

8. August 2022

## Messung der Geschwindigkeit am Nabendynamo eines Fahrrads

Sven Barger, Jeremias Beth

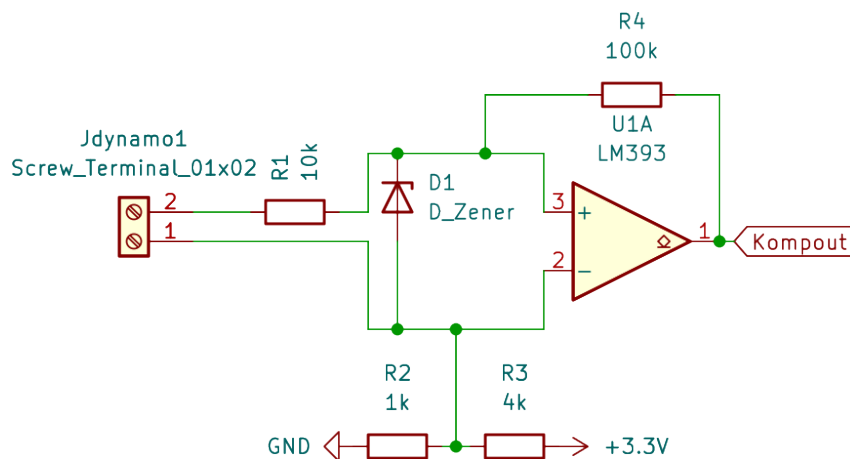


# 1 Motivation

Die meisten Fahrräder im alltäglichen Gebrauch haben einen Nabendynamo, also einen Wechselspannungsgenerator in der vorderen Radnabe. In dessen Spannungssignal ist Geschwindigkeit des Fahrrads kodiert. Die Messung der Geschwindigkeit anhand des Dynamos bringt einige Vorteile gegenüber einem „normalen“ Fahrradtacho mit Magnetschalter und extra Magneten am Vorderrad.

- Geringere Fehleranfälligkeit, da kein extra Magnet benötigt wird, der verdreht werden kann.
- Bessere Auflösung, da mehr als eine Erfassung pro Umdrehung des Rads möglich ist. Die Nabendynamos von Shimano haben 14 Pole, eine Umdrehung entspricht also 14 Perioden des Spannungssignals.
- Die meisten kostengünstigen Fahrradtachos erlauben keinen Export der aufgenommenen Daten.

# 2 Hardware



**Abb. 1:** Der Schaltplan ohne Microcontroller. Der Dynamo ist links angeschlossen, der Ausgang „Kompout“ wird an einen digitalen Eingang des Controllers geschaltet.

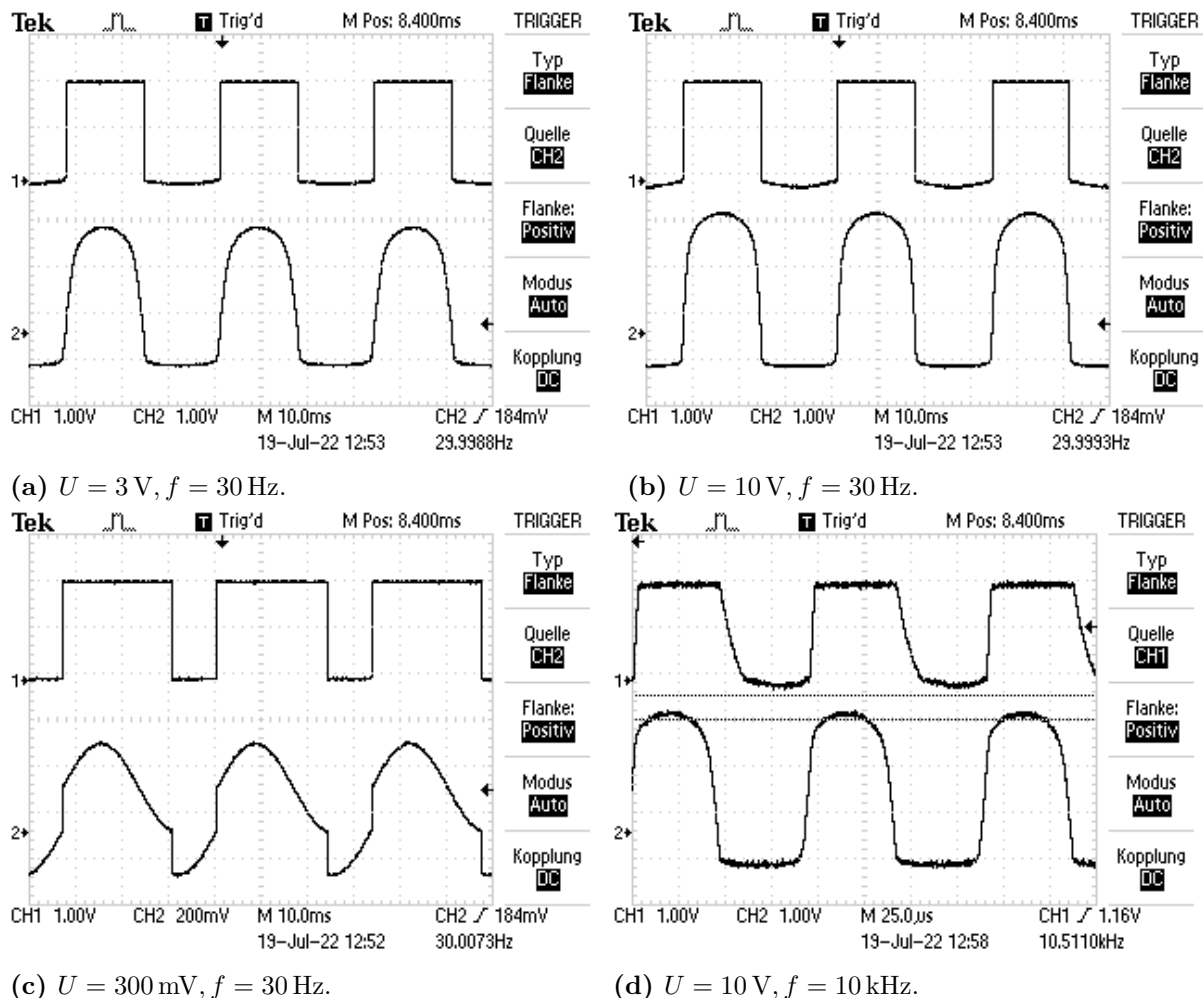
Das Projekt besteht aus einer analogen Schaltung und einem Microcontroller, dem ESP32. Der analoge Teil wandelt das Signals des Dynamos in ein Rechtecksignal mit gleicher Frequenz um, das mit dem Logik-Level des Controllers kompatibel ist.

Da der Dynamo teilweise Spitzenspannung von 30 V und mehr erzeugt, wird die Spannung durch eine Zenerdiode begrenzt. Die Wandlung in ein Rechtecksignal wird dann durch einen als Komparator genutzten Operationsverstärker (OP) erreicht. Die Schaltung ist in Abb. 1 dargestellt. Als Spannungsversorgung wird nur 3,3 V benötigt.

Um undefiniertes Verhalten während das Rad steht zu vermeiden, ist ein Widerstand als Rückkopplung geschaltet. Das führt zu Hysterese-Verhalten.

## 2.1 Test mit Funktionsgenerator

Die Schaltung aus Abb. 1 wird zunächst auf einem Breadboard realisiert. An Stelle des Dynamos wird das Sinussignal eines Funktionsgenerators angeschlossen. Mit einem Oszilloskop wird das Signal am nicht-invertierenden Eingang des OP und am Ausgang des OP überwacht.



**Abb. 2:** Test des analogen Teil der Schaltung mit Funktionsgenerator und Oszilloskop. Unten ist der nichtinvertierende Eingang des OP oben der Ausgang. Anstelle des Dynamos liegt ein Sinussignal mit Frequenz  $f$  und Amplitude  $U$  an.

Es werden folgende Beobachtungen gemacht.

- Die Schaltung wandelt tatsächlich das Eingangssignal in ein Rechtecksignal mit gleicher Frequenz aber konstanter Amplitude um. Bei größeren Amplituden am Eingang ist das Ausgangssignal im niedrigen Teil nicht konstant (siehe Abb. 2b). Das Signal bleibt aber nach Logik-Level im Bereich „low“.
- Die Zenerdiode begrenzt die Spannung effektiv auf einen für den OP verträglichen Bereich. Das wird mit einer Gleichspannungsquelle auch für Spannungen jenseits von  $\pm 10\text{ V}$  bestätigt.
- Die Schaltung funktioniert bereits mit einer Amplitude von ca.  $200\text{ mV}$ . Die Abschnitte des Rechtecksignals sind dann aber nicht gleich lang (siehe Abb. 2c). Hier

ist auch die Hysterese klar zu erkennen.

- Die Schaltung funktioniert für alle im Betrieb zu erwartenden Frequenzen  $f$ . Auch mit  $f = 10 \text{ kHz}$  wird noch zuverlässig ein Rechteck-ähnliches Signal erzeugt.

## 2.2 Test mit Dynamo im Labor

Es werden folgende Beobachtungen gemacht.

- Die Schaltung verhält sich wie erwartet.
- Die Spannung des Dynamo ist auch bei minimalen Geschwindigkeiten groß genug, dass das Rechtecksignal gleichmäßig bleibt. Daher kann sowohl die steigende als auch fallende Flanke des Signals als Messereignis behandelt werden. Es wird also eine Auflösung von 28 Ereignissen pro Umdrehung erreicht, das sind ca. 7 cm.

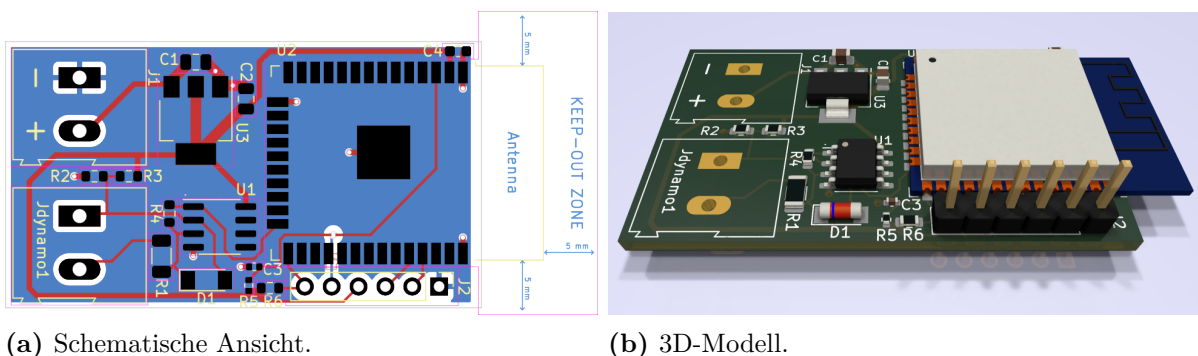
## 2.3 Probleme bei der Entwicklung

- OPs vertragen keine negativen Spannungen. Das wurde auf die harte Tour gelernt.
- Es wurde auch versucht, die Schaltung auf einer Lochrasterplatine zu realisieren. Das ist gescheitert, da sich der Spannungsteiler (Abb. 1 unten) sich nicht wie erwartet verhalten hat.

## 3 Software

Die Software zählt per Interrupt die Flankenwechsel des Komperatorsignals. Zwischen festen Zeitabständen wird die Anzahl verglichen und daraus die Geschwindigkeit berechnet und dann per Bluetooth verschickt. Die Zeitabstände sind konfigurierbar auf 500 ms gesetzt. Die Geschwindigkeit wird berechnet aus  $(1000 \cdot \text{Einheitswandelkonstante} \cdot \text{tickDistance} \cdot (\text{count} - \text{oldcount})) / \text{zeitabstand}$

## 4 Ausblick



**Abb. 3:** Darstellung der geplanten Platine.

Es ist geplant, das vollständige Projekt als geätzte Platine umzusetzen. Der Plan dafür ist in Abb. 3 dargestellt. Weitere offene Fragen sind:

- Wie kann die Stromversorgung bereitgestellt werden? Möglichkeiten wären über den Dynamo oder durch eine Batterie bzw. einen Akku.
- Wie sollen die Daten dargestellt werden? Hier wäre ein LCD denkbar.

## 5 Anhang

Unter der folgenden Link kann das Projekt abgerufen werden:

<https://nextcloud.2pi55y3wzgyuu6h.myfritz.net/s/XiRiFgMy6eKtrx5>

Der Link funktioniert nachts von 23:00 bis 8:00 nicht.