

Georg Wötzer

Mein Computer kann diatonisch modulieren!

Zum eisernen Bestand einer Ausbildung in Musiktheorie an unseren Musikhochschulen gehört die Modulationslehre. Sie vermittelt Regeln zur harmonischen Verknüpfung von Tonartenbereichen und stützt ihre Theorien auf Muster aus der Musikk-literatur etwa von Barock bis Spätromantik. Die Theorien selber stammen aus der systematischen Musiktheorie des späteren 19. und früheren 20. Jahrhunderts. Gelernt wird Modulieren vor allem spielend am Klavier und durch Analyse geeigneter Musikbeispiele.

Nach unserem (momentanen, Stuttgarter) Verständnis¹ unterscheiden wir vier Arten der Modulation: diatonisch, chromatisch, neapolitanisch und enharmonisch. Die drei letztgenannten Arten (vor allem chromatische Modulation) werden in der Regel so praktiziert, daß zuerst Richtung und Entfernung zwischen Ausgangs- und Zieltonart

¹ An Inhalt und Lehrpraxis des Modulierens wird in der Stuttgarter Fachgruppe Musiktheorie seit längerem Ungenügen empfunden. Vor allem die (historischen) Forschungen der Kollegen Prof. Dr. Deppert und Dr. Budday haben bereits zu konkreten Vorschlägen und Veränderungen im Verständnis von Modulation geführt, die mit den bisherigen Theorien und Praktiken nicht mehr ohne weiteres identisch sind.

Mein Programm vertritt aber noch die alte Theorie. Denn erstens müssen die zu den neuen Modulationstheorien effizientesten Verfahren erst noch gründlich erforscht und erprobt werden, und zweitens liegt der Zweck dieses Algorithmus nicht in der Umsetzung neuester musikwissenschaftlicher Erkenntnisse. Das Programm ist für ein Seminar entstanden, im dem es um die Programmierbarkeit von tonaler Musik geht. Da die bisherige ('systematische') Theorie der diatonischen Modulation auf einem klar abgegrenzten Regelkanon fußt, der sich außerdem satztechnisch äußerst einfach musikalisch verdinglicht, erschien mir dieses Sujet als das pädagogisch Sinnvollste. Statt dessen hätte ich aber genauso gut ein Programm schreiben können, aufgrund dessen der Rechner Cantionalsätze zu komponieren in der Lage ist.

bestimmt und dann passende, vorher erlernte Module so lange hintereinander geschaltet werden, bis das Modulationsziel erreicht ist.

Die diatonische Modulation hingegen widersetzt sich solcher simplen Mechanik. Ihr Prinzip beruht auf der funktionalen Mehrdeutigkeit des harmonischen Materials. Sie ist umso größer, je verwandter der Ton - bzw. Klangvorrat zwischen zwei Tonarten ist. Daher ist es für den Lernenden ökonomischer und sicherer, wenngleich zunächst auch schwieriger, die wenigen Regeln auf die Fülle des harmonischen Material anzuwenden, als die erhebliche Menge aller harmonischen Umdeutungsmöglichkeiten auswendig zu lernen, um dann die harmonische Progression festzulegen.

Will man den Computer dazu bringen, eine Modulation klingend korrekt auszuführen, ist von einem dreischichtigen Modell auszugehen. Die unterste Ebene ist die Materialebene, also die Bereitstellung des Ton-, Dreiklangs- und Funktionenmaterials aller zulässigen Tonarten. Dann folgt die Ebene der Modulationsregeln, also die Festlegung der Klangprogression. Schließlich müssen die Klänge gemäß Satzregeln miteinander verbunden werden.

1) Grundmaterial

Das Grundmaterial für eine diatonische Modulation nach unserem Verständnis besteht aus

- a) Tönen bzw. Tonnamen, die im globalen Array Quintenzirkel gespeichert werden;
- b) Skalen, die je nach Geschlecht aus dem Quintenzirkel errechnet werden mitsamt ihrem Grundton;
- c) Dreiklänge, die je nach Geschlecht der Grundtonart aus den Skalen errechnet und als Notennamen gespeichert werden;
- d) Funktionen, deren Array-Indices zwar identisch sind mit den Skalenstufen, die aber unterschieden werden nach Geschlecht der Tonart sowie zweidimensional verwaltet werden müssen zur Darstellung von funktional doppeldeutigen Stufen.

Bei all dem ist zu beachten, daß je nach Zusammenhang sowohl das Ton- als auch das Klangmaterial mitsamt den Funktionen variabel sein können. In Moll ist z.B. die Dominante ein Dur-Akkord, also muß bei einer Akkorddarstellung die 7. Stufe erhöht werden, im Gegensatz zu einer skalenmäßigen Darstellung. Beim diatonischen Modulieren stehen mitunter eigentlich leiterfremde Akkorde zur Verfügung (z.B. Moll-Subdominante in Durtonart etc. s.u.).

2) Diatonische Modulationsregeln²²

I) Propädeutik

Um alles Weitere verstehen zu können, folgt hier eine kurze Darstellung des Regelwerks, so wie ich es dem Programm zu Grunde gelegt habe.

a) Prinzip

Diatonische Modulation beruht auf der Umdeutung einer Funktion eines Ausgangs-Tonartbereichs in eine Funktion eines Ziel-Tonartbereichs.

Daher findet vor allem ein Vergleich des Klangmaterials beider Tonarten statt. Werden identische Klänge gefunden, können diese unter Beachtung der nachfolgenden Regeln zur Umdeutung herangezogen werden.

b) Materialregeln

Verwendbar sind nur reine Dreiklänge.

In Moll ist die Dominante immer ein Dur-Akkord ('leiterfremd'); außerdem kann in Moll die leitereigene 7. Stufe nicht umgedeutet werden, da diese nicht kadenzial verwendbar ist.

c) Umdeutungsregeln

1) Der Zieldreiklang darf nicht umgedeutet werden.

2) Die Ausgangsdominante darf nicht umgedeutet werden.

3) Die Mollsubdominante darf auch in einer Dur-Tonart verwendet werden.

4) Die Verwendung von entlehnten Trugschlüssen ist möglich.

d) Regeln zur Klangprogression

1) Die Klangprogression folgt normalerweise dem Schema T-S-D-T. Wird ein Ausgangsbereich über die Moll-S verlassen, lautet die Klangprogression T-D-T-s. Statt T und S können deren Substitute gesetzt werden (Tp bzw Sp) bzw. analoge Substitute in Moll.

2) Solange die Zieltonart nicht erreicht ist, folgt auf eine D entweder ein Trugschluß oder eine T mit Terz

²² Die nachfolgenden Regeln zur diatonischen Modulation repräsentieren den Stand meiner diesbezüglichen Lehre an verschiedenen Musikhochschulen. Daß meine Kollegen in einzelnen Punkten andere Auffassungen und Methoden vertreten, ist mir klar und gehört zum (Kunst-) Handwerk. Man muß im weiteren trennen zwischen Regeln, die Prinzipien betreffen, daher 'objektiv' und solchen, die Ornamente regulieren, daher 'subjektiv' sind.

- 4 -
- im Baß ('unvollkommener Ganzschluß').
- 3) Wird ein Dreiklang in die D einer Zieltonart umgedeutet, folgt darauf eine Trugschlußkadenz.
- e) Direkte und indirekte diatonische Modulation
- Weisen zwei Tonarten keine identischen, umdeutbaren Akkorde auf, wird der Weg unterteilt, d.h., es müssen Zwischentonarten gefunden werden, bei denen wieder gemeinsame Akkorde auftreten. Solche Unterteilungen lassen sich übrigens nach ähnlichen Mustern organisieren wie die 'Wegunterteilungen' der chromatischen Modulation. Im Programm habe ich mich solcher Muster bedient.
- f) Regeln zur indirekten diatonischen Modulation
- 1) im Quintenzirkel steigend
- Der Ausstieg aus der Ausgangstonart kann ggf. vollzogen werden über leitereigene Umdeutungen in den Oberquintbereich oder notfalls über den entlehnten Trugschluß. Von dort aus wird normalerweise die Moll-s jeder Zwischen- bzw. Zieltonart angesteuert.
- 2) im Quintenzirkel fallend
- Hier erfolgt der Ausstieg am besten über die Moll-s der Ausgangstonart, aber auch, wenn möglich, über einen anderen leitereigenen Dreiklang. Darauf folgen weitere Umdeutungen im Unterquintbereich. Schließlich wird auf dieselbe Weise die (Dur-) D der Zieltonart angesteuert und die Modulation mit einer Trugschlußkadenz beendet.

II) Programmierung der Regeln

- 1) Bestimmung des Modulationswegs
- a) direkte oder indirekte Modulation
- Nach der Bereitstellung des elementarsten Tonmaterials (alle Tonnamen im Quintenzirkel) sowie der Richtungs-, Abstands- und Geschlechts-Information muß zunächst der Modulationsweg bestimmt werden. Hier gibt es nur zwei Möglichkeiten: entweder ist direkte Modulation möglich oder aber indirekte. Eine Kette von Abfragen filtert nun den für jede Entfernung passenden Fall heraus. Ist nur indirekte diatonische Modulation möglich (und ich verzichte auf die Darstellung aller Bedingungen hierfür im Interesse der Lesbarkeit dieses Aufsatzes), verzweigt das Programm nach einer Prozedur, die die Gesamtentfernung in Zwischentönen unterteilt.
- b) indirekte Modulation
- Hierfür gibt es wieder zwei Möglichkeiten: die Zwischentönen werden ermittelt entweder mit Hilfe einer einfachen mathematischen Berechnung (evtl. mit anschließender Setzung) oder ausschließlich durch Setzung.

als im ersten Beispiel. Trotzdem ist der tatsächliche Modulationsweg länger. Dies liegt daran, daß, von der Zieltonart in 5-Quintenschritten zurückgerechnet, die Ausgangstonart nicht direkt erreicht wird. So entsteht in jedem Fall eine Differenz. Da beim Zurückrechnen immer vor der Ausgangstonart Halt gemacht wird, muß die Lücke zwischen dem Haltepunkt der zurückgerechneten '5-Quintenschritt-Sequenz' und der Ausgangstonart durch weitere Zwischentonarten ausgefüllt werden. Hier kommen vier Möglichkeiten (1-4 Quinten Differenz) in betracht, wovon jede im Programm besonders unterschieden und behandelt wird. Im obigen, zweiten Beispiel wird also zunächst wieder vom Ziel aus in 5-Quintenschritten zurückgerechnet bis vor die Ausgangstonart:

H-Dur -- C-Dur

Nun fehlen von C-dur bis as-Moll noch 4 Quinten; für diesen Fall habe ich folgende Tonartensequenz gewählt (nun wieder nach vorne gerechnet):

as-Moll -- Es-Dur -- f-Moll -- C-Dur
 (=4 Quinten)
 ;-----; ;-----; ;-----;

Zwischen allen Tonarten-Paaren (;---;) treten immer gemeinsame Akkorde auf, d.h., diese Setzung ist nach den oben ausgeführten Regeln der diatonischen Modulation immer korrekt. Der Vollständigkeit halber zeige ich noch die anderen Tonarten-Setzungen, immer von as-Moll aus.

as-Moll-->E-Dur

as-Moll -- Es-Dur -- B-Dur -- F-Dur -- a-Moll -- E-Dur
 ;-----; ;-----; ;-----;
 Setzung(=3 Quinten)
 5-Quintenschritt

as-Moll-->A-Dur

as-Moll -- Es-Dur -- B-Dur -- d-Moll -- A-Dur
 ;-----; ;-----;
 Setzung(=2 Quinten)
 5-Quintenschritt

as-Moll-->D-Dur

as-Moll -- Es-Dur -- g-Moll -- D-Dur
 ;-----;
 Setzung
 (=1 Quint) 5-Quintenschritt

2) Das Kernstück des Programms: die Suche nach gemeinsamen Klängen

- a) Nachdem das Programm zunächst ermittelt hat, ob und wieviele bzw. welche Zwischentonarten beim Modulationsvorgang benötigt werden, beginnt dessen wichtigster Teil. In einer Schleife werden so lange die Dreiklänge zwischen einer ggf. upgedateten Ausgangs- und einer ebenso ggf. upgedateten Zieltonart verglichen und ausgewertet, bis die tatsächliche Zieltonart erreicht ist.
- b) Werden jedoch die Tonarten (-Namen und evtl. Geschlecht) verändert, bezieht sich dies auch auf die Skalen der neuen Ausgangs- und Zieltonart, deren neues Dreiklangsmaterial, und deren neue Funktionsbezeichnungen. All dies muß bei jedem Schleifendurchgang upgedatet werden. Auch hierzu ist wieder ein ausgeklügeltes System von Abfragen nötig, dessen Schilderung ich dem Leser ersparen will.
- c) Nun sind wir eigentlich im Zentrum des Programms angelangt, bei der Ermittlung gemeinsamer Akkorde. Man muß sich darüber im klaren sein, daß auf jeden Fall gemeinsame Akkorde gefunden werden. Schließlich wurde die Situation durch die Berechnungen und Setzungen der Zwischentonarten so gesteuert, daß nur Tonartenpaare mit mindestens einem zulässigen gemeinsamen Dreiklang übrigblieben.
- Der Vergleich ist übrigens programmiertechnisch höchst trivial; die Dreiklänge der beiden momentanen Tonarten, als Zeichenketten (Notennamen) gespeichert, werden Stufe für Stufe miteinander verglichen. Bei Auffinden eines identischen Strings wird dieser in einem Array für Umdeutungsakkorde gespeichert.

```
zaehler=0
for i=1 to 8
  for j=1 to 8
    if ausgangs_dreiklang$(i)=ziel_dreiklang$(j)
      zaehler=zaehler+1
      umdeutungs_akkorde$(zaehler)=ausgangs_dreiklang$(i)
    endif
  next j
next i
```

- d) Der nächste Schritt besteht darin, die gefundenen gemeinsamen Akkorde daraufhin zu prüfen, ob sie nach den Regeln überhaupt als Umdeutungsakkorde zulässig sind. Wie man dem Regelkanon weiter oben entnehmen kann, ist ja z.B. die Verwendung der Dominante einer Ausgangstonart als wesentlichem Umdeutungsakkord verboten. Dasselbe gilt auch für die Tonika einer Zieltonart, etc. Auch hier findet wieder eine recht umfangreiche Abfrage statt zur Herausfilterung der erlaubten Dreiklänge, auf deren detaillierte Schilderung ich verzichten will.

3) Die Verkettung der Klänge

Danach werden die gefundenen Umdeutungs-Dreiklänge, -Funktionen und -Stufen in großen Arrays gesammelt, so daß nun immerhin schon eine Ausgabe am Stück möglich ist für alle Umdeutungen in allen auftretenden Tonarten.

Die Modulation von as-Moll nach G-Dur wird z.B. zusammengesetzt aus einer Modulation von as-Moll nach Es-Dur und einer Modulation von Es-Dur nach G-Dur.

- Für die Modulation von as-Moll nach Es-Dur wird nun angezeigt:

Diatonische Modulation von as-Moll nach Es-Dur

Ausgabe der möglichen diatonischen Umdeutungsakkorde:

1 ter möglicher Umdeutungsakkord: as ces es
In Ausgangstonart 1 -te Stufe bzw. t als Funktion
In Zieltonart 4 -te Stufe bzw. s(Var) als Funktion

1 ter möglicher Umdeutungsakkord: f as c
In Ausgangstonart 6 -te Stufe bzw. Tp(Var) als Funktion
In Zieltonart 2 -te Stufe bzw. Sp als Funktion

- Für die Modulation von Es-Dur nach G-Dur wird nun angezeigt:

Diatonische Modulation von Es-Dur nach G-Dur

Ausgabe der möglichen diatonischen Umdeutungsakkorde:

1 ter möglicher Umdeutungsakkord: c es g
In Ausgangstonart 6 -te Stufe bzw. Tp als Funktion
In Zieltonart 4 -te Stufe bzw. s(Var) als Funktion

a) In einem weiteren Arbeitsschritt erfolgt nun der Zusammenbau einer solchen oben gezeigten diatonischen Umdeutung zu einer einfachen, in sich abgeschlossenen Klangprogression, die für sich eine direkte diatonische Modulation darstellt. Allerdings ist hierfür wieder ein sehr ausgeklügeltes, auf genaue Kenntnis der musikalischen Materie gegründetes System von Abfragen nötig, welches ich im Einzelnen nicht auszubreiten gedenke. Die Abfragekriterien sind Richtung (steigend, fallend im Quintenzirkel), Distanz zwischen beiden Tonarten (in Quinten), Geschlecht von jeweiliger Ausgangs- und Zieltonart sowie die Umdeutungsstufe. Nun habe ich für jede dieser vielen Unterscheidungen eine Kadenzprogression 'gesetzt' nach meiner Vorstellung, Erfahrung und nach meinem musikalischen Geschmack.

Dadurch entsteht z.B. für obige Modulation von as-Moll nach G-Dur folgende Situation:

Diatonische Teil-Modulation
 von as - MOLL nach es - DUR

Es wurden 2 verschiedene Mod-Möglichkeiten gefunden
 1 ter Modulationsweg

| | | | | | |
|-------|---------------|------|----------|-------------|---|
| 1: | as ces es las | MOLL | Stufe: 1 | Funk:t |] |
| 2: | des fes aslas | MOLL | Stufe: 4 | Funk:s |] |
| 3: | es g b las | MOLL | Stufe: 5 | Funk:D |] |
| 4: | as ces es las | MOLL | Stufe: 1 | Funk:t |] |
| ----- | | | | | |
| 5: | as ces es les | DUR | Stufe: 4 | Funk:s(Var) |] |
| 6: | b d f les | DUR | Stufe: 5 | Funk:D |] |
| 7: | b d f les | DUR | Stufe: 5 | Funk:D |] |
| 8: | es g b les | DUR | Stufe: 1 | Funk:T |] |

Umdeutung:

t der Ausgangstonart as MOLL
 wird s(Var) der Zieltonart es DUR

Diatonische Teil-Modulation
 von as - MOLL nach es - DUR

Es wurden 2 verschiedene Mod-Möglichkeiten
 gefunden

2 ter Modulationsweg

| | | | | | |
|-------|------------|-----------------|----------|--------------|---|
| 1: | as ces es | [Tonart:as MOLL | Stufe: 1 | Funk:t |] |
| 2: | des fes as | [Tonart:as MOLL | Stufe: 4 | Funk:s |] |
| 3: | es g b | [Tonart:as MOLL | Stufe: 5 | Funk:D |] |
| 4: | f as c | [Tonart:as MOLL | Stufe: 6 | Funk:Tp(Var) |] |
| ----- | | | | | |
| 5: | f as c | [Tonart:es DUR | Stufe: 2 | Funk:Sp |] |
| 6: | b d f | [Tonart:es DUR | Stufe: 5 | Funk:D |] |
| 7: | b d f | [Tonart:es DUR | Stufe: 5 | Funk:D |] |
| 8: | es g b | [Tonart:es DUR | Stufe: 1 | Funk:T |] |

Umdeutung:

Tp(Var) der Ausgangstonart as - MOLL
wird Sp der Zieltonart es DUR

Diatonische Teil-Modulation
von es - DUR nach g - DUR

Es wurde 1 Mod-Möglichkeit gefunden

1 ter Modulationsweg

| | | | | |
|-------|---------|------------------|-------------|---|
| 1: | es g b | [es DUR Stufe: 1 | Funk:T |] |
| 2: | as c es | [es DUR Stufe: 4 | Funk:S |] |
| 3: | b d f | [es DUR Stufe: 5 | Funk:D |] |
| 4: | c es g | [es DUR Stufe: 6 | Funk:Tp |] |
| ----- | | | | |
| 5: | c es g | [g DUR Stufe: 4 | Funk:s(Var) |] |
| 6: | d fis a | [g DUR Stufe: 5 | Funk:D |] |
| 7: | d fis a | [g DUR Stufe: 5 | Funk:D |] |
| 8: | g h d | [g DUR Stufe: 1 | Funk:T |] |

Umdeutung:

Tp der Ausgangstonart es DUR
wird s(Var) der Zieltonart g DUR

b) Beim nächsten Schritt kann nun der Benutzer für jede Teilmodulation eine der möglichen Umdeutungen wählen. Danach wird die Klangfolge für die ganze Modulation am Stück festgelegt.

Um das Vorgehen hierfür begreifbar zu machen, wähle ich am besten obige Modulation (von as-Moll nach G-Dur) als Beispiel. Wenn wir bei der ersten Teilmodulation (von as-Moll nach Es-Dur) den ersten Weg bestimmen (Umdeutung der Ausgangs-t als s(Var) der ersten Zieltonart), überlagern sich ja zwei Modulationen, in denen dieselbe Tonart (Es-Dur) doppelt kadenziell umrissen wird - einmal als Abschluß der Modulation von as-Moll nach Es-Dur und dann als Beginn der Modulation von Es-Dur nach G-Dur.

Mod I (as-Es): as-des-Es-as-as-B-B-Es
 |.....|Kadenz I in Es
 Mod II (Es-G): Es_As-B-c-c-D-D-G
 |.....|Kadenz II in Es
 1 2 3 4

Ein musikalisch sinnvoller Ablauf verlangt die Eliminierung der zweiten, den Wegfall des Schlußakkords der ersten und statt dessen den Schlußakkord der zweiten Kadenz. Dadurch wird folgender Ablauf erzeugt:

aus Mod I
|.....|
as-des-Es-as-as-B-B-c-c-D-D-G
|.....|
aus Mod II

Der entscheidende Akkord ist der vierte ab dem zweiten Modulationsablauf (hier unterstrichene 4). Ist er keine Subdominante, fallen die drei davor sich befindenden Akkorde weg. Ist er dagegen Subdominante, entfallen nur die ersten beiden Akkorde. Außerdem entfällt der Schlußakkord jeder Teilmodulation mit Ausnahme der letzten.

Hiermit steht uns nun erstmals die komplette Modulation zur Verfügung mit allen Skalen der involvierten Tonarten, Dreiklangsfolgen, Stufen, Funktionen und Umdeutungen. Es fehlt jetzt nur noch die konkrete, klangfähige Darstellung als vierstimmiger Klaviersatz!

III) Die Darstellung als vierstimmiger Satz

Für die Programmierung der Umsetzung der Dreiklangsfolgen, die das Programm ja bisher nur als Notennamen zur Verfügung stellt, in einen klingenden, korrekten vierstimmigen Satz sind zwei Gedanken maßgeblich.

Der erste Gedanke geht aus im Grunde von einem Generalbaß-ähnlichen Satz mit einer zunächst 'autonom' errechneten Baßstimme. Dann wird die erste Note des Soprans festgelegt, alles weitere auf der Grundlage des vorhandenen Basses (und seines Fundamentes) und der vorangegangenen Gesamtharmonien errechnet.

Der zweite aber damit zusammenhängende Gedanke geht davon aus, daß bei dieser Satzart die Menge der möglichen Akkordverbindungen überschaubar bleibt und daher jeder auftretende Fall bezüglich seiner Stimmführung definiert werden kann.

1) Festlegung des Basses

- a) Der Baß ist zwar bereits vollständig, aber bisher nur in Grundstellung vorhanden. Da die Modulation nach den Regeln aber nur aus Kadenzabfolgen besteht, treten an vielen Enden von Teilmodulationen Ganzschlüsse auf, die den musikalischen Fluß der Modulation hemmen. Aus diesem Grunde ergreift der Baß an solchen Stellen die Akkordterz.
- b) Außerdem muß der Baß-wie alle andern Stimmen-dem Gesetz des nächsten Wegs genügen; das gilt insbeson-

dere für Terzsprünge und Sekundschrifte, aus denen andernfalls Sext- bzw. Septimsprünge werden könnten. Andererseits sollte am Schluß nach Möglichkeit nicht der kleinere Quartsprung nach oben stehen im Baß sondern selbstredend der Quintfall zur Verstärkung der Schlußwirkung.

2) Festlegung der restlichen Stimmen

- a) Zunächst wird vom Benutzer die Sopranlage des ersten Akkordes gewählt, als Oktav-, Terz- oder Quintlage.
- b) Davon ausgehend werden die restlichen Stimmen des ersten Dreiklangs berechnet. Da vom dreistimmigen Oberstimmensatz in enger Lage ausgegangen wird, geschieht dies durch striktes Herunterrechnen der Stimmen. Beim Sopran in 3-Lage z.B. hat der Alt die Prim und der Tenor die 5 des Fundaments.
- c) Nun wird für jeden weiteren Akkord der Fundamentabstand zum vorhergehenden Akkord ermittelt. Die Information über das Akkordfundament werden jedem Baßton selbstredend beigelegt (da auch Sextakkorde, ja sogar Quartsextakkorde möglich sind). Des weiteren wird beim vorhergehenden Akkord ermittelt, ob der Akkordgrundton im Baß liegt oder die Terz. Schließlich wird noch die Sopranlage des vorhergehenden Akkordes ermittelt.
- d) Außerdem verfügen die Akkorde über Informationen bezüglich ihrer aktuellen Tonalität, Stufe und Funktion. Dies ist wichtig z.B. für Trugschlußwendungen und bei der Verzierung von Dominanten durch Vorhalts-Quartsextakkorde.

Am Beispiel der Trugschlußverbindung möchte ich ganz kurz mein Programmierverfahren demonstrieren. Das Programmfragment ist ein Abfrageteil aus einer großen switch-Kaskade und einer noch größeren for-next-Schleife. Es behandelt den Fall von Obersekundverbindungen zweier Akkordfundamente.

CASE 2, -5 ! Ober-Sekundverbindungen, in 5-Abständen zum vorhergehenden Fundament gerechnet.

```
@lage_ermitteln(stimm_lagen$(a%-1, sopran%),
fundament$(a%-1), qu_zirk$(), lage$) ! ermittelt Sopranlage
IF stimm_lagen$(a%, bass%) = terz$(a%) ! zum 6-Akk (Baß)
  nun folgen Abfragen und Satzanweisungen wie unten;
ELSE IF stimm_lagen$(a%-1, bass%) = terz$(a%-1) ! vom 6-Akk
  dito; (Baß)
ELSE
  IF st_folge$(a%-1) = 5 AND st_folge$(a%) = 6 ! Trugschluß
    @lage_ermitteln(stimm_lagen$(a%-1, sopran%),
      fundament$(a%-1), qu_zirk$(), lage$)
  IF lage$ = "PRIM" ! immer Sopran
    @satzregeln_anwenden(a%, sopran%, nied$, quint$(a%),
      stimm_lagen$(), midi_info$(), qu_zirk$())
```

```
@satzregeln_anwenden(a%,alt%,nied$,terz$(a%),
    stimm_lagen$,midi_info%(),qu_zirk$())
@satzregeln_anwenden(a%,tenor%,auf$,terz$(a%),
    stimm_lagen$,midi_info%(),qu_zirk$())
ELSE IF lage$="TERZ" !Sopran
@satzregeln_anwenden(a%,sopran%,auf$,terz$(a%),
    stimm_lagen$,midi_info%(),qu_zirk$())
@satzregeln_anwenden(a%,alt%,nied$,quint$(a%),
    stimm_lagen$,midi_info%(),qu_zirk$())
@satzregeln_anwenden(a%,tenor%,nied$,terz$(a%),
    stimm_lagen$,midi_info%(),qu_zirk$())
ELSE IF lage$="QUINT" !Sopran
@satzregeln_anwenden(a%,sopran%,nied$,terz$(a%),
    stimm_lagen$,midi_info%(),qu_zirk$())
@satzregeln_anwenden(a%,alt%,auf$,terz$(a%),
    stimm_lagen$,midi_info%(),qu_zirk$())
@satzregeln_anwenden(a%,tenor%,nied$,quint$(a%),
    stimm_lagen$,midi_info%(),qu_zirk$())
```

ENDIF

ELSE

für alle weiteren Sekundverbindungen dasselbe Vorgehen.

ENDIF

Überträgt man den Code in Notentext,kann man m.E. fast schon bequem mitverfolgen,was musikalisch gemeint ist.

1)Hat der Sopran bei der Paenultima des Trugschlusses,der ja von der 5. nach der 6.Stufe einer Tonart gerichtet ist (siehe auch oben im Programmcode!),die Prim (Akkordgrundton) inne,ergibt sich in C-Dur folgende Stimmführung:

```
S g' - e' ("nieder zur Quint")
A d' - c' ("nieder zur Terz")
T h - c' ("hinauf zur Terz")
B g - a -> Fundament
```

2)Hat der Sopran die Terz inne,ergibt sich folgende Stimmführung:

```
S h' - c'' ("hinauf zur Terz")
A g' - e' ("nieder zur Quint")
T d' - c' ("nieder zur Terz")
B g - a -> Fundament
```

3)Hat der Sopran die Quinte inne,ergibt sich folgende Stimmführung:

```
S d'' - c'' ("nieder zur Terz")
A h' - c'' ("hinauf zur Terz")
T g' - e' ("nieder zur Quint")
B g - a -> Fundament
```

Auf diese Art sind alle Akkordverbindungen programmiert,sodaß sich weitere Einlassungen hierzu erübrigen.

3)Jetzt erst,fast am Ende des Programms,werden die

Notennamen in MIDI-Werte umgewandelt, und zwar zunächst nur in zahlenmäßige Intervallschritte für die Abfolge innerhalb jeder einzelnen Stimme. Später werden vom 'midifizierten' Ausgangsakkord her die konkreten MIDI-Tonhöhen durch Addition der Intervallwerte (=Differenzen) errechnet.

Um die Schlüsse etwas zu verzieren, werden hier auch Dominant-Quartsextvorhalte eingebaut. Dazu wurden bereits in die Schlüsse der Teilmodulationsmodelle verdoppelte Dominanten eingebaut: die erste Ziel-Dominante ist Vorhalt, die zweite deren Auflösung, beide haben korrekterweise als Fundament den Dominant-Grundton der jeweiligen Zieltonart.

Danach werden dann auch Tonraumkorrekturen vollzogen, wenn der Baß z.B. zu weit nach unten rutscht oder wenn Stimmkreuzungen drohen und dergleichen mehr.

- 4) Schließlich gehört zur Klangausgabe auch noch die Organisation des Zeitbereichs. Ausgegangen wird der Einfachheit halber immer von einem 4/4-Takt. Die Notenlängen betragen normalerweise 1/4-Werte, werden aber u.U. auf 1/2-Werte vergrößert, damit alle D-Vorhaltsquartsext-Akkorde auf schwerer Zeit zu liegen kommen bzw. daß die Ultima der Modulation mit der '1' einsetzt; diese hat dann 3/4 Länge, wegen des auftaktigen Beginns der Modulation. Darüber hinaus habe ich auch noch die Lautstärke differenziert: erstens findet ein durchgehendes Crescendo statt; und zweitens bekommt z.B. jede 1. oder 6. Stufe sowie der D-Vorhalt einen deutlich, jede 4. Stufe einen etwas erhöhten Lautstärkewert.

IV) Zusammenfassung

Neben seinem möglichen pädagogischen Nutzen wirft dieses Modulationsprogramm besonders eine Frage auf: läßt sich der Programmieraufwand nicht erheblich minimieren bei viel konsequenterem regelorientiertem Code?

Viele wesentliche Dinge sind hier einfach gesetzt (z.B. das Auffinden von Modulationswegen bei nicht gemeinsamen Klängen oder die Programmierung satztechnischer Regeln). An die Stelle von umfassenden Regeln stellte ich mein Fachwissen - besser, meine fachliche Erfahrung -, in der Hoffnung, dabei alle möglichen vorkommenden Fälle berücksichtigt zu haben. Das ist zwar riskant, hat aber auch Gründe auf seiner Seite.

Versucht man z.B. alle Modulationswege strikt regelorientiert erzeugen zu lassen, erhält man mit Sicherheit zunächst eine Fülle umständlicher, geradezu unbrauchbarer Vorschläge, die letztlich doch über Setzungen oder wieder neue 'Regeln' eliminiert werden müssen.

Dasselbe gilt für die Satztechnik. Allein der angeblich so klare Fall der Leittonauflösung bedarf eines erheblichen Regelaufwands, bis zufriedenstellende Lösungen erzielt werden. So muß berücksichtigt werden, ob der Leit-

ton in der Ober-oder einer Mittelstimme liegt;muß kontrolliert werden,ob er in einer andern Stimme verdoppelt ist (das ist bei bestimmten Verbindungen erlaubt,bei den meisten andern nicht),ob die Harmonie nach der Auflösung des Leittons vollständig ist,ob irgendwo Parallelen auftreten (offene,verdeckte,Akzent-,Gegenparallelen)und wie sie vermieden werden.Des weiteren müsste,auch im Hinblick auf andere Stile und größtmögliche Verallgemeinerung,stilistisch differenziert werden, usf. Ich muß allerdings zugeben,das eine regelorientierte Lösung solcher Probleme,wenn sie funktioniert,ungleich eleganter,sicherer und daher erstrebenswerter ist als eine Lösung,die überwiegend aus empirischen Setzungen besteht.Faszinierend und lehrreich ist es auf jeden Fall,musiktheoretische Probleme tonaler Stile auf dem Rechner zu simulieren.Erhält man so doch den größtdenkbaren Einblick in das Innenleben einer Musiksprache,ein Innenleben,dessen Regelwerk-besonders in tonaler Musik- im Grunde dazu dient,durch immer neue Ausgrenzungen von Möglichkeiten dem Chaos,das uns umgibt,musikalisch Herr zu werden.

Nachfolgend ist das vereinfachte Baumdiagramm des Modulationsprogramms dargestellt (Programmsprache: GFA-Basic).

Baumdiagramm

Optimierte Ausgabe, d.h. mehrmals aufgerufene Unterprogramme, die weitere Aufrufe enthalten werden beim Aufruf mit einem > und ihrer Nummer markiert und nur einmal ausführlich angezeigt.

1:HAUPTPROGRAMM

```
+eingabe
|  ~-taste
+-eing_zulaessigkeit
|  ~-string_umwandlung$
+-quintenzirkel
+-quint_zirkel_2
+-entfernung
|  ~-such
+-skalen
|  ~-skala_fuellen
+-dreiklaenge_bestimmen
|  ~-dreikl_umsortieren
+-funkt_bestimmen
+-mod_wiederholungen
|  ~-such
+-tonarten_updaten
|  ~-such
+-moll_vierte
+-entlehnte_akkorde
+-moll_sub
+-funkt_entlehnt
```

```
+--klangmat_aendern
+-dreikl_umsortieren_2
+-gemeinsame_akkorde
|   `--erlaubte_umdeutungsakkorde
|   `--doppelte_entfernen
+-umd_stufen
+-umd_funktionen
+-klangprogression
|   `--stufenprogression
+-1_ergebnisse_einsammeln
+-2_ergebnisse_einsammeln
+-3_ergebnisse_einsammeln
+-4_ergebnisse_einsammeln
+-5_ergebnisse_einsammeln
+-schluss_korrektur
+-ausgabe
+-gesamtprogression_festlegen
+-satzregeln
|   +-verteiler
|   +-abstand_ermitteln >50
|   +-umrechnung_in_midi
|   +-lage_ermitteln
|   |   `--such
|   +-satzregeln_anwenden
|   |   +-abstand_ermitteln >50
|   |   `--umrechnung_in_midi
|   +-midi_transform_1
|   |   +-notennamen_anpassung
|   |   |   +-such
|   |   |   `--such_2$
|   |   `--midi_hoehe
|   +-midi_transform_2
|   |   `--midi_name$
|   `--restliche_klanggestalt
+-satzdarstellung
|   `--taste
`--midi_ausgabe
   +-eing_ok
   +-noten_sortier
   |   `--feld_copy
   `--midi_ausg
```

50: abstand_ermitteln
`--such

Zum Schluß folgen noch zwei Modulationen im Notentext, einmal in strikt stimmenweiser Notation nur mit Notennamen(a), zum ändern in normaler Notenschrift(b). Die Tonartenwechsel und Umdeutungen sind gekennzeichnet.

Diatonische Modulation von as-Moll nach D-
 Dur, Darstellung a):

| | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|------|------|-----|-------|
| S | as2 | as2 | g2 | as2 |
| A | es2 | fes2 | es2 | es2 |
| T | ces1 | des2 | b1 | as1 |
| B | as-1 | des0 | es0 | ces-1 |

| | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|------|-----|-----|-----|
| S | as2 | g2 | f2 | es2 |
| A | es2 | es2 | d2 | es2 |
| T | ces1 | b1 | b1 | b1 |
| B | as-1 | b-1 | b-1 | g-1 |

as: t
 Es: s(var)

| | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---|-----|----|------|-----|
| S | es2 | d2 | d2 | d2 |
| A | c2 | b1 | a1 | g1 |
| T | g1 | g1 | fis1 | g1 |
| B | c0 | d0 | d0 | b-1 |

Es: Tp
 g : s

| | | | | |
|----|--------|------|------|------|
| | 13 | 14 | 15 | 16 |
| S | bl | al | al | al |
| A | gl | fisi | el | fisi |
| T | dl | dl | cisl | dl |
| B | g-1 | a-1 | a-1 | d0 |
| g: | t | | | |
| D: | s(var) | | | |

Diatonische Modulation von as-Moll nach D-Dur, Darstellung b)

as_D

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11

as_D

12 13 14 15 16

| | | | | |
|------|-----|-----|-------|-------|
| | 14 | 15 | 16 | 17 |
| S | fl | es1 | es1 | ces0 |
| A | d1 | es1 | b0 | as0 |
| T | b0 | b0 | g0 | as0 |
| B | b-2 | g-2 | es-2 | fes-2 |
| Es : | | | T | |
| as : | | | D | tG |
| | | | | |

| | | | | |
|---|-------|------|------|------|
| | 18 | 19 | 20 | 21 |
| S | des1 | ces0 | b0 | ces0 |
| A | as0 | as0 | g0 | as0 |
| T | fes0 | es0 | es0 | es0 |
| B | des-2 | es-2 | es-2 | as-2 |

Diatonische Modulation von D-Dur nach as-
Moll, Darstellung b): [man beachte den Rhythmus!!]

D-as 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11

D-as 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21

D-as 22