



**Hochschule für Angewandte
Wissenschaften Hamburg**

Hamburg University of Applied Sciences

Fakultät für Design, Medien und Information

BACHELORARBEIT

**Optimierung der räumlichen Signalverteilung
durch visuelle Feedback-Methoden:**

Eine Untersuchung von Vektorskop-gestützten
Mixing-Prozessen in der Musikproduktion

—

Vorgelegt am 11.07.25

Thore Müller-Wiegand

Matrikel-Nr.: XXXXXXXXXX

Erstprüfer: Prof. Thomas Görne
Zweitprüferin: Prof. Dr. Eva Wilk

**HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE
WISSENSCHAFTEN HAMBURG**

Department Medientechnik
Finkenau 35
20081 Hamburg

Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der Optimierung der räumlichen Signalverteilung durch visuelle Feedback-Methoden in der Musikproduktion. Dabei steht das sog. Vektorskop-Messgerät als visuelles Feedback im Fokus der Arbeit. Nach einem Blick auf die Funktionsweise, dessen Geschichte und die unterschiedlichen Darstellungsformen sowie die Korrelation von Audiosignalen, wird eine praktische Untersuchung vorgenommen. Hier werden exemplarisch anhand eines eigenen Tracks Konzepte entwickelt, mit denen eine voll ausgefüllte Darstellung im Vektorskop erreicht werden kann. Dabei wird sich die visuelle Vektorskop-Darstellung eines professionellen Referenzsongs als Ziel gesetzt. Es wird sowohl der Einfluss von unterschiedlichen, das Stereobild beeinflussenden Effekten sowie deren Anwendung im Mixing und Mastering beleuchtet. Die Ergebnisse werden zur Prüfung auf einen neuen Track angewendet, bewertet und zum Schluss reflektiert.

Abstract

This thesis deals with the optimization of spatial signal distribution through visual feedback methods in music production. The focus of this thesis is on the so-called vectorscope measuring device as a visual feedback tool. After examining its functionality, history, and various display formats, as well as the correlation of audio signals, a practical investigation is conducted. Using one of my own tracks as an example, concepts are developed that can be used to achieve a fully filled display in the vectorscope. The goal is to achieve the visual vectorscope display of a professional reference song. The influence of different effects that affect the stereo image and their application in mixing and mastering will be examined. The results will be applied to a new track for testing, evaluated, and finally reflected upon.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	5
1. Einführung	8
2. Grundlagen	9
2.1 Lissajous Figuren	9
2.1.1 Historie	9
2.1.2 Entstehung von Mustern	11
2.2 Das Vektorskop	14
2.2.1 Audiosignalverarbeitung im Vektorskop-Plug-in	15
2.2.2 Hardware-und Softwaregeräte	16
2.2.3 Relevanz für die Musikproduktion	18
2.2.4 Polardarstellungen	18
2.3 Die Korrelationsanzeige	21
2.3.1 Berechnung	22
2.3.2 Mathematisches Beispiel	23
3. Untersuchung	24
3.1 Herangehensweise	24
3.1.1 Visueller Vergleich professioneller Referenztracks	25
3.1.2 Analyse professioneller Referenztracks	26
3.2 Mixing und Mastering eines eigenes Tracks	28
3.2.1 Auswahl der Instrumente	29
3.2.2 Gain Staging	30
3.2.3 Frequenzbalance	32
3.2.4 Räumliche Platzierung im Stereopanorama	35
3.2.5 Effektgeräte	36
3.2.6 Dynamik	38
3.2.7 Mastering	40

3.3 Anwenden der erlernten Techniken auf einen weiteren Track	44
3.3.1 Mixing und Mastering	44
3.3.2 Vergleich	47
3.3.3 Professionelles Feedback	48
4. Ergebnisse und Diskussion	50
4.1 Learnings	50
4.2 Schlussbetrachtung	51
Literaturverzeichnis	54
Anhang	57
Audioverzeichnis	58
Eigenständigkeitserklärung	59

Abbildungsverzeichnis

Abbildung	Seite
Abbildung 1: Lissajous Experimentaufbau	9
Abbildung 2: Der Laterale Harmonograph und Schwingungsmuster	10
Abbildung 3: Lissajous-Figur auf einem Oszilloskop	11
Abbildung 4: 90° verschobene Harmonische Schwingungen mit zugehöriger Lissajous Darstellung	12
Abbildung 5: Phasendifferenz von 0° und 180° und zugehörige Lissajous Darstellung	13
Abbildung 6: Lissajous-Darstellung im iZotope Imager	15
Abbildung 7: tc electronic Clarity M Stereo	17
Abbildung 8: Goniometer in Logic Pro	17
Abbildung 9: Flux Stereo Tool	17
Abbildung 10: Imager-Tool vom Plug-in Ozone (Vektorskop Lissajous Darstellung)	17
Abbildung 11: Figur bei 45° Winkel	19
Abbildung 12: Figur bei -45° Winkel	20
Abbildung 13: Figur bei 0°	20
Abbildung 14: Figur bei 90° Winkel	20
Abbildung 15: Airias Drop im Vektorskop	26
Abbildung 16: Illeniums Drop im Vektorskop	26
Abbildung 17: Illeniums Strophe im Vektorskop	27
Abbildung 18: Airias Strophe im Vektorskop	27
Abbildung 19: Breites Pad im Vektorskop	30
Abbildung 20: Bass Drum im Vektorskop	30
Abbildung 21: Breites Pad und Bass Drum im Vektorskop	31
Abbildung 22: Bass Drum ist zu laut (und clippt) im Vektorskop	32
Abbildung 23: Bass Drum zu leise im Vektorskop	32
Abbildung 24: Bass Drum in einem guten Lautstärkeverhältnis im Vektorskop	32
Abbildung 25: Mix mit übertönten Höhen im Vektorskop	33
Abbildung 26: Mix mit übertöntem Bassbereich im Vektorskop	33

Abbildung 27: Mix mit überbetontem Seitenanteil im Vektorskop	34
Abbildung 28: Mix mit überbetontem Mittelanteil im Vektorskop	34
Abbildung 29: Tieffrequenter Signalanteil im Vektorskop	35
Abbildung 30: Hochfrequenter Signalanteil im Vektorskop	35
Abbildung 31: Pad nicht geanned im Vektorskop	35
Abbildung 32: Pad geanned im Vektorskop	35
Abbildung 33: Mono Gitarre im Vektorskop	36
Abbildung 34: Gitarre mit Delay im Vektorskop	36
Abbildung 35: Klavier ohne Hall im Vektorskop	37
Abbildung 36: Klavier mit Hall im Vektorskop	37
Abbildung 37: Vocal-Pad ohne Effekte im Vektorskop	38
Abbildung 38: Vocal-Pad mit Hall und Verzerrung im Vektorskop	38
Abbildung 39: Stark komprimiertes Signal im Vektorskop	39
Abbildung 40: Unkomprimiertes Signal im Vektorskop	39
Abbildung 41: Dynamik und Vektorskop Darstellung vor dem Mastering	41
Abbildung 42: Dynamik und Vektorskop Darstellung nach dem Mastering	41
Abbildung 43: verwendeter Sättigungseffekt	42
Abbildung 44: Stark übertrieben angewendete Verzerrung im Vektorskop	42
Abbildung 45: Zerstörtes Audiosignal im Vektorskop	42
Abbildung 46: Vocals ohne Effekte im Vektorskop	45
Abbildung 47: Vocals mit Effekten im Vektorskop	45
Abbildung 48: Shaker ohne Delay im Vektorskop	45
Abbildung 49: Shaker mit Delay im Vektorskop	45
Abbildung 50: Mark Tree ohne Stereo Enhancer im Vektorskop	46
Abbildung 51: Mark Tree mit Stereo Enhancer im Vektorskop	46
Abbildung 52: Vocal Chops ohne Verzerrung im Vektorskop	46
Abbildung 53: Vocal Chops mit Verzerrung im Vektorskop	46
Abbildung 54: Strophenabschnitt des Apple Masters	47
Abbildung 55: Strophenabschnitt der eigenen Version	47
Abbildung 56: Drop Dynamik und zugehörige Vektorskop Darstellung der Apple Version	48

Abbildung 57: Drop Dynamik und zugehörige Vektorskop Darstellung des eigenen Masters	48
Abbildung 58: Charlie xcx - 360	53
Abbildung 59: Fred again.. - Delilah (pull me out of this)	53

1. Einführung

Die Musikproduktion nutzt eine Vielzahl von Tools zur Optimierung von Klangqualität und Kreativität. Sog. Vectorscope und Lissajous-Darstellungen haben sich dabei als etablierte und unverzichtbare Hilfsmittel erwiesen, um professionell Musik zu produzieren. Der Begriff "Vektorskop" stammt ursprünglich aus der Videotechnik zur Analyse von Farbsignalen. In der Audiotechnik bezeichnet er spezialisierte Hardware-Messgeräte oder Software, die Lissajous-Figuren zur Analyse von Stereosignalen verwenden. Da Lissajous-Darstellungen sowohl für einzelne Spuren als auch für den gesamten Song relevant sind, finden sie sowohl im Mixing als auch im Mastering Anwendung.

Diese Instrumente ermöglichen eine visuelle Repräsentation des Verhältnisses zwischen linkem und rechtem Kanal im Stereobild. Sie liefern dabei wichtige Informationen über Instrumentenverteilung, Stereobreite und Balance und geben schnellen Zugriff auf technische Parameter der Produktion durch integrierte Phasenmeter, wie z.B. evtl. entstehende Phasenprobleme.

Ziel dieser Arbeit ist es zu untersuchen, inwiefern visuelle Feedback-Methoden zur Optimierung der Signalverteilung in der Musikproduktion beitragen können. Eine zentrale Fragestellung dabei ist, wie eine breite und ausgefüllte Darstellung praktisch erreicht werden kann und ob diese tatsächlich eine klanglich und räumlich besondere Darbietung liefert.

Hierzu wird zunächst die Funktionsweise sowie der historische Kontext dieser Messmethoden erläutert, gefolgt von einer Analyse verschiedener Darstellungstypen und der Erläuterung von Korrelation. Ein Überblick über aktuelle Software- und Hardware-Lösungen rundet den theoretischen Teil ab.

Im empirischen Teil wird der Einfluss unterschiedlicher Mixing- und Mastering-Techniken auf die visuelle Darstellung analysiert. Dazu wird ein selbst produzierter Track nach einer professionellen Ziel-Referenz bearbeitet, bevor die gewonnenen Erkenntnisse auf einen weiteren Track angewendet und deren Resultate reflektiert werden.

2. Grundlagen

2.1 Lissajous Figuren

2.1.1 Historie

Die Wurzeln der Darstellung von Schwingungen reichen zurück bis ins 19. Jahrhundert, als der französische Mathematiker Jules Antoine Lissajous (1822-1880) durch Experimente mit Stimmgabeln eine elegante optische Methode zur Visualisierung von Schall und akustischen Frequenzen entwickelte. Dies war zu der Zeit besonders wichtig, da Stimmgabeln noch industriell gefertigt wurden und die Herstellungsbetriebe eine schnelle und absolut genaue Methode benötigten, um neue Stimmgabeln mit einem Standard zu vergleichen. Diese Überprüfung durch reines Gehör war in der lauten Umgebung einer Metallwerkstatt allerdings sehr schwierig [vgl. Ampel, Uzzle (1993)].

Lissajous befestigte einen kleinen Spiegel an der Spitze einer Stimmgabel und richtete einen Lichtstrahl darauf. Wenn die Stimmgabel angeschlagen wurde, begann der Spiegel zu vibrieren, was dazu führte, dass der reflektierte Lichtstrahl auf einen dunklen Bildschirm projiziert wurde. Bei einer einfachen vertikalen Vibration erzeugte dies eine vertikale Linie. Dann stellte er zwei Stimmgabeln im rechten Winkel zueinander auf, sodass eine horizontal und die andere vertikal schwang. Er ließ einen Lichtstrahl auf eine Zinke der ersten Stimmgabel fallen, der dann auf die Zinke der zweiten Stimmgabel reflektiert wurde, und beobachtete das entstehende Schleifenmuster durch ein Linsensystem [vgl. Ampel, Uzzle (1993) ; s. Abb. 1 aus Ashton (2003)].

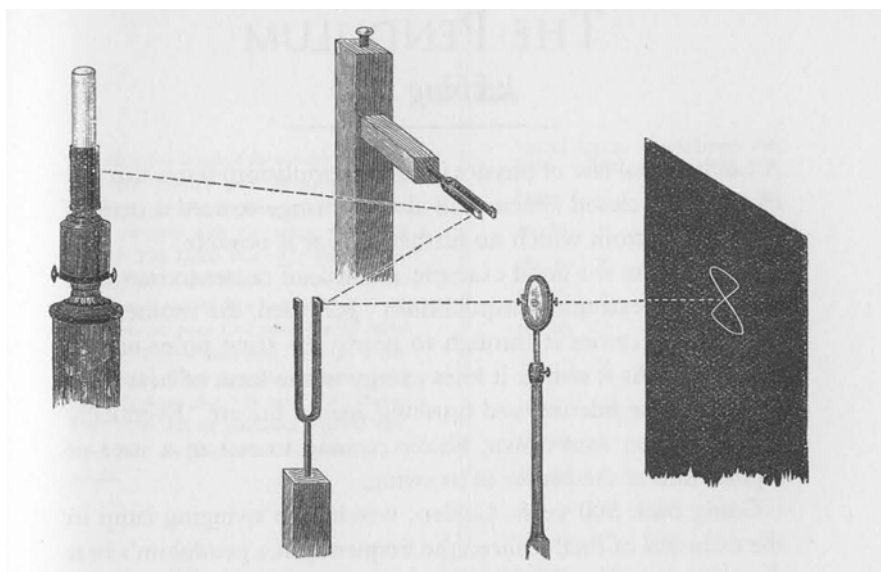


Abb. 1: Lissajous Experimentaufbau

Er stellte fest, dass Stimmgabeln mit Frequenzen in einfachen Zahlenverhältnissen schöne geometrische Muster erzeugten [vgl. Ashton (2003)]. Diese Muster waren gewissermaßen die ersten flüchtigen Visualisierungen von Harmonie, die durch die Überlagerung zweier Sinusschwingungen entstanden. So beschreibt Lissajous erstmals die nach ihm benannten Figuren.

Vermutlich diente die Arbeit von Lissajous als Inspiration für Professor Blackburn, als er den sog. Harmonographen erfand. Damit ließen sich Lissajous-Figuren nach einem anderen mechanischen Verfahren darstellen, indem Bewegungen von Pendeln kombiniert wurden. In der einfachsten lateralen Version sind zwei Pendel durch Löcher in einer Tischplatte aufgehängt, die im rechten Winkel zueinander schwingen. Ein Pendel trägt eine Plattform mit einem Papier, während das andere einen Stift hält. Wenn beide Pendel schwingen, zeichnet der Stift ein Muster, das die kombinierte Bewegung beider Pendel darstellt [s. Abb. 2 nach Ashton (2003); vgl. Cundy and Rollett (1961), S. 244-248]. Die harmonischen Verhältnisse können dabei durch Anpassen der Pendellängen variiert werden.

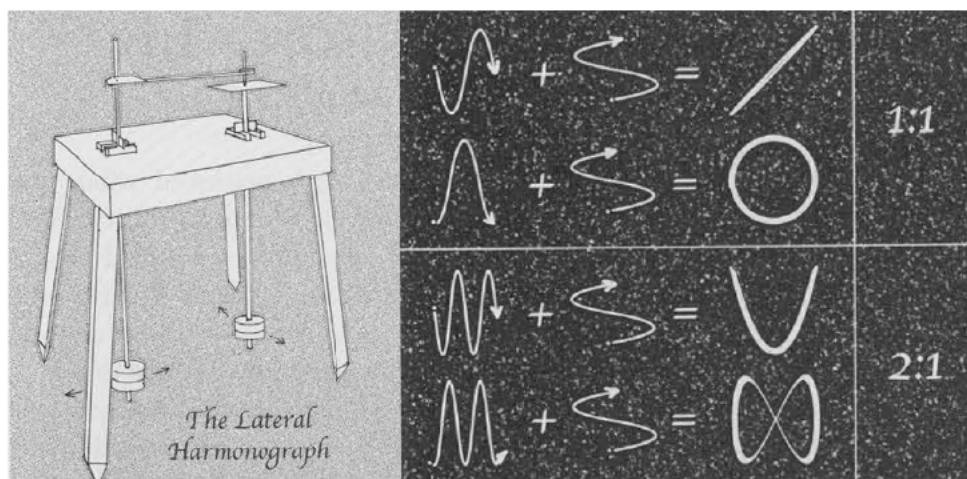


Abb. 2: Der Laterale Harmonograph und Schwingungsmuster

Mathematisch betrachtet lassen sich die Lissajous-Figuren als zweidimensionale Kurven als die parametrische Darstellung zweier harmonischer Schwingungen durch folgende Formeln beschreiben:

$$x(t) = A \cdot \sin(\omega_x t) \qquad y(t) = B \cdot \sin(\omega_y t + \varphi)$$

A, B : Amplituden ω_x, ω_y : Kreisfrequenzen φ : Phasenwinkel t : Zeit

Im weiteren Verlauf der Entwicklung erfolgten Darstellungen auf Oszilloskopen¹. Dies diente dem technischen Zweck der Darstellung von Phasendifferenzen zweier Spannungen. Dabei wird das Oszilloskop im sogenannten XY-Modus betrieben, wobei die horizontale Ablenkung des Elektronenstrahls durch ein Signal und die vertikale Ablenkung durch ein zweites Signal gesteuert wird [vgl. Plaßmann (2016), S.891]. Somit werden die Schwingungen auf den beiden Achsen im Koordinatensystem abgebildet, sie stehen also in einem 90 Grad Winkel zueinander (s. Abb. 3).

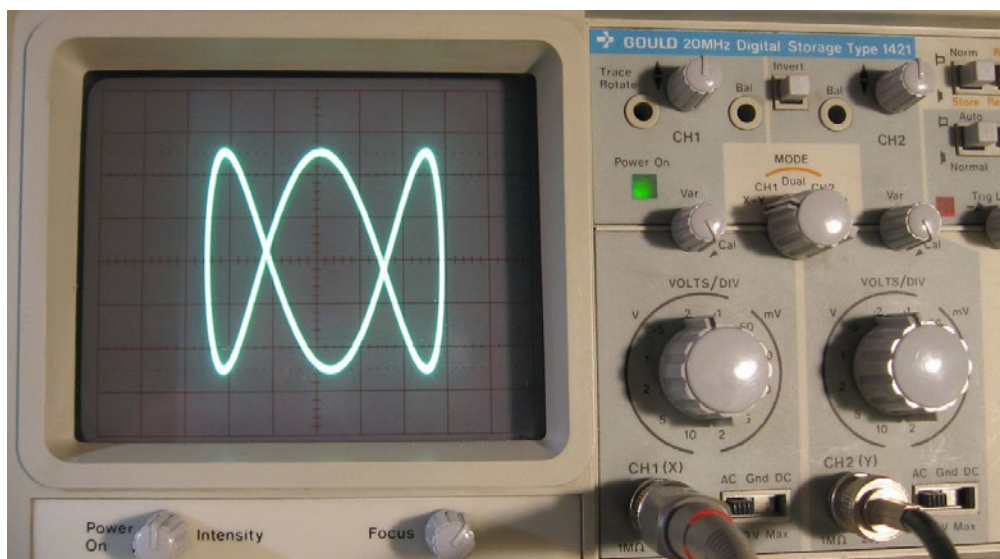


Abb. 3: Lissajous-Figur auf einem Oszilloskop (Quelle: Internet)

2.1.2 Entstehung von Mustern

Die Form der resultierenden Kurve hängt entscheidend vom Verhältnis der Kreisfrequenzen (ω_x / ω_y) und der Phasendifferenz ($\phi_y - \phi_x$) der Schwingungen ab. Bei rationalen Frequenzverhältnissen² entstehen geschlossene sich wiederholende Kurven. Eine Schwingung mit 300 Hz und eine andere mit 450 Hz z.B. entspricht bspw. einem Frequenzverhältnis von 3/2. Musikalisch gesehen ist das der Intervallabstand einer reinen Quinte [vgl. Schüffler (2022), S. 30]. Das vertikale Pendel des lateralen Harmonographen vollführt dann genau 3 Schwingungen in der gleichen Zeit, in der das horizontale Pendel 2 Schwingungen macht. Nach diesen 2 horizontalen und 3 vertikalen Schwingungszyklen kehren die Stifte dann exakt zum Ausgangspunkt zurück

¹ Ein Oszilloskop ist ein Hardware-Messgerät zur Darstellung von elektrischen Spannungen

² Ein rationales Frequenzverhältnis kann als Bruch angegeben werden (z. B. 1:1, 3:2)

und beginnen von vorne. Damit bildet die resultierende Lissajous-Figur eine geschlossene Kurve [vgl. Ashton (2003)]. Der Anhang zeigt Lissajous-Figuren für verschiedene Frequenzverhältnisse und Phasendifferenzen (s. S. 57).

Ohne Dämpfung (Reibung) würde der Stift immer wieder denselben Weg durchlaufen. In der Realität erzeugt die natürliche Dämpfung der Pendelbewegung jedoch eine allmählich kleiner werdende Version des Grundmusters [vgl. Ashton (2003)]. In einer Oszilloskop-Darstellung ist Dämpfung natürlich kein Problem.

Bei irrationalen Verhältnissen³ hingegen füllt die Kurve die Zeichenfläche nach und nach aus, und die resultierende Schwingung startet nicht immer am gleichen Punkt. Somit geht diese nie zum gleichen Punkt zurück und es wird keine geschlossene Figur gebildet [vgl. Sierra (2023), S.3-5].

Für die nachfolgenden Betrachtungen im Audiokontext sind speziell die folgenden Fälle von Bedeutung und sollen noch einmal genau erläutert werden. Beim Spezialfall gleicher Kreisfrequenzen ($\omega_x = \omega_y$) und einer Phasendifferenz von 90° entsteht beispielsweise ein Kreis (lilafarben) [vgl. Pläßmann (2016), S.819]. Abbildung 4 zeigt jenen Spezialfall. Dabei repräsentiert traditionell die x-Achse den linken Kanal, während die y-Achse den rechten Kanal abbildet.

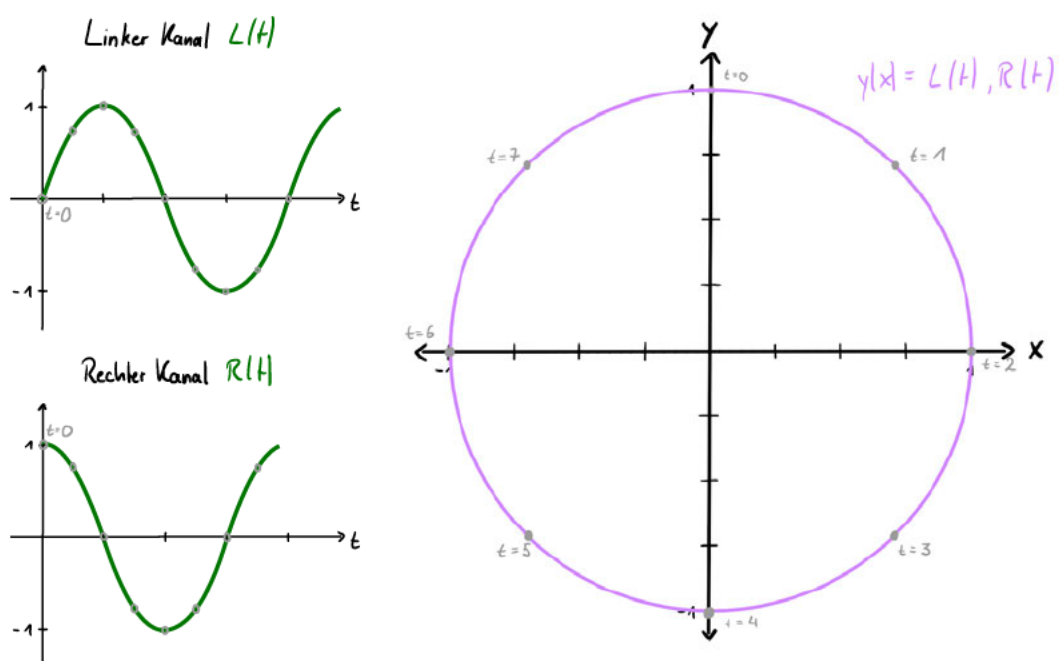


Abb. 4: 90° verschobene Harmonische Schwingungen mit zugehöriger Lissajous Darstellung

³ Verhältnis kann nicht als einfacher Bruch ganzer Zahlen ausgedrückt werden, unendlich viele Nachkommastellen

Abb. 5 zeigt die Lissajous Repräsentation bei einer Phasendifferenz von 0° (Beide Kanäle gleich) und 180° (Gegenläufige Phase $L=-R$). Diese Fälle resultieren in einer Gerade im 45° Winkel (lilafarben) und in einer 145° Gerade (orangefarben).

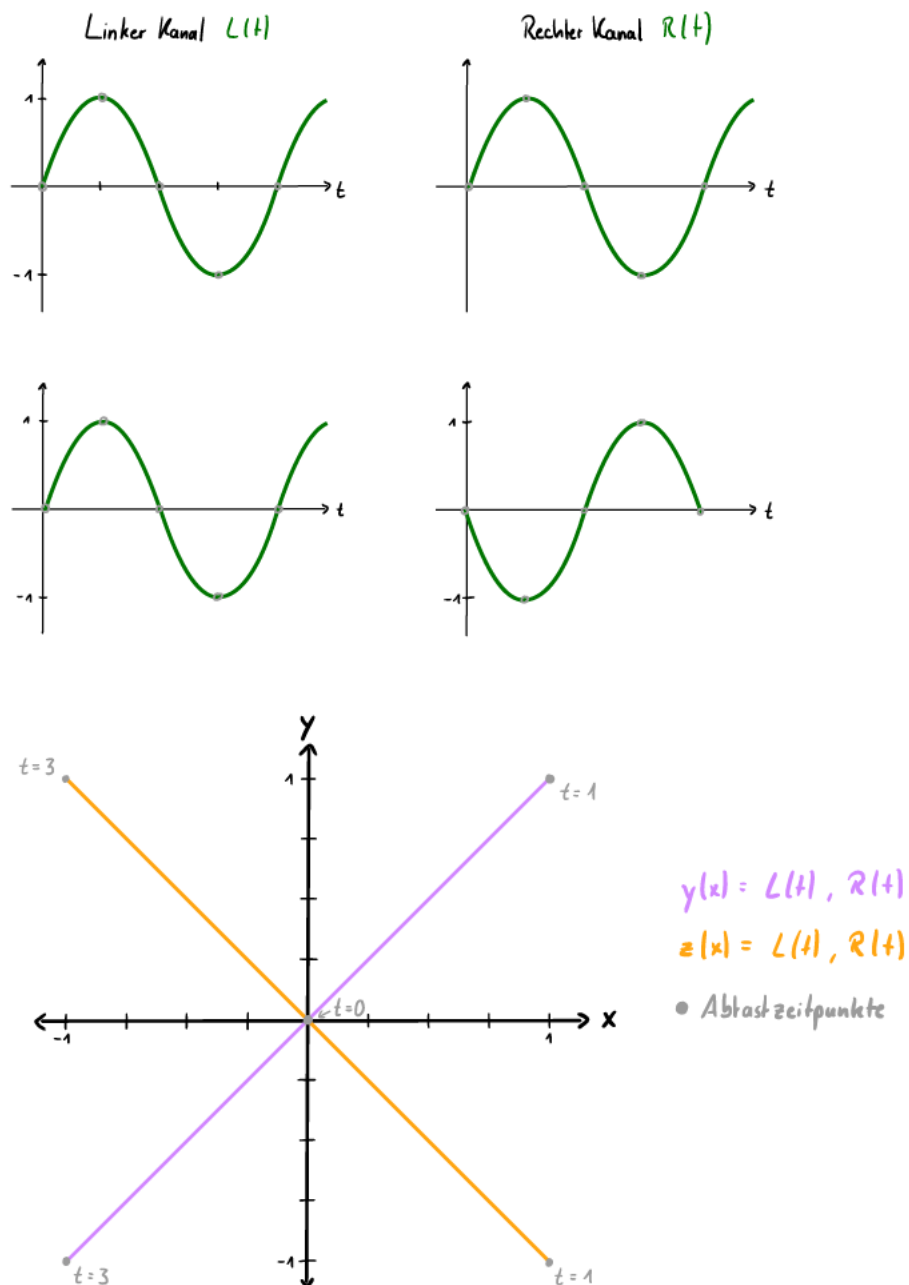


Abb. 5: Phasendifferenz von 0° und 180° und zugehörige Lissajous Darstellung

Jeder Punkt in der Darstellung entspricht einem Momentanwert der beiden Kanäle zu einem bestimmten Zeitpunkt. Die klassische Lissajous-Darstellung bildet also die Momentanwerte des linken und rechten Kanals als Koordinaten in einem zweidimensionalen kartesischen Koordinatensystem ab.

Für die Visualisierung können neben der Darstellung von zwei einfachen harmonischen Schwingungen (Lissajous) aber eben auch zwei beliebige Signale wie bspw. die zwei Audiokanäle eines Songs genommen werden. Auch wenn Musiksignale wesentlich komplexer als einfache Sinuswellen sind, basieren sie auf harmonischen Schwingungen und können durch die sog. Fourier-Analyse in Sinuskomponenten zerlegt werden. Somit sind die erklärten speziellen Konstellationen für die Audioanalyse besonders relevant, vor allem da Stereosignale i.d.R. die gleichen Grundfrequenzen in den beiden Kanälen aufweisen. Dadurch lässt die Abbildung direkte Rückschlüsse auf verschiedene Eigenschaften des Stereosignals zu, wie z.B. auf die Phasenbeziehung zwischen den Kanälen. Eine diagonale Linie von unten links nach oben rechts (45° Winkel) deutet auf perfekte Phasengleichheit hin, die Kurven haben den exakt gleichen Phasenverlauf. Eine Linie von unten rechts nach oben links deutet hingegen auf eine Phasenumkehr (180° Phasenverschiebung) hin (s. Abb. 5), die Kurven/Geraden sind genau entgegengesetzt. Gleichzeitig lässt sich die Korrelation⁴ beurteilen: Eine schmale, auf die Hauptdiagonale konzentrierte Figur deutet auf hohe Korrelation hin, während eine kreisförmige oder komplexere Figur auf geringere Korrelation und damit größere Unabhängigkeit der Stereokanäle hindeutet.

2.2 Das Vektorskop

Was zunächst mit der Darstellung von Lissajous Kurven als rein mathematisches Phänomen begann, fand nach und nach Eingang in die Messtechnik und schließlich in die Audiobearbeitung [vgl. Dickreiter, Distel, Hong, Wöhr (Hrsg.) (2014), S. 1308].

Ein Vektorskop – auch bekannt als Stereosichtgerät oder Goniometer – stellt die Polaritätsbeziehung von Stereosignalen grafisch dar. Bezogen auf den Masterkanal – werden sozusagen alle vertretenen Signale des Songs gleichzeitig angezeigt.

Um die visuelle Präsentation der Stereoinformation im Audibereich intuitiver und praxisnäher zu gestalten, wird die gesamte Lissajous-Darstellung üblicherweise um 45° (oder $\pi/4$ im Bogenmaß) gegen den Uhrzeigersinn gedreht [vgl. Görne (2011), S. 349]. Dabei ist vor der Drehung der Y-Achse (L-Achse) der linke Kanal und der X-Achse (R-Achse) der rechte Kanal zugewiesen. Auf diese Weise entsprechen die Achsen in der gekippten Version der Anordnung

⁴ beschreibt die Ähnlichkeit von zwei Kurven bzw. Schwingungen (s. 2.3 Korrelationsanzeige)

der Lautsprecher in einer typischen Stereodreieck-Anordnung, wodurch die Darstellung weniger abstrakt wirkt und sich leichter interpretieren lässt.

2.2.1 Audiosignalverarbeitung im Vektorskop-Plug-in

Bei der Anzeige analoger Geräte werden durch die Nachleuchtzeit des Displays – sei es ein klassischer Kathodenstrahlmonitor oder ein modernes TFT-Display – Wechselspannungen als geschlossene Linien angezeigt, die um den Ursprung kreisen oder ihn durchqueren [vgl. Weinzierl (2008), S. 567].

Moderne Software Implementierungen versuchen die visuelle Anzeige analoger Geräte bestmöglich zu simulieren. Die Nachleuchtzeit des Displays lässt vorherige Punkte kurz sichtbar bleiben (s. Abb. 6). Hier ergibt sich die Position des Leuchtpunkts im Vektorskop aus der Vektoraddition des linken Kanalsignals (L) und des rechten Kanalsignals (R) der beiden Stereokanalsignale. Da Audiosignale Tausende von Samples⁵ pro Sekunde enthalten (je nach Abtastrate), entstehen sehr viele Punkte. Durch das ständige Ändern der Audiosignale, bewegen sich diese dann kontinuierlich. Die Überlagerung der vielen Punkte ergibt die Darstellung, die aussieht wie ein Wollknäuel bzw. eine Punktwolke [vgl. Friesecke (2014), S. 878-879].

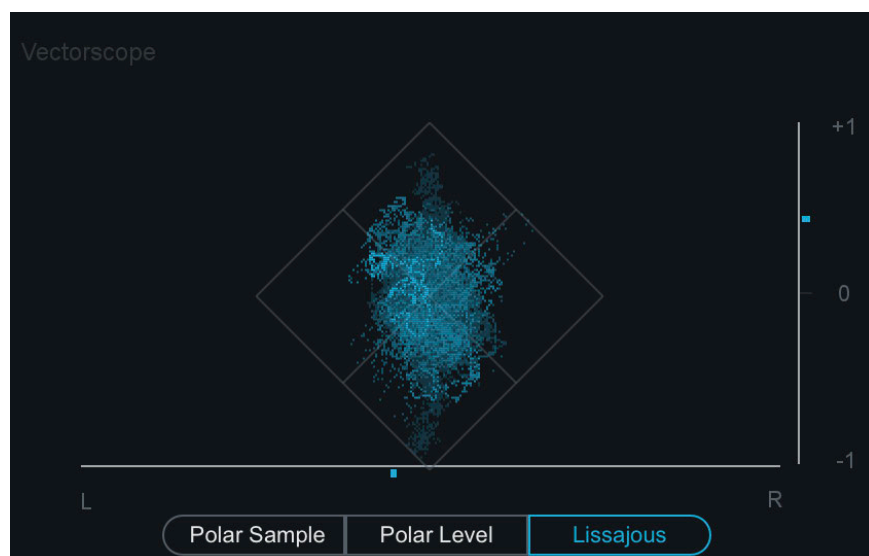


Abb. 6: Lissajous-Darstellung im iZotope Imager

Grundsätzlich wird bei der Darstellung ein Block von Samples einer bestimmten Länge N (Hersteller abhängig, z.B. $N=1024$ oder $N=2048$) angezeigt. Jeder Block wird normalisiert, um die Winkelansicht für Blöcke mit niedriger Energie zu verbessern, da diese Blöcke sonst nahe des Mittelpunktes des Koordinatensystems erscheinen würden. Diese Normalisierung erlaubt es, die räumliche Verteilung besser zu visualisieren, unabhängig von der Signalstärke [vgl. Bitzer (2007)].

Es wird also nicht jedes einzelne Sample in Echtzeit angezeigt, sondern es werden in regelmäßigen Zeitabständen (z. B. mit der Bildwiederholrate der grafischen Benutzeroberfläche) ganze Sample-Blöcke dargestellt. Die Blockverarbeitung basiert auf den von der DAW⁶ bereitgestellten Sample-Puffern, aus denen das Plugin regelmäßig neue Daten analysiert. Innerhalb eines solchen Blocks werden viele Punkte gleichzeitig berechnet und dargestellt. Da die Blockgröße in Samples konstant bleibt (z. B. 2048), führt eine höhere Abtastrate dazu, dass pro Sekunde mehr Blöcke analysiert werden. Dadurch bekommt man mehr Datenpunkte pro Zeiteinheit, was die Qualität der visuellen Darstellung verbessern kann.

2.2.2 Hardware-und Softwaregeräte

Es gibt verschiedene gängige Hardware und Software-Modelle, die für das Metering⁷ und speziell die Vektorskop-Visualisierung verwendet werden können. Hardwareseitig gibt es das *Clarity M Stereo* Audio Messgerät vom Hersteller *tc-electronic*, welches sehr beliebt in Amateur- und professionellen Tonstudios ist (s. Abb. 7). Dieses kann optisch direkt mit der Audio-Hardware verbunden werden.

Softwareseitig, also als Plug-in Instanz über eine digitale Schnittstelle, gibt es sehr viele Anbieter auf dem Markt. So sind z. B. das *Imager-Tool* im Plug-in *Ozone* vom Hersteller *iZotope* (s. Abb. 10) oder das kostenlose *Stereo Tool* vom Hersteller *FLUX* (s. Abb. 9), aber auch die DAW-internen Plug-ins beliebt. Abb. 8 zeigt den Aufbau einer gängigen Goniometer-Darstellung am Beispiel des *Multimeter* Plug-ins in *Logic Pro*. In einigen Audio-Plug-ins wird eine vergleichbare Anzeige jedoch auch als „Lissajous-Darstellung“ bezeichnet. *iZotope* nutzt hierfür die sog. „dots per sample“ Darstellung (s. Abb. 10). Die Begriffsverwendung variiert hier je nach Hersteller und ist letztlich eine Frage der Konvention.

⁶ Digital Audio Workstation

⁷ Oberbegriff für die Überwachung von technischen Eigenschaften des Audiosignals



Abb. 7: tc electronic Clarity M Stereo (Quelle: Internet)



Abb. 8: Goniometer in Logic Pro

Abb. 9: Flux Stereo Tool

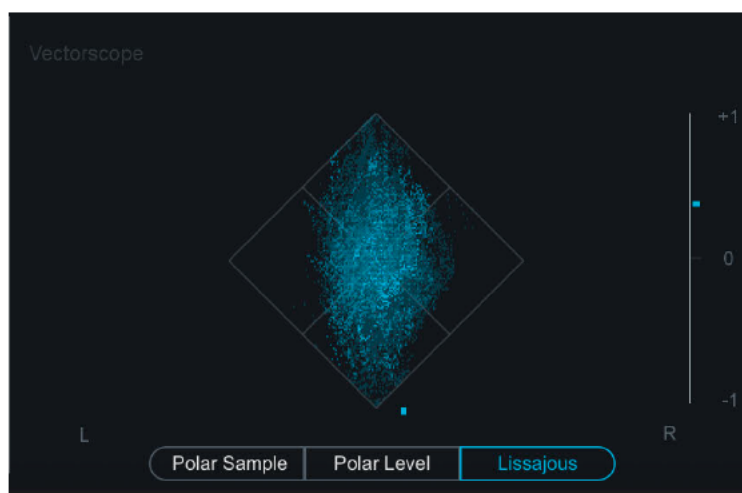


Abb. 10: Imager-Tool vom Plug-in Ozone (Vektorskop Lissajous Darstellung)

2.2.3 Relevanz für die Musikproduktion

In der Musikproduktion kann ein Vektorskop die Stereobreite und Phasenbeziehungen eines Audiosignals visualisieren und wertvolle Informationen über die räumliche Verteilung liefern. Wird ein Audiosignal nur auf den ersten Stereokanal geroutet, erfolgt die Wiedergabe ausschließlich über den linken Lautsprecher. In der korrespondierenden Vektorskop-Darstellung zeigt sich dies als Punktverteilung entlang der L-Achse. Wird hingegen ein phasengleiches Signal auf beide Kanäle gegeben, erscheint eine vertikale Linie, die auf die Phantomschallquelle in der Mitte des Stereodreiecks hinweist. Zur besseren Übersichtlichkeit wird in vielen Audio-Plugins zusätzlich eine zentrale Referenzlinie (M-Achse) eingeblendet, die diesen Signalanteil visualisiert (s. Abb. 8 und Abb. 9).

Dadurch lässt sich die Panorama-Position eines Signals im Stereofeld direkt ablesen, was eine intuitive Interpretation der räumlichen Verteilung innerhalb des Stereodreiecks ermöglicht. Das obere und untere Dreieck zeigt Signalanteile die „in Phase“ sind, d.h. beide Lautsprechermembranen bewegen sich synchron nach außen oder innen. Erstreckt sich die Signalverteilung in den linken und rechten Dreiecksbereich, so ist ein Lautsprecher positiv ausgelenkt während der andere negativ ausgelenkt ist. Das entspricht einem Signal, das „nicht in Phase“ ist [vgl. Ziemer (2023)].

In der Praxis kann es dadurch zu Phasenauslöschungen kommen, die insbesondere bei der Monowiedergabe zu erheblichen Problemen führen. Wird bspw. versehentlich die Phase eines Kanals auf dem Masterkanal invertiert, so leidet der gesamte Song erheblich bei einer Monowiedergabe und würde sich im Vektorskop in einer sich horizontal verteilenden Figur zeigen. Besonders kritisch ist dies im Bassbereich, da tieffrequente Signale typischerweise monokompatibel gemischt werden – einzelne Instrumente können dadurch in der Monowiedergabe nahezu vollständig verschwinden. Normalerweise sind Lissajous-Figuren in der Musikproduktion aber eher in der vertikalen als der horizontalen Darstellung ausgeprägt, und es zeigt sich i.d.R. eine ovale Gesamtstruktur.

2.2.4 Polardarstellungen

Eine weitere mögliche Vektorskop Anzeige ist die sog. Polar Sample Darstellung (s. Abb. 11). Dabei handelt es sich grundsätzlich um die gleiche wie die in Abschnitt 2.2 erläuterte, nur dass die Repräsentation nun auf einem Halbkreis erfolgt. Die Signale der Kanäle werden dafür intern

in Polarkoordinaten umgerechnet. Jedes Audio-Sample wird dementsprechend als ein hellblauer Punkt in Polarkoordinaten abgebildet. Abgeschnittene Samples (durch Clipping) werden entlang der Ränder des Vektorskop-Messfelds rot dargestellt [Ozone Imager Manual]. Diese Umwandlung wird im jeweiligen Plug-in vorgenommen und dient nur der Darstellungslogik, ist aber für die nachfolgende Untersuchung wichtig und bedarf näherer Betrachtung. Damit die Darstellung korrekt interpretiert werden kann, zeigt beim Plug-in Ozone von iZotope der 0-Grad-Winkel im Vektorskop nach oben, während der 90-Grad-Winkel zur Seite zeigt. Man kann sich das bildlich wie eine um 90 Grad nach links gedrehte Darstellung eines klassischen Polarkreises vorstellen [E-Mail-Verkehr mit Ozone]. Somit werden gleichphasige Signale als vertikale Linie und phasengedrehte Signale als horizontale Linie dargestellt. Der mittlere Bereich des Vektorskops, der einen Winkel von etwa 90 Grad umfasst, wird im Folgenden als „in-Phase-Bereich“ bezeichnet. Alle Signalanteile außerhalb dieses Bereichs gelten als „nicht-in-Phase“ und werden in der weiteren Arbeit entsprechend benannt. Für die Umwandlung von Audio Samples des linken und rechten Kanals in Polarkoordinaten können für den Ozone Imager vom Entwickler iZotope laut Development-Team folgende Formeln verwendet werden:

$$Angle = \arctan\left(\frac{L - R}{L + R}\right) \quad Radius = |L - R| + |L + R|$$

Dadurch ergeben sich folgende Ergebnisse für wichtige Verhältnisse zwischen linken und rechten Samples:

Wenn $L \gg R$: Der Bruch $(L-R)/(L+R)$ nähert sich 1 an, $\arctan(1) = 45^\circ$



Abb. 11: Figur bei 45° Winkel

Wenn $R \gg L$: Der Bruch wird stark negativ, $\arctan(-1) = -45^\circ$



Abb. 12: Figur bei -45° Winkel

Der Winkel wird minimal (0°), wenn $L = R$ ist



Abb. 13: Figur bei 0°

Der Winkel wird maximal (90°), wenn $L = -R$ ist

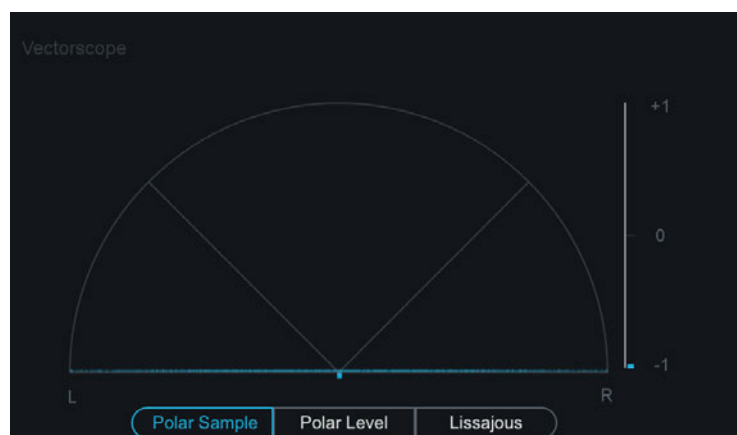


Abb. 14: Figur bei 90° Winkel

Der Radius wird dann groß, wenn L und R beide groß sind (wegen $|L+R|$), oder wenn L und R sehr unterschiedlich sind (wegen $|L-R|$). Der Radius wird nur dann klein, wenn sowohl L als auch R klein sind und ähnlich groß. Jedoch wird der Radius immer zum Maximalpegel hin normalisiert, sodass das dargestellte Signal zeitlich konstanter ist und sich die Phasenbeziehungen auch bei niedrigen Werten visuell optimal beurteilen lassen. Die Normalisierungszeit aktualisiert sich dabei nach ca. 1 Sekunde.

2.3 Die Korrelationsanzeige

In der Regel wird eine Vektorskop-Darstellung durch ein zusätzliches Korrelationsmeter (auch Phasenkorrelator genannt) ergänzt. Dieses Messinstrument zeigt die momentane Ähnlichkeit zweier Signale – hier der Stereosignale Links (L) und Rechts (R) – auf einer Skala von -1 bis +1 meist in einer einfachen Balkendiagramm-Darstellung an. Je höher der Wert der Korrelationsfunktion ausfällt, desto ähnlicher sind beide Signale zueinander.

Damit lassen sich wichtige Tendenzen im Stereosignal sichtbar machen [s. Tab. 18/6 aus Dickreiter, Distel, Hong, Wöhr (Hrsg.) (2014), S. 1307].

Tabelle 1: Interpretation ausgewählter Korrelationsgradanzeigen

Korrelationsgrad	Erläuterung
$r = 1$	identische Signale in beiden Kanälen, deshalb Monokompatibilität in Ordnung (Phasenverschiebung = 0° bedeutet reines Mittensignal)
$0 < r < +1$	(mehr oder weniger) monokompatibles Stereosignal (Phasenverschiebung zwischen 90° und 0°)
$r = 0$	Signale komplett verschieden (unkorreliert), oder ein Kanal fehlt
$-1 < r < 0$	Stereosignal ohne ausreichende Monokompatibilität (Phasenverschiebung zwischen 90° und 180°)
$r = -1$	auf beiden Kanälen gleiches Signal, aber auf einem Kanal verpolt (Phasenverschiebung 180°); bei Monowiedergabe erscheint das Gesamtsignal sehr leise; im Extremfall heben sich die Signale gegenseitig auf (Auslöschung)

In der Musikproduktion ist das Korrelationsmeter besonders für die Monokompatibilität interessant. Auch im Rundfunk ist es aufgrund der nach wie vor weit verbreiteten Mono-Empfangs-

geräte, wie sie in einfachen Küchenradios verbaut sind, von Bedeutung [vgl. Dickreiter, Distel, Hong, Wöhr (Hrsg.) (2014), S. 1306-1307].

2.3.1 Berechnung

Der Korrelationsgrad r – sei es in Goniometern oder als eigenständige Anzeige – wird über einen definierten Zeitraum hinweg integriert und normiert dargestellt. Dadurch entsteht eine kontinuierlich gleitende Anzeige, die sich dynamisch anpasst, ohne durch plötzliche Momentanwerte unruhig zu wirken. In Plug-ins wird dieses Verhalten durch einen geeigneten Algorithmus nachgebildet. Der berechnete Korrelationsgrad kann auf einem Zeigerinstrument oder einer digitalen Skala dargestellt werden. Grundlage hierfür ist die sogenannte Kurzzeit-Kreuzkorrelation [vgl. Weinzierl (2008), S. 565-566]:

$$r = \frac{\int_0^T x(t) \cdot y(t) dt}{\sqrt{\int_0^T x(t)^2 dt \int_0^T y(t)^2 dt}}$$

Für die praktische Messung in analogen Geräten werden die Eingangssignale zunächst einer starken Amplitudenbegrenzung (Limiting) unterzogen. Dabei entstehen aus den komplexen Audiowellenformen binäre Rechtecksignale mit den Werten +1 und -1. Dadurch erhalten alle Signalanteile – unabhängig von ihrem ursprünglichen Pegel – das gleiche Gewicht in der Berechnung, was eine vereinfachte analoge Schaltungstechnik ermöglicht [vgl. Percival (1962)]. Trotz dieser Vereinheitlichung der Amplitude bleiben die zeitlichen Charakteristika der ursprünglichen Signale erhalten. Tieffrequente Signalanteile, insbesondere Basssignale, zeichnen sich z.B. durch längere Periodendauern aus, was zu ausgedehnteren Zeitabschnitten mit konstantem Vorzeichen führt. Hochfrequente Signalanteile hingegen wechseln aufgrund ihrer kürzeren Perioden häufiger zwischen +1 und -1.

Daher dominieren tieffrequente Komponenten die Korrelationsmessung, während hochfrequente Wechsel hingegen durch die Integration effektiv gemittelt werden [vgl. Percival (1962)]. Die Integrationszeit in analogen Schaltungen ist i.d.R. zwischen 0,5 und 1 Sekunden eingestellt [vgl. Weinzierl (2008), S. 566].

Diese frequenzabhängige Gewichtung bewirkt, dass Korrelationsmessgeräte primär die Phasenbeziehungen der energetisch und strukturell dominierenden Signalanteile anzeigen. In gängigen Musikproduktionen sind dies überwiegend die basslastigen Signalanteile, die sowohl energetisch als auch zeitstrukturell das Messergebnis prägen [vgl. Weinzierl (2008), S. 12-13]. Ein schwächeres negativ korrelierendes Signal würde in der Anwesenheit eines starken „in-Phase“ Signals also nicht angezeigt werden. Ein negativer Korrelationswert wäre hier nur in einer Solo-Wiedergabe möglich. Ein typisches Beispiel: Liegt ein Mono-Basssignal vor, dem ein verpolter Synthesizer-Klang überlagert ist, zeigt das Phasenmeter einen Korrelationswert von null an [vgl. Friessecke (2014), S. 878-879].

2.3.2 Mathematisches Beispiel

Im Folgenden soll beispielhaft die Korrelation der Signale $x(t)$ und $y(t)$ mathematisch detaillierter betrachtet werden. Da Audiosignale Energiesignale sind, erfolgt die Beschreibung durch Betrachtung der Energien:

Mit der Gesamtenergie zweier sich überlagernder Signale:

$$E_{Ges.} = \int (x(t) + y(t))^2 dt$$

Umgeformt zu:

$$E_{Ges.} = \int x(t)^2 dt + \int y(t)^2 dt + 2 \cdot \int x(t) \cdot y(t) dt$$

Und zu:

$$E_{Ges.} = E_x + E_y + 2 \cdot E_{xy}$$

Und der Definition des Korrelationsfaktors ρ und der Kreuzenergie E_{xy} :

$$\rho = \frac{E_{xy}}{\sqrt{E_x + E_y}} \quad E_{xy} = \int (x(t) + y(t))dt$$

Lässt sich die Gesamtenergie auch darstellen durch:

$$E_{Ges.} = E_x + E_y + 2 \cdot \rho \cdot \sqrt{E_x + E_y}$$

Mit der beispielhaften Annahme $x(t) = y(t)$ ergibt sich die Gesamtenergie für die 3 Fälle von ρ zu:

Korrelationsfaktor $\rho = 1$: $E_{Ges.} = E_x + E_x + 2 \cdot \sqrt{E_x + E_x} = 2E_x + 2E_x = 4E_x$

Korrelationsfaktor $\rho = 0$: $E_{Ges.} = E_x + E_y$

Korrelationsfaktor $\rho = -1$: $E_{Ges.} = E_x + E_x - 2 \cdot \sqrt{E_x + E_x} = 2E_x - 2E_x = 0$

3. Untersuchung

3.1 Herangehensweise

Die praktische Anwendung visueller Feedback-Methoden zur Optimierung der räumlichen Signalverteilung erfordert eine systematische Herangehensweise, die sowohl analytische als auch kreative Aspekte des Audio-Engineerings miteinander verbindet. Als Ausgangspunkt dieser Untersuchung steht die vergleichende Analyse zweier exemplarischer Musikproduktionen, die sich in ihrer räumlichen Gestaltung und den daraus resultierenden Vektorskop-Darstellungen fundamental unterscheiden. Das ist einerseits der Song: „Halsey - Without Me (Illenium Remix)“ [vgl. Audio-Anhang A1], der 2019 den *International Dance Music Awards* Preis

für den besten Remix erhalten hat. Gegenübergestellt wird der Song: „*Airia - Forever (feat. 3pm)*“ [vgl. Audio-Anhang A2], der keine Auszeichnung erhalten hat. Dabei ist es wichtig, dass sich die Produktionen stilistisch im gleichen Genre bewegen – in diesem Fall innerhalb der elektronischen Tanzmusik (EDM⁸) im Subgenre *Future Bass*. EDM zeichnet sich häufig durch stark bearbeitete, elektronische Klänge und eine ausgeprägte Stereobreite aus, was sich bspw. grundlegend von akustisch geprägten Genres wie etwa der klassischen Musik unterscheidet.

Die gesamte Untersuchung und die entwickelten Mixing-Strategien erfolgen in der DAW-Software *Ableton Live 11*. Die Produktionsumgebung ist auf 48 kHz Abtastrate eingestellt. Für die visuelle Kontrolle wird hauptsächlich die Vektorskop-Darstellung des Imager-Tools in *Ozone 9* von dem Entwickler iZotope verwendet, dessen Funktionsweise im Abschnitt 2.2.4 über Polardarstellungen bereits erläutert wurde.

Zu Beginn sollen die beiden exemplarischen Musikproduktionen hinsichtlich der räumlichen Verteilung und der dazugehörigen Darstellung im Vektorskop verglichen werden. Es lässt sich an dieser Stelle jedoch nur beurteilen, wie der Song im bereits gemixten und gemasterten Zustand aussieht. Die Darstellung im Vektorskop bezieht sich hier also auf das Endprodukt. Eine Analyse der finalen Mischung vor dem Mastering würde ein anderes Bild ergeben, da im Mastering-Prozess zusätzliche Bearbeitungen vorgenommen werden. Dabei kommen häufig signalverändernde Hard- und Softwaretools zum Einsatz – etwa durch Limiting, Sättigung oder weitere Bearbeitung der Stereobreite –, die das Stereofeld nochmals beeinflussen und somit auch die Darstellung im Vektorskop verändern.

3.1.1 Visueller Vergleich professioneller Referenztracks

Für einen repräsentativen Vergleich der beiden Songs wurde jeweils ein markanter Abschnitt gewählt – der sog. Drop, der funktional dem Chorus entspricht und meist die klanglich intensivste und produktionstechnisch ausgearbeitetste Passage im EDM-Genre darstellt.

Bei Illeniums Produktion wurde der Zeitraum von TC 1:09 bis 1:24 analysiert, während bei Airias Track der entsprechende Abschnitt von TC 0:59 bis 1:20 betrachtet wurde. Beide Produktionen ähneln sich in diesem Abschnitt hinsichtlich der verwendeten Instrumentierung.

Bei Betrachtung der beiden Vektorskop Bilder wird der Unterschied sofort visuell klar. Bei Airia's Produktion gibt es wenig Signalanteile, die sich in den „nicht in Phase“-Bereich erstrecken und

⁸ Electronic Dance Music

der „in Phase“-Bereich wird nicht komplett ausgefüllt. Lediglich die Bass Drum ragt mittig bis an den Rand der Polardarstellung. Ansonsten lassen sich dynamisch entstehende Wolken im „in Phase“-Bereich erkennen (s. Abb. 15).

Bei Illeniums Produktion hingegen wird fast das gesamte Stereofeld ausgefüllt. Es gibt eine sehr homogene Verteilung der Instrumente, d. h. es bilden sich z.B. keine Wolken links und rechts, die sich dynamisch mit der Zeit verändern, sondern die gesamte Darstellung ist ausgeglichen verteilt und erreicht im „in Phase“-Bereich überall das Ende des Halbkreises, und das in dem gewählten Abschnitt fast durchgehend. Zudem lässt sich eine Sample Verdichtung entlang des oberen Randes erkennen. Die Produktion klingt somit mächtiger und breiter als die des Künstlers *Airia*. Auch sichtbar ist der höhere Signalanteil im „nicht in Phase“-Bereich. Trotzdem fällt das Phasenkorrelationsmeter nicht unter 0 (s. Abb. 16).

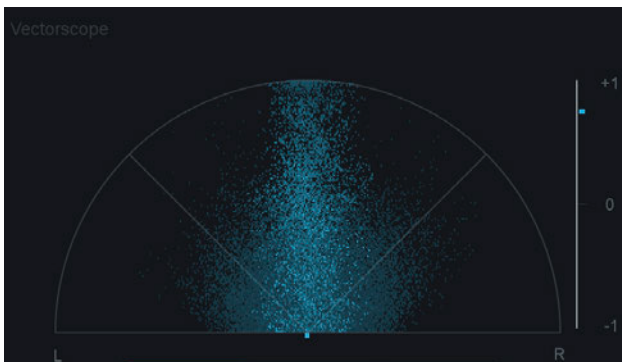


Abb. 15: Airias Drop im Vektorskop

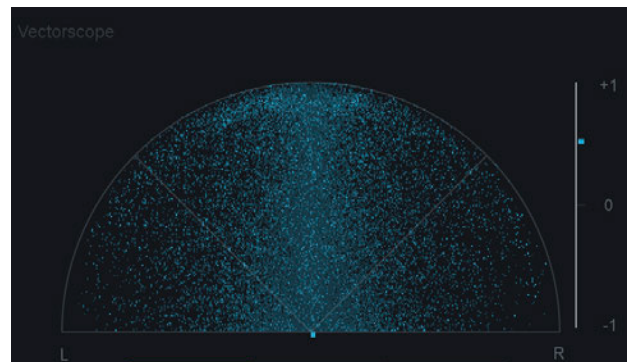


Abb. 16: Illeniums Drop im Vektorskop

3.1.2 Analyse professioneller Referenztracks

Die Frage, warum Illeniums Remix das Vektorskop nahezu vollständig ausfüllt, lässt sich nicht pauschal beantworten, doch es gibt einige eindeutige technische Gründe. Besonders auffällig ist der Einsatz vieler Stereo-Techniken, die bei der Produktion insgesamt deutlich mehr Räumlichkeit und Breite im Mix kreieren.

Ein praktischer Weg, diesen Unterschied der Stereobreite sichtbar und hörbar zu machen, ist die Analyse im Mitten-/Seiten-Modus eines Equalizers (EQ). Stellt man den EQ so ein, dass nur das Seitensignal (also die Differenz aus dem linken und rechten Kanal: L-R) wiedergegeben wird, wird schnell deutlich, wie präsent und reichhaltig das Stereosignal bei Illeniums Remix ausgestaltet ist. Das Seitensignal ist nämlich auch insgesamt über das Spektrum verteilt lauter, was sich auch in der EQ Darstellung zeigt.

Für diesen Vergleich wurde ein alternativer Abschnitt gewählt, in dem auch der Gesang präsent ist, um das Stereo-Verhalten der Vocals mit einzubeziehen. Bei Illeniums Track wurde der Zeitraum von TC 0:28 bis 0:50 analysiert, bei Airias Produktion der Abschnitt von TC 0:24 bis 0:44.

Illeniums Produktion weist durch verschiedene Faktoren ein breiteres Stereobild auf: Zum einen ist auf den Instrumenten generell mehr Hall zu hören, was für eine bessere Tiefenstaffelung sorgt. Die Hi-Hats sind subtil nach rechts gepannt, und besonders die Snare wirkt deutlich breiter im Mix, was vor allem durch die Verwendung eines großen Hallraums erreicht wird, aber auch Sample⁹ bedingt ist. Auch die Gitarre verteilt sich durch einen Delay-Effekt ins Seitensignal. Zum anderen liegt ein entscheidender Unterschied im Vocal Processing¹⁰: Illenium verwendet ausgeprägtes Stereo Processing für die Vocals. Diese sind im Seitensignal deutlich hörbar – sie werden durch Effekte wie Chorus und Delay in der Breite erweitert. Entscheidend ist außerdem die Auswahl der Instrumente und Samples. Illenium nutzt klanglich bereits breit angelegte oder räumlich wirkende Sounds, wodurch der Mix von Grund auf offener erscheint.

Im Vergleich dazu wirkt Airias Produktion insgesamt kompakter und zentraler ausgerichtet. Der Gesang ist ausschließlich im Monosignal zu hören – es fehlt jegliches Stereo Processing, was dazu führt, dass die Stimme deutlich enger ist. Auch die Drums sind sehr mittig positioniert und enthalten, bis auf einen langen Hall auf der Snare, wenig Hallanteil.

Einzige Ausnahme bildet hier das sehr präsente Delay der Gitarre, das im Seitensignal gut hörbar ist und für etwas Bewegung und Räumlichkeit im Track sorgt. Insgesamt fehlt dem Track

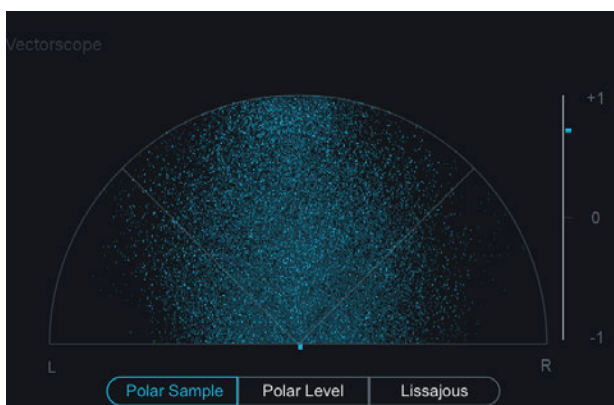


Abb. 17: Illeniums Strophe im Vektorskop

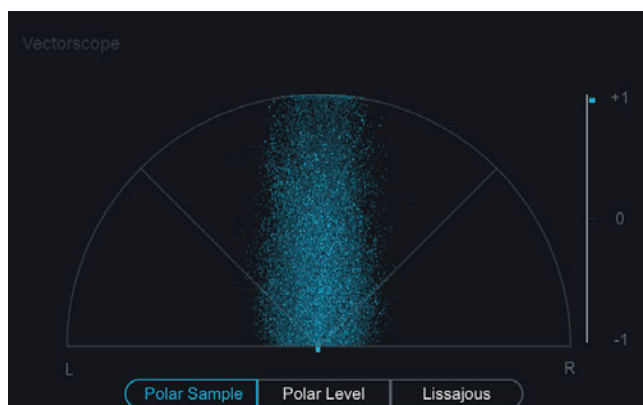


Abb. 18: Airias Strophe im Vektorskop

⁹ Ein Sample ist ein kurzer digitaler Audioausschnitt aus bestehenden Aufnahmen - von einzelnen Klängen bis hin zu mehrtaktigen Melodiesequenzen.

¹⁰ Bearbeitung des Gesangs

dadurch jedoch die Breite und Tiefe, die bei Illenium so präsent ist und sich in der Vektorskop Darstellung widerspiegelt (s. Abb. 17 u. 18).

Gerade heutzutage ist ein breiteres Stereobild von größerer Relevanz, da viele Konsumenten primär über Kopfhörer oder Earbuds hören. Dafür sind ausgeprägte Phasendifferenzen zwischen den Stereokanälen nicht nur gewünscht, sondern sogar essentiell für ein natürliches und beeindruckendes Hörerlebnis. Dies liegt an der direkten, isolierten Signalübertragung der Kopfhörer, bei der das linke Ohr ausschließlich das linke Signal und das rechte Ohr nur das rechte Signal empfängt. Für eine komplett seitliche Lokalisation sind größere Laufzeiten- oder Pegeldifferenzen notwendig als bei Lautsprecherwiedergabe [vgl. Dickreiter, Distel, Hong, Wöhr (Hrsg.) (2014), S. 133-134 u. 349-350].

Bei Lautsprechern hingegen hört durch das akustische Übersprechen zwischen den Lautsprechern jedes Ohr beide Kanäle mit leichter Zeitverzögerung. Die Schallwellen überlagern sich im Raum. Daher können extreme Phasenunterschiede zu Auslöschungen bestimmter Frequenzen führen oder das Stereobild instabil machen. Deshalb klingen bei Lautsprechern moderate Phasendifferenzen natürlicher und kohärenter, während die gleichen Einstellungen über Kopfhörer oft zu schmal und eindimensional wirken können, weil das akustische Übersprechen und der Raum aus der Berechnung wegfällt.

3.2 Mixing und Mastering eines eigenen Tracks

Als praktischer Anwendungsfall soll eine eigene Musikproduktion dienen, bei der durch den gezielten Einsatz experimenteller Techniken versucht wird, eine ähnlich breite und räumlich ausgewogene Stereodarstellung zu erzielen wie in Illeniums Remix. Der vorangegangene Vergleich bzw. die Analyse bildet dabei die Grundlage für die Entwicklung und Erprobung gezielter Mixing-Strategien mit dem Ziel, eine optimierte räumliche Signalverteilung zu erreichen, die sich entsprechend in der Darstellung des Vektorskops widerspiegelt.

Um eine sinnvolle und realistische Vergleichbarkeit sicherzustellen, wurde der selbst entwickelte Track daher ebenfalls im gleichen EDM-Genre angelegt.

Durch den gezielten Einsatz von Effekten, die gezielte Platzierung der Instrumente im Stereopanorama (Panning) sowie das sorgfältige Pegeln der einzelnen Spuren lässt sich im Mixing-

Prozess der gesamte Charakter eines Songs formen. Dabei werden Tiefenstaffelung, Räumlichkeit und Transparenz geschaffen – entscheidende Faktoren für einen gelungenen Mix.

Bevor jedoch Effektgeräte zum Einsatz kommen, sollte zunächst das sog. Gain Staging durchgeführt werden. In diesem Schritt werden alle Signale in ihrer Lautstärke so aufeinander abgestimmt, dass ein ausgewogenes bzw. gewünschtes Verhältnis entsteht und kein Kanal übersteuert oder zu leise ist. Erst wenn die Pegel stimmen, lohnt es sich, mit dem Panning zu beginnen.

Im weiteren Verlauf des Mixings wird der gezielte Einsatz von Effekten – wie Reverb, Delay oder Chorus – genutzt, um räumliche Tiefe zu erzeugen.

Es sei jedoch erwähnt, dass in der Praxis viele dieser Schritte nicht strikt nacheinander, sondern oft parallel verlaufen. Trotzdem sollte das Gain Staging stets an erster Stelle stehen – als Grundlage für alle weiteren Entscheidungen im Mix.

Im Folgenden werden diese Schritte näher untersucht – stets in Verbindung mit ihrer visuellen Auswirkung in der Vektorskop-Darstellung. Wichtig dafür ist, dass das Gerät im Masterkanal eingesetzt wird. Es zeigt also stets die Phasenbeziehungen und die Stereodarstellung des gesamten Songs, inklusive aller Instrumente, wenn im Kontext nicht anders erklärt, an.

3.2.1 Auswahl der Instrumente

Damit eine besonders breite räumliche Darstellung in einer Musikproduktion gelingt, ist es essenziell, bereits bei der Auswahl der Instrumente und Samples gezielt vorzugehen – noch bevor Stereo-und Mixing-Bearbeitungstechniken überhaupt zum Einsatz kommen. Ein Synthesizer, der einen Flächenklang erzeugt kann von Natur aus eine breitere Stereodarbietung haben als ein Anderer. Ein Drum Sample ist Mono, das Andere Stereo. Hier gilt es, einen guten Mix aus Beidem zu finden und nicht zu „schmal“, aber auch nicht zu „breit“ zu denken. Ein zentraler Aspekt in diesem Zusammenhang ist das sog. Layering von Instrumenten: Besonders im EDM-Genre ist es üblich, dass mehrere Spuren gemeinsam einen Klang formen. So werden beispielsweise Pad-Sounds¹¹ häufig geschichtet, um ein reichhaltigeres, komplexeres Klangbild zu erzeugen. Es ist nicht selten, dass fünf verschiedene Pad-Sounds gelayert werden, um das Haupt-Pad zu formen – mitunter geben die einzelnen Pads unterschiedliche Noten wieder, was zusätzliche Tiefe und klangliche Vielfalt bringt.

¹¹ Pad-Sounds (kurz: Pads) sind flächige, atmosphärische Klänge

3.2.2 Gain Staging

Zwar spielt die absolute Lautstärke eines Signals für die visuelle Anzeige keine Rolle, da diese ohnehin normalisiert wird – aber das Lautstärkeverhältnis zwischen den Instrumenten ist durchaus relevant, denn die Vektorskop-Darstellung ist von der Lautheit der Instrumente zueinander, dem Stereoanteil und dem rhythmischen Aufbau abhängig.

Um den Zusammenhang klar zu machen, wird im folgenden der Einfachheit halber der Einsatz zweier Instrumente betrachtet: Eine Bass Drum im Zusammenspiel mit einem Synth Pad (SP). Dieses ist bei etwa -28 dB angesteuert und zeigt Solo geschaltet im Vektorskop ein breit ausgefülltes Bild – sowohl im „in Phase“- als auch im „nicht in Phase“-Bereich (s. Abb. 19). Wird die Mono-Bass Drum, die bei -10 dB deutlich lauter spitzt, solo geschaltet ergibt sich ein anderes Bild (s. Abb. 20). Spielt man nun beide Instrumente zusammen ab, wirkt die Anzeige im Vektorskop schmaler und richtet sich etwas stärker senkrecht nach oben aus (s. Abb. 21). Diese Veränderung ergibt sich daraus, dass die Bass Drum nicht im Stereopanorama verteilt ist, sondern als zentrales Monosignal vorliegt. Durch die Normalisierung im Imager-Tool ist das SP in der Darstellung nicht mehr so stark vertreten, weil durch die Bass Drum mehr Lautstärke mittig verteilt ist. Der Zusammenhang lässt sich auch an der Korrelationsanzeige ablesen: Während das SP alleine Werte um 0 herum erzeugt – ein Hinweis auf eine breite, phasenverschobene Stereoinformation – und die Bass Drum konstant 1 erzeugt, so pendelt die Anzeige beim Zusammenspiel zwischen 0 und +1. Jedoch geht die Bass Drum hier in der Darstellung auch visuell unter, da keine sog. Sidechain Bearbeitung eingestellt ist. Durch diese würde das SP durch einen Kompressor in der Lautstärke reduziert werden, wenn die Bass Drum spielt.

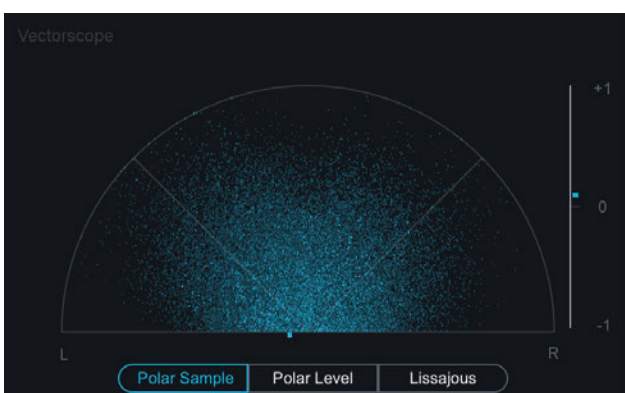


Abb. 19: Breites Pad im Vektorskop

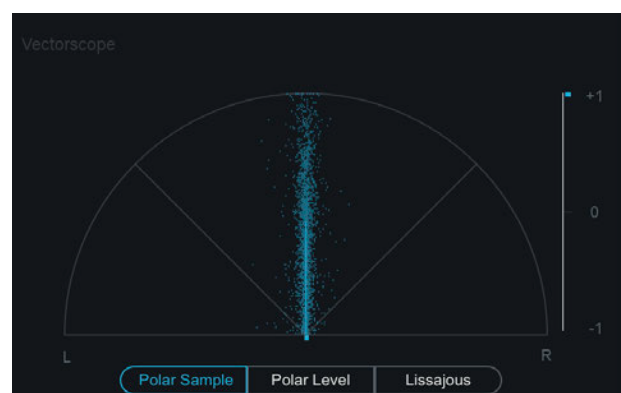


Abb. 20: Bass Drum im Vektorskop

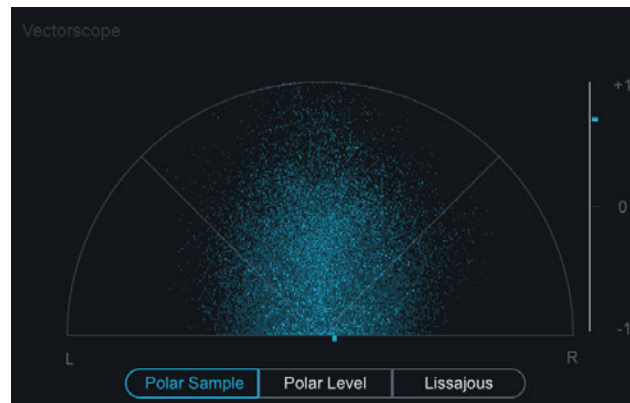


Abb. 21: Breites Pad und Bass Drum im Vektorskop

So kann es z.B. vorkommen, dass besonders breite Signale im Mix optisch „verschwinden“, wenn sie von anderen, dominanteren Elementen überlagert oder übertönt werden. Das bedeutet jedoch nicht, dass die Stereobreite des SP verschwunden ist, sie bleibt im Mix erhalten, tritt jedoch durch die Überlagerung in der gemeinsamen Darstellung in den Hintergrund. Wie breit die Stereosumme der Instrumente im Vektorskop erscheint, hängt außerdem stark davon ab, wie sich die einzelnen Elemente rhythmisch zueinander verhalten. Wenn die Bass Drum nur einmal zu Beginn erklingt, das SP jedoch kontinuierlich durchläuft, wird das Vektorskop im Zeitverlauf zunehmend vom SP ausgefüllt.

Damit liefert die visuelle Darstellung wertvolle Hinweise auf die Lautstärkeverhältnisse einzelner Instrumente innerhalb eines Mixes. Es lässt sich bspw. auch überprüfen, ob die Bass Drum in einem ausgewogenen Verhältnis zu den übrigen Elementen steht. Ist diese zu laut abgemischt, zeigt sich dies typischerweise durch eine dominante, zentral ausgerichtete Struktur im Vektorskop (s. Abb. 22). Die anderen Instrumente wirken im Verhältnis deutlich kleiner und nehmen nur einen kleinen begrenzten Bereich in der Darstellung ein (verblässende kleine Wolke in Abb. 22). In diesem Fall sieht man auch, dass die Signalspitzen die zulässige Amplitude überschreiten, was durch rote Clipping-Indikatoren im Vektorskop signalisiert wird. Dies deutet auf eine Übersteuerung einzelner Samples hin. Ist die Bass Drum hingegen zu leise, geht sie im Gesamtbild des Vektorskops nahezu unter (s. Abb. 23). Die Darstellung zeigt eine breitere Verteilung der anderen Instrumente im Vektorskop, jedoch ohne eine erkennbare Verstärkung im Zentrum (Bass Drum ist die kleine Wolke in Abb. 23). Die tiefen Frequenzen der Kick¹² werden visuell kaum repräsentiert, was auch auf eine fehlende Präsenz im Mix hindeutet.

¹² Kick = Bass Drum

Ein ausgewogenes Lautstärkeverhältnis zeigt sich schließlich in einer Darstellung, bei der die Bass Drum klar als zentrales Element erkennbar bleibt, während die übrigen Instrumente den „in Phase“-Bereich des Stereobildes relativ gleichmäßig ausfüllen (s. Abb. 24). In einem solchen Fall ergibt sich nicht nur ein optisch balancierter Eindruck, sondern auch eine akustisch überzeugendere Mischung, in der sich alle Elemente gut durchsetzen, ohne sich gegenseitig zu verdecken. Dafür ist auch die Sidechain-Bearbeitung wichtig und wurde angewendet.

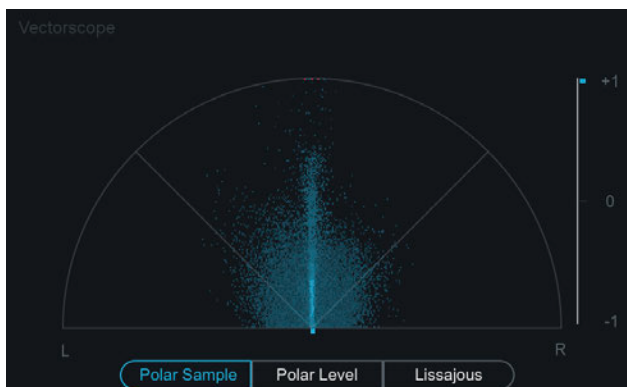


Abb. 22: Bass Drum ist zu laut (und clippt) im Vektorskop

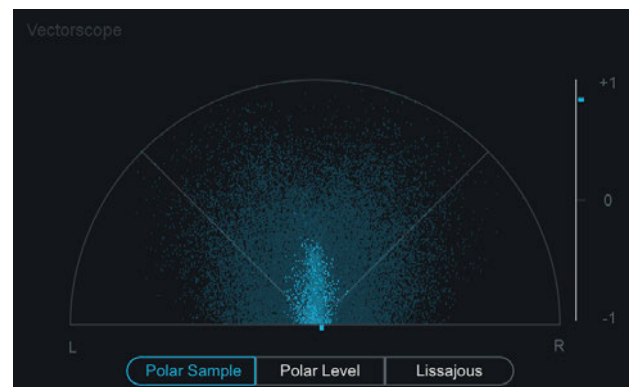


Abb. 23: Bass Drum zu leise im Vektorskop

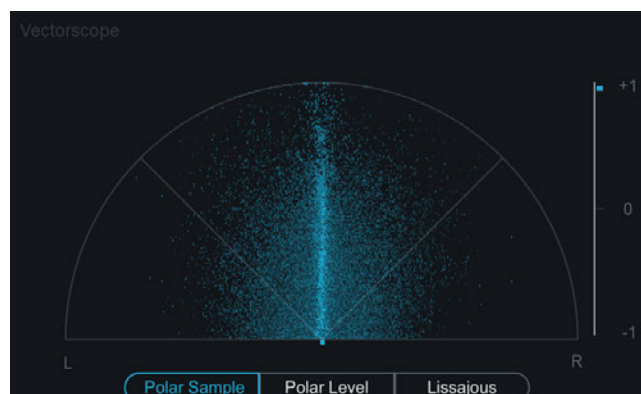


Abb. 24: Bass Drum in einem guten Lautstärkeverhältnis im Vektorskop

3.2.3 Frequenzbalance

Eine ausgewogene Stereodarstellung setzt bereits in der Phase des Gain Stagings korrekt gewählte Pegelverhältnisse voraus. Dabei ist sicherzustellen, dass die verschiedenen Instrumente ausgewogen im Frequenzspektrum vertreten sind.

Ein Mix mit überbetonten Höhen erscheint in der Darstellung durch eine beschränkte Auslenkung der gesamten Darstellung (s. Abb. 25). Ein Mix mit zu viel Bassanteil zeigt sich als

zentriertere Struktur entlang der Mittelachse mit eingeschränkter Breite (s. Abb. 26). Hierfür wurde mit einem EQ der entsprechende Frequenzbereich in der Lautstärke angehoben.

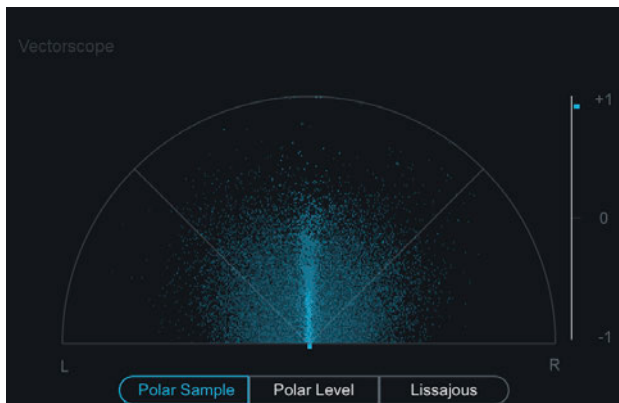


Abb. 25: Mix mit übertönten Höhen im Vektorskop

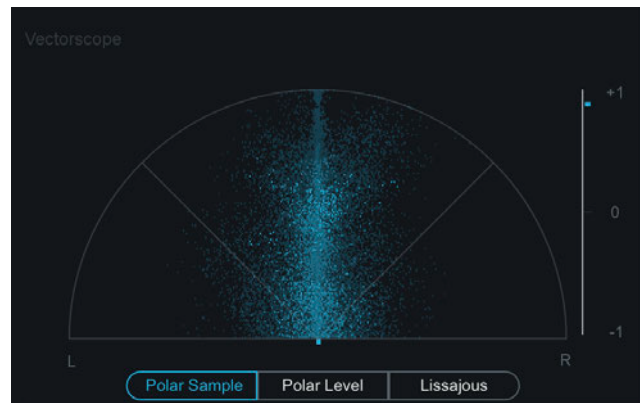


Abb. 26: Mix mit übertönem Bassbereich im Vektorskop

Da das Vektorskop primär zur Beurteilung der Stereobalance eingesetzt wird, lässt sich auch das Verhältnis zwischen Mitten- und Seiteninformation im Mix gut ablesen. Zur Veranschaulichung einer Überbetonung von Mitten- bzw. Seitenanteilen im Vektorskop wurde das Signal zunächst mittels M/S-Matrixierung in Mitten- (M) und Seitenanteile (S) aufgeteilt. Anschließend erfolgte eine breitbandige Anhebung sowohl im Mid- als auch im Side-Kanal, um die Auswirkungen auf das Stereobild und die Darstellung im Vektorskop deutlich zu machen. Ein Mix mit übermäßigem Seitenanteil dehnt sich weit außerhalb der „in Phase“ Zone aus. Wie schon erklärt, kann das bei Mono-Wiedergabe zu Problemen führen, da durch Phasenauslöschungen Klänge verschwinden können. Mathematisch betrachtet ergibt sich eine breite Stereodarstellung aus einer geringen Korrelation zwischen linkem und rechtem Kanal. Je stärker sich die Kurven-Signalverläufe der beiden Kanäle unterscheiden, desto weniger korrelieren sie miteinander – ihre Werte divergieren die Amplitude und Verlauf betreffend. Im Vektorskop äußert sich das durch eine breitere Punktverteilung, die sich breit entlang der linken und rechten Achse sowie außerhalb davon erstreckt (s. Abb. 27). Ein Signal mit stark angehobenem Mono-Anteil bewirkt dagegen eine Zentrierung der Darstellung (s. Abb. 28).

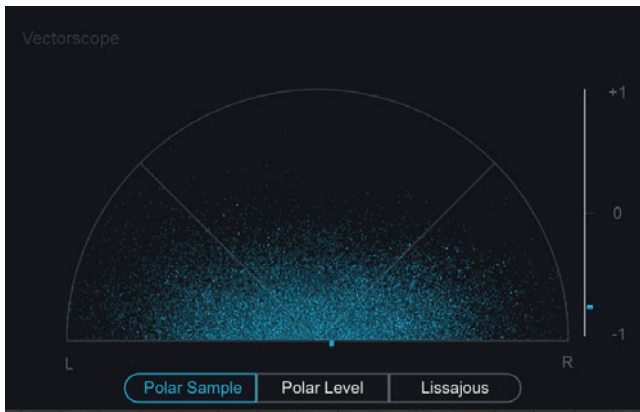


Abb. 27: Mix mit überbetontem Seitenanteil im Vektorskop

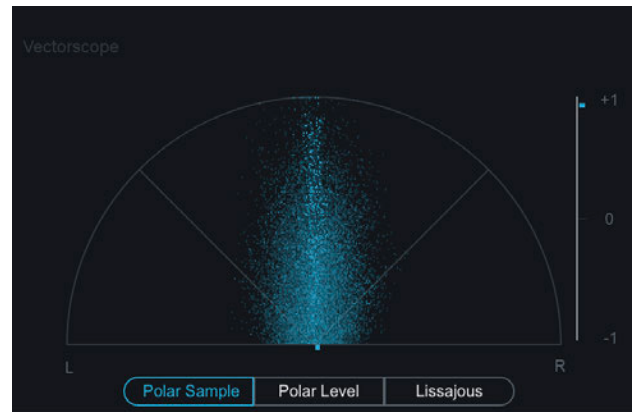


Abb. 28: Mix mit überbetontem Mittelanteil im Vektorskop

Eine ausschließlich breite Signalverteilung ohne stabilen Mittelanteil wirkt jedoch klanglich unausgewogen. Es braucht Signalanteile, die auf beiden Kanälen gleichzeitig und mit vergleichbarer Intensität vorhanden sind. Nur wenn diese zentralen Anteile durch gezielt gesetzte Stereokomponenten ergänzt werden, entsteht ein klanglich stabiler und räumlich breiter Eindruck. Ein unausgewogener Mix ohne ausgeprägte Mittelanteile erscheint im Vektorskop oft ungleichmäßig verteilt oder diffus (Extrembeispiel: s. Abb. 27). Visuell fehlen dabei regelmäßige Strukturen entlang der Mittenachse; klanglich kann der Eindruck eines „hohlen“ oder räumlich schlecht definierten Stereobilds entstehen.

Neben der auditiven Wahrnehmung lässt sich anhand der entstehenden Muster im Vektorskop aber auch schnell beurteilen ob ein Signal hochfrequent oder tieffrequent ist. Dafür wurde mit einem EQ ein hoher und ein tiefer Frequenzbereich isoliert und abgespielt. Tiefe Frequenzen (z. B. Bassinstrumente) erzeugen eher linienartige Muster, da ihre langsameren Schwingungsverläufe kontinuierlicher abgebildet werden können (s. Abb. 29). Hohe Frequenzen hingegen erscheinen als Punktwolken – ihr schneller periodischer Verlauf führt dazu, dass die Darstellung in der Zeitauflösung des Vektorskops nicht mehr als Linie, sondern nur noch als dichte Ansammlung einzelner Punkte sichtbar wird (s. Abb. 30).

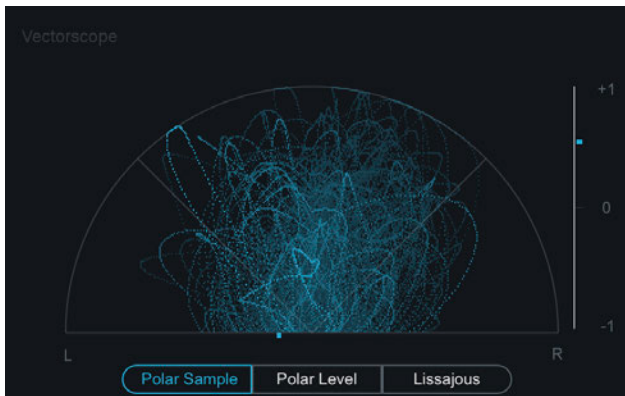


Abb. 29: Tieffrequenter Signalanteil im Vektorskop

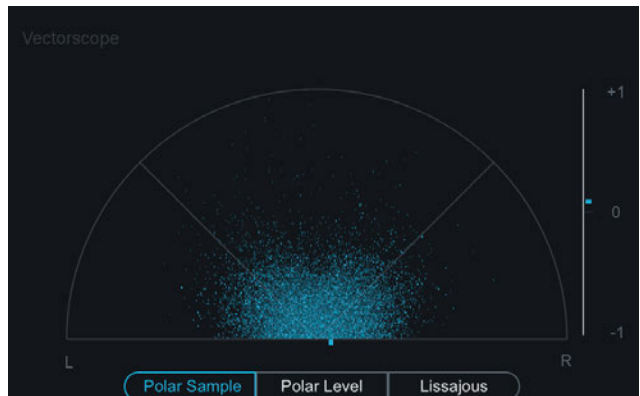


Abb. 30: Hochfrequenter Signalanteil im Vektorskop

3.2.4 Räumliche Platzierung im Stereopanorama

Mit dem Panning, also dem gezielten Verteilen einzelner Instrumente im Stereopanorama lässt sich die Darstellung zusätzlich beeinflussen. Während Techniken wie Equalizing, Layering oder Gain Staging maßgeblich zur Klangbalance beitragen, ist natürlich gerade die räumliche Platzierung wichtig für die Stereoverteilung. Besonders in genrespezifischen Produktionen, die auf ein möglichst breites und offenes Klangbild abzielen, wird häufig auf hartes Panning (engl. hard panning) zurückgegriffen. Dabei wird ein Signal vollständig auf eine Seite des Stereofelds gelegt – entweder ganz nach links oder ganz nach rechts.

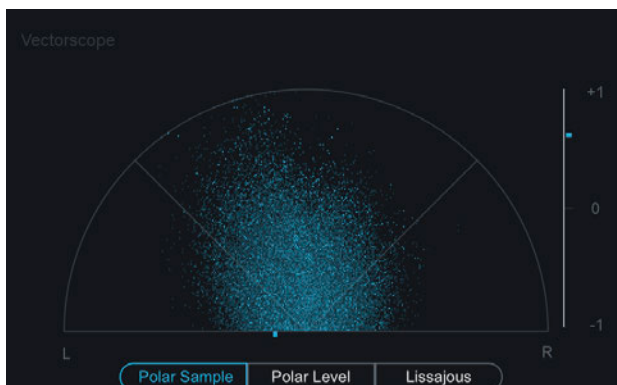


Abb. 31: Pad nicht gepanned im Vektorskop

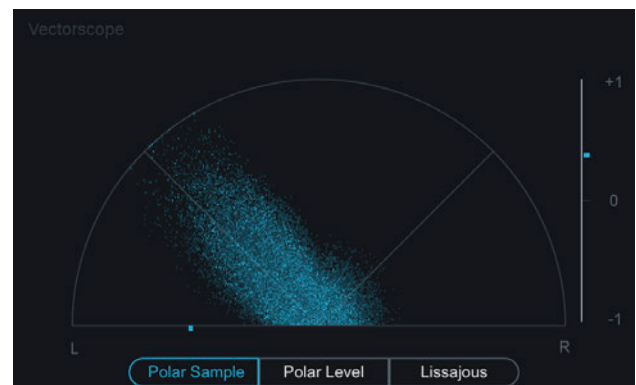


Abb. 32: Pad gepanned im Vektorskop

In der hier verwendeten DAW wurde hierzu der sog. Split Stereo Pan-Modus verwendet. Im Gegensatz zum Standard-Panorama-Regler, der bei einem Panning-Vorgang lediglich den Pegel eines Kanals absenkt, verschiebt dieser Modus das gesamte Stereosignal gleichmäßig im Raum [vgl. Ableton Reference Manual]. Beide Methoden tragen jedoch zur wahrgenommenen Breite des Signals bei. Die Panoramaeinstellungen können sowohl auf der Mischoberfläche der DAW

als auch direkt in Instrumenten wie z.B. Synthesizern vorgenommen werden. Dafür werden z.B. Plug-in intern die Pan-Regler zweier Oszillatoren nach links und rechts gestellt.

Abb. 31 zeigt exemplarisch die Darstellung eines Pad-Klangs vor und Abb. 32 die Darstellung nach der Anwendung von Panning. Deutlich erkennbar ist, dass die linke Seite des Stereofelds durch die Verschiebung stärker besetzt ist. Die Signalverteilung ragt hier etwas weiter heraus, bis an den äußersten Rand des Darstellungsbereichs.

3.2.5 Effektgeräte

Durch den Einsatz von Effektgeräten lässt sich das Stereobild weiter beeinflussen. Ein einfaches und zugleich effektives Verfahren ist der Einsatz eines Delays auf einem ursprünglich monophonen Signal. Durch das gezielte zeitliche Verzögern eines Stereokanals entsteht ein Phaseneffekt, der vom menschlichen Gehör als räumliche Ausdehnung wahrgenommen wird. Diese Technik nutzt die psychoakustischen Eigenschaften eines kurzen Delay-Effekts, bei dem das zeitlich versetzte Signal innerhalb eines bestimmten Verzögerungsbereiches (1-30 ms) nicht als Echo, das Signal aber als räumlich ausgedehnt wahrgenommen wird [vgl. Weinzierl (2008), S. 104-105].

Abb. 33 zeigt das Ausgangssignal einer Mono aufgenommenen und leicht nach rechts gepannten Gitarre, Abb. 34 zeigt das bearbeitete Signal nach Anwendung des Plug-ins Voxengo Sound Delay¹³. Durch die Bearbeitung verschiebt sich die Position der Gitarre von einer leicht rechtszentrierten Mono-Ausrichtung hin zu einer gleichmäßigeren Verteilung auf beide Stereokanäle. Dadurch wirkt sie räumlich breiter und fügt sich klanglich homogener und transparenter in den Gesamtmix ein.

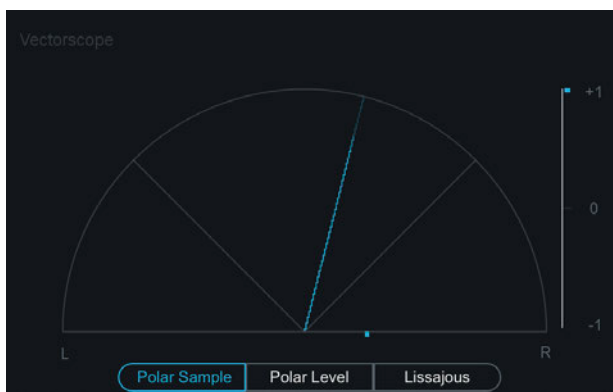


Abb. 33: Mono Gitarre im Vektorskop

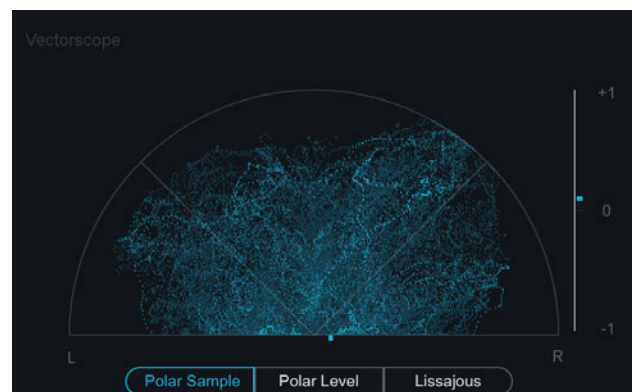


Abb. 34: Gitarre mit Delay im Vektorskop

¹³ Konfiguration: Audio Delay: 10ms; Sample Delay: 100 Samples

Neben klassischen Modulationseffekten wie Delay, Chorus und Flanger hat insbesondere der Einsatz von Hall (Reverb) einen erheblichen Einfluss auf die räumliche Wahrnehmung eines Signals. Reverb-Effekte simulieren akustische Räume, in denen das Signal virtuell platziert wird. Da Raumtiefe und Schallreflexionen in der auditiven Wahrnehmung nur über eine stereophone Abbildung erfassbar sind, denn erst durch Pegel- und Laufzeitunterschiede zwischen den Kanälen kann das Gehirn eine Raumillusion konstruieren, trägt Reverb somit maßgeblich zur wahrgenommenen Tiefe und Weite eines Klangbilds bei [vgl. Dickreiter, Distel, Hong, Wöhr (Hrsg.) (2014), S. 133 u. S. 399-400]. Dies lässt sich im Vektorskop visuell bestätigen: Während ein trockener Klaviersound eine vergleichsweise schmale Verteilung entlang der Mitteldiagonale aufweist (s. Abb. 35), erweitert sich das Stereobild mit zunehmendem Hallanteil¹⁴ sichtbar (s. Abb. 36). Die Darstellung reicht zunehmend über den 90-Grad-Bereich hinaus, was auf zusätzliche seitliche Signalanteile und damit auf eine größere räumliche Tiefe hinweist.

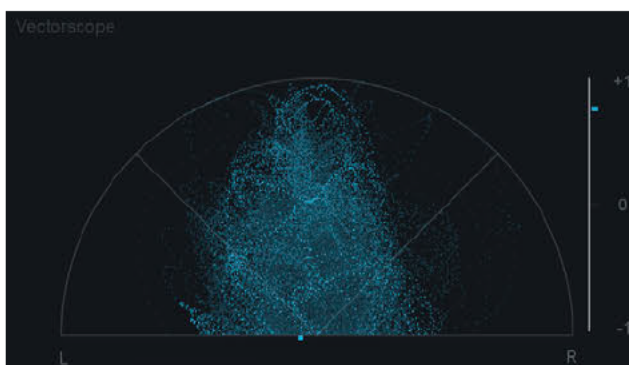


Abb. 35: Klavier ohne Hall im Vektorskop

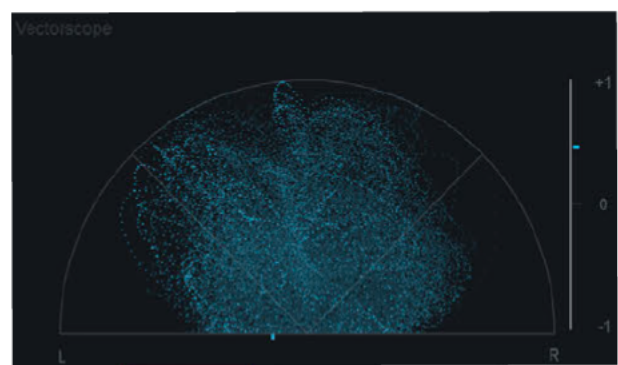


Abb. 36: Klavier mit Hall im Vektorskop

Auch die Bearbeitung mit Sättigung oder Verzerrung kann die Darstellung im Vektorskop wesentlich beeinflussen. Solche Plugins fügen dem Audiosignal harmonische Verzerrungen hinzu, die das charakteristische "warme" und "musikalische" Klangverhalten von analoger Hardware wie Röhren, Transistoren und Studiokonsolen nachahmen. Dadurch machen sie den Sound voller, wärmer und lassen das Signal dichter wirken [vgl. Decapitator Manual]. Durch die harmonischen Obertöne wird das Frequenzspektrum angereichert und die Verdichtung des Klangbilds begünstigt [vgl. Dickreiter, Distel, Hong, Wöhr (Hrsg.) (2014), S. 620-621].

In Kombination mit Reverb kann dies zu einer nahezu vollständigen Ausfüllung des Anzeigebereichs im Vektorskop führen. Ein exemplarischer Fall ist in Abbildung 38 zu sehen:

¹⁴ Konfiguration Hall: Mix: 28,5%; Decay: 3,45s; Pre Delay: 10,0ms

Hier wurde ein mit Hall verbreitertes Signal zusätzlich durch ein Sättigungs-Plug-in¹⁵ bearbeitet. Die resultierende Darstellung zeigt ein dichtes, strukturiertes Muster. Bei der mittigen Punktverdichtung am oberen Rand handelt es sich vermutlich lediglich um die vielen durch die Verzerrung entstehenden gleichen Werte im Mono-Zentrum. Im Vergleich dazu zeigt Abb. 37 das Vocal-Pad ohne jegliche Bearbeitung.

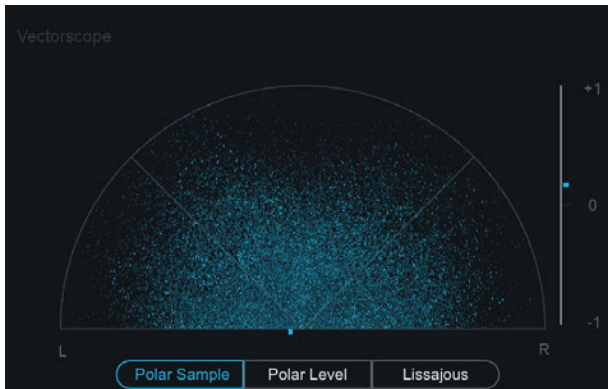


Abb. 37: Vocal-Pad ohne Effekte im Vektorskop

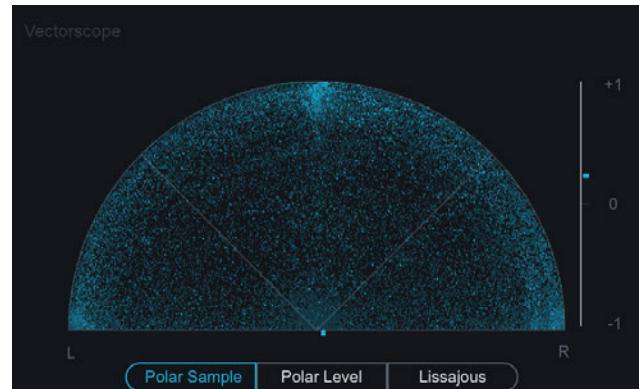


Abb. 38: Vocal-Pad mit Hall und Verzerrung im Vektorskop

Neben klassischen Effekten wie Reverb oder Delay existieren mittlerweile spezialisierte Software-Plug-ins wie z.B. dem Stereo Enhancer, der gezielt zur Verbreiterung des Stereoeindrucks entwickelt wurde. Diese Plug-ins verwenden in der Regel Mid-Side-Processing-Techniken, bei denen das Stereosignal in Mono- und Seitenanteile aufgeteilt wird, um selektiv die Stereobreite zu manipulieren. Zusätzlich kommen psychoakustische Verfahren wie Delay mit minimalen Zeitverzögerungen und frequenzselektive Phasenverschiebungen zum Einsatz.

3.2.6 Dynamik

Die Auslenkung im Vektorskop nimmt zu, wenn die Dynamik eines Signals abnimmt. Das liegt daran, dass bei geringerer Dynamik auch die Unterschiede zwischen dem linken und rechten Kanal kleiner werden. Da das Vektorskop stets das gesamte Summensignal anzeigt, ist die Gesamtdynamik maßgeblich für dessen visuelle Ausprägung. Einzelne, im Solo-Modus analysierte Signale können das Vektorskop vollständig ausfüllen (vgl. Abb. 38), verschwinden jedoch in der Gesamtdarstellung, wenn sie im Pegel deutlich leiser sind.

¹⁵ Decapitator im sog. Punish Modus

Es besteht somit ein klarer Zusammenhang zwischen der Dynamik eines Audiosignals und der Ausfüllung des Vektorskops, nicht aber mit der generellen Lautstärke. Da die Kompression die natürliche Dynamik reduziert und alle Werte näher an die Maximalaussteuerung „drückt“, führt eine starke Kompression oder Dynamikbegrenzung aufgrund der Normierung des Vektorskops dazu, dass das Signal dauerhaft bis an den Rand des Darstellungsbereichs reicht (s. Abb. 39). Dynamisch reichhaltige Signale hingegen erreichen nur mit ihren Pegelspitzen den äußeren Rand des Vektorskops. Der überwiegende Teil des Signals erscheint dann als konzentrierte Wolke mit begrenzter Auslenkung (s. Abb. 40).

Zur genaueren Untersuchung des Dynamikeinflusses wurde ein Orchester-Sample in zwei Varianten analysiert: einmal in seiner ursprünglichen Dynamik belassen und einmal stark komprimiert. Abb. 39 und Abb. 40 sind zum exakt gleichen Zeitpunkt beider Samples aufgenommen.

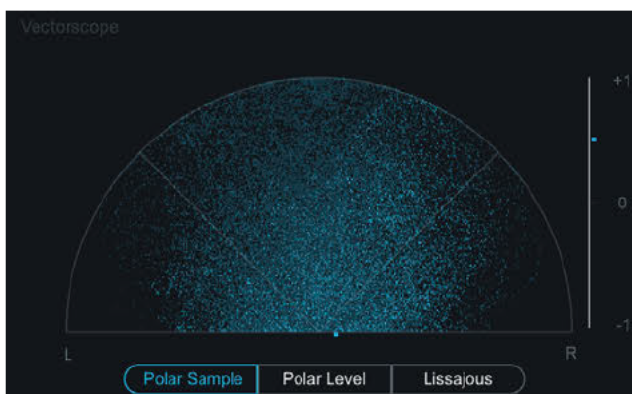


Abb. 39: Stark komprimiertes Signal im Vektorskop

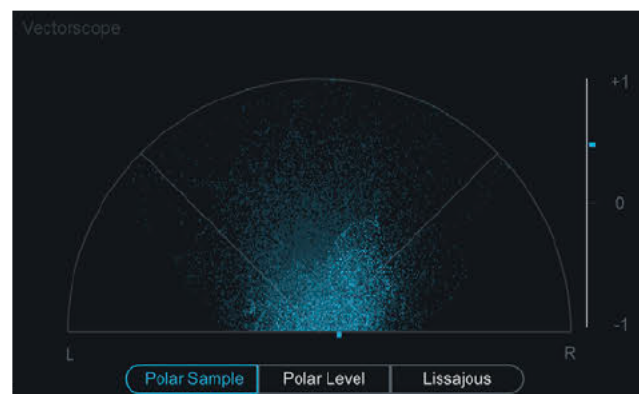


Abb. 40: Unkomprimiertes Signal im Vektorskop

Der Unterschied wird im zeitlichen Verlauf der Vektorskop-Darstellung deutlich sichtbar. Das dynamische Signal zeigt in leisen Passagen eine entsprechend kleine Auslenkung im Vektorskop, die sich aber nach einer kurzen Zeit wieder durch die Normierung vergrößert. Im Gegensatz dazu behält das komprimierte Signal eine konstante Auslenkung bei, da die ursprünglich leisen Stellen durch die Kompression auf ein ähnliches Niveau wie die lauten Passagen angehoben wurden.

3.2.7 Mastering

Der Mastering-Prozess beschreibt heutzutage die klangoptimierende Bearbeitung einer Stereosumme. Dabei werden Bearbeitungen und Effekte eingesetzt, die das gesamte Klangbild eines Musikstücks betreffen und somit auf alle enthaltenen Elemente gleichzeitig wirken. Diese Eingriffe sind in der Regel eher subtil, denn Ziel ist es, die Gesamtwirkung eines Tracks zu optimieren, ohne den Charakter der Produktion grundlegend zu verändern. [vgl. Katz (2002), S. 11-12]. Ein zentrales Werkzeug im modernen Mastering ist das Limiting, das primär dazu dient, die Lautheit und Dynamik des Signals an die Anforderungen der jeweiligen Distributionsplattform (z.B. Spotify und Apple Music) anzupassen [vgl. Görne (2011), S. 363-364]. Dadurch wird die räumlichen und klangliche Dichte beeinflusst.

Während die Endmischung im Vektorskop zunächst nicht bis an den Rand der Darstellung reicht (s. Abb. 41);[vgl. Audio-Anhang A3, 1:35-1:55], zeigt sich nach Durchlaufen der Master-Plug-ins eine vollständige Ausfüllung des Vektorskops (s. Abb. 42);[vgl. Audio-Anhang A4, 1:35-1:55]. So lässt sich bei der Eigenproduktion wie bei Illeniums Produktion im Vektorskop eine auffallend gleichmäßige, flächige Ausfüllung des Darstellungsbereichs beobachten (s. Abb. 42). Diese visuelle Homogenität scheint vor allem durch die dynamische Verdichtung im Limiter sowie die harmonische Anreicherung, bzw. Kompression durch Sättigung zu entstehen. Beide Prozesse wirken sich nicht nur auf die Lautheit, sondern auch auf die signalinterne Struktur und indirekt die räumliche Verteilung aus [vgl. Weinzierl (2008), S. 739]. Die Abbildungen 41 und 42 zeigen deutlich die Auswirkungen von Limiting und Sättigung auf die Wellenformdarstellung und das Vektorskop des eigenen Tracks. Dabei ist jeweils die Dynamik und der Korrelationsverlauf (links) und die zugehörige Vektorskop Darstellung (rechts) angezeigt. Abb. 41 zeigt das Signal im unbearbeiteten Zustand, während Abb. 42 dasselbe Signal nach Anwendung der Masterkette darstellt. Deutlich erkennbar ist die Veränderung der Wellenform: Während im oberen Bild noch dynamische Schwankungen und größere Amplitudenunterschiede sichtbar sind, wirkt die Wellenform im unteren Bild stark verdichtet, komprimiert und ohne Peaks- eben als Folge von harmonischer Sättigung und Clipping. Im rechten Teil der Darstellung ist das zugehörige Vektorskop zu sehen. Vor Anwendung des Effekts ist die Darstellung eher kompakt und zentriert (s. Abb. 41), der Radius variiert hier stärker zwischen kleinen und großen Werten. Nach Limiting und Sättigung ist die Polardarstellung komplett ausgefüllt - ein dichter blauer "Teppich" fast

über den gesamten Halbkreis. Durch die Kompression sind alle Amplitudenwerte sehr ähnlich (nahe dem Maximum). Dadurch „geht der Mix auf“.

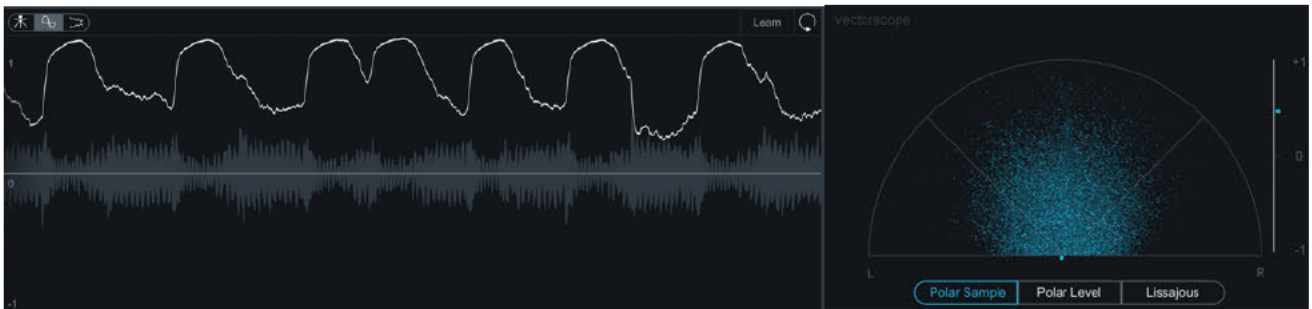


Abb. 41: Dynamik und Vektorskop Darstellung vor dem Mastering



Abb. 42: Dynamik und Vektorskop Darstellung nach dem Mastering

Im eigenen Track wurde hierfür der „Saturator“ von Ableton Live im Modus Digital Clip eingesetzt: Der verwendete Effekt basiert auf dem Prinzip des Waveshapings, also der Verformung von Wellenformen durch nichtlineare Prozesse [vgl. Ableton Reference Manual]. Durch einen Drive-Wert von +9,71 dB wird das Vektorskop vollständig ausgefüllt. Dabei wird der Kurvenverlauf der eingehenden Audiosignale anhand einer nichtlinearen Kennlinie modifiziert, wodurch harmonische Obertöne generiert werden. Die im Zentrum angezeigte blaue Kurve visualisiert das Clipping-Verhalten: Der lineare Verlauf mit harten Begrenzungen an den Spitzen weist auf eine aggressive Sättigung hin, die aufgrund des hohen Drive-Werts nahezu rechteckige Signalanteile erzeugt. Da ein Rechtecksignal laut Fourier-Analyse¹⁶ ein breites, obertonreiches Spektrum aufweist, führt diese Verformung zu einer erhöhten spektralen Dichte¹⁷ und es entstehen harmonische Obertöne [vgl. Everest & Pohlmann (2014), S. 15-16]. Durch die zusätz-

¹⁶ Mathematische Zerlegung des Signals in seine Frequenzkomponenten

¹⁷ beschreibt wie viele Frequenzanteile gleichzeitig aktiv sind und wie stark sie vertreten sind

liche Aktivierung der Funktion Soft Clip entsteht jedoch eine weichere Begrenzung der Spitzenwerte.

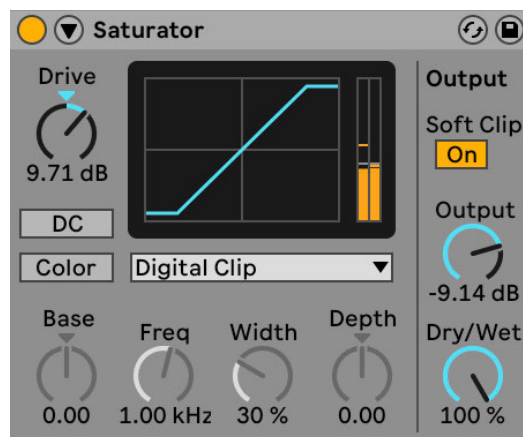


Abb. 43: verwendeter Sättigungseffekt

Durch Sättigung wird sozusagen eine kreative Form der Kompression mit Peak Limiting und harmonischer Anreicherung erzielt [vgl. Sardo, Mangano (2014)]. Der resultierende visuelle Eindruck eines dichteren Klangs im Vektorskop ist primär auf die Einschränkung der Dynamik zurückzuführen und weniger auf eine tatsächliche Klangverdichtung im frequenzspezifischen Sinne. Es ist jedoch zu beachten, dass durch diesen Prozess Transientenverzerrungen¹⁸ entstehen können, was sich klanglich in einer leichten Veränderung der Signaltransparenz bemerkbar machen kann. Bei extremen Einstellungen kann das Audiosignal unangenehm verzerrt und zerstört werden (s. Abb. 44 und Abb. 45).

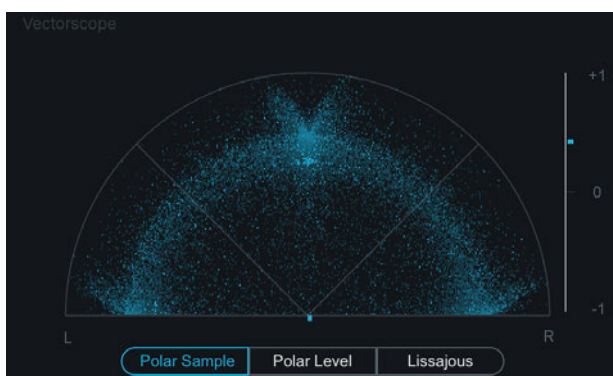


Abb. 44: Stark übertrieben angewendete Verzerrung im Vektorskop

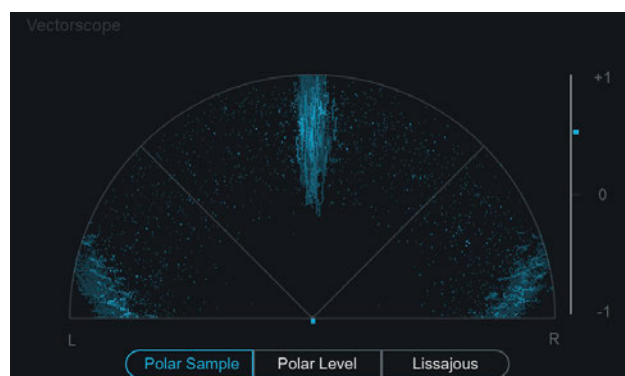


Abb. 45: Zerstörtes Audiosignal im Vektorskop

¹⁸ Als Transient wird der kurze, impulsartige Beginn eines Audiosignals bezeichnet

Verschiedene Verzerrungstypen erzeugen hier verschiedene geometrische Muster. Eine sorgfältige Abwägung zwischen gewünschter Sättigung und klanglicher Reinheit ist daher erforderlich.

Tabelle 2 zeigt häufig verwendete Effekt-Plug-ins im Mastering und deren Auswirkung auf die Darstellung im Vektorskop, sowie evt. entstehende technische Artefakte¹⁹.

Tabelle 2: Auswirkung von Mastering-Effekten im Vektorskop

Effekt	Technische Artefakte	Auswirkung im Vektorskop
Limiter	- Clipping (Entstehung von Obertönen), Pumping, Transientenverlust, Dynamikverlust	- Zunehmende Auslenkung des Vektorskops mit niedrigerem Threshold - Skalierung der Wolke durch Fangen von Pegelspitzen und Angleichen der Maximallautheit
Sättigung/Exciter	- Harmonische Verzerrung (Entstehung von harmonischen Obertönen), evtl. Aliasing, Klangverfärbung - Scharfe, synthetische Höhen Transientenverzerrung	- Abhängig von Sättigungskurve und Intensität: Bei zu starker Anwendung entstehen charakteristische Muster (s. Abb. 44 u. 45). - breitere Auslenkung/Ausfüllung (durch Peak Limiting mit harmonischer Anreicherung)
Stereo Enhancer	- Phasenprobleme, Monoinkompatibilität, räumliche Instabilität	- Mehr Breite = Wolke verschiebt sich stärker in den „nicht in Phase“-Bereich - Weniger Breite = Darstellung rückt Richtung Mono. - Die Breite der Darstellung verändert sich je nach Einstellung

Diese Effekte im Mastering können ihre volle Wirkung nur entfalten, wenn im Vorfeld – also im Mixing – sorgfältig gearbeitet wurde. Aspekte wie ausgewogene Pegelverhältnisse, gezielte Platzierung im Stereobild sowie Frequenz- und Dynamikbearbeitung bilden die Grundlage für das Mastering und für das Erreichen einer vollständig ausgefüllten Darstellung im Vektorskop.

¹⁹ Unerwünschte Störungen bzw. Verzerrungen im Klangbild

3.3 Anwenden der erlernten Techniken auf einen weiteren Track

Zur Validierung der theoretisch erarbeiteten Konzepte zur Stereobildoptimierung wird im Folgenden eine praktische Analyse am Musikstück "Never Let You Go" von Brian CeeFH durchgeführt. Das Ausgangsmaterial stammt aus der Cambridge Multitrack Database, welche die einzelnen Spuraufnahmen zur Verfügung stellt. Das primäre Ziel dieser praktischen Analyse besteht darin, die zuvor beschriebenen Techniken zur Stereobilderweiterung systematisch anzuwenden und deren Effektivität im Vektorskopbild darzustellen.

Basierend auf den Multitrack-Aufnahmen wird ein eigenständiger Mix und Master erstellt, wobei alle erlernten Techniken systematisch implementiert werden sollen. Besonderes Augenmerk liegt dabei auf der maximalen Ausnutzung des Stereofelds ohne Beeinträchtigung der Monokompatibilität. Da es sich nur um eine Mischung und das anschließende Mastering handelt, kann natürlich auf die Auswahl der Instrumente kein Einfluss genommen werden. Der eigenständig erstellte Master wurde im Anschluss mithilfe des Vektorskops mit einer professionell gemasterten Referenzversion verglichen. Als Referenz diente dabei die auf der Streaming-Plattform Apple Music veröffentlichte Version, also jene Fassung, die vom Künstler final als Master eingereicht wurde.

3.3.1 Mixing und Mastering

Im Folgenden wird die Effektbearbeitung am Beispiel der Instrumente Shaker²⁰, Vocals, Glockenspiel und Vocals Chops²¹ dargestellt, da bei diesen Instrumenten der größte Unterschied zwischen der ursprünglichen Spur und der Bearbeiteten entstanden ist. Nach dem Einstellen der Pegelverhältnisse erfolgte die gezielte Bearbeitung der Einzelsignale unter Einsatz von verschiedenen Effektgeräten sowie die Verteilung im Stereopanorama. Die Kontrolle erfolgte kontinuierlich mittels Vektorskop, um eine technisch saubere und nicht übermäßige Breite sicherzustellen. Die Vocals in den Strophen wurden mit verschiedenen Techniken bearbeitet, um ihre Präsenz und Einbettung im Mix zu verbessern. Durch den Einsatz von Hall verbreiterte sich dieses ursprüngliche Mono Signal (s. Abb. 46 u. 47). Zusätzlich kam Delay zum Einsatz, insbesondere in den offenen Passagen zwischen den Gesangsphrasen. Dieses füllt die

²⁰ Percussion Instrument

²¹ aus der Gesangsspur zusammengeschnittene Laute oder Wörter (neu arrangiert), oft stark bearbeitet

leeren Stellen im Arrangement und trägt dazu bei, den Fluss des Songs aufrechtzuerhalten, ohne den Hauptgesang zu überlagern und verbreitert damit in diesen Passagen die Stimme.

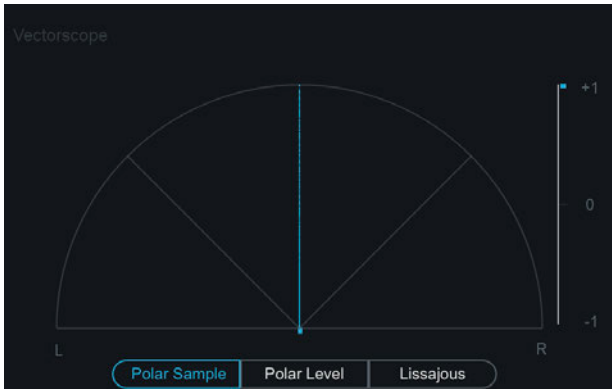


Abb. 46: Vocals ohne Effekte im Vektorskop

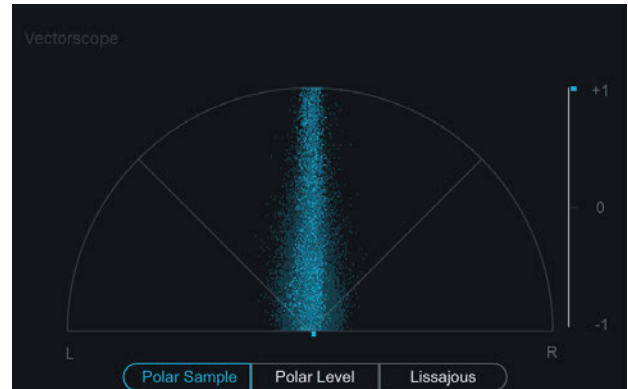


Abb. 47: Vocals mit Effekten im Vektorskop

Beim Shaker²² kam wie in Abschnitt 3.2.5 auf der Gitarre angewendet ein Delay mit sehr kurzer Verzögerungszeit zum Einsatz²³, um eine subtile Verbreiterung und räumliche Tiefe zu erzeugen. Dadurch verteilt sich dieses Instrument deutlich sichtbar und hörbar in die beiden Lautsprecherkanäle (s. Abb. 49). Im Vergleich dazu ist der Shaker ohne Bearbeitung in Abb. 48 zu sehen.

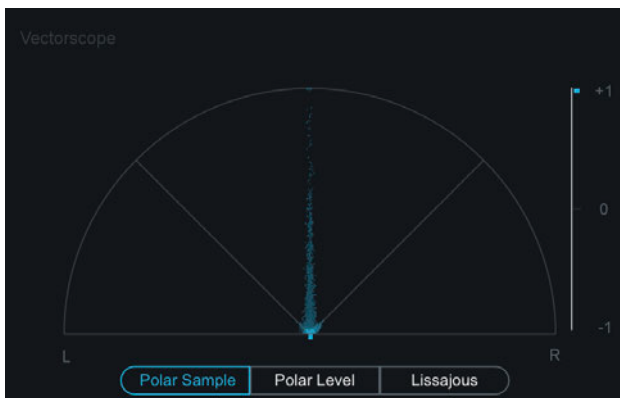


Abb. 48: Shaker ohne Delay im Vektorskop

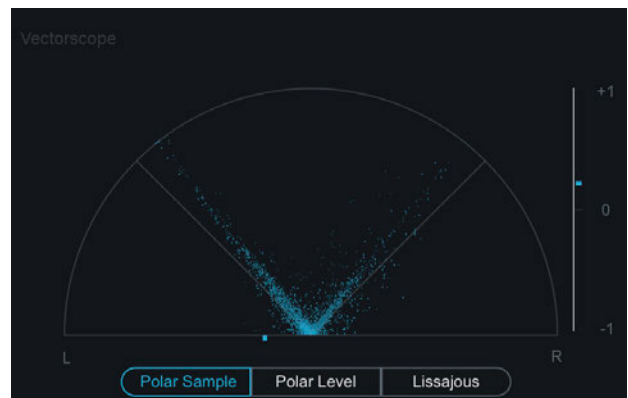


Abb. 49: Shaker mit Delay im Vektorskop

Beim Glockenspiel (engl. Mark Tree) wurde der Effekt *Wider* vom Entwickler *Polyverse* eingesetzt – ein klassischer Stereo-Enhancer, der es ermöglicht, das Stereosignal künstlich zu verbreitern (s. Abschnitt 3.2.5). Durch diesen Effekt ergibt sich ein deutlich breiteres Klangbild, was sich auch visuell im Vektorskop nachvollziehen lässt: Das Signal erscheint weniger zentriert und verteilt

²² Percussion Instrument

²³ Konfiguration: Audio Delay: 10ms; Sample Delay: 100 Samples

sich verstärkt in die linke und rechte Stereobasis, wodurch dieser Bereich im Panorama stärker ausgefüllt ist (s. Abb. 51). Abb. 50 zeigt das Glockenspiel in seinem ursprünglichen Klang ohne Effektbearbeitung. Bei der Anwendung solcher Effekte ist jedoch auch Vorsicht geboten. Eine übermäßige Verbreiterung kann schnell unnatürlich wirken oder phaseninstabil werden, was insbesondere bei Mono-Kompatibilität zu Problemen führen kann.

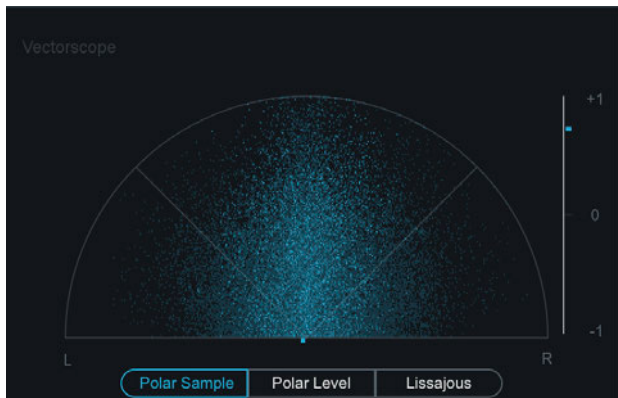


Abb. 50: *Mark Tree ohne Stereo Enhancer im Vektorskop*

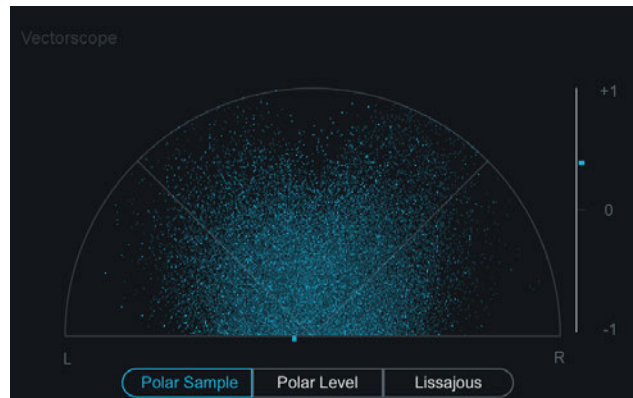


Abb. 51: *Mark Tree mit Stereo Enhancer im Vektorskop*

Auf den Vocal Chops²⁴ wurde Verzerrung angewendet. Dadurch wird eine sichtbar größere Auslenkung erreicht (s. Abb. 52 u. 53).

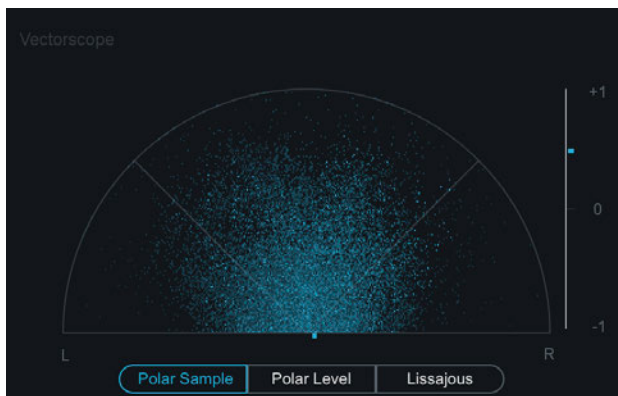


Abb. 52: *Vocal Chops ohne Verzerrung im Vektorskop*

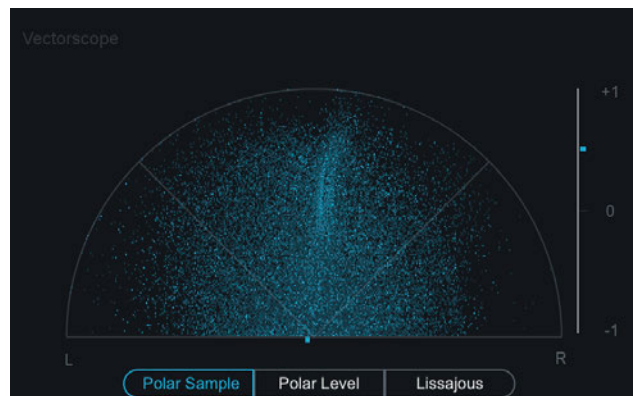


Abb. 53: *Vocal Chops mit Verzerrung im Vektorskop*

Trotz der angewendeten Effekte ist zu beobachten, dass der Mix im Drop nicht durchgehend eine vollständige Ausfüllung des Vektorskops erreicht [vgl. Audio-Anhang A5, 1:10-1:30]. Dies ist in erster Linie auf die Instrumentenauswahl und die rhythmische Struktur zurückzuführen, da

²⁴ aus der Gesangsspur zusammengeschnittene Laute oder Wörter (neu arrangiert), oft stark bearbeitet

im Vordergrund nicht ausschließlich breitflächige Pads, wie in der Eigenproduktion oder dem Track von Illenium stehen. Um dennoch ein breiteres Stereobild zu erzielen, wurden die breiten Instrumente wie Pad-Synthesizer im Pegel etwas lauter abgemischt, sodass ihre räumliche Wirkung prominenter erscheint.

Im finalen Mastering-Prozess wurde kreative Kompression in Form von harmonischer Sättigung eingesetzt. Ergänzend kam Limiting zum Einsatz, um die gewünschte Klangästhetik zu erzielen und die Lautheit auf ein marktübliches Niveau anzuheben. Es ist hierbei hervorzuheben, dass bewusst ein intensiver Einsatz von Sättigung und Limiting vorgenommen wurde, um eine möglichst weit ausgedehnte Darstellung im Vektorskop zu erreichen – auch wenn der konkrete Song diesen Grad an Bearbeitung aus klanglicher Sicht nicht zwingend erforderlich gemacht hätte. Unter gewöhnlichen Bedingungen im Mixing und Mastering wäre eine subtilere Dynamikbearbeitung angemessener gewesen.

Wie bereits im Abschnitt über Mastering dargelegt, hat dieser gezielte Eingriff in die Dynamik des Tracks einen erheblichen Einfluss auf die Darstellung im Vektorskop. Durch die Reduktion der Dynamikspitzen und die gleichmäßigere Energieverteilung im Signal wurde nach dem Mastering eine deutlich breitere und randnahe Visualisierung erzielt.

3.3.2 Vergleich

Beim Vergleich der eigenen Master-Version [vgl. Audio-Anhang A6] mit der Apple-Version von „Never Let You Go“ [vgl. Audio-Anhang A7] lässt sich feststellen, dass das Vektorskop bei dem selbst erstellten Master in der Regel eine breitere und weiter ausgefüllte Darstellung zeigt. Besonders in der Strophe ähneln sich die Muster zunächst, jedoch zeigt sich insgesamt eine stärkere Auslenkung hin zum Rand des Vektorskops [vgl. Audio-Anhang A5 & A6] (s. Abb. 54 u. 55).

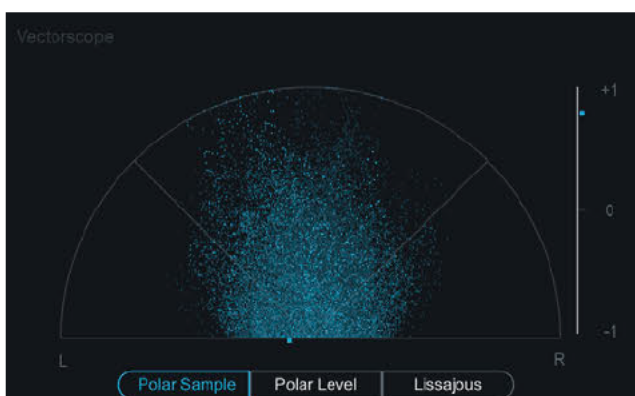


Abb. 54: Strophenabschnitt des Apple Masters

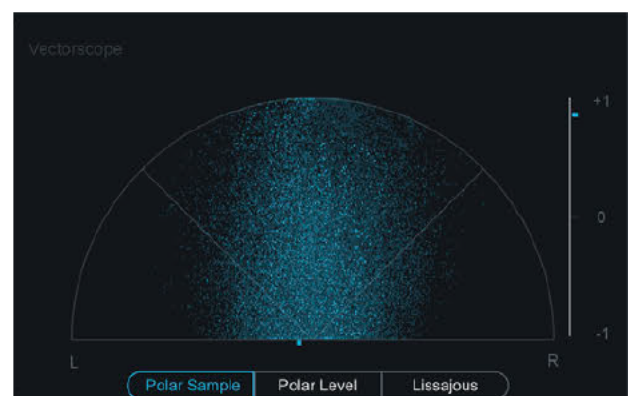


Abb. 55: Strophenabschnitt des eigenen Masters

Im Drop [vgl. Audio-Anhang A5 & A6, 1:10-1:30] ist eine vergleichbare Tendenz zu beobachten, wobei hier zusätzlich eine insgesamt breitere Darstellung erkennbar ist. Abb. 56 und 57 verdeutlichen den Unterschied der beiden Masterversionen zusätzlich mit Blick auf die Dynamik des Tracks.



Abb. 56: Drop Dynamik und zugehörige Vektorskop Darstellung der Apple Version



Abb. 57: Drop Dynamik und zugehörige Vektorskop Darstellung der eigenen Version

3.3.3 Professionelles Feedback

Zur weiteren Unterstützung der Analyse wurde eine Befragung unter Musikproduzenten durchgeführt, die im Rahmen des Studiengangs Musikproduktion tätig sind. Ziel war es, insbesondere die räumliche Wirkung der Master-Versionen zu beurteilen.

Die Rückmeldungen bestätigten eine deutlich wahrnehmbare Stereobreite bei der selbst erstellten Version, die zugleich als konsistent und frei von Phasenproblemen wahrgenommen wurde. Die Apple-Version wurde hingegen als etwas bassbetonter beschrieben, wobei die Höhen als weniger präsent und weniger spitz empfunden wurden.

Zudem wurde die starke Kompression bei der Eigenversion vermerkt. In Verbindung mit dem ausgeprägten Limiting und der Sättigung wirkte die resultierende Lautheit etwas „gedrungen“

oder komprimiert klingend. In diesem Zusammenhang wurde die m4a-Version²⁵ von Apple als räumlich besser verteilt empfunden, da sich unter anderem der Hall auf den Vocals besser in den Track einbettet. Ein weiterer Kritikpunkt betraf die Platzierung von sogenannten „Ear-Candy“-Elementen, also klanglichen Details zur Auflockerung und Veredelung des Arrangements. Diese seien ausschließlich in den äußeren Bereichen des Stereofelds platziert, was insbesondere bei der Wiedergabe über Mono-Lautsprecher oder Bluetooth-Geräte zu einer verminderten Wahrnehmbarkeit führen könne. Kritisch angemerkt wurden zudem die Closed Hi-Hats in der eigenen Version, die aufgrund ihrer automatisierten Panorama-Bewegung mittels LFO²⁶ als leicht unruhig beschrieben wurden. Diese Technik – das kontinuierliche Springen der Hi-Hats zwischen dem linken und rechten Kanal – sollte eine breitere Stereowirkung erzeugen, ist jedoch gestalterisch nicht zwingend erforderlich.

Ein weiterer Aspekt, der für einen fairen Vergleich berücksichtigt werden muss, ist zum einen die Komprimierung der Apple-Version. Da es sich um eine verlustbehaftet komprimierte Datei handelt, lässt sich nur schwer beurteilen, welche klanglichen Veränderungen hierdurch verursacht wurden. Eine unkomprimierte Vergleichsdatei war jedoch nicht ohne Weiteres verfügbar. Zum anderen gibt es deutliche Unterschiede in der Lautstärke der Versionen, da die eigene Version deutlich lauter ist als die Referenzversion von Apple. Dieser Umstand wirkt sich negativ auf die Vergleichbarkeit aus, da lautere Audiodateien beim Hören tendenziell als „besser“ wahrgenommen werden – ein bekanntes Phänomen in der Audiowahrnehmung.

Insgesamt zeigt sich jedoch, dass durch die erarbeiteten Mixing- und Mastering-Techniken eine ausgeprägtere räumliche Darstellung im Vektorskop erzielt werden kann – und das ohne nennenswerte Phasenprobleme. Der Vergleich verdeutlicht jedoch auch, dass das Endergebnis stark vom jeweiligen Song sowie dessen instrumentaler Gestaltung abhängt. Es zeigt sich, dass die mit der breit und voll ausgesteuerten Stereodarstellung einhergehende intensive Dynamikbearbeitung auch übertrieben werden und sich so negativ auf den Song auswirken kann, bzw. nicht bei jedem Song stilistisch passt. Zu stark komprimiertes Audio gibt zudem dem Hallraum weniger Platz sich zu entfalten und wirkt sich so auf die räumliche Darbietung negativ aus.

²⁵ Apple MPEG-4-Audio

²⁶ Low Frequency Oscillator, oft als Modulationseffekt für beliebige Parameter verwendet (hier: Pan)

4. Ergebnisse und Diskussion

4.1 Learnings

Zunächst traten Schwierigkeiten auf, im Mixing eine breite und gleichmäßige Darstellung zu erzielen. Zwar ließ sich durch den Einsatz von Effekten wie beispielsweise Delay bei einzelnen Instrumenten eine breite Darstellung erzielen, jedoch ging diese im Gesamtmix häufig unter, da andere Instrumente wie die Bass Drum lauter abgemischt und stärker monozentriert waren. Der entscheidende Durchbruch zeigte sich im Mastering-Prozess. Durch den Einsatz von Limiting und Sättigung konnte letztlich eine sichtbare Veränderung im Vektorskop erreicht werden. Die Vermutung, dass die reduzierte Dynamik für die randnahe Darstellung verantwortlich ist, bestätigte sich nach erneuter genauerer Überprüfung der Berechnungsformeln für die Darstellung.

Ein zentrales Learning im Verlauf dieser Arbeit war das tiefere Verständnis für die Funktionsweise des Vektorskops und dessen Zusammenhang mit der Dynamik eines Audiotracks. Zu Beginn wurde angenommen, dass eine bis an den Rand ausgefüllte Darstellung im Vektorskop in erster Linie durch eine extreme Stereobreite sowie eine vollständige Verteilung von Instrumenten über das gesamte Panorama entsteht. Im Laufe der Analyse stellte sich jedoch heraus, dass insbesondere auch die Dynamik eine entscheidende Rolle für diese Darstellung spielt. Je stärker ein Signal komprimiert ist – das heißt, je geringer der Unterschied zwischen dem Spitzenpegel (Peak) und dem Effektivwert (RMS²⁷) – desto weiter wird die Darstellung durch die Normierung des Vektorskops an den äußeren Rand gedrückt. Exakt messbar wäre dies zum Beispiel mithilfe des sog. Crest-Faktors, der genau dieses Verhältnis repräsentiert [vgl. Wendl, Lee (2014)]:

$$\text{Crest Faktor}(dBFS) = \text{Peak}(dBFS) - \text{RMS}(dBFS)$$

$$dBFS = dB \text{ Full Scale}$$

Ein hoher Crest-Faktor bedeutet große Dynamik mit ausgeprägten Spitzen, ein niedriger Crest-Faktor deutet auf ein eher komprimiertes Signal hin. Eine vergleichbare Messanzeige ist die sog.

²⁷ Root Mean Square (quadratisches Mittel eines Signals)

Dynamic Range in Metering Plug-ins, die den Unterschied zwischen Peak und RMS auch repräsentiert, jedoch mit zeitlicher Mittelung auf z.B drei Sekunden [vgl. brainworx Meter Manual]. Daraus ergibt sich, dass für ein vollständig ausgefülltes Vektorskop zwei Voraussetzungen erfüllt sein müssen: Erstens ein gezielt breiter Mix, der durch geeignete Instrumentenauswahl, räumliche Platzierung und den Einsatz stereoverbreiternder Effekte erzielt werden kann. Zweitens ist jedoch ebenso eine gezielte Dynamikbearbeitung im Mastering erforderlich, die diese Breite dann visuell und auditiv hervorhebt – durch Kompression, Limiting und harmonische Anreicherung (z. B. Sättigung) –, um die Energie des Signals so zu verteilen, dass eine starke Aussteuerung im gesamten Frequenzspektrum und im gesamten Stereobild erreicht wird.

4.2 Schlussbetrachtung

Die Untersuchungen im Rahmen dieser Arbeit verdeutlichen, dass die räumliche Verteilung im Mix mithilfe von Vektorskop-Darstellungen neben der visuellen Analyse auch gezielt optimiert werden kann. Das Vektorskop zeigt dabei nicht nur die Stereobalance und die Phasenbeziehungen, sondern insbesondere auch die Breite des Stereobildes. Im Verlauf der Arbeit wurde es zudem als wesentliches Referenzwerkzeug eingesetzt: Durch den direkten Vergleich mit professionell produzierten Tracks lässt sich ein Zielbild definieren, an dem sich die eigene Mischung und das Mastering orientieren kann.

Die visuelle Rückmeldung des Vektorskops unterstützt den Lernprozess im Mixing und Mastering erheblich. Es bietet Hinweise darauf, ob bestimmte Signalelemente im Verhältnis zu anderen zu laut, zu unkomprimiert oder unzureichend verteilt sind. Vor allem wird ersichtlich, ob Signalunterschiede im linken oder rechten Kanal vorhanden sind – was, falls das nicht so ist, zu einem begrenzten Stereobild führen kann – oder ob ein Track möglicherweise schon übermäßig breit (Phasenprobleme) dargestellt ist. Gerade beim reinen Hören können diese Aspekte manchmal schwer einzuschätzen sein. Das Vektorskop liefert hier eine objektive visuelle Orientierungshilfe, die zu fundierteren Entscheidungen beiträgt.

Der Vergleich im vorherigen Abschnitt 3.3.2 und 3.3.3 zeigt, dass eine ausgewogene Klangästhetik – wie sie bei Songs von Künstlern wie Illenium vorhanden ist – nicht ausschließlich durch Mixing und Mastering erreicht werden kann. Vielmehr ist sie eng mit dem Genre sowie der damit verbundenen, typischen Instrumentenwahl und dem Arrangement verknüpft. Ohne den Einsatz extremer Einstellungen, die unter Umständen gar nicht zu einem spezifischen Track

passen, lässt sich häufig eine ähnlich ausgefüllte Darstellung nur schwer erzwingen. Besonders in den EDM-Subgenres Melodic Dubstep und Future Bass wird im Drop häufig das Vektorskop nahezu vollständig ausgefüllt. Einen maßgeblichen Beitrag zur Breitenwirkung leisten dabei breite, unkorrelierte Pad-Sounds. Werden diese zusätzlich komprimiert, gesättigt und prominent in den Vordergrund gemischt, führt dies zu einer noch dichteren und breiteren Stereoabbildung, was sich in einem vollständig ausgefüllten Vektorskop widerspiegelt.

Jedoch stellt sich die Frage, ob ein möglichst breites Klangbild grundsätzlich besser klingt. Diese lässt sich nicht pauschal beantworten und ist stark vom Genre und der jeweils beabsichtigten Klangästhetik abhängig. In elektronischer Musik – insbesondere in modernen Subgenres (s. o.) wird ein breites Stereoabbild oft als beeindruckender und raumgreifender wahrgenommen. In anderen Genres, etwa im klassischen Rock oder bei akustischer Musik, kann ein zu breites oder künstlich aufgefächertes Klangbild dagegen als unnatürlich empfunden werden. Trotzdem ist die Bedeutung von Stereobreite in der Musikproduktion heute größer denn je: Da viele Konsumenten über Kopfhörer oder In-Ear-Buds (z. B. AirPods) Musik hören, wird ein differenziertes und räumlich interessantes Stereobild stärker wahrgenommen und auch erwartet. Mono-orientierte Mischungen wirken im direkten Vergleich oft flach oder weniger präsent.

Nichtsdestotrotz darf die Breite eines Mixes keinesfalls als alleiniges Qualitätsmerkmal verstanden werden. Ein Blick auf die Gewinner der Grammy Awards in der Kategorie Best Engineered Album – Dance/Electronic zeigt, dass auch Titel mit weniger breitem Stereobild ausgezeichnet werden [vgl. Grammy.com]. Abb. 58 illustriert bspw. die Vektorskop-Darstellung des Tracks „360“ der Künstlerin *Charlie xcx* vom Album *Brat*, das diese Auszeichnung 2025 erhalten hat [vgl. Audio-Anhang A8]. Ebenso ist daneben in Abb. 59 der Song „Delilah (pull me out of this)“ von *Fred again..* dargestellt, dessen Album *Actual Life 3 (January 1 - September 9 2022)* im Vorjahr prämiert wurde [vgl. Audio-Anhang A9].



Abb. 58: *Charlie xcx - 360*

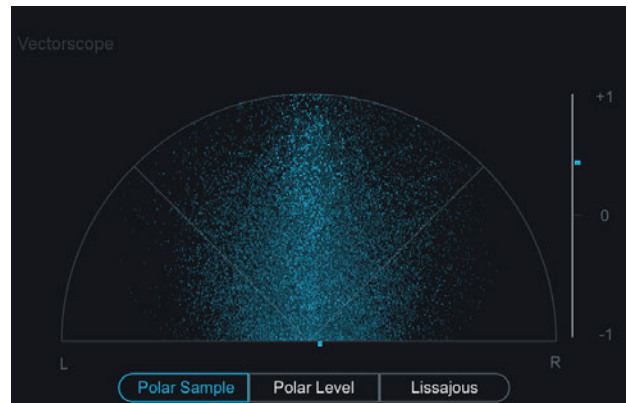


Abb. 59: *Fred again.. - Delilah (pull me out of this)*

Für die Darstellung wurden repräsentative Abschnitte mit der produktionstechnisch komplexesten Passage ausgewählt [vgl. A8, 0:30-0:50 u. A9, 3:14-3:30]. Beide Beispiele füllen das Vektorskop hier nicht vollständig breit aus. Daraus lässt sich schließen, dass die Stereobreite eines Mixes zwar ein gestalterisches Element mit erheblicher Wirkung ist, aber nicht allein über die Qualität oder den Erfolg einer Musikproduktion entscheidet.

Literaturverzeichnis

Ableton Reference Manual

26. Live Audio Effect Reference, 26.34 Saturator;
18 Mixing, 18.1 The Live Mixer

Ampel, F. J./Uzzle, T. (1993):

The History of Audio and Sound Measurement

Ashton, A. (2003):

Harmonograph: a visual guide to the mathematics of music. Walker Publishing

Bitzer, J (2007):

Spatial Distribution Meter: A new method to display spatial impression over time

Cundy, H./Rollett, A. (1961):

Mathematical models 2nd Edition, Oxford

Dickreiter, M./Distel, V./Hong, W./Wöhr, M. (Hrsg.) (8. Auflage, 2014):

Handbuch der Tonstudioteknik

Email Verkehr mit iZotope Product Support

Everest, F. A./Pohlmann, K. C. (2014):

Master Handbook of Acoustics

Friesecke, A. (2014):

Die Audio-Enzyklopädie (Ein Nachschlagewerk für Tontechniker) 2. Auflage

Görne, T. (2011):

Tontechnik

iZotope Webseite

Mastering with Ozone (2015)

Katz, B. (2002):

Mastering Audio the art and the science

MM. Chevreul., Dumas, Pelouze, Boussingault, Regnault, De Senarmont, (1857):

Annales de chimie et de physique

Otala, M. (1977):

Non-linear distortion in audio amplifiers

Percival, W. S. (1962):

Correlation meter for checking the poling of stereo signals

Plaßmann, W. (2016):

Handbuch der Elektrotechnik

Sardo, Q. G./Mangano, A. (2014):

Stereo aligned saturation

Schüffler, K (2022):

Die Tonleiter und ihre Mathematik, Mathematische Theorie musikalischer Intervalle und historischer Skalen 3. Auflage

Sierra, C. A. (2023):

„Recurrence in Lissajous Curves and the Visual Representation of Tuning Systems“

Weinzierl, S. (2008):

Handbuch der Audiotechnik

Wendl, M./Lee, H. (2014):

The Effect of Dynamic Range Compression on Loudness and Quality Perception in Relation to Crest Factor

Ziemer, T. (2023):

Goniometers are a Powerful Acoustic Feature for Music Information Retrieval Tasks

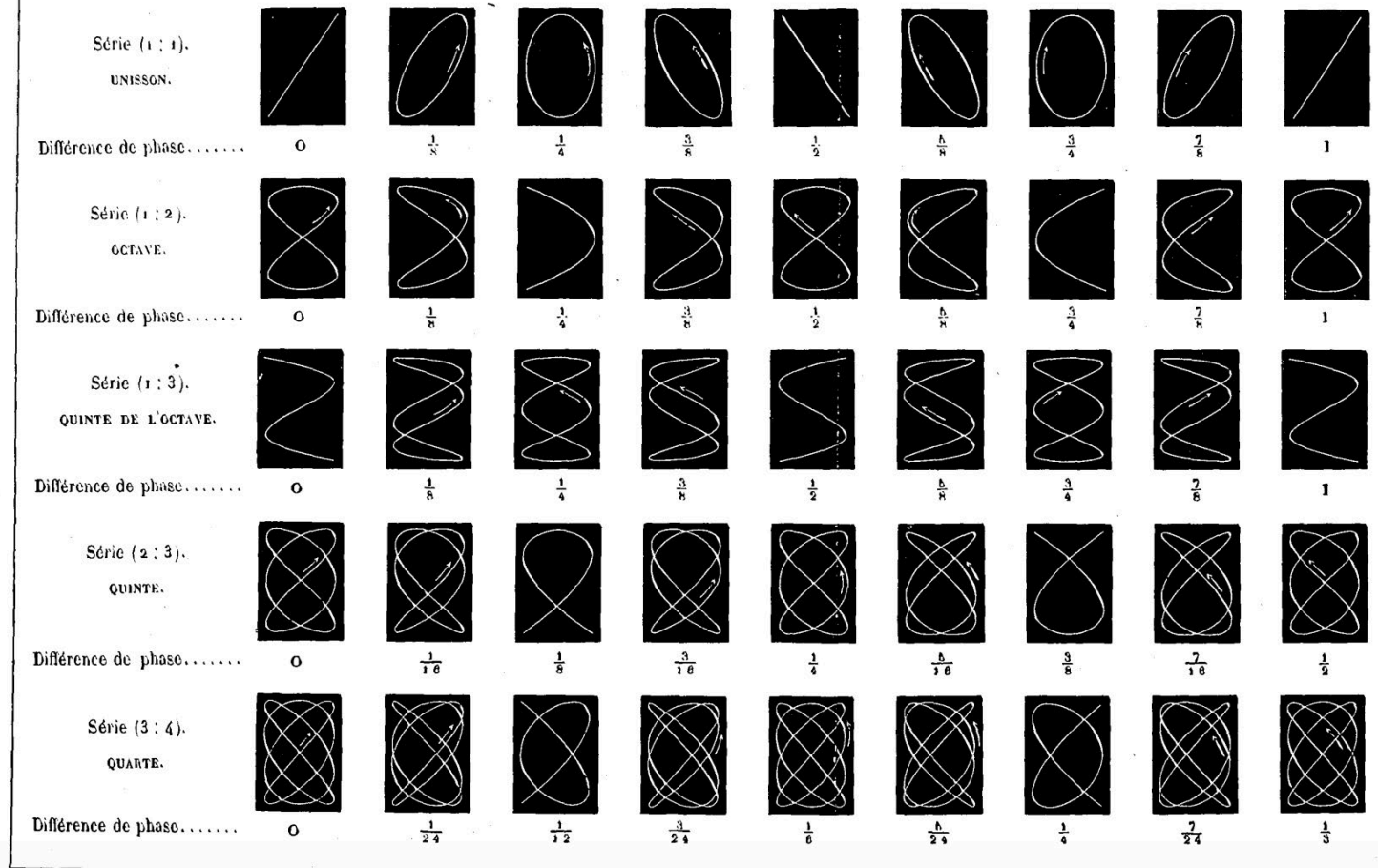
Lissajous-Figuren für verschiedene Frequenzverhältnisse und Phasendifferenzen

Annales de Chimie et de Physique, 3^e Série, Tome LI. (Octobre 1857.)

Pl. II.

Etude optique des mouvements vibratoires; par M. Lissajous.

Courbes obtenues par la composition optique de deux mouvements vibratoires de directions rectangulaires. (Fig. 11.)



Quelle: MM. Chevreul., Dumas, Pelouze, Boussingault, Regnault, De Senarmont (1857), S. 515

Audioverzeichnis

A1: Halsey - Without Me (ILLENIUUM Remix)

Datei: A1_Halsey - Without Me (ILLENIUUM Remix).m4a

A2: Airia - Forever (feat. 3Pm)

Datei: A2_Airia - Forever (feat. 3Pm).m4a

A3: Eigenproduktion Mix

Datei: A3_Eigenproduktion Mix.wav

A4: Eigenproduktion Master

Datei: A4_Eigenproduktion Master.wav

A5: Brian CeeFH - Never Let You Go (Eigener Mix)

Datei: A5_Never Let You Go (Mix).wav

A6: Brian CeeFH - Never Let You Go (Eigener Master)

Datei: A6_Never Let You Go (Master).wav

A7: Brian CeeFH - Never Let You Go

Datei: A7_Brian CeeFH - Never Let You Go.m4a

A8: Charli xcx - 360

Datei: A8_Charli xcx - 360.m4a

A9: fred again.. - Delilah (pull me out of this)

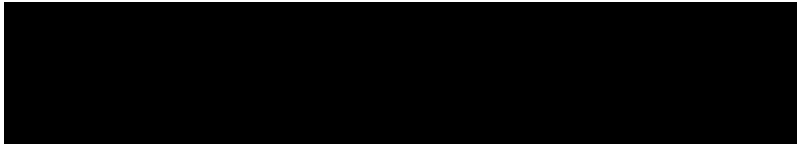
Datei: A9_fred again.. - Delilah (pull me out of this).m4a

Eigenständigkeitserklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorstehende Bachelorthesis mit dem Titel

*Optimierung der räumlichen Signalverteilung durch visuelle Feedback-Methoden:
Eine Untersuchung von Vektorskop-gestützten Mixing-Prozessen in der Musikproduktion*

- bzw. im Falle einer Gruppenarbeit die entsprechend gekennzeichneten Teile der Arbeit - selbstständig ohne fremde Hilfe gefertigt und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quelle kenntlich gemacht. Diese Arbeit hat in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner Prüfungsbehörde vorgelegen.



Ort, Datum, Unterschrift