

Regenbögen höherer Ordnung in monochromen Licht

Versuche mit grünen 5mW-Laser an einzelner Wassertropfen

von Michael Großmann, Große Brunnenstraße 18, 75236 Kämpfelbach

info@lightsearcher.de www.lightsearcher.de

1. Einleitung

Was gibt es in der atmosphärischen Optik schöneres, als einen farbenprächtigen Regenbogen, der bei idealen Bedingungen einen großen Teil des Himmels einnimmt und dadurch nicht zu übersehen ist?

Unzählige fallende Wassertropfen sorgen für diese bunte geometrische Bogenform und doch erfüllen nur einige die Bedingungen im Auge des Betrachters, einen vollständigen Regenbogen sichtbar zu machen.

Wird man gefragt wie ein Regenbogen entsteht, ist die Antwort meist die gleiche: „...vor Dir regnet es und hinter Dir scheint die Sonne...“. Vom Prinzip her zwar richtig, doch ist die Entstehung eines Regenbogens alles andere als einfach zu erklären. Bedingt durch seine geometrische Form ist ein Regenbogen keine zweidimensionale Erscheinung, auch wenn unser Auge uns das vermuten lässt, sondern ein dreidimensionales Gebilde das IN unserem Auge als Bogen zusammengesetzt wird. Und bei diesem Versuch Mitmenschen das „Regenbogenmodell“ in seiner räumlichen Ausdehnung zu erklären, bleibt es meist, da nicht jeder ein gutes räumliches Vorstellungsvermögen besitzt. Dies genauer zu vertiefen würde aber für diesen Beitrag zu weitreichend sein.

Es gibt eine Vielzahl von unterschiedlichen Regenbögen, die von folgenden Faktoren abhängig sind:

- Tropfenform
- Tropfengröße
- Sonnenstand
- Sonnen-/Mondlicht oder Kunst-Licht
- Lichteintritt am Tropfen (direkt oder über Spiegelfläche)
- Lichtaustritt am Tropfen (direkt oder über Spiegelfläche)
- Süß- oder Salzwasser

Um diese verschiedenen Regenbogenarten in Bildern festzuhalten, bedarf es sicher einer ganz langen Zeitspanne, einige Bogenarten wird man wohl nie zu Gesicht bekommen.

Daher machte ich es mit zur Aufgabe, einen kleinen Teil davon zu veranschaulichen; die Regenbögen höherer Ordnung.

Höhere Ordnung bedeutet nicht, dass der Regenbogen positionsbezogen am Himmel eine höherer Stellung einnimmt; vielmehr bedeutet es die interne Reflexion des einfallenden Lichtes innerhalb des Tropfens. Ein primärer Regenbogen, also der Hauptbogen wie wir ihn kennen, entsteht durch einmalige Reflexion im Tropfen.

Man nennt dies auch die erste Ordnung. Demnach ist die zweite Ordnung der uns bekannte Sekundärbogen, oder auch Nebenregenbogen, der lichtschwächer und auch in der Farbreihenfolge invertiert zum Hauptbogen ist. Verantwortlich dafür ist die doppelte Reflexion innerhalb des Tropfens. Wenn ein einfallender Lichtstrahl zweimal innerhalb des Tropfens reflektiert wird, dann kann er das sicher auch dreimal, viermal, fünfmal? Ich wusste es nicht und machte mich im Internet auf die Suche nach Berichten, Bildern oder Veröffentlichungen über diese Möglichkeit der internen Reflexionen innerhalb eines Tropfens...

Ich wurde zwar fündig, allerdings überraschte es mich sehr, dass es nur wenig Material über diese Thematik gibt. Sehr aufmerksam wurde ich dann, als die Rede von Regenbögen dritter, vierter, fünfter und sechster Ordnung war. Allein schon deswegen, dass die dritte und vierte Ordnung ZUR Lichtquelle hin sichtbar sein sollte, machte mich sehr neugierig.

Von diesem Zeitpunkt an war mir klar, was ich genauer untersuchen und nach Möglichkeit auch dokumentarisch und bildlich zeigen wollte. Die unterschiedlichen Ordnungen, die innerhalb eines einzelnen Wassertropfens entstehen.

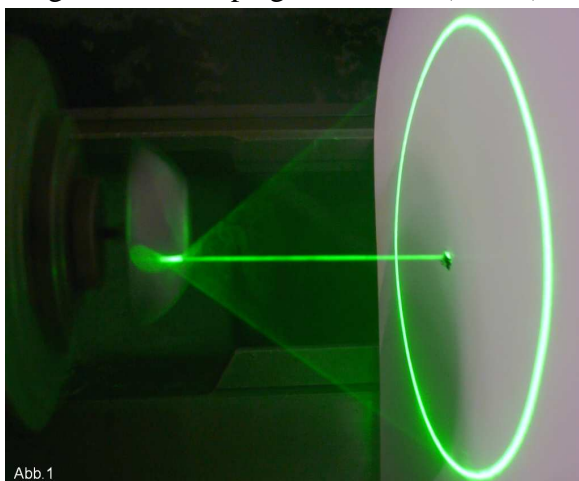
2. Darstellung des internen Reflexionspunktes des primären Bogens

Bedingt durch seine annähernde Kugelform, erzeugt ein einzelner fallender Regentropfen im parallelen Sonnenlicht einen vollständigen Regenbogenkreis.

Um sich dies besser vorstellen zu können, befestigte ich einen kleinen runden Spiegel an eine im 21° Winkel gebogene Schraube. Dieser Spiegel soll den internen Reflexionspunkt eines Tropfens darstellen.

Ein auftreffender Laserstrahl, der das Sonnenlicht simulieren soll, wird nun an der Spiegeloberfläche verdoppelt und unter einem Winkel von 42° zurückreflektiert; unter dem uns bekannten Regenbogenwinkel. Allerdings ist dies nur EIN möglicher Reflexionspunkt von vielen innerhalb des Tropfens.

In eine Drehmaschine eingespannt lies ich den Spiegel mit hoher Drehzahl um seine Achse rotieren. Der auftreffende Laserpunkt und etwas Rauch machten den „Regenbogenkegel“, ausgehend vom Spiegel, sichtbar. (Abb.1)



3. Versuchsaufbau zur Darstellung höherwertiger Ordnungen

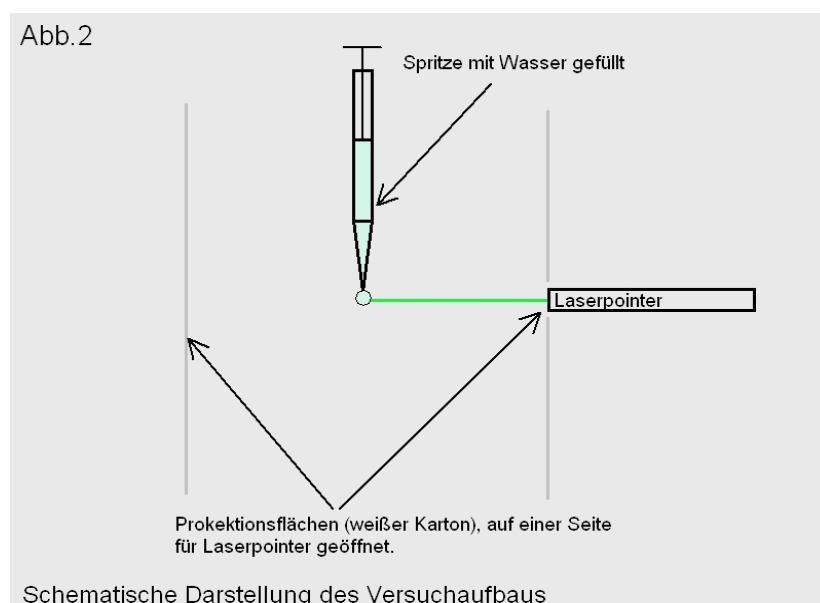
Für diesen Versuch verwendete ich als Lichtquelle einen grünen 5mW Laserpointer, den ich an einem Stativ befestigte, welches sich durch eine Feinjustierschraube exakt einstellen lässt. Der Wassertropfen wurde mit Hilfe einer Einwegspritze und einer feinen Kunststoffkanüle erzeugt. Die Kunststoffkanüle hat den Vorteil, da sie ebenfalls in einem Stativ befestigt werden kann und sich mit der Feinjustierschraube (die genau gegen die Kanüle drückt) unterschiedliche Tropfengrößen herstellen lassen. Es fehlten jetzt nur noch die Projektionsflächen, die die erwünschten Bögen sichtbar machen. Hierfür verwendete ich weiße Kartons.

Um eine großflächige Projektion zu gewähren, wird ein Karton mit einem Loch versehen, durch das der Laserstrahl durchleuchtet. Somit kann man dann rückstreuende Bögen nahe der Lichtquelle darstellen. Ein Karton in Leuchtrichtung aufgestellt, ist für die entstehenden Bögen in Vorwärtsstreuung bestimmt.

Mit Hilfe einer herkömmlichen Wäscheklammer betätigte ich dauerhaft den Drucktaster des Laserpointers.

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass das einfallende Laserlicht an Wassertropfen eine Vielzahl von Streulichtern entstehen lässt, die das Augenlicht gefährden können. Daher sollte man bei solchen Versuchen andere Personen ausreichend auf die Gefahr darauf hinweisen und evtl. Vorsichtsmaßnahmen treffen!

Auf folgender Skizze (Abb.2) und nachfolgendem Foto (Abb.3) soll der Versuchsaufbau dargestellt werden.



4. Erläuterung über den einzelnen Wassertropfen und seine Ausleuchtung

Im monochromen Licht (grüner 5mW Laser) wird nur bei idealer Bedingung der komplette Wassertropfen angeleuchtet, nämlich dann, wenn der Tropfen und der Leuchtpunkt des Laserstrahles den gleichen Durchmesser haben. In diesem Beispiel hat der Leuchtpunkt einen ungefähren Durchmesser von 1mm.

Für meinen Versuch stellte ich absichtlich größerer Tropfen her (ca.2 mm Durchmesser) um den Laserstrahl von der Mitte des Tropfens nach links und rechts zu bewegen, um die einzelnen Bögen besser und abwechselnd sichtbar zu machen. Die Ausrichtung des Spritze bzw. des Laserpointers erfordert etwas Zeit und Übung, denn bei einer starken Erschütterung fällt der Tropfen von der Kanüle.

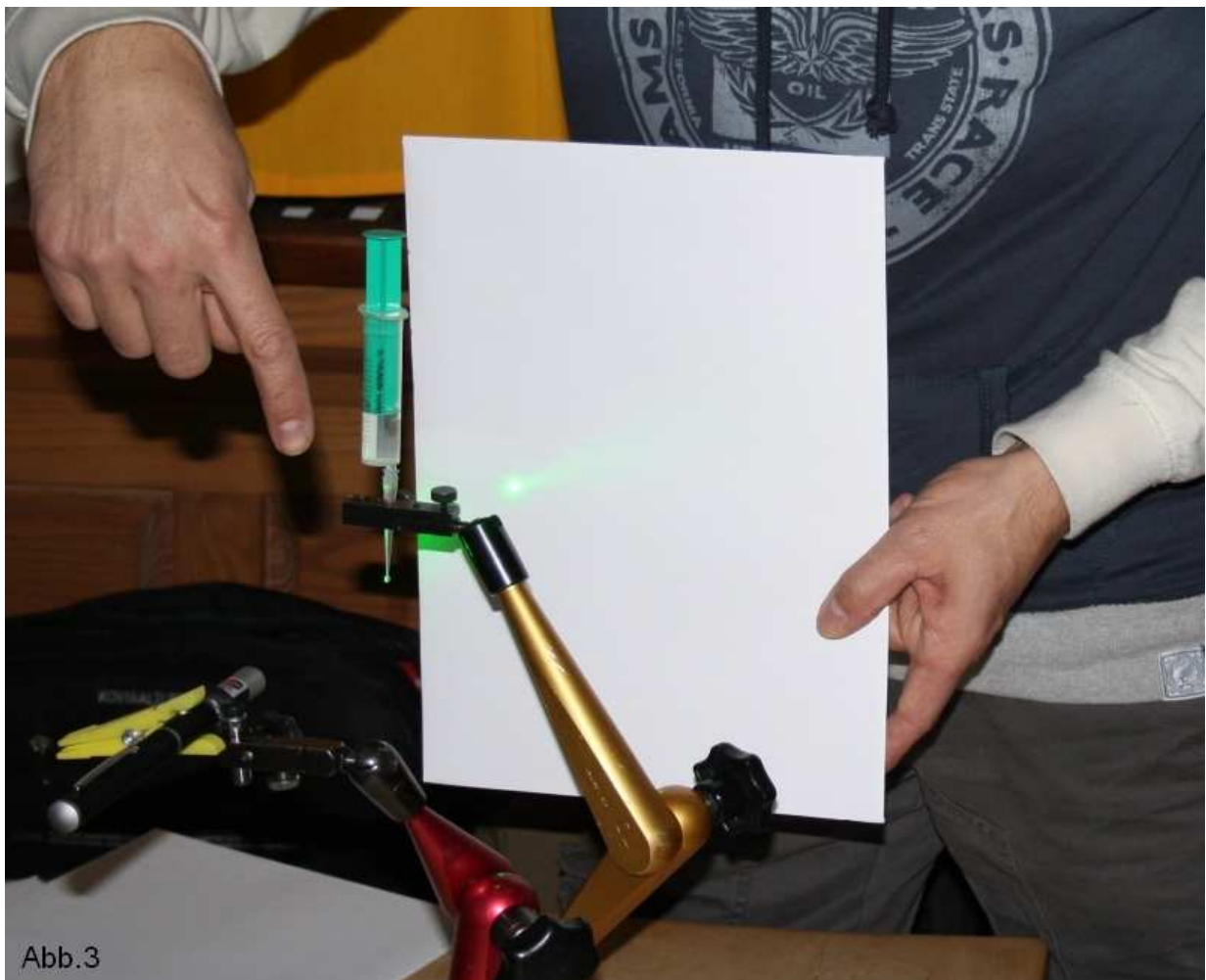


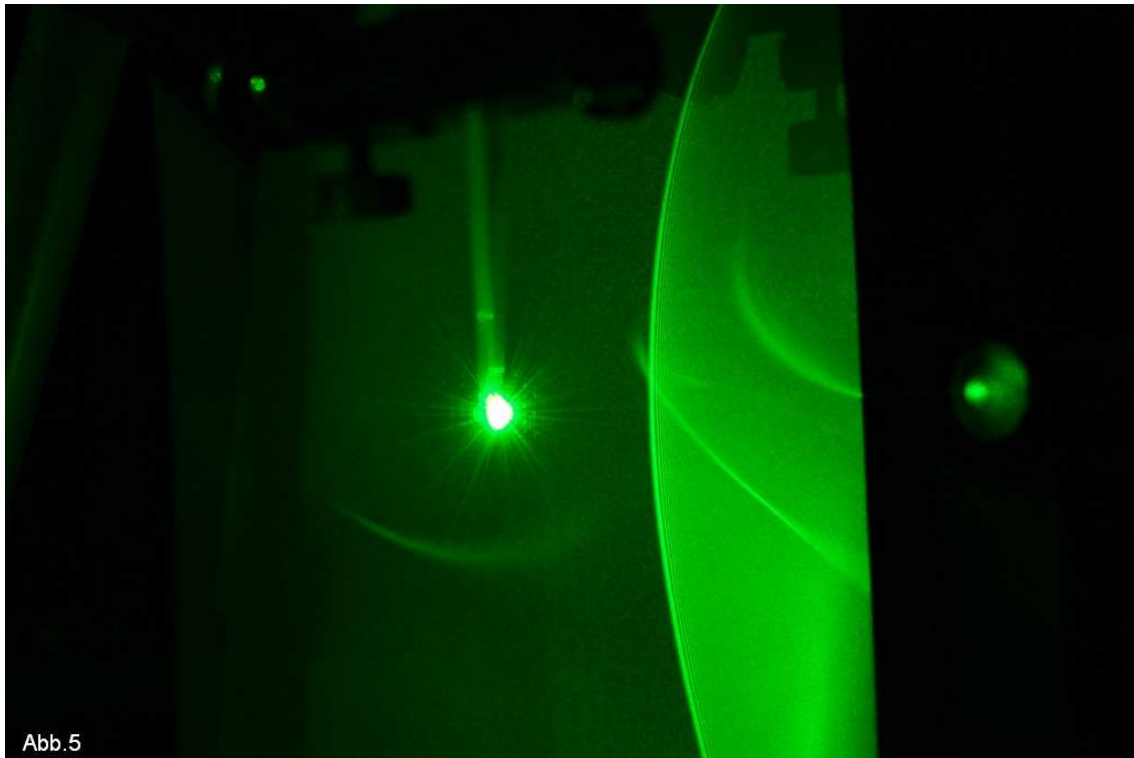
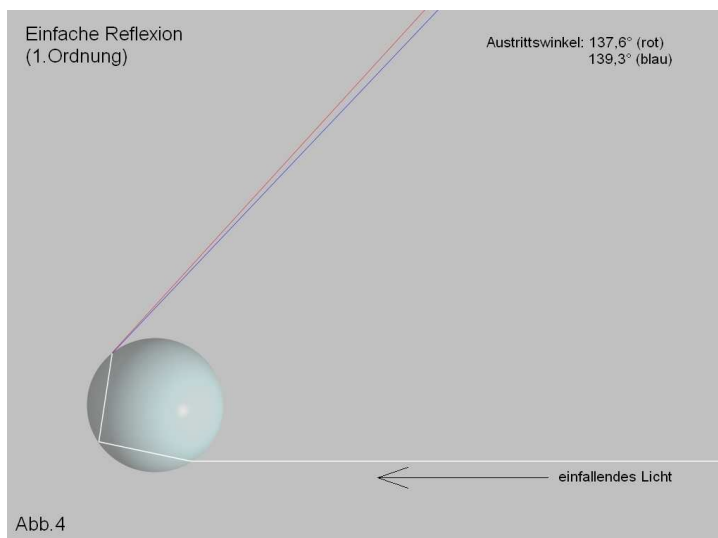
Abb.3

4. Unterschiedliche Ordnungen

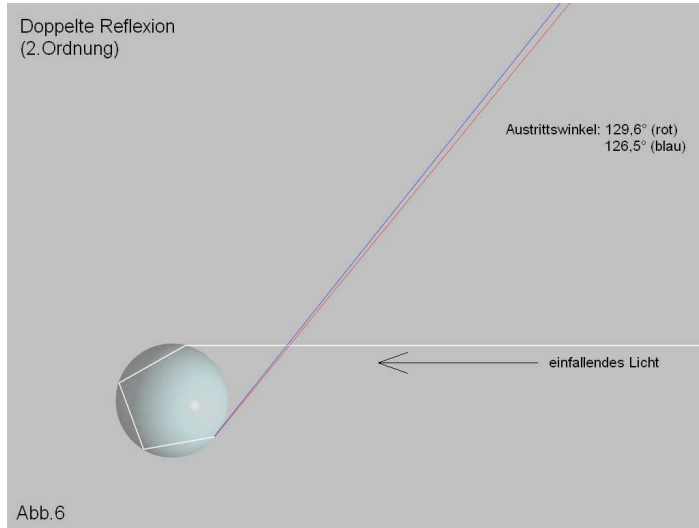
4.1. Kaustiken der 1. und 2. Ordnung (primärer und sekundärer Bogen)

In der Natur wären dies die Regenbögen, wie wir sie kennen, der primäre Hauptbogen (Abb.5) und der sekundäre Nebenbogen. (Abb. 7)

Das einfallende Licht wird im Tropfen einmal reflektiert und verlässt den Tropfen wieder in Richtung Lichtquelle in einem rückstreuenden Winkel von ca. 138° . (Abb.4)

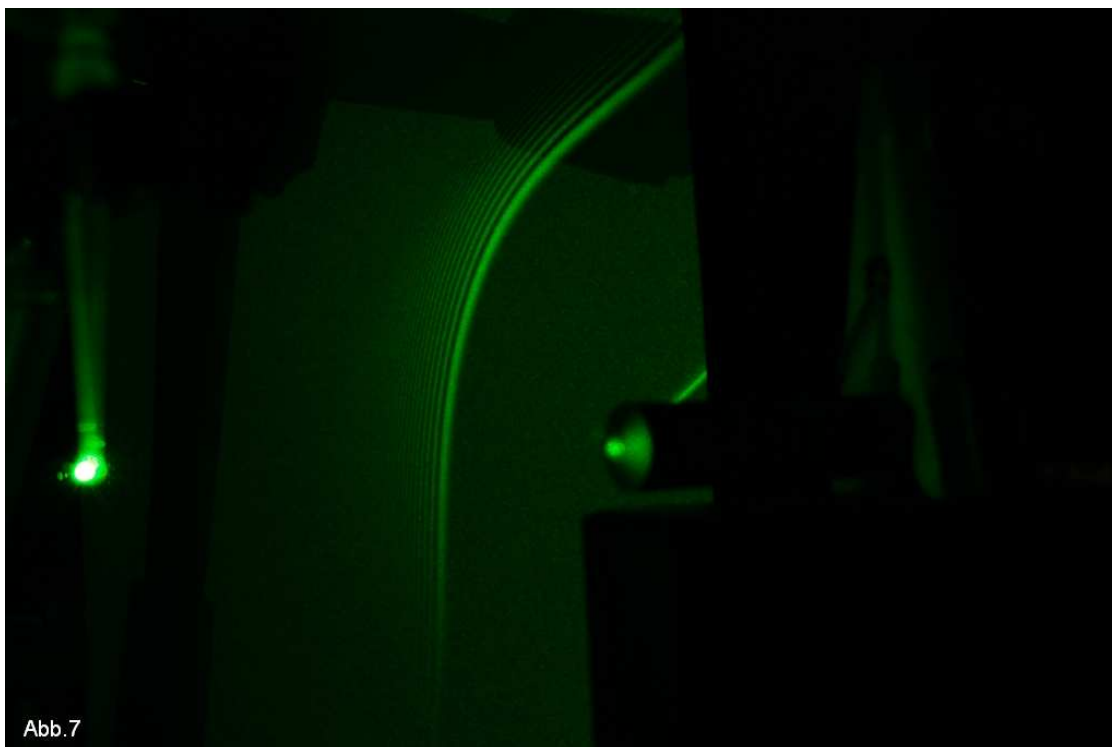


Beim sekundären Bogen wird das einfallende Licht zweimal im Tropfen reflektiert, bevor es den Tropfen verlässt. (Abb.6)



In Abb.7 wird der Tropfen von der rechten Seite beleuchtet und wird auch nach rechts hinten abgelenkt, in einem rückstreuenden Winkel von ca.128°.

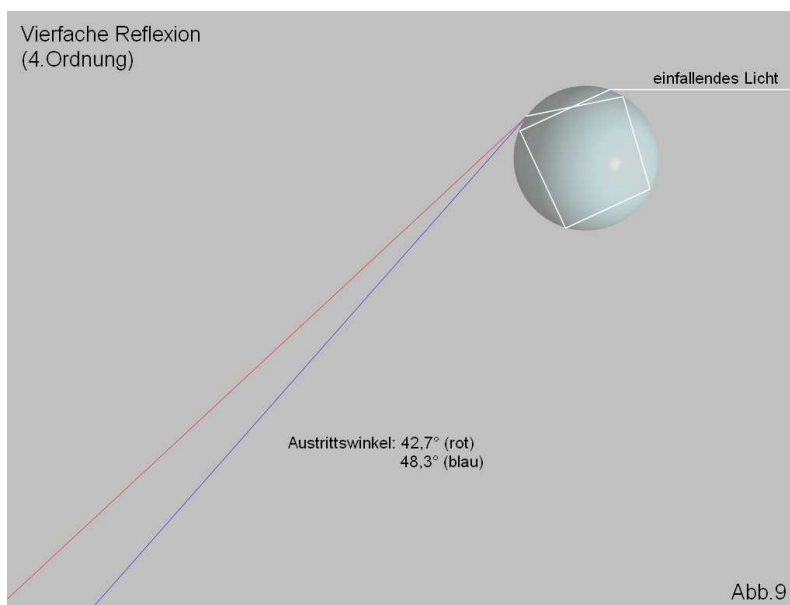
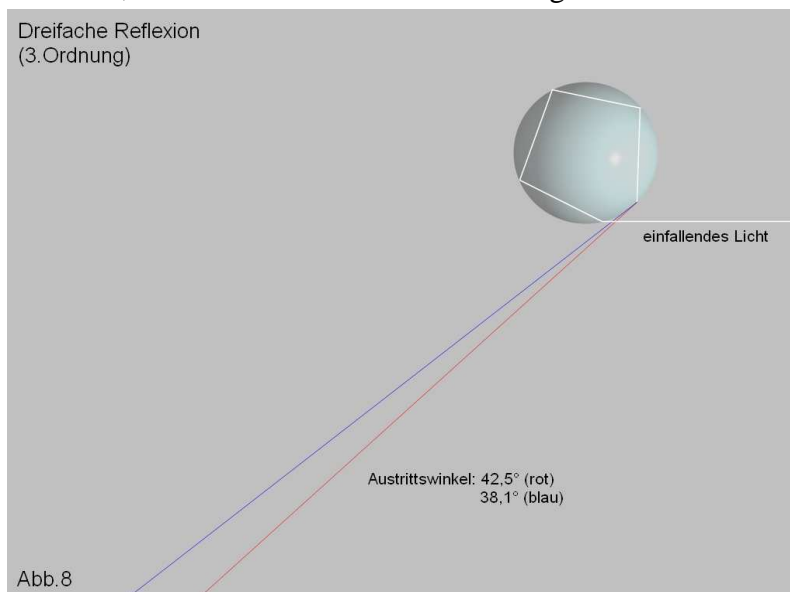
Die unterschiedlichen Formen der Kaustiken beruhen auf der Tatsache, dass der hängende Wassertropfen durch die Schwerkraft in die Länge gezogen wird. Desweiteren sorgt der Aufhängepunkt der Kanüle für Verzerrungen.



4.2. Kaustiken der 3. und 4. Ordnung (tertiärer und quartärer Bogen)

Die 3. und 4. Ordnung wird in der Natur wohl eher schwer zu finden sein, da zum einen die Sonne einen Großteil einfach überstrahlen wird und zum andern die häufige Reflexion innerhalb des Tropfens dafür sorgt, das die Bögen immer lichtschwächer werden und auch die Breite des Bogens mit jeder Reflexion zunimmt. Eine genauere Abgrenzung zum Hintergrund wird enorm schwierig.

Im Versuch ist es etwas einfacher, die 3. Ordnung (Abb.8, 10 u.11) konnte bei ca.40° vorstreuend dargestellt werden. Das einfallende Licht trifft auf die linke Seite des Tropfens, wird dreimal reflektiert und tritt dann nach links vorne aus. Bemerkenswert war für mich die Tatsache, dass die Kaustik eine schöne Bogenform hatte.



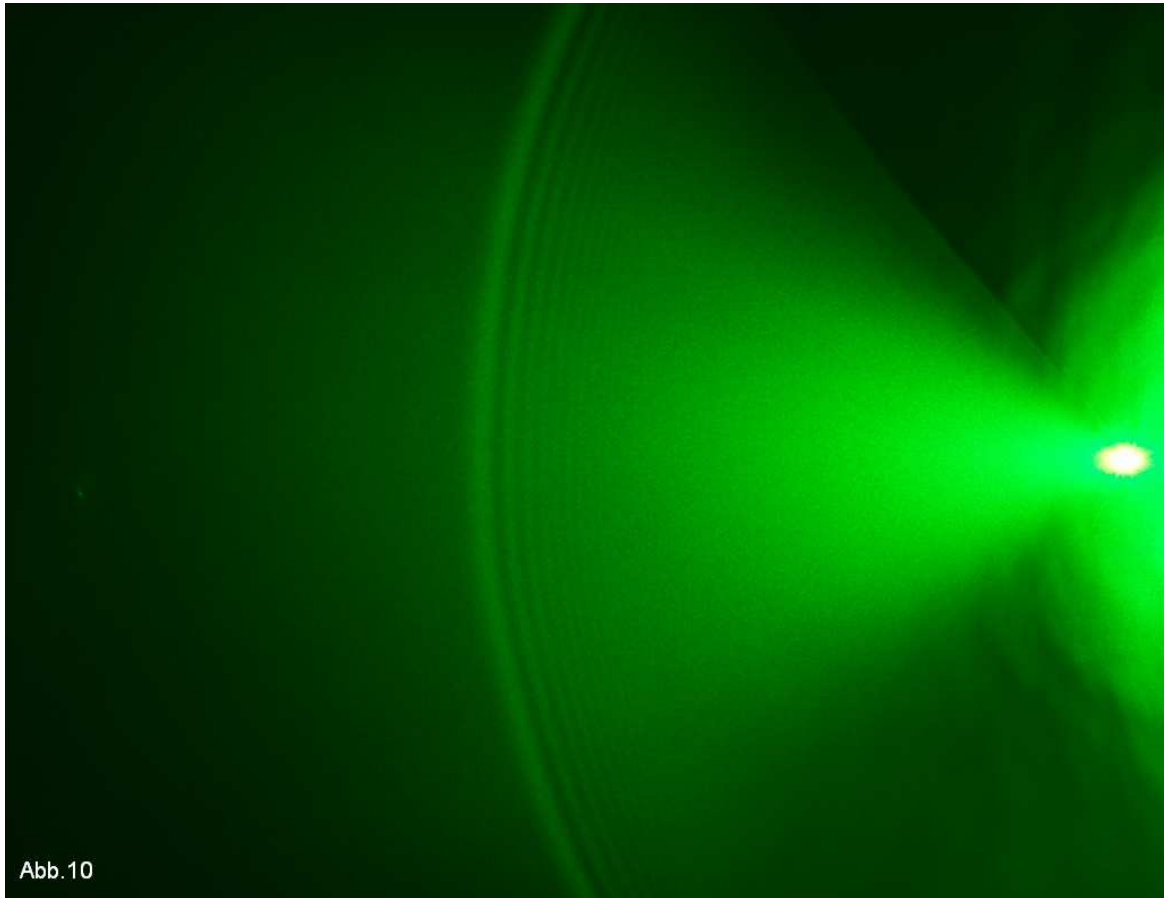


Abb. 10

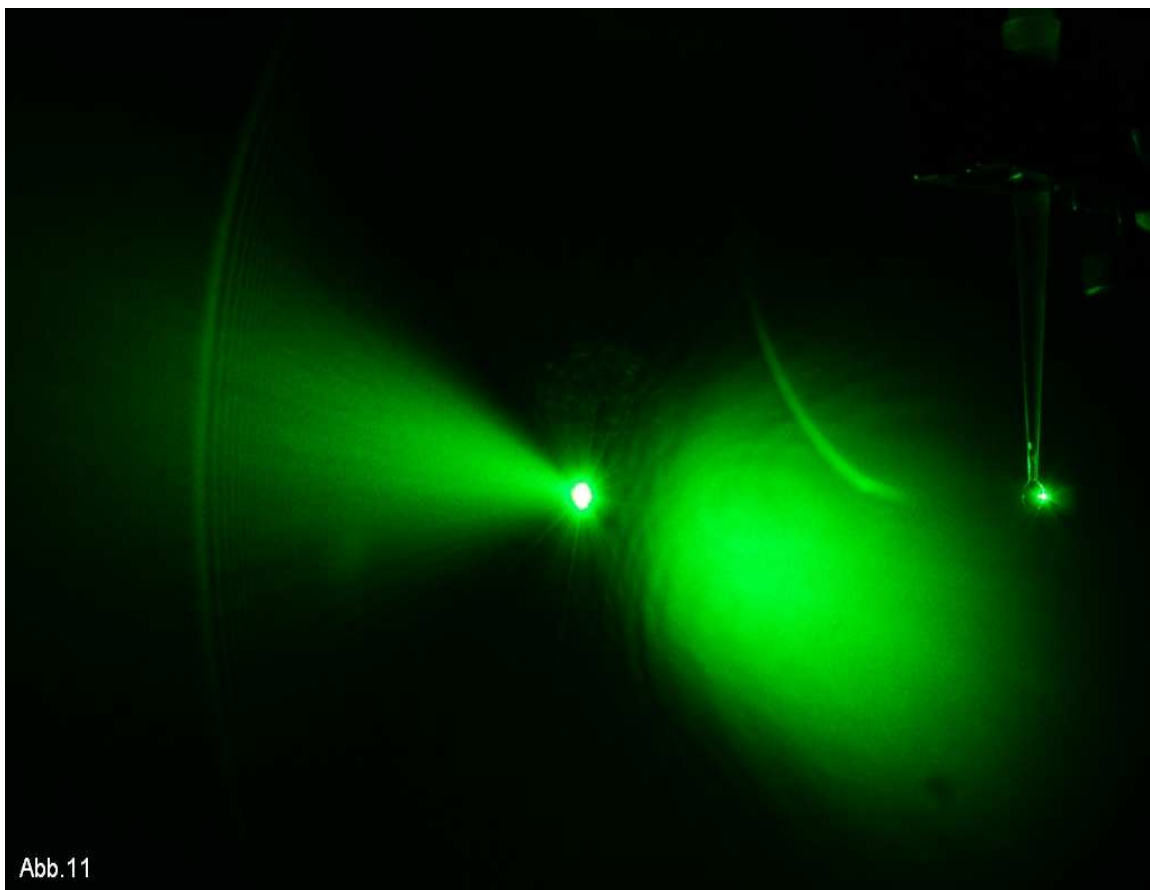


Abb. 11

Diese Bogenform vermisste ich bei der Kaustik der 4. Ordnung (Abb.9 u.12). Überhaupt war die „Herstellung“ dieses Bogens eine echte Herausforderung. Im Vergleich zu den anderen Bögen konnte ich ihn nur ein paar Mal beobachten. Ich erkannte außerdem, dass die direkte Transmission des Laserlichtes durch den Tropfen eine enorme Streuwirkung hatte und somit auf dem weißen Karton stark blendete.

Eventuell werden zukünftige Versuche mit unterschiedlichen Projektionsflächen bessere Ergebnisse liefern.

Die 4.Ordnung wird innerhalb des Tropfens 4 mal reflektiert, das Licht trifft bei meinem Versuch an der rechten Seite auf den Tropfen und tritt in Vorwärtsstreuung links in einem ungefähren Winkel von ca.45° aus.

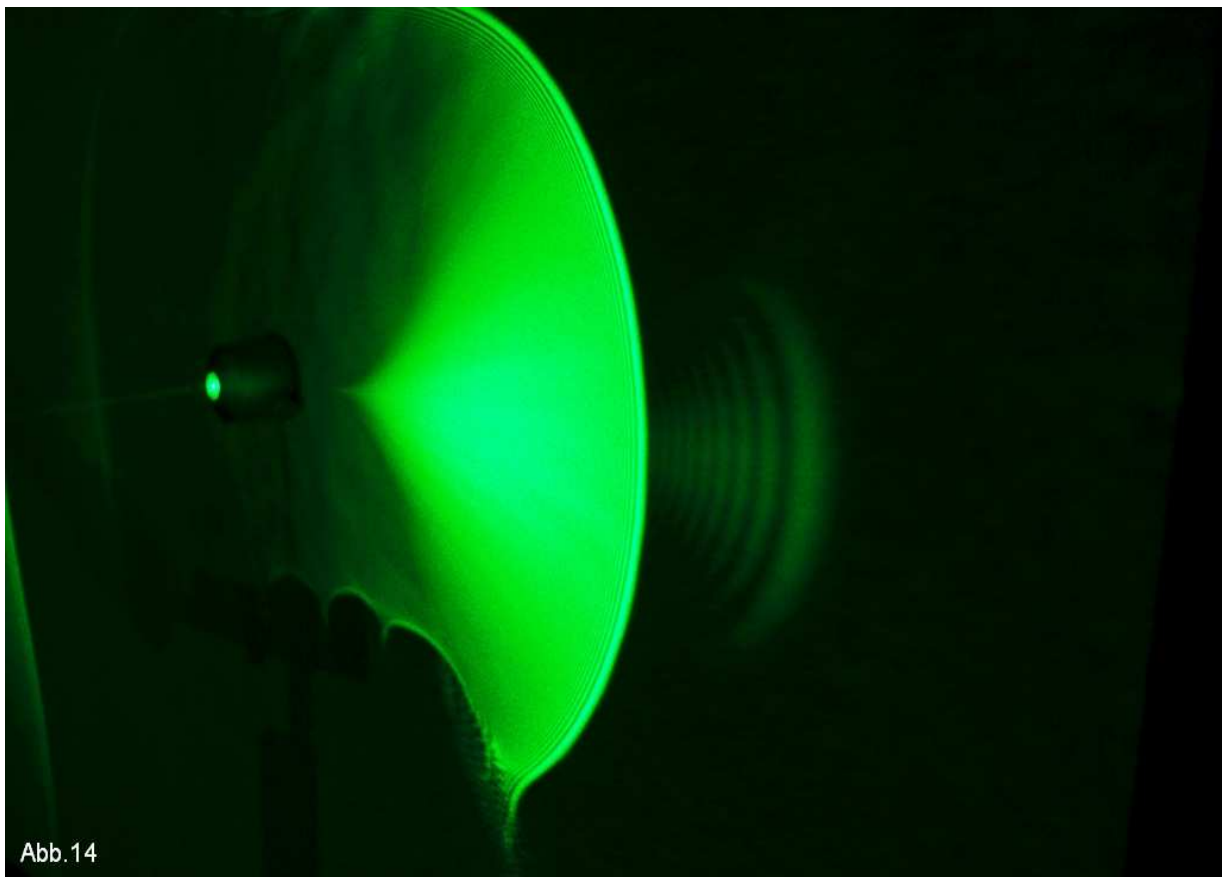
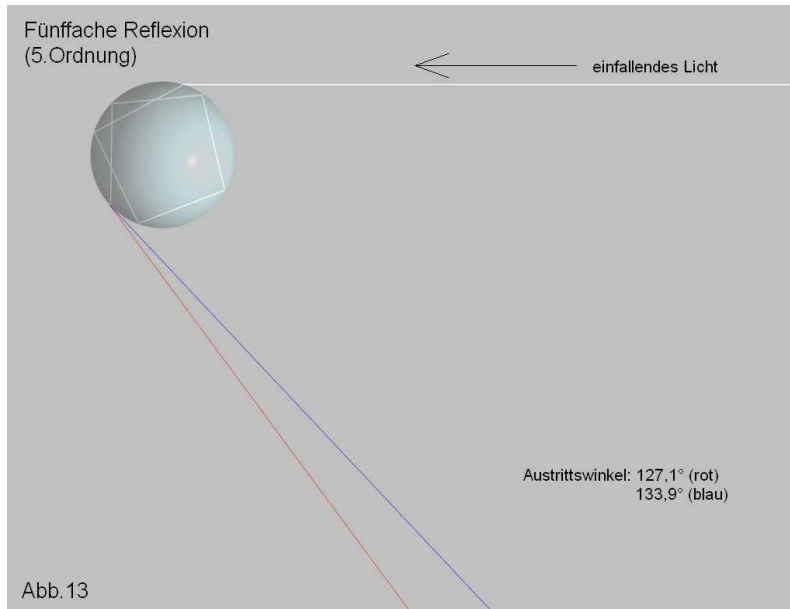


4.3. Kaustiken der 5. und 6. Ordnung

Die 5. Ordnung dürfte in der Natur bei besten Bedingungen beobachtbar sein. Sie wäre zwar äußerst lichtschrach, aber dennoch bestünde die Möglichkeit im „Alexander Dunkelband“ diesen Bogen nachzuweisen. Mit einem rückstreuenden Winkel von ca.130° wird er zwar mit dem Sekundärbogen nahtlos übergehen, aber ein gewisser Grünanteil wäre durchaus denkbar. Daher sollte man vielleicht mal ältere Aufnahmen mit besonders hellen Regenbögen mit

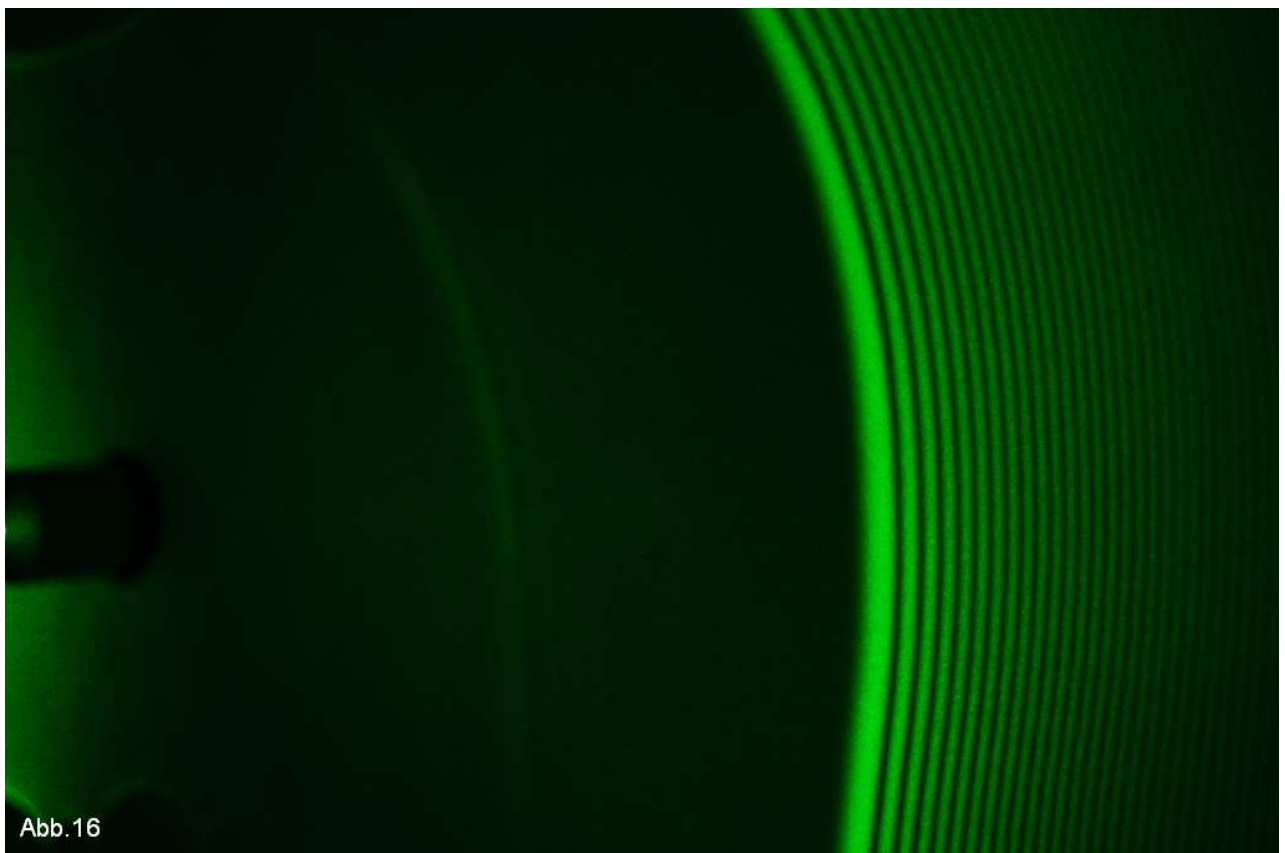
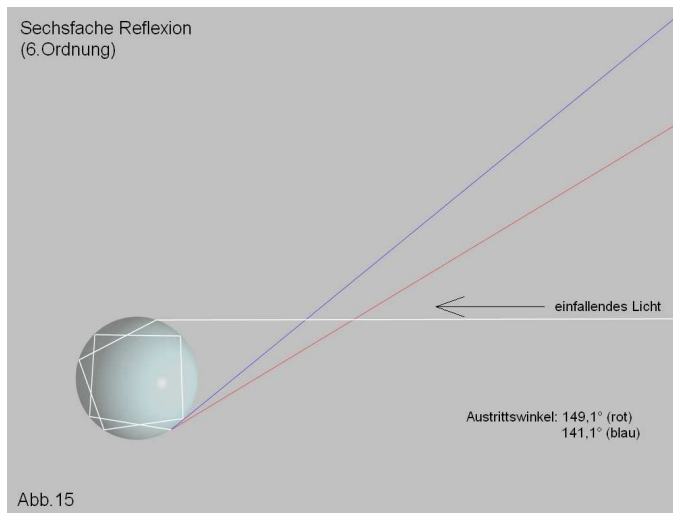
diversen digitalen Filtern bearbeiten, um tatsächlich einen Regenbogen 5.Ordnung zu entdecken.

Bei meinem Versuch (Abb.14) trifft das Licht den Tropfen auf der rechten Seite, wird fünffach innerhalb reflektiert und tritt nach hinten links aus.



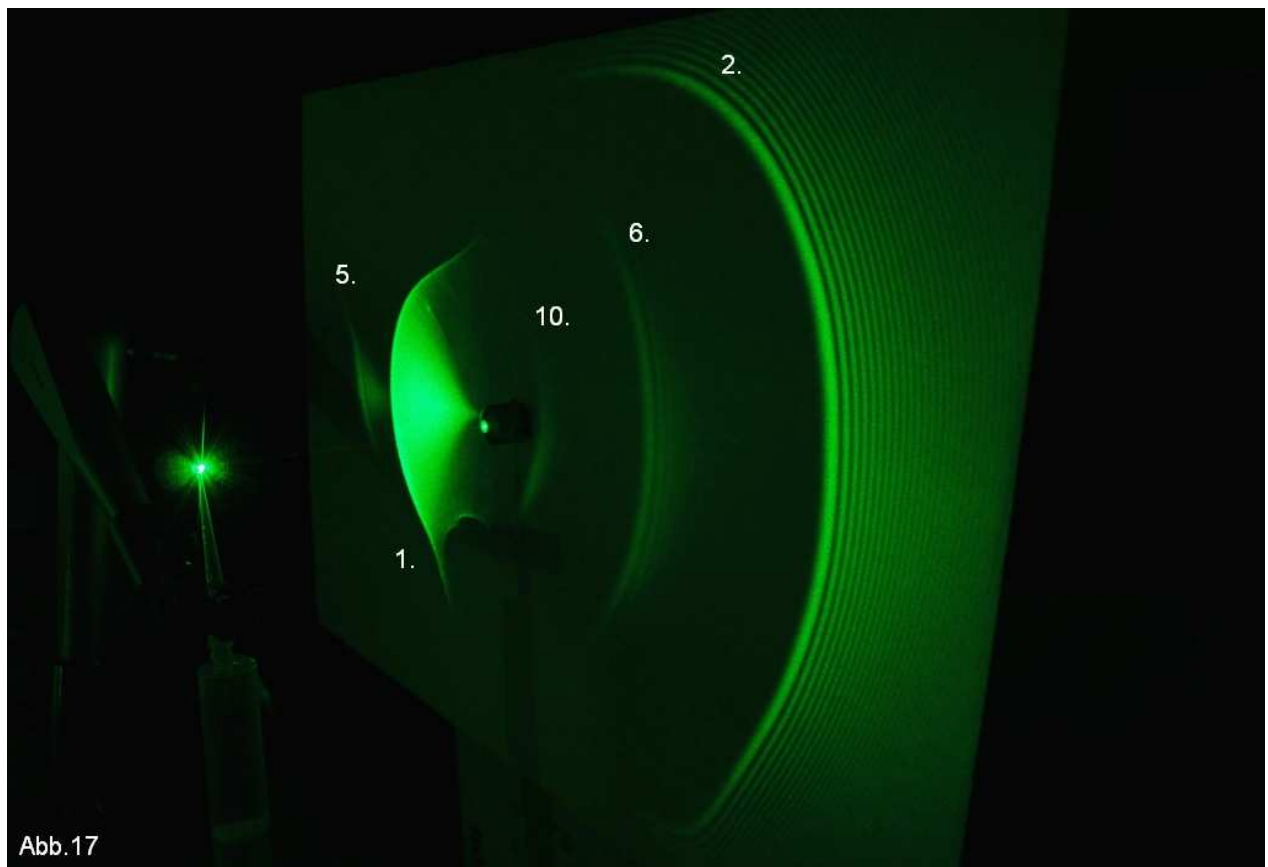
Ob die 6. Ordnung überhaupt in der Natur gesehen werden könnte, ist äußerst fraglich. Mit einem rückstreuenden Winkel von ca. 145° steht er innerhalb des primären Bogens und wird durch die starke Aufhellung innerhalb diesen nicht mehr zu erkennen sein.

Er entsteht durch sechsfache interne Reflexion, ehe er den Tropfen verlässt. (Abb.15 u.16)



In Abb.9 sind nun alle rückstreuenden Kaustiken eines Tropfens mit ca.3 mm Durchmesser vereint. Die Spritze wurde hierbei um 180° gedreht, um einen runderen und größeren Tropfen zu erzielen. Die Form der Kaustiken bestätigte mir, dass der Aufbau mit einem stehenden Tropfen um ein vielfaches bessere Ergebnisse erzielt, als ein hängender Tropfen. Es wurde sogar die 10. Ordnung sichtbar.

Der stehende Tropfen wird zwar durch die Schwerkraft in gewisser Weise zusammengedrückt, aber das geschieht ebenso mit einem fallenden Tropfen in der Natur an der Unterseite.



7. Schlusswort

Ob jetzt in der Natur tatsächlich irgendwann mal Regenbögen höherer Ordnung gesichtet und fotografiert werden, kann an dieser Stelle selbstverständlich nicht beantwortet werden.

Aber ich denke, dass zukünftige und gezielte Beobachtungen die Chancen auf eine erfolgreiche Sichtung erhöhen werden.

Vielleicht ist es mit einfachen Mitteln wie Gartenschlauch und eine günstige Abschattung der Sonne möglich, den Regenbogen 3. Ordnung zu beobachten.

Oder wir oben schon erwähnt, Abbildungen von sehr hellen primären Bögen genauer unter die Lupe zu nehmen um den Regenbogen 5. Ordnung zu entdecken.

Versuchen wir unser Glück, wenn wir schon am Ende des Regenbogens keinen Topf mit Gold finden, dann vielleicht „höherwertigere“ Dinge. Und falls nicht; dann genießen wir einfach die schönen Momente eines farbenprächtigen Regenbogens.

Anmerkung:

Alle* gezeigten Abbildungen und Skizzen sind Eigentum des Verfassers und somit urheberrechtlich geschützt.

*Abb.3 wurde von Eik Beier freundlicherweise zur Verfügung gestellt.