



11. April 1983

Studienarbeit

Automatische Erkennung prosodischer Merkmale zur  
Schlüsselwortdetektion in fließender Sprache.

*W. Endres*

Bearbeiter:	Lichtenthäler, Hans-Martin Meyer, Jochen	St 1997 EA
Betreuer:	Dr. Wolf (FTZ) Prof. Dr. rer. nat. W. Endres	
ausgestellt am:	11. April 1983	
Einlieferungsdatum:	11. Oktober 1983	

Erklärung

=====

Wir versichern, daß wir die vorliegende Studienarbeit  
ohne fremde Hilfe und nur unter Verwendung der im  
Verzeichnis angegebenen Literatur angefertigt haben.

Darmstadt, im März 1984

Jochen Meyer  
Martin Rühlkötter

Wir danken allen Mitarbeitern der Abteilung FI 13 des  
Forschungsinstituts für Ihre Hilfe bei der Gewinnung  
des Sprachmaterials und unseren Freunden, die uns bei  
der Bewertung der Testsätze geduldig geholfen haben.

Besonderer Dank gilt Herrn Dr. Wolf für seine  
Betreuung während der Durchführung der Studienarbeit.  
Er hat uns in vielen Gesprächen wertvolle Anregungen  
gegeben.

Außerdem danken wir Herrn Prof. Dr. Endres, der es  
uns ermöglicht hat, die Studienarbeit am Forschungs-  
institut der Deutschen Bundespost durchzuführen.

Darmstadt, im März 1984

Jochen Meyer  
Martin Lichtenhals

1	Einleitung.....	1
1.1	Aufgabenstellung.....	1
1.2	Wozu Spracherkennung ?.....	1
1.3	Mögliche Betonungen eines Satzes.....	2
2	Voraussetzungen.....	4
2.1	Geräteaufbau.....	4
2.2	Software-Voraussetzungen.....	5
3	Gewinnung des Sprachmaterials.....	11
3.1	Problematik.....	11
3.2	Durchgeführte Methoden.....	12
4	Subjektive Betonungserkennung.....	14
4.1	Gewinnung der subjektiven Betonung.....	14
4.2	Auswertung.....	14
4.3	Subjektive Betonung als Optimierungskriterium.....	15
5	Analyseverfahren.....	16
5.1	Grundgedanken.....	16
5.2	Entwicklung des Analyseprogramms BETON.....	16
5.3	Zusammenfassung.....	23
5.4	Flankenverfahren.....	25
6	Statistische Auswertung.....	27
6.1	Vergleich Flanken-, Flächen-Verfahren.....	27
6.2	Statistik des Flächenverfahrens.....	27
7	Ansatzmöglichkeiten für Verbesserungen.....	31
8	Zusammenfassung.....	32
9	Literaturverzeichnis.....	33
10	Anhang.....	34
10.1	Liste der analysierten Sätze.....	34
10.2	Diagramme der analysierten Sätze.....	43
10.3	Programme.....	53

## 1 Einleitung

=====

### 1.1 Aufgabenstellung

-----

Die Aufgabe unserer Studienarbeit war es, ein Programm zu erstellen, das signifikante Stellen in gesprochenen Sätzen findet. Unter signifikanten Stellen verstehen wir die informationstragenden Wörter, im folgenden Schlüsselwörter genannt, die der Sprecher durch Betonung hervorhebt. Die Betonung äußert sich durch Änderung eines oder mehrerer prosodischer Merkmale, nämlich Sprachgrundfrequenz, Vokaldauer und Lautenergie (Prosodie umfaßt die vorwiegend emotionell bestimmten Sprachmerkmale Sprachrhythmus, Wortbetonung und Satzmelodie). Die Sprachgrundfrequenz ist diejenige Frequenz, mit der die Stimmlippen des Menschen schwingen. Das Spektrum stimmhafter Laute besteht aus äquidistanten Spektrallinien. Die Linie mit der niedrigsten Frequenz stellt die Sprachgrundfrequenz dar [1].

Ein Zuhörer ist durch die Wahrnehmung der Betonung in der Lage, den Sinn einer Aussage schneller zu erfassen, weil er seine Aufmerksamkeit auf die wichtigen Wörter richtet. Dieser Prozeß, der beim Menschen unbewußt abläuft, soll per Programm nachvollzogen werden.

### 1.2 Wozu Spracherkennung ?

-----

Automatische Spracherkennung soll in Verbindung mit automatischer Sprachausgabe dazu dienen, die Kommunikation Mensch-Maschine so durchzuführen, wie es den Gewohnheiten des Menschen entspricht. Die Eingabe über Tastatur in einen Rechner ist umständlich, da sich der Mensch der Maschine anpassen muß (Schreibmaschinenkurs). Sprache ist das bequemste Medium, mit einem Rechner in Verbindung zu treten. Allerdings ist eine Kommunikation, die ohne Tastatur auskommt, derzeit noch nicht möglich. Während die Probleme der automatischen Ausgabe von Sprache heute als weitgehend gelöst angesehen werden können, sind auf dem Gebiet der

Spracherkennung bisher nur Verfahren bekannt und erprobt, welche die Erkennung einzeln gesprochener Wörter eines begrenzten Wortschatzes gestatten. Zudem sind sie meist auf die Erkennung weniger Sprecher beschränkt, auf die sie angelernt werden müssen. Diese Verfahren basieren oft auf einem Mustervergleich. Das eingegebene Sprachmuster wird mit vorab gespeicherten, d.h. gelernten Mustern verglichen und eine Entscheidung zugunsten des Ähnlichsten getroffen. Der Mustervergleich, wortweise auf einen Satz angewandt, ist zeitaufwendig und soll durch Auffinden prägnanter Stellen als "Kristallisationskerne", von denen aus die Erkennung gezielt vorangetrieben wird, verkürzt werden.


### 1.3 Mögliche Betonungen eines Satzes

-----

Die Betonung eines Satzes setzt sich aus der sogenannten syntaktischen und der emphatischen Betonung zusammen. Nach der syntaktischen Betonung (Regelbetonung) [2] wird der Satz in Gruppen unterteilt. Innerhalb der Gruppen werden bestimmte Wörter betont, nämlich Nomen und manchmal Verben. Andere Wörter, wie z.B. Artikel, tragen nie eine Betonung. Die emphatische Betonung dagegen erlaubt die Betonung jedes Wortes, je nachdem, welches Wort der Sprecher hervorheben will.

Anhand eines Beispiels sollen mögliche emphatische Betonungen eines Satzes demonstriert werden. Je nach Betonung ergeben sich verschiedene Aussagen.

Der Mustersatz lautet: Der Wagen ist blau.  
Soll ausgedrückt werden, daß dieser Wagen blau ist und nicht jener, so sagt man:

  
D e r Wagen ist blau. (Und deutet darauf.)

Die Betonung äußert sich in einer Dehnung des Vokals /ε/, Erhöhung der Sprachgrundfrequenz und höherer Lautenergie, wie man leicht durch Sprechen nachvollziehen kann. Über dem Satz ist


die Melodiekurve aufgetragen, nach der sich die Grundfrequenz ändert [3].

Wird dagegen ausgedrückt, daß der Wagen blau ist und nicht der Fahrer, so sagt man:

  
Der Wagen ist blau.


Hier wird der Vokal /a/ gedehnt und sowohl lauter als auch höher gesprochen.

War der Wagen vorher grün und ist nun blau angemalt worden, so werden etwaige Zweifel an der jetzigen Farbe durch folgende Aussage beseitigt:

  
Der Wagen ist blau. (Er war grün.)

Bei dieser Feststellung unterliegt der Vokal /i/ den oben beschriebenen Änderungen.

Jetzt ist der Wagen nicht mehr grün, sondern blau. Also sagt man:

  
Der Wagen ist blau. (Und nicht grün.)

Hier werden die oben beschriebenen Betonungsmerkmale auf den Diphthong /au/ angewendet.

Wie man sieht, ist es möglich, durch Betonung denselben vier Worten jeweils einen anderen Sinn zu verleihen. Betonung ist also ein wichtiges, sinngebendes Ausdrucksmittel.

## 2 Voraussetzungen

=====

Zur Durchführung der Analysen sind einige Hilfsmittel nötig. Das zentrale Werkzeug ist der Rechner VAX 11/780. Er besitzt Analog-Digital-Wandler-Eingänge zur Sprachaufzeichnung und Digital-Analog-Wandler-Ausgänge zur Wiedergabe. Das Sprachmaterial wird digital abgespeichert, die Analysen digital durchgeführt. Dazu ist ein Programmsystem vorhanden, das die Berechnung von Sprachgrundfrequenz, Lautenergie, Formantparametern etc. gestattet. Die Abtastfrequenz für die Analog/Digital-Wandlung haben wir auf 8 kHz eingestellt. Damit ergibt sich nach dem Abtasttheorem und mit einer Filterreserve ein Frequenzbereich, der ungefähr der Telefonbandbreite entspricht (50 - 3400 Hz), und damit einer möglichen Anwendung bei der automatischen Telefonauskunft entgegenkommt.

### 2.1 Geräteaufbau

-----

Vor dem Eingang des A/D-Wandlers befindet sich ein Tiefpaßfilter mit einer Grenzfrequenz von 3,4 kHz und einer Flankensteilheit von 24 dB/Oktave. Vor den Tiefpaß ist ein Mischverstärker geschaltet, der es gestattet, wahlweise Sprachproben über Mikrofon oder von einem Tonbandgerät in den Rechner einzuspeisen.

An den Ausgang des D/A-Wandlers wird ein Tiefpaßfilter mit ebenfalls 3,4 kHz Grenzfrequenz geschaltet. Dem Filter folgt ein Verstärker zur Wiedergabe über Lautsprecher (siehe Bild 2.1, 1).



Bild 2.1, 1 Blockschaltbild des Geräteaufbaus



## 2.2 Software-Voraussetzungen

-----  
Die Sprachproben legten wir im Massenspeicher (Magnetplatten) der VAX unter den Filenamen WD101 bis WD199 ab. Die Länge der Files beträgt je 6 Sekunden. Davon sind 3 Sekunden für die Originalaufnahme vorgesehen. Die verbleibenden 3 Sekunden werden für die akustische Wiedergabe der betonten Wörter verwendet. Die Analysedaten werden auf den Files WD201 bis WD299 abgelegt. Die Files WD100 und WD200 verwendeten wir als Zwischenspeicher für die Analyse. File WD1 hat eine Länge von 5 Minuten und ist für Tonbandaufnahmen vorgesehen.

Zur Analyse von Sprache steht auf der Rechenanlage das Programmsystem ILS (interactive laboratory system) zur Verfügung. Zur einfacheren Bearbeitung von Sprachproben erwies es sich als hilfreich, für häufig wiederkehrende Anweisungen, die zahlreiche Eingaben verlangen, einzelne schematisierte Anweisungsfolgen als Hilfsprogramme (command procedures) abzuspeichern.

### 2.2.1 Selbsterstellte Hilfsprogramme

#### 2.2.1.1 Hilfsprogramm AUFNA

AUFNA macht bis zu 99 Sprachaufnahmen von jeweils 3 Sekunden Länge und legt diese unter der eingegebenen Speichernummer (Filenummer) ab. Nach einer Beurteilung der Aufnahme durch akustische Wiedergabe kann die Aufnahme gelöscht und wiederholt werden.

Das Fortran-Programm AUSST ermöglicht eine Aussteuerungskontrolle.

#### 2.2.1.2 Hilfsprogramm HEXEL

Mit HEXEL können brauchbare Sätze aus File WD1, in das wir Tonbandaufnahmen von fünf Minuten Länge aufgenommen haben, segmentiert werden. Mit Hilfe der Darstellung von 10 Sekunden der Zeitfunktion auf dem Bildschirm kann ein Abschnitt herausgesucht

werden. Diesen läßt man gesondert wiedergeben, um über seine Abspeicherwürdigkeit (Kriterien siehe Punkt 3.2) zur weiteren Untersuchung entscheiden zu können. Der Abschnitt wird unter der vorher eingegebenen Nummer abgelegt.

#### 2.2.1.3 Hilfsprogramm HOERE

Mit dem Hilfsprogramm HOERE können bis zu 99 Sprachaufnahmen beliebig oft wiedergegeben werden.

#### 2.2.1.4 Hilfsprogramme ANALY und BANAL

ANALY führt bis zu 99 Sprachanalysen hintereinander durch und zwar zuerst mit dem ILS-Programm API (siehe 2.2.2.7). Unter Verwendung der in API ermittelten Sprachgrundfrequenz- und Energiedaten wird unser Programm BETON (siehe 5) zur Betonungsfindung durchlaufen. Alle Analysedaten werden in dem zum Aufnahme- file zugehörigen Analysefile abgelegt.

Um Einflüsse von Programmänderungen schnell überblicken zu können, erstellten wir das Programm BANAL. Es führt lediglich die Reihenanalyse mit dem Programm BETON durch, ohne die Sprachgrundfrequenz und Energie neu zu ermitteln. Diese Daten werden durch BETON nicht verändert, so daß sich die Neuberechnung erübrigt, was Rechenzeit einspart.

#### 2.2.1.5 Hilfsprogramm RAEUM

Das Hilfsprogramm RAEUM dient zum Löschen schlechter Aufnahmen, wobei die Folgenden nachgeschoben werden und die Lücke geschlossen wird.

#### 2.2.1.6 Hilfsprogramme GLOTZ, BLICK und KURVE

Diese Hilfsprogramme dienen zur graphischen Darstellung der Analysedaten.

Mit GLOTZ kann man sich einen schnellen Überblick über den von BETON bearbeiteten Sprachgrundfrequenzverlauf (siehe 5.2) verschaffen. Dieses Programm war für Reihenuntersuchungen von Sprachgrundfrequenzverläufen erforderlich.

BLICK bringt die graphische Darstellung der für unsere Untersuchungen notwendigen Analyseparameter auf den Bildschirm, nämlich Energie, Sprachgrundfrequenz und Betonungskennung.

KURVE gibt zusätzlich zu den Daten von BLICK noch die Zeitfunktion, die von API berechnete, ungeglättete Sprachgrundfrequenz und die von BETON berechneten Frequenzflächen wieder. Für Reihenuntersuchungen ist dieses Programm nicht geeignet, weil die Ausgabe aller Daten sehr zeitaufwendig ist, insbesondere die Darstellung der Zeitfunktion.

#### 2.2.1.7 Hilfsprogramm DRUCK

Mit DRUCK kann der Bildschirminhalt, der sich nach KURVE ergeben hat, auf Papier ausgedruckt werden.

#### 2.2.1.8 Hilfsprogramm UMFRA

Das Hilfsprogramm UMFRA erstellten wir, damit Testpersonen unser Sprachmaterial anhören und auf Betonungen untersuchen konnten (siehe 4.1). Die 99 Sprachproben werden der Reihe nach wiedergegeben und auf Wunsch beliebig oft wiederholt.

#### 2.2.1.9 Hilfsprogramm STAUN

Das Hilfsprogramm STAUN dient dazu, die Fähigkeiten unseres BETON-Programmes anschaulich zu demonstrieren. Es wird eine Aufnahme gemacht und diese analysiert (API und BETON). Sämtliche Analysedaten werden graphisch dargestellt. So kann dem staunenden Beobachter mit einer beliebigen Sprachaufnahme die Betonungsfindungs-Qualität unseres Flächenverfahrens demonstriert werden.

## 2.2.2 Vorhandene Programme

In unseren Programmen benutzen wir bereits vorhandene Unterprogramme, die uns das ILS-Programmsystem zur Verfügung stellte [4]. Diese Programme waren wichtige Hilfsmittel bei der Aufnahme, Wiedergabe und Analyse. ILS-Unterprogramme werden durch dreibuchstabige Kürzel aufgerufen. Mit dem Befehl SILS wird das ILS-Programmsystem initialisiert.

### 2.2.2.1 ILS-Programm CTX (context)

Die Abtastwerte des Sprachsignals müssen für die Durchführung der Analyse in Rahmen (frames) zusammengefaßt werden. Innerhalb eines Rahmens kann dann das Spektrum, die Energie etc. berechnet werden. Mit CTX ist es möglich, die Anzahl der Abtastwerte pro Analyserahmen einzustellen oder den aktuellen Wert abzufragen.

### 2.2.2.2 ILS-Programm FIL (file selection)

Bevor auf ein File zugegriffen werden kann, muß dem Rechner eine Filenummer mitgeteilt werden. Dies geschieht mit der FIL-Anweisung.

Neue Files werden mit der FIL-0-Anweisung kreiert. Abtastfrequenz und die Länge des Files, die durch die Anzahl der Rahmen festgelegt wird, sind bei der File-Generierung einzugeben. Bei einer Abtastfrequenz von 8 kHz und einem Kontext (CTX) von 80 Abtastwerten pro Rahmen (frame) ergibt sich eine Rahmendauer von 10 Millisekunden. Somit enthält ein File von 6 Sekunden Länge 600 Rahmen.

Ein zweites File (secodary file) kann durch die FIL-S-Anweisung eingestellt werden. Das ist notwendig, um dem Sprachfile ein Analysefile zuzuordnen oder um den Adressaten beim Kopieren einer Sprachaufnahme anzugeben.

#### 2.2.2.3 ILS-Programme REC und LSN (record, listen)

Mit der Aufnahme-Anweisung REC wird die Analog-Digital-Wandlung vorbereitet. Auf Tastendruck wird die Aufnahme über den gewählten Kanal in das vorher eingestellte File gestartet.

Zur Wiedergabe bedient man sich der LSN-Anweisung. Dem Rechner muß eingegeben werden, mit welchem Rahmen die Wiedergabe beginnen soll, wieviele Rahmen wie oft wiedergegeben werden sollen und über welchen D/A-Kanal die Wiedergabe erfolgen soll.

#### 2.2.2.4 ILS-Programm TRF (transfer)

Mit dem ILS-Programm TRF ist es möglich, Sprachaufnahmen rahmenweise aus einem File in ein anderes zu transferieren. Diese Anweisung benötigten wir, um die durch die Betonungskennung in der Lautstärke beeinflusste Sprachprobe an die Original-Aufnahme anzuhängen.

#### 2.2.2.5 ILS-Programm CUR (cursor)

Das ILS-Programm CUR gestattet es, mit Hilfe der graphischen Darstellung der Zeitfunktion auf dem Bildschirm, Teilbereiche herauszuschneiden. Mit CUR wurden die Sätze aus dem 5-Minuten-File gewonnen.

#### 2.2.2.6 ILS-Programm INA (initialize analysis)

Mit INA wird die Analyse initialisiert. Es werden verschiedene Eintragungen in den Speicherkopf (file header) vorgenommen, auf welche die einzelnen Analyseprogramme zugreifen müssen (Vokaltraktlänge etc.).

#### 2.2.2.7 ILS-Programm API (analysis with pitch extraction)

Das ILS-Programm API liefert uns die für die weitere Berechnung durch BETON notwendigen Sprachgrundfrequenz- und Energiedaten.

Zuerst wird eine LPC-Analyse [5] durchgeführt, die die nicht-normierte Residual-Energie und den 1. Reflexionskoeffizienten liefert. Nach einer stimmhaft/stimmlos Entscheidung wird die Anregungsfunktion ermittelt. Nach einer Beschränkung des Frequenzbereiches auf 200 - 1000 Hz und Logarithmieren liefert die schnelle Fourier-Transformation (FFT) das Cepstrum. Hieraus läßt sich die Sprachgrundfrequenz ermitteln [6].

#### 2.2.2.8 ILS-Programm FTR (formant tracking)

Das Programm glättet den errechneten Verlauf der Sprachgrundfrequenz und offensichtlich falsche Meßwerte (Ausreißer) werden eliminiert.

#### 2.2.2.9 ILS-Programme DSP und DPM (display, display parameter)

Mit dem ILS-Programm DSP werden die Abtastwerte aus dem Aufnahme-file graphisch dargestellt (Zeitfunktion). Die Position der Darstellung auf dem Schirm ist frei wählbar.

Mit DPM lassen sich Berechnungswerte, wie z.B. Sprachgrundfrequenz und Energie, graphisch als Kurvenzug auf dem Bildschirm darstellen.

### 3 Gewinnung des Sprachmaterials

=====

#### 3.1 Problematik

-----

Um ein Verfahren zu entwickeln, in gesprochenen Sätzen Betonungen zu finden, ist es erforderlich, gut betont gesprochene Sätze zum Überprüfen der Methode zur Verfügung zu haben.

Unsere ersten Versuche machten wir mit einfachen Aussagesätzen, wie z.B. "Der Himmel ist blau.". Diese Sätze ließen wir verschiedene Sprecher von einer Liste ablesen. Da es sich bei den Personen um ungeschulte Sprecher handelte, nämlich die bereitwilligen Mitarbeiter unserer Abteilung, zeigte sich bald, daß beim Herunterlesen der Sätze die Betonung sehr vernachlässigt wurde, weil sie nicht aus eigenem Mitteilungsbedürfnis gesprochen wurden.

Weitere Überlegungen gingen dahin, den Sprecher in eine Situation zu versetzen, in der er aus sich heraus etwas ausdrücken will. Er soll also eine Aussage machen, die er selbst formuliert und gewichtet. Eine Möglichkeit, realitätsnahe Frage- und Antwortsätze mit Intention zu erhalten, wäre gewesen, Anrufe bei der Telefonauskunft auf Tonband aufzunehmen. Dies ist jedoch rechtlich nicht zulässig.

Eine weitere Möglichkeit, Sprachmaterial zu erhalten, wäre das Mitschneiden von Nachrichtensendungen in Rundfunk und Fernsehen gewesen. Hierbei handelt es sich jedoch ebenfalls um abgelesene Texte. Sie werden lediglich von geübten Sprechern vorgelesen und damit sinnvoll betont, nämlich für die Zuhörer verständlich. Die Sätze sind aber abgelesen und somit ohne die starke Ausdruckskraft eines Sprechers, der etwas aus persönlicher Veranlassung, eigener Überzeugung oder privatem Interesse sagt.

Interviews oder Fragen zur eigenen Person, die wir auch erst in Erwägung zogen, wollten wir dann aber doch nicht durchführen. Durch das Eindringen in die Privatsphäre kann beim Befragten Unbehagen auftreten, das sich in der Verkrampfung auf die Stimme

und somit auf den Redefluß auswirkt (Kloß im Hals, Prüfungssituation).

### 3.2 Durchgeführte Methoden

-----

Nach langen Überlegungen haben wir uns dazu entschlossen, die Sprecher in eine Spiel-Situation zu bringen, die auch den Anreiz eines Wettkampfes hat. Dadurch sollten sich die Sprecher so stark engagieren, daß sie motivierte Sätze sprechen. Zu diesem Zweck fertigten wir Bleistiftzeichnungen an, die aus einfachen geometrischen Figuren, wie Kreisen, Quadraten und Dreiecken, aufgebaut waren (siehe Bild 3.2, 1).

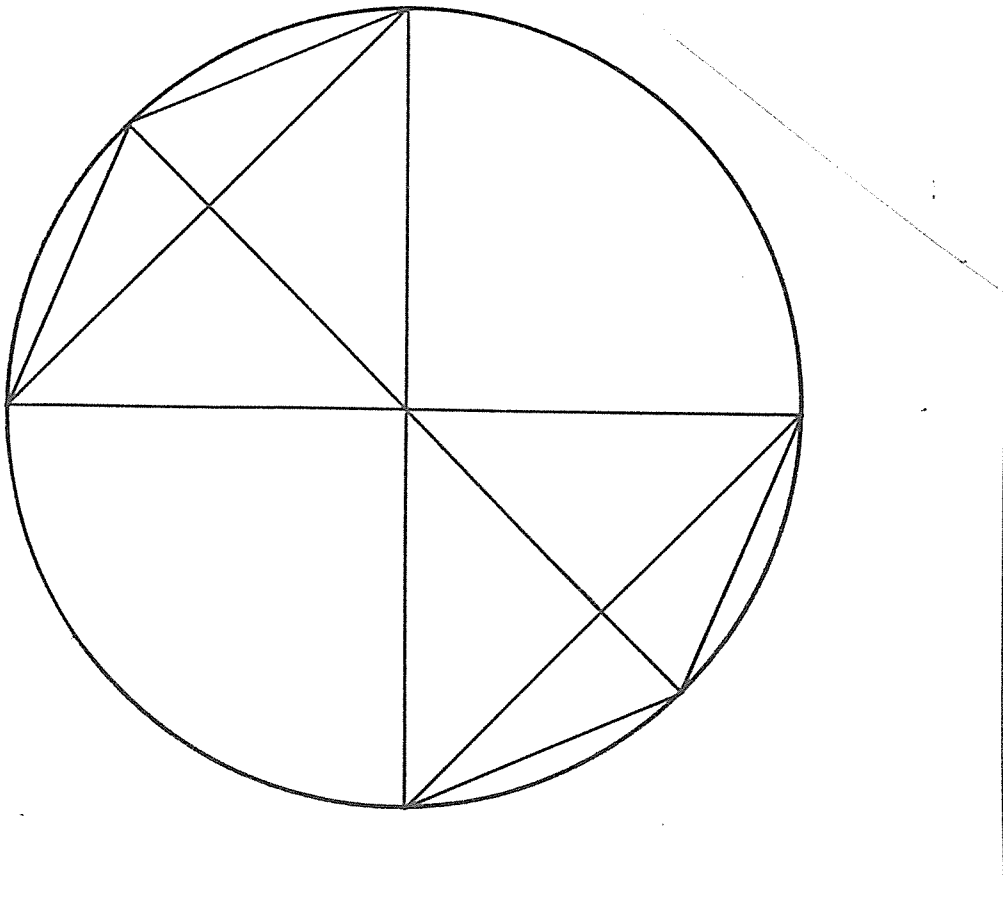


Bild 3.2, 1 Eine der Zeichnungen, die nach verbaler Erklärung nachgezeichnet werden sollte.



Jeweils zwei Personen begaben sich in die Sprecherkabine, die wir durch eine Trennwand in zwei Plätze eingeteilt hatten. Die beiden Partner konnten sich somit nicht sehen, sondern nur durch Worte verständigen. Einem von beiden wurde eine Zeichnung vorgelegt. Er hatte die Aufgabe, diese Zeichnung dem Partner möglichst genau zu erklären, damit dieser in der Lage war, die Zeichnung nachzumalen. Dieses Spiel führten wir mit 15 Personen und 6 verschiedenen Zeichnungen durch. Die Sprecher waren alle männlichen Geschlechts. Die akustische Übermittlung der Skizzen schnitten wir auf Tonband mit. Aus den so gewonnenen Sprachaufnahmen suchten wir möglichst vollständige Sätze von maximal 3 Sekunden Dauer (wegen des Analyseverfahrens: Speicherplatzbedarf, Rechenzeit) heraus. Dabei schenken wir der Betonung des Satzes **k e i n e** Beachtung.

Große Teile dieser Gespräche waren für unsere Zwecke unbrauchbar, weil der eine Partner dem anderen ins Wort fiel. So erhielten wir aus ca. 140 Minuten Sprachaufnahmen 98 Sätze, die uns zur Analyse zur Verfügung standen (siehe 10.1).

Lediglich bei einem Satz (Nr. 55) handelt es sich um einen, nicht nach dem eben beschriebenen Verfahren gewonnenen Satz. Er wurde direkt über Mikrofon aufgenommen. Es ist ein Satz aus einem möglichen Anwendungsgebiet automatischer Spracherkennung, der Fahrplanauskunft.

#### 4 Subjektive Betonungserkennung

=====

##### 4.1 Gewinnung der subjektiven Betonung

-----

Die nach 3.2 gewonnenen Sprachproben sollten nun auf Betonungen untersucht werden. Um die Qualität eines Rechenprogrammes, das Betonungen findet, beurteilen zu können, muß vorher festliegen, wo der Mensch eine Betonung wahrnimmt. Deshalb spielten wir die 99 Sätze 10 Versuchspersonen vor, die mit den Sprechern nicht identisch waren. Die Testpersonen erhielten eine Liste der Sätze, die sie sich genau anhören sollten. Hauptbetonungen waren durch einen Kreis, Nebenbetonungen durch Unterstreichen zu kennzeichnen. Ein gut betontes Wort im Satz würde mit ziemlicher Sicherheit von allen oder den meisten Hörern erkannt, während bei zweifelhaften Sätzen die Markierungen sehr streuen dürften. Wie die Auswertung zeigt, bestätigte sich diese Annahme.

##### 4.2 Auswertung

-----

Die 10 vorliegenden Listen wurden folgendermaßen ausgewertet: Wörter, die mit einem Kreis versehen waren (Hauptbetonung), wurden mit zwei Punkten bewertet, die mit Unterstreichung gekennzeichneten mit einem Punkt. Wörter ohne Markierung erhielten keinen Punkt. So bekamen wir für jedes Wort eine Punktzahl (maximal 20), deren Höhe die Stärke der empfundenen Betonung angibt. Innerhalb eines Satzes definierten wir das Wort, das die meisten Punkte erhalten hatte, für hauptbetont. Allerdings wurden die Sätze, bei denen die Hauptbetonung weniger als 10 Punkte aufwies, als schlecht betonte Sätze klassifiziert.

Bei 26 von 99 Testsätzen fiel die Betonungsentscheidung von mindestens 9 der Zehn auf dasselbe Wort (mindestens 18 Punkte) (siehe 10.1). Diese offensichtlich eindeutig betonten Sätze legten wir der Entwicklung unseres Erkennungsalgorithmus zu Grunde. Wörter, die weniger als 5 Punkte erhielten, waren für uns unbetont.

#### 4.3 Subjektive Betonung als Optimierungskriterium

---

Der Suchalgorithmus soll die gleichen Wörter markieren, die vom Menschen gefunden werden, d.h. das Programm soll das Wort im Satz finden, das die höchste Punktzahl erhalten hat. Die Strategie zur Betonungsfindung muß nun so verändert werden, daß bei den 26 gut betonten Sätzen möglichst viele Übereinstimmungen erreicht werden. Wir untersuchten die Auswirkungen einzelner prinzipieller Maßnahmen, aber auch den Einfluß von Parameteränderungen und optimierten in der uns zur Verfügung stehenden Zeit das Verfahren.

## 5 Analyseverfahren

=====

### 5.1 Grundgedanken

-----

Das Analyseprogramm soll anhand von vorher berechneten Daten (Energie, Sprachgrundfrequenz) das oder die betonten Wörter in einem gesprochenen Satz erkennen und in Bild und Ton wiedergeben. Das erste Problem, das sich hier stellt, ist ein Aufteilen des Satzes in Wörter, die anschließend nach bestimmten Kriterien sortiert werden sollen. Die per Programm gefundenen Betonungen haben wir mit den vom Menschen gefundenen verglichen und das Programm solange verändert, bis eine größtmögliche Übereinstimmung erreicht war. Dazu haben wir verschiedene Theorien aufgestellt, die sich entweder bestätigten oder verworfen werden mußten. Die einzelnen Entwicklungsstufen des Analyseprogramms sollen im Folgenden erklärt werden.

### 5.2 Entwicklung des Analyseprogramms BETON

-----

Wir nannten unser Analyseprogramm BETON, wie Betonung. Die ersten zehn Versionen dienten lediglich dazu, den Umgang mit dem Rechner zu erlernen und aus den, vom ILS-Programmsystem bereitgestellten Programmen, geeignete Werkzeuge herauszusuchen. Die ersten BETON-Versionen enthielten noch keine sinnvolle Strategie, sondern dienten lediglich der Anpassung des Programmablaufs an die Problematik. Die Versionen BETON 11-19 sind vom Prinzip her identisch, so daß ihre verschiedenen Strategien zur Betonungsfindung direkt miteinander verglichen werden können. Wir unterteilten das Programm in Unterprogramme, um Teilprobleme übersichtlicher lösen zu können.

Die ersten Schwierigkeiten ergaben sich beim Ein- und Auslesen der Analysedaten. Dieses Problem wurde durch Erstellen der Unterprogramme LESEN und AUSGA rasch gelöst (siehe 10.3). LESEN liest aus dem Analysefile die durch API errechneten Energie- und Grundfrequenzdaten. AUSGA schreibt von BETON errechnete Daten auf

freie Stellen des Analysefiles zurück. Außerdem werden die gefundenen Betonungen in das Sprachfile kopiert.

Anfangs benutzten wir zu Testzwecken eine provisorische Betonungs-Findungs-Strategie, indem wir die Stelle maximaler Energie als Hauptbetonung festlegten. Eine Beschneidung der Energiewerte unter 5 Prozent der Maximalenergie lieferte uns die "Wortgrenzen". Diese Grenzen werden im Folgenden als Pseudo-Wortgrenzen bezeichnet, da die Erkennung isolierter Wörter ein Problem für sich ist. Diese Strategie diente lediglich dazu, ein Programmsystem zu entwickeln, das es uns ermöglichte, Reihenuntersuchungen unkompliziert durchzuführen. Die errechneten Daten sollten leicht überschaubar dargestellt werden, was durch die Hilfsprogramme KURVE, BLICK und GLOTZ erreicht wurde.

Eine Verbesserung der Strategie wurde durch die Wortteilung nach einer stimmhaft/stimmlos Entscheidung erreicht. Befriedigende Ergebnisse wurden jedoch nicht erzielt.

Da die Energie als Betonungskriterium alleine nicht ausreicht, wurde die Sprachgrundfrequenz zur Auswertung mit herangezogen. Die stimmhaften Abschnitte wurden nach Höhe ihrer Energie und Frequenz sortiert, wobei eine Gewichtung im Verhältnis 1:1 erfolgte. Erfahrungen zeigten, daß die Energie weniger betonungsentscheidend ist, was uns zu einer Abänderung des Gewichtungsverhältnisses auf 1:4 zu Gunsten der Sprachgrundfrequenz veranlaßte.

Die Auswertung des aus API errechneten Frequenzverlaufs erwies sich als problematisch, da es sich um keinen geschlossenen Kurvenzug handelt, weil nur bei stimmhaften Lautverbindungen die Frequenz ermittelt werden kann. Dieser unstetige Verlauf ist für sinnvolle Untersuchungen nicht geeignet. Deshalb erzeugten wir einen ununterbrochenen Kurvenzug, wobei wir von folgender Modellvorstellung ausgingen: Der Mensch verändert in Abhängigkeit von der Betonung die Sprachgrundfrequenz. Für die Betonung eines Satzes läßt sich eine Zeitfunktion angeben, deren Amplitude proportional zur Wichtigkeit der Wörter verläuft. Diese Funktion trägt auch zur Steuerung der Frequenz der Stimmlippen (Sprachgrundfrequenz) bei, d.h. es besteht ein Zusammenhang

zwischen der Frequenzfunktion und der Betonungsfunktion. Eine mathematische Beschreibung dieses Zusammenhangs ist uns allerdings nicht bekannt. Unsere Modellvorstellung geht davon aus, daß die Frequenzfunktion stetig ist. In stimmlosen Bereichen schwingen die Stimmlippen nicht, es kann keine Frequenz gemessen werden. Durch die Interpolation ermittelten wir die hypothetische Anregungsfunktion.

Da sich durch Meßfehler ein unruhiger Frequenzverlauf ergibt, erfolgt nach der linearen Interpolation eine Glättung der Frequenz nach folgendem Schema: Für die Berechnung eines Frequenzwertes  $GLAT(t)$  werden 5 benachbarte Werte,  $FREM(t-2)$  bis  $FREM(t+2)$ , berücksichtigt, um kurzzeitige Schwankungen zu eliminieren ( $GLAT(t)$  = geglättete Sprachgrundfrequenz,  $FREM(t)$  = interpolierte Sprachgrundfrequenz). Das geschieht nach folgender Formel (Pascal'sches Dreieck):

$$GLAT(t) = \frac{FREM(t-2)+4*FREM(t-1)+6*FREM(t)+4*FREM(t+1)+FREM(t+2)}{16}$$

(Gleichung 5.2, 1)

Da wir die Frequenz auf ihre Änderung untersuchen wollten, genügte die Stetigkeit der Funktion nicht; auch ihre Ableitungen mußten stetig sein. Nachdem wir die erste Ableitung gebildet hatten, glätteten wir sie nach dem gleichen Prinzip. Die zweite Ableitung wurde ebenso behandelt. Anschließend wurde die Sprachgrundfrequenz durch zweifache Integration erhalten. Diese empirisch gefundene Methode liefert eine, dem Original sehr ähnliche Funktion, die jedoch keine Ecken mehr enthält.

Den dann vorliegenden glatten Frequenzverlauf untersuchten wir auf Maxima und Minima. Die Frequenzänderungen von aufsteigender und fallender Flanke addierten wir und suchten anschließend die maximale Änderung. Dieses Verfahren modifizierten wir dahingehend, daß wir nur nach dem maximalen Frequenzhub der Vorderflan-

ken suchten, da sich die Betonung durch eine Anhebung der Frequenz über dem iktischen Vokal des betonten Wortes äußert. Diese Strategie bezeichneten wir als Flankenverfahren. Eine genaue Beschreibung dieser Methode und ihre statistische Auswertung findet sich unter den Punkten 5.4 und 6.1. Aus Zeitgründen war es uns nicht möglich, die Bedeutung abfallender Flanken für die Betonung eindeutig zu klären.

Im Folgenden wird die Entwicklung der Strategien zur Betonungsfindung dargestellt, wie sie sich durch Testen am mittlerweile bereitgestellten Sprachmaterial vollzog.

#### 5.2.1 BETON Version 11

Die Strategie zur Worttrennung wurde hier verändert. Nach dem Aufsuchen von Frequenzmaxima und -Minima wurden zwei Minima, die ein Maximum einschließen, als Wortanfang und -ende deklariert. Dieses Verfahren brachte eine entscheidende Verbesserung, denn in vielen Fällen stimmten die gefundenen Pseudo-Wortgrenzen mit den tatsächlichen überein. Eine Energiebewertung fand nicht mehr statt. Zur Betonungsfindung wurde jetzt ausschließlich die Sprachgrundfrequenz ausgewertet. Die gefundenen Minima wurden mit Geradenstücken zu einem Polygonzug verbunden. Die sich zwischen Frequenzkurve und Polygonzug ergebenden Flächen wurden nun zur Auswertung herangezogen. Die Flächen wurden wortweise (von Minimum zu Minimum) berechnet und die größte sich ergebende Fläche zur Hauptbetonung erklärt. Mit diesem "Flächenverfahren" werden zwei Effekte berücksichtigt, nämlich die Anhebung der Frequenz und die Dehnung des iktischen Vokals.

Die gefundenen Betonungen konnten zur Beurteilung des Verfahrens isoliert über Lautsprecher wiedergegeben werden. Die Wortgrenzen wurden zur Wiedergabe um 0.1 Sekunde nach vorn versetzt, weil die Frequenzanhebung vor oder während des betonten Vokals erfolgt und somit vorhergehende Konsonanten nicht erfaßt werden. Der Wert des zeitlichen Versatzes wurde durch zahlreiche Tests gefunden. Bei der graphischen Darstellung der Analyseergebnisse wurden alle gefundenen Betonungen berücksichtigt.

### 5.2.2 BETON Version 12

Gegenüber BETON 11 hat sich hier lediglich die Betonungsmarkierung geändert. Das hauptbetonte Wort wird durch Schraffur der Fläche unter der Sprachgrundfrequenz gekennzeichnet. Es wird nur die am meisten betonte Silbe ausgegeben.

### 5.2.3 BETON Version 13

Dieses Programm berücksichtigt den Sonderfall des letzten Wortes, da hier ein abschließendes Minimum fehlen kann, was einen Fehler bei der Flächenberechnung verursacht. Zur Vermeidung solcher Fehler wird vom letzten Minimum aus eine waagerechte Linie bis unter den letzten Frequenzmeßwert gezogen und als untere Flächenbegrenzung benutzt.

Zusätzlich sucht das Programm den maximalen Frequenzhub (Flankenverfahren). Stimmen die Betonungen, die nach beiden Verfahren gefundenen wurden, überein, so wird in der graphischen Wiedergabe der Analysedaten dieses besonders hervorgehoben (siehe Anhang, 10.2). Wird keine Übereinstimmung festgestellt, so wird die Lage der Flanke durch zwei senkrechte Striche gekennzeichnet.

Dieses Programm ist das erste im Rahmen dieser Arbeit, mit dem Reihenuntersuchungen durchgeführt wurden und bei dem die Ergebnisse dokumentiert sind. Wir untersuchten, in wieweit die vom Programm gefundenen Hauptbetonungen (je Satz eine) mit den vom Zuhörer gefundenen Betonungen übereinstimmen. Bei den 99 Sätzen wurden 50 Hauptbetonungen richtig erkannt. Von den 26 Hauptbetonungen der gut betonten Sätze wurden 16 gefunden, was einer Erkennungsrate von 62 % entspricht.

### 5.2.4 BETON Version 14

Wir eliminierten Sprachgrundfrequenzmeßwerte unterhalb eines Energieschwellwertes mit folgender Begründung: in Lautübergängen von Vokalen zu Konsonanten oder bei Einschwingvorgängen



von Vokalen weist der Frequenzverlauf starke Sprünge auf. Diese Unstetigkeitsstellen können eliminiert werden, da hier keine Betonung ausgedrückt wird.

Außerdem reduzierten wir abfallende Frequenzflanken auf den tiefsten Meßwert. Wir glaubten, eine Betonung würde sich nur im aufsteigenden Ast äußern. Die statistische Auswertung zeigte eine Verbesserung gegenüber BETON 13 : bei 99 Sätzen wurden 53 Hauptbetonungen richtig gefunden, bei 26 gut betonten Sätzen 18. Das entspricht einer Erkennungsrate von 69 % .

Um die Wirkung nur einer Veränderung gegenüber Version 13 zu überprüfen, ließen wir in BETON 14 A die Routine weg, die die abfallenden Flanken reduziert. Es ergab sich eine deutliche Verbesserung : von 99 Hauptbetonungen wurden 55 gefunden. Bei den 26 ausgewählten Sätzen wurde 20 mal die Betonung richtig gefunden. Damit wurde die Erkennungsrate auf 77 % gesteigert.

Es zeigte sich also, daß durch das Weglassen der abfallenden Flanken Betonungsinformation verloren geht, zumindest was unser Flächenverfahren angeht.

#### 5.2.5 BETON Version 15

Bei der fünfzehnten Version passierte ein Malheur: Wir ließen Frequenzflächen unterhalb eines Schwellwertes weg, um bei wenig betonten Sätzen keine falschen Ergebnisse zu erzielen. Es wurden von 99 Hauptbetonungen 58 gefunden. Das sind aber z w e i mehr als bei Version 14. Die Erkennungsrate für die 26 Sätze blieb konstant auf 69 % . Diese Veränderung entdeckten wir aber erst bei der Gesamtübersicht über alle Programme. Grund für diese Änderung ist mit großer Wahrscheinlichkeit ein Fehler im Programmablauf. Wir überschrieben nämlich die alten Ergebnisse mit den neuen, dabei ist offensichtlich ein Fehler passiert.

#### 5.2.6 BETON Version 16

Bei der Untersuchung der Sprachgrundfrequenz-Verläufe fielen uns sehr steile Flanken oder gar Sprünge auf. Wir überlegten uns,

ob eine so schnelle Änderung überhaupt möglich ist. In einer Studienarbeit, die sich ebenfalls mit der Sprachgrundfrequenz befaßte [7], fanden wir eine Angabe, daß sich die Sprachgrundfrequenz um maximal 20 % von Periode zu Periode ändern könnte. Hier ist jedoch ein Änderungsmaß angegeben, das auf die Änderung selbst bezogen ist, und deshalb die Berechnung des absoluten Wertes der Änderung sehr erschwert. Um für unsere Berechnung einen einfacher handhabbaren Wert für die maximale Änderungsgeschwindigkeit zu erhalten, stellten wir selbst Untersuchungen an, auf der genannten Angabe von 20 % basierend. Dazu nahmen wir einen - quasi gesungenen - Vokal /a/ auf, bei dem die Tonhöhe sehr schnell variiert wurde, ohne jedoch die Stimme zu überschlagen (jodeln). Wir fanden heraus, daß sich die Frequenz bei einem männlichen Sprecher um maximal 30 Hz in 10 Millisekunden ändert. Diesen Wert benutzten wir in der neuen Programm-Version, um so steile Flanken, wie sie z.B. bei Übergängen zu Verschlußlauten auftreten können, zu eliminieren. Damit werden schnelle, zeitlich begrenzte Frequenzänderungen, die offensichtlich nicht mit einer Betonung im Satz korrespondieren und deshalb zu Fehlerkennung führen würden, ausgeschlossen.

Mit dieser Veränderung des Verfahrens konnten 2 Hauptbetonungen mehr erkannt werden, nämlich insgesamt 60. Die Erkennungsrate bei den gut betonten Sätzen änderte sich nicht. Sie blieb konstant auf 69 % .

#### 5.2.7 BETON Version 17

Wir berechneten bisher die Flächen zwischen Frequenzverlauf und dem Streckenzug von Minimum zu Minimum. Kurzzeitige Frequenzeinbrüche führen zur Erkennung eines Minimums, was zu Fehlern bei der Flächenberechnung führt. Kriterium für das Ausbügeln solcher Minima war der Abstand des Minimums zur Verbindungslinie der beiden benachbarten Minima. Durch Testen verschiedener Abstandswerte mit Sätzen, die einen sehr welligen Frequenzverlauf aufwiesen, fanden wir als günstigsten Wert 20 Hz.

Bei den 99 Sätzen wurden 59 Hauptbetonungen erkannt, von den 26 Hauptbetonungen wurden 19 gefunden. Die Erkennungsrate erhöhte sich damit auf 73 % .

#### 5.2.8 BETON Version 18

Auf Grund der Ergebnisse von Beton 14 A nahmen wir jetzt die abfallenden Flanken wieder hinzu. In den 99 Sätzen wurden zwar nur noch 58 Betonungen gefunden, dafür ergab sich bei den 26 gut betonten Sätzen eine deutliche Verbesserung: es wurden 21 Betonungen richtig gefunden. Das entspricht einer Erkennungsrate von 81 % .

#### 5.2.9 BETON Version 19

Dieses Programm ist lediglich die überarbeitete Version von BETON 18. Es enthält das Verständnis erhöhende Kommentare und eine Erklärung der verwendeten Variablen. Eine kleine Veränderung wurde beim Ausbeulen der Frequenz vorgenommen: es ergab sich ein optimaler Abstandswert von 21 Hz.

### 5.3 Zusammenfassung

-----

Wir erklären nun unser Flächenverfahren zum Abschluß im Zusammenhang. Dazu verweisen wir auf die im Anhang befindlichen Diagramme (10.2). Die oberen Diagramme entstanden nach BETON 13, die unteren nach BETON 19. Somit sind die Änderungen, die sich durch die jeweilige Strategie ergeben, erkennbar. Die vom ILS-Programm API ermittelten Sprachgrundfrequenzmeßwerte, bei denen die Energie weniger als 20 % der maximalen Lautenergie betrug, wurden eliminiert (10.2, Satz 70 und 6). Dadurch wurden Meßfehler vermieden, die durch Ein- und Ausschwingvorgänge der Stimmlippen entstehen. Anschließend wurde nach zu steilen Frequenzflanken gesucht, die durch fehlerbehaftetes Messen zustande kommen. Wir ließen eine Änderung der Sprachgrundfrequenz von maximal 30 Hz in 10 Millisekunden zu, steilere Flanken wurden eliminiert (10.2,

Satz 21). Dadurch wurden gleichzeitig Oktavsprünge, die bei der Sprachgrundfrequenz-Berechnung auftreten können, vermieden. Durch lineare Interpolation in Bereichen der stimmlosen Laute erhielten wir einen kontinuierlichen Kurvenzug, der dann noch mit unserer Ableitungsmethode geglättet wurde (10.2, Satz 78). Dadurch entsprachen unsere Meßwerte einer quasianalytischen Funktion, da sie selbst und ihre beiden ersten Ableitungen keine Unstetigkeiten (Sprünge, Ecken) aufwiesen.

Der geglättete Sprachgrundfrequenzverlauf wurde dann auf Minima und Maxima untersucht. Frequenzeinbrüche (schwach ausgeprägte Minima in der Nähe von Maxima) eliminierten wir (10.2, Satz 48 und 71). Wir teilten den Satz in Abschnitte (Wörter) ein, wobei die Minima die Grenzen bildeten.

Für die Flankenmethode berechneten wir nun die Frequenzdifferenzen zwischen Minima und nachfolgenden Maxima (10.2, Satz 52), für die Flächenmethode verbanden wir die Minima mit einem Polygonzug. Dadurch entstanden Flächen zwischen der Grundfrequenz und dem Polygonzug; zu jedem Wort gehörte eine Fläche (10.2, Satz 14). Die Fläche des letzten Wortes mußte gesondert berechnet werden, da häufig das abschließende Minimum sehr hoch lag (Fragesatz) und deshalb die Fläche im Verhältnis zu den anderen zu klein war (10.2, Satz 29). Wir benutzten als untere Begrenzung eine Waagerechte in der Höhe der Anfangsfrequenz des letzten Wortes. Flächen unterhalb eines Schwellwertes eliminierten wir (10.2, Satz 75).

Das Sortierprogramm suchte einerseits nach dem maximalen Frequenzhub und ordnete außerdem die Wörter nach der Größe der Frequenzflächen. Wir ließen das Wort, mit der größten Fläche (Hauptbetonung), akustisch wiedergeben. Die Wörter mit der zweit- und drittgrößten Fläche (erste und zweite Nebenbetonung), wurden nur in der graphischen Ausgabe berücksichtigt. Die Lage der Flanke mit dem größten Frequenzhub wird in der Graphik markiert.

Für die statistische Auswertung schrieben wir das Programm so um, daß die erste oder zweite Nebenbetonung wiedergegeben wurde, oder aber das Wort mit dem größten Frequenzhub.

Im Folgenden ist noch je ein Flußdiagramm des Programms BETON 19 und des Unterprogramms SUCHE angegeben (siehe Bild 5.3, 1 und 2).

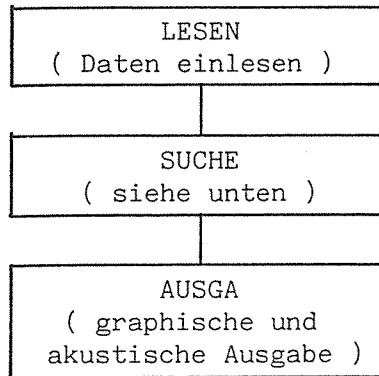


Bild 5.3, 1 Flußdiagramm des Programms BETON 19

#### 5.4 Flankenverfahren

-----

Mit Flankenverfahren bezeichneten wir folgende Methode: Wir untersuchten den Frequenzverlauf auf Minima und nachfolgende Maxima. Die Frequenzdifferenz legten wir der Betonungsfindung zugrunde. Wir nahmen an, daß die Hauptbetonung den maximalen Frequenzhub aufweisen würde. Die statistische Auswertung zeigte aber, daß dieses Verfahren deutlich schlechtere Ergebnisse liefert als die optimierte Flächenmethode. Mit Hilfe des Flankenverfahrens wurden von den 99 Hauptbetonungen 54 richtig gefunden. Die Erkennungsrate, die wir mit den 26 Mustersätzen ermittelten, liegt bei 65 % , d.h. es wurden 17 Hauptbetonungen korrekt gefunden.

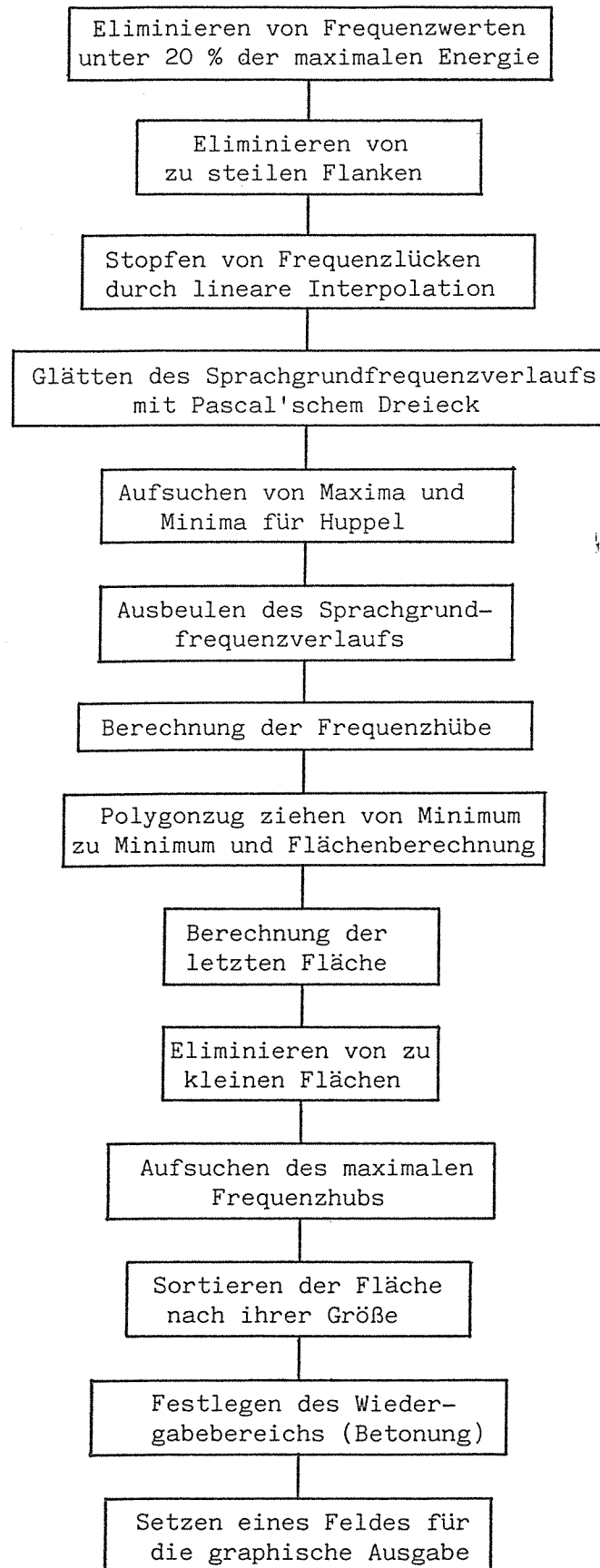


Bild 5.3, 2 Flußdiagramm des Unterprogramms SUCHE

6 Statistische Auswertung

=====

6.1 Vergleich Flanken-, Flächen-Verfahren

-----

Im Folgenden stellen wir das Flankenverfahren dem Flächenverfahren gegenüber (siehe Tabellen 6, 1a und b). Mit dem Flankenverfahren werden 17 Hauptbetonungen der 26 gut betonten Sätze gefunden. Das entspricht einer Erkennungsquote von 65 % . Dagegen werden mit dem Flächenverfahren 21 Betonungen erkannt. Hier liegt die Quote bei 81 % , ist also deutlich höher. Mit dem Flankenverfahren werden 9 Hauptbetonungen nicht erkannt, das Flächenverfahren findet dagegen nur 5 Betonungen nicht. In einem Fall liegt die Quote der nicht erkannten Betonungen bei 27 % , im anderen bei 19 % . Das Flankenverfahren findet 9 Stellen, die keine Betonung tragen. Von den 25 Markierungen des Flächenverfahrens sind 4 unbetont. Im einen Fall beträgt die Fehlererkennung 27 % , im anderen 16 % . Die mit dem Flächenverfahren gefundenen Betonungen decken sich besser mit den subjektiv erkannten als die mit dem Flankenverfahren erkannten.

Die Tabellen 6, 2 geben die Statistik aller 99 Sätze wieder. Auch hier können Erkennungs- und Fehlerquoten angegeben werden, die aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht aufgeführt sind.

6.2 Statistik des Flächenverfahrens

-----

Bisher haben wir nur e i n e Betonung je Satz zugelassen. Wenn 3 Betonungen berücksichtigt werden, ändert sich das Ergebnis etwas (siehe Tabelle 6, 1c). Zuerst einmal fällt auf, daß die Reihenfolge der objektiven Betonungen mit der der subjektiven recht gut übereinstimmt. Das drückt sich darin aus, daß die Hauptdiagonale der Matrix stark ausgeprägt ist. Insgesamt werden von 49 Betonungen 39 gefunden (Erkennungsquote von 80 % ). 10 Betonungen werden nicht gefunden (Nicht erkannt: 20 % ). BETON 19 erkennt 55 signifikante Stellen. Davon tragen 16 keine Betonung (Falscherkennung = 29 % ). Durch die Erweiterung auf 3 Betonungen

je Satz geht die Erkennungsquote leicht zurück, die Falscherkennungrate steigt von 16 % auf 29 % . Wenn es aber darauf ankommt, das Wort im Satz zu finden, das die Hauptbetonung trägt, ist es besser, 3 Betonung zu berücksichtigen. Die Erkennungsquote steigt auf 92 % . Dieses Ergebnis ist schon recht befriedigend.



Auswertung der 26 Sätze

a) Flankenverfahren

EB = ERSTE BETONUNG  
 ZB = ZWEITE BETONUNG  
 DB = DRITTE BETONUNG  
 NE = NICHT ERKANNT  
 FE = FALSCH ERKANNT

BETONUNG	O B J E K T I V			
S	+-----+-----+-----+			
U	EB	NE	SUMME	
B	+-----+-----+-----+			
J	EB	17	9	26
E	+-----+-----+-----+			
K	FE	9		
T	+-----+-----+-----+			
I	SUMME	26		
V	+-----+-----+-----+			

b) Flächungsverfahren

BETONUNG	O B J E K T I V			
S	+-----+-----+-----+			
U	EB	NE	SUMME	
B	+-----+-----+-----+			
J	EB	21	5	26
E	+-----+-----+-----+			
K	FE	4		
T	+-----+-----+-----+			
I	SUMME	25		
V	+-----+-----+-----+			

c) Flächungsverfahren ( mit bis zu 3 zulässigen Betonungen )

BETONUNG	O B J E K T I V							
S	+-----+-----+-----X-----+-----+							
U	EB	ZB	DB	X	SUMME	NE	SUMME	
B	+-----+-----+-----X-----+-----+							
J	EB	21	2	1	X	24	2	26
E	+-----+-----+-----X-----+-----+							
U	ZB	1	10	3	X	14	4	18
B	+-----+-----+-----X-----+-----+							
J	DB	0	0	1	X	1	4	5
E	XX							
K	SUMME	22	12	5	X	39	10	49
T	+-----+-----+-----X-----+-----+							
I	FE	3	7	6	X	16		
V	+-----+-----+-----X-----+							
I	SUMME	25	19	11	X	55		
V	+-----+-----+-----X-----+							

Tabellen 6, 1 Auswertung der 26 gut betonten Sätze

Auswertung der 99 Sätze

a) Flankenverfahren

BETONUNG	O	B	J	E	K	T	I	V
S								
U		EB			NE		SUMME	
B								
J		EB	53		46		99	
E								
K		FE	46					
T								
I		SUMME	99					
V								

EB = ERSTE BETONUNG  
 ZB = ZWEITE BETONUNG  
 DB = DRITTE BETONUNG  
 NE = NICHT ERKANNT  
 FE = FALSCH ERKANNT

b) Flächenverfahren

BETONUNG	O	B	J	E	K	T	I	V
S								
U		EB			NE		SUMME	
B								
J		EB	59		40		99	
E								
K		FE	35					
T								
I		SUMME	94					
V								

c) Flächenverfahren ( mit bis zu 3 zulässigen Betonungen )

BETONUNG	O	B	J	E	K	T	I	V	NE	SUMME
		EB	ZB	DB	X	SUMME				
S										
U		EB	18	3	X	80		19		99
B										
J		ZB	24	7	X	45		35		80
E										
B		DB	5	6	X	12		15		27
J										
E										
K		SUMME	74	47	16	X 137		69		206
T										
I		FE	20	18	13	X 51				
V										
		SUMME	94	65	29	X 188				

Tabellen 6, 2 Auswertung der 99 Sätze

7            Ansatzmöglichkeiten für Verbesserungen

=====

Unser Verfahren zur Betonungsfindung in gesprochenen Sätzen benutzt die Sprachgrundfrequenz. Die Ermittlung dieser Frequenz ist schon seit längerer Zeit ein Betätigungsfeld in der Sprachforschung. Es werden zwar ständig Verbesserungen erreicht, jedoch lassen sich die ermittelten Daten nur durch eine nachfolgende Synthese und den Vergleich mit dem Original verifizieren. Daß das Verfahren zur Sprachgrundfrequenzbestimmung verbesserungsfähig ist, wird durch die Notwendigkeit, Oktavsprünge zu eliminieren, deutlich. Ein verbessertes Verfahren zur Sprachgrundfrequenz-Gewinnung kann eine Betonungsfindungs-Methode, welche die Sprachgrundfrequenz als maßgeblichen Parameter untersucht, ebenfalls verbessern.

Eine andere Möglichkeit, das Verfahren zu optimieren, besteht darin, die Lautstrukturen zu berücksichtigen. Es ist denkbar, daß ein /a/ anders betont wird als ein /i/. Dazu müßte man untersuchen, ob eine Abhängigkeit des Frequenzverlaufs von der Lautart gegeben ist.

8 Zusammenfassung

=====

Im Rahmen dieser Arbeit konnte gezeigt werden, daß es möglich ist, mittels der Parameter Sprachgrundfrequenz und Lautenergie betonte Stellen - und damit die Aussagekerne - in gesprochenen Sätzen zu isolieren. Dazu wurde ein Verfahren entwickelt, das, ausgehend von den Daten einer cepstralen Sprachgrundfrequenzanalyse, nach Interpolation und Glättung des Frequenzverlaufs Minima und Maxima sucht. Nach Ziehen eines Polygonzuges von Minimum zu Minimum werden die sich zwischen den beiden Kurven ergebenden Flächen der Größe nach sortiert. Weil sich eine Betonung durch Erhöhung der Sprachgrundfrequenz und Dehnung des iktischen Vokals äußert, gibt die größte Fläche die Lage des Schlüsselwortes an. Durch Festlegen von Energie- und Flächenmindestwerten wurden Fehlerkennungen vermindert. Die Erkennungsrate der subjektiv vom Menschen wahrgenommenen Hauptbetonungen lag bei 92 % , wenn nach den drei stärksten Betonungen gesucht wurde. Schlüsselwörter, die durch eine lautere Aussprache ohne ein Anheben der Stimmlage hervorgehoben werden, erkennt das Programm allerdings nicht.

9 . Literaturverzeichnis

=====

- [1] Endres, W.: Nachrichtenübertragung durch Sprache, Skripte zur Vorlesung, 1982
- [2] Zingle, H.: Endbericht zum Forschungsvertrag Nr. 9456-0381/05028, Chambery, 1981
- [3] DUDEN: Grammatik der deutschen Gegenwartssprache, Bibliographisches Institut Mannheim/Wien/Zürich, 3.Auflage, 1973, S.637-666
- [4] Signal Technology, Inc.: Interactive Laboratory System Users Manual, Signal Technology, Inc., Santa Barbara, March 1978
- [5] Markel, J.D., Gray, A.H.Jr: Linear Prediction of Speech, Springer Berlin/Heidelberg/New York, 1976
- [6] Rabiner, L.R., Schafer, R.W.: Digital Processing of Speech Signals, Prentice-Hall, Inc., New Jersey, 1978
- [7] Medert, L.: Untersuchung von Satzmelodieverläufen in natürlich gesprochenen Sätzen zur Steuerung eines Sprachsynthetisators, D 1497 EA, 1976, S.24

10 Anhang  
=====

10.1 Liste der analysierten Sätze  
-----

Sprecher (SP) : 1 : Meyer  
                  2 : Lichtenthäeler  
                  3 : Fasshauer  
                  4 : Halaski  
                  5 : Schluckebier  
                  6 : Lang  
                  7 : Henkel  
                  8 : Schuhmacher  
                  9 : Lochschmidt  
                 10: Braun  
                 11: Petri

Satztyp (Ty) : A : Vollständiger, selbständiger Aussagesatz  
              B : Vollständiger, selbständiger Fragesatz  
              C : Unvollständiger, nichtselbständiger Satz  
              ( z.B. Teil einer Aufzählung oder Anweisung )

Zeichenerklärung : Ueber dem Satz ist die subjektive  
                      Betonungsbewertung notiert.  
                      Unter dem Satz befindet sich die Kennzeich-  
                      nung der objektiven Bewertung ( BETON 19 ):

===== Hauptbetonung  
----- erste Nebenbetonung  
..... zweite Nebenbetonung

1 stark betonter Satz  
===  
2 schwach betonter Satz  
???

Nr	SP	Ty	Text
1	1	A	<p>3 2 11 13 1 0 0</p> <p>Les das Blatt quer vor Dich hin.</p> <p>..... ===== ---</p>
2	1	C	<p>2 20 0 5 4 7</p> <p>...ein Kreis und zwei gleichseitige Dreiecke.</p> <p>===== .....</p>
3	1	C	<p>3 0 0 20 0 1 4</p> <p>Wenn Du die Laengsseite vom Blatt nimmst....</p> <p>..... ===== -----</p>
4	1	A	<p>0 0 0 0 15 7 0 1</p> <p>Und Jetzt hast Du vier Quadrate, die so</p> <p>=====</p> <p>1 5 1</p> <p>ineinander verschachtelt sind.</p>

5 1 A 0 0 18 2 15 0 0 0  
 Und im Innersten, im Kleinsten, machst Du einen  
 ===== .....-----  
 9 1  
 Kreis rein.

6 1 A 5 1 4 0 8 0 0 9  
 Das war'n Jetzt die Quadrate und die Kreise.  
 ??? ----- =====

7 1 C 0 17 4  
 ...ein gleichschenkliges Dreieck.  
 =====

8 1 B 2 0 2 0 20 0 6  
 Soll ich das Jetzt flächenmässig durch vier  
 ===== ----  
 2  
 teilen ?  
 -----

9 2 A 0 3 0 1 1 4 14 11  
 Wir koennen mal mit der ganz linken anfangen.  
 ----- =====

10 1 A 17 2 0 0 0 15  
 Ja, also, das ist ein Innenkreis.  
 -----

11 2 A 2 7 8 1 3 13 0 1 6  
 Das liest so, wie so'n Ball in 'ner Treppenstufe.  
 ===== -----

12 2 A 2 1 10 0 3 9 0 0 12  
 Stell Dir vor, (d) dieser Kreis sei ein Innkreis.  
 ===== .....-----

13 2 A 2 17 1 0 12 0 0 4  
 Der Kreis sei ein Innkreis von einem Quadrat.  
 ===== -----

14 2 A 0 0 8 2 17 0 0  
 Und die Quadratseiten liegen parallel zu den  
 ----- =====  
 6  
 Seiten.

15 1 B 6 0 1 0 11 4  
 Wo, wie liest der Kreis dazu ?  
 =====

16 2 C 0 10 1 1 2 19  
 Du malst Jetzt mal die Tangente....  
 =====

- 17 2 A            2 17 2 0 0 6 3  
Und da malst Du mal'n Strich hin.  
=====
- 18 1 A            1 14 8 0 0 8 0 0 8  
Die linke Seite von dem Quadrat ist eine Tangente  
===== ----- .....  
0 0 3  
an den Kreis.
- 19 2 A            0 18 9 3  
Und dort besinnen beide.  
===== -----
- 20 2 A            1 5 2 2 10 8 9  
Und das sind die beiden gleichen Schenkel.  
===== -----
- 21 1 B            2 2 1 0 0 15 0 0  
Haben die da was mit'm Kreis zu tun ?  
=====
- 22 1 A            6 0 2 15 0 0 0 1 7 3  
Da wo der Kreis (an dem) an der Seite anliest.  
----- =====
- 23 1 A            17 2 0 2 13 1 0  
Da faenst auch die waagerechte Linie an.  
===== -----
- 24 2 A            11 0 0 9 2 2 2 2 0  
Ja, die beiden Linien, die Du jetzt hast, sind  
===== .....  
2 2 9  
Deine beiden Schenkel.  
-----
- 25 2 C            0 1 0 0 4 17 6 12  
Und da, wo die aufhoeren, verbindest Du die....  
===== -----
- 26 1 A            2 0 1 9 0 0 7 3  
Das seht so zack durch den Kreis durch.  
???
- 27 2 A            6 0 1 1 18 4  
Gut, das war die eine Figur.  
=====
- 28 2 A            9 1 0 0 2 20 1 4  
Jetzt gehst Du in die Mitte des Blattes.  
=====
- 29 3 B            7 1 4 2 7  
Hast Du einen Kreis gemacht ?  
----- =====



30 4 B 0 2 0 0 13 3 0 10  
 Und wo sind die anderen Punkte des Dreiecks ?  
 =====

31 5 C 7 0 1 2 0 0 16  
 Gut, Jetzt gehst Du an den Mittelpunkt....  
 -----

32 5 A 0 1 0 11 5 0 0 0 6  
 Wenn Du ein Kreuz hast, wenn Du soweit bist,  
 =====  
 0 0 4 5  
 sagst Du dann Bescheid.

33 5 A 0 2 0 20 6 0 6 6  
 Du musst also vier Kreise haben, ja, insgesamt.  
 =====

34 6 B 7 0 3 1 0 17 0  
 Ah, wie erklärt man denn das Jetzt ?

35 6 A 0 8 2 0 11 5 0 6  
 Jetzt nimmst Du mal rechts oben den Viertelkreis.  
 =====

36 6 C 0 3 1 0 7 0 1  
 Da verbindest Du den Endpunkt von der  
 =====  
 18  
 Waagrechten....  
 ....

37 7 A 0 3 0 19 4  
 Wir fangen mal oben an.  
 =====

38 6 A 6 16 5 4 2 3  
 Bei dem Punkt bleibst Du Jetzt.  
 =====

39 7 A 6 2 1 0 5 0 7 0  
 ??? Mach erst einmal einen Strich von vorn bis  
 5  
 hinten.

40 7 A 0 11 0 1 20 1 1  
 Dessen Seitenlängen sind also halb so hoch.  
 =====

0 5 0 0 0 3 0 9  
 41 7 C Also insgesamt hast Du jetzt vor Dir sieben  
 =====  
 16  
 Quadrate....  
 .....

1 5 0 15 0 7  
 42 6 C Jetzt malst Du wieder ein Quadrat....  
 ..... -----  
 =====

0 0 0 0 17 1 1 7  
 43 5 B Und das ist dann kleiner, netuerlich, oder wie ?  
 =====

0 5 0 0 0 19 0 0 0  
 44 6 A Und das was Du jetzt zuletzt sezeichnet hast, ist  
 ===  
 7 0 1  
 genau wieder so.  
 =====

14 0 0 1 7 2 4 0  
 45 6 A Da kommt jetzt ein Kreis innendrin rein, zum  
 2  
 Schluss.  
 =====

0 17 2 0 1 2 3  
 46 6 C Das erste Quadrat, das Du gemalt hast...  
 =====  
 .....

0 1 6 0 1 18 4 0 6  
 47 6 C Da musst Du mal die linke Seite Dir vornehmen....  
 ===  
 ..... =====

1 19 0 7 1  
 48 5 A Die Teillinie soll senkrecht durchsehen.  
 ===  
 =====

11 0 0 0 0 16 3 0 0  
 49 5 A Gut, jetzt nimmst Du die rechte Seite von dem  
 =====  
 2 0 8  
 Blatt vor, ja !  
 .....

1 5 5 0 0 0 17  
 50 7 C Der Kreis stoesst (hmmm) an die Mittellinie....  
 =====  
 .....

1 0 0 15 5 8 2 9  
 51 5 C So, jetzt muss in den Kreis ein Quadrat  
 =====  
 1 1  
 hineingemalt werden....  
 -----

52 7 A 0 6 0 17 3 10  
 Dessen Kanten sind parallel zum Papier.  
 ..... ----- =====

53 5 A 1 0 9 3 0 0 15  
 Malst Du dazu zuerst mal eine Senkrechte.  
 ..... -----

54 5 C 0 0 2 18 6 9 2  
 ...so dass die laengste Seite schraeg liest.  
 === -----

55 1 B 2 0 0 6 0 0 15  
 Wann faehrt der naechste Zus nach Hamburgs ?  
 ----- =====

56 8 B 3 0 1 1 0 19  
 So, ich kriege irsendwie ein Startsignal ?  
 =====

57 8 A 0 0 6 0 16  
 Dieses (d) Dreieck steht aufrecht.  
 =====

58 8 A 0 0 6 0 2 15  
 Kannst Du das schon mal malen.

59 8 A 11 6 0 9 0 0 8 0  
 Jede Ecke des Dreiecks ist ein Mittelpunkt des  
 ===== ----- .....  
 7  
 Kreises.  
 \*\*

60 9 B 1 1 1 2 0 18  
 Naja, sind die Kreise gleich gross ?  
 =====

61 8 B 1 0 19  
 Kann ich anfangen ?  
 =====

62 8 C 0 4 1 0 0 10 0 0 6 0  
 Also: malst Du mal 'nen Kreis in die Mitte des  
 ----- .....  
 14  
 Blattes....  
 =====

63 8 C 1 0 9 14  
 ...also insgesamt sechs Schnittpunkte.  
 ===== -----

64 9 C 1 0 2 0 7 11  
 Das ist Jetzt ein kompliziertes Gebilde....  
 ----- =====

- 65 9 C     0 5 2 0 8 2 11  
 ...und zwar erst einmal ohne zu zeichnen.  
 =====
- 66 9 A     0 8 6 0 0 0 10  
 Und ganz innen ist noch ein Kreis.  
 =====
- 67 9 C     0 14 0 12  
 Und dahinein einen Kreis....  
 =====
- 68 8 B     0 0 3 16  
 Hmm, an welcher Stelle ?  
 =====
- 69 8 A     0 0 1 0 10 0 12  
 Dann ist das auch gleichzeitig ein rechtwinkliges  
 =====  
 2  
 Dreieck.
- 70 9 A     11 0 0 12 0 0 4  
 So, mein lieber Karl-Heinz, jetzt wirds ganz  
 =====  
 0  
 kompliziert.  
 -----
- 71 9 C     0 0 20 9 0 8 2 ;  
 ...in der Mitte, links und rechts davon.  
 =====
- 72 8 B     4 0 0 0 12 6  
 Handelt es sich um homogene, geschlossene  
 -----  
 12  
 Figuren ?  
 .....
- 73 8 A     7 1 0 0 2 3 10 3  
 Da muss ich noch mal'n neues Blatt nehmen.  
 -----
- 74 8 B     0 19 0 0 3  
 Etwas kleiner als die Vorhergehenden ?  
 =====
- 75 8 B     7 4 3 8 1  
 Wer huet hier wen ein ?  
 ???

- 76 9 C 0 8 0 0 0 0 17 0  
Die Stehende befindet sich auf der linken Seite  
.....  
0 6  
des Kreises....  
-----
- 77 8 A 11 3 9  
Kein Wort verstanden.
- 78 9 A 4 0 16 0 1 1  
Das, eh, durchdrinst den Kreis praktisch.  
=====
- 79 9 C 17 0 0 10 2 0  
...senkrecht unter dem aeußersten Punkt des  
====  
4  
Kreises.
- 80 9 C 0 0 0 0 13 1 13  
Und die wird nach oben hin verläsensert....  
-----
- 81 8 C 1 0 8 0 0 0 1 17  
Eh, die Laense laesst Du noch mal unbestimmt....  
.....
- 82 9 B 1 0 2 0 16 2  
Wie soll ich denn das machen ?  
=====
- 83 8 A 1 0 2 0 0 10 5 7  
Hier, Du malst einfach 'ne gerade Linie mitten  
=====.....  
0 4  
aufs Blatt.  
-----
- 84 8 A 1 1 2 0 2 0 10 4 2  
Die liesen nur (a) an dem mittleren Quadrat an.  
=====
- 85 8 A 1 7 0 6 7 3  
Es koennte die halbe Kantenlaense sein.  
-----
- 86 10 C 0 2 15 1 3 12  
Und dann verbindest Du alle Mittelpunkte....  
-- =====
- 87 11 A 0 0 0 0 18 6 2  
Und da muss ein gleichseitiges Dreieck entstehen.  
=====  
===

88 11 C ...so wie man 'nen Kuchen teilt...  
====

2 0 1 0 18 4

89 11 B Auch durch den Mittelpunkt ?  
====

4 0 0 18

90 10 C Da faengst Du an an dem linken Beruehrpunkt...  
====

0 4 1 4 0 0 18 11

91 10 A Und das Kreuz beruehrt den Kreis links.  
====

0 0 4 8 2 6 11

92 10 C ...von dem Du aus eben die Sehnen gezogen  
====

0 6 0 0 0 0 20 2

1  
hast...

93 10 C ...so dass also so zwei Drachen entstehen.  
====

0 2 0 0 7 16 1

94 10 A Und dann hast Du so'n Drachen unten, hmmm,  
====

0 0 2 1 0 14 2 8

95 11 C Jetzt halbier' die Seiten dieses Quadrates.  
====

0 8 0 11 0 13

96 11 A Dann hast Du wieder ein Quadrat, was wasrecht  
???

2 0 0 3 0 3 0 4

8  
drinliest.

97 11 C ...und in diesen Kreis ein Viereck rein.  
====

2 0 7 12 0 7 3

98 11 C Die Linie, die auf dem Kreis liest, seht dann  
====

0 4 0 5 0 3 0 0 0

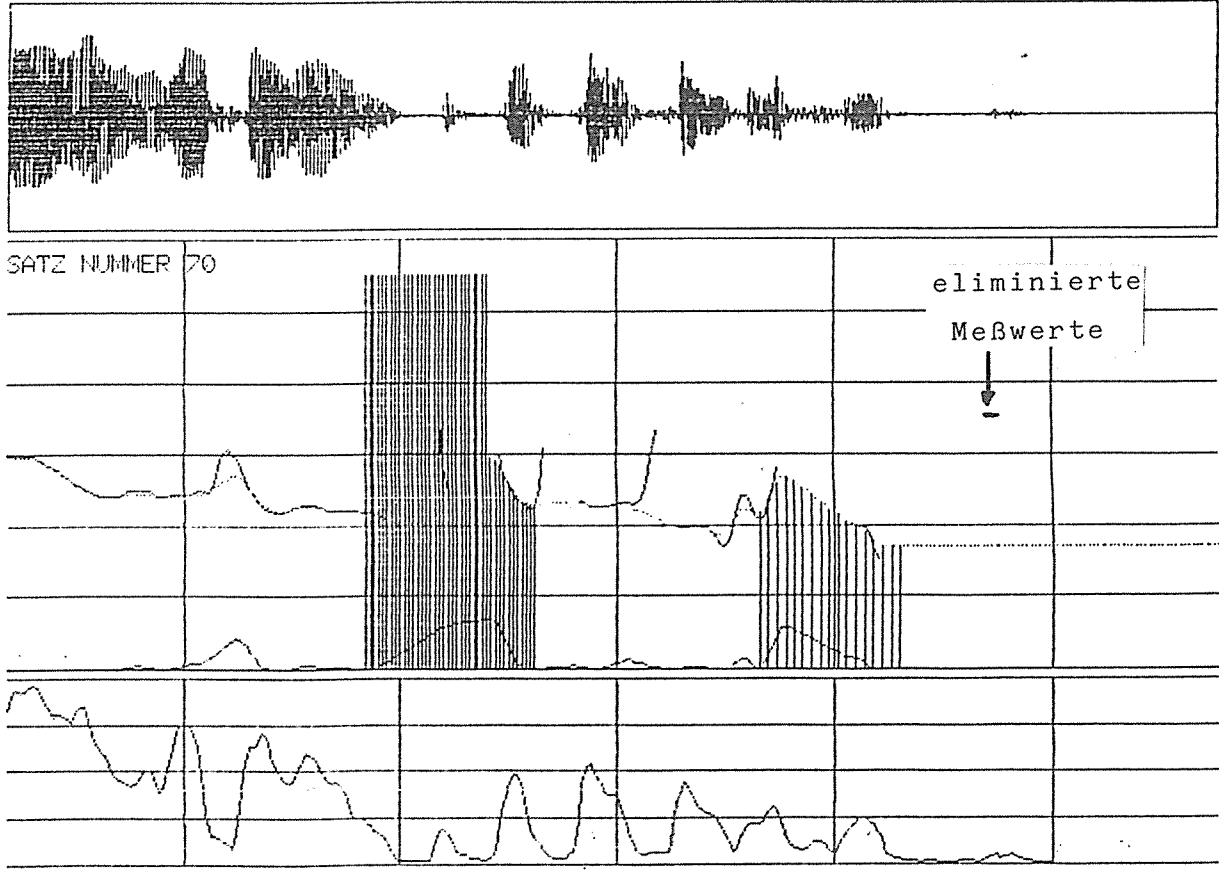
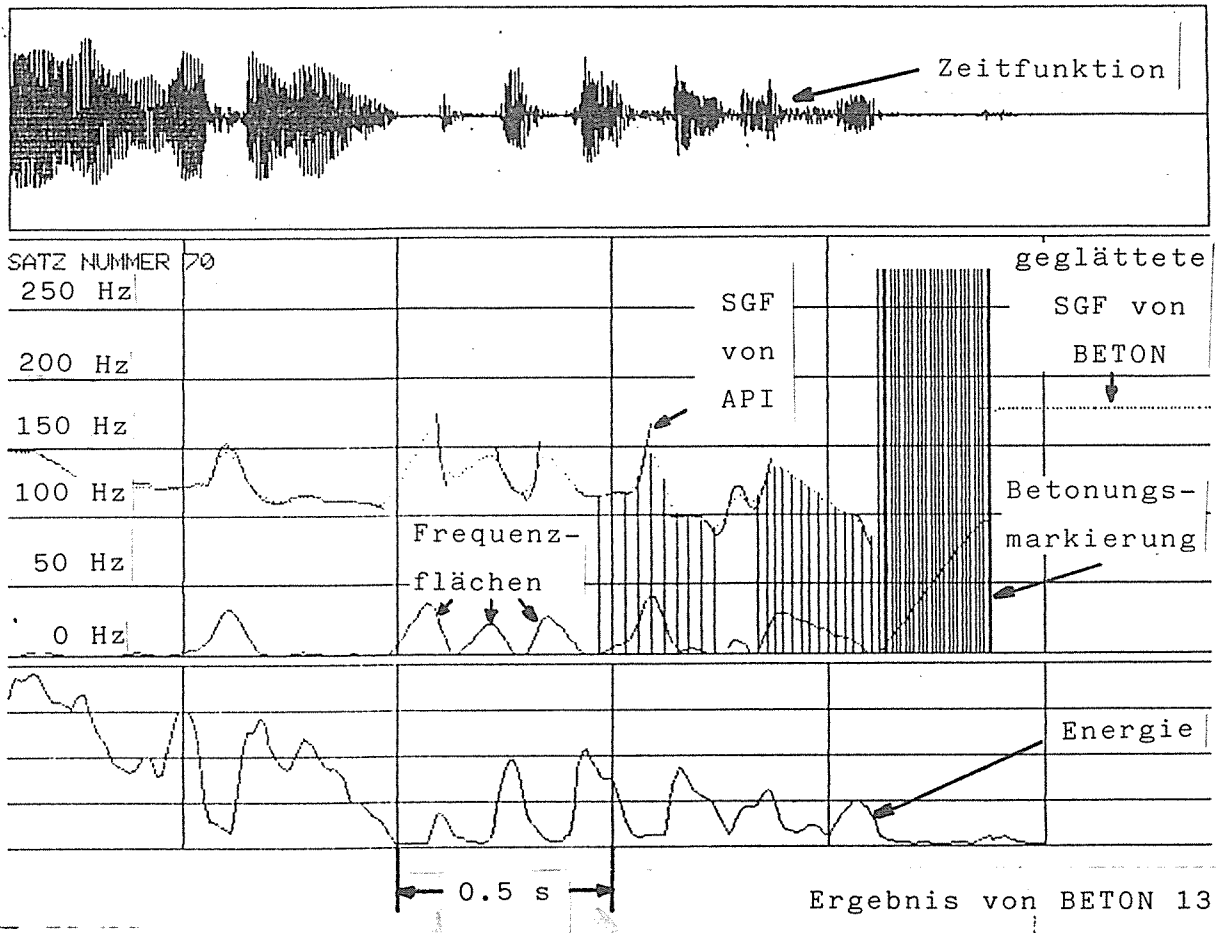
0 12 1 14  
nach rechts noch drueber...

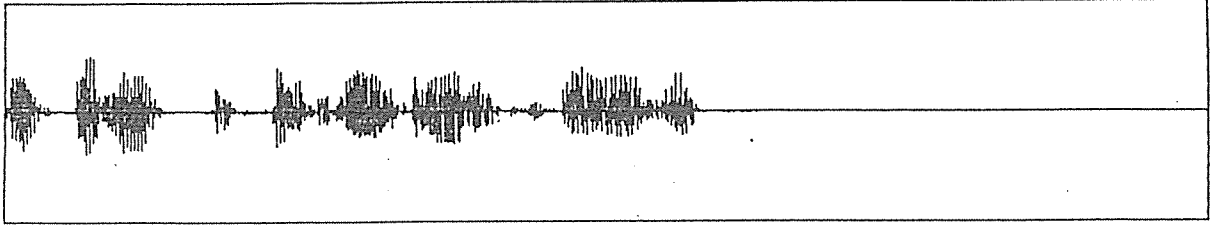
99 11 C ...von links nach rechts mit etwas Zwischenraum  
====

0 13 0 9 0 0 12

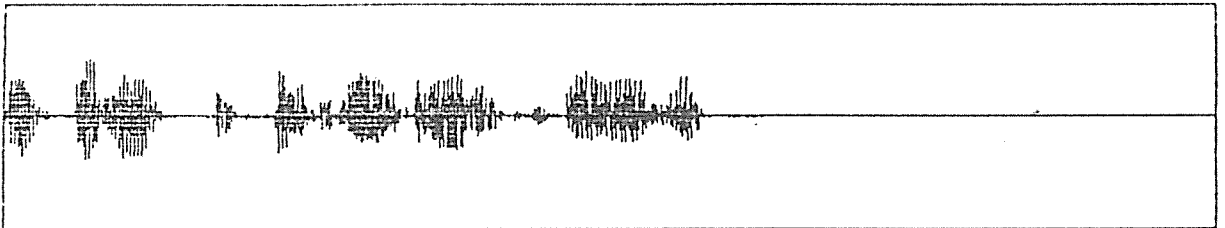
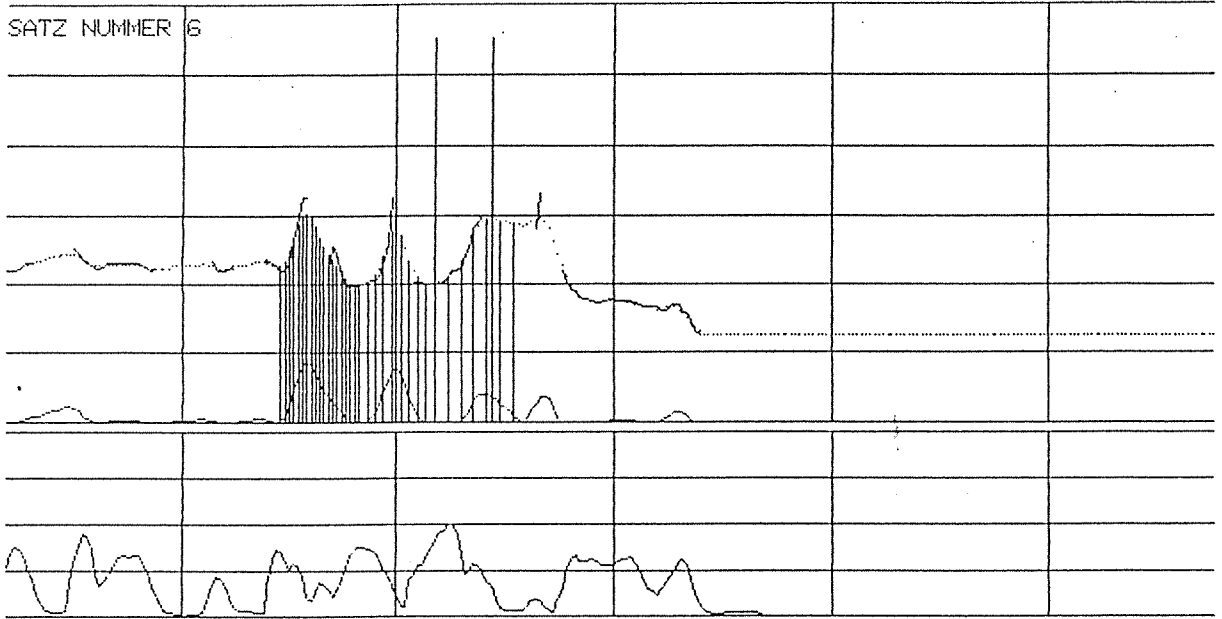
10  
dazwischen...

10.2 Diagramme der analysierten Sätze

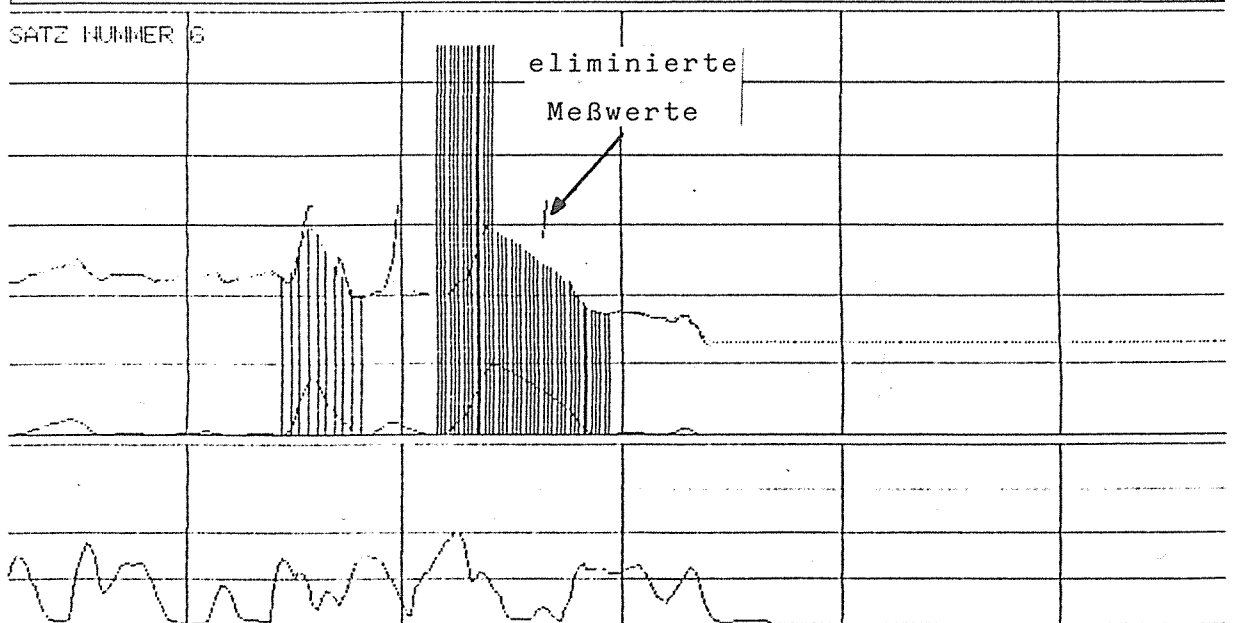




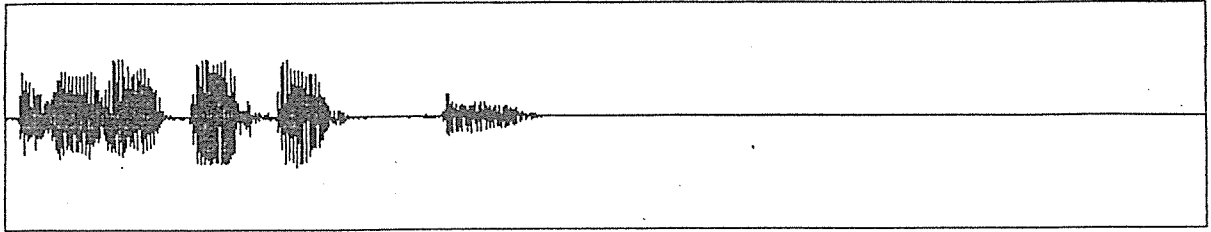
SATZ NUMMER 6



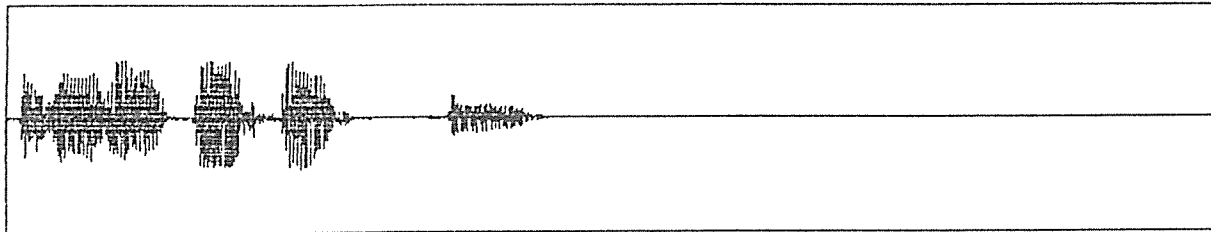
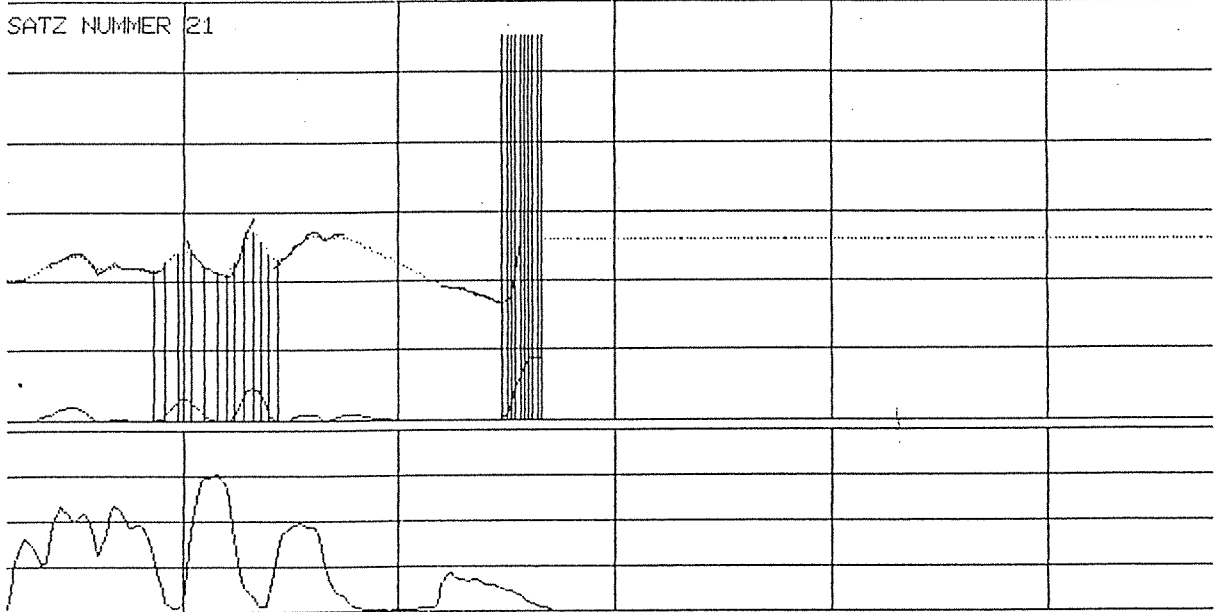
SATZ NUMMER 6



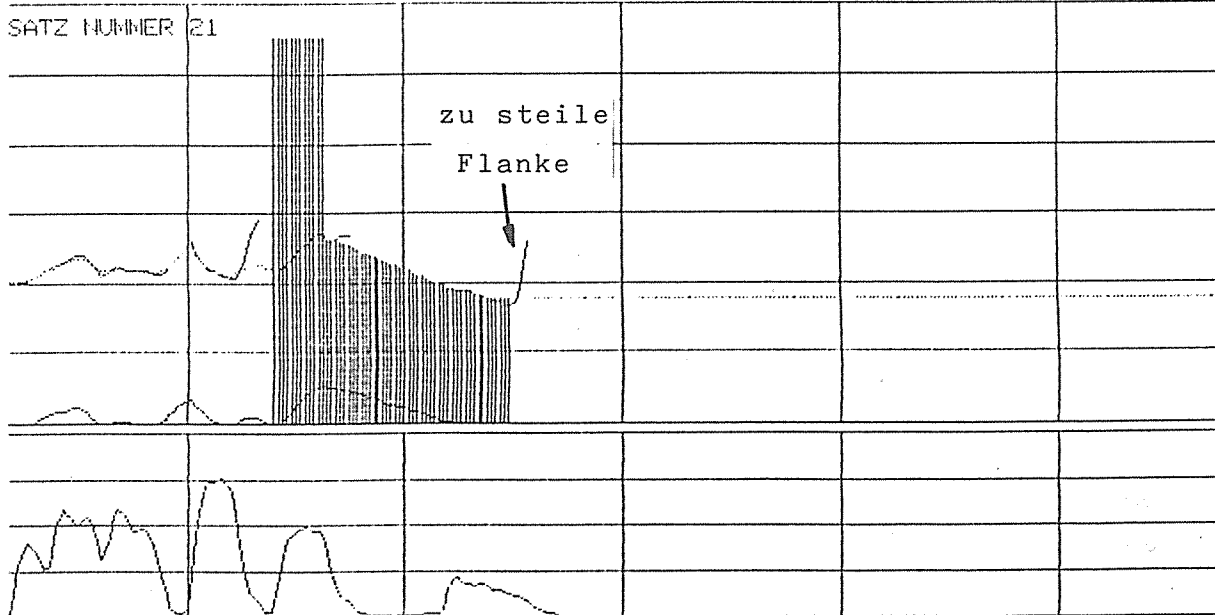


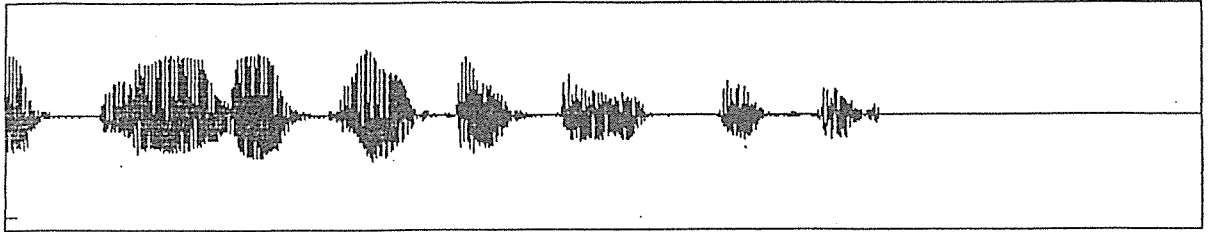


SATZ NUMMER 21



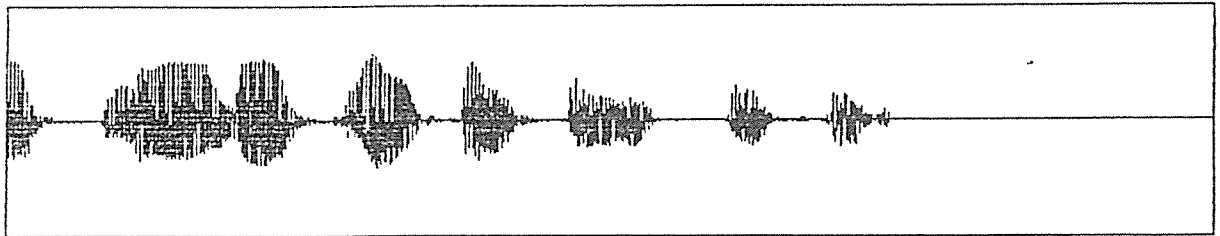
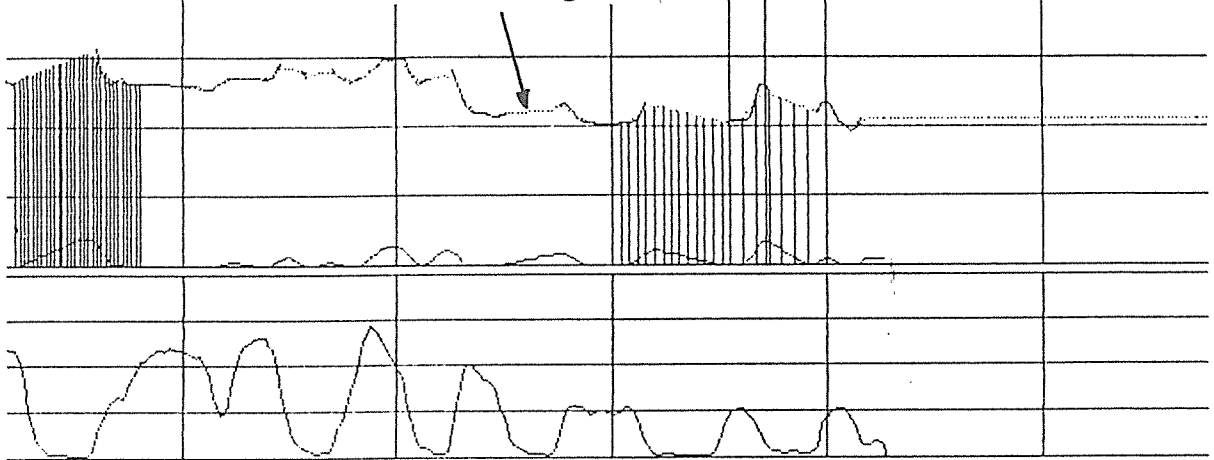
SATZ NUMMER 21



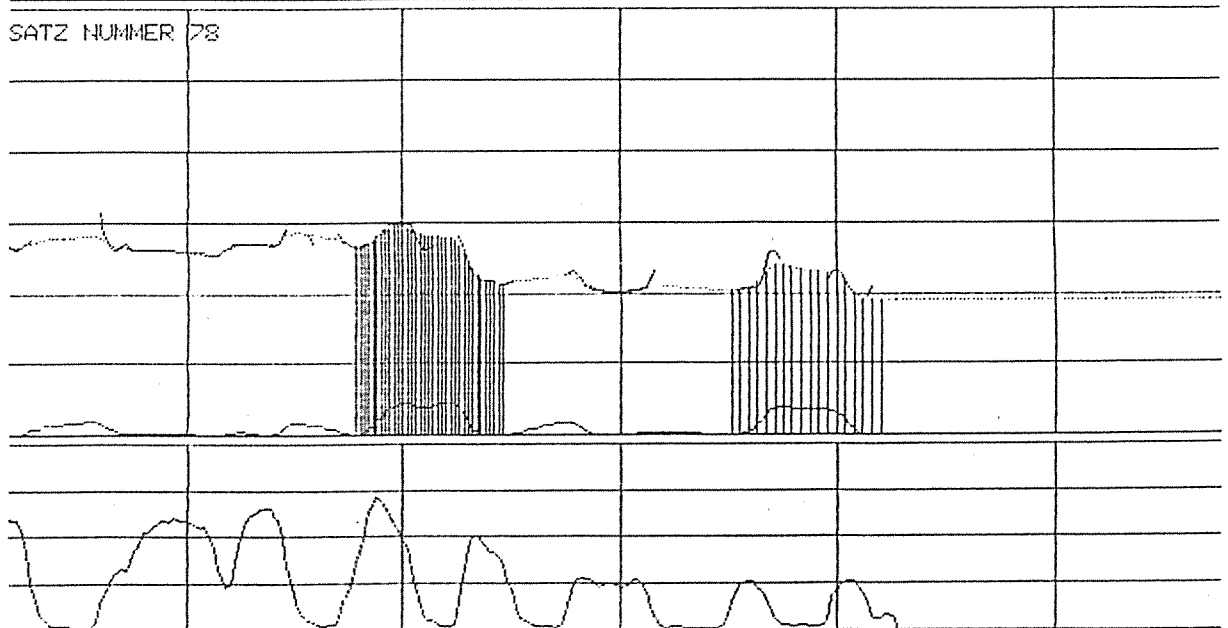


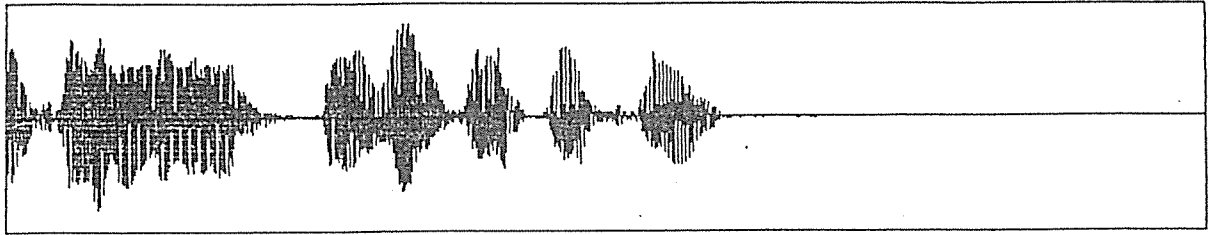
SATZ NUMMER 78

interpolierter  
und geglätteter  
Kurvenzug



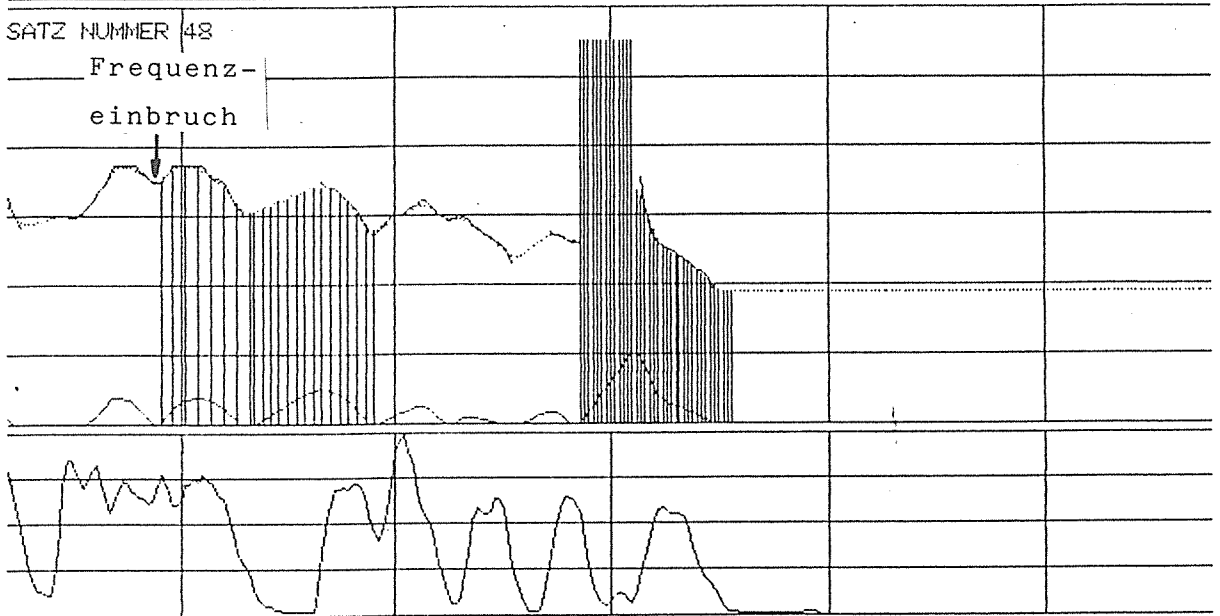
SATZ NUMMER 78



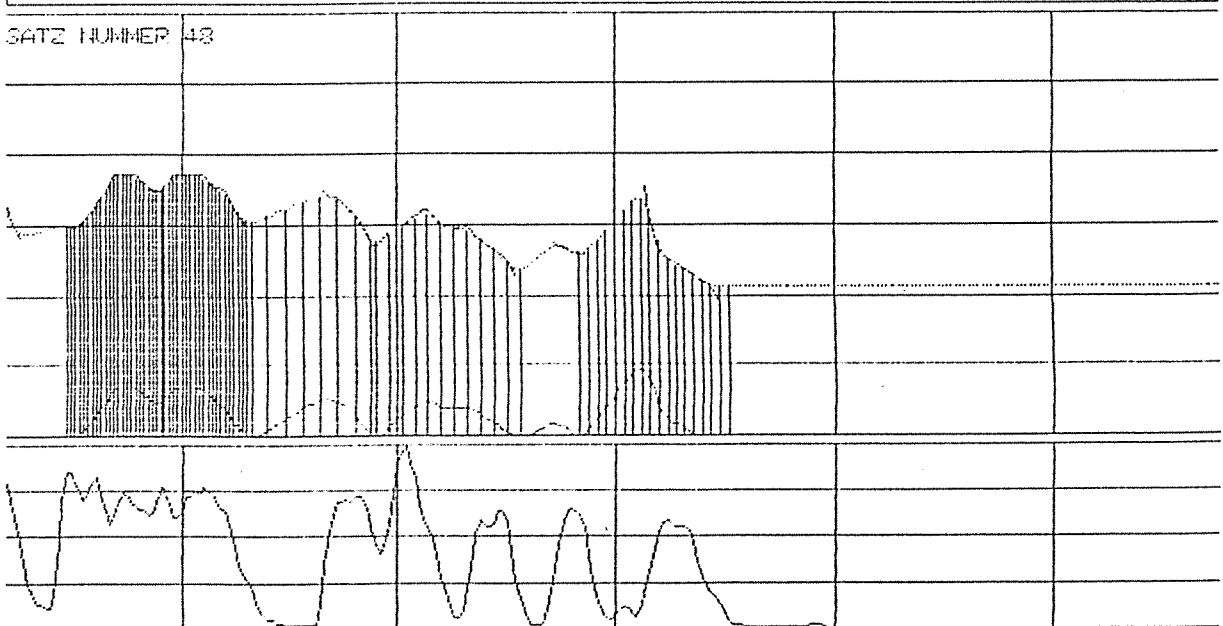
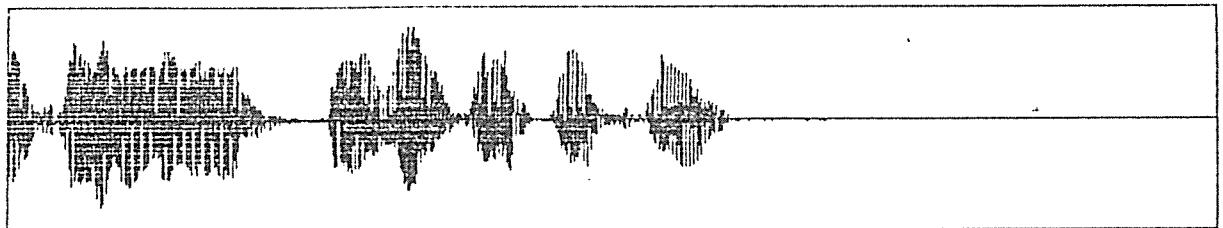


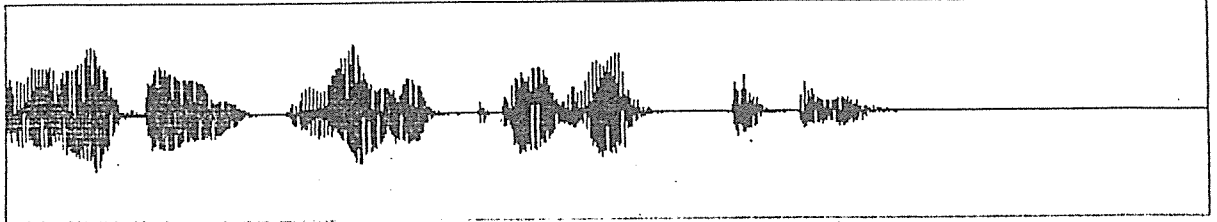
SATZ NUMMER 48

Frequenz-  
einbruch

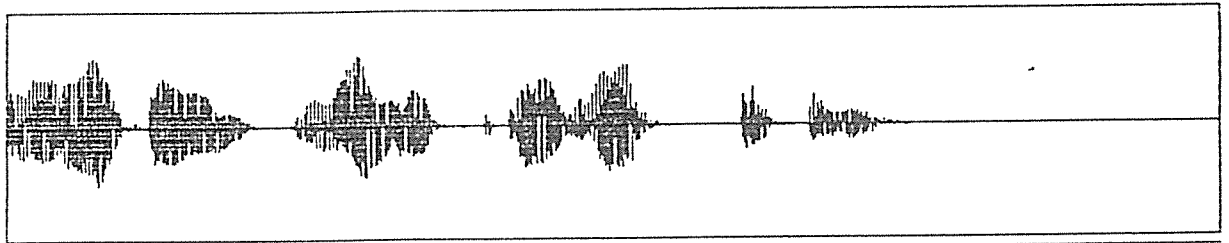
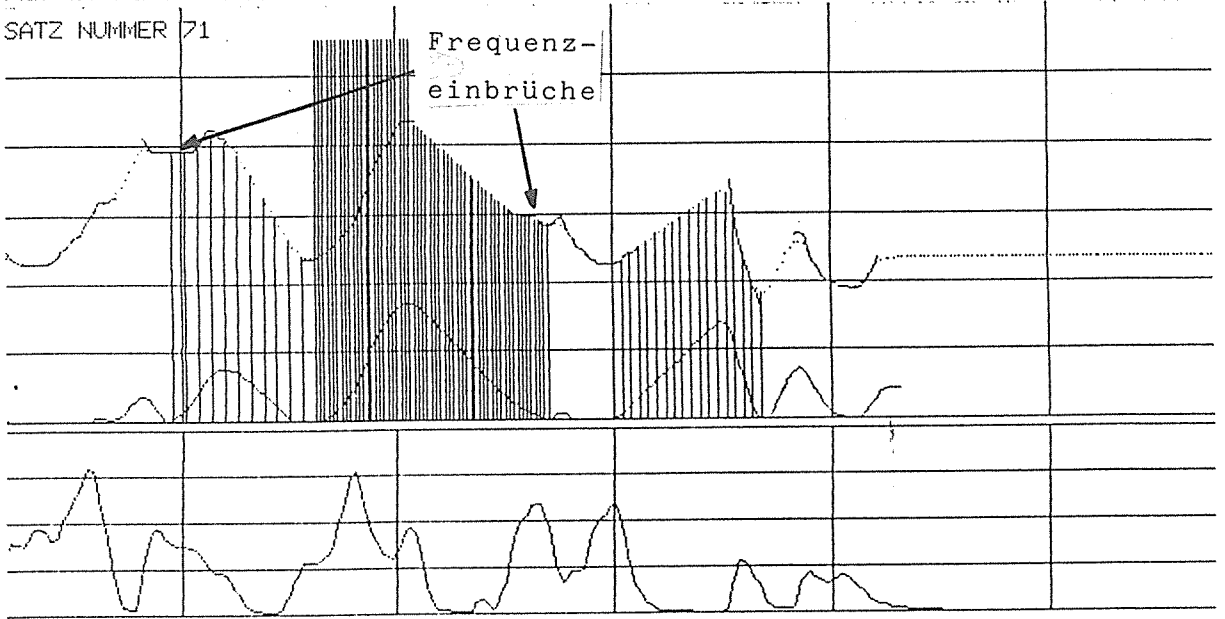


SATZ NUMMER 43

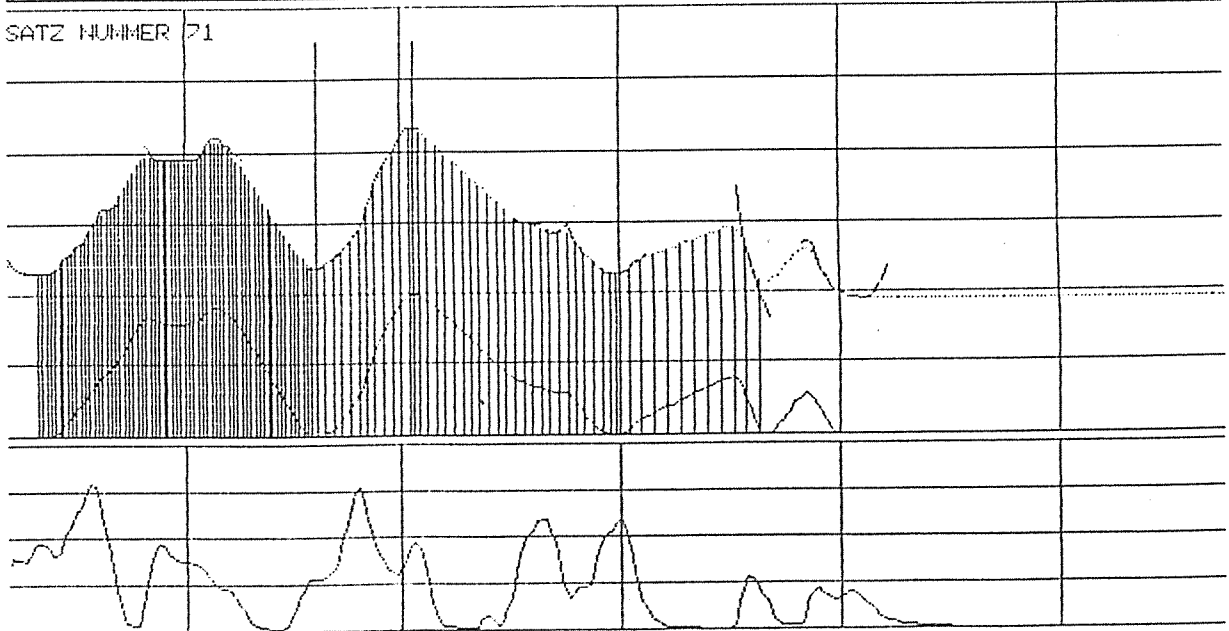


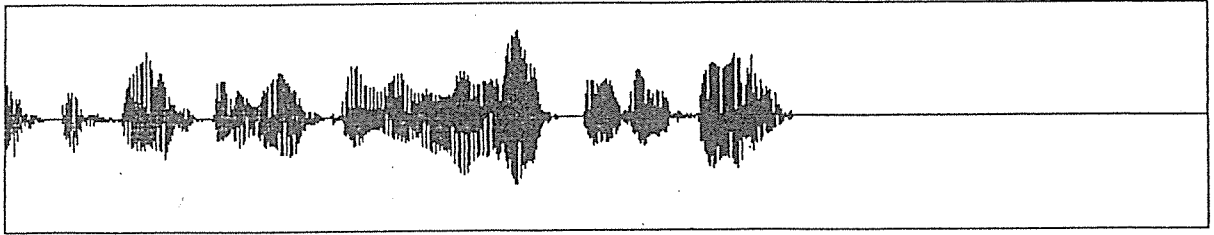


SATZ NUMMER 71

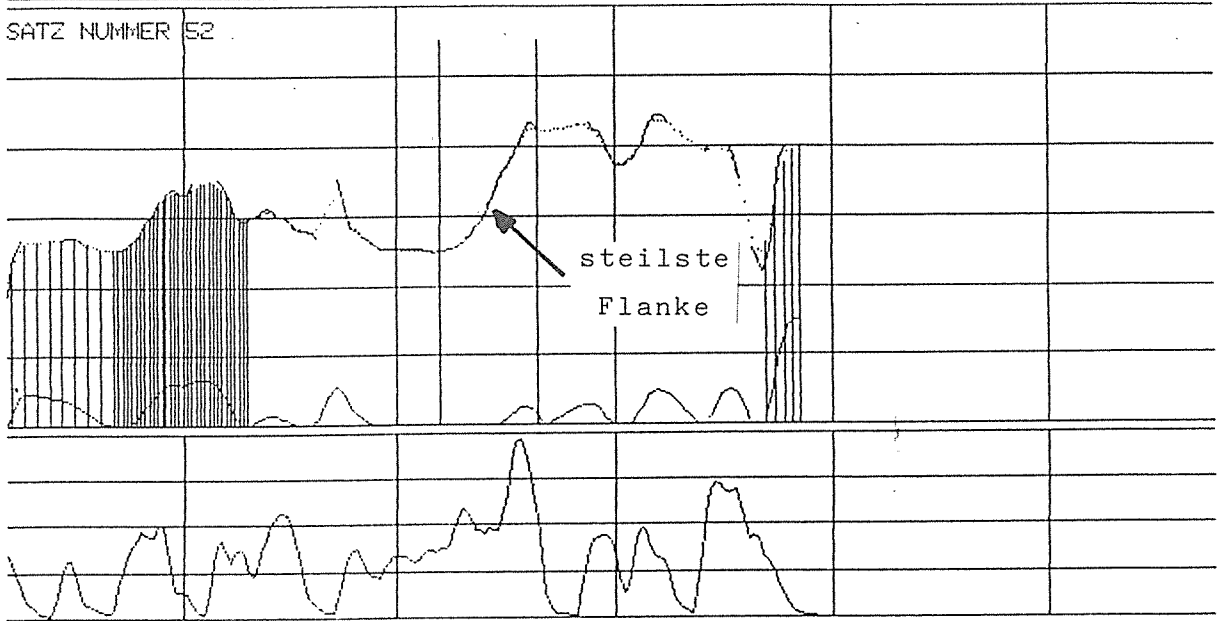


SATZ NUMMER 71

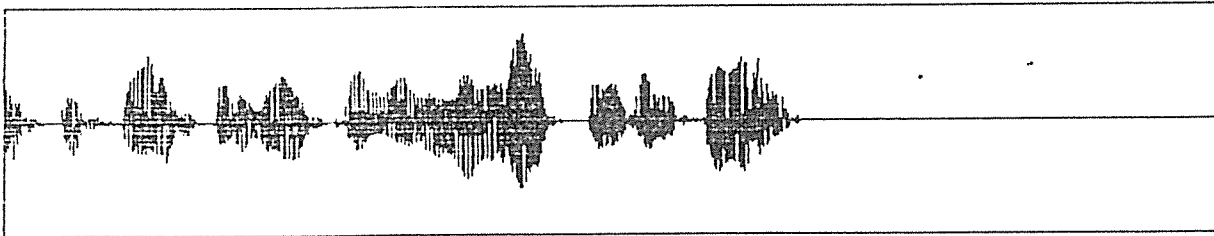




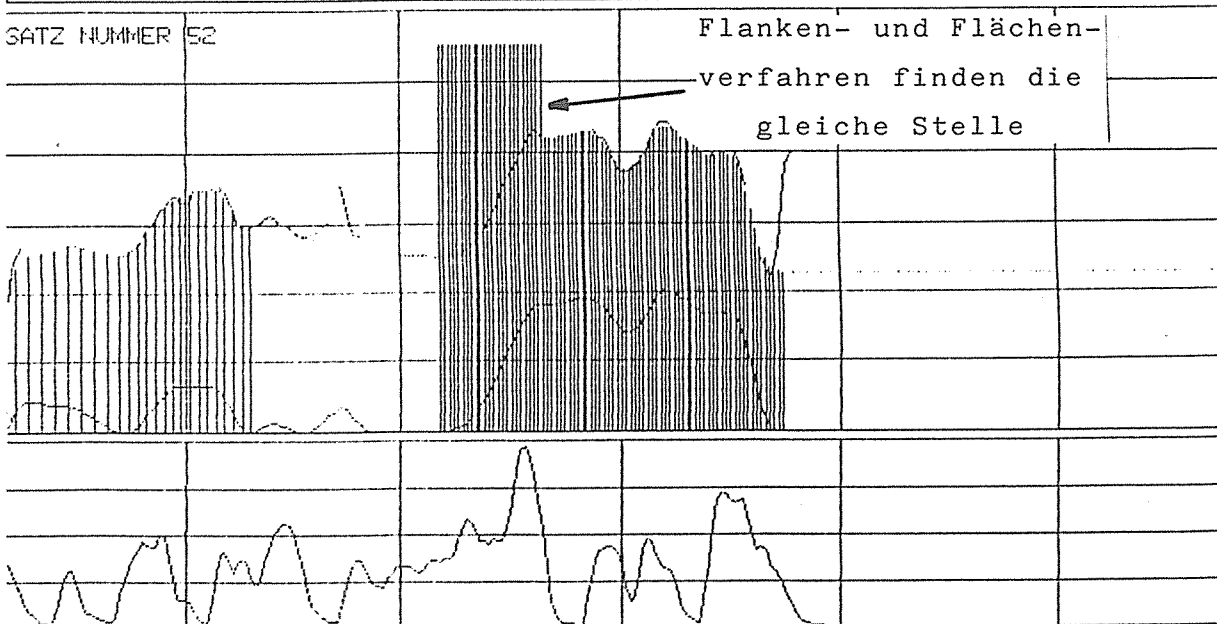
SATZ NUMMER 52



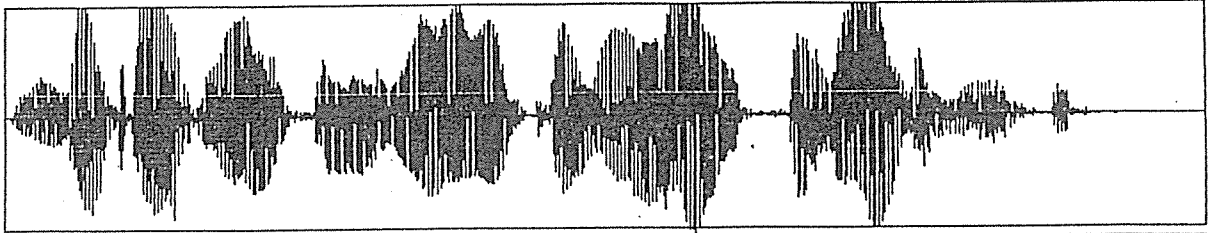
steilste  
Flanke



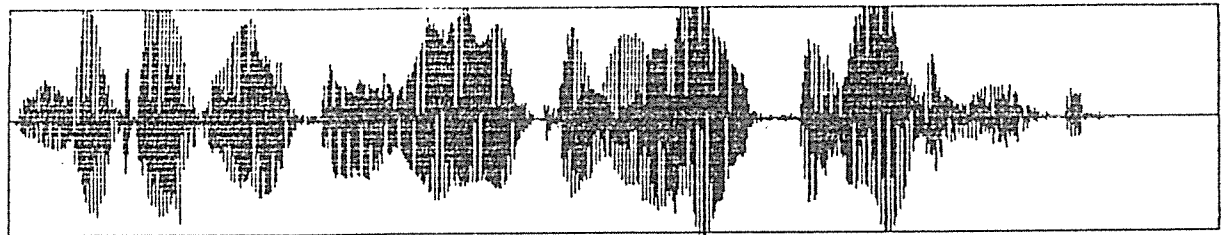
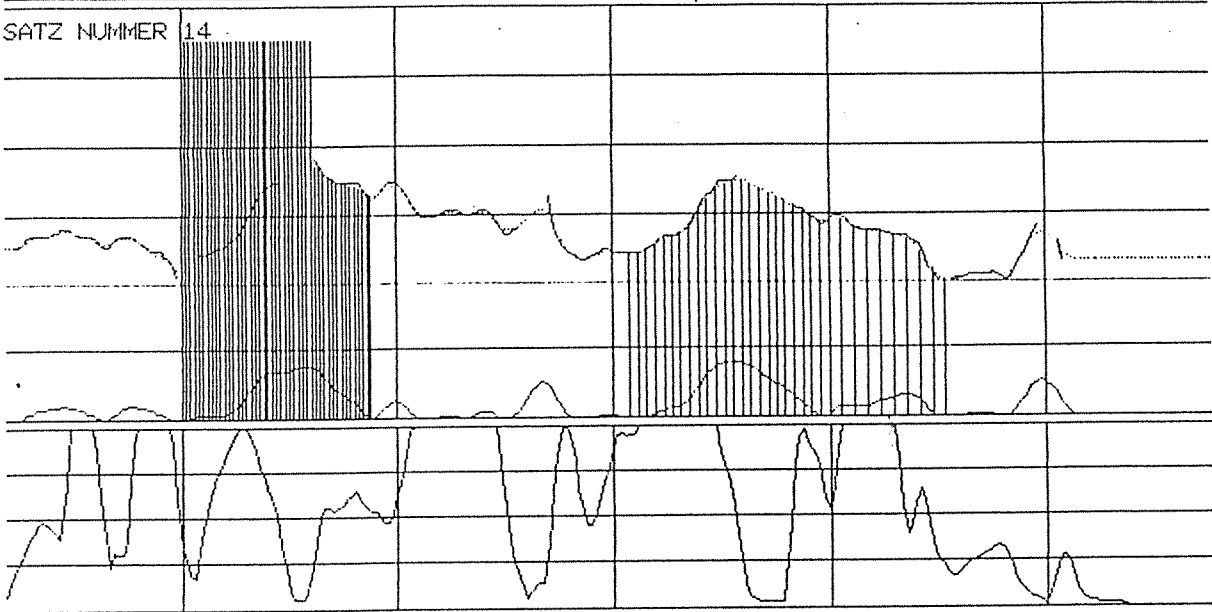
SATZ NUMMER 52



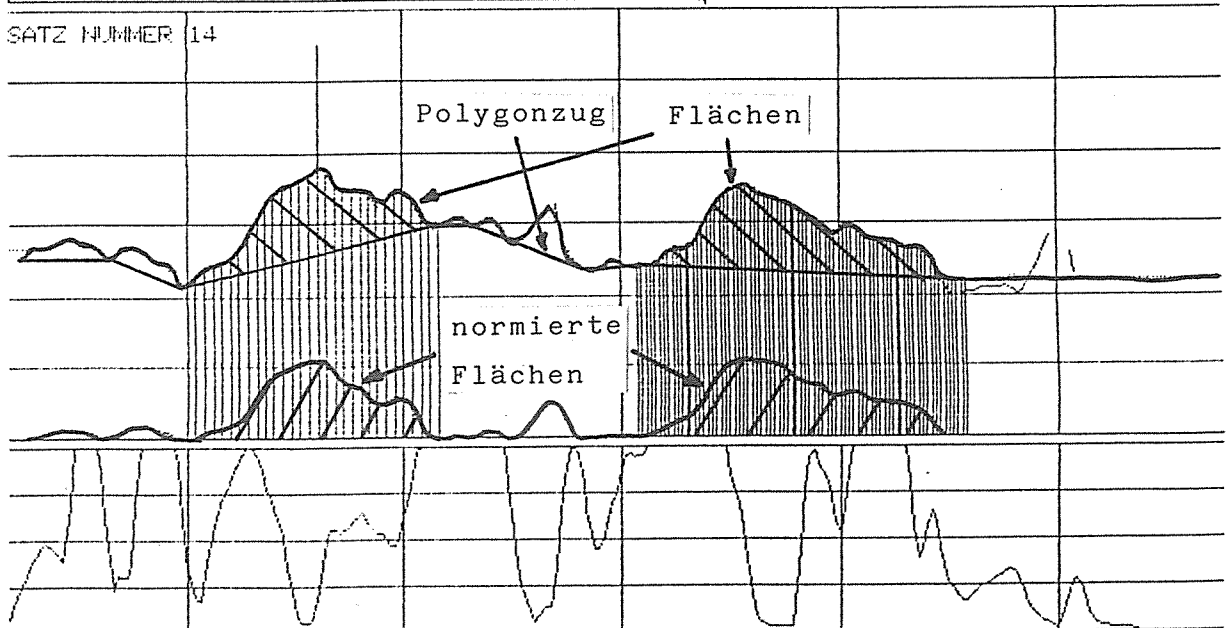
Flanken- und Flächen-  
verfahren finden die  
gleiche Stelle

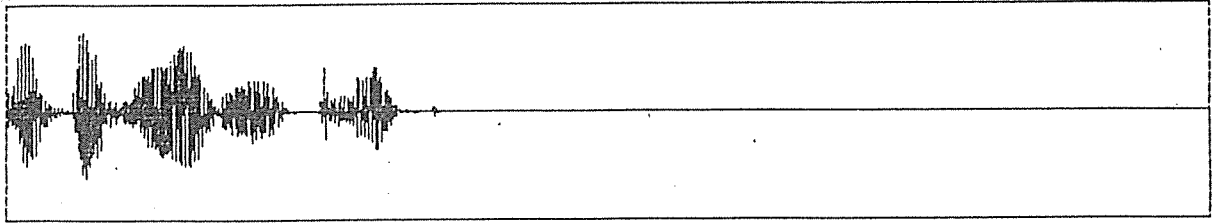


SATZ NUMMER 14

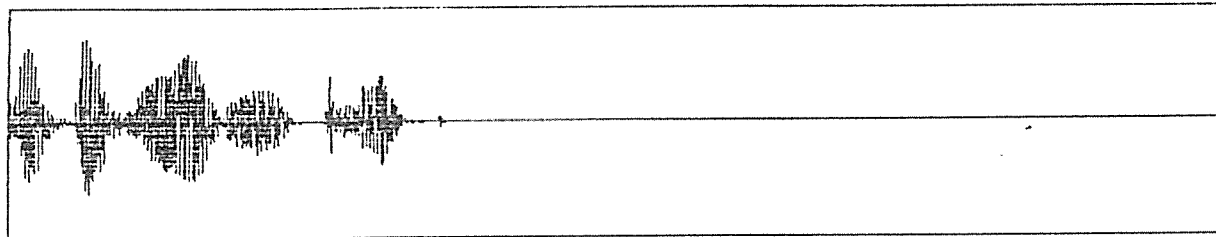
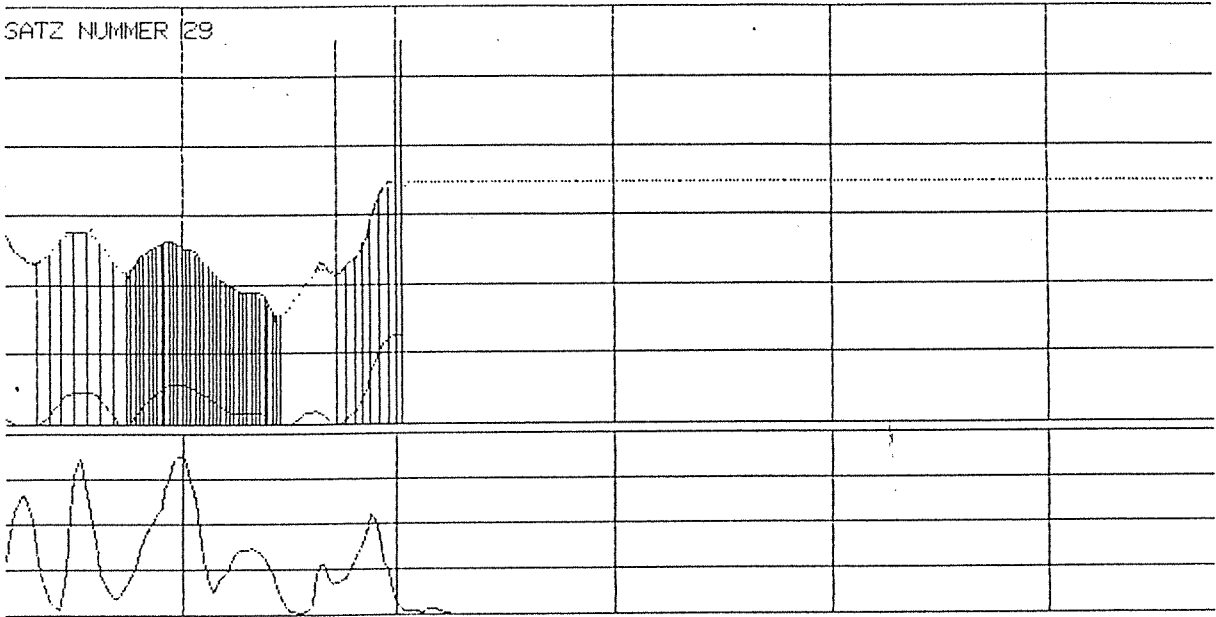


SATZ NUMMER 14

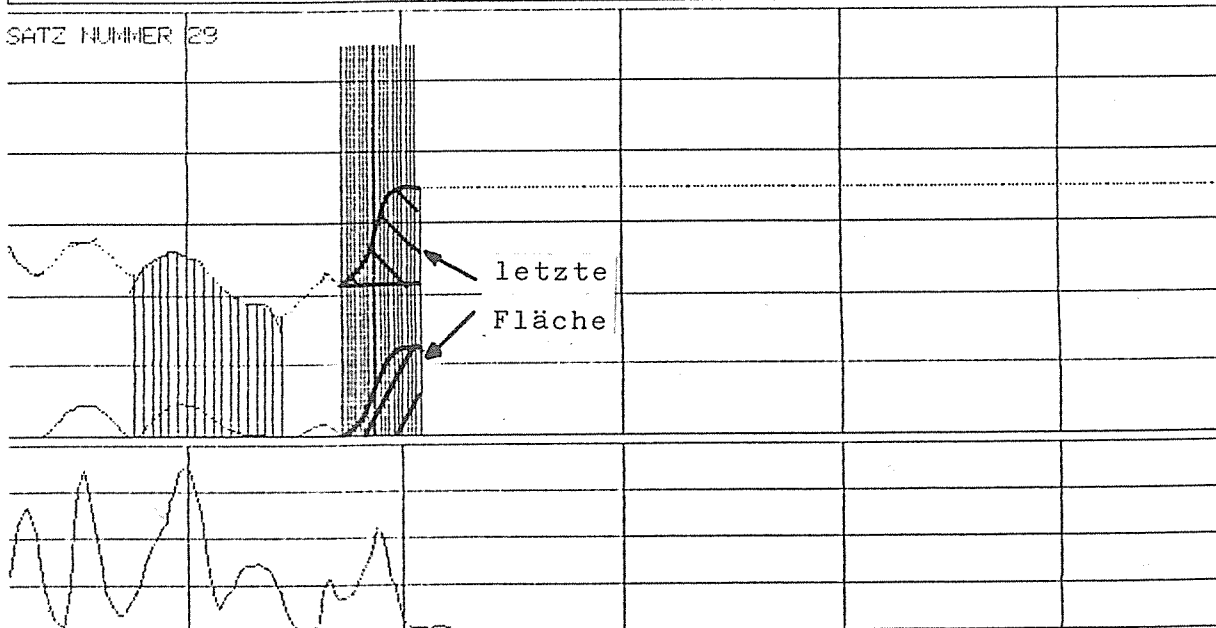


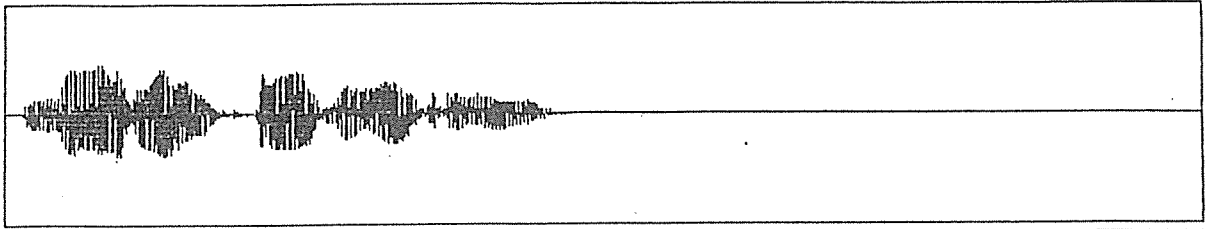


SATZ NUMMER 29

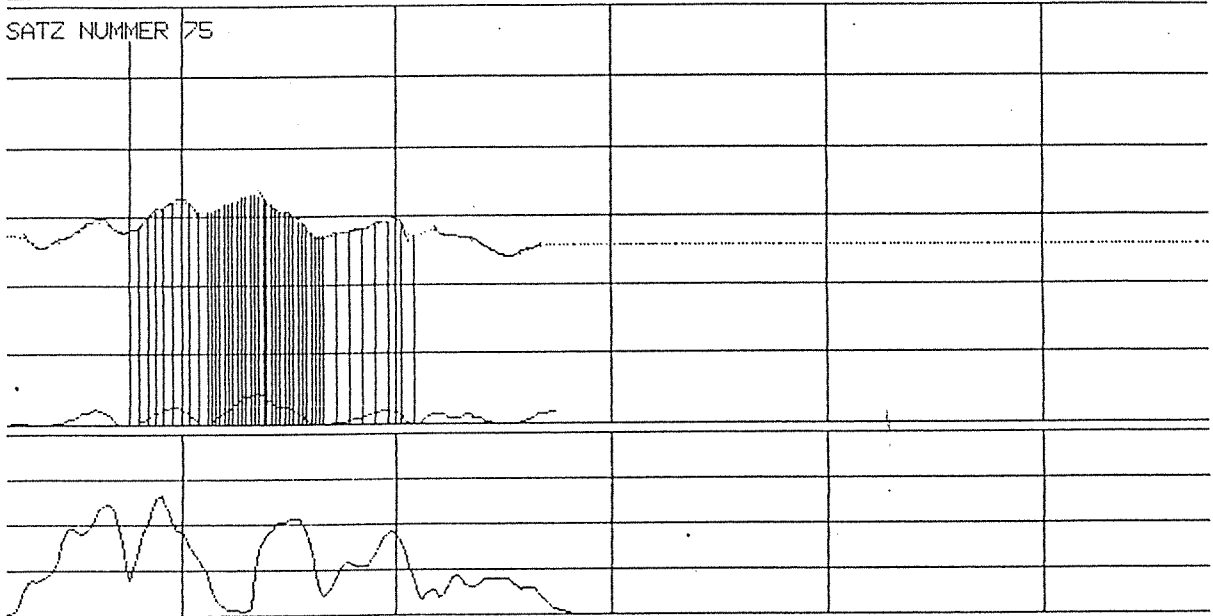


SATZ NUMMER 29



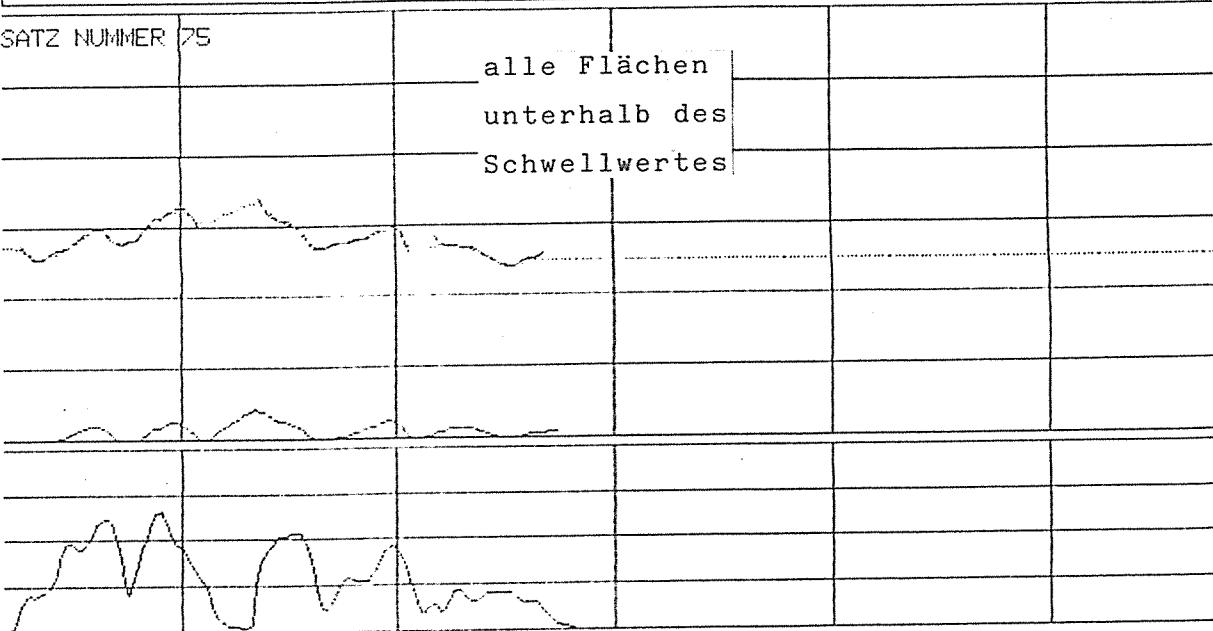


SATZ NUMMER 75



SATZ NUMMER 75

alle Flächen  
unterhalb des  
Schwellwertes





10.3 Programme  
-----

```
$TYPE SYS$INPUT
PROGRAMM AUFNA.COM                                2.11.1983
=====
ICH MACHE SPRACHAUFNAHMEN.
=====
$CTX 80
$EINS:
$INQUIRE/NOP F "ERSTE FILENUMMER = ? "
$IF F.LT.101.OR.F.GT.199 THEN GOTO EINS
$ZWEI:
$INQUIRE/NOP A "ANZAHL DER FILES = ? "
$E='F'+A'
$IF E.GT.200 THEN GOTO ZWEI
$FIL 100
$DREI:
$ERA
$WRITE SYS$OUTPUT "-----"
$WRITE SYS$OUTPUT "AUFNAHME IN FILE NUMMER ",F
$WRITE SYS$OUTPUT "-----"
$ASSIGN/USER_MODE SYS$COMMAND: SYS$INPUT:
$REC 2
$LSN 1,300,,1
$INQUIRE/NOP W "AUFNAHME WIEDERHOLEN ? ( J = JA, N = NEIN ) "
$IF W.EQS,"J" THEN GOTO DREI
$DEL WD'F',;*
$G='F'+100
$DEL WD'G',;*
$COPY WD997.,1 WD'F'
$FIL S'F'
$TRF 1,300,1
$F='F'+1
$IF F.LT.E THEN GOTO DREI
$TYPE SYS$INPUT
=====
DAS WEITERFUEHRENDE PROGRAMM IST "ANALY".
=====
$EXIT
```

```
$TYPE SYS$INPUT
PROGRAMM HEXEL.COM
31.10.1983
=====
ICH HELFE BEIM ZERLEGEN LANGER SPRACHAUFNAHMEN AUS FILE 1.
=====
$CTX 80
$EINS:
$INQUIRE/NOP F "ERSTE FILENUMMER = ? "
$IF F.LT.101.OR.F.GT.199 THEN GOTO EINS
$FIL 1
$R=1
$ZWEI:
$DSP E'R',1000
$LSN 'R',1000,,1
$TYPE SYS$INPUT

$INQUIRE/NOP A "IST EIN ANALYSEWUERDIGER SATZ ENTHALTEN ? "
$IF A.NES."J" THEN GOTO VIER
$ASSIGN/USER_MODE SYS$COMMAND: SYS$INPUT:
$CUR
$LSN ,,,1
$INQUIRE/NOP A "IST DER AUSSCHNITT ABSPEICHERWUERDIG ? "
$IF A.NES."J" THEN GOTO DREI
$DEL WD'F'.;*
$G='F'+100
$DEL WD'G'.;*
$COPY WD997.1 WD'F'
$FIL S'F'
$ERA
$WRITE SYS$OUTPUT "-----"
$WRITE SYS$OUTPUT "ABLAGEN IN FILE NUMMER ",F
$WRITE SYS$OUTPUT "-----"
$TRF ,,1
$F='F'+1
$IF F.GT.199 THEN GOTO FUENF
$DREI:
$INQUIRE/NOP A "IST NOCH EIN SATZ ENTHALTEN ? "
$IF A.EQS."J" THEN GOTO ZWEI
$VIER:
$R=R+800
$IF R.LT.29201 THEN GOTO ZWEI
$FUENF:
$ERA
$TYPE SYS$INPUT
=====
DAS WEITERFUEHRENDE PROGRAMM IST "ANALY".
=====
$EXIT
```

\$TYPE SYS\$INPUT  
PROGRAMM HOERE.COM

28.10.1983

=====  
ICH GEBE SPRACHAUFNAHMEN AUS.  
=====

\$CTX 80

\$EINS:

\$INQUIRE/NOP F "ERSTE FILENUMMER = ? "

\$IF F.LT.101.OR.F.GT.199 THEN GOTO EINS

\$ZWEI:

\$INQUIRE/NOP A "ANZAHL DER FILES = ? "

\$E='F'+ 'A'

\$IF E.GT.200 THEN GOTO ZWEI

\$INQUIRE/NOP W "ANZAHL DER WIEDERHOLUNGEN = ? "

\$DREI:

\$FIL 'F'

\$ERA

\$WRITE SYS\$OUTPUT "-----"

\$WRITE SYS\$OUTPUT "WIEDERGABE AUS FILE NUMMER ",F

\$WRITE SYS\$OUTPUT "-----"

\$LSN 1,600,'W',1

\$F='F'+1

\$IF F.LT.E THEN GOTO DREI

\$EXIT

\$TYPE SYS\$INPUT  
PROGRAMM ANALY.COM

28.10.1983

=====  
ICH FUEHRE SPRACHANALYSEN DURCH.  
=====

\$CTX 80  
\$EINS:  
\$INQUIRE/NOP F "ERSTE FILENUMMER = ? "  
\$IF F.LT.101.OR.F.GT.199 THEN GOTO EINS  
\$ZWEI:  
\$INQUIRE/NOP A "ANZAHL DER FILES = ? "  
\$E='F'+A'  
\$IF E.GT.200 THEN GOTO ZWEI  
\$DREI:  
\$FIL 'F'  
\$FIL S100  
\$TRF 1,300,1  
\$FIL 100  
\$G='F'+100  
\$FIL S'G'  
\$INA  
F  
\$ERA

\$WRITE SYS\$OUTPUT "-----"  
\$WRITE SYS\$OUTPUT "ICH ANALYSIERE GERADE FILE ",F," MIT 'API'."  
\$WRITE SYS\$OUTPUT "-----"  
\$API 10,280  
\$FTR X10,280,,2  
\$ERA

\$WRITE SYS\$OUTPUT "-----"  
\$WRITE SYS\$OUTPUT "ICH ANALYSIERE GERADE FILE ",F," MIT 'BETON'."  
\$WRITE SYS\$OUTPUT "-----"

\$DEL WD200.;\*  
\$COPY WD'G',;1 WD200  
\$RUN BETON  
\$FIL 100  
\$FIL S'F'  
\$TRF 1,300,301  
\$DEL WD'G'.;\*  
\$COPY WD200.;1 WD'G'  
\$F='F'+1  
\$IF F.LT.E THEN GOTO DREI  
\$TYPE SYS\$INPUT

=====  
WEITERFUEHRENDE PROGRAMME SIND "BLICK" UND "KURVE".  
=====

\$EXIT

\$TYPE SYS\$INPUT  
PROGRAMM BANAL.COM

2.11.1983

=====  
ICH FUEHRE SCHNELL SFRACHANALYSEN DURCH,  
=====

\$CTX 80

\$EINS:

\$INQUIRE/NOF F "ERSTE FILENUMMER = ? "

\$IF F.LT.101.OR.F.GT.199 THEN GOTO EINS

\$ZWEI:

\$INQUIRE/NOF A "ANZAHL DER FILES = ? "

\$E='F'+1

\$IF E.GT.200 THEN GOTO ZWEI

\$DREI:

\$ERA

\$WRITE SYS\$OUTPUT "-----"

\$WRITE SYS\$OUTPUT "ICH ANALYSIERE GERADE FILE ",F," MIT 'BETON'."

\$WRITE SYS\$OUTPUT "-----"

\$FIL 'F'

\$FIL S100

\$TRF 1,300,1

\$G='F'+100

\$DEL WD200. ;\*

\$COPY WD'G'. ;1 WD200

\$RUN BETON

\$FIL 100

\$FIL S'F'

\$TRF 1,300,301

\$DEL WD'G'. ;\*

\$COPY WD200. ;1 WD'G'

\$F='F'+1

\$IF F.LT.E THEN GOTO DREI

\$TYPE SYS\$INPUT

=====  
WEITERFUEHRENDE PROGRAMME SIND "BLICK" UND "KURVE".  
=====

\$EXIT

\$TYPE SYS\$INPUT  
PROGRAMM RAEUM.COM

11.11.1983

=====  
ICH HELFE BEIM AUFRAEUMEN DER SPRACHAUFNAHMEN.  
=====

```
$CTX 80
$EINS:
$INQUIRE/NOP F "ERSTE FILENUMMER = ? "
$IF F.LT.101.OR.F.GT.199 THEN GOTO EINS
$ZWEI:
$INQUIRE/NOP A "ANZAHL DER FILES = ? "
$E='F'+A'
$IF E.GT.200 THEN GOTO ZWEI
$H='F'
$DREI:
$G='F'+100
$FIL 'F'
$LSN 1,300,100,1
$INQUIRE/NOP A "SOLL DIE AUFNAHME GELOESCHT WERDEN ? "
$IF A.EQS."J" THEN GOTO FUENF
$IF F.EQ.H THEN GOTO VIER
$I='H'+100
$REN WD'F'.;1 WD'H'
$REN WD'G'.;1 WD'I'
$VIER:
$H='H'+1
$GOTO SECHS
$FUENF:
$DEL WD'F'.;*
$DEL WD'G'.;*
$SECHS:
$F='F'+1
$IF F.LT.E THEN GOTO DREI
$EXIT
```

\$TYPE SYS\$INPUT  
PROGRAMM GLOTZ.COM

2.11.1983

=====  
ICH GEBE ANALYSE DATEN SEHR SCHNELL GRAPHISCH WIEDER.  
=====

```
$CTX 80
$EINS:
$INQUIRE/NOP F "ERSTE FILENUMMER = ? "
$IF F.LT.101.OR.F.GT.199 THEN GOTO EINS
$ZWEI:
$INQUIRE/NOP A "ANZAHL DER FILES = ? "
$E='F'+ 'A'
$IF E.GT.200 THEN GOTO ZWEI
$DREI:
$FIL 'F'
$G='F'+100
$FIL S'G'
$ERA
$DPM 10,280,111,,0,300,50,500,0,100
$LSN 1,300,,1
$F='F'+1
$IF F.LT.E THEN GOTO DREI
$EXIT
```

\$TYPE SYS\$INPUT  
PROGRAMM BLICK.COM

2.11.1983

=====  
ICH GEBE ANALYSE DATEN SCHNELL GRAPHISCH WIEDER,  
=====

```
$CTX 80
$EINS:
$INQUIRE/NOP F "ERSTE FILENUMMER = ? "
$IF F.LT.101.OR.F.GT.199 THEN GOTO EINS
$ZWEI:
$INQUIRE/NOP A "ANZAHL DER FILES = ? "
$E='F'+A'
$IF E.GT.200 THEN GOTO ZWEI
$DREI:
$FIL 'F'
$G='F'+100
$FIL S'G'
$ERA
$DPM 10,280,123,,0,10000,2500,500,0,28
$DPM 10,280,111,,0,300,50,500,30,100
$DPM X10,280,113,2,0,300,,,30,100
$LSN 1,600,,1
$F='F'+1
$IF F.LT.E THEN GOTO DREI
$EXIT
```



\$TYPE SYS\$INPUT  
PROGRAMM KURVE.COM

12.12.1983

=====  
ICH GEBE ANALYSE DATEN GRAPHISCH WIEDER.  
=====

```
$CTX 80
$EINS:
$INQUIRE/NOF F "FILENUMMER = ? "
$IF F.LT.101.OR.F.GT.199 THEN GOTO EINS
$FIL 'F'
$G='F'+100
$FIL S'G'
$ERA
$DSP W10,280,2000,,,,,75,25
$DPM 10,280,123,,0,10000,2500,500,0,27
$DPM 10,280,119,,0,300,50,500,28,74
$DPM X10,280,111,,0,300,,,28,74
$DPM X10,280,112,,0,300,,,28,74
$DPM X10,280,113,2,0,300,,,28,74
$LSN 1,600,3,1
$EXIT
```

\$TYPE SYS\$INPUT  
PROGRAMM DRUCK.COM

30.11.1983

=====  
ICH DRUCKE,  
=====

```
$CTX 80
$EINS:
$INQUIRE/NOP F "FILENUMMER = ? "
$IF F.LT.101.OR.F.GT.199 THEN GOTO EINS
$ZWEI:
$FIL 'F'
$G='F'+100
$FIL S'G'
$S='F'-100
$ERA
$DSP W10,280,2000,,,,,75,25
$DPM 10,280,123,,0,10000,2500,500,0,27
$DPM 10,280,119,,0,300,50,500,28,74
$DPM X10,280,111,1,0,300,,28,74
$DPM X10,280,112,,0,300,,28,74
$DPM X10,280,113,2,0,300,,28,74
$TYPE SYS$INPUT
```

```
$WRITE SYS$OUTPUT "SATZ NUMMER ",S
$R FF4
$F='F'+1
$IF F.LT.200 THEN GOTO ZWEI
$EXIT
```

\$TYPE SYS\$INPUT  
PROGRAMM UMFRA.COM

17.11.1983

=====  
ICH GEBE SPRACHAUFNAHMEN FUER DIE SUBJEKTIVE BEURTEILUNG AUS.  
=====

\$EINS:

\$INQUIRE/NOP S "ERSTE SATZNUMMER = ? "

\$IF S.LT.1.OR.S.GT.99 THEN GOTO EINS

\$F='S'+100

\$CTX 80

\$ZWEI:

\$FIL 'F'

\$ERA

\$WRITE SYS\$OUTPUT "-----"

\$WRITE SYS\$OUTPUT "WIEDERGABE VON SATZ NUMMER ",S

\$WRITE SYS\$OUTPUT "-----"

\$DREI:

\$LSN 1,300,,1

\$INQUIRE/NOP A "SOLL ICH DEN NAECHSTEN SATZ WIEDERGEBEN ? "

\$IF A.NES."J" THEN GOTO DREI

\$S='S'+1

\$F='F'+1

\$IF F.LT.200 THEN GOTO ZWEI

\$TYPE SYS\$INPUT

=====  
WIR BEDANKEN UNS FUER IHRE GEDULD UND AUSDAUER. AUF WIEDERHOEREN.  
=====

\$EXIT

\$TYPE SYS\$INPUT  
PROGRAMM STAUN.COM

15.12.1983

=====

ICH MACHE ALLES.

=====

\$INQUIRE/NOP A "ERGEBNISSE DER LETZTEN AUFNAHME ? "  
\$IF A.EQS."J" THEN GOTO ZWEI  
\$CTX 80  
\$FIL 100  
\$TYPE SYS\$INPUT

=====

WIR NEHMEN JETZT AUF ! JAWOHL !

=====

\$ASSIGN/USER\_MODE SYS\$COMMAND: SYS\$INPUT:  
\$REC 2  
\$LSN 1,300,,1  
\$DEL WD1.;\*  
\$COPY WD997.;1 WD1  
\$FIL S1  
\$TRF 1,300,1  
\$FIL S200  
\$INA  
F  
\$ERA  
\$TYPE SYS\$INPUT

=====

ANALYSE MIT 'API'.

=====

\$API 10,280  
\$FTR X10,280,,,2  
\$ERA  
\$TYPE SYS\$INPUT

=====

ANALYSE MIT 'BETON'.

=====

\$RUN BETON  
\$FIL 100  
\$FIL S1  
\$TRF 1,300,301  
\$DEL WD2.;\*  
\$COPY WD200.;1 WD2  
\$ZWEI:  
\$FIL 1  
\$FIL S2  
\$ERA  
\$DSP W10,280,2000,,,,,75,25  
\$DFM 10,280,123,,0,10000,2500,500,0,27  
\$DFM 10,280,119,,0,300,50,500,28,74  
\$DFM X10,280,111,,0,300,,,28,74  
\$DFM X10,280,112,,0,300,,,28,74  
\$DFM X10,280,113,2,0,300,,,28,74  
\$LSN 1,600,3,1  
\$EXIT



```

CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C
C VARIABLENDEKLARATION
C=====
C
C ANFA      = ANFANG
C DATE(X)   = FELD ZUM LESEN UND SCHREIBEN VON DATEN
C DDFR(X)   = ZWEITE ABLEITUNG DER SPRACHGRUNDFREQUENZ
C DFRE(X)   = ERSTE ABLEITUNG DER SPRACHGRUNDFREQUENZ
C DIFF      = FREQUENZDIFFERENZ
C ENDE      = ENDE
C ENER(X)   = ENERGIE
C FREM(X)   = GEGLAETTETE SPRACHGRUNDFREQUENZ
C FREQ(X)   = SPRACHGRUNDFREQUENZ
C FREZ(X)   = NORMIERTE SPRACHGRUNDFREQUENZ
C GLAT(X)   = HILFSFELD FUER DIE GLAETTUNGSROUTINE
C HACK(X)   = FELD ZUR BETONUNGSKENNUNG
C INDEX     = INDEX
C KONT      = KONTROLLFLAG
C LIST(1,X) = WORTANFANG
C LIST(2,X) = MAXIMUM DER SPRACHGRUNDFREQUENZ
C LIST(3,X) = WORTENDE
C LIST(4,X) = FREQUENZFLAECHE
C LIST(5,X) = FREQUENZHUB
C MAXE     = VARIABLE FUER MAXIMALWERT-BERECHNUNGEN
C STEI     = VARIABLE FUER FLANKENSTEILHEIT-BERECHNUNG
C WORT     = ANZAHL DER ERKANNTEN LAUTVERBINDUNGEN
C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C                                     HAUPTPROGRAMM                               C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
      PROGRAM BETON
      INTEGER ANFA,ENDE,ENER(300),FREM(300),FREQ(300),
1     FREZ(300),HACK(300)
      CALL LESEN(ENER,FREQ)
      CALL SUCHE(ANFA,ENDE,ENER,FREM,FREQ,FREZ,HACK)
      CALL AUSGA(ANFA,ENDE,FREM,FREZ,HACK)
      STOP'TSCHUESS, ICH BIN FERTIG!'
      END
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C UNTERPROGRAMM C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
      SUBROUTINE LESEN(ENER,FREQ)
      INTEGER ENER(300),FREQ(300)
      INTEGER*2 DATE(256)
C
C LIEST DATEN DES ANALYSEFILES "WD200.;1".
C
      OPEN(10,NAME='WD200.;1',TYPE='OLD',
1     FORM='UNFORMATTED',RECL=128,ACCESS='DIRECT')
      DO I=1,141
          READ(10'I)DATE
          FREQ(2*I+7)=DATE(55)
          ENER(2*I+7)=DATE(59)
          FREQ(2*I+8)=DATE(183)
          ENER(2*I+8)=DATE(187)
      END DO
      CLOSE(UNIT=10)

```

```
C
C ERZEUGT DEFINIERTE RANDBEDINGUNGEN.
C
      DO I=1,9
            ENER(I)=0
            FREQ(I)=0
      END DO
      DO I=1,11
            ENER(I+289)=0
            FREQ(I+289)=0
      END DO
      RETURN
      END
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C UNTERPROGRAMM C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
      SUBROUTINE SUCH(E,ANFA,ENDE,ENER,FREM,FREQ,FREZ,HACK)
      INTEGER ANFA,ENDE,ENER(300),FREM(300),FREQ(300),
1 FREZ(300),HACK(300),LIST(5,30),WORT
C
C SUCHT UND SORTIERT FREQUENZHUPPEL.
C
      CALL BUEGE(ENER,FREM,FREQ)
      CALL SILBE(FREM,LIST,WORT)
      CALL FREQU(FREM,FREZ,LIST,WORT)
      CALL SORTI(ANFA,ENDE,FREM,HACK,LIST,WORT)
      RETURN
      END
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C UNTERPROGRAMM C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
      SUBROUTINE AUSGA(ANFA,ENDE,FREM,FREZ,HACK)
      INTEGER ANFA,ENDE,FREM(300),FREZ(300),HACK(300),INDEX
      INTEGER*2 DATE(256)
C
C ISOLIERT IM AUFNAHMEFILE "WD100.;1" DIE BETONTE SILBE.
C
      OPEN(10,NAME='WD100.;1',TYPE='OLD',
1 FORM='UNFORMATTED',RECL=128,ACCESS='DIRECT')
      ANFA=ANFA-10
      ENDE=ENDE-10
      DO I=1,94
            READ(10,I)DATE
            DO J=1,256
                  INDEX=(256*I+J-241)/80
                  IF(.NOT.(INDEX.LT.1.OR.INDEX.GT.ANFA
1 .AND.INDEX.LT.ENDE))DATE(J)=0
            END DO
            WRITE(10,I)DATE
      END DO
      CLOSE(UNIT=10)
```

C  
C SCHREIBT DATEN IN DAS ANALYSEFILE "WD200. #1" ZURUECK.  
C MANIPULIERTE SPRACHGRUNDFREQUENZ STEHT AN STELLE 111,  
C NORMIERTE SPRACHGRUNDFREQUENZ AN STELLE 112,  
C BETONUNGSKENNUNG AN STELLE 113.  
C

```
OPEN(10,NAME='WD200.#1',TYPE='OLD',
1 FORM='UNFORMATTED',RECL=128,ACCESS='DIRECT')
DO I=1,141
    READ(10'I)DATE
    IF(I.NE.1)THEN
        DATE(47)=FREM(2*I+7)/1000
        DATE(48)=FREZ(2*I+7)/1000
        DATE(49)=HACK(2*I+7)/1000
    END IF
    IF(I.NE.141)THEN
        DATE(175)=FREM(2*I+8)/1000
        DATE(176)=FREZ(2*I+8)/1000
        DATE(177)=HACK(2*I+8)/1000
    END IF
    WRITE(10'I)DATE
END DO
CLOSE(UNIT=10)
RETURN
END
```

CCCCCCCCCCCCCCCCCCCC

C UNTERPROGRAMM C

CCCCCCCCCCCCCCCCCCCC

```
    SUBROUTINE BUEGE(ENER,FREM,FREQ)
    INTEGER ANFA,DDFR(300),DFRE(300),ENDE,ENER(300),
1 FREM(300),FREQ(300),GLAT(300),MAXE
    LOGICAL KONT
```

C  
C ELIMINIERT MESSWERTE UNTERHALB 20% DER MAXIMALENERGIE.  
C

```
    MAXE=0
    DO I=1,300
        IF(ENER(I).GT.MAXE)MAXE=ENER(I)
    END DO
    MAXE=MAX(MAXE,4000)
    MAXE=MAXE/5
    DO I=1,300
        IF(ENER(I).LT.MAXE)FREQ(I)=0
    END DO
```



```
C
C ELIMINIERT FREQUENZFLANKEN UEBER 30 HZ/FRAME.
C
100     KONT=,FALSE,
        DO I=1,300
            IF(FREQ(I),NE,0)THEN
                J=I
                J=J+1
200         IF(J,GT,300)GOTO 300
            IF(FREQ(J),EQ,0)GOTO 200
            IF(ABS((FREQ(J)-FREQ(I))/(J-I)),GT,30)
1           THEN
                KONT=,TRUE,
                FREQ(I)=0
                FREQ(J)=0
            END IF
        END IF
        IF(KONT)GOTO 100
    END DO
C
C SCHREIBT SPRACHGRUNDFREQUENZ MIT HOEHERER AUFLOESUNG IN FREM.
C
300     DO I=1,300
        FREM(I)=FREQ(I)*1000
    END DO
C
C STOPFT LUECKEN IN SPRACHGRUNDFREQUENZ.
C
        KONT=,FALSE,
        DO I=1,300
            IF(FREM(I),EQ,0)THEN
C
C ORTET FREQUENZLUECKEN.
C
                IF(,NOT,KONT)THEN
                    KONT=,TRUE,
                    ANFA=I
                    ENDE=I
                    ENDE=ENDE+1
400         IF(FREM(ENDE),EQ,0,
1           AND,ENDE,LT,300)GOTO 400
                END IF
C
C INTERPOLIERT LINEAR.
C
                IF(ANFA,NE,1,AND,ENDE,NE,300)THEN
1           FREM(I)=FREM(ANFA-1)+
2           (FREM(ENDE)-FREM(ANFA-1))
                *(I-ANFA+1)/(ENDE-ANFA+1)
            END IF
        END DO
```

```
C
C ERZEUGT DEFINIERTE RANDWERTE.
C
          IF (ANFA, EQ, 1) FREM(I) = FREM(ENDE)
          IF (ENDE, EQ, 300) FREM(I) = FREM(ANFA-1)
          ELSE
          KONT = .FALSE.
          END IF
        END DO
C
C GLAETTET SPRACHGRUNDFREQUENZ.
C
        DO I = 3, 298
          GLAT(I) = FREM(I-2) + FREM(I+2) +
1          4 * (FREM(I-1) + FREM(I+1)) + 6 * FREM(I)
        END DO
        DO I = 3, 298
          FREM(I) = GLAT(I) / 16
        END DO
C
C BILDET ERSTE ABLEITUNG.
C
        DO I = 1, 299
          DFRE(I+1) = FREM(I+1) - FREM(I)
        END DO
        DFRE(1) = 0
C
C GLAETTET ERSTE ABLEITUNG.
C
        DO I = 3, 298
          GLAT(I) = DFRE(I-2) + DFRE(I+2) +
1          4 * (DFRE(I-1) + DFRE(I+1)) + 6 * DFRE(I)
        END DO
        DO I = 3, 298
          DFRE(I) = GLAT(I)
        END DO
C
C BILDET ZWEITE ABLEITUNG.
C
        DO I = 1, 299
          DDFR(I+1) = DFRE(I+1) - DFRE(I)
        END DO
        DDFR(1) = 0
C
C GLAETTET ZWEITE ABLEITUNG.
C
        DO I = 3, 298
          GLAT(I) = DDFR(I-2) + DDFR(I+2) +
1          4 * (DDFR(I-1) + DDFR(I+1)) + 6 * DDFR(I)
        END DO
        DO I = 3, 298
          DDFR(I) = GLAT(I)
        END DO
```

```
C
C BILDET ERSTE ABLEITUNG AUS DER ZWEITEN.
C
      DO I=2,300
          DFRE(I)=DFRE(I-1)+DDFR(I)
      END DO
C
C BILDET SPRACHGRUNDFREQUENZ AUS DER ERSTEN ABLEITUNG.
C
      DO I=2,300
          FREM(I)=FREM(I-1)+DFRE(I)/256
      END DO
      RETURN
      END
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C UNTERPROGRAMM C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
      SUBROUTINE SILBE(FREM,LIST,WORT)
      INTEGER DIFF,FREM(300),LIST(5,30),WORT
      LOGICAL KONT
C
C TRAEGT HUPPELANFANG IN DIE LISTE EIN UND ZAEHLT DIE HUPPEL.
C
      WORT=0
      KONT=.TRUE.
      DO I=1,299
          IF(FREM(I)/100.LT.FREM(I+1)/100.AND.KONT)THEN
              KONT=.FALSE.
              WORT=WORT+1
              LIST(1,WORT)=I
          END IF
          IF(FREM(I)/100.GT.FREM(I+1)/100.)KONT=.TRUE.
      END DO
C
C SUCHT MAXIMA.
C
      DO I=1,WORT
          J=LIST(1,I)
100         J=J+1
          IF(FREM(J).LT.FREM(J+1).AND.J.LT.300)GOTO 100
          LIST(2,I)=J
      END DO
C
C TRAEGT HUPPELENDEN IN DIE LISTE EIN.
C
      DO I=1,WORT-1
          LIST(3,I)=LIST(1,I+1)
      END DO
C
C SUCHT MINIMUM FUER DEN LETZTEN HUPPEL.
C
      I=LIST(2,WORT)
200     I=I+1
          IF(FREM(I).GT.FREM(I+1).AND.I.LT.300)GOTO 200
          LIST(3,WORT)=I
```

```
C
C BEULT EINGEDELTERTE HUPPEL AUS. ( DIFF > 21000 ).
C
300      DO I=1,WORT-1
          DIFF=FREM(LIST(1,I))+
          1      (FREM(LIST(3,I+1))-FREM(LIST(1,I)))
          2      *(LIST(3,I)-LIST(1,I))/(LIST(3,I+1)-LIST(1,I))
          DIFF=FREM(LIST(3,I))-DIFF
          IF(DIFF.GT.21000)GOTO 400
          END DO
          RETURN
400      LIST(3,I)=LIST(3,I+1)
          DO I=I+1,WORT
              DO J=1,3
                  LIST(J,I)=LIST(J,I+1)
              END DO
          END DO
          WORT=WORT-1
          GOTO 300
          END
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C UNTERPROGRAMM C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
          SUBROUTINE FREQU(FREM,FREZ,LIST,WORT)
          INTEGER ANFA,ENDE,FREM(300),FREZ(300),LIST(5,30),WORT
C
C BERECHNET FREQUENZHUEBE.
C
          DO I=1,WORT
              LIST(4,I)=0
              LIST(5,I)=FREM(LIST(2,I))-FREM(LIST(1,I))
          END DO
          DO I=1,300
              FREZ(I)=0
          END DO
C
C ZIEHT POLIGONZUG VON MINIMUM ZU MINIMUM UND BERECHNET DIE
C FREQUENZFLAECHE DER HUPPEL.
C
          DO I=1,WORT
              ANFA=LIST(1,I)
              ENDE=LIST(3,I)
              DO J=ANFA,ENDE
                  1      FREZ(J)=FREM(J)-FREM(ANFA-1)-
                  2      (FREM(ENDE)-FREM(ANFA-1))
                  *(J-ANFA+1)/(ENDE-ANFA+1)
                  LIST(4,I)=LIST(4,I)+FREZ(J)
              END DO
          END DO
```

```
C
C BERECHNET DIE LETZTE HUPPELFLAECHE.
C
      IF(FREM(LIST(2,WORT))/1000.EQ.FREM(LIST(3,WORT))/1000)
1 THEN
      ANFA=LIST(1,WORT)
      ENDE=LIST(3,WORT)
      LIST(4,WORT)=0
      DO J=ANFA,ENDE
          FREZ(J)=FREM(J)-FREM(ANFA-1)
          LIST(4,WORT)=LIST(4,WORT)+FREZ(J)
      END DO
      END IF
      DO I=1,WORT
      END DO

C
C ELIMINIERT FLAECHEEN UNTER 300000.
C
      DO I=1,WORT
          IF(LIST(4,I).LT.300000)LIST(4,I)=0
      END DO
      RETURN
      END

CCCCCCCCCCCCCCCC
C UNTERPROGRAMM C
CCCCCCCCCCCCCCCC
      SUBROUTINE SORTI(ANFA,ENDE,FREM,HACK,LIST,WORT)
      INTEGER ANFA,ENDE,FREM(300),HACK(300),LIST(5,30),STEI,
1 WORT
C
C SUCHT MAXIMALEN FREQUENZHUB.
C
      STEI=1
      DO I=2,WORT
          IF(LIST(5,I).GT.LIST(5,STEI))STEI=I
      END DO
      DO I=1,WORT
          IF(I.NE.STEI)LIST(5,I)=0
      END DO

C
C SORTIERT DIE HUPPEL NACH IHREN FLAECHEEN.
C
      DO I=1,WORT-1
          DO J=1,WORT-I
              IF(LIST(4,J).LT.LIST(4,J+1))THEN
                  DO K=1,5
                      L=LIST(K,J)
                      LIST(K,J)=LIST(K,J+1)
                      LIST(K,J+1)=L
                  END DO
              END IF
          END DO
      END DO
```

```
C
C LEGT WIEDERGABEBEREICH FEST.
C
      IF(LIST(4,1).NE.0)THEN
          ANFA=LIST(1,1)
          ENDE=LIST(3,1)
      ELSE
          ANFA=0
          ENDE=0
      END IF
C
C SETZT FELD ZUM ZEICHNEN.
C
      DO I=1,300
          HACK(I)=0
      END DO
      DO I=1,WORT
          IF(LIST(4,I).NE.0)THEN
              DO J=LIST(1,I),LIST(3,I),I
                  HACK(J)=FREM(J)
              END DO
          END IF
      END DO
      IF(LIST(4,1).NE.0.AND.LIST(5,1).NE.0)THEN
          DO I=ANFA,LIST(2,1)
              HACK(I)=275000
          END DO
      ELSE
          DO I=1,WORT
              IF(LIST(5,I).GT.40000)THEN
                  HACK(LIST(1,I))=275000
                  HACK(LIST(2,I))=275000
              END IF
          END DO
      END IF
      RETURN
      END
```