

# Einige informationstheoretische Parameter von einfachem Musikmaterial

VLADIMÍR MAJERNÍK

In diesem Artikel sind einige informationstheoretische Charakteristiken der slowakischen Volkslieder bestimmt, die von Béla Bartók gesammelt worden waren. Die Informationsentropien und die Redundanzen werden für jeden tonalen Modus extra angegeben. In der darauffolgenden Diskussion werden die erhaltenen Resultate mit den Resultaten von anderen Autoren verglichen und einige interessante Schlüsse über die Musik als Informationsträger gezogen.

## 1. EINLEITUNG

Bislang nur in den exakten Wissenschaften breit verwendete Methoden der quantitativen Beschreibung gewannen in der letzten Zeit auch in den humanistischen Wissenschaftszweigen immer mehr an Bedeutung. Dies wurde durch eine breite Entfaltung der zu dieser Beschreibungsweise geeigneten Zweige der Mathematik wesentlich begünstigt. Einen der wichtigsten Zweige der Mathematik, der uns quantitative Methoden in die humanistischen Wissenschaften einzuführen ermöglicht, stellt ohne Zweifel die Informationstheorie dar, mit deren Hilfe quantitative Kriterien und Gesetzmässigkeiten auch in Gebieten, die der Möglichkeit einer mathematischen Beschreibung recht entfehrt waren, wie etwa die Kunst, aufgedeckt und erfasst werden können. Ein Kunstwerk hat u.a. auch einen Kommunikationsaspekt, da mit seiner Hilfe auch Information übertragen werden kann. Offensichtlich ist die Situation hierbei wesentlich komplizierter als bei Übertragung von technischen Informationen, da die durch ein Kunstwerk vermittelte Information ausser der selektiven auch andere Informationsarten beinhaltet, für die bis jetzt weder eine hinreichende quantitative Beschreibung, noch ein geeignetes quantitatives Mass bekannt ist.

Das zugänglichste Gebiet zur Anwendung der Informationstheorie in der Kunst dürfte die Musik darstellen. Dies ist dadurch gegeben, dass die Signale, aus denen sich die musikalische Nachricht zusammensetzt, verhältnismässig einfach physikalisch beschreiben werden können (diskrete Werte für die Tonfrequenzen usw.). Für die Menge an der musikalischen Nachrichtenübertragung teilnehmender Musiksignale

(Töne), können die informationstheoretische Charakteristiken, wie etwa die Informationsentropie, die Redundanz usw., angegeben werden. Es kann mit Recht erwartet werden, dass diese Charakteristiken einerseits von der Art des Musikwerkes (Volkslied, Kantate, symphonische Dichtung usw.), andererseits von der Kunstrichtung und von dem Zeitpunkt ihrer Entstehung abhängen werden. Gelingt es Beziehungen zwischen informationstheoretischen und gattungs-historischen Daten von Musikwerken aufzudecken, so wird dies einen entscheidenden Fortschritt bei der Einführung von quantitativen Kriterien in Musikwissenschaft bedeuten.

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der Bestimmung einiger informationstheoretischen Charakteristiken für eine der einfachsten Musikgattungen- für Volkslieder. Hierzu war es nötig, zunächst einige statistischen Charakteristiken des studierten Musikmaterials zu kennen bzw. zu ermitteln, und demzufolge eine Vielzahl von Volksliedern eingehend statistisch zu analysieren.

## 2. AUSWAHL DES MATERIALS

Alle existierenden Volkslieder statistisch zu analysieren wäre ohne einen Elektronenrechner eine viel zu zeitraubende und mühsame, vor allem aber kaum zu bewältigende Arbeit, und da uns dieser nicht zur Verfügung stand, so sahen wir uns genötigt, die Analyse nur auf einen Teil der slowakischen Volkslieder zu begrenzen. Wir entschieden uns für Volkslieder, die im Band I des Werkes „Slowakische Volkslieder“ von Béla Bartók [1] enthalten sind. Bartók sammelte über 3000 slowakische Volkslieder und teilte diese nach verschiedenen rhythmisch-melodischen Kriterien auf. In [1] befinden sich Lieder, die der Gruppe A-1a (s. Aufteilung in [1]) angehören, d. h. vierzeilige Melodien mit nichtpunktiertem Rhythmus und mit isometrischen Zeilen. Dabei versteht man nach [1] unter einer Melodienzeile das auf eine Textzeile entfallende Glied der Melodie und unter dem nichtpunktierten Rhythmus denjenigen Rhythmus einer Melodie in dem keine rhythmischen Kombinationen von Typus  $\bullet \cdot \bullet \cdot$ ,  $\bullet \cdot \bullet \cdot$  usw. vorkommen.

Bevor an die eigentliche Ermittlung der Charakteristiken dieser Volkslieder herangetreten wurde, sind diese nach den einzelnen Tonarten aufgeteilt worden. Dies ermöglichte uns nachher die informationstheoretischen Charakteristiken von Volksliedgruppen separat nach Tonarten zu ermitteln. Diese Aufteilung war sehr mühsam und oft auch musiktheoretisch anspruchsvoll, da viele von den untersuchten Volksliedern in recht komplizierten Moden geschrieben sind. Auf der anderen Seite aber ist diese Aufteilung auch vom musiktheoretischen Standpunkt von Bedeutung.

## 3. STATISTISCHE CHARAKTERISTIKEN SLOWAKISCHER VOLKSLIEDER

Das musikalische Geundsignal – der Ton – hat mehrere physikalische Parameter (Frequenz, Dauer, Lautstärke usw.) und jeder dieser Parameter kann als Informations-

träger dienen. Wir beschränken uns auf einen physikalischen Parameter des Musiktones, auf seine Frequenz. Es ist wohl bekannt, dass die Musiktonfrequenzen nur bestimmte diskrete Werte annehmen können, denen in der musikalischen Notation ganz bestimmte Noten zugeordnet sind. Töne aller möglichen diskreten Frequenzen (jedoch ohne Rücksicht auf ihre Dauer und andere physikalische Parameter) stellen für uns die Menge aller möglichen Signale der musikalischen Nachricht dar. Um gewisse Systematik bei der statistischen Analyse von Volksliedern, zu erreichen nahmen wir zunächst eine solche Transformation vor, dass der Grundton der Tonart in der das jeweilige Werk geschrieben ist, stets der Ton g wurde. Ferner teilten wir zweckmässig die Tonarten der slowakischen Volkslieder der Gruppe A-1a in zwei Gruppen auf. Der ersten Gruppe gehören folgende Tonarten an (unter den Noten sind mit römischen Zahlen die Stufen angegeben, die die einzelnen Töne in der betreffenden Tonart darstellen):

- |                     |   |                 |     |    |   |                 |                  |      |
|---------------------|---|-----------------|-----|----|---|-----------------|------------------|------|
| 1. Moll:            | g | a               | b   | c  | d | es              | f                | g    |
|                     | I | II              | III | IV | V | VI              | VII              | VIII |
| 2. dorisch:         | g | a               | b   | c  | d | e               | f                | g    |
|                     | I | II              | III | IV | V | VI <sup>#</sup> | VII              | VIII |
| 3. Moll-harmonisch: | g | a               | b   | c  | d | es              | fis              | g    |
|                     | I | II              | III | IV | V | VI              | VII <sup>#</sup> | VIII |
| 4. Moll-dotisch:    | g | a               | b   | c  | d | e               | f                | g    |
|                     | I | II              | III | IV | V | VI <sup>#</sup> | VII              | VIII |
| 5. Moll-melodisch:  | g | a               | b   | c  | d | e               | fis              | g    |
|                     | I | II              | III | IV | V | VI <sup>#</sup> | VII <sup>#</sup> | VIII |
| 6. phrygisch:       | g | as              | b   | c  | d | es              | f                | g    |
|                     | I | II <sup>b</sup> | III | IV | V | VI              | VII              | VIII |
7. kombiniert (gemischt), d. h. Tonarten, die durch Kombination der übrigen 6 der ersten Gruppe angehörenden Tonarten entstehen.

In die zweiten Gruppe wurden folgende Tonarten eingegliedert:

- |                     |   |    |     |                 |                 |    |                  |      |      |
|---------------------|---|----|-----|-----------------|-----------------|----|------------------|------|------|
| 1. Dur:             | g | a  | h   | c               | d               | e  | fis              | g    |      |
|                     | I | II | III | IV              | V               | VI | VII              | VIII |      |
| 2. mixolydisch:     | g | a  | h   | c               | d               | e  | f                | g    |      |
|                     | I | II | III | IV              | V               | VI | VII <sup>b</sup> | VIII |      |
| 3. lydisch:         | g | a  | h   | cis             | d               | e  | fis              | g    |      |
|                     | I | II | III | IV <sup>#</sup> | V               | VI | VII              | VIII |      |
| 4. Dur-lydisch:     | g | a  | h   | c               | cis             | d  | e                | fis  | g    |
|                     | I | II | III | IV              | IV <sup>#</sup> | V  | VI               | VII  | VIII |
| 5. Dur-mixolydisch: | g | a  | h   | c               | d               | e  | f                | fis  | g    |
|                     | I | II | III | IV              | V               | VI | VII <sup>b</sup> | VIII |      |
6. Kombiniert (gemischt), d. h. Tonarten, die durch Kombination der übrigen 5 der zweiten Gruppe angehörenden Tonarten entstehen.

Tabelle 1. Anzahl der einzelnen Töne in Liedern in Tonarten der 1. Gruppe (betrifft Einteilung der Tonarten in Gruppen s. Text)

Nr.	Tonart	III	IV	V	VI	VI <sup>♯</sup>	VII	VII <sup>♯</sup>	I	II <sup>♯</sup>	III	IV	V	VI	VI <sup>♯</sup>	VII	VII <sup>♯</sup>	VIII	IX <sup>♯</sup>	IX	X	Gesamtzahl		
		Lieder	Noten	Lieder	Noten	Lieder	Noten	Lieder	Noten	Lieder	Noten	Lieder	Noten	Lieder	Noten	Lieder	Noten	Lieder	Noten	Lieder	Noten	Lieder	Noten	
1	Moll	0	0	22	2	0	79	0	527	31	335	605	473	615	157	0	134	0	149	0	12	3	114	3144
2	dorisch	0	2	4	0	6	13	0	122	0	96	113	150	190	8	60	71	0	71	0	17	3	32	926
3	Moll-harm.	0	0	25	1	2	4	23	129	0	115	100	70	88	6	2	5	0	4	0	0	0	19	574
4	Moll-dorisch	0	0	0	1	2	7	0	45	0	24	42	43	79	13	17	36	0	44	0	6	1	15	360
5	Moll-melod.	0	0	10	0	6	0	5	26	0	21	20	6	25	1	3	3	2	6	0	1	1	5	136
6	phrygisch	2	0	1	6	0	7	0	38	37	1	58	48	29	45	0	20	0	15	1	1	1	10	310
7	gemischt	0	0	13	1	6	12	8	63	2	48	51	48	61	5	12	9	7	27	0	7	3	11	383
	Summe	2	2	75	11	22	122	36	950	70	640	989	838	1087	235	94	278	9	316	1	44	12	206	5833

Tabelle 2. Anzahl der einzelnen Töne in Liedern in Tonarten der 2. Gruppe (betrifft Einteilung der Tonarten in Gruppen s. Text)

Nr.	Tonart	I	II	III	IV	IV <sup>♯</sup>	V	VI	VII <sup>♯</sup>	VII	I	II	III	IV	IV <sup>♯</sup>	V	VI <sup>♯</sup>	VI	VII <sup>♯</sup>	VII	VIII	IX	X	XI	Gesamtzahl	
		Lieder	Noten	Lieder	Noten	Lieder	Noten	Lieder	Noten	Lieder	Noten	Lieder	Noten	Lieder	Noten	Lieder	Noten	Lieder	Noten	Lieder	Noten	Lieder	Noten	Lieder	Noten	Lieder
1	Dur	2	6	28	27	1	246	117	0	197	1470	1197	1491	1011	5	1455	0	517	0	126	297	33	9	0	298	8235
2	mixolyd.	0	0	0	5	0	17	16	153	4	469	321	321	419	1	280	0	205	109	1	147	11	0	0	91	2479
3	lydisch	0	0	0	0	0	12	4	0	13	187	201	238	0	162	285	0	93	0	38	23	17	1	0	49	1274
4	Dur-lyd.	0	0	0	0	0	23	9	0	21	148	129	174	70	36	128	0	41	1	12	24	3	1	0	30	820
5	Dur-mix.	0	0	0	1	0	7	12	11	2	87	55	85	0	77	0	53	25	5	40	9	1	0	15	525	
6	gemischt	0	0	0	1	0	8	11	2	8	49	36	46	12	22	69	11	35	22	3	14	1	0	0	12	350
	Summe	2	6	28	34	1	313	169	166	245	2410	1939	2325	1607	216	2294	11	1944	157	185	545	74	12	0	495	13683

Tabelle 3.

Relative Häufigkeit der einzelnen Töne in Liedern in Tonarten der 1. Gruppe (die in der Tabelle angegebenen Zahlenwerte sind mit  $10^{-3}$  zu multiplizieren, um die Häufigkeitswerte zu erhalten)

Nr.	Tonart	III	IV	V	VI	VII <sup>#</sup>	I	II <sup>b</sup>	II	III	IV	V	VI	VII <sup>#</sup>	VIII	IX <sup>b</sup>	IX	X				
1	Moll	0	0	7	1	0	25	0	168	10	107	192	150	196	50	0	43	0	47	0	4	1
2	dorisch	0	2	4	0	6	14	0	132	0	104	122	162	205	9	65	77	0	77	0	18	3
3	Moll-harm.	0	0	44	2	3	7	40	225	0	200	174	122	153	10	3	9	0	7	0	0	0
4	Moll-dorisch.	0	0	0	3	6	19	0	125	0	67	117	119	219	36	47	100	0	122	0	17	3
5	Moll-melodisch	0	0	73	0	44	0	37	191	0	154	147	44	184	7	22	22	15	44	0	7	7
6	phrygisch	6	0	3	19	0	23	0	123	119	3	187	155	94	145	0	65	0	48	3	3	3
7	gemischt	0	0	34	3	16	31	21	164	5	125	133	125	159	13	31	23	18	70	0	18	8

Tabelle 4.

Relative Häufigkeit der einzelnen Töne in Liedern in Tonarten der 2. Gruppe (die in der Tabelle angegebenen Zahlenwerte sind mit  $10^{-3}$  zu multiplizieren, um die Häufigkeitswerte zu erhalten)

Nr.	Tonart	I	II	III	IV	IV <sup>#</sup>	V	VI	VII <sup>b</sup>	VII	I	II	III	IV	IV <sup>#</sup>	V	VI <sup>b</sup>	VI	VII <sup>b</sup>	VII	VIII	IX	X
1	Dur	0	1	3	3	0	30	14	0	24	179	145	181	123	1	177	0	63	0	15	36	4	1
2	mixolydisch	0	0	0	2	0	7	6	62	2	189	129	129	169	0	113	0	83	44	0	59	4	0
3	lydisch	0	0	0	0	0	9	3	0	10	147	158	187	0	127	224	0	73	0	30	18	13	1
4	Dur-lydisch	0	0	0	0	0	28	11	0	26	180	157	212	85	44	156	0	50	1	15	29	4	1
5	Dur-mix.	0	0	0	2	0	13	23	21	4	166	105	105	162	0	147	0	101	48	10	76	17	2
6	gemischt	0	0	0	3	0	23	31	6	23	140	103	131	63	34	197	31	100	63	9	40	3	0

Anzahl der einzelnen Töne in Liedern der 1. Gruppe, jedoch nach Transposition in den Rahmen einer einzigen Oktave

Nr.	Tonart	I	II <sup>♯</sup>	II	III	IV	V	VI	VI <sup>♯</sup>	VII	VII <sup>♯</sup>
1	Moll	676	31	347	608	473	637	159	0	213	0
2	dorisch	193	0	113	116	152	194	8	66	84	0
3	Moll-harm.	133	0	115	100	70	113	7	4	9	23
4	Moll-dorisch	89	0	30	43	43	79	14	19	43	0
5	Moll-melodisch	32	0	22	21	6	35	1	9	3	7
6	phrygisch	53	38	2	61	48	30	51	0	27	0
7	gemischt	90	2	55	54	48	74	6	18	21	15
	Summe	1266	71	684	1001	840	1165	246	116	400	45

Die Anzahl der Töne bestimmter Tonhöhe zusammen mit ihrer relativen Häufigkeit in den analysierten Liedern, getrennt für Tonartgruppen 1 und 2, ist in Tab. 1 und 3 bzw. 2 und 4 (see den Text zu den Tabellen) angegeben. Transponiert man alle Töne in den Rahmen einer einzigen Oktave, so erhält man die in Tab. 5 bis 8 wiedergegebenen Resultate. Es wurden 701 Lieder mit insgesamt 19.516 Noten analysiert.

Tabelle 6.

Anzahl der einzelnen Töne in Liedern der 2. Gruppe, jedoch nach Transposition in den Rahmen einer einzigen Oktave

Nr.	Tonart	I	II	III	IV	IV <sup>♯</sup>	V	VI <sup>b</sup>	VI	VII <sup>b</sup>	VII
1	Dur	1769	1236	1529	1038	6	1701	0	634	0	323
2	mixolydisch	616	332	321	424	1	297	0	221	262	5
3	lydisch	210	218	239	0	162	297	0	97	0	51
4	Dur-lydisch	172	132	175	70	36	151	0	50	1	33
5	Dur-mixolyd.	127	64	56	86	0	84	0	65	36	7
6	femischt	63	37	46	23	12	77	11	46	24	11
	Summe	2957	2019	2366	1641	217	2607	11	1113	323	430

#### 4. ENTROPIE DER VOLKSLIEDER

339

Die zur Errechnung der Informationsentropie erster Ordnung nötigen statistischen Daten befinden sich in Tab. 4, 3, 7 und 8. Informationsentropie erster Ordnung ( $H_1$ ) einer Menge von Signalen mit Vorkommenswahrscheinlichkeiten  $p_1, p_2, p_3, \dots, p_N$  ist gegeben durch die allgemein bekannte Gleichung

$$(1) \quad H_1 = - \sum_{j=1}^N p_j \cdot \log_2 p_j.$$

Die so ermittelte Entropie der Volkslieder ist getrennt nach Tonarten in den Tab. 9 und 10 angegeben.  $H_1'$  ist die Entropie der Töne im gesamten Tonbereich (berechnet aus Tab. 2 und 4).  $H_1''$  ist die Entropie der in eine einzige Oktave transponierten Töne (nach Tab. 7 und 8). Es ist verständlich, dass  $H_1'$  grösser als  $H_1''$  ist. Mittels der Informationsentropie kann eine weitere informationstheoretische Charakteristik,

**Tabelle 7.**  
Relative Häufigkeit der einzelnen Töne in Liedern in Tonarten der 1. Gruppe, jedoch nach Transposition in den Rahmen einer einzigen Oktave

Nr.	Tonart	I	II <sup>b</sup>	II	III	IV	V	VI	VI <sup>♯</sup>	VII	VII <sup>♯</sup>
1	Moll	0,215	0,010	0,110	0,193	0,150	0,203	0,051	0,000	0,068	0,000
2	dorisch	0,208	0,000	0,122	0,125	0,164	0,210	0,009	0,071	0,091	0,000
3	Moll-harm.	0,232	0,000	0,200	0,174	0,122	0,197	0,012	0,007	0,016	0,040
4	Moll-dorisch	0,247	0,000	0,083	0,119	0,119	0,219	0,039	0,053	0,119	0,000
5	Moll-melodisch	0,235	0,000	0,162	0,154	0,044	0,257	0,007	0,066	0,022	0,052
6	phrygisch	0,171	0,123	0,006	0,197	0,155	0,097	0,165	0,000	0,087	0,000
7	gemischt	0,235	0,005	0,144	0,141	0,125	0,193	0,016	0,047	0,055	0,039

**Tabelle 8.**  
Relative Häufigkeit der einzelnen Töne in Liedern in Tonarten der 2. Gruppe, jedoch nach Transposition in den Rahmen einer einzigen Oktave

Nr.	Tonart	I	II	III	IV	IV <sup>♯</sup>	V	VI <sup>b</sup>	VI	VII <sup>b</sup>	VII
1	Dur	0,215	0,150	0,186	0,126	0,001	0,207	0,000	0,077	0,000	0,039
2	mixolydisch	0,248	0,134	0,129	0,171	0,000	0,120	0,000	0,089	0,106	0,002
3	lydisch	0,165	0,171	0,188	0,000	0,127	0,233	0,000	0,076	0,000	0,040
4	Dur-lydisch	0,210	0,161	0,213	0,085	0,044	0,184	0,000	0,061	0,001	0,040
5	Dur-mixolyd.	0,242	0,122	0,107	0,164	0,000	0,160	0,000	0,124	0,069	0,013
6	gemischt	0,180	0,106	0,131	0,066	0,034	0,220	0,031	0,131	0,069	0,031

Tabelle 9.

Entropie erster Ordnung der ganzen Tonmenge im gesamten Tonhöhenbereich ( $H'_1$ ), bzw. für den durch Transposition erhaltenen Einoktavenbereich ( $H''_1$ ), für Lieder in Tonarten der 1. Gruppe.  $R_1$  ist die Redundanz erster Ordnung für den Einoktavenbereich.

Nr.	Tonart	$H'_1$	$H''_1$	$R_1$ in %
1	Moll	3,025	2,711	24,36
2	dorisch	3,186	2,763	22,91
3	Moll-harm.	2,852	2,632	26,57
4	Moll-dorisch	3,229	2,779	22,47
5	Moll-melodisch	3,257	2,685	25,08
6	phrygisch	3,201	2,792	22,10
7	gemischt	3,478	2,878	19,70

Tabelle 10.

Entropie erster Ordnung der ganzen Tonmenge im gesamten Tonhöhenbereich ( $H'_1$ ), bzw. für den durch Transposition erhaltenen Einoktavenbereich ( $H''_1$ ), für Lieder in Tonarten der 2. Gruppe.  $R_1$  ist die Redundanz erster Ordnung für den Einoktavenbereich.

Nr.	Tonart	$H'_1$	$H''_1$	$R_1$ in %
1	Dur	3,102	2,663	25,71
2	mixolydisch	3,153	2,743	23,48
3	lydisch	2,917	2,654	25,96
4	Dur-lydisch	3,117	2,764	22,89
5	Dur-mixolyd.	3,329	2,782	22,38
6	gemischt	3,484	3,038	15,23

nämlich die Redundanz, bestimmt werden. Da uns lediglich die Entropie erster Ordnung zur Verfügung steht, so können wir auch nur die Redundanz erster Ordnung nach der Gleichung

$$(2) \quad R_1 = 1 - \frac{H_1}{\log_2 n}$$

ermitteln. Hierbei ist  $n$  die Anzahl aller an der Informationsübertragung teilnehmender Signale. Das in den Tab. 9 und 10 angegebene  $R_1$  wurde nach (2) berechnet, wobei  $H'_1$  für  $H_1$  und  $n = 12$ , d. h. gleich der Anzahl der Töne einer Oktave, gesetzt wurde. Diatonische Tonarten (z. B. Dur, Moll usw.) haben nur 7 Töne in einer Oktave, wir sollten also  $n = 7$  nehmen. Dies trifft jedoch nur im Grenzfall zu, in realen Werken treten auch Töne auf, die zu der gewählten Tonart eigentlich nicht

gehören. Aus diesem Grunde muss man  $n = 12$  nehmen.  $R_1$  erreicht den grössten Wert für Lieder in lydischer Tonart und den niedrigsten Wert für Lieder in den kombinierten Tonarten. Das letztere ist leicht dadurch zu erklären, dass in den kombinierten Tonarten alle Töne, d. h. auch die zu der betreffenden Tonart nicht gehörenden Zwischentöne, nahezu mit der gleichen Wahrscheinlichkeit vorkommen. Durchschnittswerte für die Redundanz betragen: für die erste Gruppe von Tonarten 22,61%, für die zweite Gruppe 23,31% und für beide Gruppen zusammen 22,99%. Dieser Wert stimmt mit dem in [2] angegebenen Redundanzwert  $R_1$  für gregorianischen Gesang recht gut überein. Bei der deutschen romantischen Musik kommt man im Durchschnitt auf einen  $R_1$ -Wert von 13,4% [2], also auch einen wesentlich niedrigeren Wert als bei Volksliedern. Diese Tatsache ist wiederum auf die in der romantischen Musik im Vergleich zu Volksliedern wesentlich häufigere Benutzung von Zwischentönen zurückzuführen. Es kann mit Recht erwartet werden, dass bei neuzeitlichen Kunstrichtungen in der Musik (besonders bei atonalen) noch kleinere Werte von  $R_1$  herauskommen, Dank der gleichmässigen Verwendung aller 12 Töne.\* Es scheint somit, dass die Redundanz ein durchaus brauchbares objektives Mass zur Kennzeichnung der Musikgattung und auch der Kunstrichtung darstellt. Es ist noch nicht genügend Material analysiert worden, doch es scheint uns schliessen zu dürfen, dass sich die Redundanz mit der Fortentwicklung der Musik verringert, d. h. der Informationsgehalt eines Musikelementes (eines Tones) steigt an. Auf der anderen Seite ist wieder der Informationsfluss, den der Mensch in der Zeiteinheit durch seine Sinnesorgane\*\* zu empfangen in der Lage ist, begrenzt [3], [4] und man kann also erwarten, dass die w. o. angegebene Tendenz keine unbegrenzte Fortsetzung haben kann. Komponierungsweise in Tonarten ist ein die Redundanz erhöhender Faktor, da nur ein Teil von den zur Verfügung stehenden Tönen benutzt wird. Nimmt man jedoch in (1)  $n = 7$  (Anzahl der Töne in der diatonischen Tonleiter), so bekommt man für  $R_1$  aussergewöhnlich niedrige Werte, so z. B. für Lieder in Dur bekommt man  $R_1 = 5,14\%$  oder für gregorianischen Gesang (nach [2])  $R_1 = 3,2\%$ . Dies ist dadurch verursacht, dass die Vorkommenswahrscheinlichkeiten von Tönen bestimmter Tonleiter keine grossen Unterschiede aufweisen.

\* Doch das gilt nur dann, wenn keine neuen Regeln auf die Komposition der atonalen Werke auferlegt werden, wie das z. B. in einer dodekaphonischen Zwölftontechnik der Fall ist. Dabei bekommen wir, wegen der Regel, dass man einen Ton erst dann benutzen darf, wenn alle andere Töne aus der atonalen Reihe benutzt worden waren, für die Durchschnittsentropie pro Ton

$$H = - \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} \log_2 \left( \frac{1}{i} \right)$$

und für die Redundanz  $R_1 = 32,98\%$  einen Wert, der viel höher liegt als im Falle der romantischen Musik oder gar der Volkslieder.

\*\* In diesem Falle durch das Gehör.

Abschliessend danke ich Frl. Izáková für ihre Hilfe bei der Sortierung und Analyse des gesamten Musikmaterials.

(Eingegangen am 12. Mai 1966.)

#### LITERATUR

- [1] B. Bartók: Slowakische Volkslieder. Band I. Academia scientiarum slovacae. Bratislava MCMLIX.
- [2] J. Cohen: Information and music. Behavioral science 7 (1962), 137.
- [3] H. Fack: Informationstheoretische Behandlung des Gehörs. Impulstechnik (F. Winckel Editor). Springer-Verlag, B.-G.-H. 1956.
- [4] V. Majerník: Some Information-Theoretical Characteristics of the Human Ear for Non-Stationary Acoustical Stimuli. Proc. of 4th Int. Congress on Cybernetics. Namur (1967), 556.

#### V Ý Ť A H

### Niektoré informačno-teoretické parametre jednoduchého hubobného materiálu

VLADIMÍR MAJERNÍK

Práca sa zaoberá aplikáciou metód štatistiky a teórie informácie v hudobných vedách. Jej cieľom je určenie informačnej entropie a redundancie u jednoduchého hudobného materiálu, za ktorý autor volil ľudové piesne nachádzajúce sa v známej zbierke slovenských ľudových piesní od B. Bartóka. Pred určením informačno-teoretických parametrov je daná muzikologická analýza tohto hudobného materiálu z tonalitného hľadiska a sú stanovené niektoré relevantné štatistické parametre 701 ľudových piesní. Tieto štatistické hodnoty slúžia potom ako podklad pre určenie vlastnej entropie a redundancie skúmaných ľudových piesní. V nasledujúcej diskusii sú obdržané hodnoty entropie a redundancie ľudových piesní porovnané s hodnotami iných autorov. Záverom sa vyvodzujú niektoré závery o hudbe ako nositeľke selektívnej informácie.

*RNDr. Vladimír Majerník, CSc., Fyzikálny ústav SAV, Dúbravská cesta, Bratislava.*