

Inhaltsverzeichnis

1. Resultate – Kalibrierungsergebnisse bei Bildaufnahme mit und ohne Stativ
2. Methodik
 - A. Bildaufnahme
 - a. Bildaufnahme - Ausgangsbilder
 - b. Bildaufnahme - Simulierte Bilder
 3. Radiale Verzerrungsparameter k1, k2, k3
 - A. Schwankungen und Stabilisierung
 - B. Plateau
 - C. Finale Verzerrungsparameter
 4. Tangentiale Verzerrungsparameter p1, p2
 - A. Schwankungen und Stabilisierung
 - B. Plateau
 - C. Finale Verzerrungsparameter
 5. Kombinierte radiale Verzerrungskurve
 6. Vergleich der Verzerrungen
 7. RPE (Reprojektionsfehler)
 - A. Schwankungen und Stabilisierung
 - B. Plateau
 - C. Finaler Reprojektionsfehler
 7. Zusammenfassung

Resultate – Kalibrierungsergebnisse bei der Bildaufnahme mit und ohne Stativ

Die folgenden Ergebnisse zeigen, welchen Einfluss die Aufnahme von Bildern mit und ohne Stativ auf die Kalibrierungsgenauigkeit hat, insbesondere in Bezug auf die Verzerrungskoeffizienten und den Reprojektionsfehler (RPE).

Methodik

Die grundlegende Vorgehensweise entspricht im Wesentlichen der im Bericht "Analyse der Verzerrungsparameter unter Verwendung unterschiedlicher Kalibrierungsmodelle in OpenCV" beschriebenen Methodik. Im Gegensatz zu der dort durchgeführten Analyse werden jedoch simulierte Kalibrierungsbilder mit den originalen Kalibrierungsbildern verglichen. Es wurde das Kameramodell mit fünf Parametern ausgewählt, da es eine optimale Balance zwischen Genauigkeit und Komplexität bietet.

Bildaufnahme

Bildaufnahme - Ausgangsbilder

Die Aufnahme der Ausgangsbilder erfolgte wie im Bericht "Analyse der Verzerrungsparameter unter Verwendung verschiedener Kalibrierungsmodelle in OpenCV".

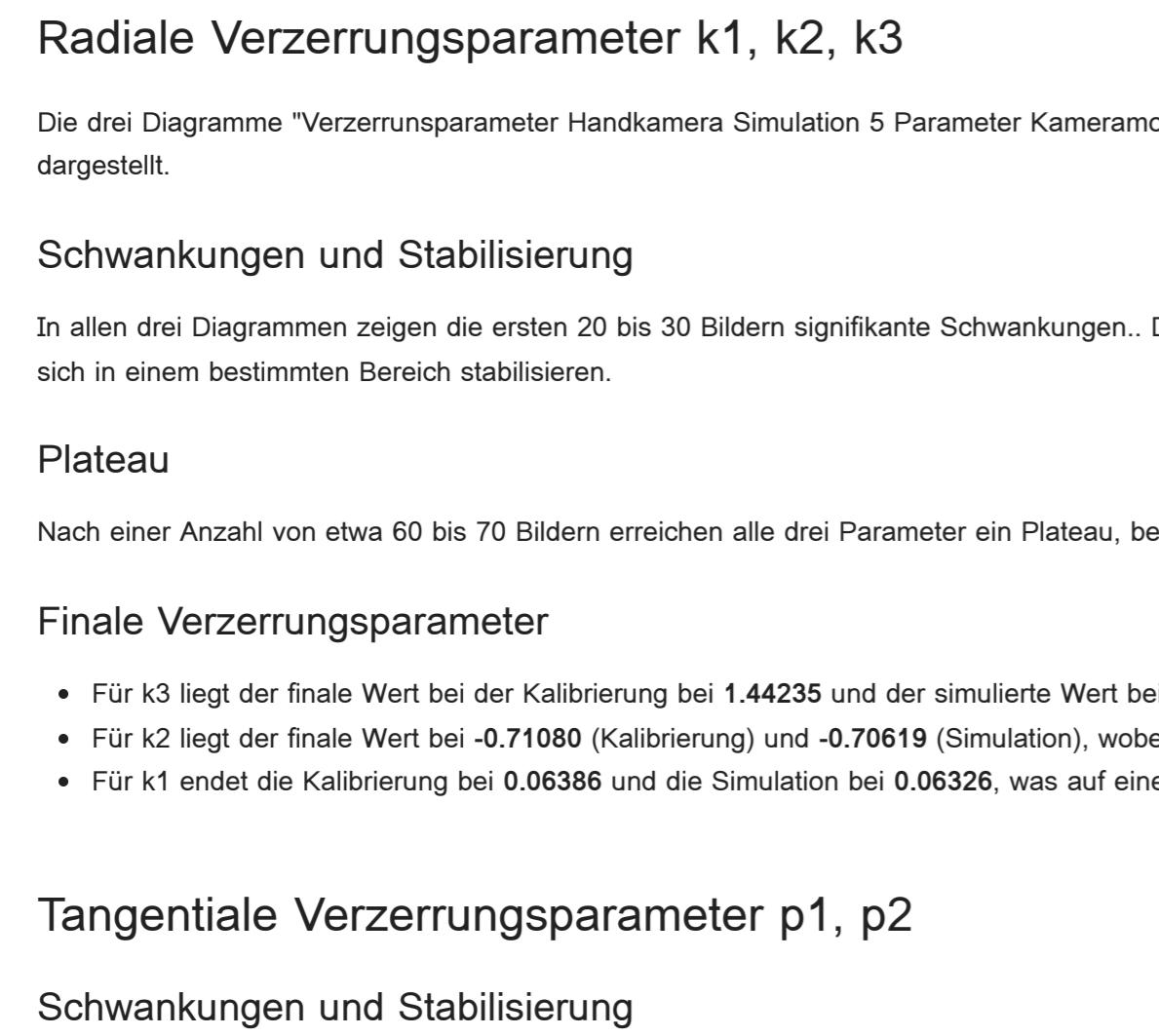
Bildaufnahme - Simulierte Bilder

Zu Beginn des Simulationsprozesses wurden die originalen Kalibrierungsbilder geladen, um als Grundlage für die nachfolgende Simulation zu dienen. In einem nächsten Schritt wurden ein zufälliger Rotationswinkel sowie eine zufällige Verschiebung mit einer Wahrscheinlichkeit von jeweils 60 % auf die Ausgangsbilder angewendet. Der Rotationswinkel wurde zufällig aus einem bestimmten Bereich ausgewählt. In diesem Fall betrug der zulässige Bereich für den Rotationswinkel -5° bis 5°, während die Translation eine maximale Pixelverschiebung in horizontaler und vertikaler Richtung von 20 Pixeln erreichen konnte. Da nicht jedes Bild modifiziert wurde und sowohl der Verschiebungswert als auch der Rotationswinkel variable Größen darstellen, erlaubt die Simulation die Generierung unterschiedlicher Szenarien, die der Realität einer Aufnahme ohne Stativ ähnelt.

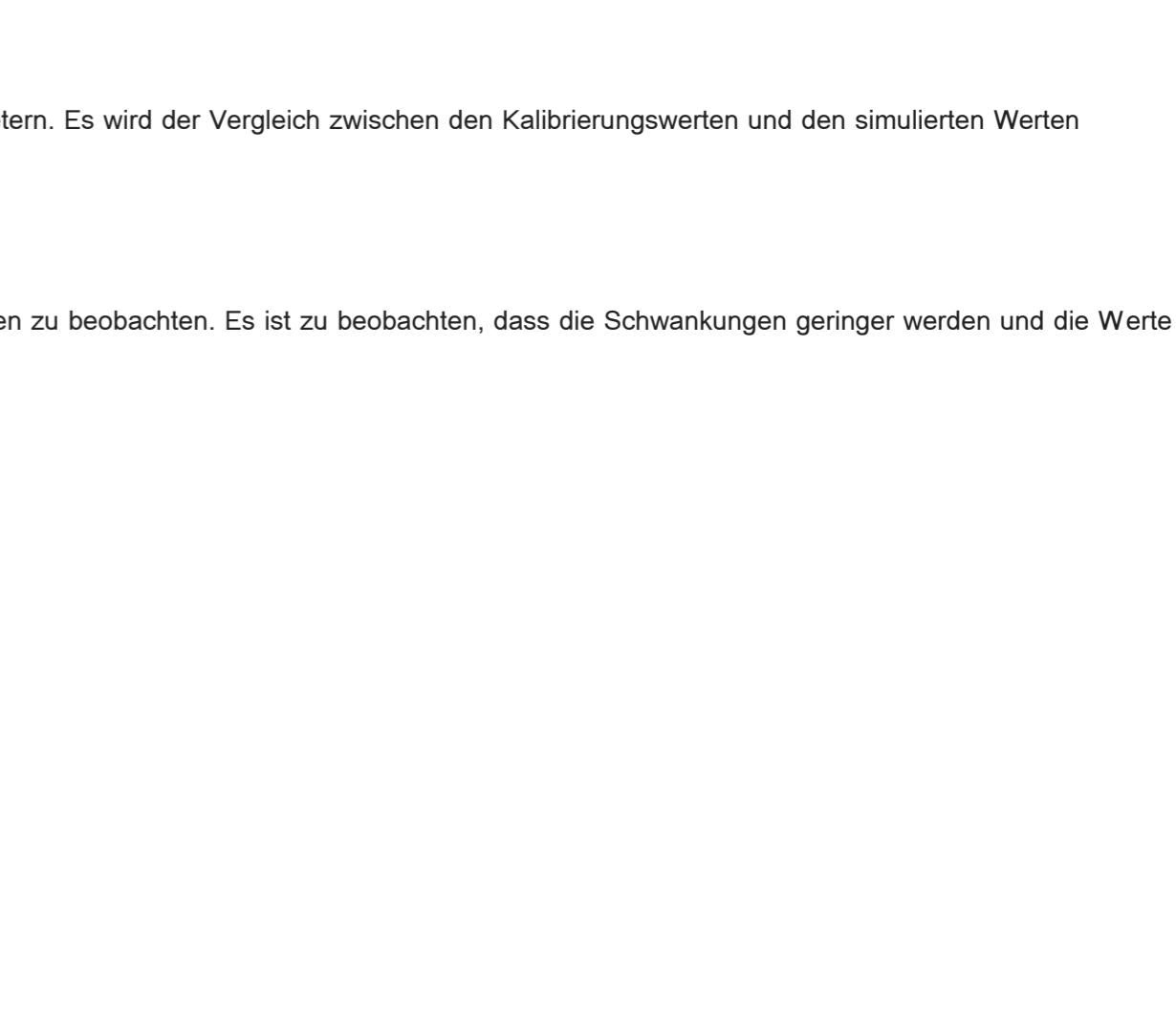
Die nachfolgenden Abbildungen zeigen auf der rechten Seite das Ausgangsbild, welches keiner Simulation (Original Image) unterzogen wurde, und auf der linken Seite das Ausgangsbild nach dem Einsatz der Simulation (Handheld Simulation).

```
In [1]: !run simulations_options.py
```

Original Image



Handheld Simulation



Radiale Verzerrungsparameter k1, k2, k3

Die drei Diagramme "Verzerrungsparameter Handkamera Simulation 5 Parameter Kameramodell" zeigen die Veränderung der Verzerrungsparameter k_1 , k_2 und k_3 in Abhängigkeit von der Anzahl der verwendeten Kalibrierungsbilder in einem Kameramodell mit fünf Parametern. Es wird der Vergleich zwischen den Kalibrierungswerten und den simulierten Werten dargestellt.

Schwankungen und Stabilisierung

In allen drei Diagrammen zeigen die ersten 20 bis 30 Bildern signifikante Schwankungen. Dabei zeigt die simulierte Kalibrierung mehr Schwankungen auf. Nach den anfänglich starken Schwankungen ist ab dem 30. Bild in allen Diagrammen eine Stabilisierung der Kurven zu beobachten. Es ist zu beobachten, dass die Schwankungen geringer werden und die Werte sich in einem bestimmten Bereich stabilisieren.

Plateau

Nach einer Anzahl von etwa 60 bis 70 Bildern erreichen alle drei Parameter ein Plateau, bei dem die Abweichungen zwischen der Kalibrierung und der Simulation minimal sind und die Kurven einem konstanten Wert zustreben.

Finale Verzerrungsparameter

- Für k_3 liegt der finale Wert bei der Kalibrierung bei 1.42042 und der simulierte Wert bei 1.42042. Die Kurven sind konvergiert und zeigen kaum noch Abweichungen.
- Für k_2 liegt der finale Wert bei -0.71080 (Kalibrierung) und -0.70619 (Simulation), wobei auch hier die Kurven fast übereinstimmen.
- Für k_1 endet die Kalibrierung bei 0.06386 und die Simulation bei 0.06326, was auf eine äußerst geringe Abweichung hindeutet.

Tangentielle Verzerrungsparameter p1, p2

Schwankungen und Stabilisierung

Zu Beginn zeigt der Verzerrungsparameter p_1 signifikante Schwankungen im Bereich der ersten 10 Bilder. Die Werte für p_1 starten bei etwa 0.01 und zeigen eine rasche Abnahme auf unter 0.0025 innerhalb der ersten 10 Bilder. Die Werte für p_1 beginnen bei etwa 0.01 und zeigen innerhalb der ersten zehn Bilder eine rasche Abnahme auf unter 0.0025. Die simulierten Daten weisen eine ähnliche Tendenz auf, wobei die anfänglichen Schwankungen minimal stärker sind als bei der Kalibrierung.

Der Verlauf des Verzerrungsparameters p_2 zeigt ebenfalls signifikante Schwankungen in den ersten zehn Bildern, wobei die Werte von über 0.01 auf nahezu 0.003 fallen. Im Anschluss findet eine Stabilisierung des Parameters statt. Die simulierten Daten weisen in der Anfangsphase eine leichte Abweichung von den Kalibrierungswerten auf, nähern sich jedoch nach den ersten 10 Bildern an. In einem Bereich von etwa Bild 30 bis Bild 70 zeigt der Wert von p_2 eine recht konstante Tendenz, wobei leichte Schwankungen sowohl in der Kalibrierung als auch in der Simulation zu beobachten sind. Auch bei p_2 lässt sich nach den ersten 20 bis 30 Bildern eine Stabilisierung beobachten.

Plateau

In dem Bereich zwischen 70 und 100 Bildern, zeigen die Kurven sowohl für die Kalibrierung als auch für die Simulation ein Plateau, bei dem eine geringe Veränderung der Werte zu verzeichnen ist. Bei Betrachtung der p_1 -Verzerrungsparameter zeigt sich jedoch, dass selbst bei einer hohen Anzahl von Bildern ein leichter Anstieg zu verzeichnen ist.

Finale Verzerrungsparameter

- Der finale Wert von p_1 beträgt 0.00111 (Kalibrierung) und 0.00114 (Simulation), was eine sehr geringe Abweichung zeigt.
- Der finale Wert von p_2 zeigt einen ähnlichen Verlauf, wobei die Werte ab Bild 60 fast konstant bei -0.00017 (Kalibrierung) und -0.00007 (Simulation) liegen.

Kombinierte radiale Verzerrungskurve

Das Diagramm "Kombinierte radiale Verzerrungskurve über verschiedene Kameramodelle" zeigt auf der x-Achse die normierte radiale Distanz (r) von der Bildmitte dargestellt, während die y-Achse die Verzerrung anzeigt, die durch die verschiedenen Modelle berechnet wurde.

Vergleich der Verzerrungen

Im Bereich $r=0$ bis 0.6 bleiben die Verzerrungen minimal. Die beiden Linien (Initiale Kalibrierung und Simulation) überlappen sich nahezu vollständig. Das bedeutet, dass sowohl die initiale Kalibrierung als auch die simulierte Kalibrierung im Zentrum des Bildes sehr ähnliche Ergebnisse liefern und kaum Verzerrungen auftreten. Bei einem Wert von $r=0.6$ bis 0.8 nimmt die Verzerrung exponentiell zu, insbesondere am Rand des Bildes ($r=1.0$, $r=1.0$). Bei einem Wert von $r=0.6$ tritt eine Differenzierung der beiden Kurven auf. Die simulierte Verzerrung ist durchgehend etwas höher als die initiale Kalibrierung. Dies lässt die Vermutung zu, dass die Handkamera-Simulation (mit zufälliger Rotation und Translation) eine leicht erhöhte Verzerrung am Rand des Bildes bewirkt.

Diese Annahme erscheint plausibel, da die zufälligen Bewegungen, die durch die Handkamera-Simulation eingeführt wurden, zu einer geringfügig größeren Abweichung bei der Randverzerrung führen können. Die genannten Bewegungen zeigen insbesondere an den Rändern des Bildes eine verstärkte Auswirkung.

Trotz der leichten Abweichungen bleibt die Verzerrung in der simulierten Variante gut kontrolliert. Obgleich ein Unterschied festzustellen ist, fällt dieser doch gering aus. Kombinierte radiale Verzerrungskurve.

RPE (Reprojektionsfehler)

Das Diagramm "Reprojektionsfehler (RPE) in Abhängigkeit von der Anzahl der Kalibrierungsbilder für verschiedene Kameramodelle" zeigt auf der x-Achse die Anzahl der verwendeten Kalibrierungsbilder, während die y-Achse den Reprojektionsfehler (RPE) anzeigt.

Schwankungen und Stabilisierung

In der Anfangsphase ist ein steller Anstieg des RPE von etwa 0.0046 px auf etwa 0.0055 px für beide Kurven zu verzeichnen, was auf die geringe Anzahl von Bildern für die Kalibrierung zurückzuführen ist. Bei einer detaillierteren Betrachtung der beiden Kurven zeigen sich geringfügige Unterschiede. Dabei weist die simulierte Variante (orange gestrichelt) etwas größere Schwankungen auf. In diesem Bereich erfolgt eine Stabilisierung des RPE. Die Werte für die initiale Kalibrierung und die Simulation weisen eine hohe Übereinstimmung auf, wobei der Fehler bei etwa 0.0055 px bis 0.0060 px liegt. Die Abweichungen, die durch die Handkamera-Simulation bedingt sind, fallen insgesamt gering aus.

Plateau

Bei einer Anzahl von etwa 70 Bildern erreichen beide Kurven ein Plateau, wobei der RPE im weiteren Verlauf relativ konstant bleibt. Selbst bei einer hohen Anzahl an Bildern ist lediglich ein geringer Anstieg des RPEs zu verzeichnen.

Finaler Reprojektionsfehler

Die finale Kalibrierung zeigt einen RPE von 0.00653 px, während die simulierte Variante einen minimal höheren RPE von 0.00656 px aufweist. Diese Differenz ist äußerst gering, was darauf hinweist, dass die Handkamera-Simulation nur einen minimalen Einfluss auf den Reprojektionsfehler hat.

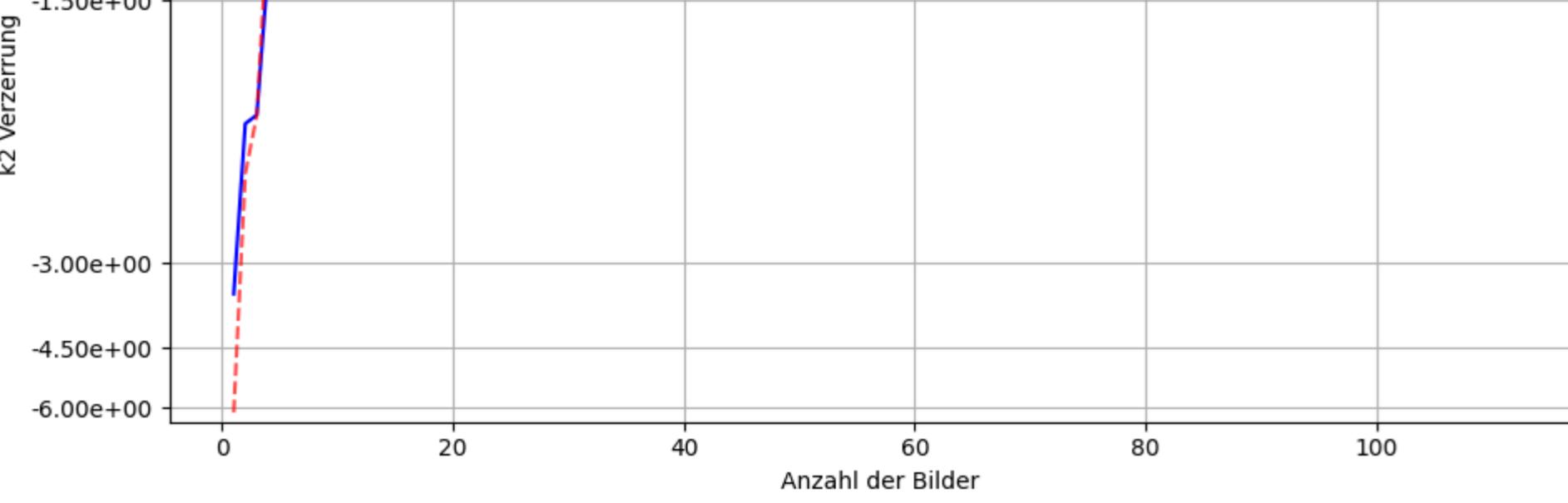
```
In [1]: !run simulation.py
```

Testing with num_params=5

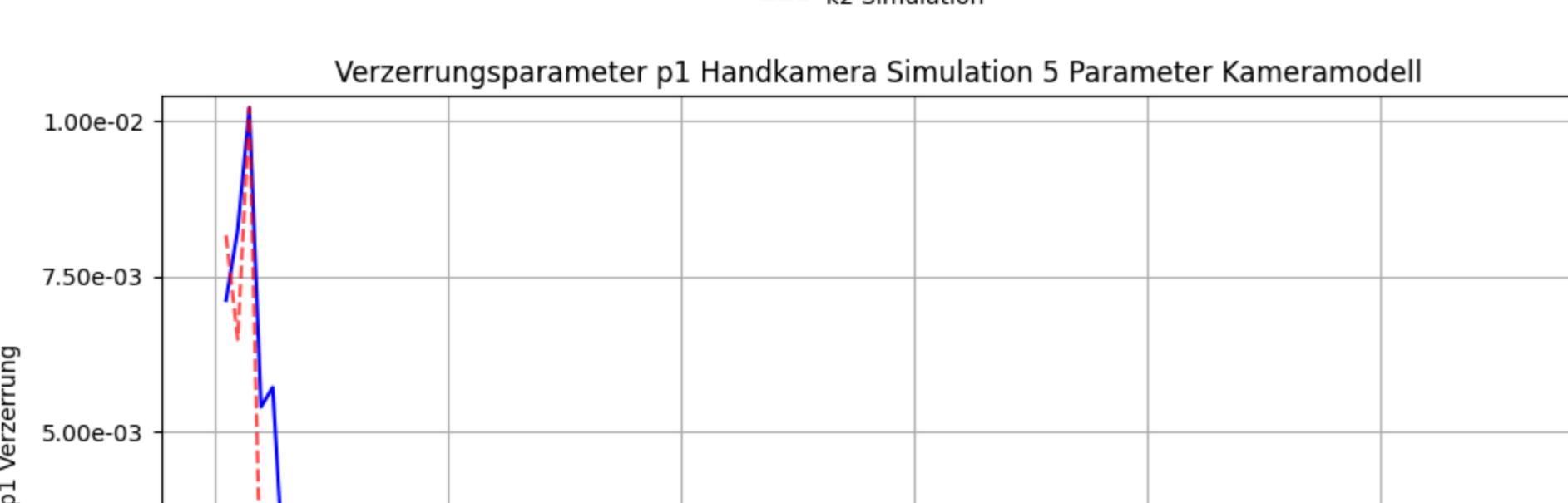
C:\Users\rlwiw\Appldata\Roaming\Python\Python311\site-packages\joblib\externals\loky\process_executor.py:752: UserWarning: A worker stopped while some jobs were given to the executor. This can be caused by a too short worker timeout or by a memory leak.

warnings.warn(

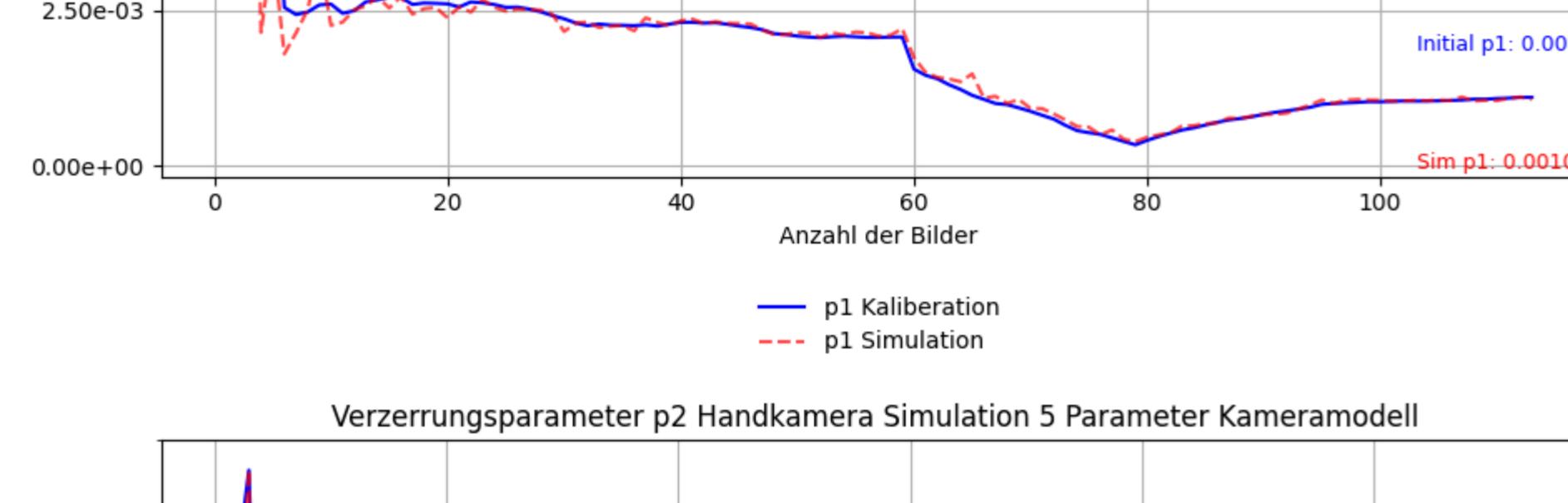
Verzerrungsparameter k1 Handkamera Simulation 5 Parameter Kameramodell



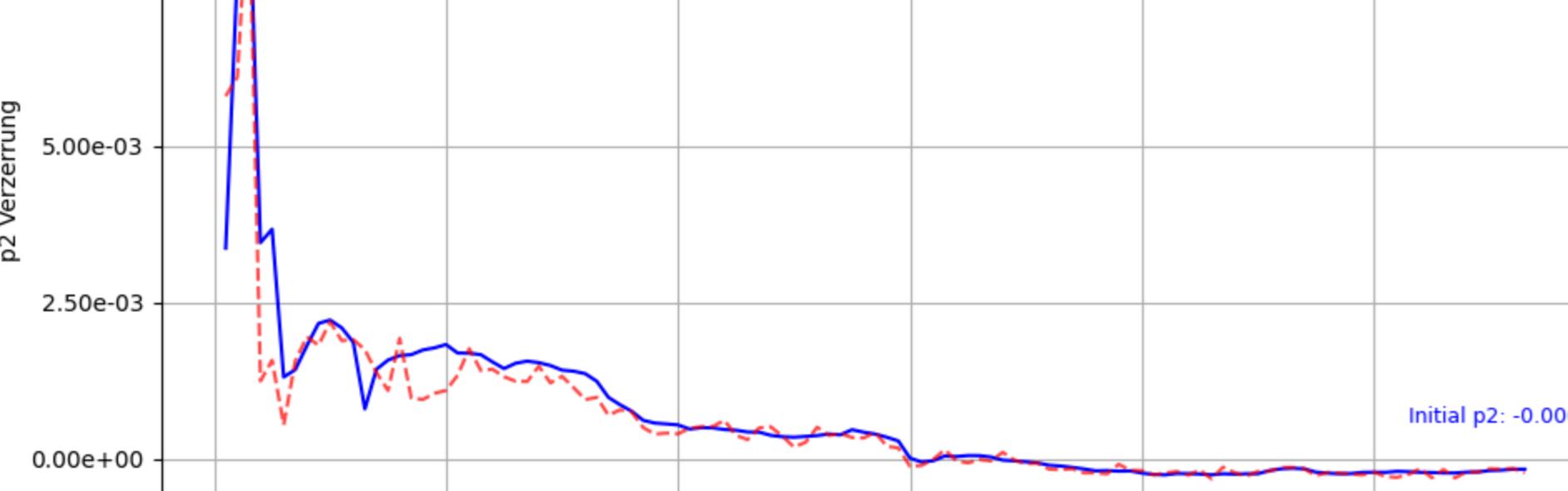
Kombinierte radiale Verzerrungskurve über verschiedene Kameramodelle



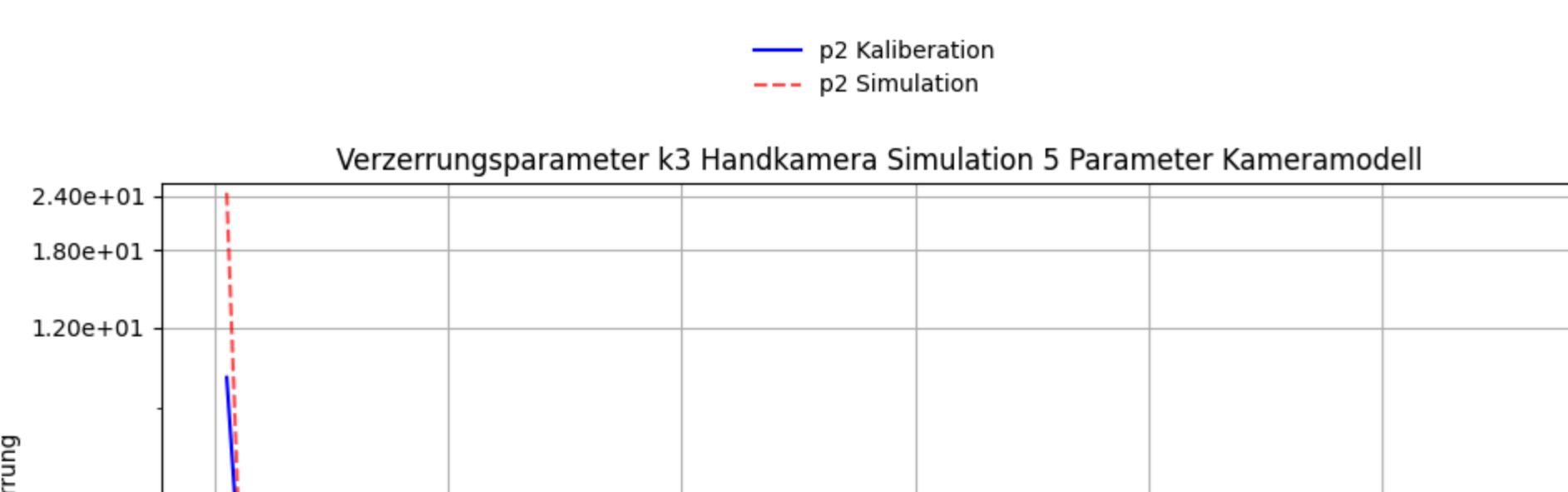
Verzerrungsparameter k2 Handkamera Simulation 5 Parameter Kameramodell



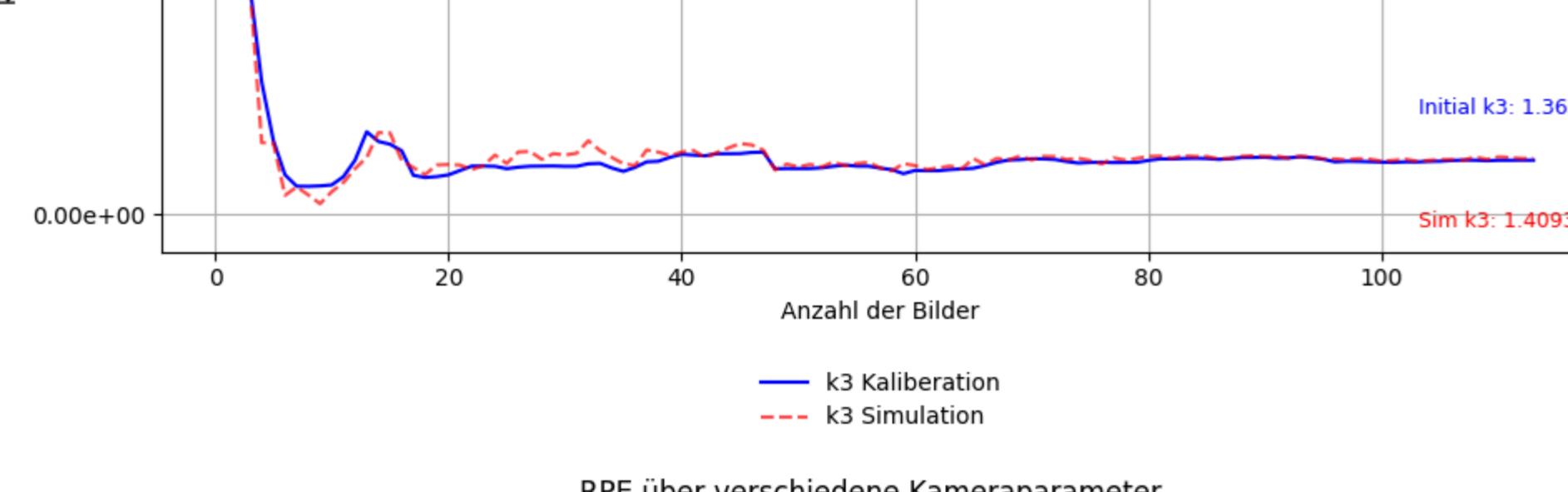
Verzerrungsparameter p1 Handkamera Simulation 5 Parameter Kameramodell



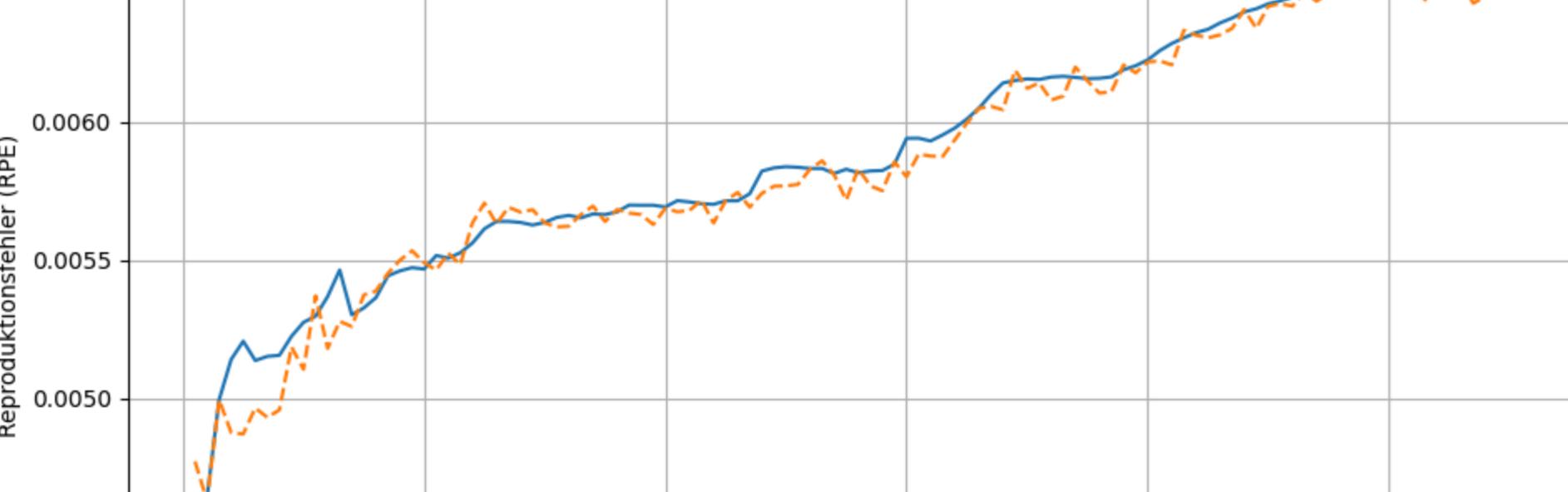
Verzerrungsparameter p2 Handkamera Simulation 5 Parameter Kameramodell



Verzerrungsparameter k3 Handkamera Simulation 5 Parameter Kameramodell



RPE über verschiedene Kameraparameter



Zusammenfassung

Die durchgeführten Simulationen und Kalibrierungen haben ergeben, dass es keine signifikanten Unterschiede in den Verzerrungsparametern oder im Reprojektionsfehler (RPE) gibt, wenn Bilder mit oder ohne Stativ aufgenommen werden. Sowohl bei der Aufnahme der Bilder mit Stativ (initiale Kalibrierung) als auch bei der simulierten Handkamera-Aufnahme (ohne Stativ) wiesen die RPE-Werte eine hohe Übereinstimmung auf. Auch bei den Verzerrungsparametern k_1 , k_2 , k_3 und p_1 und p_2 konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen der Kalibrierung mit Stativ und der simulierten Variante ohne Stativ festgestellt werden. Die Kurven der initialen Kalibrierung und der simulierten Handkamera-Aufnahme wiesen eine hohe Übereinstimmung auf, wobei lediglich minimale Abweichungen, insbesondere bei den radialen Verzerrungsparametern, zu verzeichnen waren. Dies lässt den Schluss zu, dass die Kalibrierung selbst bei einer leichten Handbewegung während der Aufnahme eine hohe Stabilität aufweist.

Die durchgeführte Analyse hat keine signifikanten Unterschiede in den Verzerrungsparametern oder im RPE aufgezeigt, sofern die Bilder ohne Stativ aufgenommen werden. Allerdings besteht bei Aufnahmen ohne Stativ das Risiko einer Bewegungsunschärfe. Dies kann insbesondere dann auftreten, wenn die Kamera bei der Aufnahme eine leichte Bewegung aufweist oder das Bild eine unzureichende Stabilisierung aufweist. Bewegungsunschärfe kann dazu führen, dass die Schachbrettmuster in den Kalibrierungsbildern nicht mehr korrekt erkannt werden, was die Genauigkeit der Kalibrierung potenziell beeinträchtigt.