

## **Vom Phonograph zum Stream: Geschichte und Technik der Audioaufzeichnung und Audiodigitalisierung**



Gerd Weichhaus

**Vom Phonograph zum Stream:  
Geschichte und Technik der  
Audioaufzeichnung und  
Audiodigitalisierung**

# Impressum

© 2023 Gerd Weichhaus

Coverbild: Gerd Weichhaus

Druck und Distribution im Auftrag des Autors:

tredition GmbH, Halenreihe 40-44, 22359 Hamburg, Deutschland

ISBN:

Paperback      978-3-347-96942-1

E-Book          978-3-347-96943-8

Das Werk, einschließlich seiner Teile, ist urheberrechtlich geschützt. Für die Inhalte ist der Autor verantwortlich. Jede Verwertung ist ohne seine Zustimmung unzulässig. Die Publikation und Verbreitung erfolgen im Auftrag des Autors, zu erreichen unter: tredition GmbH, Abteilung "Impressumservice", Halenreihe 40-44, 22359 Hamburg, Deutschland.

## **Vorwort**

Einige findige Menschen suchten schon immer Möglichkeiten, um zu speichern, was man sehen, riechen oder hören kann. Die ersten Bilder entstanden schon zu Zeiten der Höhlenmenschen, und selbst die ersten Düfte wurden schon lange Zeit vor der Moderne in Form von Parfüms festgehalten. Auch die Aufzeichnung von Musik oder Sprache war schon ein Traum der Menschheit, noch lange bevor die erste Audioaufzeichnung stattfand. Diese erfolgte anfangs durch einfache mechanische Hilfsmittel wie dem Phonographen oder auf Schallplatten.

Dann hielt die Elektronik Einzug in die Audioaufzeichnung. Mithilfe von elektronischen Verstärkern entstanden die ersten Apparaturen, mit denen Musik und Sprache mit einer für damalige Verhältnisse doch recht hohen Qualität aufgenommen und mithilfe von Lautsprechern wiedergegeben werden konnten. Dies geschah nicht zuletzt auch dank der fortschrittlichen Technik der hochwertigen Schallplatten und der Tonbandtechnik.

Alle diese Methoden und analogen Aufzeichnungsverfahren hatten allerdings einen gravierenden Nachteil: die Verschlechterung der Tonqualität, die entweder schleichend stattfand oder sogar abrupt, so etwa beim Kopieren der Speichermedien wie der vor einigen Jahren noch gebräuchlichen Magnetbänder. Hier bietet die Digitaltechnik deutliche Vorteile. Die Audioaufzeichnungen können beliebig vervielfältigt werden, ohne dass Qualitätsverluste befürchtet werden müssen. Allerdings bietet die Digitaltechnik bzw. die digitale Audiotechnik noch viele andere Vorteile.

Bevor auf diese eingegangen werden soll, möchte Sie dieses Buch mit der Geschichte und den Grundlagen der analogen und digitalen Audioaufzeichnung vertraut machen. Es geht darum, wie Schallwellen zunächst in elektronische Signale umgewandelt und anschließend

entweder analog oder schließlich in Form digitaler Daten gespeichert werden. Außerdem geht es um die verschiedenen Audioformate und die Unterschiede zwischen diesen. Weiterhin lernen Sie verschiedene Begriffe und deren Bedeutung kennen wie etwa Quantifizierung, Binärdaten und viele weitere.

Schließlich geht es noch um die schier unendlichen Möglichkeiten, welche die Digitaltechnik auf dem Gebiet der Audioaufzeichnung bietet und welche Geschichte dahinter steckt. Sie lernen, wie Sie Bänder, Kassetten oder Schallplatten auf einfache Weise digitalisieren, bearbeiten und speichern können. Das ist oft sogar mit bereits vorhandener Technik möglich oder mit sehr preisgünstigen Zusatzgeräten. Teures Profiequipment wird meistens für die Digitalisierung nicht gebraucht, zumindest nicht bei Ansprüchen für den Hausgebrauch. Die Digital- und Computertechnik bietet heute fast unendliche Möglichkeiten.

### **Ein paar notwendige Hinweise:**

Das vorliegende Buch wurde mit großer Sorgfalt geschrieben, die darin enthaltenen Informationen wurden nach bestem Wissen und Gewissen erarbeitet und, soweit möglich, überprüft. Dennoch übernehmen der Autor und der Verlag für die Richtigkeit sämtlicher Angaben oder Hinweise keine Haftung, ebenso wenig für eventuelle Druckfehler.

Dieses Buch ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte vorbehalten. So ist die Verwendung von Texten und Abbildungen sowie Auszügen davon nur mit einer schriftlichen Genehmigung des Urhebers gestattet. Die nicht erlaubte Verwendung von Texten oder Abbildungen sowie Auszügen davon ist ohne diese Zustimmung urheberrechtswidrig und somit strafbar. Insbesondere gilt dies für die Vervielfältigung oder Verwendung in elektronischen Systemen.





# *Inhaltsverzeichnis*

Einleitung .....	9
Kapitel 1: Vor den ersten Aufzeichnungen und die Anfänge der Audiotechnik .....	11
Fantastische Geschichten zur Schallaufzeichnung .....	11
Die ersten wissenschaftlichen Versuche .....	13
Wie aus Erinnerungen schließlich Klangaufzeichnungen wurden..	14
Die ersten Gehversuche in der Klangaufzeichnung.....	15
Die erste Aufnahme und Wiedergabe von Klängen .....	17
Die Eigenschaften der ersten Tonaufnahmen.....	18
Verbesserungen am Phonographen von Edison .....	19
Das Graphophon von Bell und Tainter .....	19
Schallplatte statt Walze.....	21
Vorteile und Durchbruch des Grammophons .....	22
Klänge und Musik aufnehmen und wiedergeben mit der magnetischen Tonaufzeichnung.....	23
Die Magnetbandtechnik.....	24
Rein analog arbeitende Klangaufzeichnungsverfahren.....	26
Kapitel 2: Audiosignale aufzeichnen analog und digital .....	27
Kopierverluste bzw. Generationsverluste .....	27
Die Bearbeitungsmöglichkeiten digitaler Audiodateien .....	28
Kostengünstiges Equipment nutzbar .....	30

Effekte und Klangverbesserungen; die Möglichkeiten .....	32
Sehr platzsparend gegenüber der Analogtechnik .....	33
Keine anfällige Mechanik mehr nötig .....	33
Sehr geringe Kosten für die Medien .....	34
Kostenlose Software und herkömmliche PC-Hardware nutzen .....	35
<b>Kapitel 3: Die Anfänge und wichtige Grundlagen der Audiodigitalisierung .....</b>	<b>37</b>
Die Compact Disc als Durchbruch der Digitaltechnik .....	38
Wie die Audiosignale digitalisiert werden .....	39
Von analog nach digital .....	40
Die Abtastung von Audiosignalen .....	41
Abtastrate und Wortbreite (auch Samplingrate und Bittiefe) .....	42
Warum solch hohe Abtastraten verwendet werden .....	47
Quantisierung und Quantisierungsfehler .....	49
<b>Kapitel 4: Umwandlung von digital nach analog .....</b>	<b>52</b>
Die Rückwandlung digitaler Werte in analoge Signale .....	53
Die Fehlerkorrektur bei der digital-analogen Wandlung .....	55
<b>Kapitel 5: Die Audiodigitalisierung in der Praxis .....</b>	<b>58</b>
Standardhardware oder spezielle Ausrüstung? .....	58
Das virtuelle Audiostudio .....	60
Computer und Zusatzgeräte .....	61
Externe Audiogeräte (Audiointerfaces) verwenden .....	64
Die Kabelverbindung zum Computer oder Audiointerface .....	66

Die Anschlussbelegungen einiger gängiger Audiosteckverbindungen.....	67
Anschluss Kassetten- oder Tonbandgerät an den Computer.....	71
Anschluss eines Plattenspielers an den Computer .....	71
Kapitel 6: Die Audiodigitalisierung anhand von Beispielen .....	75
Digitalisierung von Kassetten mit dem Computer .....	76
Die Digitalisierung von Tonbandaufnahmen.....	79
Digitalisierung von Schallplatten mit dem Computer .....	81
Digitalisierung mit USB-Aufnahmegeräten .....	82
Digitalisierung mit digitalen Aufnahmegeräten .....	84
Kapitel 7: Die verschiedenen digitalen Audioformate .....	86
Unkomprimierte Datenformate in der digitalen Audiotechnik.....	87
WAV-Dateiformat.....	87
PCM-Dateiformat .....	88
AIFF-Dateiformat .....	89
Komprimierte verlustfreie Audioformate .....	89
FLAC, Free Lossless Audio Codec.....	89
WMA Lossless (Windows Media Audio Lossless).....	90
ALAC, Apple Lossless Audio Codec .....	90
Komprimierte verlustbehaftete Audioformate .....	90
MPEG-1 Audio Layer 3, kurz MP3.....	91
AAC, Advanced Audio Coding.....	91
Ogg Vorbis .....	92
WMA, Windows Media Audio .....	92

Weitere Audioformate .....	92
Weitere Audioformate mit verlustbehafteter Datenkompression	93
Bitrate, Codec und Meta-Daten in den Audioformaten .....	95
Der Codec und seine Bedeutung .....	96
Die Metadaten in den Musikstücken.....	96
Kapitel 8: Was sind die Gründe für die Audiokompression? .....	98
Audiosignale unterschiedlicher Art digitalisieren.....	99
Die Audiokomprimierung und das Gehör.....	100
Datenreduktion bei Stereosignalen.....	101
Audiokompression, Abtastrate und Bitrate.....	103
Zum Abschluss .....	104

## *Einleitung*

Die Aufzeichnung von Musik oder Sprache ist heute allgegenwärtig. Jedes Smartphone bietet die Möglichkeit, Geräusche, die eigene Sprache aufzuzeichnen oder Musikaufnahmen anzufertigen und immer dabei zu haben. Dabei ist die Geschichte der Audioaufzeichnung noch relativ jung. Vor noch nicht einmal 150 Jahren waren alle Geräusche, egal ob Sprache in Form von Vorträgen oder Theaterstücken, Gesang oder Musikdarbietungen, einmalige Ereignisse, die zumindest in dieser Form kein zweites Mal zu hören sein würden. Auch Musikkonzerte waren einmalige Erlebnisse, deren Genuss nur den Anwesenden vorbehalten war. Ein Konzert war danach vorbei und unwiederbringlich verloren, mal abgesehen von der Erinnerung der Konzertbesucher an das Konzert.

Das änderte sich erst mit der Möglichkeit, jegliche Art von Klängen aufzuzeichnen und somit für die Nachwelt zu erhalten. Tatsächlich war die Möglichkeit, Sprache und Musik aufzuzeichnen und bei Bedarf jederzeit wiedergeben zu können, ein großer Gewinn für die Menschheit. Doch wie kam es eigentlich dazu? Wie sahen die ersten Anfänge aus und wem gelang es als Erstes, Schallwellen aufzuzeichnen und später sogar jederzeit wiederzugeben? Wie ging die Geschichte weiter und was entwickelte sich aus diesen ersten Anfängen? Es war tatsächlich ein sehr weiter Weg, die Aufzeichnung von Klängen soweit zu bringen, wie man dies heute kennt.

Wir leben heute in einer Zeit, in der praktisch überall irgendwo eine Wiedergabe von Tönen auf elektronischem Wege (und digital) erfolgt, sei es nun beim Fernsehen, im Radio oder auf tragbaren Geräten wie einem Smartphone oder dem MP3-Player. Die ersten

Geräte waren ganz im Gegensatz zu denen von heute klobig, oft auch umständlich zu bedienen und hatten eine aus heutiger Sicht gesehen doch oft bescheidene Klangqualität. Dennoch waren sie wichtige Apparate, die in der damaligen Zeit Meilensteine darstellten auf dem Weg zur modernen Klangaufzeichnung bzw. Audioaufzeichnung. Außerdem ermöglichten auch die heute oft primitiv anmutenden Geräte doch immerhin die Aufzeichnung von geschichtlich wertvollen Zeitdokumenten. Interessant wurde die Möglichkeit der Aufzeichnung vor allem durch die Erfindung elektronischer Verstärker und die spätere Digitalisierung der Aufzeichnungstechnik.

Dieses Buch soll Sie auf dem Weg begleiten von den ersten Anfängen bis zu den modernen Möglichkeiten der Klangaufzeichnung. Es beschreibt damit den langen Weg und die Erfüllung eines Bedürfnisses der Menschen, Schall in jeglicher Form aufzuzeichnen, um ihn schließlich später jederzeit wieder hören zu können. Sie lernen die wichtigsten Meilensteine auf diesem Wege kennen wie den Phonograph und dessen Vorläufer sowie Nachfolger, darunter die Schallplatte oder die Möglichkeit der magnetischen Speicherung von Klängen auf Draht und auf Tonband. Auch spätere digitale Speichermedien werden Ihnen vorgestellt, darunter die Compact Disc oder die Möglichkeit der Audioaufzeichnung auf digitalen Speicherchips in Form von MP3-Dateien oder vielen anderen Audioformaten.

# *Kapitel 1: Vor den ersten Aufzeichnungen und die Anfänge der Audiotechnik*

Lange Zeit, bevor es tatsächlich die ersten Aufzeichnungen von Sprache oder Musik gab, faszinierte die Möglichkeit der Aufnahme und Wiedergabe von Klängen die Menschen. Vor allem die menschliche Sprache war bereits seit vielen Jahrhunderten Gegenstand der Forschungen und Experimente, besonders die Tatsache, diese aufzunehmen und für eine beliebig lange Zeit konservieren zu können. Schließlich waren in der Vergangenheit alle tönenden Ereignisse, egal ob Geräusche, Gesang, Sprache oder Musik, nur im Augenblick des Entstehens zu hören und danach für immer verloren. Es gab einfach keine Möglichkeit, solche Schallereignisse weiterzugeben, sie von A nach B zu transportieren oder für zukünftige Generationen zu speichern.

## *Fantastische Geschichten zur Schallaufzeichnung*

So träumten die Menschen schon in einer Zeit um etwa 1000 v. Chr. davon, eine Nachricht in einer Dose oder auf einer Rolle zu speichern, um diese an einem anderen Ort wieder hörbar zu machen. Im ersten Jahrtausend nach Chr. gab es erste Berichte von einer sprechenden Figur, die nach einer Überlieferung von Papst Sylvester II. gebaut worden sein soll. Später gab es Überlieferungen zufolge verschiedene sprechende Köpfe oder Röhren, in denen Worte eingefangen und aufbewahrt werden konnten, ehe sie nach dem Öffnen des Deckels wieder zu hören waren. Es gab auch geradezu fantastisch anmutende Geschichten zum Thema der Klangaufzeichnung, nach denen Töne quasi eingefroren wurden und durch Wärme wieder hörbar gemacht

werden konnten. Ein Beispiel dafür sind die fantastischen Geschichten von Francois Rabelais (1494 – 1553).

Ebenfalls in diese Kategorie einzuordnen sind die im 18. Jahrhundert herausgegebenen Geschichten von Gottfried August Bürger vom Freiherrn von Münchhausen aus dem Jahr 1786, nach denen gefrorener Schall in einem Posthorn gespeichert wurde und dieser erst beim Erhitzen in der Nähe eines warmen Ofens wieder zu hören war. Lange Zeit, bevor die Menschen auf die Idee kamen, den Ton mithilfe einer Nadel zunächst in einer Walze und später in eine Platte einzuritzen und auf diese Weise zu speichern, wurde von Savinien de Cyrano de Bergerac (1619 – 1655) von zwei Büchern berichtet, die komplizierte Uhrwerke enthielten. Wurde eine Nadel auf eines der darin enthaltenen Kapitel gesetzt, war wie von einer Menschenstimme gesprochen dessen Inhalt zu hören. Diese Erzählung war also gewissermaßen ein interessanter Vorgriff des erst viel später entwickelten und in die Praxis umgesetzten Nadeltonverfahrens.

Die Menschen beschäftigten sich also schon sehr lange Zeit vor der Erfindung der ersten Aufzeichnungsmöglichkeiten mit der menschlichen Sprache und deren Speicherung bzw. von der Aufzeichnungsmöglichkeit von Geräuschen aller Art. Man grübelte sehr lange darüber nach, auf welche Art und Weise der Flüchtigkeit des Schalls und wichtiger derartiger Ereignisse ein Ende gesetzt werden könnte. Anfangs waren es geradezu fantastisch anmutende Geschichten. Erst später ging man dann dazu über, die Aufzeichnungsmöglichkeiten auf eine wissenschaftliche Grundlage zu stellen. Immer mehr dachte man ernsthaft über die Möglichkeit der Speicherung von Sprache und Geräuschen im Allgemeinen nach und suchte nach Möglichkeiten, diesen langwierigen Wunsch der Menschheit umzusetzen.



## *Die ersten wissenschaftlichen Versuche*

Einer der ersten Versuche wissenschaftlicher Natur wurde möglicherweise im Jahr 1787 von Ernst Florens Friedrich Chladni durchgeführt. Dieser bestreute eine Metallplatte mit feinem Sand und versetzte diese Platte mit einem Geigenbogen in Schwingungen. Durch diese Schwingungen bildeten sich im Sand Muster. Diese Muster standen also gewissermaßen für die akustischen Schwingungen, die auf der Metallplatte durch den Geigenbogen erzeugt worden waren. Kurze Zeit später, im Jahr 1791, erschien ein Buch mit dem Titel „Mechanismus der menschlichen Sprache, nebst der Beschreibung seiner sprechenden Maschine“ von Wolfgang von Kempelen, in dem sehr detailliert die Funktionsweise einer mechanischen Vorrichtung beschrieben wurde, mit deren Hilfe Worte und Sätze nachgeahmt werden konnten. 1835 stellte der Freiburger Mathematikprofessor Joseph Faber eine Art sprechender Maschine vor. Diese basierte auf der Konstruktion von Wolfgang von Kempelen und imitierte den menschlichen Vokaltrakt. Zur Herstellung dieser Imitation wurden von ihm über 100 Schädel von Leichen seziert, damit sich der Erfinder des Sprechapparates ein Bild von der Funktion des menschlichen Stimmtraktes machen konnte, ehe einige Jahre später der erste Prototyp des als „Euphonia“ bezeichneten Apparates entstand. Die Maschine war tatsächlich in der Lage, alle Konsonanten und Vokale der deutschen Sprache von sich zu geben. Allerdings handelte es sich hierbei um kein wirkliches Gerät zur Aufzeichnung von Schallwellen, sondern lediglich um einen Apparat zur Nachahmung der menschlichen Sprache.

Später gab es noch einige Versuche zur Aufzeichnung von Schwingungen (beispielsweise der einer Stimmgabel) auf mit Ruß versehenem Papier, so im Jahre 1846 durch den Franzosen Jean Marie Constant Duhamel, der dazu das Papier auf einen Zylinder

wickelte und dem es dadurch gelang, die Schallwellen quasi aufzuzeichnen. Ähnliches geschah auch mit dem sogenannten Phonautograph erst im Jahr 1857. Ehe es die ersten funktionierenden Apparate zur Aufzeichnung und Wiedergabe von Schallwellen gab, hat es also nicht an Versuchen gefehlt, sowohl die menschliche Sprache, Musik als auch Geräusche zu konservieren und somit für die Nachwelt zu speichern. Alle diese Geschichten und die ersten Versuche, von denen bisher die Rede war, bahnten einer Entwicklung den Weg, deren Auswirkungen heute nicht mehr wegzudenken sind. Schließlich ist es heute für uns Normalität geworden, ehemals konservierte (gespeicherte) jederzeit wieder ertönen zu lassen oder auf Wunsch neue Aufzeichnungen in hoher Qualität anzufertigen.

## *Wie aus Erinnerungen schließlich Klangaufzeichnungen wurden*

Heute sind fast überall aus irgendwelchen Lautsprechern Töne zu hören. In sehr vielen Fällen handelt es sich bei diesen Klängen um Aufzeichnungen. Das Radio spielt die neuesten Hits, die beim Radiosender von CD oder einer Festplatte wiedergegeben und über elektromagnetische Wellen übertragen mithilfe eines Radioempfängers zuhause schließlich zu hören sind. Oft ist es mittlerweile auch das Smartphone, das morgens seinen Besitzer mit den Lieblingsliedern oder aufgezeichneten Wecktönen in den Tag starten lässt.

Auch zu vielen anderen Gelegenheiten sind Tonkonserven zu hören, sei es nun von CD, als elektronisch gespeicherte Audiodatei oder rein analog von der Schallplatte oder einer Bandaufzeichnung. Es dürfte wohl kaum ein Tag vergehen, an dem keine konservierten Klänge zu hören sind. Sowohl Musik als auch aufgezeichnete Sprache sind heute allgegenwärtig. Daher ist es nur sehr schwer vorstellbar, dass

vor noch gar nicht so langer Zeit jegliche Art von Klängen nur einmal in der zuvor gehörten Art und Weise vorhanden sein sollten und danach für immer verloren waren. Dies galt in der damaligen Zeit vor etwa 150 Jahren für alle Klänge, sei es nun Sprache, Vorträge oder Musikstücke, dass diese einmalige Ereignisse waren. Das Einzige, was von den zuvor gehörten Klängen übrig blieb, war die Erinnerung an ein schönes Musikstück, an das Konzert oder an eine andere Art von klanglichem Erlebnis.

Das änderte sich erst ab dem späten 19. Jahrhundert, als es der Menschheit erstmalig gelang, Klänge quasi einzufangen und haltbar zu machen. Die ersten Apparate, die diesem Zweck dienten, waren mit den Aufzeichnungsmöglichkeiten in der heutigen Zeit keineswegs vergleichbar. Sie waren häufig, klobig, umständlich zu bedienen und speicherten die klanglichen oder musikalischen Ereignisse nur in einer sehr miserablen Klangqualität, ganz anders, als man dies heute kennt. Besonders die Musikstücke waren nur in einer miserablen Klangqualität aufzuzeichnen.

Dabei träumten die Menschen in der damaligen Zeit davon, ein Musikstück jederzeit in einer perfekten Klangqualität wiedergeben zu können. Doch dieser Traum sollte sich erst einige Zeit später erfüllen. Die ersten Apparate speichert lediglich Geräusche auf einfache und äußerst primitive Art, dementsprechend schlecht war auch die Klangqualität. Dennoch stellen sie wichtige Meilensteine in der Geschichte der Audioaufzeichnung dar.

## *Die ersten Gehversuche in der Klangaufzeichnung*

Von den ersten Anfängen bis zur nahezu perfekten Aufnahme und Wiedergabe von Musikstücken war es tatsächlich ein weiter Weg. Die ersten Anfänge fanden aus rein wissenschaftlichem Interesse statt,

und das bereits im frühen 19. Jahrhundert. Im Jahre 1807 gab es einen ersten Apparat, der für die Aufzeichnung von Schwingungen einer Stimmgabel verwendet werden konnte. Der sogenannte Kymograph war in der Lage, die Vibrationen, die von einer Stimmgabel erzeugt wurden, mithilfe eines einfachen Stiftes auf einer rotierenden Walze aufzuzeichnen. Erfunden wurde das Gerät vom englischen Arzt und Physiker Thomas Young, der seine Erfindung in seiner Schrift „A course of lectures on natural philosophy and mechanical arts“ beschrieb. Tatsächlich handelte es sich bei diesem Apparat allerdings noch um kein Gerät zur Klangaufzeichnung im eigentlichen Sinne. Wie bereits aus den Ausführungen erkennbar, konnten lediglich die Schwingungen einer Stimmgabel sichtbar gemacht und auf einer Walze aufgezeichnet werden.

Ähnlich war es auch mit dem auf dieser Erfindung basierenden Gerät, das ebenfalls der grafischen Aufzeichnung von Schallwellen dienen sollte, den im Jahre 1857 vom französischen Erfinder, Drucker und Buchhändler Édouard-Léon Scott de Martinville erfundenen Phonograph. Dieses Gerät wurde sogar im selben Jahr patentiert. Das etwas seltsam anmutende Gerät verwendete zum Einfangen der Klänge einen großen Trichter, die davon aufgenommenen Schallwellen erzeugten Schwingungen in einer angeschlossenen Membran. Die Aufzeichnung der Schallwellen erfolgte mithilfe einer an dieser Membran angebrachten Schweineborste auf einer rußgeschwärzten Walze. Diese Walze wurde von Hand angetrieben und während der Drehung seitlich bewegt, um eine fortlaufende Aufzeichnung der Schallwellen zu ermöglichen. Auch bei diesem Apparat handelte es sich also lediglich um ein Gerät zur grafischen Aufzeichnung von Klängen. Eine spätere Wiedergabe dieser Klänge, also die Umwandlung der Aufzeichnung in Schallwellen, war auch mit diesem Apparat noch nicht möglich. Vielmehr handelte es sich um einen Apparat, der die grafische Aufzeichnung des sogenannten