

Statistische Auswertung von Perioden veränderlicher Sterne

Bernd Ehret und Michael Geffert

Abstract: *Non-equidistant measurements and scattering of brightness of stars due to measurement and calibration errors are often the cause of uncertainties in the period determination of variable stars. This is especially the case with historical photographic plates. Therefore the attempt is made to show the possibilities and restrictions in the period determination with a statistical evaluation of periods of variable stars. Goal of the investigation was to clarify the problem how noisy data affect the period determination with 3 period determination programs. Starting point was the brightness values of 3 stars from old photo plates. Using computer random methods 1000 simulated light curves with different random brightness scattering were generated in 3 ways. These simulated light curves generated in this way were then processed with 3 period determination programs (PerSea/AOV, PERIOD04, SpecTSA) and the periods obtained were evaluated as frequency distributions.*

1. Einleitung

Die Periodenbestimmung aus Lichtkurven veränderlicher Sterne ist häufig mit Unsicherheiten behaftet, wenn nur wenige nicht äquidistant verteilte Messungen zur Verfügung stehen bzw. die Helligkeiten relativ große Fehler aufweisen. Das ist insbesondere bei historischen Fotoplatten der Fall. Die Nicht-Äquidistanz und Streuung der Helligkeiten durch Mess- und Kalibrierungsfehler sind oft die Ursache abweichender Angaben von Helligkeitsperioden in der Literatur. Deshalb wird hier der Versuch unternommen mit einer statistischen Auswertung von Perioden veränderlicher Sterne die Möglichkeiten und Grenzen bei der Periodenbestimmung aufzuzeigen.

Ziel der Untersuchung war deshalb die Beantwortung der Frage, wie sich eine Streuung in den Daten auf die Periodenbestimmung mit 3 verschiedenen Programmen auswirkt

- a) bei Verwendung realer Helligkeitsmesswerte
- b) bei Verwendung simulierter Lichtkurven mit vorgegebener Periode

Ausgangspunkt waren Lichtkurven von 3 Sternen. Von einem Stern wurde auf die realen Helligkeiten zufällige Streuwerte addiert und damit 1000 Lichtkurven erzeugt.

Simulierte Lichtkurven wurden mit einer Sinusfunktion auf Grundlage der realen Perioden der beiden anderen Sterne erzeugt, indem die Sinuswerte an den Zeitpunkten der gemessenen Helligkeitswerte ausgelesen wurden. Auf diese Helligkeiten wurden wiederum zufällige Streuwerte addiert und ebenfalls je 1000 Lichtkurven erzeugt. Die simulierten Lichtkurven wurden dann mit 3 Periodenbestimmungsprogrammen bearbeitet (PerSea, PERIOD04, SpecTSA) und die so erhaltenen Perioden in Häufigkeitsdiagrammen zusammengefasst. Die Auswertung der Häufigkeitsverteilungen gibt Hinweise darauf, bis zu welchen Streuwerten die Programme akzeptable Ergebnisse liefern.

2. Periodenbestimmungsprogramme

2.1 Allgemeines

Zur statistischen Auswertung von Perioden veränderlicher Sterne wurden die Programme PerSea (Maciewski 2005, 2017; Schwarzenberg-Cerny 1996), PERIOD04 (P. Lenz, M. Breger 2005) und SpecTSA (R. Bücke) ausgewählt. Diese Programme werden von vielen Amateurastronomen häufig benutzt. Ein weiteres Auswahlkriterium war, dass die Programme zum automatischen Dateneinlesen und der Datenbearbeitung geeignet sein mussten bzw. adaptierbar waren. In Zusammenarbeit mit den Programm-Autoren wurden die Algorithmen zur Verarbeitung von sehr vielen Lichtkurvendaten angepasst.

Nachfolgende Tabelle 1 gibt eine kurze Übersicht der verwendeten Programme.

Tab. 1: Charakterisierung der verwendeten Programme

Programm	PerSea /AOV	PERIOD04	SpecTSA
Anwendung	Frequenzanalyse astronomischer Zeitreihen	Multi-Frequenz-Analyse astronomischer Zeitreihen	Sternspektren Helligkeitsperioden
Mathematische Methode	Fourier methode	Fourier methode	Phase Dispersion Minimization
Anpassung		Erweiterung für automatischen Dateiaufruf und Verarbeitung	
Verteilung Messpunkte	nicht äquidistant		

2.2 Spezielle Merkmale und Anmerkungen

PerSea / AOV

Die Verwendung des Programms PerSea (C++-Algorithmus) war in der vorliegenden Form nicht möglich, da die Adaption unter einer modernen Entwicklungsumgebung in vertretbarer Zeit nicht realisierbar war. Deshalb wurde der Algorithmus AOV (analysis of variance) von Schwarzenberg-Cerny verwendet, den der Autor auf seiner website veröffentlicht hat und der in PerSea integriert ist. Der Algorithmus lässt die Bearbeitung mehrerer Lichtkurven zu. Es wird ein Textfile mit den bestangepassten Frequenzen ausgegeben, aus den die Perioden ableitbar sind.

PERIOD04

Zur Verarbeitung mehrerer Lichtkurven hat der Programmautor eine adaptierte Version erstellt. Zu deren Nutzung wird ein batch-file in der windows-console gestartet. Zusätzlich muss hier für jede zu bearbeitende Lichtkurve ein separater batch-Aufruf aus einer eigenen Datei gestartet werden. Deshalb sind zur Verarbeitung von 1000 Lichtkurven zusätzlich 1000 batch-files notwendig. Das ist jedoch kein Problem, da

diese batch-files gleichzeitig mit den simulierten Lichtkurven in einem Durchlauf erzeugt werden können.

SpecTSA

Vom Programmator wurde eine zweite Version des Programms erstellt, mit der beliebig viele Lichtkurven nacheinander bearbeitet werden können. Vorarbeiten sind hier nicht notwendig.

Es war nicht unser Ziel, eine Beurteilung der Leistungsfähigkeit der Programme zu erarbeiten. Die Programme sind nicht für statistische Vergleichsuntersuchungen erstellt worden. Bei der Periodenbestimmung aus einzelnen Lichtkurven weichen die Programme nur unwesentlich voneinander ab. Die Unterschiede bei der automatischen Periodenbestimmung ergeben sich vor allem dadurch, dass für einen Durchlauf von 1000 Lichtkurven immer nur ein Parametersatz an Nebenbedingungen vorgegeben werden kann. Die Untersuchung wurde vielmehr deshalb durchgeführt, um statistisch gesicherte Datensätze für Aussagen zum Einfluss von Streuungen nichtäquidistant verteilter Sternhelligkeiten zu erhalten.

3. Bearbeitung der Lichtkurven

Die Bearbeitung der Fotoplatten aus denen die Daten dieser Sterne erhalten wurden, ist bereits in früheren Rundbriefen der Autoren ausführlich beschrieben worden (Geffert et al. 2017, Ehret, B. & Geffert, M., 2018, Ehret, B. & Geffert, M., 2019).

Die statistische Bearbeitung der Helligkeitswerte wurde wie folgt durchgeführt:

1. Erzeugung von 1000 Lichtkurven durch Addition und Subtraktion von zufälligen Streuwerten in vorgegebenen Bereichen
2. Bearbeitung der jeweils 1000 Lichtkurven mit jedem Programm zur Periodenbestimmung
3. Berechnung der Häufigkeitsverteilung der Perioden
4. Darstellung in Häufigkeitsdiagrammen

3.1 Gemessene Lichtkurve

Der Einfluss zufälliger Streuungen gemessener Helligkeiten wurde an mehreren Sternen untersucht und soll hier exemplarisch am Stern UCAC 4 787-031924 (S1) vorgestellt werden. S1 ist ein Delta Cephei Stern und bereits seit 2009 bekannt (Hoffman et al. 2009). Im UCAC 4 ist der Stern mit $B=13.527$ und $V=12.051$ ausgewiesen. Unsere Helligkeiten liegen im Bereich 13.04 bis 13.72, $P=3.925879$. Bei ASAS-SN ist $P=3.9266335$, bei Hoffmann $P=3.92161$. ASAS und unsere Periode sind auf 0,0007545 Tag (=1 min) identisch. Die Periodenbestimmung mit den 3 Programmen ergibt für Stern S1 die in Tabelle 2 enthaltenen Perioden.

Tab. 2: Periodenbestimmung S1

	PerSea	Period04	SpecTSA	Mittelwert
Periode [Tage]	3.925879	3.9277	3.9275	3.927026333
Differenz zum Mittelwert [Tage]	-0.001147 (-1.65min)	0.000673 (0.97min)	0.000473 (0.68min)	

Für S1 wurde als ein erster Ansatz für die Helligkeitsstreuungen Mag 0.25, 0.5 und 1.0 verwendet.

3.2 Simulierte Lichtkurven

Zur weiteren statistischen Untersuchung wurden simulierte Lichtkurven auf Basis von Sinusfunktionen benutzt.

A: Projektion der Helligkeiten auf einen sinus mit Periode $P = 0.1594$ Tage

Ausgehend vom Stern S2, UCAC4 210-075140 (Ehret, B. & Geffert, M., 2018) mit einer Periode P von 0.1594 Tage wurden mit der Funktion $\sin(2\pi/P \cdot t)$ eine simulierte Lichtkurve erzeugt. Weiterhin erfolgte eine Anhebung der Sinuswerte auf reale Helligkeiten durch Addition des Mittelwertes der Helligkeiten des Sterns. An dieser simulierten sinusförmigen Lichtkurve mit vorgegebener Periode erfolgten dann Addition und Subtraktion von zufälligen Helligkeitswerten. Die Ergebnisse mit dem Stern S1 zeigten, dass eine Helligkeitsstreuung von 80% der Amplitude zu groß für eine sichere Periodenbestimmung ist. Die Streubreite wurde deshalb mit zwei Wertebereichen zu 40% und 60% der realen Helligkeitsamplitude angesetzt:

B: Projektion der Helligkeiten auf einen sinus mit Periode $P = 0.04166$ Tage

Zur Untersuchung von Sternen mit Perioden, die in der Größenordnung der Belichtungszeit liegen, wurde der Stern UCAC 4 789-033509 (S3) ausgewählt. Die Belichtungszeiten unserer Fotoplatten lagen bei etwa 30 min. Zur Simulation wurde deshalb eine Sinusfunktion mit einer Periode von 1 Stunde (0.04166 Tage) gewählt. Um die Simulation an eine wahre Messung anzugleichen, ist auch hier die simulierte Lichtkurve auf das tatsächliche Helligkeitslevel von 17 mag angehoben worden.

Die weitere Bearbeitung der simulierten Lichtkurve und Auswertung der Periodenbestimmung erfolgte wie bei S2. Tabelle 3 gibt eine Übersicht der Perioden auf Basis der Messpunktverteilung von S3 ohne Helligkeitsstreuung. Alle 3 Programme berechnen die Periode exakt.

Tab. 3: Perioden von S3 mit Funktion $\sin(2\pi \cdot 1/0.04166 \cdot t)$

	Persea	Period04	SpecTSA
Periode in Tage	0.041666	0.041666	0.041667

4. Periodenstatistik

Zur Übersicht sind in Tabelle 4 die Messwerte der Helligkeiten, Amplituden sowie die vorgegebenen Perioden der 3 Sterne dargestellt.

Tab. 4: Ausgangsdaten für die simulierten Lichtkurven

	S1	S2	S3
Simulierte Periode P in Tage	3.92	0.1594	0.04166
Größenordnung P	Einige Tage	Einige Stunden	Eine Stunde
Mittlere Helligkeit	13.36	15.22	17.15
Amplitude	0.61	0.515	0.986

Aus den erzeugten 1000 Lichtkurven mit den zufälligen Helligkeitsstreuungen wurden mit den 3 Programmen die Perioden bestimmt und daraus die Häufigkeitsverteilungen für Perioden-Klassen berechnet.

Die nachfolgenden Tabellen zeigen die Treffer-Häufigkeit der Perioden, wenn diese im Bereich $\pm 10\%$ der jeweils vorgegebenen Periode liegen.

Tab. 5: Trefferhäufigkeit der Perioden für S1

Helligkeitsstreuung Mag	Persea/ AOV	PERIOD04	SpecTSA	Anmerkung
0.25 \approx 40%	888	981	784	
0.5 \approx 80%	139	467	279	
1.0 \approx 160%	24	133	102	

Tab. 6: Trefferhäufigkeit der Perioden für S2

Helligkeitsstreuung % Amplitude	Persea/ AOV	PERIOD04	SpecTSA	Anmerkung
40 %	873	871	901	
60 %	670	764	687	

Tab. 7: Trefferhäufigkeit der Perioden für S3

Helligkeitsstreuung % Amplitude	Persea/ AOV	PERIOD04	SpecTSA	Anmerkung
40 %	987	984	885	
60 %	654	683	464	

Im Anhang sind die Diagramme der Häufigkeitsverteilungen aus der Periodenbestimmung mit den 3 verwendeten Programmen für die 3 Sterne dargestellt.

5. Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurde exemplarisch der Einfluss von Helligkeitsstreuungen auf die Periodenbestimmung von verschiedenen Programmen untersucht. Zur Periodenbestimmung wurden 3 Programme unter gleicher Datenlage gegenübergestellt. Anhand zweier Streuungsbereiche für die Helligkeit ist mit simulierten Lichtkurven die Treffergenauigkeit der vorgegebenen Perioden untersucht

worden. Im Ergebnis lässt sich feststellen, dass bei einer Amplitudenstreuung bis 40% die Perioden mit einer Genauigkeit von $\pm 10\%$ mit einer Trefferquote von bis zu 98% gefunden werden. Eine Amplitudenstreuung bis 60% ergibt im besten Fall nur eine Trefferquote von etwa 76%.

Diese Aussagen können nicht als pauschale Verallgemeinerung für alle Periodenbereiche und für alle Grade der Nicht-Äquidistanz gelten. Dazu müssten umfangreichere Datensätze über größere Periodenbereiche untersucht werden. Für die hier durchgeführte Periodenbestimmung für Perioden zwischen 1 Stunde und 4 Tagen lässt sich der genannte Trend in der Trefferquote belegen.

Literatur

Maciejewski, G., 2017, PerSea 2.7 - period search for Windows

Maciejewski, G. & Niedzielski, A., 2005, Baltic Astronomy, 14, 205

Schwarzenberg-Cerny, A., 1996, Fast and Statistically Optimal Period Search in Uneven Sampled Observations, Astrophysical Journal Letters v.460, p.L107

Lenz, P.; Breger, M., 2005, Period 04, Communications in Asteroseismology, vol. 146, p.53-136

Bücke, R., 2018, <https://astro.buecke.de/software.html>

Geffert et al. 2017, BAV RB 2017-4, S. 143

Ehret, B. & Geffert, M., 2018, BAV RB 2018-3, S. 100

Ehret, B. & Geffert, M., 2019, BAV RB 2019-4, S. 178

D. I. Hoffman, T. E. Harrison, and B. J. McNamara, Automated Variable Star Classification Using the Northern Sky Variability Survey, Astron. J., 138, Issue 2, 466-477 (2009)

Bernd Ehret, 53639 Königswinter, bme42@t-online.de

Michael Geffert, Birtzberg Observatorium, 53332 Bornheim, Siefenfeldchen 104, birtzberg_obs@posteo.de

Anhang Stern S1

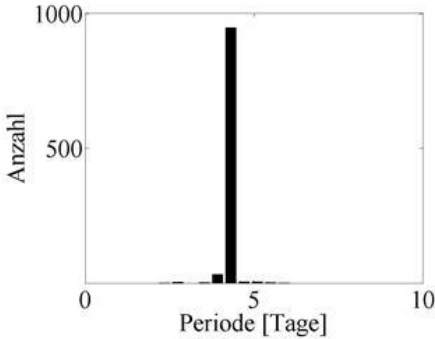


Abb. A1: Häufigkeitsverteilung der Perioden für S1 mit PERIOD04, 40% Streuung

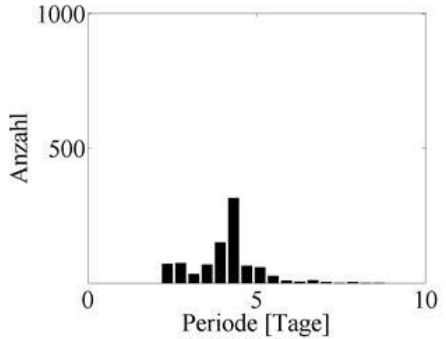


Abb. A2: Häufigkeitsverteilung der Perioden für S1 mit PERIOD04, 80% Streuung

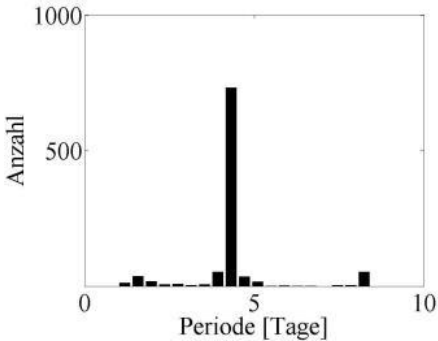


Abb. A3: Häufigkeitsverteilung der Perioden für S1 mit SpectTSA, 40% Streuung

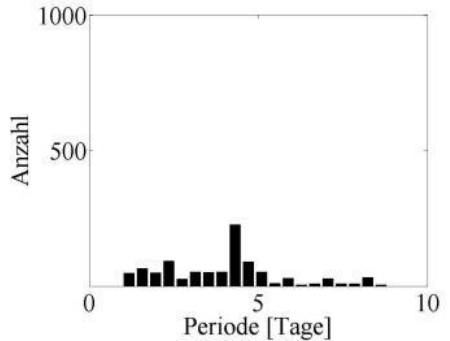


Abb. A4: Häufigkeitsverteilung der Perioden für S1 mit SpectTSA, 80% Streuung

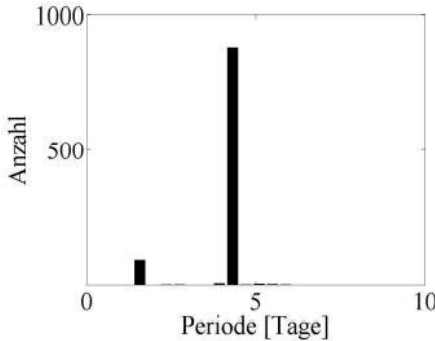


Abb. A5: Häufigkeitsverteilung der Perioden für S1 mit AOV, 40% Streuung

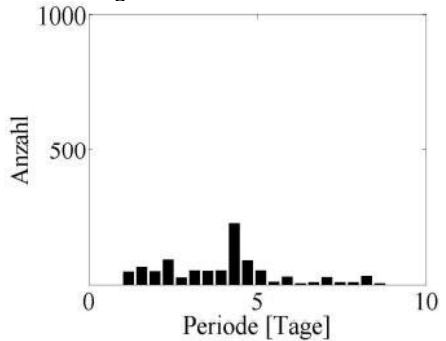


Abb. A6: Häufigkeitsverteilung der Perioden für S1 mit AOV, 80% Streuung

Anhang Stern S2

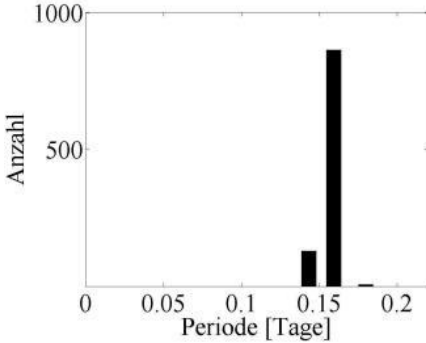


Abb. A7: Häufigkeitsverteilung der Perioden für S2 mit PERIOD04, 40% Streuung

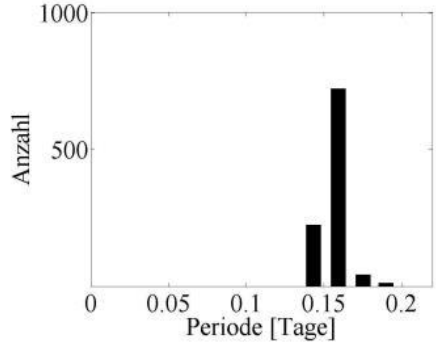


Abb. A8: Häufigkeitsverteilung der Perioden für S2 mit PERIOD04, 60% Streuung

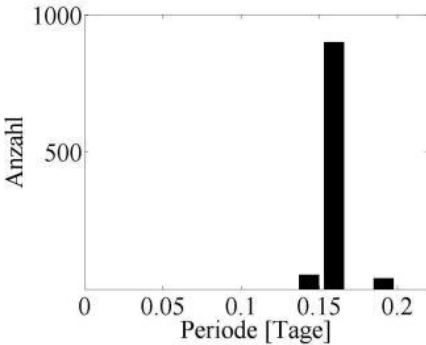


Abb. A9: Häufigkeitsverteilung der Perioden für S2 mit SpectTSA, 40% Streuung

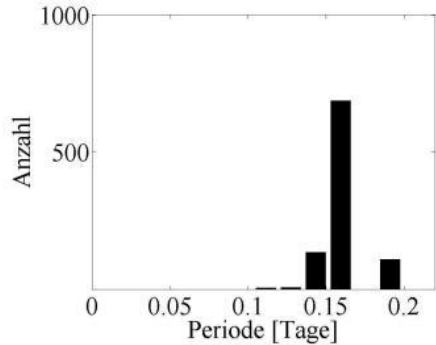


Abb. A10: Häufigkeitsverteilung der Perioden für S2 mit SpectTSA, 60% Streuung

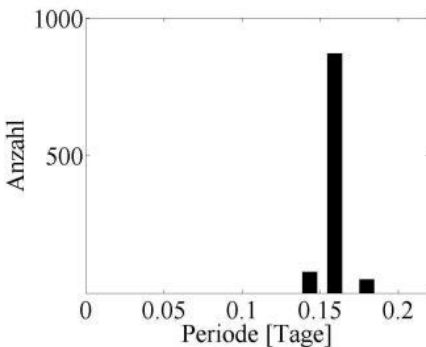


Abb. A11: Häufigkeitsverteilung der Perioden für S2 mit AOV, 40% Streuung

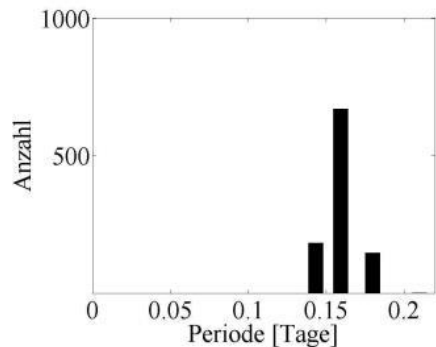


Abb. A12: Häufigkeitsverteilung der Perioden für S2 mit AOV, 60% Streuung

Anhang Stern S3

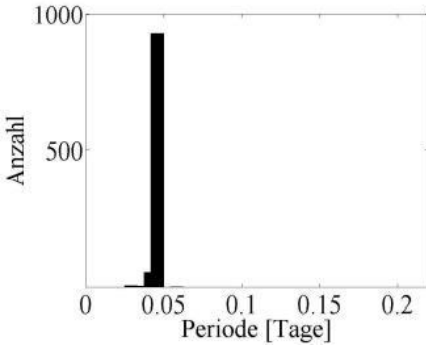


Abb. A13: Häufigkeitsverteilung der Perioden für S3 mit PERIOD04, 40% Streuung

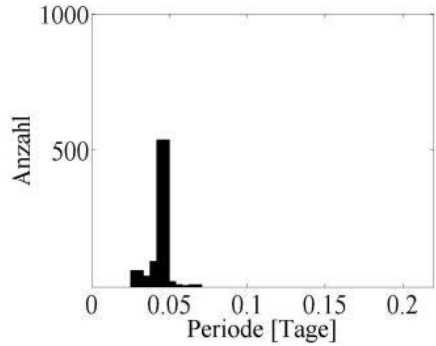


Abb. A14: Häufigkeitsverteilung der Perioden für S3 mit PERIOD04, 60% Streuung

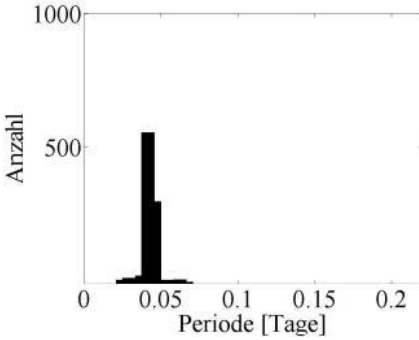


Abb. A15: Häufigkeitsverteilung der Perioden für S3 mit SpecTSA, 40% Streuung

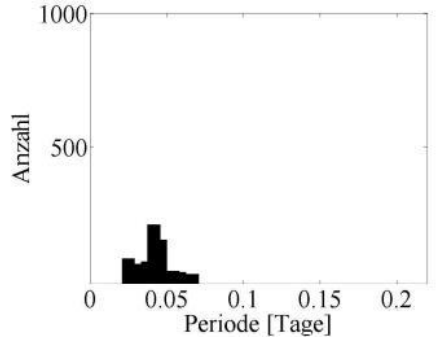


Abb. A16: Häufigkeitsverteilung der Perioden für S3 mit SpecTSA, 60% Streuung

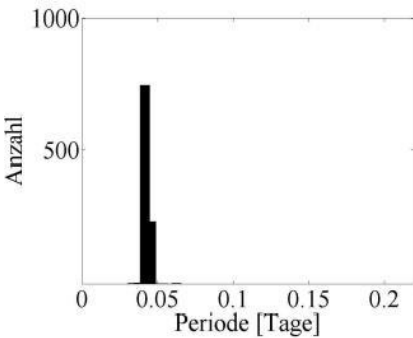


Abb. A17: Häufigkeitsverteilung der Perioden für S3 mit AOV, 40% Streuung

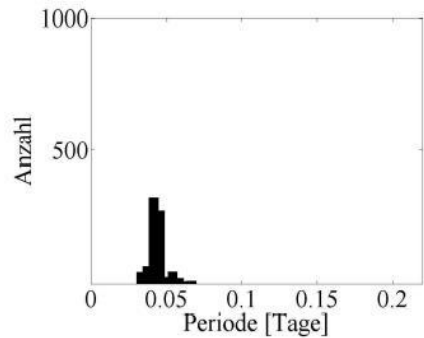


Abb. A18: Häufigkeitsverteilung der Perioden für S3 mit AOV, 60% Streuung