

# seKwal

Absolut! Hier ist eine umfassende Projektdokumentation, die alle bisher gesammelten Informationen zusammenfasst und versucht, eine detaillierte Anleitung für Ihr DIY-Segway-Projekt zu geben.

—

## Probleme

- BNO085 nicht auf 100Hz gestellt → Test mit SerialPlot → Pitch immer 4-5 Werte gleich in der Kurve
- Garbage Collector Probleme bei zu komplexen print Anweisungen → Loop hat immer Spikes → SerialPlot
- Motoren verdreht
- 1 Motor invertiert
- Looptime falsch berechnet (es war nicht der ganze Code der Loop in der Zeitberechnung)
- sleep\_ms anstelle von sleep\_us → ungenaue Verzögerung der Looptime !

**Tuning** The final Step is to Tune the PID loop Kp, Ki & Kd parameters.

A good starting point is to slowly increase Kp until the robot oscillates around the balance point and can catch a fall. Next, start Kd at around 1% the value of Kp and increase slowly until the oscillations disappear and the robot glides smoothly when pushed. Finally, start with Ki around 20% of Kp and vary until the robot “overshoots” the setpoint to actively catch a fall and return to vertical.

## Links

- <https://learn.pimoroni.com/article/overclocking-the-pico-2>
- <https://github.com/dobodu/BOSCH-BNO085-I2C-micropython-library>

## Projektdokumentation: DIY Segway mit RP2350 und MessKi-Integration

**Version:** 0.1 (Entwurf) **Datum:** 26. Mai 2025

### 1. Projektübersicht und Ziele

**1.1. Projektidee** Entwicklung eines selbstbalancierenden, zweirädrigen Fahrzeugs (Segway-ähnlich) unter Verwendung eines Raspberry Pi RP2350 Mikrocontrollers für die Echtzeit-Regelung und der bestehenden “MessKi”-Software für übergeordnete Steuerung, Parametrierung, Datenerfassung und Visualisierung.

**1.2. Kernziele** \* Realisierung eines funktionierenden, selbstbalancierenden Fahrzeugs. \* Nutzung von MicroPython auf dem RP2350 für die Regelung. \* Nahtlose Integration mit der MessKi-Software über eine serielle/USB-Schnittstelle. \* Implementierung einer sicheren und intuitiven Steuerungsmethode. \* Modularer Aufbau für einfache Wartung und Erweiterung.

**1.3. Angestrebte Funktionen** \* Automatische Balance im Stand und während der Fahrt. \*

Steuerung von Geschwindigkeit und Richtung durch den Fahrer. \* Fahrererkennung als Sicherheitsmerkmal (Dead Man's Switch). \* Übertragung von Telemetriedaten (Neigungswinkel, Geschwindigkeit, Batteriestatus etc.) an MessKi. \* Empfang von Steuerparametern (z.B. PID-Werte, Geschwindigkeitslimits) von MessKi. \* Live-Visualisierung der Segway-Daten über das MessKi-Webinterface. \* Logging von Fahr- und Sensordaten für Analyse und Optimierung. \* Not-Aus-Funktion.

## 2. Systemarchitektur

**2.1. Komponentenübersicht** \* **Fahrzeugbasis:** Rahmen, Räder (Hoverboard), Standplattform. \* **Antriebseinheit:** 2x Hoverboard-Motoren mit integrierten Encodern, 2x Hoverboard-Motorcontroller. \* **Sensorik:** IMU (BNO085), Fahrererkennungssensoren. \* **Steuereinheit (Low-Level):** Raspberry Pi RP2350. \* **Steuereinheit (High-Level & UI):** PC/Server mit laufender MessKi-Software. \* **Kommunikationslink:** USB-Kabel (RP2350 als CDC-Device ↔ MessKi-Host). \* **Stromversorgung:** Hoverboard-Batterie, Step-Down-Konverter für RP2350 & Sensorik.

## 2.2. Aufgabenverteilung

### \* RP2350 (Echtzeit-Controller, MicroPython):

- Auslesen des BNO085 IMU-Sensors (Neigung, Winkelgeschwindigkeit).
- Implementierung des Balance-Algorithmus (PID-Regler) mit hoher Frequenz (Ziel: >100 Hz).
- Auslesen der Fahrererkennungssensoren.
- Auslesen der Lenk-Input-Sensoren (Drucksensoren oder Potentiometer).
- Berechnung der Motorsteuerbefehle basierend auf Balance, Fahrer-Input und MessKi-Befehlen.
- Ansteuerung der Hoverboard-Motorcontroller über UART.
- Implementierung von Sicherheitslimits (max. Neigung, max. Geschwindigkeit).
- Serielle Kommunikation mit MessKi:
  - Senden von Telemetriedaten (Winkel, Geschwindigkeit, Batteriestatus, Motorströme, etc.).
  - Empfangen und Verarbeiten von Steuerbefehlen (Soll-Geschwindigkeit) und Parametern (PID-Werte, Limits) von MessKi.
  - Durchführen von Kalibrierungsroutinen.

### \* MessKi (High-Level Steuerung, Monitoring, UI, Konfiguration):

- Benutzerschnittstelle (Web-Frontend) für:
  - Anzeige von Live-Telemetriedaten (Winkel, Geschwindigkeit, etc.).
  - Einstellen von Parametern (PID-Gains, Max-Speed, Max-Tilt).
  - Auslösen von Kalibrierungsroutinen auf dem RP2350.
  - Gamepad-Interface zur optionalen, indirekten Steuerung (z.B. Setzen einer Soll-Geschwindigkeit, \*nicht\* direkte Balance-Lenkung).
- Neues MessKi-Gerät "SegwayInterface":
  - Nutzt `SerialInput` oder `SCPIUsbInput` für die Kommunikation mit dem RP2350.
  - Definiert Channels und Measures für alle relevanten Segway-Daten.
  - Implementiert `@device\_action`-Methoden zum Senden von Befehlen/Parametern an den RP2350.
- Datenausgabe über `WebSocketOutputHandler` an das Frontend.
- Datenspeicherung über `CsvOutputHandler` für Analysen.
- Logging von Systemereignissen und Fehlern.

## 3. Hardwarekomponenten

### 3.1. Mikrocontroller: Raspberry Pi RP2350 \* Board:

RP2350-Board). \* **Vorteile:** Ausreichend Rechenleistung (Dual Cortex-M0+ mit FPU), genug GPIOs, ADC-Eingänge, I2C- und UART-Schnittstellen, gute MicroPython-Unterstützung. \* **Anschluss:** Über USB an den MessKi-Host-PC.

**3.2. Inertial Measurement Unit (IMU): Bosch BNO085** \* **Modul:** Breakout-Board mit BNO085. \* **Vorteile:** Hochintegrierte Sensor-Fusion-Algorithmen (Hillcrest/CEVA SH-2), liefert stabile Orientierungsdaten (Quaternionen, Eulerwinkel), entlastet den RP2350. Höhere Update-Raten und oft bessere Kalibrierung als BNO055. \* **Anschluss:** Über I2C an den RP2350. \* **Bibliothek:** [dobodu/BOSCH-BNO085-I2C-micropython-library](<https://github.com/dobodu/BOSCH-BNO085-I2C-micropython-library>)

**3.3. Motorisierung: Hoverboard-Motoren und -Controller** \* **Komponenten:** 2x Standard Hoverboard-Radnabenmotoren (meist BLDC mit Hallsensoren) und die zugehörigen Hoverboard-Motorcontroller-Platinen (oft zwei separate oder eine kombinierte). \* **Ansteuerung:** Die Motorcontroller werden typischerweise über UART mit einem spezifischen seriellen Protokoll angesteuert. Das Protokoll beinhaltet oft Befehle für Geschwindigkeit/Drehmoment für jedes Rad.

- Ihr `HopfNRoll`-Projekt ist hier eine wertvolle Referenz für das Protokoll.

\* **Verbindung zum RP2350:** Über eine UART-Schnittstelle des RP2350.

- **Level Shifter:** Unbedingt erforderlich, wenn die Hoverboard-Controller mit 5V Logikpegel arbeiten und der RP2350 mit 3.3V. Ein bidirektonaler Level-Shifter für TX/RX ist notwendig.

**3.4. Fahrererkennung: Fußschalter / Drucksensoren** \* **Variante A (einfach): Fußschalter**

- 2x robuste Mikroschalter oder Endschalter.
- Montage unter den Fußpads, sodass sie bei Belastung schließen.
- Anschluss an digitale GPIO-Pins des RP2350 (mit internem oder externem Pull-up/-down Widerstand).

\* **Variante B (fortgeschritten): Drucksensoren (FSRs)**

- 2x oder 4x Force Sensitive Resistors (FSRs).
- Montage unter den Fußpads.
- Anschluss an ADC-Eingänge des RP2350 (oft über einen Spannungsteiler).
- Ermöglicht eine feinere Erkennung und potenziell eine gewichtsbasierte Steuerung.

\* **Ziel:** Motoren nur aktivieren, wenn beide Fußpads belastet sind.

**3.5. Lenkmechanismus (Optionen)** \* **Option A: Drucksensoren (wie 3.4B, erweitert für Lenkung)**

- Mindestens ein FSR pro Fußpad, besser zwei (vorne/hinten) pro Pad.
- Software interpretiert differentielle Druckverteilung zwischen linkem/rechtem Fuß und vorderem/hinterem Bereich der Pads als Lenkimpuls.

\* **Option B: Lenkstange mit Potentiometer**

- Mechanische Konstruktion einer neigbaren Lenkstange.
- Ein Dreh-Potentiometer (z.B. 10kΩ linear) erfasst den Neigungswinkel der Stange.
- Potentiometer an einen ADC-Eingang des RP2350.

### \* Option C: Joystick direkt am RP2350 (weniger empfohlen für die Hauptlenkung)

- Ein kleiner analoger Thumstick, montiert an einer Festhalte-Struktur.
- X-Achse des Joysticks an einen ADC-Eingang.

### 3.6. Stromversorgung \* Hauptbatterie:

Standard Hoverboard Li-Ion Akku (typ. 36V, 10S). \*

**RP2350-Versorgung:** Step-Down (Buck) Konverter-Modul, das die 36V der Hauptbatterie auf stabile 5V (für USB-Power-Input des Pico) oder direkt 3.3V (für VSYS-Pin des Pico) reduziert.

- Der Konverter muss den Strombedarf des RP2350, der IMU und ggf. anderer 3.3V-Komponenten decken können.

**\* Verkabelung:** Geeignete Kabelquerschnitte, Sicherungen für den Hauptstromkreis und den Step-Down-Konverter.

**3.7. Optionale Komponenten** \* Status-LEDs (für Betriebszustand, Fehler, Kalibrierung) direkt am RP2350. \* Ein kleiner Summer für akustische Signale. \* Not-Aus-Schalter (Hardware), der die Stromzufuhr zu den Motoren unterbricht.

**3.8. Materialliste (geschätzt, ohne Hoverboard-Basis)** \* Raspberry Pi RP2350 (Pico W oder ähnliches) \* BNO085 Breakout-Board \* 2-4x Fußschalter oder FSRs \* Step-Down Konverter (36V → 5V/3.3V) \* Bidirektionaler Level Shifter (3.3V ↔ 5V, falls nötig für Hoverboard UART) \* Potentiometer (für Option 3.5B) oder Joystick-Modul (Option 3.5C) \* Kabel, Steckverbinder (JST, Dupont etc.), Schrumpfschlauch \* Lochrasterplatine oder kleine Prototyping-Platine \* Gehäuse für Elektronik \* Material für Rahmen/Plattform (Holz, Aluminiumprofile)

## 4. Software-Implementierung: RP2350 (MicroPython)

**4.1. Entwicklungsumgebung** \* Thonny IDE oder VS Code mit MicroPython-Erweiterung (z.B. Pico-W-Go). \* REPL-Zugriff über USB-Serial für direktes Testen und Debugging.

**4.2. Softwarestruktur (RP2350)** \* `main.py`: Hauptprogramm, Initialisierung, Start der asynchronen Tasks. \* `bno085\_handler.py` (oder ähnlich): Kapselt die Logik für die BNO085-Bibliothek, liefert aufbereitete Winkeldaten. \* `hoverboard\_protocol.py`: Implementiert das Senden von Befehlen an die Hoverboard-Controller (inkl. Checksumme). \* `pid\_controller.py`: Klasse oder Funktionen für den PID-Regler. \* `config.py`: Speichert Kalibrierwerte, PID-Konstanten (ggf. aus Flash geladen). \* `utils.py`: Hilfsfunktionen (z.B. Quaternion-zu-Euler-Umrechnung, Mapping-Funktionen). \* Asynchrone Tasks (`uasyncio`):

- `balance\_loop()`: Hauptregelkreis (IMU lesen, PID, Motoren ansteuern).
- `messki\_communication\_loop()`: Kommunikation mit MessKi.
- Optional: `sensor\_read\_loop()`: Wenn IMU-Auslesung oder andere Sensorik komplexer ist und separat laufen soll.

**4.3. IMU-Integration (BNO085)** \* Einbindung der `BOSCH-BNO085-I2C-micropython-library`. \* Konfiguration der I2C-Schnittstelle auf dem RP2350. \* Initialisierung des BNO085. \* Aktivierung des benötigten Sensor-Reports (z.B. `BNO\_REPORT\_GAME\_ROTATION\_VECTOR` für Neigung ohne Magnetfeldeinfluss oder `BNO\_REPORT\_ROTATION\_VECTOR` für 9-Achsen-Fusion). \* Implementierung einer Funktion `get\_raw\_bno\_pitch\_from\_sensor()`, die den rohen Pitch-Winkel (oder den relevanten Neigungswinkel) vom Sensor liefert. Dies erfordert das Parsen der Daten aus dem Report der Bibliothek. \* Implementierung der Kalibrierungsroutine (siehe 4.10).

**4.4. Balance-Algorithmus (PID-Regler)** \* Implementierung einer PID-Reglerfunktion oder -klasse.

- Eingang: `current\_calibrated\_tilt\_angle`, `target\_angle` (sollte 0.0 nach Kalibrierung sein).
  - Ausgang: Korrekturwert für die Motorgeschwindigkeit.
- \* Parameter `KP`, `KI`, `KD` (Proportional, Integral, Derivative Anteile). \* Berechnung des Fehlers: `error = target\_angle - current\_calibrated\_tilt\_angle`. \* Berechnung des Integral-Terms (Summe der Fehler über Zeit), inkl. Anti-Windup. \* Berechnung des Differential-Terms (Änderungsrate des Fehlers). \* Loop-Zeit (`dt`) muss berücksichtigt werden. \* `pid\_output = (KP \* error) + (KI \* integral\_error) + (KD \* derivative\_error)`. \* **Tuning:** Die PID-Werte müssen experimentell ermittelt werden. Starten Sie mit kleinem P, dann D, dann I.

#### **4.5. Motoransteuerung (Hoverboard-Controller)** \* Konfiguration der UART-Schnittstelle des RP2350. \* Implementierung der Funktion `send\_hoverboard\_command(left\_speed, right\_speed)`:

- Nimmt Soll-Geschwindigkeitswerte für linken und rechten Motor (z.B. -1000 bis +1000).
- Erzeugt das korrekte serielle Datenpaket gemäß Hoverboard-Protokoll.
- Berechnet und fügt die erforderliche Checksumme hinzu.
- Sendet das Paket über UART an die Motorcontroller.

#### **4.6. Fahrererkennung** \* Funktion `is\_rider\_present()`:

- Liest die Zustände der Fußschalter-GPIOs oder die Werte der FSR-ADCs.
- Gibt `True` zurück, wenn ein Fahrer erkannt wird (z.B. beide Schalter gedrückt / ausreichender Druck auf FSRs).
- Wichtig: Der `balance\_loop` darf die Motoren nur aktivieren, wenn ein Fahrer präsent UND das System kalibriert ist.

#### **4.7. Lenkungslogik** \* Funktion `read\_steering\_input\_locally()`:

- Liest die Werte der Lenksensoren (Drucksensoren oder Potentiometer).
- Wandelt die Rohwerte in einen normalisierten Lenkbefehl um (z.B. -1.0 für voll links, 0.0 für geradeaus, +1.0 für voll rechts).

\* Integration in `balance\_loop()`:

- `steer\_effect = normalized\_steer\_input \* STEER\_SENSITIVITY`.
- `left\_motor\_cmd = base\_speed\_command - steer\_effect`.
- `right\_motor\_cmd = base\_speed\_command + steer\_effect`.
- `base\_speed\_command` kommt vom PID-Regler und dem Geschwindigkeits-Sollwert von MessKi.
- `STEER\_SENSITIVITY` muss experimentell abgestimmt werden.

#### **4.8. Kommunikation mit MessKi (Protokoll)** \* RP2350 agiert als serielles Gerät (USB CDC). \* **RP2350 → MessKi (Telemetrie):**

- Regelmäßiges Senden von Datenpaketen, z.B. als ASCII-Zeilen oder JSON-Strings.
- Format: `KEY1=VALUE1,KEY2=VALUE2\n` oder `{"tilt": 1.23, "vbat": 35.8}\n`
- Beispiele für Daten: `calibrated\_tilt\_angle`, `raw\_pitch`, `motor\_left\_cmd`, `motor\_right\_cmd`, `battery\_voltage` (falls messbar), `rider\_present\_status`, `current\_steer\_input`, `pid\_error`, `pid\_integral`, `pid\_derivative`, `pid\_output`.

#### **\* MessKi → RP2350 (Befehle/Parameter):**

- Format: `CMD:ACTION=VALUE\n` oder `SET:PARAM=VALUE\n`

- Beispiele:
  - `CMD:SPEED=200` (Soll-Geschwindigkeit für Vorwärts/Rückwärts)
  - `SET:KP=12.5`
  - `SET:MAX\_TILT=20.0`
  - `CMD:CALIBRATE\_NOW`
  - `CMD:EMERGENCY\_STOP`
- Funktion `process\_messki\_command(command\_str)` auf dem RP2350 zum Parsen und Anwenden.

**4.9. Sicherheitsfunktionen und Fehlerbehandlung \* Maximale Neigung:** Wenn `calibrated\_tilt\_angle` einen kritischen Wert überschreitet (z.B. > 25-30 Grad), Motoren sofort abschalten oder sanft herunterregeln. \* **IMU-Fehlererkennung:** Wenn `get\_tilt\_angle()` `None` zurückgibt oder Fehler signalisiert, Motoren stoppen. \* **Fahrer nicht präsent:** Motoren sofort stoppen. \* **Kommunikationsverlust zu MessKi:** Nach einer bestimmten Zeit ohne “Heartbeat” oder Befehl von MessKi in einen sicheren Zustand gehen (z.B. Stopp). \* **Batterie-Unterspannung:** Motoren abschalten, um Tiefentladung zu verhindern (falls Batteriespannung gemessen wird).

#### 4.10. Kalibrierungsroutinen \* Winkel-Offset-Kalibrierung:

- Funktion `calibrate\_level\_procedure()` wie zuvor besprochen.
- Auslösbar über Taster am Segway oder Befehl von MessKi.
- Speichern des `ANGLE\_OFFSET` im Flash (`config.py` oder separate Datei).
- Laden des Offsets beim RP2350-Start.

#### \* Lenkungs-Kalibrierung (falls nötig):

- Für Potentiometer: Mittelstellung und Maximalausschläge erfassen.
- Für Drucksensoren: Ruhewerte und Werte bei maximaler Belastung/Neigung erfassen.

### 5. Software-Implementierung: MessKi-Integration

#### 5.1. Neues MessKi-Gerät: “SegwayInterface” \* Config(`SegwayConfig(DeviceConfigBase)`):

- `device\_class: Literal[“SegwayInterface”] = “SegwayInterface”`
- `name: str = “RP2350 Segway Controller”`
- `input\_configs`: Liste, die eine `SerialInputConfig` für den USB-Port des RP2350 enthält (Port muss vom Benutzer eingestellt werden).
- `active\_input\_uuid`: UUID der `SerialInputConfig`.
- Felder für Standard-PID-Werte, Max-Speed, Max-Tilt, die beim Start an den RP2350 gesendet werden können.
- `fetch\_interval\_sec`: Wie oft MessKi aktiv Daten vom RP2350 anfordert (falls Pull-Mechanismus) oder Verarbeitungsintervall für empfangene Daten. Eher gering halten, da RP2350 von sich aus senden sollte.

#### \* Handler (`SegwayHandler(DeviceBase)`):

- `\_\_activate()`: Stellt sicher, dass der serielle Port geöffnet ist. Sendet ggf. initiale Konfigurationsparameter an den RP2350.
- `\_\_run\_device\_task()`:
  - Liest kontinuierlich Daten vom seriellen Input (`await self.\_read\_from\_active\_input()`).
  - Parst die empfangenen Telemetrie-Strings/JSONs vom RP2350.
  - Aktualisiert die entsprechenden Measures in den MessKi-Channels.

- Holt Gamepad-Daten vom `GamepadHandler`.
- Berechnet daraus eine Soll-Geschwindigkeit (z.B. Vorwärts/Rückwärts basierend auf einem Stick). **Wichtig: Die feine Balance-Lenkung geschieht auf dem RP2350! MessKi liefert nur den “Wunsch” des Fahrers.**
- Sendet die Soll-Geschwindigkeit (und ggf. grobe Lenkrichtung, falls gewünscht, aber eher nicht für Balance) an den RP2350.
- `@device\_action` Methoden:
  - `set\_pid\_gains(kp: float, ki: float, kd: float)` : Sendet `SET:KP=...` etc. an RP2350.
  - `set\_max\_speed(speed: int)`
  - `set\_max\_tilt\_angle(angle: float)`
  - `trigger\_calibration()` : Sendet `CMD:CALIBRATE\_NOW` an RP2350.
  - `send\_emergency\_stop()` : Sendet `CMD:EMERGENCY\_STOP` .
  - `send\_target\_speed(speed: int)` (intern von `run\_device\_task` genutzt oder als Action).

**5.2. Input-Handler Konfiguration (Serial/USB)** \* In der `SegwayConfig` wird eine `SerialInputConfig` definiert. \* Der `port` muss vom Benutzer in MessKi auf den korrekten virtuellen COM-Port / `/dev/ttyACMx` des RP2350 eingestellt werden. \* Baudrate, etc. müssen mit den Einstellungen auf dem RP2350 übereinstimmen. \* `read\_mode` in MessKi sollte “readline” sein, wenn der RP2350 mit Newline terminiert. `terminator` entsprechend setzen (z.B. `\n`).

### **5.3. Channel- und Measure-Definitionen in MessKi (für `SegwayConfig`)** \* Channel “Segway Telemetry”:

- `TiltAngle` (NumericMeasure, Einheit: Grad)
- `AngularVelocity` (NumericMeasure, Einheit: Grad/s)
- `BatteryVoltage` (NumericMeasure, Einheit: V)
- `MotorLeftSpeed` (NumericMeasure, Einheit: RPM oder Einheit vom RP2350)
- `MotorRightSpeed` (NumericMeasure, Einheit: RPM oder Einheit vom RP2350)
- `RiderPresent` (StringMeasure oder NumericMeasure: “JA”/“NEIN” oder 1/0)
- `SteeringInputRaw` (NumericMeasure, Rohwert vom Lenksensor)
- `PIDError` (NumericMeasure)
- `PIDOutput` (NumericMeasure)
- `RP2350Status` (StringMeasure, z.B. “BALANCING”, “CALIBRATING”, “ERROR”)

#### \* Channel “Control Outputs”:

- `TargetSpeedToRP` (NumericMeasure, von MessKi an RP2350 gesendet)
- `TargetSteerToRP` (NumericMeasure, falls MessKi auch Lenkimpulse sendet)

#### \* Channel “PID Parameters”:

- `Param\_KP` (NumericMeasure, spiegelt den Wert auf dem RP2350 wider, lesend)
- `Param\_KI` (NumericMeasure)
- `Param\_KD` (NumericMeasure)

\* Outputs: `WebSocketOutputHandler` für alle relevanten Channels, `CsvOutputHandler` für Telemetrie.

**5.4. Steuerung über MessKi (Gamepad, API)** \* Das Gamepad in MessKi wird *nicht* für die direkte Links/Rechts-Balance-Lenkung verwendet. \* Es kann verwendet werden, um eine **Soll-Geschwindigkeit** (vorwärts/rückwärts) an den RP2350 zu senden. Der `run\_device\_task` im `SegwayHandler` würde z.B. den Y-Achsenwert eines Sticks lesen und als `CMD:SPEED=...` an den

RP2350 senden. \* Die API-Endpunkte (`@device\_action`) ermöglichen das Setzen von Parametern (PID, Limits) und das Auslösen von Aktionen (Kalibrierung, Not-Aus).

**5.5. Datenvisualisierung und -logging** \* MessKi-Webfrontend zeigt Live-Werte aus den "Segway Telemetry"-Measures an. \* Grafische Darstellung von Neigungswinkel, Geschwindigkeiten etc. \* CSV-Logging für spätere Analyse der Fahrdynamik und PID-Abstimmung.

## 6. Mechanische Konstruktion

**6.1. Rahmen und Plattform** \* Stabiler Rahmen, der die Hoverboard-Achsen/Motoren aufnimmt. \* Eine Plattform für den Fahrer, die ausreichend Platz bietet und die Montage der Fußschalter/Drucksensoren ermöglicht. \* Materialien: Aluminiumprofile, Multiplex-Holz, Stahl (je nach verfügbaren Mitteln und Fähigkeiten). \* Schwerpunkt beachten: Der Gesamtschwerpunkt (Fahrer + Segway) sollte sich möglichst über der Radachse befinden.

**6.2. Montage der Komponenten** \* RP2350, BNO085, Step-Down-Konverter, Level-Shifter in einem geschützten Gehäuse unterbringen. \* BNO085 möglichst nahe am Drehzentrum (Radachse) und vibrationsarm montieren. Die genaue Ausrichtung (X, Y, Z Achsen) muss in der Software berücksichtigt werden. \* Sichere Montage der Batterie.

**6.3. Lenkmechanismus (falls zutreffend)** \* **Drucksensoren:** Sauber unter den Fußpads integrieren, sodass sie zuverlässig auf Gewichtsverlagerung reagieren. \* **Lenkstange:** Stabile Lagerung der Drehachse, spielfreie Verbindung zum Potentiometer/Encoder. Endanschläge für die Lenkstange vorsehen.

**6.4. Verkabelung und Stromverteilung** \* Sorgfältige Verkabelung mit ausreichenden Querschnitten, besonders für die Motorcontroller und die Hauptbatterie. \* Zugentlastung für alle Kabel. \* Übersichtliche Stromverteilung mit Sicherungen. \* Gute Abschirmung für Signalleitungen (IMU, UART), um Störungen zu vermeiden.

## 7. Testplan und Inbetriebnahme

**SEHR WICHTIG: Bei allen Tests mit Motorkraft äußerste Vorsicht walten lassen! Das Segway muss immer gesichert sein, um unkontrolliertes Wegfahren oder Umkippen zu verhindern! Beginnen Sie mit aufgebockten Rädern.**

**7.1. Modultests (RP2350)** \* **BNO085:** Daten auslesen, Winkelberechnung prüfen, Kalibrierung testen. Ausgabe über Serial an PC. \* **Hoverboard-Controller:** Serielle Befehle senden, Motoren manuell drehen lassen (langsam!), Drehrichtung prüfen. \* **Fahrererkennung:** Funktion der Schalter/FSRs prüfen. \* **Lenksensorik:** Rohwerte der Drucksensoren/Potis auslesen und prüfen.

**7.2. Statische Balance-Tests (gesichert)** \* Segway aufbocken, sodass die Räder frei drehen können, aber das Gestell nicht umkippen kann. \* Fahrererkennung aktivieren (Gewichte auf Pads). \* Balance-Regler (PID) aktivieren. \* **Ziel:** Die Räder sollten versuchen, die Plattform horizontal zu halten, wenn sie manuell leicht geneigt wird. \* PID-Tuning beginnen:

1. Nur P-Anteil (I und D auf 0): P erhöhen, bis leichte Oszillationen auftreten. Dann P etwas reduzieren.
2. D-Anteil hinzufügen: D erhöhen, um Oszillationen zu dämpfen.
3. I-Anteil hinzufügen (vorsichtig): I erhöhen, um statische Fehler auszugleichen.  
\* Iterativ vorgehen!

**7.3. Dynamische Balance-Tests (mit Fahrer, SEHR GUT GESICHERT!)** \* Personen zum Sichern bereitstellen! Langsam beginnen. \* In einem Bereich mit viel Platz und ohne Hindernisse. \* Schutzausrüstung tragen (Helm!). \* Feintuning der PID-Werte. \* Testen der Reaktion auf leichte Störungen.

**7.4. Lenkungstests** \* Wenn Balance grundlegend funktioniert, Lenklogik aktivieren. \* Zuerst bei sehr langsamer oder keiner Vorwärtsbewegung testen. \* `STEER\_SENSITIVITY` anpassen für ein angenehmes Lenkverhalten.

**7.5. MessKi-Integrationstests** \* RP2350 mit MessKi verbinden. \* Prüfen, ob Telemetriedaten korrekt in MessKi angezeigt werden. \* Testen der Parameteränderung über MessKi (PID-Werte, Limits). \* Testen der Soll-Geschwindigkeitsvorgabe von MessKi an RP2350.

**7.6. Sicherheitsüberprüfungen** \* Funktion der Fahrererkennung unter allen Bedingungen. \* Reaktion auf maximale Neigung. \* Not-Aus-Funktion. \* Verhalten bei niedrigem Batteriestand.

**8. Mögliche Erweiterungen und Zukünftige Arbeiten** \* Verbesserte Sensor-Fusion-Algorithmen (falls nicht BNO085). \* Adaptiver PID-Regler. \* Energierückgewinnung beim Bremsen (Hoverboard-Controller unterstützen das oft). \* Integration von GPS für Tracking. \* Fortgeschrittenere Fahrmodi (z.B. Sport, Eco). \* Hinderniserkennung.

## 9. Sicherheitshinweise (SEHR WICHTIG!)

\* **Dies ist ein potenziell gefährliches Projekt!** Ein unkontrolliertes Segway kann schwere Verletzungen verursachen oder Sachschäden anrichten. \* **Arbeiten Sie immer mit größter Vorsicht!** \* **Tragen Sie immer geeignete Schutzausrüstung** (Helm, Knie-/Ellbogenschützer) bei Testfahrten. \* **Sichern Sie das Segway bei Tests immer**, besonders in der Anfangsphase (z.B. aufbocken, Haltevorrichtungen, zweite Person). \* **Implementieren Sie mehrere Sicherheitsebenen** (Fahrererkennung, Neigungslimits, Not-Aus). \* **Beginnen Sie mit niedrigen Geschwindigkeiten und geringer Leistung.** \* **Testen Sie in einem sicheren, freien Bereich ohne Hindernisse oder andere Personen.** \* **Seien Sie sich der Grenzen Ihrer Fähigkeiten und der Hardware bewusst.** \* **Lithium-Ionen-Akkus erfordern sorgfältigen Umgang!** Kurzschlüsse und Überladung vermeiden. Brandschutz beachten. \* **Übernehmen Sie die volle Verantwortung für Ihr Projekt und dessen Betrieb.**

—  
Diese Dokumentation ist ein umfangreicher Leitfaden. Beginnen Sie mit kleinen, überschaubaren Schritten und testen Sie jede Komponente gründlich, bevor Sie sie integrieren. Das Debugging und Tuning des Balance-Reglers wird die meiste Zeit in Anspruch nehmen.

Viel Erfolg bei diesem spannenden Vorhaben!

From:  
<https://drklipper.de/> - Dr. Klipper Wiki

Permanent link:  
<https://drklipper.de/doku.php?id=projekte:sekwai:start>



Last update: 2025/06/27 03:49