

# **FPV Drohnen**

**Herausforderungen für Hard- und Software**

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>FPV-Drohnen</b>	<b>2</b>
2.1	Besonderheiten von FPV-Drohnen . . . . .	2
2.2	Steuerung . . . . .	2
2.3	Komplexität und Risiko . . . . .	3
<b>3</b>	<b>Bauteile</b>	<b>5</b>
3.1	FC - Flight Controller . . . . .	5
3.1.1	PID - Proportional-Integral-Derivative Loop . . . . .	5
3.1.2	Filter . . . . .	6
3.2	Rahmen . . . . .	7
3.3	Propeller . . . . .	7
<b>4</b>	<b>Bildstabilisierung</b>	<b>8</b>

# 1 Einleitung

Drohnen, auch bekannt als unbemannte Luftfahrzeuge oder UAVs (Unmanned Aerial Vehicles), haben in den letzten Jahren enorm an Popularität gewonnen und Perspektiven erlaubt, welche vorher unmöglich schienen. Sie werden in der Landwirtschaft eingesetzt, um gezielt Düngemittel auszubringen oder Schädlinge zu bekämpfen. Auch in der Vermessungstechnik haben sich Drohnen bewährt, um große Flächen schnell und präzise zu vermessen. In der Unterhaltungsindustrie werden sie oft für spektakuläre Aufnahmen von Veranstaltungen oder Landschaften genutzt. Doch auch in anderen Bereichen, wie dem Katastrophenmanagement oder der Such- und Rettungsarbeit, haben sich Drohnen als nützliche Werkzeuge erwiesen. Jedoch sind Drohnen mittlerweile längst nicht mehr nur der Industrie und Fachleute vorbehalten, sondern können von jedem erworben werden.

Eine besondere Art von Drohnen sind FPV-Drohnen (FPV - First Person View). Der Pilot steuert herkömmliche Drohnen meist aus der Ferne und bekommt das Bild aus einer mechanisch stabilisierten Kamera, welche sich am Rumpf der Drohne befindet, auf einen Bildschirm übertragen. Im Gegensatz dazu bieten FPV-Drohnen die Möglichkeit, das Flugerlebnis hautnah mitzuerleben. Der Pilot steuert die Drohne aus der Perspektive des Fluggeräts und bekommt so ein realistisches Fluggefühl vermittelt. Diese Art von Drohnen bieten eine immersive Flugerfahrung und ein hohes Maß an manueller Kontrolle, erfordern allerdings viel Übung.

Nicht nur der Flug, sondern auch der Bau einer FPV-Drohne stellt Piloten vor eine Reihe an Herausforderungen. Einerseits muss die Hardware robust und leistungsfähig genug sein, um den Flug zu ermöglichen, jedoch gleichzeitig klein und leicht genug, um die Agilität und Manövrierfähigkeit der Drohne nicht einzuschränken.

Die folgende Ausarbeitung beschäftigt sich mit dem Thema "FPV-Drohnen - Herausforderungen an Hard- und Software". Mit einer wissenschaftlichen Herangehensweise wird das immer weiter verbreitete Hobby und professionell eingesetzte Tool der FPV-Drohne analysiert. Speziell wird sich mit der Leitfrage beschäftigt, Inwieweit die einzelnen Komponenten der Drohne Einfluss auf die Videoqualität und das Flugverhalten nehmen und wie beides durch geschickte Wahl der Komponenten verbessert werden kann.

Ziel der Hausarbeit ist es, einen umfassenden Überblick über die Herausforderungen an Hard- und Software bei der Nutzung von FPV-Drohnen zu geben, die Funktion der wichtigsten Bauteile zu erläutern und darzustellen, wie durch die richtige Auswahl und Kombination von Komponenten die Leistung und Qualität der Drohne verbessert werden kann. Darüber hinaus wird aufgezeigt, welche digitalen Lösungen zur Verbesserung der Bildstabilisierung existieren und wie diese sinnvoll eingesetzt werden können.

## 2 FPV-Drohnen

### 2.1 Besonderheiten von FPV-Drohnen

FPV-Drohnen, auch bekannt als Racing- oder Freestyle-Drohnen besitzen erhebliche Unterschiede, im Vergleich zu handelsüblichen Drohnen. In der folgenden Tabelle werden die Unterschiede gegenübergestellt. Im Anschluss werden die wichtigsten genauer erklärt.

Merkmal	Handelsübliche - Drohnen	FPV - Drohnen
Steuerung	Viele Unterstützungen durch Assistenzsysteme wie beispielsweise GPS oder Hinderniserkennung und vorprogrammierte Flugmodi	Keine Assistenzsysteme oder Flugmodi vorhanden
Sichtverhältnisse	Flug über Sichtlinie oder Bildschirm, welcher an der Fernsteuerung befestigt ist und das Videosignal empfängt	Flug mit einer FPV Brille, welche das Videosignal empfängt
Verwendungszweck	Fotografie, Videografie, Vermesungstechnik, Such- und Rettungsarbeiten, Landwirtschaft	Rennen, Wettbewerbe, Freestyle-Flüge, extrem dynamische Videografie
Kamera	Meist, mittels Gimbal stabilisierte Kamera, welche an der Unterseite der Drohne befestigt ist und sich nach oben und unten neigen lässt	Meist, ein einem festen Winkel, vorne im Rahmen montiert (oft noch analog)
Leistung	Deutlich längere Akkulaufzeit, Deutlich Leistungsschwächere Motoren, geringere Agilität	Kurze Akkulaufzeiten, Deutlich leistungsstärkere Motoren, extrem agil und Manövrierfähig
Zeitaufwand	Sehr gering -> Drohne kaufen, Akkus laden, Anleitung lesen, Fliegen	Extrem hoch -> Zusammenstellen der Komponenten, Bau der Drohne, Programmierung der Drohne, passendes Zubehör wie Fernsteuerung und Akkus finden, Üben im Simulator etc.

### 2.2 Steuerung

Die Steuerung einer FPV-Drohne unterscheidet sich im Wesentlichen in zwei Punkten von der einer herkömmlichen. Zum einen bietet die FPV-Drohne im Normalfall keinerlei Assistenzsysteme, zum anderen ist die Reaktion der Drohne auf, an der Fernsteuerung eingegebene Befehle

eine andere. Sobald sich bei einer herkömmlichen Drohne beide Sticks der Fernsteuerung in der neutralen Position befinden (in der Mitte), bleibt die Drohne in der Luft stehen. Wird nun der rechte Stick bis auf das maximale nach vorne bewegt, neigt sich die Drohne in diese Richtung und beschleunigt. Da die Neigung durch diverse Assistenzsysteme begrenzt ist, besteht kein Risiko, dass die Drohne „vorne überkippt“. Wird nun die Fernsteuerung nicht weiter betätigt, bewegt sich der Stick wieder in die neutrale Position und die Drohne bleibt in der Luft stehen. Vereinfacht lässt sich darstellen, dass die Bewegung am Stick in einen Winkel für die Drohne resultiert. Die Leistung der Motoren wird automatisch angepasst, um den (in diesem Beispiel) den Vorwärtsflug auf gleichbleibender Höhe zu ermöglichen. Die Höhe wird mit dem linken Stick kontrolliert. Allerdings geschieht dies relativ zur benötigten Drehzahl, um die Drohne auf einer Stelle zu halten. Beispiel: Befindet sich der linke Stick in der neutralen Position (in der Mitte) drehen die Propeller so schnell, dass die Drohne weder sinkt noch steigt. Wird nun der Stick nach vorne bzw. hinten betätigt, erhöht bzw. verringert sich die Drehzahl um einige Prozent, damit die Drohne langsam steigen bzw. sinken kann. Bei einer herkömmlichen Drohne ist dementsprechend für keine Achse eine kontinuierliche Korrektur durch den Piloten notwendig.

Im Vergleich hierzu würde eine FPV-Drohne, bei der der rechte Stick maximal nach vorne gedrückt wird, unkontrolliert nach „vorne kippen“ und sich um diese Achse drehen, bis es zum Absturz kommt. Zusätzlich gibt es bei FPV-Drohnen keine neutrale Stick Position, bei welcher die Drohne an der Stelle stehen bleibt. Jeder Befehl der Fernsteuerung wird ausgeführt. Vereinfacht bedeutet dies, dass eine Bewegung am Stick nicht in einem Winkel, sondern in einer Drehgeschwindigkeit, um die gesteuerte Achse resultiert. Auch die Höhensteuerung funktioniert anders. Am einfachsten lässt sich dies mit einem Potentiometer vergleichen. Befindet sich der linke Stick ganz hinten, drehen die Propeller nicht. Wird diese nun nach vorne bewegt, erhöht sich die Drehzahl linear. Wird er nicht mehr betätigt, behält die Drohne diese Drehzahl bei. Da die Bewegung einer Achse nur durch direktes Eingreifen des Piloten zu stoppen ist, ist eine kontinuierliche Korrektur der Drohne zwingend notwendig.

## **2.3 Komplexität und Risiko**

Da die meisten herkömmlichen Drohnen für eine möglichst große Zielgruppe entwickelt wurden, sind keine technischen Fähigkeiten oder Vorkenntnisse erforderlich, um mit einer solchen Drohne Luftaufnahmen zu erstellen. Nachdem die Drohne gekauft wurde, müssen lediglich die Akkus geladen und ein Blick in die Anleitung geworfen werden, um mit dem ersten Flug zu starten. Durch die Unterstützung unterschiedlichster Sensoren, wie beispielsweise eine Hinderniserkennung, wird das Risiko für die Drohne minimiert. Zusätzlich erleichtern es Technologien wie Geofencing dem Piloten, im Rahmen der rechtlichen Grenzen zu fliegen.

Da FPV-Drohnen immer populärer werden, haben sich in den letzten Jahren neue Möglichkeiten gefunden, in dieses Hobby einzusteigen. Seit 2021 bietet die Firma „DJI“ zwei FPV-Drohnen an. Diese müssen nicht selbst zusammengebaut werden und erfordern ähnlich wie herkömmliche Drohnen keinerlei technische Fähigkeiten oder Vorkenntnisse. Da diese Drohnen jedoch proprietäre Komponenten verwenden, auf welche der Käufer keinen Einfluss hat, wird auf diese im weiteren Verlauf dieser Arbeit nicht weiter eingegangen.

Bis vor einigen Jahren gab es nur die Möglichkeit sämtliche Komponenten wie Motoren, Controller, Kamera, Rahmen etc. einzeln zu kaufen und sich so seine Drohne selbst zu bauen. Dies erfordert ein hohes Maß an technischem Wissen und technische Fähigkeiten. Allerdings erhält man die Möglichkeit, die Drohne individuell auf die Bedürfnisse des Piloten zuzuschneiden. Beispielsweise würde für eine Drohne, welche Aufnahmen in den Alpen macht die Akkulaufzeit eine Priorität sein und aus diesem Grunde schwächere, aber effizientere Motoren zum Einsatz kommen. Hingegen würde eine Drohne, welche Autos auf einer Rennstrecke verfolgen soll leistungstärkere Motoren erhalten.

## 3 Bauteile

Sowohl FPV-Drohnen als auch normale Drohnen verwenden eine Vielzahl von Bauteilen, um Flüge zu ermöglichen und zu kontrollieren. Dazu gehören beispielsweise Propeller, Akkus, Steuerungen und Sensoren. All diese Bauteile haben, auch wenn sie in unterschiedlichen Drohnen zum Einsatz kommen die gleichen grundlegenden Funktionen, wie zum Beispiel die Bereitstellung von Antrieb und Strom, die Kontrolle der Flugbewegungen und die Navigation in der Umgebung. Jedoch gibt es enorme Unterschiede, die den Preis, die Leistung, den Anwendungsfall und viele weitere Faktoren betreffen.

Im weiteren Verlauf dieser Arbeit werden die Funktionen der Bauteile einer FPV-Drohne dargestellt, welche den größten Einfluss auf das Flugverhalten und die Videoqualität haben. Dazu gehören der Flight Controller (FC), der Rahmen und die Propeller.

### 3.1 FC - Flight Controller

„Der Flight Controller ist das Herzstück eines Kopters und der Grund dafür, dass ein Kopter überhaupt fliegt“. Er ist eine elektronische Einheit, die dazu dient, die Flugbewegungen der Drohne zu kontrollieren und zu stabilisieren. Der Flight Controller ist mit Sensoren wie z.B. Gyroskopen und Beschleunigungsmessern ausgestattet, die ihm ermöglichen, die Position und Bewegung der Drohne zu messen und zu verarbeiten. Basierend auf diesen Messwerten und möglichen Befehlen des Nutzers, die über die Fernsteuerung übertragen werden, werden Steuersignale an die Motoren bzw. dem electronic speed controller der Drohne gesendet, um die Flugbewegungen auszuführen. Der FC kann auch mit zusätzlichen Komponenten wie GPS-Modulen oder einem Kompass ausgestattet werden, um zusätzliche Funktionen wie Navigation oder „Return to Home“ zu ermöglichen. Dies wird jedoch meist nur bei größeren FPV-Drohnen, die für den „Long Range“ Flug gedacht sind gemacht, um einen zusätzlichen Schutz bei Signalabbruch gewährleisten zu können.

FPV-Flight Controller sind speziell für den Einsatz in FPV-Drohnen ausgelegt und haben einige Eigenschaften, die dies zeigen. Eines dieser Merkmale ist eine hohe Leistung und Berechnungsgeschwindigkeit. Dies führt zu einer geringen PID-Loop Dauer und nimmt so direkten Einfluss auf das Flugverhalten. Eine weitere Besonderheit, sind die frei zugänglichen und anpassbareren PID-Parameter (Proportional-Integral-Derivative), um die Flugsteuerung an die spezifischen Anforderungen und Vorlieben des Nutzers anpassen zu können.

#### 3.1.1 PID - Proportional-Integral-Derivative Loop

Der PID-Loop (Proportional-Integral-Derivative Loop) wird in der Flugsteuerung von FPV-Drohnen verwendet, um die Flugbewegungen der Drohne zu stabilisieren und zu kontrollieren. Der PID-Loop besteht aus drei Hauptkomponenten:

1. Proportional: Die proportionalen Steuerung bezieht sich auf die aktuelle Abweichung des Systems von seinem Sollwert. Je größer die Abweichung ist, desto stärker wird die Korrektur.

2. Integral: Die Integralsteuerung bezieht sich auf die Summe aller Abweichungen des Systems von seinem Sollwert über einen bestimmten Zeitraum. Sie hilft dabei, kleinere Abweichungen auszugleichen und das System in seinem Sollzustand zu halten.
3. Derivative: Die derivative Steuerung bezieht sich auf die Änderungsrate der Abweichung des Systems von seinem Sollwert. Sie hilft dabei, das System auf Änderungen in der Umgebung schneller zu reagieren und das System stabiler zu halten.

Der PID-Loop berechnet die Steuersignale für das System basierend auf den Werten der drei Komponenten und den Eingaben durch den Piloten. Anschließend werden die berechneten Steuerwerte an den ESC weitergegeben, um die Flugbewegungen der Drohne zu kontrollieren und zu stabilisieren. Die eingegebenen PID-Werte richten sich stark nach Gewicht und dem gewünschten Flugverhalten. Zusätzlich müssen allerdings auch Störgrößen wie Änderungen in der Umgebung, Verzögerungen in der Signalverarbeitung oder Einflüsse durch Vibrationen, welche Messwerte verfälschen können, beachtet werden.

Wenn die PID-Parameter falsch eingestellt werden, kann es im besten Fall zu einem instabilen oder trägen Flugverhalten der Drohne kommen. Im schlimmsten Fall besteht jedoch auch die Gefahr, dass die Drohne unkontrolliert in eine unerwartete Richtung fliegt und damit Personen oder Objekte in der Umgebung gefährdet. Dieses Phänomen nennt sich „Fly away“. Aus diesem Grund sind bei herkömmlichen Drohnen die PID-Werte für den Käufer nicht sichtbar und lassen sich auch nicht ändern. Dies ist bei FPV-Drohnen im Normalfall allerdings nicht möglich, da ein FC sowohl in einer schweren, langsamen als auch in einer leichten und sehr agilen Drohne verbaut werden kann und so je nach Anwendungsfall vom Benutzer unterschiedlich parametrisiert werden muss.

### **3.1.2 Filter**

Filter sind Hardware- und/oder Softwarekomponenten, welche sich auf dem FC befinden und ungewollte Vibrationen beziehungsweise Frequenzen, welche durch Sensoren aufgenommen werden minimieren. Diese Vibrationen entstehen durch aerodynamische Effekte und die Drehbewegung der Motoren und Propeller. Sie können die Werte des Gyroskops verfälschen und so zu einem unkontrollierbaren und unerwarteten Flugverhalten führen. Durch Filter kann dem entgegen gewirkt werden, indem Frequenzen, welche nicht das Resultat einer Bewegung sind, sondern durch Vibrationen entstanden herausfiltert werden. Der Nachteil von Filtern liegt in der Verzögerung, die sie dem Signal hinzufügen. Dies sorgt dafür, dass eine Bewegung der Drohne den PID-Loop erst verzögert erreicht. Aus diesem Grund ist eine möglichst geringe, aber dennoch ausreichende Filterung erstrebenswert. Ein einfacher, jedoch sehr effektiver Weg eine Filterung zu erreichen, ist das sogenannte „soft mounting“ des FCs. Hierbei wird der FC nicht direkt mit dem Rahmen verschraubt, sondern ist durch Gummis vom Rahmen entkoppelt. Experiment: mit/ohne gummi



## 3.2 Rahmen

Der Rahmen, oft auch als „Frame“ bezeichnet bildet das Grundgerüst einer jeden FPV-Drohne. Er besteht aus einem leichten, aber robusten Material wie Kohlefaser und nimmt erheblichen Einfluss auf das Flugverhalten der Drohne. Die Größe des Rahmens beeinflusst nicht nur das Erscheinungsbild, sondern die gesamte Konstruktion der FPV-Drohne. Aus diesem Grund ist es unerlässlich, dass die Größe des Rahmens sorgfältig geplant und ausgewählt wird. Die Wahl des Rahmens bestimmt im weiteren Verlauf die Auswahl und Anordnung der weiteren Komponenten, wie Motoren, Propeller und Batterie, welche auf den Rahmen abgestimmt werden müssen, um ein optimales Flugverhalten zu gewährleisten.

Die Größe eines FPV-Drohnenrahmens wird in der Regel in Zoll (inch) angegeben und bezieht sich auf die maximale Größe der Propeller, welche an diesem verwendet werden können. Eine weitere, wichtige Kenngröße ist die Dicke des Rahmens. Ein dicker Rahmen sorgt für eine höhere Steifigkeit, was zu einem präziseren und stabileren Flug führt. Allerdings erhöht dieser auch das Gewicht und könnte so das Flugverhalten und die Manövrierfähigkeit beeinträchtigen. Ein dünner Rahmen ist leichter, bietet dadurch eine längere Akkulaufzeit und höhere Manövrierfähigkeit, kann allerdings auch anfälliger für Beschädigungen und durch die geringere Steifigkeit weniger stabil im Flug sein.

Zusätzlich haben die Dicke und Größe des Rahmens Einfluss auf die Weiterleitung von Vibrationen, welche durch die Motoren entstehen und sich in den Rahmen fortbewegen. Starke Vibrationen können zu Fehlern im PID-Loop führen, da Messwerte des Gyroskops und anderer Sensoren beeinträchtigt und verfälscht werden. Neben den Flugeigenschaften leidet auch die Videoqualität unter Vibrationen, welche die Kamera erreichen. Diese Vibrationen können durch einen dickeren Rahmen minimiert werden. Auch die Größe des Rahmens hat Einfluss auf die Vibrationen, so erfährt beispielsweise ein 7“ Rahmen deutlich mehr Vibrationen bei gleicher Dicke als ein 5“ Rahmen, da die Arme des 7“ Rahmens länger sind, was zu einer reduzierten Steifigkeit und somit mehr Vibrationen führt. Diesem Effekt kann durch eine passende Filterung entgegengewirkt werden.

## 3.3 Propeller

## 4 Bildstabilisierung

Es gibt verschiedene Arten der Bildstabilisierung. Im Zusammenhang mit Drohnen sind zwei Stabilisierungsarten am weitesten verbreitet. Die mechanische Bildstabilisierung und die digitale Bildstabilisierung.

Mechanische Bildstabilisierung bezieht sich auf die Verwendung von mechanischen Elementen, um die Bewegungen einer Kamera auszugleichen. Im Bereich der Drohnen wird dies durch die Verwendung eines Gimbals erreicht. Ein Gimbal ist ein dreiachsiges System, welches die Kamera stabil hält, indem es die Bewegungen auf jeder Achse bis zu einem gewissen Grad ausgleicht. Diese Art der Stabilisierung findet sich meist in herkömmlichen Drohnen.

Die digitale Bildstabilisierung kommt, aufgrund des geringeren Gewichts meist in FPV-Drohnen zum Einsatz. Jedoch gibt es unterschiedliche Methoden, um ein Video digital zu stabilisieren. Häufig werden Algorithmen zur Bewegungserkennung verwendet, welche die Bewegungen der Kamera verfolgen und die Bilder entsprechend korrigieren. Dies geschieht in Echtzeit und erfordert wenig technisches Vorwissen in der Benutzung. Eine weitere Methode zur digitalen Bildstabilisierung nutzen die Daten aus Bewegungssensoren, wie zum Beispiel Gyrosensoren, um die Bewegungen der Kamera zusätzliche zum eigentlichen Bild zu erfassen. Anschließend werden diese Daten miteinander verglichen und das Bild entsprechend der aufgezeichneten Bewegungen angepasst. Diese Arbeit wird jedoch nicht in Echtzeit, sondern meist in einer speziellen Software durchgeführt.

Obwohl die digitale Bildstabilisierung viele Vorteile bietet, besteht ein großer Nachteil im Vergleich zur mechanischen Stabilisierung. Der Qualitätsverlust. Da eine mechanische Stabilisierung die Kamera physikalisch bewegt und so beispielsweise immer horizontal halten kann, ist kein digitales Zoomen notwendig. Bei einer digitalen Stabilisierung muss zwangsläufig gezoomt werden, da der Rand des Videos durch die Stabilisierung beschnitten wird und sich so das Seitenverhältnis des Videos ändert. Um dem entgegenzuwirken, wird digital in das Bild gezoomt, bis das gewünschte Seitenverhältnis erreicht und das Bild ausgefüllt ist. Bei diesem Vorgang geht jedoch ein Teil der Auflösung verloren, was in folgender Grafik dargestellt ist.

Den Ausgangszustand und somit die Eingabe der Stabilisierung bildet ein um 90 Grad gedrehtes Bild einer nicht mechanisch stabilisierten Kamera, welches in der Abbildung in schwarz dargestellt ist. Das Bild hat aufgrund der 90 Grad Drehung das Format 9:16 und die Auflösung 1080x1920. Soll diese Bild nun horizontal im Seitenverhältnis 16:9 stabilisiert werden, kann eine, hier in blau dargestellte Maske, im gewünschten Seitenverhältnis über die Eingabe gelegt werden. Da die neue Maske jedoch 1920 und nicht 1080 Pixel in der Horizontalen besitzt, haben 840 Pixel pro Reihe keinen Wert und bilden somit schwarze Balken an den Seiten. Um dem entgegenzuwirken, wird die Maske auf die Breite der Eingabe skaliert. Da das Seitenverhältnis beibehalten werden soll, muss dies sowohl für die Horizontale als auch für die Vertikale gelten. Dieser Schritt ist in Grün dargestellt.

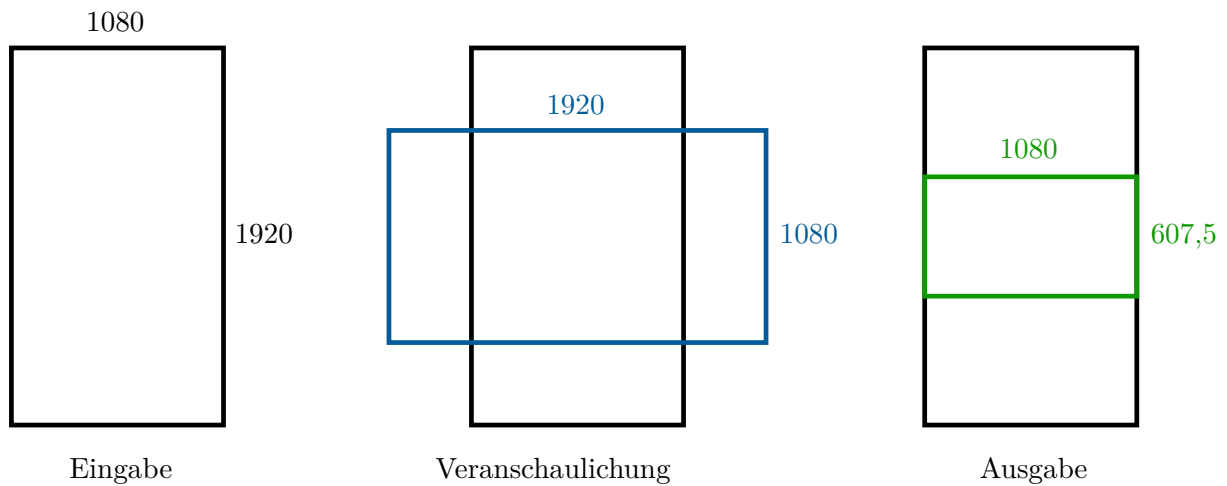


Abbildung 1: Test

Es lässt sich eindeutig erkennen, dass ein großer Teil der Auflösung fehlt, das Endresultat jedoch ein Bild im Format 16:9 ist. Dieses vorgehen lässt sich auf jedes Bild eines Videos anwenden, um ein Horizontal stabilisiertes Video zu erhalten. Bei einer geringeren Drehung der Eingabe, beispielsweise um 5 Grad, ist der Verlust aufgrund der Stabilisierung deutlich geringer. Mathematisch lässt sich der Unterschied zwischen Ein- und Ausgabe durch die folgende Formel beschreiben.

$$\frac{A_x * A_y}{E_x * E_y} * 100\% \quad (1)$$

Hierbei stehen  $A_x$  und  $A_y$  für die Länge und Breite der Ausgabe in Pixeln.  $E_x$  und  $E_y$  analog für die Länge und Breite der Eingabe. Das Ergebnis gibt, relativ zur Eingabe an, wie viel Prozent der ursprünglichen Pixel in der Ausgabe enthalten sind.