

ENHANCED SOUND

Filter der Musikproduktion und des Musikhörens

VON JENS GERRIT PAPENBURG

Hätte sich Karl Willy Wagner mit seiner Begrifflichkeit von 1919 durchgesetzt, wäre diese Ausgabe der »Navigationen« wohl dem Thema »Sieb(en)« gewidmet worden. Der Nachrichtentechniker und spätere Gründungsdirektor des Berliner Heinrich-Hertz-Instituts für Schwingungsforschung hatte bereits 1915 eine »Theorie des Kettenleiters nebst Anwendungen« veröffentlicht. Vier Jahre später publizierte Wagner darauf aufbauend zu »Spulen- und Kondensatorleitungen« und beschrieb mathematisch, diagrammatisch und prosaisch Formen der Frequenzdrosselung, -reinigung und -ausscheidung.¹ Inzwischen werden solche Beschneidungen und Einengungen des Frequenzspektrums als Hoch-, Band- und Tiefpassfilter oder auch als Bandsperre bezeichnet. In den von Wagner zu Beginn des 20. Jahrhunderts thematisierten Leitungen, kamen bestimmte Schaltungen zum Einsatz, so genannte »Siebketten«², welche, wenn man so will, bestimmte Frequenzen »aussiebten«. Deshalb die Rede vom Sieb. Jedoch wurden nicht nur in Deutschland, sondern auch in den USA etwa zeitgleich und unabhängig solche Schaltungen entwickelt.³ So veröffentlichte 1922 der Bell Ingenieur George Ashley Campbell, nachdem er bereits einige Jahre zu dem Thema geforscht hatte, seine

1 Wagner: Theorie des Kettenleiters und Wagner: Spulen- und Kondensatorleitungen. Wagner spricht nicht von filtern, sondern etwa von abdrosseln, reinigen und ausscheiden, vgl. ebd., S. 61, 72, 86. In »Spulen- und Kondensatorleitungen« beschreibt Wagner Bandpassfilter, die die Eigenschaft besitzen, »daß sie nur die Ströme eines scharf begrenzten Frequenzbereiches gut hindurchlassen, alle andern Ströme aber sehr stark dämpfen« (ebd. 91). Zudem findet sich in dem Text eine Beschreibung von Tief- und Hochpassfiltern: »Während die Spulenleitung alle Wechselströme, deren Frequenz unterhalb der Eigenfrequenz eines Leitungsgliedes liegt, gleichmäßig hindurchläßt und die Ströme mit höherer Frequenz abdrosselt, verhält sich die Kondensatorleitung gerade umgekehrt. Man kann auf diesem Wege noch weitergehen und Leitungen ersinnen, die allen Strömen eines vorgeschriebenen endlichen Frequenzbereiches den Durchgang verwehren, während sie die Ströme mit anderer Frequenz hindurchlassen. Endlich lassen sich auch Leitungen angeben, die nur die Ströme innerhalb eines vorgeschriebenen Frequenzbereiches ohne große Dämpfung hindurchlassen« (ebd., S. 61). Einsatz fanden die Kettenleiter in der Hochfrequenztechnik der drahtlosen Telegrafie, um dort »zu verhindern, dass die Oberschwingungen des Senders in die Antenne gelangen« (ebd., S. 72), was zu Empfangsstörungen führen konnte oder in der »Vielfachtelegraphie«, in der auf einer »Welle« parallel auf unterschiedlichen Frequenzen gesendet wurde (ebd., S. 86).

2 Wagner: Spulen- und Kondensatorleitungen, S. 85.

3 Vgl. Buchheim/Sonnemann: Geschichte der Technikwissenschaften, S. 393.

»Physical Theory of the Electric Wave-Filter«. Spätestens damit war der Filterbegriff auch für Frequenz- und Audiotechnologie gesetzt, während in Deutschland sehr ähnliche Schaltungen und Geräte, anfangs eben nicht »filterten« sondern »siebten«.

Nun handelt dieser Beitrag weniger von einer Begriffs-, Ideen- oder Diskursgeschichte des »Filters«. Stattdessen sind Aspekte einer Klang- und Musikgeschichte, welche die Materialitäten und Medientechnologien des technischen Filterns, Drosselns oder Siebens in den Blick nimmt, primärer Gegenstand dieses Artikels. Dabei wird rekonstruiert, wie solche Filter unter den Bedingungen von verstärkt von Telekommunikations- und Unterhaltungsunternehmen bewirtschafteten und generierten »electric sounds« entstanden und entwickelt wurden.⁴ Unter solchen Bedingungen wurde auch der Klang der Musik zunehmend als *elektronisches Signal* und nicht nur als *auditives Ereignis* verstanden und konzipiert, als Signal, welches gefiltert werden konnte.

Trotz dieser Fokussierung auf einer Klang- und Musikgeschichte von Filterung als medientechnische Operation, gerät in diesem Artikel jedoch auch der Begriff des »Filters« nicht aus dem Blick. Ironischerweise lässt sich ein Filterbegriff gerade in Auseinandersetzung mit der hardware-orientierten Medienarchäologie rekonstruieren. In dieser löst sich der Begriff »Filter« immer wieder von der medientechnischen Operation der Filterung und eröffnet einen Spielraum, ein durchaus produktives metaphorisches Terrain. Im Folgenden wird dieser Spielraum sondiert, indem Filter als Begriff im Diskurs der Medienarchäologie rekonstruiert und mit der Operation der Filterung in der Geschichte der Musikproduktion abgeglichen wird (Teil 1). Anschließend hieran werden dann ausgewählte Filter in der Geschichte des durch Technologien mitorganisierten Musikhörens analysiert (Teil 2). Schließlich wird (Teil 3) gezeigt, dass solche Filter, die Hörtechnologien klanglich aktivieren, weniger den Filtern der Musikproduktion, sondern vor allem den Filtern der Musikpostproduktion entsprechen. Ein kurzer und abschließender Teil (Teil 4), gibt dann einen Ausblick auf Filter der Postproduktion in der durch vernetzte digitale Hörtechnologien geprägten Hörkultur der Gegenwart.

Als integrale Bestandteile von Musikproduktion und -hören zielen Filter nicht nur auf eine möglichst störungsfreie Reproduktion des Aufgenommenen oder Abgespielten, bei der mit dem Input auch der Output bekannt ist. Stattdessen bringen Klangfilter in Produktions- und Hörtechnologien auch zunehmend neue Klänge hervor, stimmen Klang auf konkrete Umgebungen, Situationen sowie Umwelten ab und erlauben häufig auch eine (relationale) Klangoptimierung. Der Klang der Musikproduktions- und Hörtechnologien ist dann nicht nur reproduzierter Klang. Vielmehr wird er zum *enhanced sound*. Filtertechnologien, so die These, waren hieran maßgeblich beteiligt und sind also eher aktive Mittler denn

4 Wurtzler: *Electric Sounds*.

passive Zwischenglieder.⁵ Für eine solche klangliche Aktivierung von Filtern werden unterschiedliche Formen ihrer Steuerung entscheidend.

1. FILTER IN MEDIENARCHÄOLOGIE UND MUSIKPRODUKTION

In der Theoriebildung der Medienarchäologie besetzt der Begriff »Filter« eine zentrale Position, von der aus sich in Bezug auf die Filter der Audiotechnik und Musikproduktion produktive Spielräume eröffnen. Entsprechend meint Maren Haffke in ihrer akribischen Analyse der musikbezogenen Schriften von Friedrich Kittler und Wolfgang Scherer eine »umfassende Metaphorik des Flusses und der Filterung«, gar eine »metaphorische Entgrenzung« dieser Begriffe aufgefunden zu haben.⁶ Beiden Begriffen bzw. Metaphern käme eine zentrale Funktion in einer »Programmatik einer Medienwissenschaft als Geschichte der Rauschbewältigung«⁷ zu. Prägend für diese sei ein Verständnis von Filterung als Reduktion, Verknappung, Selektion, Extraktion durch Anwendung eines »Auswahlgitter[s]«⁸ auf eine »ursprüngliche[] Fülle der Klanglichkeit«.⁹ In diesem Sinn werden Klangfluss, vieldimensionales Klanggeschehen oder Rauschen durch »Alphabetisierung« gefiltert:

Die Tastatur, wie die Notenschrift, ist für Kittler wie für Scherer ein Filter, der aus dem Kontinuum des Schallspektrums vereinzelte Werte auswirft, wobei ihre Lückenhaftigkeit Anlass zur Installation von Rezeptionstechniken der quasi-sinnlichen Halluzination ist.¹⁰

Im Gegensatz zu Tastatur und Notenschrift wird die Phonographie jedoch medienarchäologisch nicht als Filter begriffen, da sie kontinuierliche Spuren aller Schallereignisse verzeichnet.¹¹ In diesem Sinn bestimmt auch Bernhard Siegert Filterung als »fundamentale Operation der Kulturtechniken, die die Unterscheidung zwischen Natur und Kultur, oder Barbarei und Zivilisation, prozessieren«, mit dieser Operation werde »ein Zeichen aus dem Rauschen generiert«.¹² Damit ist Filterung medienarchäologisch also als Vorgang definiert, der Zeichen, auch musikalische Zeichen bzw. (diskrete) Elemente der Musik herstellt und die Unter-

5 Vgl. Papenburg: Hörgeräte. Technisierung der Wahrnehmung durch Rock- und Popmusik.

6 Vgl. Haffke: Archäologie der Tastatur. Musikalische Medien nach Friedrich Kittler und Wolfgang Scherer, S. 15, 215.

7 Vgl. ebd., S. 250.

8 Ebd., S. 295.

9 Ebd., S. 214.

10 Ebd., S. 71.

11 Vgl. ebd. S. 282, 288f.

12 Siegert: »Kulturtechnik«, S. 114f.

scheidung von Rauschen und Musik prozessiert. Im Selbstverständnis des medienarchäologischen Diskurses soll Filterung also keine Metapher, sondern eine mediale Operation sein.

Die Medienarchäologie geht offenbar davon aus, dass (weißes) Rauschen virtuell alle Musik der Welt enthalte. Durch konkrete Filterung sollen dann bestimmte Musikformen Gestalt gewinnen können. Filtern wird dann zu einer zentralen medialen Operation erklärt. Die musikästhetischen Implikationen dieser Funktion bestehen nun darin, dass Musikformen identifiziert werden, die einem »Ideal des Rauschens« besonders nahekommen.¹³ Als solche werden von Friedrich Kittler immer wieder prominent Passagen aus Richard Wagners Musikdramen aber auch der Psychedelic Rock aufgerufen. Allerdings – und das sollte hier ergänzt werden – wird medienarchäologisch natürlich nicht behauptet, dass Rockmusik quasi, um eine überstrapazierte Metapher zu bemühen, »ohne Filter« sei, trotz aller Nähe zur ungefilterten Phonographie. Haffke schlägt hingegen in ihrer Kritik der Filtermetapher vor, vor allem Steuerung und Interfaces der Filter zu untersuchen: »Wer im Synthesizersound die Schaltung hören will, hört auch Interfaces. Die für Kittler so zentralen Filter eines Synthesizers sind ebenso spannungsgesteuert wie die Oszillatoren«.¹⁴

Trotz einer Fülle von Verweisen etwa auf »frequenzfiltergesteuerte Klangsynthese«¹⁵ und in Vocoderen verbauten Bandpassfiltern¹⁶ weist der Filterbegriff der Medienarchäologie eine Serie von Unterschieden zum Filter als Gerät und zur Filterung als Operation der Audiotechnik und Musikproduktion auf. Die in Synthesizern verbauten Hoch-, Tief- und Bandpassfilter filtern eher im Ausnahmefall den Output eines Rauschgenerators. Meist filtern sie die durch Oszillatoren erzeugten obertonreichen Sägezahn- und Rechteckschwingungen. Zudem reduzieren und verknappen Filter nicht nur zwangsläufig als passive, sondern erzeugen als aktive auch immer wieder neue Klänge. So war der in der Roland TB-303 Bass Line verbaute Tiefpass-Filter gerade auch wegen seiner modulierbaren Resonanzfrequenz, welche die markante Hervorhebung der Grenzfrequenz erlaubt, für die Entwicklung elektronischer Tanzmusik wichtig. Ein in der Synthesizergeschichte legendär gewordener Filter wie der 1965/66 entwickelte Moog Ladder Filter trägt die Rasterung zwar im Namen und als viersprossige Leiter aus je zwei Transistoren und einem Kondensator auch in sich.¹⁷ Dieser Filter rastert jedoch nicht den Klangfluss, sondern schneidet ihn in der Frequenz scharf ab – mit bis zu 24dB/Oktave in den hohen oder tiefen Frequenzen, je nachdem, ob er nun auf Tief- oder Hochpass eingestellt ist. Resonanzfilter, die nicht nur Klang verknapp-

13 Vgl. Haffke: Archäologie der Tastatur. Musikalische Medien nach Friedrich Kittler und Wolfgang Scherer, S. 7.

14 Vgl. ebd., S. 287.

15 Vgl. Kittler: Grammophon, Film, Typewriter, S. 76.

16 Vgl. ebd., S. 77.

17 Vgl. Pinch/Trocco: Analog Days, S. 65ff.

pen, sondern auch neuen Klang produzieren, gab es schon seit Mitte der 1920er Jahre. 1924 hatte der Musiktechniker Friedrich Trautwein ein Patent für ein »Verfahren zur Erzeugung musikalischer Töne bestimmter Klangfarbe«¹⁸ erhalten, dass einen Resonanzfilter beschrieb, der Ende der Dekade von Trautwein etwa in sein Trautonium eingebaut wurde.

Gesteuert werden Filter in der Audiotechnik über ganz unterschiedliche Interfaces. Neben der manuellen Steuerung wie sie etwa Moog Ladder und TB-303 anbieten und nahelegen, können Filter auch per Fuß bedient werden. So etwa das durch die Rockmusik der 1960er Jahre bekannt gewordene Wah-Wah-Pedal, welches ein in seiner Grenzfrequenz verschiebbarer Bandpassfilter ist. Zur Filter-Steuerung sind unterschiedliche Schalter und Tasten, Regler und auch Pedale im Einsatz, mit denen wiederum neue Praktiken des Musikmachens zusammenspielen. Jedoch ist auch eine automatische Steuerung möglich, etwa im so genannten *envelope filter*. Dieser auch als Auto-Wah bekannte Filter, zu hören in Funk und Soul-Produktionen der 1970er Jahre etwa bei Stevie Wonder oder Funkadelic, ersetzt die Steuerung durch Hand- und Fußbewegungen durch einen automatisierten, einen Zeitverlauf beschreibenden so genannten »envelope«.

Die diversen Formen der Filtersteuerung bringen unterschiedlich lange Zeiträume ins Spiel, in denen Filterungen in der Musik organisiert sein können. Diese umfassen zum Teil nur wenige Sekunden, in denen das Spektrum durch Verschiebung der Grenz- resp. Resonanzfrequenz eines Bandpassfilters dynamisiert wird – wie etwa in Jimi Hendrix' gemeinsam mit Curtis Knight veröffentlichtem *Hush Now* (London 1967)¹⁹ – oder aber auch eine halbe Minute: In Eric Prydz' *Call on Me* (Ministry of Sound 2004) sind etwa die ersten 30 Sekunden der Produktion vor allem dadurch strukturiert, dass in diesen ein Tiefpassfilter langsam geöffnet wird und sich dadurch das Obertonspektrum eines geloopten Sample des Sängers Steve Winwood wirkungsvoll entfalten kann. Filter spielen in der Musik aber nicht nur mit einer Zeit, die in Sekunden gemessen wird, zusammen. Zudem eröffnen sie eine Zeit der Phasen und der Phasenverschiebung bis zu 360°. Diese wird durch sogenannte Phaser bzw. den in diesen eingesetzten Allpassfiltern steuerbar. Die Allpassfilter lassen im Gegensatz zum Hoch- oder Tiefpassfilter zwar alle Frequenzen passieren, ermöglichen aber eine Steuerung der Phasenverschiebung. Klanglich machen sich solche Verschiebungen in Kammfiltereffekten bemerkbar. Diese Filterungen des Phasers sind wiederum auch automatisch durch einen *low frequency oscillator* (LFO) über eine unhörbare Frequenz moduliert bzw. steuerbar. Kammfiltereffekte, die auch Bestandteil von Flanging und Chorus sind, umfassen ebenfalls punktuelle Auslöschung und Verstärkung von Frequenzen durch Interferenz.

In der Klang- und Musikgeschichte finden sich zahlreiche Formen der Filterung *avant la lettre*. Das Wachs in den Ohren Odysseus' verhielt sich wie ein Tief-

18 Vgl. Trautwein: Verfahren zur Erzeugung musikalischer Töne bestimmter Klangfarbe.

19 Vgl. Schneider: »Klanganalyse als Methodik der Populärmusikforschung«.

passfilter, Hermann von Helmholtz' Resonatoren können aus einem komplexen Klang einzelne Obertöne herausfiltern, im Spiel mit einem Dämpfer erzeugen Jazztrompeten und -posaunen verstärkt seit den 1920er Jahren Proto-Wahwah-Klänge und auch das bei Kittler und Scherer sich jeglicher Filterung entziehende Grammophon filterte bereits als rein mechanisches Gerät durch entsprechende Auswahl des Aufnahme- und Wiedergabehorns das Spektrum. Allerdings droht der Begriff des Filters jegliche Konturen zu verlieren, wenn etwa auch unterschiedliches Resonanzverhalten von Instrumentenkörpern diese zu Filtern qualifizieren soll. Die mechanischen Filter *avant la lettre* erlauben allenfalls sehr einfache Formen der Steuerung, wohingegen die elektr(on)ischen Filter gerade durch ihre vielfältigen Steuermöglichkeiten bestechen.

Filter als elektronische Geräte wurden zum integralen Bestandteil von Musik im Gefolge einer Theorie des Filterns in der Elektro- und Nachrichtentechnik, welche die eingangs erwähnten Ingenieure Karl Willy Wagner und George Ashley Campbell entwickelten. Für die in den 1920er Jahren verstärkt aufkommende elektr(on)ische Musik ergab sich daraus die Möglichkeit, dass das Klangspektrum resp. die Klangfarbe nicht nur durch Klangsynthese gestaltet werden konnte (etwa anschließend an Hermann von Helmholtz' Synthetisiermaschine, welche vergleichbar einem additiven Synthesizer aus Sinusschwinungen eine komplexe Schwingung aufbaut), sondern auch durch Filterung. Der Klangpionier Jörg Mager war direkt von Karl Willy Wagner beeinflusst und griff in den 1920er Jahren auf Wagners Filter für seine Entwicklung von elektr(on)ischen Instrumenten zurück.²⁰ Damit wurde Nachrichtentechnik zu Musiktechnik. Auch in Oskar Vierlings 1932 in Berlin vorgestellten »Elektrochord« – ein elektrifizierter Flügel – waren Filter zur Klanggestaltung verbaut, die es etwa erlaubten »Klarinette am Flügel [zu] spielen«.²¹

Einzug in die Tonstudios hielten Filter wohl mit der Elektrifizierung der Klangaufnahme. Das von den US-amerikanischen Ingenieuren J. P. Maxfield und H. C. Harrison in der ersten Hälfte der 1920er Jahre hierfür entwickelte System²² wandelte über ein Mikrophon Klang in Strom. Dieser wurde dann wieder in mechanische Vibrationen gewandelt, die schließlich feine Nadelkurven in Schallplattenrohlingsen hinterlassen sollten. Die Nadelkurven waren dann wiederum Ausgangspunkt für eine Wandlung in mechanische Vibrationen einer Grammophon-nadel, die schließlich in Strom und endlich in Schwingungen einer Lautsprecher-membran gewandelt wurden. Zudem ermöglichte die Elektrifizierung der Klangaufnahme die Integration von elektrischen und elektronischen Klangfiltern. Diese erweiterten die Filtermöglichkeiten, welche mechanische Sys-

20 Vgl. Patteson: *Instruments for New Music. Sound, Technology, and Modernism*, S. 73f., 121f.

21 Donhauser: *Elektrische Klangmaschinen. Die Pionierzeit in Deutschland und Österreich*, S. 105.

22 Vgl. Maxfield/Harrison: »Methods of High Quality Recording«.

teme etwa über die Auswahl unterschiedlicher Aufnahmehörner angeboten hatten, massiv. Mit dem System zur Elektrifizierung der Klangaufnahme, das umgehend von großen US-amerikanischen Schallplattenfirmen wie Columbia und Victor lizenziert wurde,²³ kamen Verstärker und Mikrophone und wenig später auch Mischpulte in die Studios. (Grammophon-)Trichter wurden durch Lautsprecher ersetzt.

Die Komponenten des von Maxfield und Harrison entwickelten Systems waren selbst Filter: So ist Mikrophenen ja etwa nicht nur eine bestimmte Raumcharakteristik eigen, sondern auch ein bestimmtes Frequenzverhalten. Mit der Elektrifizierung wurden Filter allerdings zunehmend steuerbar: vor allem in Form von Band-, Hoch- und Tiefpassfiltern oder auch von weiteren Filtertypen wie etwa Bandsperren oder so genannte »Kuhschwanzfilter«. Bereits in den 1930er Jahren wurden Filter in Mischpulte eingebaut und auch in den Kanalzügen aktueller Mischpulte sind Filter, meist so genannte »parametrischer Equalizer« eingebaut, die bereits um 1970 entwickelt wurden und eine glockenförmige Veränderung des Spektrums ermöglichen, in dem die Parameter Frequenz, Verstärkung/Absenkung und Bandbreite unabhängig voneinander eingestellt werden können.²⁴

Equalizer, also eine Kombination aus mehreren Filtern, kamen bereits zunehmend in den 1950er Jahren in die Tonstudios und wurden dort Bestandteile der Musikproduktion. Ihre manuelle Steuerung erfolgte über Schiebe- und Drehregler sowie Schalter.²⁵ Susan Schmidt Horning nennt den Pultec Equalizer aus den frühen 1950er Jahren als den »first quality outboard equalizer used in recording«.²⁶ Der 1951 auf den Markt gebrachte Pultec EQP-1 bietet eine Regelung der tiefen und hohen Frequenzen an, mit jeweils separaten Drehreglern zur Anhebung und Absenkung. Welche Frequenzbereiche das genau sind, ist über zwei Schalter in Schritten, also nicht kontinuierlich, regulierbar.

Dass die Grenzfrequenz von Filtern nicht kontinuierlich verschiebbar, sondern in diskreten Schritten schaltbar ist, fand sich auch noch in den 1970er Jahren. Der in entsprechenden Fankreisen legendär gewordene »Big Knob Filter« des jamaikanischen Dubproduzenten King Tubby (Osbourne Ruddock) ist ein Hochpassfilter dessen Grenzfrequenz von 70 Hz bis 7500 Hz in neun Schritten geschaltet werden kann. Der Frequenzbereich ist dabei ein gerasterter. Die diskreten Schritte, die beim Hin-und-Her-Schalten entstanden, waren es dann, die für den

23 Vgl. Milner: Perfecting Sound Forever. The Story of Recorded Music, S. 59.

24 Vgl. Smyrek: Geschichte des Tonmischpults, S. 79 und 174-180.

25 Der Mahaik W49 Hörspiel Verzerrer, ein Bandpassfilter von 1951 (Institut für Rundfunktechnik: Verzerrer für Hörspielzwecke) oder der Langevin EQ-251 A (Smyrek: Geschichte des Tonmischpults, S. 177) setzten auf Schieberegler, die zwischen unterschiedlichen Positionen hin- und hergeschaltet werden konnten.

26 Schmidt Horning: Chasing Sound. The Culture and Technology of Recording Studios in America 1877-1977, S. 114.

Sound der Dub-Mixe von King Tubby charakteristisch werden sollten.²⁷ Die Spielbarkeit des Filters ist hier also auch durch die Rasterung des Frequenzbereichs bedingt.

In der Musikproduktion haben sich in Bezug auf Filtertechnologien und ihre Interfaces unterschiedliche »equalization techniques«, herausgebildet.²⁸ Bei der »mirrored equalization«, zu hören etwa auf dem Strokes-Album *Is this it?* (RCA 2001), ist eine E-Gitarre auf dem linken Kanal invers zu einer zweiten E-Gitarre auf dem rechten Kanal gefiltert.²⁹ In der Audiotechnik bezieht sich der Begriff des Filterns primär auf das Spektrum. In der Musikproduktion ist Filtern eine Form der Ver- bzw. Bearbeitung eines Audiosignals. Dabei gibt es auch Formen der Signalmodulation, die nicht als Filter bezeichnet werden – etwa die Bearbeitung klanglicher Dynamik durch Kompressoren, Gates und Limiter oder auch Verzerter, Feedback sowie Hall- und Echogeräte. In der Audioproduktion werden also nicht alle Modulationsmöglichkeiten und Effekte als Filter bezeichnet. Jedoch sind sie mit Filtern kombinierbar, wie etwa der recht neue Multi-Band-Kompressor, der ein durch Filterung in unterschiedliche Bänder zerteiltes Signal in Bezug auf die einzelnen Bänder unterschiedlich komprimieren kann.

In der Medienarchäologie soll der Begriff der Filterung also eine mediale Operation kennzeichnen, welche auch die Unterscheidung von Musik und Rauschen prozessiert. In Bezug auf die medialen Operationen der Filterung in Audiotechnologie und Musikproduktion und ihre Steuer- und Spielbarkeit lässt sich jedoch ein metaphorisches Potential dieses medienarchäologischen Begriffs identifizieren. In der Musikproduktion sieben Filter weniger aus dem Rauschen Musik. Stattdessen bringen sie auch immer wieder neue Klänge hervor. Filter tragen dazu bei, dass Studios nicht nur ein Ort der Musikaufnahme, sondern der Musikproduktion sind.

2. FILTER IN HÖRTECHNOLOGIEN: LAUTSPRECHERANLAGEN UND JUKEBOXES

Technologien durch und mit denen Musik gehört wird, filtern in mehrfacher Hinsicht das Gehörte. Solche Filterungen betreffen neben der Musikauswahl auch immer wieder den Klang der Musik. So integrieren maßgebliche Hörtechnologien der Gegenwart wie Smartphones, Apps und Kopfhörer neben automatisierten Sortier- und Klassifikationssystemen wie sie etwa zur Personalisierung von Playlists im Einsatz sind, auch eine Anzahl von klanglichen Filterungen. Diese zielen auf ein *fine-tuning* des Gehörten, um es für den Einsatz in einer Playlist zu optimieren, adressieren etwa die Minimierung der Störklänge des Mediums (*denoiser*) oder der Umgebungsgeräusche (*noise cancelling*).

27 Williams: Tubby's Dub Style, S. 239-41.

28 Hodgson: Understanding Records. A Field Guide to Recording Practice, S. 91-96.

29 Vgl. ebd. S. 93-95.

Aktive Geräuschunterdrückungssysteme auf der Basis von Anti-Schall, wie sie etwa in Mobiltelefonen oder in *Noise-cancelling*-Kopfhörern verbaut sind, zielen dabei auf »Freistellung« des gehörten Signals von Umgebungsgeräuschen, nicht auf eine »Transparenzierung« des Medium, auf die etwa Rauschunterdrückungssysteme wie Dolby zählen.³⁰ Die »participational possibilities« der Hörenden, von denen Glenn Gould bereits Mitte der 1960er Jahre angesichts der seit den 1940er und 1950er Jahren in Hörtechnologien integrierten »tone controls« und »loudness« Knöpfe träumte,³¹ sind in ihrer Entwicklung eher durch Funktionen der Postproduktion denn Produktion bedingt.

Filter sind also nicht nur in der Musikproduktion und beim Musikmachen im Einsatz. Filter sind auch verstärkt Bestandteil einer Technisierung des Hörens geworden. Spätestens seit dem Aufkommen von Phonograph und Grammophon im letzten Viertel des 19. Jahrhunderts wird Musikhören zunehmend durch Medientechnologien mitorganisiert. Solche Technologien durch und über die Musik gehört wird, sind nur unzureichend verstanden, wenn sie als Klangreproduktions- oder als Wiedergabetechnologien beschrieben werden. Das hängt auch damit zusammen, dass sie durch Filter klanglich aktiviert und steuerbar wurden. Eine solche Aktivierung sei im Folgenden durch drei Schlaglichter auf ausgewählte historische Hörtechnologien beleuchtet:

Auch Hörtechnologien werden bereits im Gefolge der Elektrifizierung der Klangaufnahme Mitte der 1920er Jahre durch Filter aktiviert. Die Bell Labs präsentierten das schon oben erwähnte System zur Elektrifizierung der Klangaufnahme im Rahmen mehrerer größerer halböffentlicher Veranstaltungen, indem sie mit dem System angefertigte Aufnahmen über eine große Lautsprecheranlage verstärkten. Die akustische Abteilung der Laboratorien arbeitete von 1930 bis 1940 mit dem Dirigenten Leopold Stokowski zusammen, um das elektrifizierte Aufnahmesystem zu testen, zu entwickeln und bekannt zu machen.³²

So präsentieren die Bell Labs am 9. und 10. April 1940 in der New Yorker Carnegie Hall nicht reproduzierte Musik, sondern eben »enhanced music« in Form einer »colossal record release party«.³³ Bei dieser Präsentation wurden unter anderem Aufnahmen der Bell Labs mit dem von Leopold Stokowski dirigierten Philadelphia Orchestra einem großen Publikum über Lautsprecher vorgespielt. Hierbei reproduzierte die Lautsprecheranlage nicht einfach den Klang einer Aufführung, sondern sollte diesen auch optimieren. Bells und Stokowskis »enhanced music«, sollte »actually be louder – and in some cases softer – than life« sein.³⁴ Die Technologien, durch die die Aufnahmen in der Carnegie Hall gehört wurden,

30 Vgl. Schröter: »Technologien der Stille«.

31 Vgl. Gould: »Die Zukunftsaussichten der Tonaufzeichnung«, S. 347.

32 Vgl. McGuinn: »Stokowski and the Bell Telephone Laboratories«; Milner: *Perfecting Sound Forever. The Story of Recorded Music*, S.50 – 73.

33 Vgl. Milner: *Perfecting Sound Forever. The Story of Recorded Music*, S. 50.

34 Ebd.

waren hierfür klanglich aktiviert und wurden von Stokowski selbst bedient: »As the conductor listened, he made volume and tonal changes by electric controls; and simultaneously a new stereophonic record was made of the music as thus »enhanced«.³⁵ Hier waren also Filter im Einsatz, durch die eine Hörtechnologie aktiviert und eine Form von »enhanced music« produziert wurde.

Ein weiteres Beispiel für die klangliche Aktivierung von Hörtechnologien ist die Jukebox. Diese gegen ein geringes Entgelt eine Wahl aus einer Selektion von Singleschallplatten offerierende Box boomte in den USA seit dem Ende der Prohibition 1933. Ein Boom, der in den 1950er Jahren in den Vereinigten Staaten mit fast einer halben Million in Betrieb genommenen Boxen seinen Höhepunkt fand. In Westdeutschland liefen am Ende der Dekade immerhin 50.000 dieser eine »Amerikanisierung von unten«³⁶ bzw. auch die Rock'n'Roll-Kultur symbolisierenden Geräte. Auch die Hörtechnologie Jukebox wurde klanglich durch Filterung aktiviert. Schaltungen zur Bassanhebung waren seit den 1950er Jahren in die Box eingebaut und sorgten dort für einen sprichwörtlich gewordenen »jukebox bass«³⁷.

Peter Handke hat diesen in seinem *Versuch über die Jukebox* auch als aus der Tiefe kommenden »Bauchklang« beschrieben.³⁸ Technisch umgesetzt wurde dieser durch einen meist auf Kniehöhe montierten 12-, manchmal auch 15-Zoll-Lautsprecher, der gemeinsam mit einem Hochtönlautsprecher über eine Frequenzweiche und zusätzlich Klangfilter angesteuert wurde. Neben Filtern zur Bassbetonung boten Jukeboxen Filter zur Höhenreduktion bzw. -abschaltung. Diese zielten auf eine Abstimmung des Jukebox-Klangs mit dem Klang der Orte, an denen die Boxen standen: Bars, Restaurants, Eiskaffees, Hotellobbies. An diesen Orten wurde nicht exklusiv Musik gehört. Der Klang der Box sollte die Verstehbarkeit von Sprache meistens nicht grundsätzlich stören,³⁹ sich aber auch gleichzeitig in solchen halböffentlichen Hörumgebungen durchsetzen. In einer Box des Herstellers AMI gab es etwa einen so genannten »rolloff filter«, der dazu eine Höhenfilterung ab 10000, ab 6000 oder ab 3500 Hz ermöglichte.⁴⁰ Ein »fidelity equalizer« zielte auf Anpassung des AMI-Jukeboxklangs an den Raumklang. Auch eine »tone-quality control« war integriert: »The volume-control circuit provides compensation for the Fletcher-Munson effect [...]. As the volume level is reduced, the bass is automatically increased [...]«.⁴¹

35 Vgl. McGuinn: »Stokowski and the Bell Telephone Laboratories«, S. 64.

36 Maase: Amerikanisierung von unten.

37 Vgl. Bodoh: »The Jukebox, the Radio, and the Record«. Zum bassbetonten Jukebox-Klang vgl. auch McProud: »The Juke Box goes Hi-Fi«.

38 Vgl. Handke: Versuch über die Jukebox.

39 Vgl. Bodoh: »The Jukebox, the Radio, and the Record«, S. 840.

40 Vgl. McProud: »The Juke Box goes Hi-Fi«.

41 Ebd., S. 38.

Neben diesen Klangfilterungen boten die Boxen auch unterschiedliche Möglichkeiten zur Lautstärkesteuerung. Diese waren zum Teil auch dadurch bedingt, dass die in den Selektionen enthaltenen Singleschallplatten mit recht unterschiedlichem Pegel geschnitten waren. Einige Studios und Plattenfirmen erhofften sich durch einen extrem lauten Plattenschnitt einen Wettbewerbsvorteil in der Box. Hinter der Bar installierte »Fernlautstärkeregler« sollten hier »manchen Weg« ersparen.⁴² Automatische Regulierungen der Lautstärke waren bereits in den 1940er Jahren im Einsatz: Der kleine Hersteller Aireon hatte eine automatische Lautstärkeregelung an seiner Jukebox angebracht. Ein Mikrophon hing im »noise center« des Raumes und passte die Lautstärke der Box automatisch an.⁴³ In den 1950er Jahren hielten AVCs – »automatic volume controls« – verstärkt Einzug in die Jukebox – auch als Reaktion auf die Schwankungen der Lautstärke mit denen die unterschiedlichen Schallplatten geschnitten wurden.

Ein drittes Schlaglicht über das sich die Aktivierung von Hörtechnologien im Sinne einer Klangoptimierung und -abstimmung in den Blick nehmen lässt, kann im Rückgriff auf die Entwicklung der DJ-Kultur vor allem im Rahmen von Musikformen Dub oder Hip-Hop aber auch Disco, House und Techno gesetzt werden. So waren die Soundsysteme der Disco-Kultur der 1970er Jahre nicht nur darauf ausgelegt, Klang zu reproduzieren. Die Optimierung, die sie anboten, lief dabei weniger unter dem Schlagwort einer »enhanced music« als vielmehr unter der allgemeineren Bezeichnung »enhanced sound« oder der spezifischeren Bezeichnung »enhanced bass«.⁴⁴ Mit »enhanced bass« ist dann auch eine zentrale ästhetische Dimension von Musikformen wie Disco, House und Techno benannt, die wiederum mit der spezifischen Hörformen einer taktilen Klangwahrnehmung zusammenspielt.

Die Filter, die für solche Optimierungen im Einsatz waren, waren zum einen eine Frequenzweiche, die dafür sorgte, dass der Klang der aufgelegten Schallplatte durch Band-, Hoch- und Tiefpassfilter in drei, manchmal auch vier Frequenzbereiche zerlegt wurde. Diese konnten dann jeweils spezifischen Lautsprechern bis hin zu das Bassspektrum nochmals differenzierende Bass- und Subbasslautsprecher zugewiesen wurden. Zum anderen waren das aber auch Filter im DJ-Mischpult, durch die das Sound System spielbar wurde. Das umfasste auch auf die Optimierung der Bassfrequenzen ausgelegte Filter, wie etwa den im »Bass Enhancer« verbauten Tiefpass-Filter. Dieses Gerät war eine Technologie der Bassgestaltung, die dem Klang einer Schallplatte gezielt (sehr) tiefe Frequenzen hinzufügte.

Durch Filter wurden die Lautsprecheranlagen von Discos und Clubs für DJs gewissermaßen spielbar. Auf Soundsysteme spezialisierte Ingenieure wie Alex Rosner und Richard Long bauten seit den 1970er Jahren Anlagen speziell für Discos vor allem in New York City. Neben einer differenzierten Bassgestaltung und

42 Callsen: »Die technische Gestaltung der Musikautomaten«, S. 270.

43 Anonymus: »Juke's Boom is Business Week Theme«, S. 98.

44 Papenburg: »Enhanced Bass«.

einer taktilen Klangwirkung durch entsprechende Verstärkung waren Disco-Soundsysteme so gestaltet, dass sie die Tanzenden von allen Seiten in Klang einhüllten. Das Disco-Soundsystem war nicht nur in einem Raum installiert, sondern es brachte zudem eine spezifische Räumlichkeit hervor. Die Lautsprecher des Soundsystems spannten den Wahrnehmungsraum der Disco-Tanzfläche auf. Dieser war in der Horizontalen durch in Form eines Vierecks um die Tanzfläche herum aufgestellte Lautsprecher organisiert. Für die Organisation der Vertikalen wird die Zerlegung des Frequenzspektrums wieder aufgegriffen und hohe Töne erklangen tatsächlich aus der Höhe: In Rosners typischem Disco-Soundsystem hingen die Hochtonlautsprecher über der Tanzfläche an der Decke.

Die Kulturwissenschaftlerin Hillegonda Rietveld hat beschrieben wie taktile und körperliche Klangerfahrungen in einem DJ-Set durch gezielte Filterungen gestaltet werden können:

Ein großes Mischpult erlaubt dem DJ die Frequenz eines bestimmten Instruments völlig herauszunehmen, was für dramatische Effekte eingesetzt werden kann. Wenn zum Beispiel eine Basslinie mit störenden Partialtönen unterdrückt wird, dann heißt das, dass die Leute für einen Augenblick (meistens acht oder 16 Takte) ohne Bass tanzen. Setzt der Bass wieder ein, löst das bei den Tanzenden ein Hochgefühl aus. Da der Bass die unteren Teile des Körpers affiziert, scheinen die Füße der Tanzenden sie höher tragen zu können als zuvor. Oft wird dann das Tanzen intensiver, und die Hände rudern durch die Luft. Im Gegensatz dazu bevorzugt der House-DJ Carl Cox die völlige Zurücknahme der oberen und mittleren Frequenzbereiche, so dass ein schwerfälliges dumpfes Dröhnen bleibt, als ob die Lautsprecher unter Wasser gelegt worden seien. Dies hinterlässt ein Gefühl der Niedergeschlagenheit, das bei Rückkehr der oberen Frequenzbereiche gemildert wird, schließlich die Körper strafft und sie mit neuer Energie versieht.⁴⁵

Die Soundsysteme der Disco- und Clubkultur ziel(t)en also nicht auf möglichst ungefilterte Klangreproduktion, sondern produzierten gefilterten *enhanced sound*. Hörtechnologien wie die Stereo-Lautsprecheranlage der Bell Labs von 1940 in der Carnegie Hall, die boomenden Jukeboxen der 1950er Jahre und die Soundsysteme von Discos und Clubs seit 1970 reproduzieren nicht nur. Vielmehr sind sie klanglich aktiviert und produzieren *enhanced sound*. Dafür greifen sie auf unterschiedliche Klangfilter zurück. Die relationalen Klangoptimierungen dieser Geräte integrieren Funktionen der Postproduktion von Musik in Hörtechnologien. Diese Integration findet sich in verstärkter Form auch noch in den Hörtechnologien der Gegenwart.

45 Rietveld: »Im Strom des Techno«.

3. KURZE GESCHICHTE DER FILTER DER POSTPRODUKTION

Die in Hörtechnologien integrierten Filter stammen aus der Frequenz- und Audiotechnik sowie der Musikproduktion. Daraus folgt jedoch nicht, dass die Hörenden zu Produzentinnen und Produzenten oder zu hybriden *prosumern* werden. Das hängt damit zusammen, dass weniger Funktionen der Musikproduktion in Hörtechnologien ausgelagert werden, sondern eher Funktionen der Postproduktion, vor allem des Mastering und der dort eingesetzten Filter.⁴⁶

Seitdem das Tonband in den 1940er Jahren Einzug in die Tonstudios gehalten hat, ist ein Medienwechsel zwischen Musikproduktion und Musikveröffentlichung notwendig. Diese mediale Differenzierung hat auch eine neue Funktion im Prozess der Musikproduktion hervorgerufen – das Mastering. Lange Zeit machte ein Mastering-Ingenieur aus Bändern Platten. Anfangs wurde das als eher technischer, das heißt als wenig ästhetischer Vorgang angesehen, der als *transferring* oder gar *re-recording* bezeichnet wurde.

Im Schallplattenschnitt kommt jedoch eine Filterung zum Einsatz, die bereits in den 1950er Jahre unterschiedlich gehandhabt wurde. Beim Schnitt werden hohe Frequenzen angehoben und tiefe Frequenzen, die viel Platz auf der Platte brauchen, abgesenkt. Diese Anhebung resp. Absenkung wird bei der Wiedergabe der Schallplatte rückgängig gemacht. Das Maß der Anhebung und Absenkung regelt die so genannte Schneidkennlinie (*recording curve*).⁴⁷ Diese, die Bedingung dafür ist, dass Schallplatten selbst industrieweit unhörbar werden sollen, war in den 1950er Jahren noch nicht standardisiert. Unterschiedliche Schallplattenfirmen schnitten mit unterschiedlichen Schneidkennlinien. Einige Masteringingenieure folgten nun allerdings überhaupt nicht den Vorgaben der Schneidkennlinie. Stattdessen wollten sie einen möglichst lauten Plattenschnitt umsetzen. Insofern schrieben sich schon in den 1950er Jahren die Masteringingenieure mit in die Rillen ein, welche die von ihnen transferierten Klänge in Schallplatten hinterließen und kombinierten »the art and the science«⁴⁸. In den 1950er Jahren zielte das vor allem darauf ab, Platten mit »intended distortion« zu schneiden, wie Sam Phillips der Gründer des legendären Rock'n'Roll Labels *Sun Records* das ausgedrückt hat.⁴⁹ Schallplatten sollten möglichst laut klingen. Damit wurde sich eine Art klanglicher Wettbewerbsvorteil beim Einsatz der Schallplatte in Radio oder Jukebox versprochen.

Orte des Mastering waren in den 1950er Jahren mit Schallplattenschneidemaschine eingerichtete Räume in Studios. In den späten 1960er Jahren

46 Zum Mastering vgl. Hodgson: *Understanding Records*, S. 173-178.

47 Zu einer vergleichbaren Kennlinie im Filmtone resp. Lichttonverfahren der 1930er Jahre vgl. Smyrek: *Die Geschichte des Tonmischpults*, S. 175f.

48 Katz: *Mastering Audio. The Art and the Science*.

49 Vgl. Broven: *Record Makers and Breakers. Voices of the Independent Rock'n'Roll Pioneers*, S. 152.

entstanden dann in den USA die ersten eigenständigen Mastering-Studios. Im Mastering wird also klanglich zwischen der Produktion von Musik und der Veröffentlichung von Musik vermittelt. Greifbar wird dies auch in den zahlreichen Wiederveröffentlichungen von LPs als CDs nach Einführung der CD Anfang der 1980er Jahre. Solche *re-releases* spielten zwar einerseits im ökonomischen Kosmos der Zweitverwertung, standen andererseits aber auch unter Druck, klanglich einen Unterschied zur Erstveröffentlichung anzubieten – mit der Einführung der CD pries das Marketing diesen klanglichen Unterschied bald unter dem Schlagwort »digitally remastered« an. Eine spezifische Musikproduktion wird in unterschiedlichen Medien und Formaten veröffentlicht und der klangliche Aspekt, der damit ins Spiel gebrachten Medienspezifik, ist Sache des Masterings.

Im Gegensatz zum Toningenieur im Aufnahmestudio nehmen Mastering-Ingenieure und -Ingenieurinnen die Audiotechnologie in erster Linie in ihrer Wiedergabe- und weniger in ihrer Speicherfunktion in Anspruch. Sie formatieren die Beziehung zwischen Klang, Technologie, Hörerenden und Hörsituation. Im Mastering erhält Klang ein *fine-tuning* in Bezug auf die Geräte, durch und über die er gehört wird. Insofern schafft Mastering ein Potential bzw. eine Tauglichkeit. Mastering macht Klang etwa jukebox-, radio-, club- oder wohnzimmertauglich. So wie ein Text, das betonen die Historiker Roger Chartier und Guglielmo Cavallo in der von ihnen herausgegeben Geschichte des Lesens, niemals »an sich«, also »ohne den Träger, der ihn der Lektüre (oder dem Gehör) zugänglich macht«, existiert,⁵⁰ so existiert produzierte Musik auch nie ohne einen materiellen Träger. Für produzierte Musik sind diese Träger jedoch standardisiert. Im Mastering wird produzierten Klang also in ein Verhältnis zu einer Form, die zur massenhaften Reproduktion taugt, aber auch zu anderen produzierten Klängen gesetzt. Hierzu werden etwa aus unterschiedlichen Dekaden stammende Produktionen für eine Kompilation oder einen Soundtrack klanglich aufeinander abgestimmt oder produzierte Musik tauglich für den Einsatz in einer Playlist, in bestimmten Geräten und Technologien gemacht, durch und über die dieser primär gehört wird bzw. in denen dieser funktionieren soll.

4. AUSBLICK

In der durch Smartphones, Apps und aktive Kopfhörer geprägten Hörkultur der Gegenwart wandern Funktionen des Mastering zunehmend in Hörtechnologien aus. Das ist keineswegs ein völlig neuer Prozess, wie schon oben deutlich wurde. Jedoch scheint eine klangliche Aktivierung von Hörtechnologien zuzunehmen. Hier sind Klangfilter im Einsatz, die verstärken und abschwächen, entfernen und erhalten. Damit geht eine Problematisierung solcher Geräte als (bloße?) Abspiel- oder Wiedergabetechnologie einher. So nimmt ein Streaming-Service wie Spotify etwa eine Normalisierung der Lautstärke vor, die ausgleichen soll, wenn Musik-

50 Chartier/Cavallo: A History of Reading in the West, S. 16.

produktionen unterschiedlich laut klingen.⁵¹ Wird ein Soundfile in die von dem Streamingdienst verwandten Ogg/Vorbis und AAC-Formate gewandelt, wird die Lautheit, also die wahrgenommene Lautstärke, berechnet und als Teil der Metadaten gespeichert.⁵² Hierfür existieren unterschiedliche Standards (»Replay Gain«, »sound check«), die die Lautheit einer Produktion messen. Der neuere Standard der International Telecommunication Union (ITU 1770) nutzt hierfür die Einheit LUFS (Loudness Units Full Scale). Hörende können zwischen unterschiedlichen »volume normalization levels« wählen. Zudem bieten zahlreiche Apps Bass- und Volumenbooster, umfangreicher Equalizer, Surround Sound Simulationen und auch Hörtests an, die das Gehörte an das individuelle Hörvermögen anpassen sollten. In Letzterem fallen Musikhörtechnologien mit medizinischen Hörgeräten partiell zusammen.

Eine solche klanglichen Aktivierung der Hörtechnologien ersetzt jedoch nicht das Mastering, sondern trägt eher zu seiner Ausdifferenzierung bei. So sind auch in Hinblick auf den Erfolg von Streaming-Services neue Mastering-Verfahren entwickelt worden, die Klang gerade auf diese Hörumgebungen abstimmen wollen. Unter dem Label »mastered for iTunes« geht es etwa darum, Musikproduktionen in den in iTunes eingesetzten Formaten optimal und in Bezug auf Hörtechnologien und Hörumgebungen darzustellen. Auch bei Spotify finden sich in der Künstler-Sektion Hinweise zum Mastering. Mastering wird gegenwärtig nicht nur von hochspezialisierten Masteringstudios angeboten, sondern auch algorithmisiert von Online-Plattformen.

Filter sind also seit etwa 100 Jahren zum aktiven Bestandteil von Musik geworden, deren Klang nicht nur als auditives Ereignis, sondern auch als elektr(on)isches Signal sowie als algorithmische Operation digitaler Medien bestimmt wird. Klanglich aktive Filter, die auf vielfältige Arten steuerbar und spielbar sind, formieren sowohl Musikproduktion als auch ein durch Technologie mitorganisiertes Musikhörens. Ihre Funktion ist dabei weniger als eine Reduktion oder auch als ein Aussieben verstehbar. Stattdessen ist gefilterter Klang zunehmend zum »enhanced sound« geworden.

LITERATURVERZEICHNIS

Anonymus: »Juke's Boom is Business Week Theme«, in: Billboard, Nr. 9, 1946, S. 98.

Bodoh, A.G.: »The Jukebox, the Radio, and the Record«, in: Journal of the Audio Engineering Society, Jahrgang 25, Nr. 10/11, 1977, S. 836-842.

Broven, John: Record Makers and Breakers. Voices of the Independent Rock'n'Roll Pioneers, Urbana/Chicago 2009.

51 Vgl. Spotify: »What is Loudness Normalization«.

52 Vgl. ebd.

JENS GERRIT PAPENBURG

- Buchheim, Gisela/Sonnemann, Rolf (Hrsg.), Geschichte der Technikwissenschaften, Basel 1990.
- Callsen, Kuno: »Die technische Gestaltung der Musikautomaten«, in: von Rosen, Harry (Hrsg.): Handbuch der deutschen Automatenwirtschaft 1956, Köln/Berlin 1956, S. 266-270.
- Campbell, George A.: »Physical Theory of the Electric Wave Filter«, in: The Bell System Technical Journal, Jahrgang 1, Nr. 2, 1922, S. 1-32.
- Cavallo, Guglielmo/Chartier, Roger: A History of Reading in the West, Cambridge 2003.
- Donhauser, Peter: Elektrische Klangmaschinen. Die Pionierzeit in Deutschland und Österreich, Wien 2007.
- Gould, Glenn: »The Prospects of Recording«, in: Page, Tim (Hrsg.): The Glenn Gould Reader, New York 1984 (1966), S. 331-351.
- Haffke, Maren: Archäologie der Tastatur. Musikalische Medien nach Friedrich Kittler und Wolfgang Scherer, Paderborn 2019.
- Handke, Peter: Versuch über die Jukebox, Frankfurt a. M. 1990.
- Hodgson, Jay: Understanding Records. A Field Guide to Recording Practice, New York/London 2019.
- Institut für Rundfunktechnik: Verzerrer für Hörspielzwecke, o.O. 1951.
- Katz, Bob: Mastering Audio. The Art and the Science, Burlington, MA 2012.
- Kittler, Friedrich A.: Grammophon, Film, Typewriter, Berlin 1986.
- Maase, Kaspar: Amerikanisierung von unten. Demonstrative Vulgarität und kulturelle Hegemonie in der Bundesrepublik der 1950er Jahre, in: Lüdtke, Alf/Marssolek, Inge/von Saldern, Adelheid: Amerikanisierung: Traum und Alptraum im Deutschland des 20. Jahrhunderts, Stuttgart 1996, S. 291-314.
- Maxfield, J.P./Harrison, H.C.: »Methods of High Quality Recording and Reproducing of Music and Speech Based on Telephone Research«, in: The Bell System Technical Journal, Jahrgang 5, Nr. 3, 1926, S. 493-523.
- McGinn, Robert E.: »Stokowski and the Bell Telephone Laboratories: Collaboration in the Development of High-Fidelity Sound Reproduction«, in: Technology and Culture, Jahrgang 24, Nr. 1, 1983, S. 38-75.
- McProud, C.G.: »The Juke Box goes Hi-Fi«, in: Audio, Jahrgang 38, Nr. 12, 1954, S. 33-38, 42-43.
- Milner, Greg: Perfecting Sound Forever. The Story of Recorded Music, London 2009.
- Papenburg, Jens Gerrit: »Enhanced Bass. On 1970s Disco Culture's Listening Devices«, in: ders./Schulze, Holger (Hrsg.): Sound as Popular Culture. A Research Companion, Cambridge, MA 2016, S. 205-214.
- Papenburg, Jens Gerrit: Hörgeräte. Technisierung der Wahrnehmung durch Rock- und Popmusik, Humboldt-Universität zu Berlin 2012 (Diss.).

- Patteson, Thomas: Instruments for New Music: Sound, Technology, and Modernism, Oakland, CA 2016.
- Pinch, Trevor/Trocco, Frank: Analog Days. The Invention and Impact of the Moog Synthesizer, Cambridge, Mass u. a. 2002.
- Rietveld, Hillegonda: »Im Strom des Techno. ‚Slow-Mix‘-DJ-Stile in der Dance Music der 90er Jahre«, in: Wicke, Peter (Hrsg.): Handbuch der Musik im 20. Jahrhundert, Bd. 8: Rock- und Popmusik, Laaber 2001, S. 267-299.
- Schmidt Horning, Susan: Chasing Sound. The Culture and Technology of Recording Studios in America 1877-1977, Baltimore 2002.
- Schneider, Albrecht: »Klanganalyse als Methodik der Populärmusikforschung«, in: Rösing, Helmut u. a. (Hrsg.): Musikwissenschaft und populäre Musik. Versuch einer Bestandaufnahme, Frankfurt a. M. 2002, S. 107-129.
- Schröter, Jens: »Technologien der Stille. Zu ihrer Archäologie und Ästhetik«, <https://www.youtube.com/watch?v=b97ktejvJVA>, 18.03.2020.
- Siegert, Bernhard: »Kulturtechnik«, in: Maye, Harun/Scholz, Leander (Hrsg.): Einführung in die Kulturwissenschaft, München 2011, S. 95-118.
- Smyrek, Volker: Die Geschichte des Tonmischpults. Die technische Entwicklung der Mischpulte und der Wandel der medialen Produktionsverfahren im Tonstudio von den 1920er-Jahren bis heute, Berlin 2013.
- Spotify, »What is Loudness Normalization and Why is it Used«, <https://artists.spotify.com/faq/mastering-and-loudness#what-is-loudness-normalization-and-why-is-it-used>, 18.03.2020.
- Trautwein, Friedrich: Verfahren zur Erzeugung musikalischer Töne bestimmter Klangfarbe, Patent, DE469775.
- Wagner, Karl Willy: »Die Theorie des Kettenleiters nebst Anwendungen. (Wirkung der verteilten Kapazität in Widerstandssätzen.)«, in: Archiv für Elektrotechnik, Jahrgang 3, 1915, S. 315-332.
- Wagner, Karl Willy: »Spulen- und Kondensatorleitungen«, in: Archiv für Elektrotechnik, Jahrgang 8, 1919, S. 61-92.
- Williams, Sean: »Tubby's Dub Style: The Live Art of Record Production«, in: Frith, Simon/ Zagorski-Thomas, Simon (Hrsg.): The Art of Record Production: An Introductory Reader for a New Academic Field. Burlington 2012, S. 235-246.
- Wurtzler, Steve: Electric Sounds. Technological Change and the Rise of Corporate Mass Media. New York 2007.