

Inhalt

Abkürzungsverzeichnis	1
Abbildungsverzeichnis	1
Star Track.....	2
Ziel des Projektes	3
Anforderungen, Rahmenbedingungen, Risiken und Herausforderungen	3
Recherche für die Anforderungen	5
Aufbau der Nachführung.....	6

Abkürzungsverzeichnis

DIY	Do it yourself
CAD	Computer Aided Design
V	Volt
gf.cm	Grammkraft-Zentimeter
ca.	circa, etwa
Nm	Newtonmeter
max.	maximal, maximale

Abbildungsverzeichnis

Bild 1: <https://kamera-foto-zubehoer.de/objektiv-ratgeber>

Bild 2: <https://youtu.be/hhDdfiRCQS4?t=124>

Bild 3: <https://youtu.be/hhDdfiRCQS4?t=131>

Star Track

Die Astrofotografie lebt vom langen Sammeln des Lichts. Ob Sternenhimmel, Milchstraße oder schwach leuchtende Gas- und Staubnebel, das Ziel eines jeden Astrofotografen ist es, diese faszinierenden Himmelsobjekte in detailreichen Aufnahmen festzuhalten. Allerdings sind der Belichtungszeit dabei enge Grenzen gesetzt, die sich durch die Brennweite des Objektivs und die Erdrotation ergeben. Die Brennweite beeinflusst maßgeblich den Bildausschnitt: Kürzere Brennweiten erfassen einen größeren Abschnitt, während längere Brennweiten das Format enger machen.

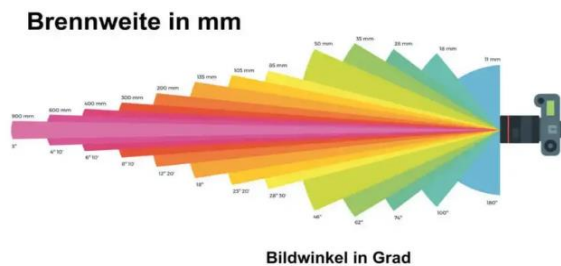


Abbildung 1

Zusätzlich erschwert die Erdrotation längere Belichtungszeiten. Da sich die Erde mit unterschiedlicher Umfangsgeschwindigkeit bewegt, am Äquator schneller als in nördlichen oder südlichen Breiten, entstehen bei längerer Belichtung Sternenspur¹, was besonders bei großen Brennweiten ein Problem darstellt.

Um scharfe Aufnahmen auch bei längeren Belichtungen zu ermöglichen, benötigen Astrofotografen eine Nachführung, die die Bewegung der Erde kompensiert. Solche Geräte sind zwar erhältlich, beginnen aber im Amateurbereich bei ca. 300 €, was für viele Hobbyfotografen eine größere Investition darstellt. Bestehende Modelle nutzen Schrittmotoren für gleichmäßige Bewegungen und müssen häufig manuell am Polarstern ausgerichtet werden.

Um die Astrofotografie auch mit kleinem Budget zu ermöglichen, ist das Ziel dieser Projektarbeit, eine kostengünstige DIY-Nachführung zu entwickeln und anschließend als Open-Source-Projekt frei zur Verfügung zu stellen. Diese Anleitung umfasst eine Liste mit allem erforderlichen Bauteilen, CAD-Dateien für den 3D-Druck des Gehäuses, eine verständliche Verkabelungsanleitung sowie die notwendige Software zur Steuerung der Schrittmotoren und weiteren Modulen. Durch den Open-Source-Ansatz soll das Projekt für jeden zugänglich sein und etwa 30% der Kosten eines vergleichbaren kommerziellen Produkts betragen.

¹ Auch „Star Trails“ genannt. Die Sterne erscheinen als Lichtspuren, die die Erdrotation über die Belichtungszeit hinweg abbildet.

Ziel des Projektes

Das Ziel ist die Entwicklung einer universellen Nachführung für Kameras, die die Erdrotation kompensiert, um Langzeitbelichtungen in der Astrofotografie zu ermöglichen. Die Nachführung soll auf gängigen Stativen und Kameramodellen einsetzbar sein, unabhängig vom Standort arbeiten und kostengünstig sowie einfach herzustellen sein.

Anforderungen, Rahmenbedingungen, Risiken und Herausforderungen

Kommerzielle Nachführungen benutzen ein Polsuchrohr und stellen anschließend den Winkel zum Polarstern manuell ein, dabei gilt: Je präziser die Voreinstellung, desto besser das Ergebnis. Die Durchführung der Bewegung wird durch eine vorgespannte Feder realisiert, die nicht immer präzise ist, oder durch Schrittmotoren mit Wurmgetriebeübersetzung. Die durchschnittliche Tracking Zeit beträgt 60 Minuten am Stück. Für die Komponenten, die der Umwelt ausgesetzt sind, werden Materialien verwendet die Witterungsbeständig sind wie etwa Aluminium oder Kunststoff. Diese weisen auch andere vorteilhafte Eigenschaften auf wie eine geringe Dichte und gleichzeitig hohe Festigkeitswerte.

Anforderungen:

1. Funktionale Anforderungen

- Bewegungssteuerung:
 - Realisierung der Bewegung entlang von zwei Achsen, um Himmelsobjekte präzise nachzuführen.
 - Kompensation der Erdrotation für lange Belichtungszeiten ohne Star Trails.
- Sensorintegration:
 - Einfache Bestimmung der Position und Ausrichtung.
 - Optional: Einsatz eines Gyroskops zur Stabilisierung.
- Universelle Kompatibilität:
 - Unterstützung für gängige Stativgewinde.
 - Nutzung mit verschiedenen Kameramodellen und Objektiven unabhängig von der Brennweite.

2. Nicht-Funktionale Anforderungen

- Kosteneffizient:
 - Angestrebte Materialkosten: 1/3 des Preises kommerzieller Nachführungen (ca. 100€).
- Benutzerfreundlichkeit:
 - Einfache Montage und Bedienung auch für Nutzer ohne technische Vorkenntnisse.
 - Bereitstellung von klaren Anleitungen.
- Open-Source:
 - Veröffentlichung der Baupläne, Software und Anleitungen unter einer Open-Source-Lizenz.

Rahmenbedingungen:

- Technologische Basis:
 - Einsatz eines Mikrocontroller (z.B. Arduino oder Raspberry Pi)
 - Stromversorgung über einen Akku oder externer Stromquelle
- Herstellung:
 - Nutzung von 3D-Druck für die Gehäuseteile und Mechanik.
 - Bauteile müssen frei erhältlich und kostengünstig sein.

Abnahmekriterien

- Funktionstest:
 - Nachweis der Nachführung bei einer Langzeitbelichtung mit scharfen Sternen (keine sichtbaren Star Trails).
- Kostennachweis:
 - Vergleich der Materialkosten mit der Zielvorgabe von etwa 30% des Marktpreises.
- Dokumentation:
 - Vollständige DIY-Anleitung (Bauteile, CAD-Dateien, Verkabelungs- und Softwareanleitung).

Risiken und Herausforderungen

- Technische Risiken:
 - Ungenügende Stabilität oder Genauigkeit der Nachführung bei längeren Belichtungszeiten.
 - Probleme bei der Integration der Sensoren oder der Steuerungseinheit.
- Projektumfang:
 - Einhaltung des Kostenumfangs bei gleichzeitig hoher Präzision und Stabilität.

Zusammenfassung:

Das Projekt zielt darauf ab, eine kostengünstige und universelle Nachführung für die Astrofotografie zu entwickeln. Die Lösung soll funktional, benutzerfreundlich und für eine breite Zielgruppe zugänglich sein.

Recherche für die Anforderungen

Für die Erfüllung der Rahmenbedingungen, wie die Verwendung eines Mikrokontrollers und kostengünstiger Bauteile, werden bevorzugt Schrittmotoren als Antrieb eingesetzt. Ihre Fähigkeit zur präzisen Ansteuerung, der geringe Spannungsbedarf und die kostengünstige Beschaffung machen sie zu einer idealen Komponente. Dabei wurden in verschiedenen Foren insbesondere zwei Schrittmotoren-Modelle häufig erwähnt:

1. 28BYJ-48 Schrittmotor: Dies ist ein kompakter und kostengünstiger Motor der mit einer Eingangsspannung von 5 V arbeitet. Er besitzt einen Schrittwinkel von $5,625^\circ$, was eine geringe Auflösung bedeutet, und ein Anzugsdrehmoment von 300 gf.cm (ca. 0,03 Nm). Dieser Motor ist oft mit einem integrierten Getriebe ausgestattet, das eine Übersetzung von etwa 1:64 hat. Das Getriebe erhöht das effektive Drehmoment, reduziert jedoch die Drehgeschwindigkeit. Aufgrund seiner geringen Größe und einfachen Steuerbarkeit wird der 28BYJ-48 häufig in kleinen, kostengünstigen Projekten eingesetzt.
2. Nema 17 Schrittmotor: Sie sind in verschiedenen Varianten erhältlich und bieten Drehmomente zwischen 0,17 Nm und 0,55 Nm. Die Eingangsspannung kann bis zu 24 V betragen und der Schrittwinkel liegt bei $1,8^\circ$, was eine deutlich höhere Präzision ermöglicht als beim 28BYJ-48. Der Nema 17 wird häufig in Anwendungen verwendet, die eine hohe Genauigkeit und ein hohes Drehmoment erfordern, wie etwa bei 3D-Druckern und CNC-Maschinen.

Für die Umsetzung der Bewegung in zwei Richtungen gleichzeitig suchte ich nach Inspirationen aus bestehenden Konstruktionen, wie sie in Observatorien oder Radioteleskopen verwendet werden. Ich analysierte deren Bewegungsmechanismen über Zeitrafferaufnahmen und suchte nach Lösungen, die diesen Konzepten nahekommen. Besonders ansprechend fand ich dabei eine Forschungsarbeit, die von der Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) im Jahre 2021 veröffentlicht wurde. Die Arbeit japanischer Wissenschaftler trägt den Titel „*ABENICS: Active Ball Joint Mechanism With Three-Degrees-of-Freedom Based on Spherical Gear Meshings*“ und beschreibt einen innovativen Kugelgelenkmechanismus auf Basis eines sphärischen Zahnrads.

In der detaillierten Beschreibung dieses Mechanismus wird erläutert, wie zwei Motoren eingesetzt werden, um die Bewegung zu steuern. Dabei wird ein Wurmzahnrad verwendet, um das Monopol-Zahnrad anzutreiben, während ein zweites Wurmzahnrad für dessen Rotation zuständig ist. Diese Konstruktion ermöglicht eine präzise Steuerung der Bewegungen und könnte als Grundlage für die Entwicklung meines Projekts dienen. Dabei wird das Monopol-Zahnrad durch ein normales Zahnrad ersetzt und ein Aufsatz angebracht zur Montage der Kamera.

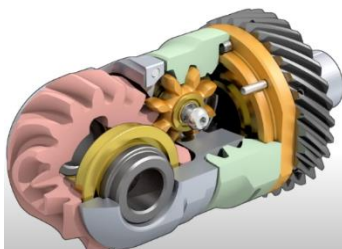


Abbildung 2

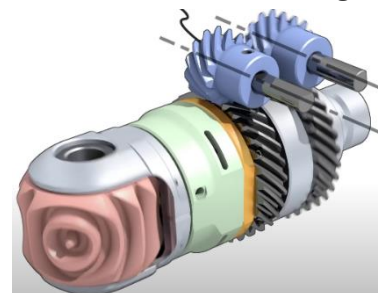


Abbildung 3

Aufbau der Nachführung

Für den Aufbau der Nachführung werden Schrittmotoren verwendet, die eine Bewegung in zwei Achsen ermöglichen. Zur Bestimmung des Standorts und der Ausrichtung der Kamera kommen ein GPS- und ein Magnetometermodul zum Einsatz. Dies gewährleistet eine präzise, standortunabhängige Nutzung. Zusätzlich könnte ein Gyroskop verwendet werden, um ungewollte Bewegungen der Kamera zu erkennen und zu kompensieren.

Die Steuerungseinheit basiert auf dem Arduino, der einen leistungsstarken Hauptmikrocontroller enthält und die Sensordaten verarbeitet. Die Software auf dem Arduino steuert die Schrittmotoren basierend auf den Sensordaten, um die Erdrotation auszugleichen. Die Stromversorgung erfolgt über einen wiederaufladbaren Akku, was eine flexible Nutzung im Freien ermöglicht. Alternativ kann eine externe Stromquelle für längere Einsätze genutzt werden.

Zusätzlich wird eine Feinjustierung der Schrittmotoren durchgeführt, die entweder manuell oder automatisch über die Software erfolgen kann. Die Konstruktion der Nachführung ist so gestaltet, dass sie mit verschiedenen Kameramodellen und Stativgrößen kompatibel ist, um eine universelle Einsatzfähigkeit zu gewährleisten.