

**Matthias Daprà**

# **Klang- und Abstrahlverhalten natürlicher Instrumente**

**und die Bedeutung für die Mikrofonierung**

**unter besonderer Berücksichtigung der Querflöte**

**SAE Institute Frankfurt am Main, Mai 2004**

Hiermit erkläre ich, dass ich keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel zum Verfassen der vorliegenden Arbeit benutzt habe.

Frankfurt, den

# Inhalt

<b>Einleitung</b> .....	<b>5</b>
<b>1 Klangverhalten natürlicher Instrumente</b> .....	<b>7</b>
1.1 Lautstärke.....	7
1.2 Dynamik.....	8
1.2.1 Dynamik und Tonhöhe.....	9
1.3 Klangspektrum.....	11
1.3.1 Tonhöhe.....	11
1.3.2 Darstellung der Teiltöne.....	11
1.3.3 Teiltonaufbau.....	13
1.3.4 Rauschuntergrund.....	14
1.3.5 Klangfarbe und Instrument.....	15
1.3.6 Klangfarbe und Spielweise.....	16
1.3.7 Klangfarbe und Dynamik.....	16
1.4 Die Zeitliche Struktur des Klangs.....	18
1.4.1 Einschwingvorgang.....	19
1.4.2 Ausklingvorgang.....	22
<b>2 Abstrahlverhalten natürlicher Instrumente</b> .....	<b>24</b>
2.1 Richtcharakteristiken allgemein.....	24
2.2 Möglichkeiten der Beschreibung von Richtcharakteristika.....	26
2.2.1 Dynamik der Richtcharakteristik.....	28
2.3 Praktische Relevanz.....	29
<b>3 Methoden und Bedingungen der Messung</b> .....	<b>30</b>
3.1 Zeitliche Dimension bei der Messung.....	30
3.2 Messraum.....	31
3.3 Einfluss des Musikers.....	32
3.3.1 Messung ohne Musiker.....	33
<b>4 Klangverhalten der Querflöte</b> .....	<b>34</b>
4.1 Dynamik.....	34
4.2 Klangspektrum.....	35
4.2.1 Rauschuntergrund.....	36
4.3 Tonerzeugung.....	37
4.3.1 Tonhöhe.....	38

4.4	Zeitlicher Verlauf .....	38
4.4.1	Einschwingverhalten .....	38
4.4.2	Ausklingverhalten .....	39
<b>5</b>	<b>Abstrahlverhalten der Querflöte .....</b>	<b>40</b>
5.1	Richtwirkung der harmonischen Klangkomponenten .....	40
5.2	Richtwirkung des Anblasgeräuschs .....	44
5.3	Hauptabstrahlrichtungen .....	45
<b>6</b>	<b>Mikrofonierung der Querflöte .....</b>	<b>48</b>
6.1	Empfehlungen einiger Mikrofonhersteller .....	50
6.1.1	Studioanwendung .....	50
6.1.2	Stützmikrofonie .....	52
6.1.3	Bühneneinsatz .....	53
	<b>Schlussbemerkungen .....</b>	<b>54</b>
	<b>Anhang .....</b>	<b>55</b>
	AKG .....	55
	Beyerdynamic .....	55
	Crown .....	56
	Elektrovoice .....	56
	Neumann .....	57
	Schoeps .....	57
	Shure .....	58
	<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>60</b>
	<b>Literatur .....</b>	<b>61</b>

## Einleitung

Die Frage, aus welcher Mikrofonposition man ein Instrument aufnimmt, ist – neben der Wahl des Mikrofons und der Beschaffenheit des Raumklangs – eine der spannendsten und für den Klangcharakter wichtigsten Fragen bei der Aufnahme natürlicher Instrumente.

Dieses Thema beschäftigt mich seit einer ausgedehnten Aufnahmesession, bei der ich eine akustische Gitarre im Studio mit vielen verschiedenen Mikrofonen aus diversen Richtungen und mit ganz verschiedenen Abständen aufgenommen habe. Die Unterschiede im Klang der einzelnen Aufnahmen sind zum Teil beträchtlich. Um dieser praktischen Erfahrung einen theoretischen Hintergrund hinzuzufügen, beschäftige ich mich in den ersten beiden Teilen dieser Arbeit allgemein mit dem Klang- und Abstrahlverhalten natürlicher Instrumente.

Denn wenn man bei einer Aufnahme das Ziel einer möglichst natürlichen Wiedergabe verfolgt, ist das bewusste Hören des natürlichen Klangs der aufgenommenen Instrumente die Voraussetzung für die Auswahl des Mikrofons, die Suche nach einer geeigneten Mikrofonposition und die nachfolgende Beurteilung der Aufnahme.

Relativ kurz gehalten ist der dritte Teil mit einigen Gedanken zu den Methoden und Bedingungen bei der Messung der behandelten akustischen Eigenschaften natürlicher Instrumente.

Im vierten und fünften Teil möchte ich auf die speziellen Verhältnisse bei der Querflöte im einzelnen eingehen. Ziel dieses Abschnitts ist ein genaueres Verständnis des Klang- und Abstrahlverhaltens, um die Suche nach einer Mikrofonposition zielgerichteter zu gestalten, die den jeweiligen musikalischen Erfordernissen und persönlichen Klangvorstellungen des Anwenders möglichst nahe kommt.

Für den sechsten und letzten Teil habe ich einige Mikrofonhersteller um eine Empfehlung für eine Mikrofonierung der Querflöte in verschiedenen Situationen gebeten. Zu den einzelnen Vorschlägen nehme ich jeweils kurz Stellung.

**Formelles**

Kurze Zitate sind *kursiv* gesetzt, lange zusätzlich durch einen gesonderten, eingerückten Absatz mit kleinerer Schrift und geringerem Zeilenabstand hervorgehoben.

Abbildungen sind jeweils unterhalb mit einer Beschriftung mit anderem Schrifttyp versehen, die Quellenangaben stehen wie bei den Zitaten in den entsprechenden Fußnoten.

Auslassungen in Zitaten sind durch (...) markiert.

Amerkungen oder Ergänzungen des Verfassers innerhalb von Zitaten sind durch [eckige Klammern] und den Zusatz MD (für Matthias Daprà) kenntlich gemacht.

Die vollständigen bibliografischen Angaben finden sich im Literaturverzeichnis am Ende der Arbeit.

# 1 Klangverhalten natürlicher Instrumente

In diesem Kapitel möchte ich mich mit Komponenten des Klangverhaltens von natürlichen Instrumenten beschäftigen, die für eine qualifizierte Beurteilung von möglichen Mikrofonpositionen wichtig sind. Dazu lässt sich der musikalische Klang eines Instruments in verschiedenen Dimensionen analysieren:

- die Stärke des abgestrahlten Schalls und dessen Wahrnehmung (Lautstärke, Dynamik),
- die Frequenzen, die jeweils im Klang enthalten sind (Grundtonhöhe, Teiltonspektrum, Formanten, Klangfarbe, Rauschuntergrund),
- der zeitliche Verlauf (Einschwingen, „stehender“ Ton, Ausschwingen),
- die unterschiedlichen Spielweisen (weicher Ansatz, scharfer oder harter Ansatz, staccato, vibrato, pizzicato etc.).

Aber auch die Zusammenhänge zwischen diesen Aspekten sind tontechnisch relevant:

- Dynamik und Tonhöhe,
- Dynamik und Klangfarbe,
- Dynamik und zeitlicher Verlauf,
- Klangfarben der verschiedenen Spielweisen.

Denn nur wenn man sich der vielfältigen möglichen Nuancen bewusst ist, wird man auch in der Lage sein, diese mit dem Ziel eines möglichst natürlichen Klangbildes bei der Aufnahme zu berücksichtigen.

## 1.1 Lautstärke

Zunächst gibt es den Parameter Schallwechseldruck, der als Schalldruckpegel in  $\text{dB}_{\text{SPL}}$  (mit dem Bezugsschalldruck  $2 \cdot 10^{-5}$  pa) oder als relativer Pegel in dB angegeben wird. Er beschreibt die objektive Stärke des Schallereignisses.

Unsere Ohren sind jedoch nicht für alle Frequenzbereiche gleich empfindlich, sondern nehmen insbesondere tiefe und sehr hohe Frequenzen bei geringem Schalldruck wesentlich schlechter wahr als mittlere. Der komplexe Zusammenhang wird in Abb. 1 veranschaulicht: 1kHz gilt dabei als Referenzfrequenz, das heißt die Kurven gleicher Lautstärke verbinden die Punkte desjenigen Schalldrucks, der bei den jeweiligen Frequenzen verglichen mit einem 1kHz-Sinuston eines definierten Schalldrucks gleich laut empfunden wird. Diese empfundene Lautstärke wird dann in Phon angegeben.

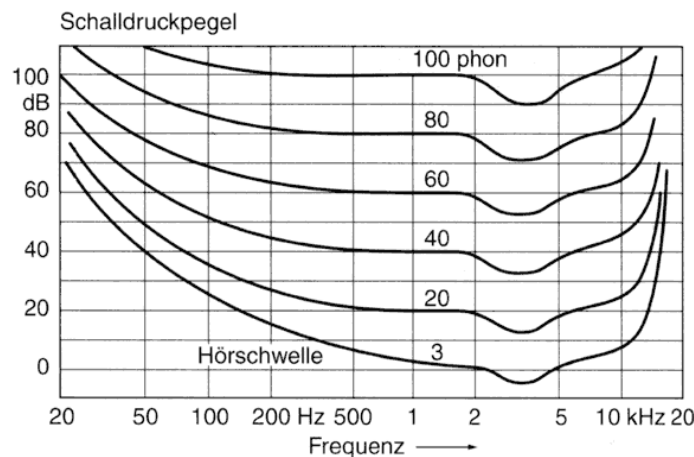
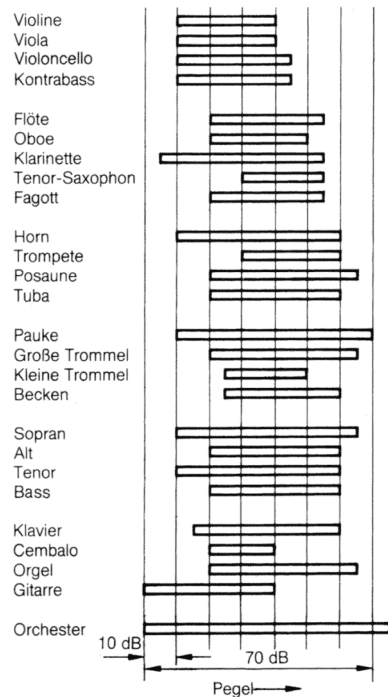


Abb. 1 Kurven gleicher Lautstärke nach Fletcher / Munson<sup>1</sup>

## 1.2 Dynamik

Der Bereich zwischen der kleinsten und der größten spielbaren Lautstärke wird Dynamik des Musikinstruments genannt. In der folgenden Abb. ist für die jeweiligen Instrumente, Stimmlagen und das Orchester als Ganzes der Dynamikumfang angegeben. Tontechnisch gesehen sind dabei vor allem die Unterschiede zwischen den Instrumenten wichtig: So liegen die Dynamikbereiche der Streichinstrumente pegelmäßig im Schnitt etwa 10dB unter denen von Flöte, Oboe, Fagott, Posaune und Tuba. Die Dynamik von Tenorsaxophon und Trompete setzt sogar noch weitere 10dB oberhalb an.

<sup>1</sup> Dickreiter (2003) Abb. A, S. 85



**Abb. 2** Dynamikbereiche von Instrumenten, Stimme und Orchester

Dickreiter<sup>2</sup> führt im Bereich der Dynamik noch zwei differenzierende Begriffe ein, die im weiteren Text noch eingehender behandelt werden:

- Pegeldynamik, womit tatsächlich der Unterschied zwischen dem minimalen und dem maximalen Schalldruckpegel gemeint ist (s. Dynamik und Tonhöhe), und
- Klangfarben- oder Spektraldynamik, die die Veränderungen der Klangfarbe bei steigendem Pegel beschreibt (s. a. Klangfarbe und Dynamik).

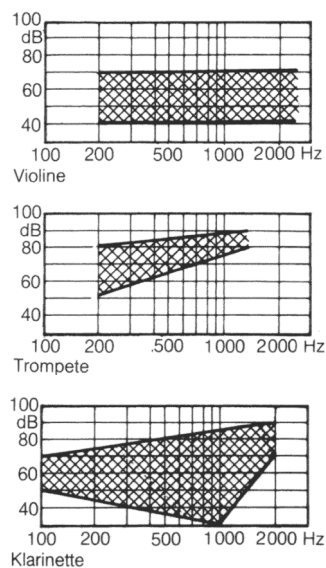
### 1.2.1 Dynamik und Tonhöhe

Streicher weisen über ihren gesamten Tonumfang kaum Veränderungen der Dynamik auf. Auf Geigen, Bratschen, Celli und Kontrabässen können also in

<sup>2</sup> vgl. Dickreiter (2003) S. 63

ihrem jeweiligen Dynamikbereich hohe und tiefe Töne gleich leise bzw. laut gespielt werden.

Im Vergleich dazu hängt bei den Blasinstrumenten die mögliche Dynamik stärker von der Tonhöhe ab: beispielsweise gibt Dickreiter für eine Trompete bei 200Hz eine Dynamik von 30dB (50-80dB<sub>SPL</sub>), bei 1000Hz jedoch nur noch 15dB (75-90dB<sub>SPL</sub>) an<sup>3</sup>.



**Abb. 3**      **Abhängigkeit der Dynamik von der Tonhöhe**

Zu der Tatsache, dass ein Instrument überhaupt erst ab einer gewissen Lautstärke gespielt werden kann, kommt also ggf. noch hinzu, dass sich diese Mindestlautstärke mit der Tonhöhe ändert – bei der Trompete ist dieser Zusammenhang relativ einfach: die Mindestlautstärke nimmt mit der Tonhöhe zu. Bei der Klarinette sind es dagegen die mittleren Lagen, die am leisesten spielbar sind, während sowohl tiefe als auch hohe Töne eine größere Mindestlautstärke aufweisen.

Allgemein ergeben sich auch bei der maximalen Lautstärke Unterschiede in den verschiedenen Tonlagen, wobei in dieser Beziehung der Zusammenhang

<sup>3</sup> vgl. Dickreiter (2003) S. 62f

zwischen Tonhöhe und Dynamik ebenfalls nicht unbedingt linear, sondern abhängig von Bauart und Tonerzeugung des jeweiligen Instruments ist.

## **1.3 Klangspektrum**

### **1.3.1 Tonhöhe**

Als nächster Parameter ist die Tonhöhe zu nennen, die dem Musiker als Notename bekannt ist und durch die tiefste Frequenz des Teiltonspektrums, den sog. Grundton bestimmt wird. Bei natürlichen Instrumenten beinhaltet aber jeder einzelne gespielte Ton nicht nur den sog. Grundton, sondern darüber hinaus noch charakteristische Obertöne und Geräuschanteile.

Obertöne<sup>4</sup> sind alle ganzzahligen Vielfachen der Grundtonfrequenz, während Frequenzen, die nicht in dieses Schema passen bzw. statistische Frequenzverteilungen aufweisen, als unharmonisch wahrgenommen werden. Wenn es sich bei den unharmonischen Komponenten um viele eng nebeneinander liegende Frequenzen handelt, entsteht ein geräuschhafter Höreindruck (s. a. Rauschuntergrund).

Bei manchen Schlaginstrumenten ist keine Tonhöhe feststellbar, da keine der Frequenzen deutlich genug dominiert. Dann handelt es sich aber weniger um einen Klang im engeren Sinne als vielmehr um ein Geräusch.

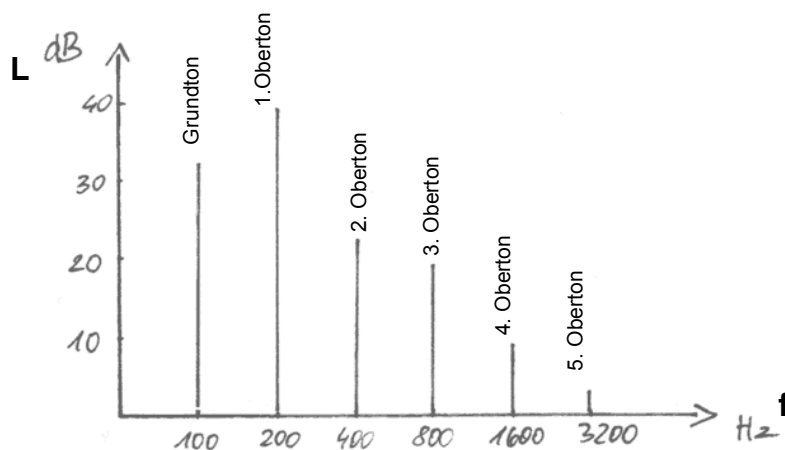
### **1.3.2 Darstellung der Teiltöne**

Mit Hilfe der Fouriertransformation können Klänge der unterschiedlichsten Wellenformen durch mehrere Sinusschwingungen unterschiedlicher Frequenzen und Pegel dargestellt werden, die gemeinsam wiederum den

---

<sup>4</sup> Der Gebrauch der Begriffe Harmonische, Teiltöne und Obertöne ist insofern etwas verwirrend, als dass immer die gleichen Sachverhalte gemeint sind, mit dem Unterschied, dass der Grundton sowohl die erste Harmonische als auch der erste Teilton ist, während die Bezifferung der Obertöne den Grundton nicht beinhaltet, so dass die zweite Harmonische bzw. der zweite Teilton dem ersten Oberton entspricht.

entsprechenden Klang ergeben. So ist eine relativ übersichtliche Darstellung des Klangspektrums in einem Diagramm möglich. Die einzelnen sinusförmigen Teilschwingungen werden als senkrechte Striche eingetragen, an deren Lage auf der x-Achse die Frequenz (f) in Hz abgelesen werden kann. Der entsprechende Pegel (L) wird in dB gemäß der Einteilung auf der y-Achse dargestellt. Im folgenden Diagramm ist beispielsweise ein Klang mit 100Hz-Grundtonfrequenz und 5 Obertönen (bei 200, 400, 800, 1600 und 3200Hz und Pegeln zwischen 40 und 3dB) dargestellt.



**Abb. 4** Diagramm mit Fourier-Transformation<sup>5</sup>

Um gleichzeitig den Zusammenhang des zeitlichen Verlaufs mit dem Frequenzspektrum des Klangs darzustellen, haben sich sog. pseudodreidimensionale Diagramme bewährt, die auf ihren drei Achsen die Frequenz oder die Ordnungszahl der Teiltöne (x-Achse), den Pegel (y-Achse) und die Zeit (z-Achse) darstellen. Allerdings ist die Achsenbelegung nicht immer einheitlich (s. Abb. 6; 9; 10; 16; ). Lediglich der Pegel auf der y-Achse erweist sich als Standard.

<sup>5</sup> selbst erstellte Abb.

### 1.3.3 Teiltonaufbau

Das Teiltonspektrum besteht immer aus einer festgelegten Abfolge von Frequenzverhältnissen, wobei die als Note angegebene Tonhöhe, also der Grundton, immer der Teilton mit der niedrigsten Frequenz ist, auf dem sich dann die Obertöne mit doppelter, dreifacher, vierfacher, n-facher Frequenz aufbauen (s. a. Abb.4). Mit zunehmender Tonhöhe verschiebt sich das gesamte Teiltonspektrum nach oben.

Dies bedeutet allerdings nicht, dass gar keine Klanganteile unterhalb des Grundtones auftreten können. Nur *„...tiefere stationäre, also stetig schwingende Klanganteile als den Grundton gibt es nicht. Unterhalb des Grundtones können lediglich geräuschartige oder unstetige Schwingungsanteile auftreten.“*<sup>6</sup>

Auch muss der Grundton gar nicht unbedingt der lauteste Teilton im Spektrum sein. Die Pegelverhältnisse zu und zwischen den höheren Teiltönen können beträchtlich variieren, was zu dem Eindruck unterschiedlicher Klangfarben führt. Auf diese Weise unterscheiden sich Töne gleicher Tonhöhe mit gleichem Gesamtpegel, und wir sind u.a. auf Grund dessen in der Lage, verschiedene Instrumente oder auch unterschiedliche Spielweisen eines Instruments zu differenzieren.

Die höheren Teiltöne sind allerdings meist mit einem mit steigender Ordnungszahl abnehmendem Pegel im Spektrum vertreten. Auch nimmt die Zahl der Teiltöne meist mit zunehmender Grundtonhöhe ab, so dass tiefe Töne meist voller klingen als hohe.

---

<sup>6</sup> Meyer (1999) S. 31

### 1.3.4 Rauschuntergrund

Eine weitere Komponente des Klangs natürlicher Instrumente macht der sog. Rauschuntergrund aus. Er tritt je nach Art des Instruments mit einem bestimmten Abstand zum Pegel der durch die Teiltöne beschriebenen Hauptklangkomponenten auf und setzt sich aus vielen, über einen größeren Frequenzbereich verteilten, also nicht harmonischen Schwingungen zusammen.

„So wird beispielsweise bei den Streichinstrumenten immer etwas von dem Bogengeräusch zu hören sein, und bei den Holzblasinstrumenten lässt sich das Anblasgeräusch niemals ganz unterdrücken. Zwar wird man immer bestrebt sein, diese Nebengeräusche auf ein Minimum zu reduzieren, doch ist dieses Minimum unbedingt erforderlich, um dem Klang seinen natürlichen Charakter zu erhalten. Wie Versuche elektronischer Klangerzeugung ergeben haben, lassen sich durch das Teiltonspektrum allein die Instrumente nicht befriedigend imitieren“<sup>7</sup>.

Ursache dieses Rauschens ist, dass die Anregung der Schwingungen beim Spielen nie ganz gleichmäßig ist, so dass ständig alle Resonanzen des Instruments geringfügig angestoßen werden. Demnach ist der Rauschhintergrund charakteristisch für das jeweilige Instrument, da z.B. eine Geige ganz andere Resonanzen aufweist als eine Querflöte. In der folgenden Abb. wird dieser Unterschied besonders deutlich: Zum einen ist der Rauschuntergrund bei der Violine (wie bei allen Streichinstrumenten) im Verhältnis zu den harmonischen Klangkomponenten relativ laut. Zum anderen sind die Rauschkomponenten so verteilt, dass keine deutliche Zuordnung zu einer bestimmten Tonhöhe möglich ist, während aus dem insgesamt wesentlich leiseren Rauschuntergrund der Flöte zwei relativ schmalbandige Überhöhungen herausragen, die dadurch annähernd tonalen Charakter gewinnen.

---

<sup>7</sup> Meyer (1999) S. 35

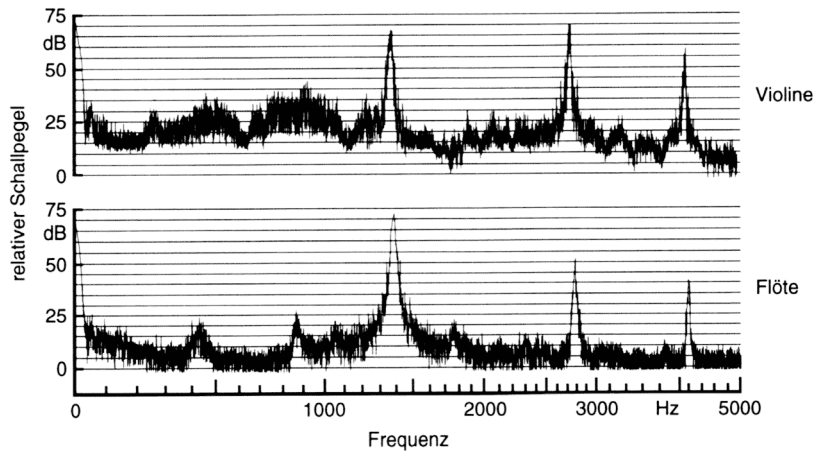


Abb. 5 Klangspektren mit verschiedener Frequenzcharakteristik (gespielter Ton: f''')<sup>8</sup>

### 1.3.5 Klangfarbe und Instrument

Die Klangfarbe, das heißt

- die Frequenzen, aus denen sich ein Klang zusammensetzt,
- deren Anteile am Gesamtpegel,
- das Verhältnis zum Rauschuntergrund und
- der Charakter des Rauschuntergrunds

werden zu einem wesentlichen Teil von der Art des Instruments bestimmt, also

- von der Instrumentengattung (Schlag-, Streich-, Blasinstrumente etc.)  
und damit von der Art der Schwingungsanregung
- von der Bauart des Instruments und
- von individuellen Eigenarten bei Einzelinstrumenten.

---

<sup>8</sup> Meyer (1999) Abb. 17, S. 27f

### 1.3.6 Klangfarbe und Spielweise

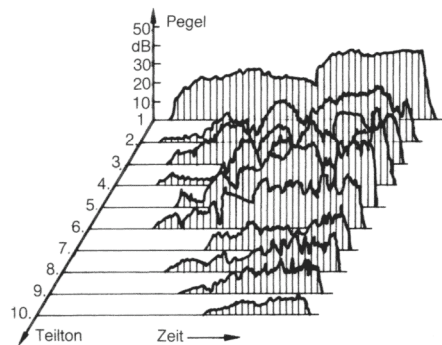
Der grundsätzliche Klangcharakter wird also vom Instrument vorgegeben. Innerhalb dessen ergeben sich allerdings für den Musiker noch relativ weitreichende Möglichkeiten, den Klang durch den Einsatz unterschiedlicher Spielweisen, das heißt Anblas-, Anschlag-, Bogentechniken etc. in gewissen Grenzen zu formen. Auf diese Möglichkeiten möchte ich allerdings hier nicht genauer eingehen, da für jedes Instrument eine Vielzahl von differenzierten Ausdrucksmitteln existiert, deren Beschreibung zu weit führen würde.

### 1.3.7 Klangfarbe und Dynamik

Für die Aufnahmetechnik wichtig ist noch der Zusammenhang zwischen Lautstärke und Klangfarbe: die sog. Klangfarbendynamik. Beim Übergang vom Pianissimo zum Fortissimo ergeben sich spezifische Änderungen im Frequenzspektrum. Die folgende Abb. zeigt dies an einem anschwellenden Klarinetton.

Man kann deutlich erkennen, dass die höheren Teiltöne erst im Verlauf der Zeit, also in diesem Fall mit steigendem Pegel hinzukommen.

Problematisch an diesem Beispiel ist allerdings, dass weder über die Zeit in Sekunden noch über den genauen Dynamikverlauf genaue Angaben vorliegen, denn auch am Beginn einer gleichbleibend starken Anregung eines Instruments, also bei einem in der quasi-stationären Phase gleich laut bleibenden Ton, entwickeln sich erst die tiefen Teiltöne und die hohen folgen mit geringem zeitlichen Abstand. Dieser Effekt ist hier nicht klar von den Auswirkungen der Dynamiksteigerung zu trennen, die hier als Ursachen der Klangfarbendynamik dargestellt werden sollen. Im Bewusstsein dieser Einschränkungen ist die Abb. 6 dennoch geeignet, den Sachverhalt zu illustrieren.



**Abb. 6**      **Anschwellender Ton mit Übergang vom Pianissimo zum Fortissimo (hier am Beispiel Klarinette)<sup>9</sup>**

Der Frequenzbereich des Spektrums kann sich beim Übergang vom Pianissimo zum Fortissimo um das Drei- bis Zehnfache vergrößern.<sup>10</sup> Die Anzahl der Teiltöne nimmt also z.T. in erheblichem Umfang zu. Dies gilt vor allem für tiefe Töne, in den höheren Lagen ist dieser Effekt bei den meisten Instrumenten weniger stark ausgeprägt. Das Lautstärkeverhältnis zum Grundton ändert sich, indem der Pegel der Teiltöne stärker zunimmt als der des Grundtones; dies gilt sowohl für tiefe als auch für hohe Töne.

Das Spektrum tiefer Töne verändert sich also insgesamt mit ansteigender Dynamik stärker als das Spektrum hoher Töne.<sup>11</sup>

Die Klangfarbendynamik als Ganzes hat darüber hinaus für die Aufnahmetechnik insofern besondere Folgen, als dass

„... der mit der Lautstärke zunehmende Teiltongehalt der Klänge dazu führt, dass relativ unabhängig von der tatsächlich gehörten Lautstärke die Dynamikstufe erkannt werden kann, mit der das Instrument tatsächlich gespielt wurde – ein Forte ist also selbst noch bei objektiv gleichem Pegel von einem Piano zu unterscheiden. Dies macht es einerseits erst möglich, aus technischen Gründen in den Pegelverlauf einer Aufnahme einzugreifen – z.B. die Dynamik einzuengen – andererseits führen zu starke Eingriffe zu einem unnatürlichen Klangbild, das durch Widersprüche zwischen Pegel- und Spektraldynamik hervorgerufen wird.“<sup>12</sup>

<sup>9</sup> Dickreiter (2003) Abb. G, S. 62

<sup>10</sup> vgl. Dickreiter (2003) S. 59

<sup>11</sup> Dickreiter (2001) S. 45

<sup>12</sup> vgl. Dickreiter (2003) S. 63

Es ist also durchaus möglich und bei Orchesterwerken mit vollem Dynamikumfang, der durchaus 70dB betragen kann, unbedingt empfehlenswert, eine ausgewogene Balance zu schaffen zwischen der im Hinblick auf die Abhörsituation der Konsumenten notwendigen Einengung der Dynamik und dem Erhalt des natürlichen Klangbildes der Aufnahme.

## 1.4 Die Zeitliche Struktur des Klangs

Nach Pegel und Frequenzspektrum möchte ich nun die zeitliche Dimension mit in den Blick nehmen: der zeitliche Verlauf eines Klangs trägt ebenfalls entscheidend zu seiner Ausdrucksqualität bei. Zur Beschreibung des Zusammenhangs zwischen Pegel und Zeit spricht Meyer von drei charakteristischen Phasen<sup>13</sup>:

- Einschwingvorgang: der Zeitraum von der völligen Ruhe bis zur vollständigen Entwicklung des eigentlichen Tons,
- quasi-stationärer Phase, in der der Ton praktisch keine Veränderung erfährt,
- Ausklingvorgang: in dem der Ton nach Beendigung der Anregung bis zur völligen Ruhe nachklingt.

Aus diesen Phasen baut sich dann die sog. Hüllkurve des Klangs auf.

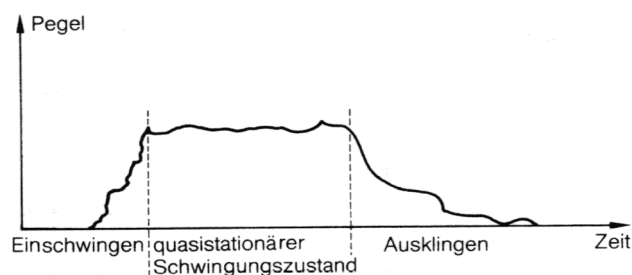


Abb. 7 Hüllkurve<sup>14</sup>

<sup>13</sup> vgl. Meyer (1999) S. 27f

<sup>14</sup> Dickreiter (2003) Abb. A, S. 57

### 1.4.1 Einschwingvorgang

Ein so kompliziertes Resonanzsystem, wie es ein Musikinstrument darstellt, kann nicht von jetzt auf gleich losschwingen, sondern muss erst einmal angestoßen und eingeschwingen werden. Es vergeht also eine gewisse Zeit, bis sich eine gleichmäßige Schwingung aufgebaut hat.

„Das hängt damit zusammen, dass ein Teil der von außen in das Resonanzsystem hineingesteckten Energie wieder abgestrahlt wird, ein anderer Teil jedoch absorbiert wird. Solange mehr Energie nachgeliefert als verbraucht wird, steigt die Amplitude an. Erst wenn ein Gleichgewicht zwischen der hineingesteckten Energie einerseits und der absorbierten und abgestrahlten Energie andererseits erreicht ist, hat die Schwingung ihre endgültige Stärke erreicht.“<sup>15</sup>

Dieser Vorgang hängt stark von der Bauart und sogar von der Ausführung des einzelnen Instruments ab und gestaltet sich deshalb relativ individuell, obwohl man z.B. über die Dauer des Klangeinsatzes allgemeine Aussagen machen kann, die in der folgenden Tabelle zusammengefaßt sind.

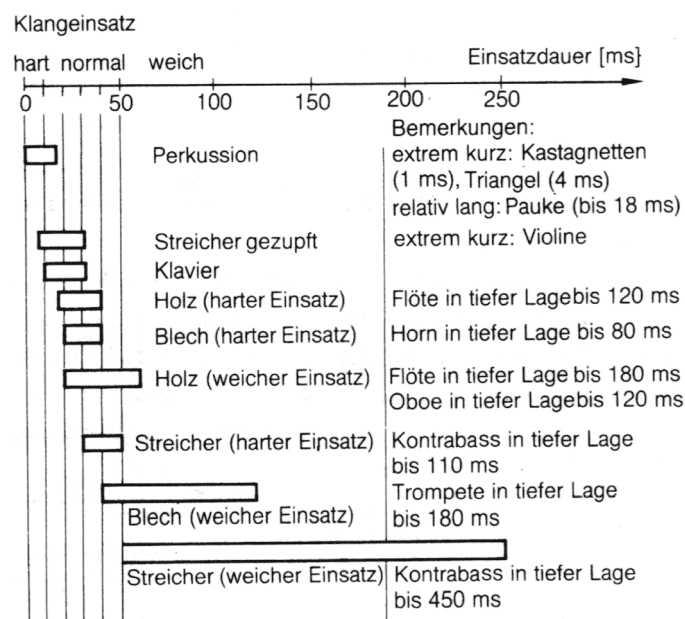


Abb. 8 Minimale bis maximale Einschwingdauer bei Musikinstrumenten<sup>16</sup>

<sup>15</sup> Meyer (1999) S. 39

<sup>16</sup> Dickreiter (2003) Abb. B, S. 57

Beim Einschwingvorgang werden nicht nur Schwingungen erzeugt, die im weiteren Verlauf durch das Resonanzverhalten des Musikinstruments als Teiltöne den eigentlichen Klang bilden, sondern auch Klanganteile,

- die aus einzelnen unharmonischen Schwingungen bestehen können, deren Tonhöhe noch identifizierbar ist (beispielsweise Kiekser bei unsauberem Ansatz der Bläser),
- die un stetig, also nur zeitweilig und mit wechselnder Frequenz auftreten oder
- die über ein breites Spektrum verteilt sein können, mithin vom Ohr als geräuschhaft wahrgenommen werden (s.a. Rauschuntergrund).

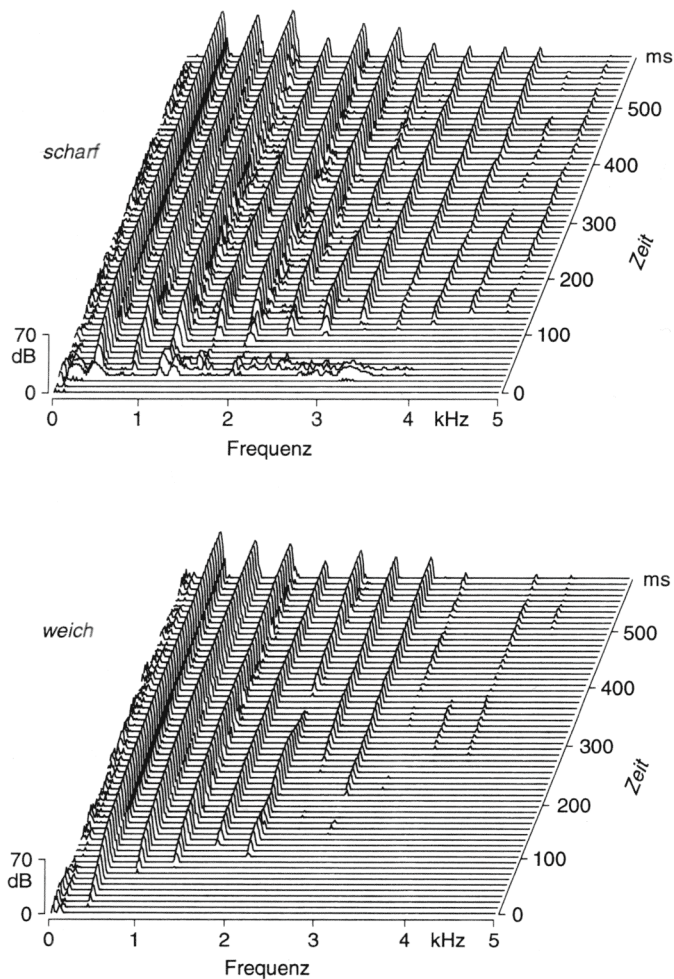
*„Auf diese Weise entstehen im Tonansatz charakteristische Beimischungen, die für jede Instrumentengruppe auf Grund der Lage der Resonanzen typische Eigenarten aufweisen.“<sup>17</sup>*

Die Rauschanteile sind nicht in jeder Spielweise und Dynamikstufe gleich stark am Klang beteiligt. Je weicher ein Ton angesetzt wird, desto weniger unharmonische Anteile werden beim Einschwingen erzeugt. In Folge dessen bilden sich anschließend die hohen Teiltöne weniger stark aus. Das Spektrum des weich angesetzten Tons weist also weniger hohe Frequenzanteile auf.

Die Abb. 9 illustriert diesen Zusammenhang am Beispiel eines scharf und eines weich angesetzten Flötentones. Man kann deutlich erkennen, dass zum einen im Spektrum des scharf angeblasenen Tones ein relativ breitbandiges Anblasgeräusch enthalten ist, das dem weich angeblasenen komplett fehlt. Zum anderen enthält letzterer auch wesentlich weniger, später einsetzende und leisere Klangkomponenten oberhalb von 3kHz, was zusammen mit dem fehlenden Anblasgeräusch zu einem als weich charakterisierten Klang führt.

---

<sup>17</sup> Meyer (1999) S. 41



**Abb. 9** Zeitliche Entwicklung des Klangspektrums bei unterschiedlichem Tonansatz (Flöte, Ton g').<sup>18</sup>

Übertragen auf andere Instrumente kann man also sagen, dass mit Hilfe der Spieltechnik generell die Einschwingphase relativ stark variiert werden kann. Dies hat Auswirkungen auf die Dauer und den Klangcharakter in der Einschwingphase selbst und auch für den Teiltonaufbau des Klangs in der quasi-stationären Phase. Je stärker die Anregung der Schwingungen im Instrument erfolgt, desto schneller erfolgt der Klangeinsatz. Gleichzeitig steigt aber der Geräuschanteil und der Anteil der höheren Teiltöne an.

<sup>18</sup> Meyer (1999) S. 40

Bei weicherem Einsatz enthält auch die quasi-stationäre Phase deutlich weniger hohe Klanganteile, aber auch weniger Rauschkomponenten.

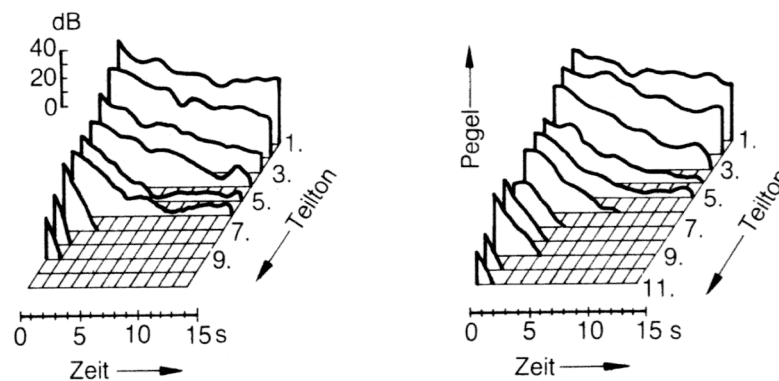
Da sich die allgemeinen Aussagen über das Klangspektrum weitgehend auf die quasi-stationäre Phase beziehen, beschränke ich mich auf diesen Hinweis und widme diesem Thema kein eigenes Kapitel.

### **1.4.2 Ausklingvorgang**

Bei den Blasinstrumenten wie auch bei den Streichinstrumenten ist der Ausklingvorgang aufgrund der schnell abbrechenden Anregung der Schwingungen recht kurz.

Eine besondere Rolle spielt er hingegen bei den Zupf- und Schlaginstrumenten, weil wegen der fehlenden Daueranregung gar kein stationärer oder quasi-stationärer Zustand auftritt, so dass das Einschwingen direkt in das Abklingen übergeht. Besonders interessant in diesem Zusammenhang sind die besaiteten Tasteninstrumente, da bei ihnen nach der sehr kurzen Phase der Schwingungsanregung eine sehr lange Phase des Ausklings folgen kann, die es einfacher macht, den Klangverlauf beim Hören bewusst wahrzunehmen.

Wenn man Ergebnisse von entsprechenden Messungen des Ausklingvorgangs betrachtet, lässt sich feststellen, dass der Pegel wie beim Hall exponentiell abnimmt – von instrumentenspezifischen Unregelmäßigkeiten einmal abgesehen. Auch verändert sich das Klangspektrum im Verlauf: hohe Klangkomponenten verklingen schneller, so dass der Ton beim Ausklingen dumpfer wird.<sup>19</sup>



**Abb. 10** Ausklingen von Musikinstrumenten (hier am Beispiel zweier Klaviertöne)<sup>20</sup>

Eine weitere Analogie zum Hall ist die Unterscheidung von Nachklingdauer und Nachklingzeit, wobei erstere diejenige Zeitspanne bezeichnet, in der der ausklingende Ton noch hörbar ist, sein Pegel also noch über dem jeweils vorhandenen Störpegel liegt. Damit ist die Nachklingdauer nicht nur von der Stärke des Ausgangssignals, sondern auch von der Stärke des Störpegels abhängig.

Bei der Nachklingzeit wird hingegen nur die Flankensteilheit des Pegelabfalls beim Ausklingen beschrieben, indem – genau wie bei der Bestimmung von RT 60 – die Zeit angegeben wird, in der der Pegel um 60dB abnimmt.<sup>21</sup>

<sup>19</sup> vgl. Meyer (1999) S. 29 und Dickreiter (2003), S. 56

<sup>20</sup> Dickreiter (2003) Abb. C, S. 57

<sup>21</sup> vgl. Meyer (1999) S. 42f

## **2 Abstrahlverhalten natürlicher Instrumente**

Wie verändern sich nun Pegel und Frequenzspektrum des Klangs in Abhängigkeit von der Richtung? Um diese Fragen beantworten zu können, muss die nächste Dimension des musikalischen Klangs betrachtet werden: Die Ausbreitung der vom Instrument erzeugten Schallwellen im Raum, wobei mit Raum nur die Dreidimensionalität gemeint ist, denn den ganzen Bereich der Raumakustik möchte ich hier aussparen, um den Umfang dieser Arbeit einzugrenzen, auch wenn die Betrachtungen damit eher theoretischer Natur sind, da in der Praxis fast immer ein Raum oder zumindest eine Bodenfläche die Schallausbreitung beeinflusst. Gerade bei Instrumenten mit komplizierter Abstrahlcharakteristik spielt aber der Raum für den Klang eine wesentliche Rolle: Er bewirkt im besten Falle durch günstige Reflexionen eine Integration der in verschiedene Richtungen abgestrahlten Frequenzbänder zu einem als vollständig wahrgenommenen Gesamtklang.

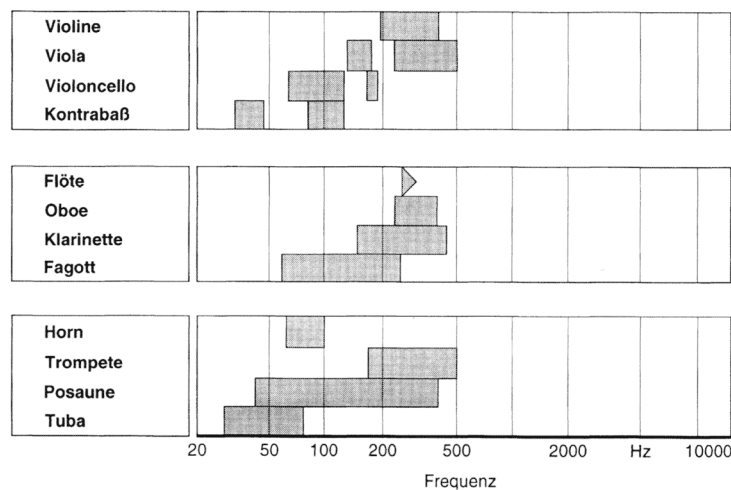
Um also direkte Schlüsse auf eine geeignete Mikrofonposition ziehen zu können, wäre die genaue Kenntnis der jeweiligen Raumakustik unabdingbar, was aber in der Praxis eher selten ist. Dies führt dazu, dass die Abstrahlcharakteristik ohne Berücksichtigung der Raumakustik nur Anhaltspunkte für eine Mikrofonierung geben kann, denn es handelt sich lediglich um die Beschreibung des vom jeweiligen Instrument abgestrahlten Direktschalls.

### **2.1 Richtcharakteristiken allgemein**

Dickreiter spricht davon, dass Schallquellen, die gegenüber den Wellenlängen des abgestrahlten Schalls klein sind, den Schall weitgehend ungerichtet abstrahlen. Dabei stellt sich allerdings die Frage, wie groß der Unterschied dafür jeweils sein muss. Im Verhältnis zu den Wellenlängen große Schallquellen bündeln den Schall und strahlen ihn damit in eine oder mehrere

Richtungen gebündelt ab. Da die Wellenlängen der Spektralkomponenten musikalische Klänge zwischen etwa 17m (bei 20Hz) und etwa 1,7cm (bei 20kHz) liegen können, bündeln die Instrumente den Schall frequenzabhängig, teilweise auch in sehr komplexer Form. Als grobe Faustregel kann gelten, dass Frequenzen im Bassbereich – unter etwa 250Hz – im allgemeinen kugelförmig ungerichtet, Frequenzen darüber zunehmend gerichtet abgestrahlt werden.<sup>22</sup>

Etwas präzisere Angaben finden sich bei Meyer im Zusammenhang mit der folgenden Abb. Darin weist er auf instrumentenspezifische Besonderheiten hin, die Dickreiters Aussagen relativieren:



**Abb. 11 Bereiche allseitig gleichmäßiger Schallabstrahlung von Orchesterinstrumenten<sup>23</sup>**

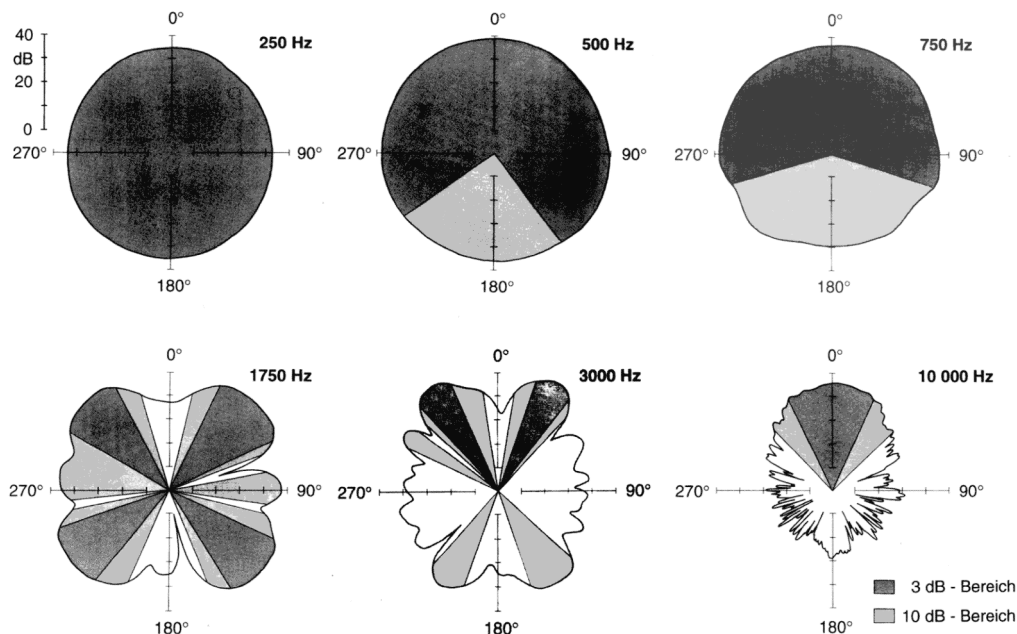
Diese Besonderheiten sind durch die verschiedenen Bauformen der Instrumente bedingt. Die Aufteilung der allseitig gleichmäßige Schallabstrahlung auf zwei Frequenzbereiche bei den Streichern (ohne Geige) ist u.a. darauf zurückzuführen, dass mehrere unterschiedliche Resonanzsysteme vorhanden sind. Auf die ebenfalls andeuteten speziellen Verhältnisse bei der Querflöte gehe ich noch unter dem Abschnitt *Abstrahlverhalten der Querflöte* ein.

<sup>22</sup> Dickreiter (1997) S. 97

<sup>23</sup> Meyer (1999), Abb. 55, S. 107

## 2.2 Möglichkeiten der Beschreibung von Richtcharakteristika

Um die Beschreibung der komplizierten, dreidimensionalen Verhältnisse bei der Schallabstrahlung zu vereinfachen, wurde der Begriff der Halbwertsbreite eingeführt, der den Bereich beschreibt, in dem der Pegel nicht mehr als 3dB unter dem Maximalwert liegt, wo der Unterschied also praktisch nicht zu hören ist. „Als vorteilhaft für die Diskussion der räumlichen Wirkung hat es sich (...) erwiesen, diejenigen Winkelbereiche zu bestimmen, in denen der Schallpegel nicht mehr als 3dB bzw. nicht mehr als 10dB unter den Maximalwert der Kurve absinkt.“<sup>24</sup> Dies begründet sich in der Tatsache, dass -3dB eine Halbierung der Schallenergie bedeutet – z.B. durch eine Halbierung der Anzahl der Spieler – während -10dB in etwa einer Halbierung der empfundenen Lautstärke entspricht.



**Abb. 12** Polardiagramme einer Oboe in verschiedenen Frequenzbändern. Die 0°-Richtung entspricht der Achse des Schallbeckers.<sup>25</sup>

<sup>24</sup> vgl. Meyer (1999) S. 108

<sup>25</sup> Meyer (1999) Abb. 56, S. 109

Eine Darstellung dieser beiden Aspekte der Richtcharakteristik erfolgt häufig in Polardiagrammen (Abb. 12), wie sie in ähnlicher Form auch bei der Darstellung der Richtcharakteristika von Mikrofonen Anwendung finden. Dabei werden jeweils der -3dB und der -10dB Bereich für ein bestimmtes Frequenzband (entgegen der Abb. meist in Oktavbändern) zusammen in einem Diagramm dargestellt. Man erhält also mehrere Diagramme:

In der Regel versucht man den Darstellungsaufwand dadurch klein zu halten, dass man sich auf bestimmte Ebenen beschränkt, die aber nicht notwendigerweise horizontal liegen. Deshalb ist die 0°-Richtung extra angegeben, so dass man sich z.B. bei den vorliegenden Polardiagrammen die vollständigen Richtcharakteristiken im Raum nach Meyer rotationssymmetrisch um die 0°-180°-Achse vorstellen kann. Dies führt allerdings zu dem Problem, dass dabei die Werte der 270°- und der 90°-Richtung vermischt werden, so dass diese Vorstellung mit dem Zusatz „für die Praxis hinreichende Genauigkeit“ versehen werden muss. Außerdem ist damit noch nicht die Abschattung durch den Spieler berücksichtigt, was in der Praxis überhaupt keinen Sinn macht, so dass sich der praktische Wert dieser Darstellungsform auf die Bereiche vor dem Spieler beschränkt, für einen Anhaltspunkt zur Mikrofonpositionierung aber damit in den meisten Fällen ausreichen wird.

### 2.2.1 Dynamik der Richtcharakteristik

Als Dynamik der Richtcharakteristik wird der Pegelunterschied zwischen dem größten und dem kleinsten Wert im Polardiagramm bezeichnet. Dieser Parameter ist beim Hören im Konzertsaal weniger wichtig, da die Schallverteilung bei gängigen Abständen zu den Zuhörern durch vielfältige Reflexionen des Raumes ergänzt wird, so dass die Einschnitte deshalb nicht mehr so deutlich hervortreten.<sup>26</sup> Anders verhält es sich dagegen bei Mikrofonaufnahmen, bei denen hauptsächlich Direktschall aufgenommen werden soll<sup>27</sup>. Dies gilt in besonderem Maße im Falle von Stützmikrofonen oder bei Aufnahmen in Studioräumen ohne passenden Raumklang: Hier ist es wichtig, die Richtungen der tiefsten Einschnitte und des maximalen Pegels für wichtige Frequenzbereiche zu kennen, da ggf. bei einer ungünstigen Aufstellung erhebliche unerwünschte Pegel- und Klangfarbenschwankungen während der Aufnahme entstehen können, wenn das Instrument auch nur geringfügig gegenüber dem Mikrofon bewegt wird (s.a. Einfluss des Musikers).

---

<sup>26</sup> vgl. Meyer (1999) S. 108

<sup>27</sup> vgl. Dickreiter (1997) S. 97

## 2.3 *Praktische Relevanz*

Welche Komponenten der Abstrahlcharakteristik von Instrumenten interessieren mich als Toningenieur überhaupt? Für den Klang einer Aufnahme sind in erster Linie die Pegel der einzelnen Frequenzbereiche von entscheidender Bedeutung. Diese werden aber im Detail von allen im ersten Teil erwähnten Aspekten des Klangverhaltens mitbestimmt, so dass es für eine Beurteilung der Natürlichkeit eines Klangs wichtig ist, seinen Aufbau zu kennen und analytisch zu hören.

Die Richtcharakteristik der Instrumente macht es möglich, mit der Mikrofonposition die Klangfarbe des Instruments auf der Aufnahme mitzubestimmen. Dies gilt um so mehr, je geringer der Abstand zwischen Mikrofon und Instrument ist.<sup>28</sup>

Der zeitliche Verlauf eines Einzelklangs wird dagegen für die Positionierung von Mikrofonen weniger relevant sein, während er ggf. für die Auswahl des Mikrofons wegen des Impulsverhaltens und der damit verbundene Abbildung von kurzen Pegelspitzen bedeutsam sein kann, um einerseits die feinen Nuancen, die sich daraus ergeben, wiederzugeben, andererseits aber Übersteuerungen zu vermeiden.

---

<sup>28</sup> vgl. Dickreiter (1997) S. 97

## **3 Methoden und Bedingungen der Messung**

In diesem Kapitel möchte ich kurz auf einige Schwierigkeiten bei der Ermittlung der Richtcharakteristik eines Instruments hinweisen. Dabei ist mir durchaus bewusst, dass dieses Thema relativ komplex ist und noch wesentlich mehr Aspekte beinhaltet. Ich habe diesen Teil also absichtlich kurz gehalten.

### ***3.1 Zeitliche Dimension bei der Messung***

Um die zeitliche Dimension bei der Ermittlung von möglichst allgemeingültigen, das heißt über den gesamten Tonumfang des Instruments gültigen und damit in der Praxis auch anwendbaren Richtcharakteristiken mit einzubeziehen, werden die Messwerte über einen bestimmten Zeitraum gemittelt, in dem möglichst die Tonlagen mit typischer Gewichtung vorkommen. Dies ist auch deshalb eine für die Praxis ausreichende Annäherung, weil man wohl kaum während der Aufnahme die Mikrofonposition grundsätzlich verändern wird, um einzelne Töne aus unterschiedlichen Richtungen aufzunehmen. Eine Mikrofonposition stellt deshalb immer einen Kompromiss dar, was im Übrigen auch beim natürlichen Hören mit der Position des Hörers nicht anders ist, nur wirkt sich dabei der Anteil des Diffusschalls nicht so störend aus wie bei Aufnahmen. Das hängt damit zusammen, dass diesen bei der Wiedergabe noch der Raumklang des Abhörortes überlagert wird, was dann ggf. zu einem undifferenzierten Höreindruck führt.

### **3.2 Messraum**

Es stellt sich vor allem die Frage, welchen Einfluss der Raum hat, in dem gemessen wird. Dass es in Bezug auf die Akustik gravierende Unterschiede zwischen verschiedenen Räumen gibt, zeigt sich besonders deutlich bei Instrumenten mit ausgeprägter Richtcharakteristik, die gleichzeitig zu Abstrahlung verschiedener Frequenzbänder in unterschiedliche Richtungen neigen<sup>29</sup>. Um dennoch ein möglichst ausgewogenes Klangbild im Raum selbst und auf der jeweiligen Aufnahme zu erhalten, müssen z.B. in Konzertsälen für Orchester große bauakustische Anstrengungen unternommen werden<sup>30</sup>.

Da aber die akustischen Gegebenheiten in jedem Raum wieder ein wenig anders und dazu noch hoch komplex sind, so dass in der Praxis schon kleine Unterschiede zu relativ deutlichen Veränderungen des Klangs führen, ist es im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich auf die Wirkungen des Raumes auf den Klang im einzelnen einzugehen.

Um bei Messungen trotz der oben beschriebenen widrigen Bedingungen zu allgemein gültigen Ergebnissen zu kommen, wird in speziellen, extrem reflexionsarmen Räumen gemessen, was im Prinzip eine Freifeldmessung simuliert. Die Einbeziehung des Diffusschalls in die Beurteilung des Klangs wird damit den Anwendern überlassen, die sich dabei immer noch auf ihre Ohren verlassen müssen. Dies kann als weiteres Argument dafür gelten, dass man sich mit den Klangeigenschaften von natürlichen Instrumenten auseinandersetzen muss – das Ziel einer möglichst natürlich klingenden Aufnahme immer vorausgesetzt.

---

<sup>29</sup> s. a. Meyer (1999) S. 210ff

<sup>30</sup> s. a. Meyer (1999) S. 159ff

### **3.3 Einfluss des Musikers**

Da Musiker und Instrument als Einheit zu betrachten sind, stellt sich die Frage, welchen Einfluss Haltung und Bewegung des Instrumentalisten auf die Abstrahlcharakteristik haben. Dies spielt besonders dann eine wichtige Rolle, wenn eine sehr direkte Mikrofonierung gefragt ist. Dass der Musiker wie auch das Instrument selbst besonders für höhere Frequenzen als Schallhindernis wirkt, versteht sich von selbst.

Die Bewegungen des Musikers, die bei der Interpretation meist zur Verstärkung des Ausdrucks ausgeführt werden, können auf Grund der Gerichtetheit des Instruments und bei Druckgradientenempfängern durch die Richtwirkung des Mikrofons und den Nahbesprechungseffekt zu erheblichen unerwünschten Pegel- und Klangfarbenveränderungen auf der Aufnahme führen.

Daher ergeben sich in der Praxis ggf. Probleme mit Musikern, die keine Mikrofonerfahrung haben. Ein Mikrofon-gewohnter, live-erprobter Sänger aus dem Rock/Pop-Bereich mag dagegen im Zusammenspiel von Stimme und Mikrofonposition gezielt den Klang variieren können – allgemein ist jedoch ein Bewusstsein dafür nicht vorauszusetzen.

Die Auswirkungen einer veränderten Mikrofonposition sind selbstverständlich dann für den Musiker besonders schwer einzuschätzen, wenn er gar keine direkte Wiedergabe des abgenommenen Mikrofonsignals hört. Deshalb ist es in solchen Fällen hilfreich, für ein entsprechendes Kopfhörersignal zu sorgen oder, falls dies nicht möglich ist, die Mikrofone so aufzustellen, dass die normalen Bewegungen des Musikers sich möglichst wenig auf Pegel und Klangfarbe der Aufnahme auswirken können. Letzteres kann aber ebenfalls mit Kompromissen verbunden sein, da sich dabei der Anteil des Diffusschalls auf der Aufnahme nicht mehr so gut begrenzen lässt.

### **3.3.1 Messung ohne Musiker**

Neben der realen und damit praxisnahen Betrachtung von Musikern, die ihr Instrument spielen, werden bei Messungen auch mechanische Anordnungen angewandt, die den Musiker ersetzen und das Instrument vollständig kontrollierbar anregen. Teilweise geht man sogar noch einen Schritt weiter und beschallt die Instrumente nur noch mit definierten Geräuschen. Diese Methode wird hauptsächlich angewandt, um das Resonanzverhalten zu erforschen.

Damit erhält man eine Referenz, anhand derer man beurteilen kann, ob Unregelmäßigkeiten beim Spielen die Ergebnisse verfälschen, was zu wiederholbaren Ergebnissen führt und somit die wissenschaftliche Aussagekraft verstärkt.

## 4 Klangverhalten der Querflöte

In diesem Teil der Arbeit möchte ich auf Aspekte des Klangverhaltens der Querflöte eingehen – soweit sie nicht schon oben bei der Erklärung von allgemeinen Sachverhalten eingeflossen sind. Es geht hier also um Details und Besonderheiten dieses Instruments.

Grundsätzlich ist noch zu bemerken, dass die Querflöte zu den Aerophonen (Blasinstrumenten) gehört und, obwohl sie heute meist aus Metall (Silber) gefertigt wird, zu der Untergruppe der Holzblasinstrumente gerechnet wird. Moderne Flöten bestehen aus einer zylindrischen Röhre, die mit Bohrungen (Tonlöchern) versehen ist, die über ein komplexes System von Klappen geschlossen werden können. Das Anblas- oder Mundloch seitlich am Kopfstück ist mit einer Mundlochplatte zum Aufstützen der Unterlippe versehen. Ihr Tonumfang beträgt 3 Oktaven:  $c^1 - c^4$  (Große Flöte in C). Es gibt noch weitere Varianten wie beispielsweise die Piccoloflöte, auf die ich aber hier nicht näher eingehen möchte.

### 4.1 Dynamik

Wie alle Holzblasinstrumente zeigt die Flöte eine starke Abhängigkeit der Dynamik von der Tonhöhe. Schon nebeneinander liegende Töne können ein sehr unterschiedliches Dynamikverhalten aufweisen. Dies ist durch den Dipolcharakter bedingt, auf den ich noch im Zusammenhang mit der Abstrahlcharakteristik der Flöte genauer eingehen werde.

Meyer hat deshalb die Pegel zur Bestimmung der Dynamik unter anderem auch bei schnell gespielten Tonleitern gemessen, so dass diese Effekte durch die Mittelung über die Zeit in den Hintergrund treten: Dabei liegt der Pegel zwischen 82 und 94dB, es handelt sich also nur um 12dB Differenz zwischen ganz laut und ganz leise.

Für Einzeltöne in tiefer Lage ergibt sich eine Dynamik 19dB (von 67dB-86dB), in der höchsten Lage sind es 100dB beim Fortissimo und 86dB beim Pianissimo, also nur 14dB Dynamik. Ein Forte liegt im Mittel bei 91dB.<sup>31</sup> Die Flöte zeigt also gerade im oberen Bereich eine geringe Dynamik auf relativ hohem Niveau. Durchschnittlich sind die Pegel der Holzblasinstrumente um 10dB höher als die der Streichinstrumente, d.h. die Instrumente klingen etwa doppelt so laut.<sup>32</sup>

## 4.2 Klangspektrum

Die Querflöte hat einen bemerkenswert gleichmäßigen Teiltonaufbau: Wie bei keinem anderen Orchesterinstrument ist der Grundton bis auf wenige Ausnahmen<sup>33</sup> am stärksten ausgebildet, die Intensität der Teiltöne nimmt mit steigender Ordnungszahl stetig ab. Das Spektrum reicht laut Dickreiter je nach Grundtonhöhe kaum über 3000 bis 6000Hz hinaus<sup>34</sup>. Im Gegensatz dazu spricht Bork davon, dass das Klangspektrum der Flöte bis an die obere Frequenzgrenze des [elektroakustischen, MD] Übertragungsbereichs heranreicht [also auch bis an die Frequenzgrenze des Hörbereichs bei 20kHz]<sup>35</sup>. Diese Diskrepanz ist u.U. damit zu erklären, dass die hohen Teiltöne im Flötenklang nur mit geringer Amplitude auftreten. Leise Klänge haben sogar fast den Charakter einer Sinusschwingung, da dann die Obertöne noch geringere Pegel erreichen.<sup>36</sup>

---

<sup>31</sup> vgl. Meyer (1999) S. 60

<sup>32</sup> vgl. Dickreiter (2003) S. 71

<sup>33</sup> Hier ist besonders der Bereich von c' (262Hz) bis es' oder e' zu nennen, wo der Grundton nicht der lauteste Teilton ist. vgl. Meyer (1999) S. 59.

<sup>34</sup> Dickreiter (2001) S. 121

<sup>35</sup> Bork (1991) S. 351

<sup>36</sup> Dickreiter (2001) S. 121

Formanten sind bei der Flöte nur sehr schwach ausgeprägt und darüber hinaus noch von dem individuellen Instrument abhängig. Deshalb wird die Flöte hauptsächlich am Anblasgeräusch und der relativen Obertonarmut erkannt.<sup>37</sup>

Eine weitere Besonderheit im Flötenklang stellt laut Bork eine Komponente bei 11kHz dar, die nur in der oberen Oktave auftritt, dabei aber relativ unabhängig vom gespielten Grundton ist. Da dieser Klanganteil selbst noch in einem Orchestertutti herauszuhören ist, wenn die anderen Teiltöne des Flötenklangs von anderen Instrumenten verdeckt werden, fordert Bork höchste Ansprüche an die elektroakustische Übertragungskette zu stellen, um bei Aufnahmen diese typische Klangfärbung hörbar zu machen.<sup>38</sup>

#### 4.2.1 Rauschuntergrund

Kennzeichnend für die Flöte ist der relativ starke Geräuschhintergrund, hervorgerufen u.a. durch das Anblasgeräusch.<sup>39</sup> Wie schon im allgemeinen Kapitel über den Rauschuntergrund dargelegt, treten die Rauschkomponenten bei der Flöte nicht nur frequenzunabhängig auf, sondern enthalten auch tonal wirkende Anteile, besonders bei den überblasenen Tönen. Sie kommen durch eine ständige statistische Anregung der unbenutzten Resonanzen zustande, denn das Flötenrohr hört ja nicht jeweils beim ersten geöffneten Tonloch auf, sondern bietet je nach Tonhöhe noch Resonanzraum für bestimmte Frequenzen:

Zwischen  $e''$  bis  $d'''$  finden sie sich bei der halben Frequenz des Grundtones und den ungradzahligen Vielfachen davon; ab  $e'''$  aufwärts bei  $1/3$  und  $2/3$  der Grundtonfrequenz und den nicht durch drei teilbaren Vielfachen. Bei Gabelgriffen können die Rauschspitzen auch unharmonisch liegen.

---

<sup>37</sup> vgl. Dickreiter (2003) S. 71

<sup>38</sup> vgl. Bork (1991) S. 356

<sup>39</sup> Dickreiter (2001) S. 121

Die Pegel, mit denen diese Spitzen den Rauschuntergrund überragen, hängen in weiten Grenzen von der Qualität des Instruments und der Spieltechnik ab.

### **4.3 Tonerzeugung**

Der Flötist richtet einen schmalen Luftstrahl auf die Mundlochkante. Die Flötenrohrresonanzen bewirken dann, dass dieser Luftstrahl im sehr schnellen Wechsel in den Flötenkopf hinein bzw. über die Mundlochkante hinweg geleitet wird, wobei eine obertonreiche Kippschwingung erzeugt wird.<sup>40</sup>

Dickreiter spricht in diesem Zusammenhang von einem pendelnden Luftblatt, das zwischen der resonierenden Luftsäule in der Flöte und der umgebenden Luft hin und her schwingt, was zu dem ständig hörbaren Anblasgeräusch führt.<sup>41</sup>

Der Flötist kann dabei die spektrale Zusammensetzung dieser Kippschwingung durch den Ansatz noch erheblich beeinflussen. So wirkt sich die Geschwindigkeit des ankommenden Luftstrahls (der Anblasdruck) nicht nur auf die Dynamik aus, sondern führt auch zu einer Veränderung der Klangfarbe, weil die ersten Obertöne besser verstärkt werden. Der Klang wird heller.<sup>42</sup>

Hinzu kommt noch die Variationsmöglichkeit durch die teilweise Abdeckung des Mundloches: Je weiter die Öffnung verdeckt wird, desto geringer wird auch der Abstand zwischen der Mundöffnung des Flötisten und der Anblaskante am Flötenmundstück. Dies hat zur Folge, dass der Luftstrahl an den Rändern weniger aufweicht und die Obertöne bei gleichbleibender Stärke des Grundtones stärker ausgebildet werden, die Klangfarbe also aufgehellt wird.<sup>43</sup>

---

<sup>40</sup> vgl. Bork (1991) S. 351

<sup>41</sup> vgl. Dickreiter (2003) S. 68

<sup>42</sup> vgl. Bork (1991) S. 351 und Meyer (1999) S. 59

<sup>43</sup> vgl. Meyer (1999) S. 59

Entscheidend beim Ansatz ist weiterhin, dass die Anblasrichtung das Verhältnis zwischen gradzahligen und ungradzahligen Teiltönen beeinflusst:

Ein symmetrisch auf die Anblaskante gerichteter Luftstrahl hebt die Quinte hervor, während sich bei etwas auswärts oder einwärts gerichtetem Strahl die Oktave sowie die Doppeloktave verstärken und die Quinte zurückgeht.

### **4.3.1 Tonhöhe**

Die Tonhöhe wird bestimmt durch die Länge der Luftsäule, die durch die Griffe und damit durch die unterschiedlichen Öffnungszustände der Klappen variiert werden kann. Der Abstand zwischen Mundloch und dem ersten geöffneten Tonloch entspricht bei den nicht überblasenen Tönen der halben Wellenlänge der Grundtonfrequenz. Genau genommen ist er immer etwas kürzer, was dadurch bedingt ist, dass außerhalb der Öffnungen immer noch etwas Luft mitschwingt (Mündungskorrektur<sup>44</sup>).

## **4.4 Zeitlicher Verlauf**

### **4.4.1 Einschwingverhalten**

Auffällig bei der Querflöte ist der relativ lang andauernde Klangeinsatz. Er beginnt mit dem sog. Vorläuferton, der bei tiefen Flötentönen etwa drei Oktaven über dem Grundton, bei hohen Tönen etwas unter dem Grundton liegt. Insgesamt kann das Einschwingen bis etwa 100ms dauern, an der Präzision des Zusammenspiels im Orchester gemessen ein relativ unprägnanter Klangeinsatz.<sup>45</sup>

Wie schon oben ausgeführt, ist das Einschwingverhalten aber auch wesentlich von der Art des Tonansatzes abhängig. Die Abb. 9 zeigt,

---

<sup>44</sup> vgl. Meyer (1999) S. 116

<sup>45</sup> Dickreiter (2001) S.121

„... dass bei einem scharf angeblasenen Flötenton der Beginn durch ein 40ms dauerndes Artikulationsgeräusch markiert wird. Gleichzeitig entwickeln sich der Grundton und der dritte Teilton sehr schnell; bereits nach 70ms hat der Grundton seine endgültige Stärke erreicht. Der Oktavteilton und der dritte Teilton erreichen ihren Endwert nach 90 bzw. 100ms, die höheren Teiltöne benötigen 100-120ms.

Verglichen damit ist bei dem weichen Toneinsatz die Einschwingzeit des Grundtones (mit 120ms) gar nicht einmal so viel länger; der weiche Charakter kommt vor allem durch die Verzögerung der hohen Teiltöne und durch die Geräuschfreiheit zustande.

Im übrigen weist dieses Beispiel aber auch darauf hin, dass die Schnelligkeit des Einschwingens ein typisches Merkmal der Spielweise ist und als Ausdrucksmittel gestaltet werden kann. Als Charakteristikum für das Instrument kann dagegen höchstens die kürzest mögliche Einschwingdauer eines staccato-Tones gewertet werden.“<sup>46</sup>

#### 4.4.2 Ausklingverhalten

Während der Ausklingvorgang bei den anderen Blasinstrumenten wegen des plötzlichen Abbrechens der Lippen- bzw. Blattschwingungen durch eine sehr kurze Nachklingzeit charakterisiert ist, kann er bei der Flöte etwas vom Spieler beeinflusst werden: ein normal abgesetzter Flötenton hat eine Nachklingzeit von 125ms für den Grundton und 80-100ms für die folgenden drei Obertöne. Ein weiches Beenden des Tons hat eine Verlängerung der Nachklingzeit auf 200ms für den Grundton und die Oktave sowie auf 120ms für die folgenden Obertöne zur Folge.

Da das Flötenrohr wenig Speicherkapazität für die anregende Energie hat und selbst kaum an der Schwingung beteiligt ist, sind diese Werte im Verhältnis zu denen der Saiteninstrumente immer noch relativ kurz.<sup>47</sup>

---

<sup>46</sup> Meyer (1999) S. 40

<sup>47</sup> vgl. Meyer (1999) S. 61

## 5 Abstrahlverhalten der Querflöte

Die Eigenschaft, dass im Gegensatz zu den anderen Blasinstrumenten des Orchesters der Schall nicht nur aus den Tonlöchern bzw. dem Schalltrichter, sondern auch am Mundstück abgestrahlt wird, ist charakteristisch für die Querflöte.

### 5.1 Richtwirkung der harmonischen Klangkomponenten

Da beide Öffnungen akustisch in Bezug auf die harmonischen Teiltöne als etwa gleichstarke Kugelschallquellen wirken, ergibt sich in ihrer Überlagerung ein Dipol. Von entscheidender Bedeutung für das Abstrahlverhalten ist deshalb die Schalldruckverteilung innerhalb der Flöte. Diese geht aus der folgenden Abb. hervor:

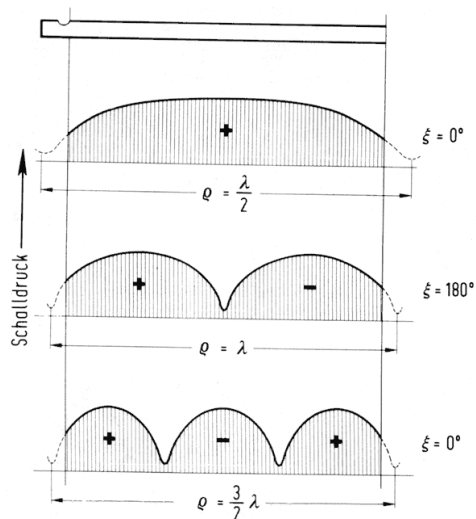


Abb. 13 Schwingungszustände der Flöte

Für den Grundton und alle gradzahligen Obertöne ist sie symmetrisch, das heißt der Schall tritt an den Enden mit gleichem Phasenszenwinkel aus ( $\xi = 0^\circ$ ). Alle ungradzahligen Obertöne hingegen strahlen die beiden Öffnungen phasengedreht ab ( $\xi = 180^\circ$ ).

Die Schwingungen des Grundtones und der gradzahligen Obertöne (in Abb. 14:  $n = 1; 3; 5; 7$ <sup>48</sup>) überlagern sich also in Richtung der Instrumentenachse ( $0^\circ$ ) gegenphasig, wegen des Laufzeitunterschiedes, der einer halben Wellenlänge (oder einem ungradzahligen Vielfachen davon) entspricht, so dass sie sich gegenseitig fast auslöschen. Genau senkrecht zur Instrumentenachse ( $90^\circ$ ) hingegen addieren sie sich, so dass in dieser Richtung für diese Teiltöne die stärkste Abstrahlung zu finden ist.

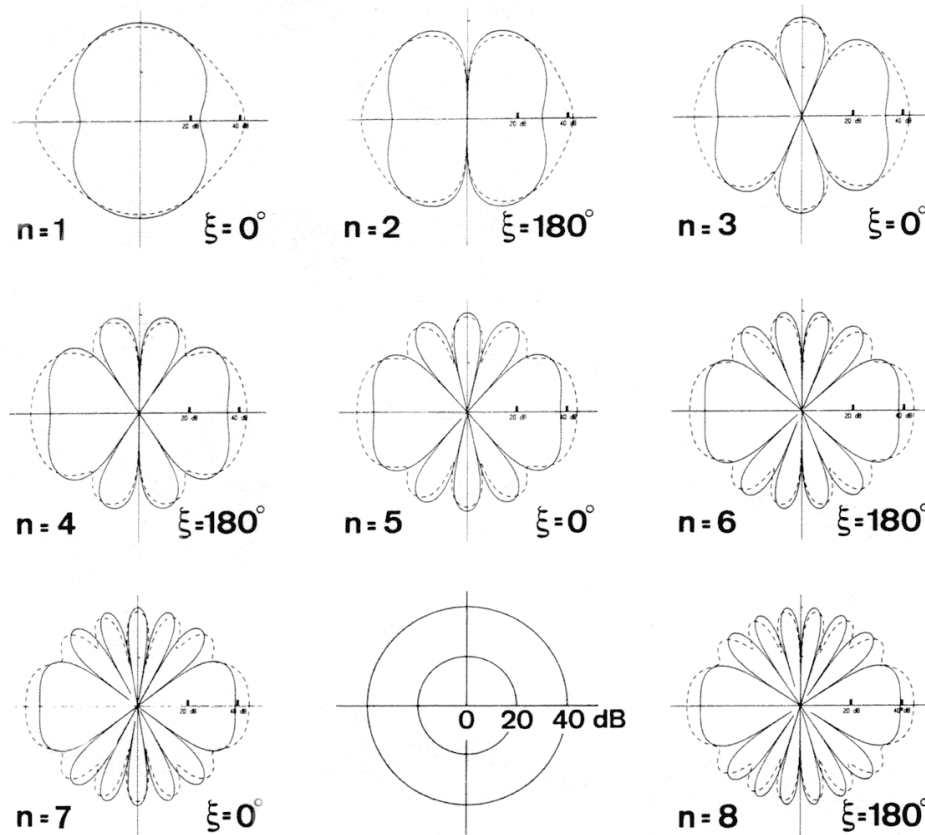
Wenn jedoch in den Resonanzraum eine grade Anzahl von halben Wellenlängen hineinpasst – dies ist bei den ungradzahligen Obertönen der Fall (in Abb. 14:  $n = 2; 4; 6; 8$ ) – so ergibt sich in beiden Richtungen eine maximale Abschwächung, da sich für die  $0^\circ$ -Richtung ein Laufzeitunterschied von einer vollen Schwingungsperiode (oder einem Vielfachen davon) und senkrecht dazu von 0 ergibt, so dass jeweils die gegenphasige Überlagerung zu Auslöschungen führt. Der komplizierte Zusammenhang lässt sich nach Bork<sup>49</sup> auch berechnen, was mir hier aber zu weit von der Praxis wegführt, so dass ich mich auf die Darstellung der Ergebnisse seiner Rechnung beschränken möchte:

Man kann in der Abb. 14 deutlich erkennen, dass die Bereiche, in denen sich die beiden Teilschallquellen auslöschen, für jeden Teilton unterschiedlich und mit zunehmender Ordnungszahl der Teiltöne immer komplexer werden. Interessanterweise sind aber die Auslöschungen im Nahfeld geringer als in Fernfeld. Dies liegt daran, dass die Auslöschungseffekte gegenphasiger Schallwellen um so stärker sind, je mehr sich ihre Amplituden gleichen. Da der Abstand zwischen den beiden Teilschallquellen gleich bleibt, wenn man den Abstand zur Mess- bzw. Mikrofonposition vergrößert, werden die Pegelunterschiede zwischen den vom Mundloch und dem von den Klappen abgestrahlten Schall mit zunehmender Entfernung immer unbedeutender.

---

<sup>48</sup> Die andere Nummerierung bei Bork kommt durch die Verwendung des Begriffs der Teiltöne zustande, bei der der Grundton mitgezählt wird.

<sup>49</sup> s. Bork (1991) S. 360f



**Abb. 14** Berechnete Richtcharakteristiken der Teiltöne von nicht überblasenen Flötenklängen im Fernfeld (durchgezogene Linien) und im Nahfeld (gestrichelt).<sup>50</sup>

In der Praxis entsteht trotzdem auch in der Mittenebene keine vollständige Auslöschung, da die Teilschallquellen weder in Bezug auf die Wellenform noch in Bezug auf die Amplitude exakt gleiche Schallwellen abstrahlen.

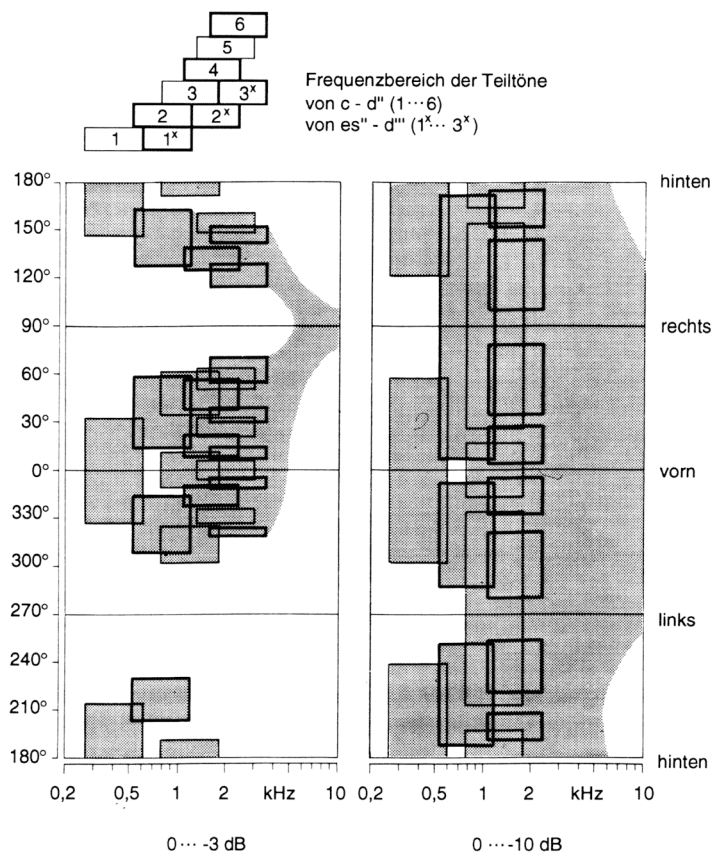
Mit der Analyse der tatsächlichen Messung ergänzt Bork seine Beschreibung des Abstrahlverhaltens der Querflöte um einen weiteren Aspekt: auf Grund der geringeren Beugung der Schallquellen bei hohen Frequenzen (ab etwa 3000Hz) werden diese nicht nur über das Mundloch und die erste geöffnete Klappe abgestrahlt, sondern auch die benachbarten offenen Klappen sind an der

<sup>50</sup> Bork (1991) Abb. 6, S. 360

Abstrahlung beteiligt. Der Pegel wird dadurch insgesamt auf der rechten Seite des Flötisten etwas stärker.<sup>51</sup>

Alle bisher gemachten Aussagen über das Abstrahlverhalten der Flöte gelten für die Verhältnisse der Teiltöne innerhalb eines einzigen gespielten Tones und beziehen noch nicht den Musiker als Schallhindernis ein.

Dies berücksichtigt die folgende Abb. und macht die Einengung der Bereiche, in denen die Klangabstrahlung nicht mehr als 3dB (links) bzw. 10dB (rechts) unter den maximalen Pegel sinkt, abhängig von der Tonhöhe und der abgestrahlten Frequenz deutlich:



**Abb. 15** Winkelbereich der Hauptabstrahlgebiete der Flöte mit Spieler.<sup>52</sup>

<sup>51</sup> vgl. Bork (1991) S. 361

<sup>52</sup> Meyer (1999) Abb. 62, S. 116

In beiden Diagrammen ist von links nach rechts die Frequenz und von unten nach oben die Richtung aufgetragen.

„Dabei bedeutet hier 90° die Instrumentenachse zum offenen Ende hin, 0° die dazu senkrecht stehende Richtung nach vorn, also etwa in Blickrichtung des Spielers (nicht ganz genau, weil die Flöte meist etwas gegen die Achse des Kopfes gedreht gehalten wird). Im Gegensatz zu allen anderen Blasinstrumenten hängt die Richtcharakteristik der Flöte bei den unteren Teiltönen fast ausschließlich von deren Ordnungszahl und nicht von ihrer Frequenzlage ab. So ergibt sich beispielsweise für alle Grundtöne der nicht überblasenen Töne ein 3dB-Bereich von etwa 327° bis 33° sowie von 147° bis 213°. Dieser Bereich ist entsprechend der Frequenzlage der Grundtöne zwischen 260 und 590Hz eingetragen und schattiert. Bei den Oktavteiltönen entstehen vier Vorzugsgebiete, die sich von 520 bis 1180Hz anschließen. Mit steigender Ordnungszahl wächst dann die Anzahl der Maxima, die als Einzelfelder jedoch schmaler werden. Außerdem macht sich nach rückwärts und nach links eine Abschattung durch den Kopf bemerkbar. Um eine Zuordnung der eingetragenen Felder zu den Obertönen zu ermöglichen, sind über dem 3dB-Diagramm die Frequenzbereiche der Teiltöne 1. bis 6. Ordnung für die nicht überblasenen Töne sowie 1. bis 3. Ordnung für die oktavierenden Töne schematisch dargestellt. Außerdem sind die Felder für die gradzahligen Teiltöne der nicht überblasenen Töne (die zugleich für die Teiltonreihe der überblasenen Töne gelten) stärker umrandet, um sie gegenüber den ungradzahligen Harmonischen hervorzuheben.

Das Diagramm für den 10dB-Bereich enthält nur die Felder für die ersten vier Teiltöne, da sich im anschließenden Frequenzbereich keine tieferen Einsenkungen ergeben. Erst oberhalb von 5000Hz schwächen sich die Amplituden nach hinten hin bis unter die 10dB-Grenze ab. Bedeutsam sind jedoch die Gebiete schwacher Schallabstrahlung bei den unteren Teiltönen. So ist in 0°-Richtung für die gradzahligen Teiltöne eine mehr als 10dB tiefe Senke vorhanden, während die ungradzahligen Anteile hier Maxima besitzen, wie das linke Teilbild zeigt. In dieser Richtung können demnach die ungradzahligen Teiltöne im Spektrum überwiegen, so dass der Klang etwas hohl wirkt. Die größte Intensität für die vollständige Reihe der Teiltöne (unterhalb etwa 5000Hz) ist dagegen im Bereich zwischen 20° und 30° sowie den dazu symmetrisch liegenden Richtungen zu erwarten.“<sup>53</sup>

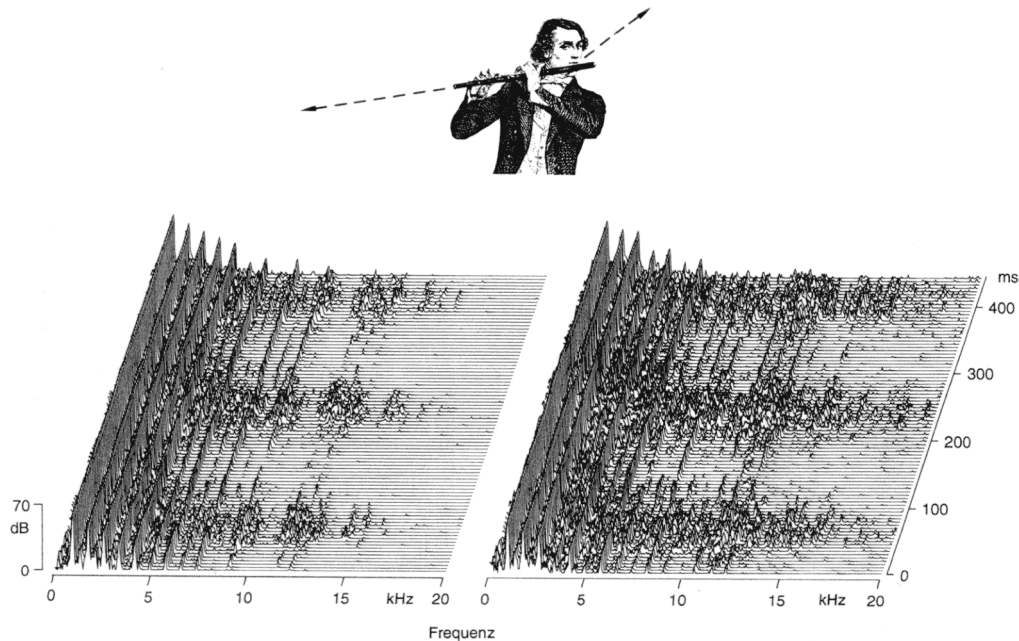
## 5.2 Richtwirkung des Anblasgeräuschs

Anders als bei den harmonischen Komponenten des Flötenklangs, wird das Anblasgeräusch, das ihm eine ganz besondere Prägung verleihen kann, fast ausschließlich vom Mundloch mehr oder weniger in Kugelcharakteristik abgestrahlt. Wie die folgende Abb. zeigt, ist der Geräuschpegel deshalb nach

---

<sup>53</sup> Meyer (1999) S. 117

vorn (und in einem breiten Winkelbereich ungehinderter Abstrahlung) höher als zur Seite hin. Doch obwohl sich dort eine deutliche Abschattung bemerkbar macht, ist die Stärke der Komponenten über 10kHz immer noch beachtlich.<sup>54</sup>



**Abb. 16** Zeitliche Veränderungen des Klangspektrums beim Flötenvibrato (Ton g<sup>''</sup>).<sup>55</sup>  
links: seitlich in Richtung der Instrumentenachse  
rechts: aufwärts vor dem Spieler

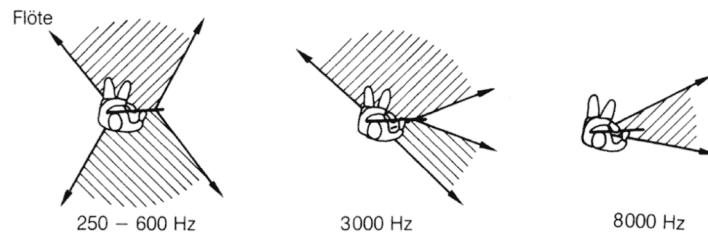
### 5.3 Hauptabstrahlrichtungen

Die klangliche Wirkung der Flöte im Raum lässt sich zusammenfassen zu schematischen Darstellungen der Hauptabstrahlrichtungen, die jeweils den 3dB-Bereich schattiert darstellen.

<sup>54</sup> Meyer (1999) S. 118

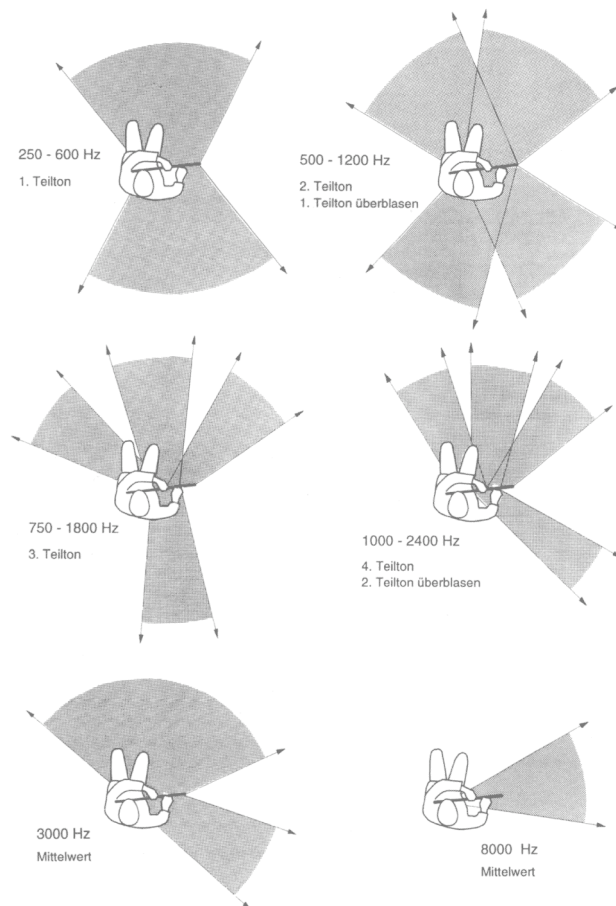
<sup>55</sup> Meyer (1999) S. 118

Während sich Dickreiter mit der folgenden Abb. kommentarlos auf drei noch nicht einmal kontinuierlich aufeinander folgende Frequenzbänder beschränkt und auch nicht auf die Bedeutung der schattierten Bereiche eingeht,



**Abb. 17** Abstrahlcharakteristik der Flöte<sup>56</sup>

ist die Darstellung bei Meyer schon wesentlich differenzierter:



**Abb. 18** Hauptabstrahlrichtungen (0... - 3dB) der Flöten.<sup>57</sup>

<sup>56</sup> Dickreiter (2003) Abb. D[1], S. 70

Er erläutert außerdem dazu, dass die Richtcharakteristik der Flöten im wesentlichen rotationssymmetrisch ist, und deshalb aus dieser schematischen Darstellung der Horizontalebene auch Rückschlüsse auf die Abstrahlungsverhältnisse nach oben möglich sind, wenn man die Abschattung durch den Spieler berücksichtigt. Außerdem weist er darauf hin, dass sich die Winkelbereiche der bevorzugten Abstrahlung auf Grund der besonderen Abhängigkeit von der Ordnungszahl nicht ganz so vereinfacht darstellen lassen wie bei anderen Orchesterinstrumenten.

Deshalb ist auch die Auswahl der ersten vier Frequenzbänder auf die ersten vier Teiltöne der nicht überblasenen Töne bezogen (also auf die Lage von c' bis d''). Dabei gelten die beiden rechten oberen Teilbilder gleichzeitig auch für den 1. und 2. Teilton der überblasenen Noten es'' bis d''''.

Die beiden unteren Teilbilder ergänzen die Vorzugsbereiche bei Frequenzen um 3000Hz bzw. 8000Hz. Eine hinreichende Berücksichtigung der hohen Rauschkomponenten fehlt allerdings auch hier, obwohl sowohl Meyer selbst, wie auch Bork auf deren Wichtigkeit für den Charakter des Flötenklangs hinweisen (s.o.).

---

<sup>57</sup> Meyer (1999) Abb. 149, S. 227

## 6 Mikrofonierung der Querflöte

Die Wahl des richtigen Mikrofonstandortes ist allgemein bei Holzblasinstrumenten wegen der sich mit der Abstrahlrichtung stark verändernden Klangfarbe von größter Bedeutung. Sie ist um so entscheidender, je näher das Mikrofon aufgestellt wird, da sich bei zunehmender Entfernung das Verhältnis von Direkt- zu Diffusschall zugunsten des letzteren verschiebt, was dazu führt, dass alle Abstrahlrichtungen zu einem Gesamtklang integriert werden. Eine Aufnahme in einem Studio, das nicht den gewünschten Raumklang aufweist, schränkt also die Möglichkeiten der natürlichen Klangwiedergabe stark ein. Erschwerend kommt noch hinzu, dass bei sehr nahen Mikrofonstandorten unbedingt das Instrument zuverlässig in der einmal festgelegten Position gehalten werden muss – eine Forderung, die im allgemeinen nur von versierten Studiomusikern erfüllt werden kann.<sup>58</sup>

Für die Flöte schlägt Dickreiter wegen des Dipolcharakters (s.o.) vor, das Mikrofon so aufzustellen, dass es möglichst die selbe Entfernung zu Mundstück und Stürze hat. Dies soll einerseits Schwierigkeiten mit den in engen Winkelbereichen entstehenden Auslöschungen vermeiden und andererseits das Anblasgeräusch mit berücksichtigen.<sup>59</sup>

Dazu ist allerdings zu sagen, dass das Anblasgeräusch dort gut eingefangen werden kann, was aber auch in anderen Positionen möglich ist. Die Problematik der Auslöschungen ist jedoch so komplex, dass sie sich so einfach nicht umgehen lässt. Im Gegenteil: Gerade „...der Bereich in der Mittenebene der Flötenachse – also vor oder über dem Spieler ...“<sup>60</sup> ist in dieser Beziehung besonders kritisch.

---

<sup>58</sup>vgl. Dickreiter (2003) S. 71

<sup>59</sup> vgl. Dickreiter (2003) S. 71

<sup>60</sup> Bork (1991) S. 363

An anderer Stelle konkretisiert Dickreiter seine Aussagen noch anhand der folgenden Abb.:



**Abb. 19** Mikrofonaufstellung bei Holzblasinstrumenten (hier: Flöte)<sup>61</sup>

„Bei der Flöte erweist sich eine Mikrofonposition über den Klappen des Instruments als klanglich befriedigend. Der Klang vor der Stürze ist dünn, verrauscht und eng; eine solche Mikrofonposition kommt für die Aufnahme praktisch nicht in Betracht. Bei Pop und Jazz, wo die Atemluft vielfach in die musikalische Gestaltung mit einbezogen wird, ist oft eine Aufnahme dicht am Mundstück adäquat.“<sup>62</sup>

Diese Aussagen decken sich schon viel stärker mit den in dieser Arbeit dargelegten Erkenntnissen, denn auch Meyer spricht von einem Winkelbereich zwischen 20° und 30° rechts von der Blickrichtung des Spielers, in dem die meisten Teiltöne Vorzugsbereiche aufweisen.<sup>63</sup> Ähnlich äußert sich auch Bork zu diesem Thema: „Eine Mikrofonposition etwas seitlich in Richtung der geöffneten Klappen ist auch wegen der etwas stärkeren Schallabstrahlung bei höheren Frequenzen [gegenüber der Mittelebene, MD] zu bevorzugen.“<sup>64</sup>

Bork führt aber bei seiner Empfehlung noch einen anderen wichtigen Aspekt an, der auch aus der Abb. 14 hervorgeht: „Da die Bereiche der Schallauslöschung im Nahfeld schwächer ausgeprägt sind als in einigen

<sup>61</sup> Dickreiter (2003) Abb. A, S. 171

<sup>62</sup> Dickreiter (2003) S. 170

<sup>63</sup> Meyer (1999) S. 117

<sup>64</sup> Bork (1991), S. 363

Metern Abstand, ist hier mit einem ausgeglicheneren Klangbild zu rechnen.“<sup>65</sup> Als einziger Autor geht er im folgenden auf die Richtcharakteristik ein und schlägt vor, eher ein Kugelmikrofon im Nahbereich zu verwenden, als ein Richtmikrofon in größerer Entfernung, da für die Veränderung des Auslöschungseffektes nur die absolute Entfernung, nicht aber der Hallradius ausschlaggebend ist. Gleichzeitig weist Bork aber auch auf die Problematik der Pegelschwankungen durch Bewegungen des Musikers bei sehr geringem Abstand hin.

## **6.1 Empfehlungen einiger Mikrofonhersteller**

Um auch Anhaltspunkte für die Auswahl eines geeigneten Mikrofons geben zu können, habe ich einige Mikrofonhersteller gebeten, jeweils für Produkte aus dem jeweiligen Hause eine Empfehlung für die Mikrofonierung von Querflöten für drei verschiedene Rahmenbedingungen abzugeben:

1. für Studio-Aufnahmen ohne weitere Instrumente,
2. für Stützmikrofonie bei Konzerten mit diversen Ensembles (ohne Verstärkung) und
3. für den Bühneneinsatz mit PA.

Die Antworten (sowie bei englischen Antworten die deutschen Übersetzungen) finden sich komplett im Anhang jeweils unter den Namen der Hersteller, so dass Bezüge im folgenden Text dort genauer nachzulesen sind.

### **6.1.1 Studioanwendung**

Bei der Wahl eines Mikrofons für die Studioanwendung tendieren die meisten Empfehlungen zu Kleinmembran-Kondensator-Mikrofonen mit möglichst flachem Frequenzgang, dem vollen Übertragungsbereich von 20-20000Hz und

---

<sup>65</sup> Bork (1991), S. 363

Kugel- oder Nierencharakteristik. Dies entspricht auch Borks Forderung nach höchster Qualität der elektroakustischen Übertragungsglieder bei Flötenaufnahmen.<sup>66</sup>

Die Angaben zur Positionierung sind verständlicherweise eher vage gehalten. Es gibt nur zwei konkrete Anweisungen:

- 2m entfernt, 2-2,5m über der Flöte, keine Angabe zur Richtcharakteristik (AKG) und
- 46cm entfernt, von vorn oder oben auf die Tonlöcher gerichtet, Niere (Crown)

Weitere Anregungen sind:

- ein Nierenmikrofon in 50-80cm Abstand zu positionieren (Schoeps),
- irgendwo im Raum mit Kugelmikrofonen nach einem Sweet Spot zu suchen (Shure),
- mit zwei Mikrofonen und einer Aufstellung am Mundloch und am Ende der Flöte zu experimentieren (Elektrovoice),
- eine beliebige Stereomikrofonierung vorzugsweise mit Nieren oder Hypernieren zu verwenden (Neumann).

Der Vorschlag von AKG, die Flöte aus über 2m Entfernung aufzunehmen, kann m.E. ausschließlich in gut klingenden Räumen angewendet werden, wo die im Fernfeld der Flöte stärker auftretenden Auslöschungen einzelner Teiltöne durch den Diffusschall ausgeglichen werden.

Die von Crown empfohlene Position deckt sich weitgehend mit den Erkenntnissen dieser Arbeit, wobei evtl. sogar ein Kugelmikrofon in Frage käme, was aber auch vom gewünschten Diffusschallanteil abhängt.

---

<sup>66</sup> Bork (1991), S. 351 und S. 363

Ähnlich verhält es sich mit dem Vorschlag von Schoeps, der jedoch etwas zu vage ist, da keine Richtung für den Abstand von 50-80cm angegeben wird.

Um einen Sweet Spot „irgendwo im Raum“ (Shure) zu suchen, brauche ich weder eine theoretische Arbeit, noch eine Empfehlung eines Mikrofonherstellers.

Mit zwei Mikrofonen zu arbeiten, wird tatsächlich langes Experimentieren erfordern, da man besonders bei der von Elektrovoice beschriebenen Anordnung am Mundloch und an der Stürze sicher mit Phasenproblemen zu kämpfen hat. Deshalb halte ich diesen Ansatz für eher problematisch.

Den Hinweis, dass man eine Flöte auch stereophon aufnehmen kann, halte ich für interessant, da es u.U. zur Natürlichkeit des Klangeindrucks beitragen kann, wenn es durch die Bewegungen des Musikers zwischen den beiden Mikrofonen zu geringen Pegel- und Klangfarbenschwankungen kommt.

### **6.1.2 Stützmikrofonie**

Für die Stützmikrofonierung von Flöten bei Ensemble-Aufnahmen werden die gleichen oder ähnliche Mikrofontypen empfohlen, hier aber eher Nieren als Kugeln. Dabei wird mehrfach darauf hingewiesen, dass die Richtcharakteristik über den gesamten Frequenzbereich gleichmäßig ausgeprägt sein sollte, damit das kaum vermeidbare Übersprechen durch andere Instrumente klangneutral abgebildet wird.

Zur Aufstellung gibt es nur eine einzige Angabe: 30cm entfernt, von vorn oder oben auf die Klappen gerichtet, Niere (Crown).

Diese Positionierung ist ähnlich positiv zu beurteilen wie schon der Crown-Vorschlag bei der Studioanwendung. Für eine Stützmikrofonie sind der geringere Abstand und die Nierencharakteristik zur Verminderung des Übersprechens weitere sinnvolle Aspekte.

### 6.1.3 Bühneneinsatz

Für den Fall einer Mikrofonierung für die Verstärkung über eine PA werden im Prinzip drei verschiedenen Vorschläge gemacht:

- die Aufstellung eines Nieren-Kleinmembran- oder Gesangsmikrofons direkt vor dem Spieler am Mundloch, wobei die Verwendung eines Windschutzes angeraten wird (Beyerdynamik, Elektrovoice, Neumann, Shure),
- der Einsatz eines Headsets (AKG),
- die Befestigung eines Kleinmikrofons in Kugel- oder Nierencharakteristik und zwar am Flötenrohr zwischen Mundstück und den ersten Klappen (Crown, Schoeps, Shure).

Es ist klar, dass diese Art der Mikrofonierung einen Kompromiss darstellt, da sie klanglich nicht gerade natürlich wirken wird. Wie schon von Dickreiter angedeutet, wird dies bei den meisten Musikstilen, die live mit Verstärkung aufgeführt werden u.U. sogar den gewünschten Klangvorstellungen nahe kommen. Außerdem steht im Live-Bereich die Rückkopplungssicherheit und die Verminderung des Übersprechens anderer Instrumente an erster Stelle, so dass nur eine sehr direkte Abnahme in Frage kommt.

Die letzten beiden Vorschläge, ein Headset bzw. ein an der Flöte angebrachtes Mikrofon zu verwenden, zeigen gute Möglichkeiten auf, den Abstand zwischen Flöte und Mikrofon konstant zu halten, ohne die Bewegungsfreiheit des Musikers einzuschränken. Zur Vermeidung von Klangfarben- und Pegelschwankungen ist dies bei der Flöte besonders wichtig (s. Einfluss des Musikers). Dabei würde ich persönlich ein Mikrofon in Kugelcharakteristik bevorzugen wie es Crown vorschlägt.

## Schlussbemerkungen

Eine eindeutige Empfehlung für die eine richtige Mikrofonposition wie auch für das eine am besten geeignete Mikrofon ist leider nicht möglich und auch nicht sinnvoll, denn unter Praxisbedingungen gibt es sehr viele veränderliche Einflussfaktoren, die es – neben den in dieser Arbeit beschriebenen komplexen Eigenschaften des Direktschalls – zusätzlich zu beachten gilt. Zum einen ist der Einfluss der Akustik des umgebenden Raumes relativ groß, zum anderen sind die Vorstellungen vom idealen Klang eines Instruments stark vom persönlichen Geschmack und vom musikalischen Zusammenhang geprägt.

Dennoch kann man an Hand von Informationen über das Abstrahlverhalten von Instrumenten Aussagen darüber machen, wie die Mikrofonierung das Frequenzspektrum der Aufnahme tendenziell beeinflussen wird bzw. wo man mit dem Mikrofon nach bestimmten Frequenzbereichen auf die Suche gehen und den Klang somit durch die Mikrofonierung gezielt beeinflussen kann – immer in dem Bewusstsein, dass die eigenen Ohren nach wie vor das wichtigste Werkzeug dabei sind. Deshalb ist es um so wichtiger, die Klänge im Detail zu kennen und auch beim Hören analysieren zu können.

In Bezug auf die Querflöte ist in dieser Arbeit zumindest die theoretische Voraussetzung dafür geschaffen. Der allgemeine Informationsgehalt über das Klang- und Abstrahlverhalten von natürlichen Instrumenten bleibt notwendigerweise auf grundlegende Aussagen beschränkt, die für eine zielgerichtete Praxisanwendung in ähnlicher Weise für jedes einzelne Instrument vertieft werden müssten.

## Anhang

### AKG

Die folgenden Empfehlungen sind jeweils nur ein grober Anhaltspunkt, da die Wahl des Mikrofons von vielen Faktoren abhängt.

Für Klassik-Recordings empfehlen wir ein qualitativ hochwertiges Kondensatormikrofon wie das C 2000, C 3000, C 4000 oder C 414 ungefähr 2 m entfernt und 2-2,5 m über der Flöte.

Für eine nahe Mikrofonierung, um eine Querflöte mit PA zu verstärken, empfehlen wir ein am Kopf getragenes Mikrofon (Headset) wie das C 420 oder das C 477<sup>67</sup>.

### Beyerdynamic

- Im Studio ohne weitere Instrumente:  
MCE 5 mit MFH 5 (drahtgebunden)  
MC 930  
MC 740 (Großmembran)
- Stützmikro ohne Verstärkung:  
MC 930
- Bühne mit PA:  
MCE 10 mit MFH 5 (drahtgebunden oder drahtlos)  
MC 930

Das nur ganz kurz als Mikrofonempfehlung. Wie Sie sehen, ist das MC 930 nahezu für alle Bereiche geeignet. Im Studio wegen der sehr neutralen, nicht färbenden Klangcharakteristik, als Stützmikro wegen der Nierencharakteristik über den ganzen Frequenzgang (und da gibt es relativ wenig Mikros in dieser Preisklasse) und als Livemikro wegen der überragenden Rückwärtsdämpfung (sehr wenig Feedbackprobleme).

---

<sup>67</sup> engl. Originaltext: The following recommendations are only a rough indication because the selection of the appropriate mic is dependent upon many factors. For classical recording we recommend a high quality condenser mic like C 2000, C 3000, C 4000 or C 414 about 2m away and 2 to 2,5m above the flute. For sound reinforcement we recommend a head worn mic (headset) like the C 420 or C477.

## Crown

Für Solo-Aufnahmen im Studio: Nieren-Kondensatormikrofon mit möglichst flachem Frequenzgang (wie das Crown CM-700) ungefähr 46 cm entfernt, auf die Tonlöcher gerichtet, entweder von vorn oder von oben.

Für Stützmikrofonie bei live-Aufnahmen mit Hauptmikrofonie wie oben, allerdings mit nur 30 cm Abstand. Falls dies zu viel Übersprechen anderer Instrumente zur Folge hat, benutze den Vorschlag unten.

Für eine nahe Mikrofonierung, um eine Querflöte mit PA zu verstärken, empfehlen wir ein Miniatur-Kugel-Kondensatormikrofon (wie das Crown GLM-100) ungefähr 3,8 cm vom Flötenrohr entfernt und in der Mitte zwischen Mundstück und Tonlöchern befestigt<sup>68</sup>.

## Elektrovoice

In einer typischen Live-Situation sind die besten Ergebnisse zu erzielen, wenn man die Flöte am Mund des Instrumentalisten abnimmt. Dafür empfehlen wir das RE 510, eigentlich ein Gesangsmikrofon mit Kondensatorkapsel und einer schönen HF-Wiedergabe, das auch den Flötenklang unterstützen wird. Das RE 20 wäre ebenfalls eine gute Wahl dafür.

Für Aufnahmen und kritischere Anwendungen könnte man vielleicht mit zwei Mikrofonen experimentieren, eines am Mund und eines am Ende der Flöte. Für diese letzte Position würde ein RE 200 sehr gut funktionieren<sup>69</sup>.

---

<sup>68</sup> engl. Originaltext: 1. solo recording session in studio: Flat-response cardioid condenser mic (like the Crown CM-700) about 18 inches (46 cm) away, aiming at the tone holes, either in front or overhead. 2. additional closemiking for live-recordings with stereo main miking: The same as above except about 12 inches (30 cm) away. If this picks up too much leakage from other instruments, use the suggestion in 3 below. 3. close miking for live-concerts with PA. Miniature omnidirectional condenser microphone (like the Crown GLM-100) taped about 1.5 inches (3.8cm) above the flute body, midway between the mouthpiece and the tone holes.

<sup>69</sup> engl. Originaltext: Typically for a live situation, your best results will come from mic'ing the flute by the mouth of the performer. For recording and more critical applications, you may want to experiment with 2 mics, one by the mouth and one near the end of the flute. For the live situation, I would recommend the RE510 by the mouth. The RE510 is a condenser vocal mic, and has a nice HF response that will also compliment the flute. The RE20 would also be a good choice for this. The RE200 would work very well in the 2 mic scenario, placed by the end of the flute.

## Neumann

Mit konkreten Empfehlungen "nur dieses Mikrofon für dieses Instrument an dieser Stelle" sollten wir uns sehr zurückhalten. Fast jedes sehr gute Kondensatormikrofon kann für diesen Einsatzzweck genutzt werden. Es muß nur an der "richtigen" Stelle stehen, und auch diese Entscheidung ist subjektiv.

Bei Solo-Aufnahmen kann jede der bekannten Stereotechniken in Betracht gezogen werden, oder auch eine Mono-Aufnahme + künstlicher Raum. Im Studio wird man dazu wohl meist Niere oder Hyperniere verwenden, in "natürlichen" Räumen können auch Kugeln in Betracht gezogen werden.

Live wird nur Niere oder Hyperniere in Betracht kommen. Eine Auswahl an typischen Mikrofonen wäre:

- KM183 / 184 / 185    neutrale Kleinmikrophone
- U87 / TLM127 / TLM103    leicht bis stärker höhenbetont
- U89 / TLM170 / TLM193    eher neutral, Höhen leicht unterbetont

Bei extremer Nahmikrofonierung am Mundstück sowie Live muß der Einsatz eines Windschutzes erwogen werden, und die zwangsläufige leichte Reduzierung der Höhen.

Bei Stützmikrofon mit Orchester sollte die Gleichmäßigkeit der Richtcharakteristiken dafür sorgen, daß der "Übersprech-Anteil" klangneutral abgebildet wird. Siehe z.B. KM18x, oder die Mikrophone der U89/TLM170/TLM193-Familie.

## Schoeps

in Fällen, in denen es auf maximale Rückkoppelsicherheit ankommt, empfehlen wir unseren Flötenadapter FA1 ( <http://www.schoeps.de/D/instr-adapters.html#fa> ), vorzugsweise mit dem Kompaktmikrofon CCM8Lg bestückt.

Im Studio, also ohne gleichzeitige Beschallung, können Sie z.B. unser Nierenmikrofon CCM4VLg verwenden (siehe <http://www.schoeps.de/D/mk-ccm4V.html> ), mit rund 50 bis 80cm Abstand positioniert.

## Shure

In einem gut klingenden Aufnahmerraum empfehlen wir Mikrofone mit Kugelcharakteristik irgendwo im Raum platziert (sweet spot).

Alternativ dazu kann, wie auf der Bühne auch, ein Vokalmikrofon verwendet werden, wobei die Positionierung des Mikrofons vor dem Schalloch sein sollte.

Als Stützmikrofon bei Ensembleaufnahmen wird in der Regel ebenfalls ein Kugelmikrofon oder eine Niere verwendet, die vor dem Musiker aufgestellt wird.

Für eine direkte Mikrofonierung kann eines unserer Mikrofone wie im Anhang gezeigt montiert werden.

Für Studio bzw. Ensembleaufnahmen kommen folgende Typen in Frage:

KSM27, KSM32, KSM137, KSM109, SM81, PG81 (alles Niere)

KSM44 (schaltbar Kugel/Niere/Acht)

KSM141 (schaltbar Kugel/Niere)

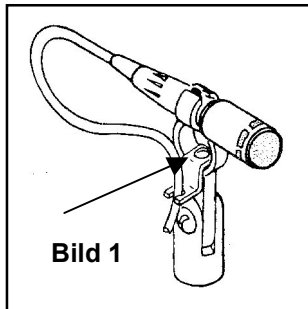
Live:

SM58, SM57, Beta57, Beta58

Live an der Flöte montiert: Beta98S

Datenblätter etc., finden Sie auf [www.shure.de](http://www.shure.de)

## Hinweise zur Anbringung eines Beta 98 an einer Querflöte



Um ein Beta 98/S an einer Flöte anzubringen, entfernen Sie den Stativadapter von der Mikrofonklemme, indem Sie die entsprechende Schraube an der Aufhängungsdämpfung lösen (siehe auch Pfeil in Bild 1).

Dabei wird sich der Gummiring öffnen, so dass Sie ihn mit einem geeigneten Klebstoff wieder zusammenkleben müssen.

Alles weitere gilt auch für die Montage mit Hilfe des Drehgelenkadaptors (siehe Bild 2).

Benutzen Sie nun etwas Klettband (z.B. 1 cm breites, wie bei Mikrofonkabeln verwendet wird), um das Mikrofon an der Flöte zu befestigen.

Variieren Sie die Position zwischen Mundstück und Klappen, um den vom Mundstück und den Klappen abgestrahlten Klang auszubalancieren. Benutzen Sie das Klettband außerdem, um das Mikrofonkabel zu befestigen und damit gleichzeitig das Mikrofon parallel zum Flötenrohr auszurichten.



**Shure Beta 98 an einer Querflöte<sup>70</sup>**

<sup>70</sup> persönliche E-Mail vom Shure-Kundenservice

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1	Kurven gleicher Lautstärke nach Fletcher / Munson .....	8
Abb. 2	Dynamikbereiche von Instrumenten, Stimme und Orchester .....	9
Abb. 3	Abhängigkeit der Dynamik von der Tonhöhe .....	10
Abb. 4	Diagramm mit Fourier-Transformation .....	12
Abb. 5	Klangspektren mit verschiedener Frequenzcharakteristik (gespielter Ton: f''').....	15
Abb. 6	Anschwellender Ton mit Übergang vom Pianissimo zum Fortissimo (hier am Beispiel Klarinette).....	17
Abb. 7	Hüllkurve .....	18
Abb. 8	Minimale bis maximale Einschwingdauer bei Musikinstrumenten .....	19
Abb. 9	Zeitliche Entwicklung des Klangspektrums bei unterschiedlichem Tonansatz (Flöte, Ton g').....	21
Abb. 10	Ausklängen von Musikinstrumenten (hier am Beispiel zweier Klaviertöne) .....	23
Abb. 11	Bereiche allseitig gleichmäßiger Schallabstrahlung von Orchesterinstrumenten ...	25
Abb. 12	Polardiagramme einer Oboe in verschiedenen Frequenzbändern. Die 0°-Richtung entspricht der Achse des Schallbechers. ....	26
Abb. 13	Schwingungszustände der Flöte .....	40
Abb. 14	Berechnete Richtcharakteristiken der Teiltöne von nicht überblasenen Flötenklängen im Fernfeld (durchgezogene Linien) und im Nahfeld (gestrichelt)...	42
Abb. 15	Winkelbereich der Hauptabstrahlgebiete der Flöte mit Spieler.....	43
Abb. 16	Zeitliche Veränderungen des Klangspektrums beim Flötenvibrato (Ton g''). links: seitlich in Richtung der Instrumentenachse rechts: aufwärts vor dem Spieler .....	45
Abb. 17	Abstrahlcharakteristik der Flöte .....	46
Abb. 18	Hauptabstrahlrichtungen (0... – 3dB) der Flöten. ....	46
Abb. 19	Mikrofonaufstellung bei Holzblasinstrumenten (hier: Flöte) .....	49
Abb. 20	Shure Beta 98 an einer Querflöte .....	59

## Literatur

- Bork, Ingolf** (1991) Klang und Schallabstrahlung der Querflöte. In: Bericht 16. Tonmeistertagung Karlsruhe 1990, S. 351ff, München: Saur
- Dickreiter, Michael** (1997) Handbuch der Tonstudioteknik. Bd. 1. Raumakustik, Schallquellen, Schallwahrnehmung, Schallwandler, Beschallung, Aufnahmetechnik, Klanggestaltung. Hrsg.: Schule für Rundfunktechnik; 6. verb. Aufl. 1997, München: Saur
- Dickreiter, Michael** (2001) Musikinstrumente – moderne Instrumente, historische Instrumente, Klangakustik. Orig.-Ausg., 6. Aufl., Kassel: Bärenreiter
- Dickreiter, Michael** (2003) Mikrofon-Aufnahmetechnik – Aufnahmeräume, Schallquellen, Mikrofone, räumliches Hören, Aufnahmeverfahren, Aufnahme einzelner Instrumente und Stimmen. 3. Aufl., Stuttgart / Leipzig: S. Hirzel Verlag
- Meyer, Jürgen** (1999) Akustik und musikalische Aufführungspraxis : Leitfaden für Akustiker, Tonmeister, Musiker, Instrumentenbauer und Architekten. 4., überarb. Aufl., Frankfurt am Main: Bochinsky