

Reiner Kluge

## Computergestützte Melodieanalyse als Hilfsmittel zur Erkundung von Tonräumen

Der folgende Beitrag befaßt sich mit Untersuchungen einstimmiger Abläufe, die in symbolisch codierter Form gespeichert seien. Analysen solcher Texte sollen genutzt werden, um Aufschlüsse über Tonräume zu gewinnen. Die Analysen bedienen sich einfacher und komplexerer statistischer Kriterien. Die berechneten Statistiken beziehen sich zunächst auf einzelne melodische Abläufe (die Melodie eines Volksliedes, einen Vokal- oder Instrumentalpart in einer mehrstimmigen Komposition), danach auf Melodiegesamtheiten. Im ersten Fall steht Zeichenkettenanalyse methodisch im Vordergrund (die Zeichen, die Töne, bilden ein Ensemble aufeinander bezogener Entitäten, kein Sample im statistischen Sinne); im zweiten Fall liegt der Schwerpunkt auf multivariater Statistik (die Elemente sind gleichrangige Tonklassen oder Tonkettenklassen, im Idealfall eine Zufallsstichprobe). Für die Untersuchung der Einzelmelodien wurden eigene Programme in der Programmiersprache des Datenbanksystems Visual dBASE geschrieben, für die multivariaten Analysen das Statistik-Programmsystem SPSS und Tabellenkalkulationsprogramme genutzt.

Tonräume – dies die Ausgangsthese – sind mentale / theoretische Konstrukte, die (im Rezeptionsprozeß oder durch theoretische Reflexion) von einzelnen melodischen / harmonischen Verläufen oder von Gesamtheiten solcher Verläufe abgehoben werden und die ihrerseits musikalischen Hervorbringungen zugrunde liegen. Logisch stehen sie zwischen Gebrauchstonleiter und Tonsystem: Wie die Gebrauchsleiter bezieht sich der Tonraum auf ein Musikstück oder einen Part, dessen geordneten Tonbestand er abbildet. Wie das Tonsystem aber umfaßt er darüber hinaus das Gefüge der Tonbeziehungen.

Die Analyse – dies der methodische Anspruch – kann durch programmierte Zeichenkettenanalyse und durch statistische Verfahren unterstützt werden. Nicht geht es mir darum, sie ganz durch Rechnerarbeit zu ersetzen; insbesondere geht es im folgenden nicht um Computersimulation.

### 1 Zeichenkettenanalyse: Verteilungen von Dreitonketten

Abbildung 1 ist eine Art Melogramm der führenden Mittelstimme der d-Moll-Fuge BWV 875 aus dem *Wohltemperierten Clavier*, 2. Teil. Im Diagrammkopf sind von links nach rechts aufsteigend die vorkommenden 24 Tonhöhen aufgeführt, und zwar in der unteren Kopfzeile die Stammtöne der harmonischen d-Moll-Tonleiter (*cis* bis *b*), in der oberen die leiterfremden Töne (*es*, *fis*, *gis*, *h*, *c*). Dreitonketten (das Analyseergebnis) sind in Form von Doppelpfeilen dargestellt: der Ausgangston jeweils durch den Pfeilursprung und die beiden darauffolgenden Zieltöne durch zwei Pfeilspitzen (z. B.:  $b_1-a_1-g_1$  mit Häufigkeit 11;  $a_1-b_1-a_1$  und  $d_1-cis_1-d_1$  mit Häufigkeit 7 bzw. 6; bei Häufigkeit 5 bricht der Ausschnitt ab).

	c#	d	eb	e	f	f#	g	a	b	h	c1	c#1	d1	e1	f1	f#1	g1	g#1	a1	b1	h1	c2	c#2	d2	
h=11	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
h=10	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
h=8	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
h=7	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
h=6	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:

Abbildung 1: Tonhöhenketten-Analyse der Mittelstimme der Fuge d-Moll BWV 875, *Wohltemperiertes Clavier*, 2. Teil, durch ein dBASE-Programm. Das Programm extrahierte und zählte Ketten der Ordnung 3 (unter Respektierung von Abschnittsgrenzen), sortierte die gefundenen Kettenklassen nach ihrer Häufigkeit absteigend und stellte das Ergebnis quasi-graphisch in einem Tonhöhenraster dar. Die Gruppierung in leitereigene (durch vertikale Rasterlinien herausgehobene) und leiterfremde Töne wird im Rechengang manuell vereinbart; sie dient nur der leichteren Lesbarkeit.

Das benutzte Analyse-Kriterium mutet höchst simpel an: Festgestellt werden die Häufigkeiten der auftretenden Dreitonketten; andere Optionen des Programms gestatten die Nutzung der Notenwertsumme oder der Kettendauer. Der analytische Gewinn entsteht durch die absteigende Sortierung, die die häufigsten bzw. gewichtigsten Ketten an die Spitze des Diagramms bringt – im Beispiel diejenigen, die den zentralen Ausschnitt des Tonraums aufspannen:  $a_1$  abwärts bis  $d_1$ , mit den oben und unten begrenzenden Wechselnoten  $b_1$  und  $cis_1$ .

Erst an späterer Stelle in der Häufigkeitsordnung treten Ketten im Bereich der kleinen Oktave auf (zunächst immer noch mit den Stammtönen), noch weiter unten folgen modulierende Ketten ( $d-c-b$ ,  $c-b-a$ ) und Chromatismen (der im Fugenthema durch Achtelwerte gegenüber den Triolen-Sechzehnteln hervorgehobene Gang  $d-cis-c-h-b-a$ ). Ganz Ähnliches ergibt sich bei Anordnung nach Kettennotenwerten (Abb. 2).

c#	d	eb	e	f	f#	g	a	b	h	c1	c#1	d1	e1	f1	f#1	g1	g#1	a1	b1	h1	c2	c#2	d2
											Summe bisher = 0 %												
Kettennotenwert=159											Summe bisher = 5 %												
Kettennotenwert=129											Summe bisher = 8 %												
Kettennotenwert=128											Summe bisher = 12 %												
Kettennotenwert=127											Summe bisher = 16 %												
Kettennotenwert=111											Summe bisher = 19 %												
Kettennotenwert=94											Summe bisher = 22 %												
Kettennotenwert=78											Summe bisher = 24 %												

Abbildung 2: Tonhöhenketten-Analyse derselben Fugenstimme. Das Programm extrahierte wieder Ketten der Ordnung 3 und stellte ihre Notenwertsummen fest. Sortiert wurden die Kettenklassen hier nach den kumulierten Kettennotenwerten.

Die den zentralen Ausschnitt des Tonraums aufspannenden sieben Tonketten an der Spitze der Verteilung vereinigen auf sich 24% der Gesamtsumme. Auffällig ist – unter beiden Auswertungsansätzen – das Überwiegen deszendenter Sekundgänge. 83 absteigenden Sekundketten (34% aller Dreitonketten überhaupt) stehen nur 36 aufsteigende gegenüber.

## 2 Zeichenkettenanalyse: Kennwerte von Tonhöhen und Tonhöhenübergängen

Eine zusammenfassende Bewertung des Toninventars der Fugenstimme unter dem Gesichtspunkt Quantität (Abb. 3) zeigt:

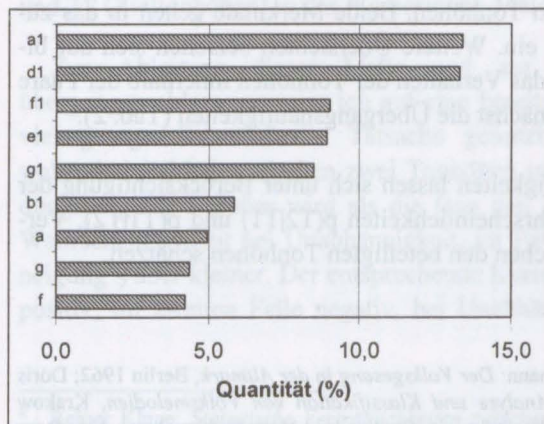


Abbildung 3: Mittelstimme der Fuge d-Moll BWV 875 aus dem Wohltemperierten Clavier, 2. Teil. Quantitätsverteilung der ersten 9 Ränge des Tonvorrates, absteigend geordnet. In die Variable Quantität gehen die relativen Häufigkeiten und die Dauernanteile der Tonhöhen ein.

Die Töne  $d_1$  und  $a_1$  belegen die beiden vorderen Ränge. Diese Rangstellungen korrespondieren plausibel mit der Auszeichnung der Töne als Tonika bzw. Dominante in d-Moll, ergeben sich aber nicht zwangsläufig aus den tonalen Funktionen, wie ein Vergleich mit den randständigen Tonikatönen  $d_2$  und  $d$  zeigen könnte (Rangplätze 15 bzw. 17). Überdurchschnittliche Ränge haben die übrigen Töne des diatonischen Hexachords in der eingestrichenen Oktave.

Zur Erläuterung der zusammenfassenden Kriterien Gewicht, Quantität und Verträglichkeit nutze ich eine Stichprobe deutscher, österreichischer, slowakischer, polnischer Volksliedmelodien.<sup>1</sup>

```
-5-5 11-5-51_2_ 3_321_0_ /
3_45_5_ 544_3_ /
13 555_4_42 131_-5_ /
-5_ -6-6-6_-5_-7_ 1_0_//
```

Abbildung 4: Codierter Notentext zu der Ballade *Es verliebte sich ein wilder Wassermann* (Darstellung im ESAC-Code).

Wieder beginnt die Untersuchung bei der Zeichenkettenanalyse der einzelnen Melodie (Abb. 4). Optional kann das Programm für gesonderte Analysen mit oder ohne Berücksichtigung der Oktavlage der Tonhöhen, mit oder ohne Takteinteilung eingesetzt werden (etwa ist es möglich, nur „betonte Töne“ in die Analyse einzubeziehen, wozu zusätzliche Annahmen gemacht werden müssen). Im folgenden geht es zunächst um Tonhöhen mit Oktavlage, und die Töne werden unabhängig von ihrer Taktposition betrachtet (d. h., alle Töne werden einbezogen).

Das Programm stellt Basis-Übersichten her, die die Präsenz und das Übergangsverhalten der Tonhöhen hinsichtlich ihrer Häufigkeiten und Notenwerte beschreiben. Tabelle 1 zeigt die beiden monovariaten Verteilungen der Häufigkeits- und Dauernanteile der in der Melodie enthaltenen Tonhöhen. Beide Merkmale gehen in das zusammenfassende Kriterium Quantität ein. Weitere Übersichten beziehen sich auf bivariate Verteilungen: sie beschreiben das Verhalten der Tonhöhen innerhalb der Paare direkt aufeinander folgender Töne, zunächst die Übergangshäufigkeiten (Tab. 2).

Aus den absoluten Übergangshäufigkeiten lassen sich unter Berücksichtigung der Randsummen bedingte Übergangswahrscheinlichkeiten  $p(T_2|T_1)$  und  $p(T_1|T_2)$ , Verträglichkeiten und Korrelationen zwischen den beteiligten Tonhöhen schätzen.

<sup>1</sup> Entnommen wurden sie aus: Doris Stockmann: *Der Volksgesang in der Altmark*, Berlin 1962; Doris Stockmann u. Jan Stęszewski (Hrsg.): *Analyse und Klassifikation von Volksmelodien*, Krakow 1973; Barbara Jesser: *Interaktive Melodieanalyse* (= Studien zur Volksliedforschung 12), Bern 1991.

Tonhöhen	h	p	Dauernanteil
g	7	0,179	0,156
a	3	0,077	0,063
h	1	0,026	0,031
c <sup>1</sup>	8	0,205	0,281
d <sup>1</sup>	3	0,077	0,063
e <sup>1</sup>	6	0,154	0,156
f <sup>1</sup>	5	0,128	0,109
g <sup>1</sup>	6	0,154	0,141
Summe	39	1,000	1,000

Tabelle 1: Absolute und relative Häufigkeiten (h, p) sowie Dauernanteile der Tonhöhen in der Melodie der Ballade *Es verliebte sich ein wilder Wassermann*.

Tonhöhen	T2								Summen
	g	a	h	c <sup>1</sup>	d <sup>1</sup>	e <sup>1</sup>	f <sup>1</sup>	g <sup>1</sup>	
T1									
g	3	1	1	2					7
a	1	2							3
h				1					1
c <sup>1</sup>	2			1	1	3			7
d <sup>1</sup>				2	1	1			3
e <sup>1</sup>				2	1	1	1	1	6
f <sup>1</sup>					1	1	2	1	5
g <sup>1</sup>							2	4	6
Summen	6	3	1	8	3	6	5	6	38

Tabelle 2: Häufigkeiten der Übergänge zwischen Tonhöhen T1 (Ausgangstonhöhen) und T2 (Zieltonhöhen) in der *Wassermann*-Melodie.

Zur Ableitung dieser Maße und zur Anwendung auf das Tonhöhenübergangsproblem verweise ich auf eine bereits publizierte Arbeit.<sup>2</sup> Hier sei nur soviel gesagt: Es wird die Tatsache genutzt, daß die beobachtete Übergangswahrscheinlichkeit zwischen zwei Tonhöhen im Falle positiver Abhängigkeit („Bindungsneigung“) größer wird als die (aus den Randsummen der Matrix schätzbare) Wahrscheinlichkeit bei Unabhängigkeit, im Falle von negativer Abhängigkeit („Abneigung“) aber kleiner. Der entsprechende Korrelationskoeffizient wird im ersten Fall positiv, im zweiten Falle negativ, bei Unabhängigkeit beider Tonhöhen hat er wie

<sup>2</sup> Reiner Kluge: *Statistische Verträglichkeiten zwischen Tonhöhen in Volksliedmelodien*, in: *Systematische Musikwissenschaft* 5 (1997) 1, S. 111-145.

gewöhnlich den Wert 0. Korrelation und Verträglichkeit hängen engstens miteinander zusammen.

Eine vereinfachte Form der Korrelationsmatrix (Tab. 3), in der nur das Vorzeichen des jeweiligen Korrelationskoeffizienten erscheint (+ oder - bei Überschreiten einer kritischen Schranke, deren Betrag hier auf  $|r| = 0,1$  gesetzt wurde) vermittelt ein Bild von dem Bindungsgefüge zwischen den Tonhöhen. In einem Pfaddiagramm (Abb. 5) werden die positiven Beziehungen als Pfeile dargestellt.

Tonhöhen	T2							
T1	<i>g</i>	<i>a</i>	<i>h</i>	<i>c'</i>	<i>d'</i>	<i>e'</i>	<i>f'</i>	<i>g'</i>
<i>g</i>		+	+		-	-	-	-
<i>a</i>					-	-	-	-
<i>h</i>				+				
<i>c'</i>		+	-		+	+	-	-
<i>d'</i>		-			+	+	-	-
<i>e'</i>		-	-	+	+			
<i>f'</i>		-	-		+		+	
<i>g'</i>		-	-	-	-	-	+	+

Tabelle 3: Korrelationen zwischen Tonhöhen T1 (Ausgangstonhöhen) und T2 (Zieltonhöhen) in der *Wassermann*-Melodie (an Stelle der Korrelationskoeffizienten sind nur deren Vorzeichen angegeben, falls der Betrag des Korrelationskoeffizienten die Schranke 0,1 überschreitet).

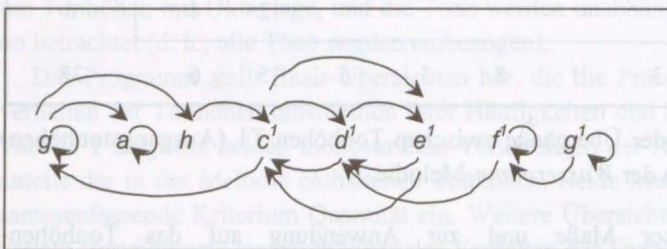


Abbildung 5: Pfaddiagramm zur *Wassermann*-Melodie.

Am Beispiel läßt sich ein hierarchisches Gefüge von drei untereinander verbundenen Gruppen von Tonhöhen erkennen: Dem Kernbereich der wechselseitig korrelierenden Tonhöhen  $c_1, d_1, e_1$  steht ein Unterbau aus den ebenfalls miteinander kommunizierenden  $g$  und  $a$  gegenüber, der über den Leitton  $h$  mit  $c_1$  vermittelt ist. Nach oben wird der Kernbereich bis  $g_1$  erweitert, von wo aus eine Bindung zurück zu  $f_1$  und von hier zu  $d_1$  besteht.

Eine weitere Basisübersicht, ebenfalls eine Übergangsmatrix, ist ein zweidimensionales Pendant zur einfachen monovariaten Verteilung der Dauernanteile (Tab. 4).

Wie kann man Dauernverhältnisse von Tonpaaren erfassen, und zwar so, daß sie sich an entsprechenden Positionen einer Matrix kumulieren lassen? Hier wurde der Weg gewählt, logarithmierte Quotienten der beiden Notenwerte zu bilden. Als Logarithmenbasis wurde 2 benutzt; auf diese Weise indiziert z. B. der Logarithmus +1 einen Übergang zum doppelten Notenwert, -1 eine Verkürzung auf den halben Notenwert.

Eine Durchsicht der Spaltensummen der abgebildeten Matrix (unter Aussparung der Tonwiederholungen, also der Diagonalelemente) verweist auf  $c_j$  und  $g_j$  als diejenigen Tonhöhen, die als Zieltöne von Tonpaaren die meisten / größten Notenwertverlängerungen auf sich vereinigen (anders ausgedrückt: diese Zieltöne besitzen insgesamt ein durationales Übergewicht gegenüber den Tonhöhen unmittelbar vorausgehender Töne). Entsprechendes gilt – nur mit umgekehrtem Vorzeichen – für die Zeilensummen als Indikator durationalen Übergewichts von Initialtonhöhen in Tonpaaren.

Beide Randsummen werden in das synthetische Kriterium Gewicht dieser Tonhöhe einbezogen. Entsprechend wurde auch mit den beiden Verträglichkeitsziffern jeder Tonhöhe verfahren.

Tonhöhen T1	T2								Summen S1
	g	a	h	c'	d'	e'	f'	g'	
g		-1,00	0,00	1,00					0,00
a	0,00								0,00
h				1,58					1,58
c'	0,00				0,00	-0,42			-0,42
d'				2,00		0,00			2,00
e'				0,00	0,00		-1,58	0,00	-1,58
f'					0,00	0,00		1,00	1,00
g'							0,00		0,00
Summen S2	0,00	-1,00	0,00	4,58	0,00	-0,42	-1,58	1,00	
S2 - S1	0,00	-1,00	-1,58	5,00	-2,00	1,17	-2,58	1,00	

Tabelle 4: Logarithmierte Dauernproportionen, kumuliert für die Übergänge zwischen Ausgangstonhöhen T1 und Zieltonhöhen T2 in der *Wassermann*-Melodie.

### 3 Faktoranalysen

Die Zusammenfassung der durch die Analyse gewonnenen Tonhöhenmerkmale zu den Kriterien Quantität, Verträglichkeit und Gewicht wurde durch eine Faktoranalyse nahegelegt (Tab. 5) und durch eine multiple Regressionsanalyse überprüft. Hier wird die Ebene der einzelnen Melodie verlassen und auf einer übergeordneten Stichprobenebene weiteroperiert. Resultate dieses Schritts können herangezogen werden, um anschließend das Verhalten der Tonhöhen in der Einzelmelodie zu kennzeichnen:

Bei der Untersuchung der Melodienstichprobe wurden Schranken gewonnen, in bezug auf die die Tonhöhenkennwerte der Einzelmelodien als sehr groß (++), groß (+), klein (-) oder sehr klein (--) gekennzeichnet werden können.

Am Beispiel der *Wassermann*-Melodie (Tab. 6): In allen drei Kriterien dominierende Tonhöhe ist die Tonika  $c_1$ . Stark hervorgehoben sind ferner die übrigen Töne des Tonika-Grundakkords. Der Skalenausschnitt  $c_1$  bis  $f_1$  zeigt die größte intertonale Aktivität (ein weiteres Verträglichkeitszentrum wird durch die Unterquinte  $g$  gebildet).

Tonhöhenmerkmale	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3	Kommunalität
	↓ Gewicht	↓ Quantität	↓ Verträglichkeit	
mittlere Tondauer	,853			,976
Dauernproportionen (Summe S1)	-,807			,984
Dauernproportionen (Summe S2)	,805			,685
relative Häufigkeit p		,972		,709
Dauernanteil		,940		,752
Verträglichkeit (Summe für T2)			,939	,902
Verträglichkeit (Summe für T1)			,932	,903
Eigenwerte	2,872	1,766	1,273	
Varianz [%]	41,0	25,2	18,2	

Tabelle 5: Rotierte Faktormatrix nach einer Faktoranalyse von Tonhöhen-Merkmalen (Rotationskriterium Varimax, Merkmale nach Faktoren sortiert, Faktorladungen <0,3 sind weggelassen). Einbezogen wurden 31 Volksliedmelodien.

Skalentöne	$g$	$a$	$h$	$c^1$	$d^1$	$e^1$	$f^1$	$g^1$
Quantität	0,167	0,070	0,028	0,243	0,070	0,155	0,118	0,147
Verträglichkeit	3,387	1,323	1,671	5,121	3,602	4,536	3,169	1,848
Gewicht	0,290	-0,062	-0,122	2,124	-0,396	0,729	-0,577	0,638
sign (Quantität)	+	-	--	++	-	+		+
sign (Verträglichkeit)	+	--	--	++	+	++	+	-
sign (Gewicht)		-	-	++	-	+	-	+

Tabelle 6: Kennwerte der 8 Skalentöne der *Wassermann*-Melodie.

#### 4 Asymmetrien im Tonhöhenübergangsverhalten

Abschließend möchte ich nochmals auf das Tonhöhenübergangsverhalten zurückkommen: auf spezielle Bahnungen von Pfaden im Tonraum. Wieder handelt es sich um eine Zusammenfassung von Einzelanalyse-Ergebnissen auf einer Stichprobenebene. Die Analyse stützt sich hierbei auf ein Material von 81 vierstimmigen diatonischen Hymnensätzen<sup>3</sup>. Die Stücke wurden alle nach C-Dur transponiert; von den Oktavlagen der Tonhöhen wurde abstrahiert; d. h. es wurden hier nur die tonalen Stufen 1° bis 7° in Betracht gezogen. Aufschlußreich für das Tonhöhenübergangsverhalten sind die bedingten Wahrscheinlichkeiten der Zieltonhöhen in Abhängigkeit von den Ausgangstonhöhen,  $p(T2 | T1)$  (Tab. 7).

Tonstufen T1	T2							Summen
	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	
1°		0,320	0,239	0,016	0,142	0,122	0,161	1,000
2°	0,470		0,367	0,035	0,077	0,007	0,044	1,000
3°	0,148	0,466		0,193	0,167	0,027	0,000	1,000
4°	0,004	0,116	0,554		0,268	0,040	0,018	1,000
5°	0,298	0,027	0,258	0,194		0,214	0,009	1,000
6°	0,156	0,018	0,000	0,036	0,652		0,138	1,000
7°	0,617	0,034	0,000	0,000	0,074	0,274		1,000

Tabelle 7: Bedingte Wahrscheinlichkeiten  $p(T2|T1)$  für die Übergänge zwischen Tonstufen T1 (Ausgangstonhöhen) und T2 (Zieltonhöhen) in den Sopranstimmen von 81 diatonischen Hymnen aus dem *Methodist Hymnal*.

Hinweise auf spezielle Bindungsneigungen ergeben sich beim Vergleich der bedingten Wahrscheinlichkeit eines bestimmten Überganges (z. B. 7°-1°) mit der Wahrscheinlichkeit im retrograden Falle (hier 1°-7°). Die Differenz ist sehr hoch. Die vollständige Durchmusterung der entsprechenden Glieder der Matrix führt auf eine Liste bekannter Asymmetrien. An der Spitze rangieren die Übergänge 7°-1°, 6°-5° und 4°-3° (Abb. 6).

Hierin kommt offenbar eine Feldeigenschaft des Tonraums zum Ausdruck: die besondere „Anziehungskraft“ der Glieder des Tonika-Akkords, der Stufen 1°, 5° und 3° auf die sekundbenachbarten Stufen 7°, 6° bzw. 4° – bei relativer Vermeidung der gegenläufigen Schritte. Dieser Befund, so vertraut er anmutet, darf nicht vorschnell verallgemeinert, als gleichsam allgemeine Gesetzmäßigkeit aufgefaßt werden. Zu vermuten ist, daß er von Faktoren wie Tongeschlecht, Zeit- und Regionalstilen sowie von der Funktion einer melodischen Linie im musikalischen Satz abhängt.

<sup>3</sup> Den Gedanken, diese aus dem *Methodist Hymnal* stammenden Sätze zu analysieren, und die Auswahl verdanke ich Daniel Werts (New York).

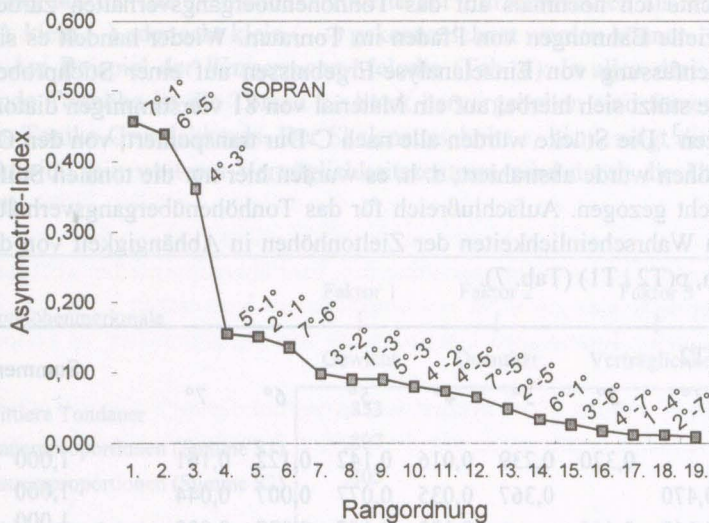


Abbildung 6: Differenz zwischen der bedingten Wahrscheinlichkeit eines Tonstufenübergangs und bedingter Wahrscheinlichkeit im retrograden Fall. Hohe Differenzen verweisen auf Richtungsabhängigkeiten (Asymmetrien) in den Beziehungen zwischen Tonstufen.

Im Falle der Baßlinien besitzen (neben  $7^{\circ}-1^{\circ}$  und  $6^{\circ}-5^{\circ}$ ) die Übergänge  $5^{\circ}-1^{\circ}$ ,  $2^{\circ}-1^{\circ}$ ,  $4^{\circ}-5^{\circ}$  und  $3^{\circ}-4^{\circ}$  (nicht  $4^{\circ}-3^{\circ}$ !) höhere bedingte Wahrscheinlichkeiten als ihre Gegenstücke.

Weiterhin ist auf kontextuelle Besonderheiten hinzuweisen, die sich aus der zeitlichen Position der Tonübergänge im melodischen Gesamtverlauf ergeben: Das Verhalten der Tonhöhen ist, wie mit derselben Methode gezeigt werden kann, in Finalphasen (der Sopran- wie der Baßlinien) ein anderes als an den Anfängen oder im Innern der Melodien.

Ich fasse zusammen: Der Tonraum ist ein von den Einzelmelodien oder einer (homogenen) Gesamtheit abstrahiertes Konstrukt, das den Tonbestand und seine Struktur abbildet. Tonbeziehungen kommen in Bindungsneigungen und in Gewichtungen zum Ausdruck, die auf bestimmte Funktionen der Tonhöhenklassen im Tonraum hinweisen.

Die besprochenen methodischen Ansätze und Maße scheinen wesentliche Züge der untersuchten Strukturen zu treffen. In allen Fällen handelt es sich um mehr oder weniger einfache, leicht zu bestimmende Kennwerte – ergänzt durch Ordnungsinformation (sei es die Anordnung nach Tonhöhe, nach Größe oder Rang in einer Liste oder in einem Diagramm). Quantifizierung und Anordnung übernimmt der unterstützende Rechner. Der Forscher hat zwei Aufgaben: Erstens gibt er Kriterien vor, darunter solche, über die in der Musiktheorie seit langem Konsens besteht (etwa die

