. Je höher die Vorwärtsspannung, desto höher die Verlustleistung der Diode. Doch mit steigender Vorwärtsspannung sinkt die Spannung am Linearregler, wodurch dieser weniger Verlustleistung hat.

Daher ist es möglich, die preisgünstigste Diode zu verwenden. Diese hat ein DO-214-Package, welches weit verbreitet ist. Dadurch kann sie ohne großen Aufwand durch eine andere Diode ausgetauscht werden.

Rechnung der Verlustleistungen für 590mA:

$V_f, 590\text{mA} = 0,32\text{V}$
 $P_d = 0,32\text{V} \cdot 0,59\text{A} = 188,8\text{mW}$

$V_{in} = 4,68\text{V}$
 $P_d = (4,68\text{V} - 3,3\text{V}) \cdot 0,59\text{A} = 814,2\text{mW}$

Entsprechend sollten einige cm² Kupferfläche zur Kühlung eingesetzt werden.

5V-Buck-Converter

Dieses Schaltnetzteil liefert die Spannung für den Festspannungsregler und versorgt darüber hinaus die Ultraschallmodule, die CAN-Transceiver und den Audioverstärker. Da eine Diode die Spannung am Linearregler reduziert, kann der Buck-Converter 5V liefern. Der zu liefernde Strom beträgt in diesem Fall 1,3A. Das liegt in der Spezifikation des MIC2127A Schaltreglers. Dieser wird bereits für den variablen Buck-Converter verwendet. Die Wiederverwendung spart Entwicklungsarbeit.

Sensoren

Drucksensor

Als Drucksensor wird ein BMP388 von Bosch verwendet. Dieser zeichnet sich durch eine hervorragende Genauigkeit von 24 Bit auf 300 hPa bis 1250 hPa. Desweiteren liegt der Stromverbrauch bei geardemal 3,8µA. Er wird im FZI bereits in einigen Projekten benutzt und ist daher vorhanden.

Beschleunigungssensor

Der BNO055 von Bosch wurde von Jens Juhl im Rahmen seiner Masterarbeit für das SEC-Bike ausgewählt. Weil die zu entwerfende Sensorplattform für das SEC-Bike benutzt werden soll, ist dieser Sensor zu verwenden.

Er verfügt neben dem Beschleunigungs-, Dreh- und Magnetfeldsensor noch über einen Mikroprozessor, der die Daten vorverarbeitet und eine Lage berechnen kann. Dies entlastet den Mikrocontroller, der die Sensorfusion macht und beschleunigt die Entwicklung.

GPS-Sensor

Auch dieser Sensor wurde für Jens Juhl für das SEC-Bike ausgewählt und soll deshalb hier übernommen werden. Die Wahl fiel auf einen FireFly X1 von GlobalTop.

Ultraschallsensor

Das SEC-Bike fährt mit einer maximalen Geschwindigkeit von 6km/h und kann bei Gefahr binnen einer Sekunde anhalten. Daher braucht der Ultraschallsensor eine minimale Reichweite von 1,67 m. Bei der Rechnung wurde mit konstanten 6km/h gerechnet. Der tatsächliche Wert ist kleiner, da beim Anhalten die Geschwindigkeit abnimmt. Diese Abweichung bildet einen Puffer. Die tatsächlich benötigte Reichweite bei konstanter negativer Beschleunigung beträgt 83cm vom

Punkt an dem der Bremsvorgang eingeleitet wird. Mit dem Puffer wird die notwendige Verarbeitungszeit abgedeckt. Die Reichweite sollte auch nicht zu groß sein, da mit höherer Reichweite die Wiederholrate abnimmt.

Eine Reichweite von 4 Metern senkt die zum Bremsen nötige Beschleunigung von 3,33m/s² auf 0,59m/s² senkt.

$$0=0.5*a^3*4^2+1.6667$$

Industrielle Ultraschallmodule kommen aufgrund des hohen Preis nicht infrage. Die gelisteten Ultraschallmodule sind alle wasserdicht, sodass sie im freien eingesetzt werden können.

Modul	Reichweite [m]	Schnittstelle	Preis [€]
MaxBotics MB7070 XL-MaxSonar-WRA	0,2..7,65	UART, Pulse-Echo, Analog	84,56
DFRobot SEN0208	0,25..4,5	Pulse-Echo	14,07
TE501	0,25..4,5	Pulse-Echo	9,05

Der SEN0208 und der TE501 haben die selben Spezifikationen und sind sich auch im Aussehen sehr ähnlich. Es ist sehr wahrscheinlich, dass der TE501 eine Kopie des SEN0208 ist. Entsprechend wird die Schaltung für den SEN0208 geplant und funktioniert voraussichtlich für den günstigeren TE501, für den der Support aber schlechter ist.

Drehgeber

Um eine langfristig zuverlässige Messung zu ermöglichen, ist eine berührungslose Messmethode der Drehzahl vorzuziehen. In KFZ werden diese Messungen an allen vier Reifen durch Raddrehzahlsensoren durchgeführt. Die Daten werden dann von ABS und ESP ausgewertet. Ebenfalls wird daraus die aktuelle Geschwindigkeit berechnet.

Raddrehzahlsensoren sind Massenware und daher günstig. Sie messen die Raddrehzahl meist induktiv über ein Multipol-Rad, das sich am Sensor entlang bewegt. Dies erzeugt eine Sinuskurve des Magnetfelds am Sensor, aus dessen Frequenz die Raddrehzahl berechnet werden kann. Das Signal wird über eine international genormte 2-Draht-Schnittstelle übertragen. Dazu wird es auf die Versorgungsspannung moduliert. Diese Sensoren sind bereits ab 14€ mit Kabel erhältlich.

Alternativ könnten Standard-Hallsensoren verwendet werden, die wesentlich günstiger, aber nicht wassergeschützt sind. Diese benötigen ebenfalls ein Multipol-Rad, haben aber oft drei Anschlüsse und somit ein dediziertes Datensignal, das direkt ausgewertet werden kann.

Bei einem 8-fachen Multipol, einer Geschwindigkeit von 6 km/h und einem Radumfang von 1 Meter (was in etwa 13-Zoll-Reifen entspricht), muss der Sensor 13,3 mal pro Sekunde schalten. Auch günstige Sensoren sind in der Lage, diese Frequenz zu messen.

Eine optische Messmethode ist wegen dem Schmutz, der sich im Betrieb ansetzen kann, nicht möglich.

Sensor	Typ	Frequenz [Hz]	Reichweite [mm]	Schutzart	Kosten [€]
Panasonic GX-12	Induktiv	500	3,3	IP68	30
Cherry MP101401	Hall			IP68	6,16

Der Cherry-Sensor benötigt einen magnetischen Multipol. Beim Panasonic-Sensor reicht ein ferromagnetisches Zahnrad aus. In beiden Fällen genügt ein Digitaleingang mit Pull-Up oder Pull-Down.

Lenkwinkelmessung

Bei der Fahrt gibt die Position des Lenkers den Lenkwinkel an. Diese Position soll über einen Servo oder Schrittmotor gesteuert werden. Jedoch gibt es Fälle, in denen der Lenker sich nicht bewegen lässt, wie wenn das Rad in einer Straßenbahnschiene oder an einem Bordstein hängt. Um diese Fälle zu detektieren, muss der Lenkwinkel gemessen werden.

Auch diesen Sensor gibt es im KFZ, wo über Lenkradwinkelsensoren der Einschlag des Lenkrads gemessen wird. Diese gibt es wieder in drei verschiedenen Messvarianten. Neben einem Potentiometer kann man auch optische und magnetische Sensoren verwenden. Potentiometer haben den Nachteil, dass sie sich mit der Zeit abnutzen. Jedoch ist dieses Problem hier wesentlich kleiner, als bei der Raddrehzahlmessung.

Ausgabe

CAN-Interface

Das CAN-Interface dient möglicherweise zur Steuerung des Motors beim SEC-Bike. Dafür wurden verschiedene CAN-Interface-Bausteine verglichen. Der MCP25625 CAN-Controller verfügt über einen eingebauten Transceiver, was ihn von anderen Controllern im gleichen Preissegment unterscheidet.

PWM

Servos und Electronic Speed Controller (ESC) werden durch ein spezielles PWM-Signal gesteuert. Dieses kann direkt vom Mikrocontroller erzeugt werden und benötigt keine zusätzliche Beschaltung.

Audioausgabe

In überfüllten Gebieten, die das SEC-Bike durchqueren muss, kann es hilfreich sein, über eine Audioausgabe zu verfügen um Aufmerksamkeit zu erregen. Um die Integration einfach zu halten, wird ein Class-D-Verstärker mit I²C-Eingang eingesetzt. Dieses Protokoll wird von vielen modernen Mikrocontrollern unterstützt.

Die Audiodaten müssen in einem Rohformat wie .wav vorliegen. Da diese Dateien sehr groß sind, sollen die Daten auf einer SD-Karte gespeichert und bei Bedarf von dort gelesen werden.

Mikrocontroller

Christian King, der Forschung an autonomen Modellautos betreibt, betonte in einem Gespräch, dass die Motorsteuerung in harter Echtzeit erfolgen muss. Es ist daher notwendig zwei Mikrocontroller zu benutzen, wovon einer die Sensordaten abrufen und vorverarbeitet und der zweite nur noch die Entscheidung und Regelung der Motoren übernimmt. Dies löst auch das Problem unzureichender Peripherie.

Sensordatenverarbeitung

Der Mikrocontroller, der die Sensordaten verarbeitet, muss diese auch empfangen. Da die Sensordaten in Rohform nur auf diesem Mikrocontroller vorliegen, wird auch die SD-Karte hier angeschlossen. Dies führt dazu, dass an diesen Mikrocontroller auch der Audioverstärker angeschlossen werden muss, da die Audiodaten auf der SD-Karte vorliegen. Entsprechend wird folgende Peripherie benötigt:

- 2x SPI (Drucksensor&LoRa und Verbindung zu anderem Prozessor/Hochleistungsrechner)
- 1x QSPI (SD-Karte)
- 2x UART (GPS und USB-UART-Bridge)
- 1x I²C (GPS und IMU)
- 1x I²S (Audioverstärker)

Damit reicht hier die Peripherie eines MightyGeckos bereits nicht mehr aus. Es muss auf einen GiantGecko ausgewichen werden. Dieser verfügt auch über eine höhere Rechenkapazität, was die Umsetzung des Kalman-Filters zur Eigenlokalisierung vereinfacht.

Motorsteuerung

Dieser Mikrocontroller steuert Brushless-Motoren und Servos über ein PWM-Signal und die Motoren des SEC-Bikes über ein CAN-Signal. Daraus ergeben sich folgende benötigte Schnittstellen:

- 2x SPI (CAN und Verbindung zu anderem Prozessor/Hochleistungsrechner)
- 1x UART (USB-UART-Bridge)

Dafür kann ein MightyGecko verwendet werden, der noch über die Möglichkeit verfügt, eine Funkverbindung zu implementieren. Diese Funkverbindung kann sich aber auf die Echtzeiteigenschaften des Systems auswirken, weshalb dies bei der Programmierung zu berücksichtigen ist.

Das MightyGecko-Modul gibt es auch als Modul, sodass er bei Bedarf gegen ein anderes Modell ausgetauscht werden kann, das dann eine andere Funkverbindung unterstützt.

Debug-Schnittstellen

SD-Karte

Die SD-Karte soll verwendet werden, um rohe Sensordaten und eventuell Fahrbefehle in einer Logfile zu speichern. Da die Sensordaten mit dem GiantGecko aufgenommen werden, soll hier auch die SD-Karte angeschlossen werden. Das vereinfacht auch die Wiedergabe von Musik, da die Daten dann nur innerhalb eines Mikrocontrollers bewegt werden.

USB-UART-Bridge

Jeder Mikrocontroller soll mit einer USB-UART-Bridge ausgestattet sein, um Debug-Informationen auf einen Computer übertragen zu können. Es gibt verschiedene Ansätze, dies zu realisieren:

- Zwei komplett getrennte USB-UART-Bridges
Dieser Ansatz benötigt für jeden Mikrocontroller je einen USB-UART-Baustein (SiLabs CP2102N) sowie einen USB-Port. Entsprechend wird mit zwei Kabeln gearbeitet. Diese Methode benötigt den geringsten Entwicklungsaufwand und die Kosten der Bauteile belaufen sich auf 3,58€.
- Zwei USB-UART-Bridges über einen USB-Hub
Hier werden auch zwei CP2102N benötigt und ein USB-Hub-IC (Microchip USB2512B /M2). Die Kosten belaufen sich hierbei auf 4,64€.
- Eine Dual-Channel USB-UART-Bridge
Hier wird ein CY7C65215 von Cypress benötigt. Die Kosten dieses Chips und eines USB-Ports belaufen sich auf 3,30€.

Da es sich im Fall einer Dual-Channel USB-UART-Bridge um die kostengünstigste und komfortabelste Lösung handelt, wird diese umgesetzt.

LoRa-Transceiver

Der am weitesten verbreitete LoRa-Transceiver ist der SX1276 von Semtec. Die von Semtec veröffentlichten Design-Ressourcen offenbaren jedoch, dass ein extensives HF-Filter nötig ist, um gute Performance zu erreichen. Da keine Erfahrungen im HF-Design vorliegen, soll ein fertiges Modul zugekauft werden. Dieses kann bei Bedarf auch pinkompatibel nachgebildet werden, um eine andere Funkverbindung zu realisieren.

Finales Architerkurdiagramm

