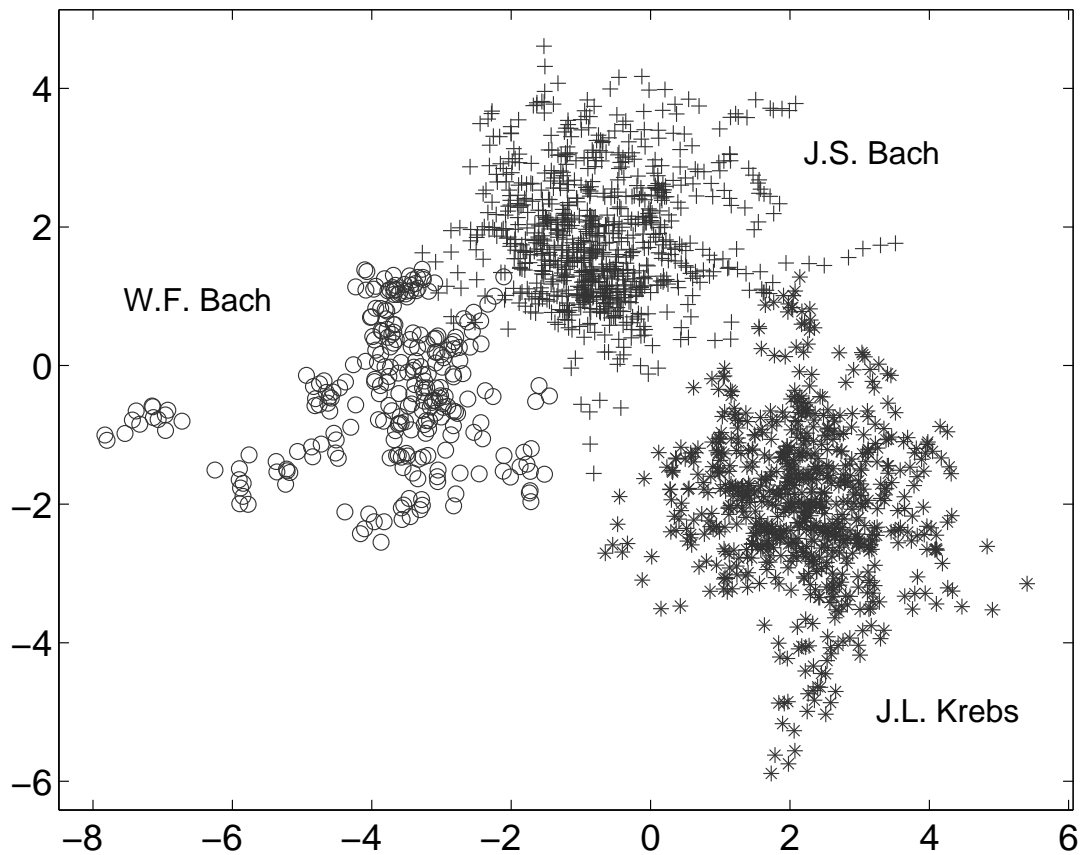


De fuga in f (BWV 534) van Johann Sebastian Bach?

Verkenning van een kwantitatieve methode voor het modelleren
van muzikale stijl



Auteur : Peter van Kranenburg
Eerste begeleider : prof. dr. A. A. Clement (Universiteit Utrecht)
Tweede begeleider : prof. dr. ir. E. Backer (Technische Universiteit Delft)
Versie : 1.0.3
Datum : 4 april 2005
Plaats : Vlaardingen

Inhoudsopgave

Lijst van figuren	4
Lijst van tabellen	5
Woord vooraf	6
Inleiding	8
Een kwantitatieve benadering	9
Muzikale stijl	9
Het gebruik van de computer in de muzikwetenschap	12
Hoofdstuk 1. De fuga in f (BWV 534.ii)	14
1.1. Bronnen	14
1.2. Algemene kenmerken	16
1.3. Thema	17
1.4. Vorm	17
Hoofdstuk 2. Bespreking van de literatuur over BWV 534	19
2.1. Vóór 1985	19
2.2. 1985 en daarna	24
2.3. Resumerend	28
Hoofdstuk 3. De kandidaten	30
Hoofdstuk 4. Auteurschapstoewijzing en stylometry	34
4.1. Auteurschapstoewijzing	34
4.2. Stylometry	36
4.3. Muziek	37
Hoofdstuk 5. Machine learning	39
5.1. Introductie	39
5.2. Representatie	41
5.3. Leren en klassificeren	42
5.4. Foutschatting	45
Hoofdstuk 6. De dataset	46
6.1. Repertoire	46
6.2. Featureset	47
6.3. Opsplitsen	53
6.4. Enkele praktische aspecten	54

Hoofdstuk 7. Experimenten en resultaten	60
7.1. Verkenning van de data	60
7.2. Dimensiereductie	62
7.3. Klassificatie van BWV 534	70
Hoofdstuk 8. Conclusies en vervolgonderzoek	75
8.1. Conclusies	75
8.2. Vervolgonderzoek	77
Summary	79
Literatuur	83
Bijlage A. Overzicht van BWV 534.ii	86
A.1. De thema-inzetten in BWV 534.ii	86
A.2. De harmonisaties van het thema	87
Bijlage B. Overzichten	89
B.1. Verdelingen van de feature-waarden	89
B.2. De afzonderlijke composities in de getransformeerde ruimtes	92
Bijlage C. Begrippenlijst	95

Lijst van figuren

1.1	Het thema van de fuga in f (BWV 534.ii)	17
2.1	Uit BWV 546.i, maat 25–27	24
5.1	Schematisch overzicht van de leerfase	39
5.2	Concrete verschijningsvormen van de letter Z	40
5.3	Twee-dimensionale feature space met objecten uit twee klassen	41
5.4	Schematisch overzicht van de beslisfase	42
5.5	Grens tussen de klassen op basis van de dichtheid	43
5.6	Decision boundaries voor (a) een 1nn-klassificator en voor (b) een 10nn-klassificator	44
5.7	(a) Beslisboom en (b) bijbehorende beslisgrens in de feature space	44
6.1	Klavier met gewichten	51
6.2	Timeslices	52
6.3	Schematische weergave van het opsplitsen van de composities	54
6.4	Begin van de fuga in C (BWV 547)	55
6.5	Fuga in g, BWV 535, sopraan, mt. 7–9	57
7.1	Scatterplots van een 30_01 dataset met (a) de features DissPart en PartSevenths en (b) de features ParThirds en PartThirds langs de assen	61
7.2	Scatterplots en decision boundaries met de fragmenten van J. S. Bach en J. L. Krebs en de features PartSeconds en PartFourths	65
7.3	Beslisboom J. S. Bach versus J. L. Krebs	67
7.4	Beslisboom J. S. Bach versus W. F. Bach	67
7.5	Beslisboom J. L. Krebs versus W. F. Bach	68
7.6	Scatterplot van de getransformeerde 30_01 dataset	69
7.7	Projectie van de data van BWV 534.ii (zwart) in de getransformeerde ruimte	72
7.8	Projectie van BWV 534 wanneer BWV 534 a-priori aan (a) J. S. Bach, (b) J. L. Krebs en (c) W. F. Bach toegewezen wordt	73
C.1	Gaussische verdelingen	96

Lijst van tabellen

6.1	De featureset	52
7.1	De gevonden optimale deelverzamelingen	66

Woord vooraf

Deze doctoraalscriptie vormt de afsluiting van een lange periode van mijn leven. Negen jaar lang heb ik uitgebreid van het studentenleven kunnen genieten. Eerst aan de Technische Universiteit van Delft en later aan de Universiteit Utrecht. De keuze voor de studie Elektrotechniek in Delft kwam voort uit fascinatie voor het bouwen van informatieverwerkende systemen. Met name de digitale logica boeide me zeer. Deze fascinatie begon echter al veel vroeger. In 1987 schafte mijn vader een MSX-computer aan. Naast het spelen van allerlei spelletjes werd het programmeren in MSX-Basic een favoriete bezigheid. Ook de mogelijkheden die het apparaat bood om muziek te maken werden grondig benut. Allerlei orgelwerken die ik in de orgelboeken in mijn vaders boekenkast vond, werden ingevoerd en daarna ten gehore gebracht. Ik heb er zelfs nog een soort jukebox voor geprogrammeerd. Op een of andere manier is daar een schoonheidsfoutje in geslopen dat ik nooit op heb kunnen lossen. De grammofonplaat verdween van de draaitafel voordat de arm terug was op zijn uitgangspositie. Gelukkig waren de virtuele platen daartegen bestand. De geautomatiseerde uitvoering van Bachs (?) beroemde toccata en fuga in d vormde het hoogtepunt van deze activiteiten.

Naast de computertechniek heeft muziek mij altijd geboeid. Ik heb het voorrecht gehad dat mijn ouders mij reeds op jonge leeftijd naar de muziekschool stuurden voor een cursus algemene muzikale vorming. De basis die daar is gelegd, is van onschatbare waarde gebleken. Later ben ik gaan orgelspelen. Hierdoor kom je als vanzelf in aanraking met het orgeloeuvre van Bach. Deze kennismaking resulteert meestal in een definitieve en levenslange band met deze werken. Zo verging het ook mij. Met name de grote fuga's hebben mij altijd zeer geïmponeerd. Enorme bouwwerken die zowel door gestrengheid als door creativiteit gekenmerkt worden. Het is vrijheid in gebondenheid ten top. Als onderdeel van het eindexamen geschiedenis aan de middelbare school moest een mondeling tentamen afgelegd worden over enkele artikelen die bestudeerd moesten worden. Mijn docente, die op de hoogte was van mijn muzikale interesses, selecteerde twee artikelen van een zekere Albert Clement voor mij. Het ging over de relatie tussen tekst en muziek in Bachs koraalpartita "Christ, der du bist der helle Tag" en over Zeeuwse orgelcomponisten. Het werd een erg aangenaam mondeling tentamen.

Het is dus niet vreemd dat ik iets met muziek wilde doen toen ik op zoek was naar een geschikt afstudeeronderwerp voor mijn Delftse studie. Een studieadviseur adviseerde mij een dubbel doctoraal te gaan doen. Zo ben ik in de studie Muziekwetenschap gerold. Eén van de beste beslissingen die ik ooit genomen heb. Zo'n studie resulteert natuurlijk in een enorme verbreding en verdieping van het denken over muziek. Allerlei vanzelfsprekendheden worden aan de kaak gesteld. Zelfs de schier onaantastbare status van de Westerse kunstmuziek (met Bach als vanzelfsprekend hoogtepunt) wordt vlijtig gerelativeerd en ondermijnd. Interessante ontwikkelingen. Maar toch is mijn fascinatie voor Bachs orgelwerken er niet minder door geworden.

Kennismaking met Eric Backer leidde tot mijn Delftse afstudeerproject. Een patroonherkenningsexperiment. Met succes is geprobeerd composities van Bach, Telemann, Händel, Mozart en Haydn automatisch van elkaar te onderscheiden. Dat werk heeft als basis gediend voor de studie die in deze scriptie is beschreven. De enthousiaste en stimulerende begeleiding van Eric heeft een vervolg gekregen in de adviezen die hij voor deze scriptie gegeven heeft. In Utrecht was het Albert Clement die onmiddellijk bereid was mijn werk te begeleiden. Zijn adviezen om tot een goede onderwerpkeuze te komen en zijn grondige wijze van het becomingtariëren van de ingeleverde teksten zijn van grote waarde geweest voor het uiteindelijke resultaat. Beide begeleiders ben ik zeer erkentelijk voor hun inspanningen en betrokkenheid.

Verschillende andere mensen die van betekenis geweest zijn voor de totstandkoming van deze scriptie wil ik hier bedanken. Allereerst mijn ouders, die steeds achter me gestaan hebben. Zonder hen was het afronden van deze tweede studie een stuk moeilijker geweest. Ook mijn goede vrienden Aad en Johan Zoutendijk ben ik dank verschuldigd. Beiden hebben van het begin af aan intensief meegeleefd. Ze waren steeds bereid in hun boekenkast of in hun collectie bladmuziek te duiken om mij van dienst te zijn. Ook een dankwoord aan Willem van der Voet is op zijn plaats. Zonder hem had het vraagteken niet in de titel gestaan. Verder hebben Markus Ecker van de Musikhochschule Lübeck en Brigitte Geyer van de Musikbibliothek Leipzig mij uitstekend geholpen door mij kopieën van respectievelijk Körners vroege editie van BWV 534 en Dröbs manuscript van dit werk te verstrekken.

Ook wil ik nog mijn dank en waardering uitspreken voor de makers van $\text{T}_{\text{E}}\text{X}$, $\text{L}^{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ en $\text{L}_{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X}$. Het zetsysteem $\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ van Donald Knuth voorziet in een zeer veelzijdige en zeer betrouwbare manier om teksten vorm te geven. Tezamen met de $\text{L}^{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ macro's en het grafische front-end $\text{L}_{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ ontbreekt het aan niets om een uitgebreid document als deze scriptie met automatisch genummerde figuren en tabellen, voetnoten, automatisch gegenereerde inhoudsopgave, genummerde bijlagen, automatische verwijzingen en citaten in verschillende talen met eigen afbreekregels, zonder problemen te zetten. Ik moet er niet aan denken om een dergelijk ingewikkeld document in de tekstverwerker te moeten maken die het meest gebruikt wordt.

Bach besloot zijn composities vaak met de uitroep “Soli Deo Gloria”. Die uitroep neem ik op deze plaats graag van hem over. Hoe gehavend ook, het is de rijkdom van Zijn schepping die muziek, kunst en wetenschap mogelijk en zinvol maakt.

Peter van Kranenburg,
Vlaardingen, 1 september 2004.

Inleiding

Het oeuvre van de componist Johann Sebastian Bach (1685–1750) neemt een belangrijke plaats in binnen het Westerse culturele erfgoed. Het is daarom niet verwonderlijk dat naar aanleiding van dit oeuvre in de loop van de tijd vele pennen in beweging zijn gekomen. Het resultaat daarvan is een hoeveelheid literatuur over Bach en zijn muziek die bijna onoverzienbaar is. Gezien deze enorme aandacht zou men kunnen denken dat na meer dan twee eeuwen Bach-onderzoek alles wel gezegd zal zijn. Niets is echter minder waar. Er worden steeds weer nieuwe aspecten van Bachs muziek ontdekt en verkend.

Vanwege de grote waarde die aan de werken van Bach toegekend wordt, is het van belang een juiste afbakening van zijn oeuvre ter beschikking te hebben. Hiertoe is door Wolfgang Schmieder in 1950 een uitgebreide catalogus van Bachs werken gepubliceerd. Deze *Bach-Werke-Verzeichnis* is zodanig ‘ingeburgerd’ geraakt dat de aanduiding “BWV” zonder verdere toelichting gebruikt kan worden om aan een bepaald werk van Bach te refereren. Vanwege nieuwe ontdekkingen en voortschrijdend inzicht in het auteurschap van een aantal werken, publiceerde Schmieder in 1990 een geactualiseerde versie. In 1998 verscheen een uitgave onder redactie van Alfred Dürr en Yoshitake Kobayashi.¹ In deze “kleine Ausgabe” is de laatste ‘stand van zaken’ min of meer verwerkt. Ook in de twee laatstgenoemde catalogi is echter nog geen definitieve lijst aanwezig. Van een aantal van de opgenomen werken is het auteurschap (nog) niet met zekerheid vastgesteld. Eén van deze composities, het preludium-en-fugapaar in f (BWV 534), staat centraal in deze doctoraalscriptie.

Sinds in 1985 een artikel van David Humphreys verscheen waarin hij stelde dat BWV 534 niet door Bach is gecomponeerd, is er een openlijk verschil van mening over het auteurschap van dit werk.² In hoofdstuk 2 van deze scriptie worden de verschillende standpunten en de bijbehorende argumentaties geëvalueerd. Aan het eind van deze bespreking blijkt dat er onvoldoende basis is voor een definitieve uitspraak. De gebruikelijke methoden voor de vaststelling van het auteurschap van composities lijken in het geval van BWV 534 tekort te schieten. We missen een overtuigend bewijsstuk. Als bijvoorbeeld een autograaf zou worden teruggevonden, zou het vraagstuk opgelost zijn.

Een mogelijke strategie om toch verder te komen in een situatie als deze is het kiezen van een ander perspectief. Een probleem dat vanuit een bepaalde benadering te ingewikkeld of zelfs onoplosbaar lijkt, kan vanuit een ander perspectief meer aanknopingspunten bieden. Het is dus belangrijk om een methode te vinden die goed bij het specifieke probleem past. In deze scriptie zal een alternatieve methode besproken worden om het geconstateerde auteurschapsprobleem van BWV 534 te benaderen.

¹Dürr 1998.

²Humphreys 1985.

Een kwantitatieve benadering

In auteurschapsonderzoek naar teksten bestaat al geruime tijd de mogelijkheid een kwantitatieve benadering te kiezen.³ Daarbij wordt gezocht naar meetbare (kwantificeerbare) kenmerken van de persoonlijke stijl van een bepaalde auteur. Hierbij kunnen zeer veel verschillende grootheden worden gemeten. Enkele relevante eigenschappen van deze benadering worden besproken in hoofdstuk 4. In hoofdstuk 6 wordt een voorstel gedaan voor een mogelijke toepassing van deze kwantitatieve methode op muziek. Dit voorstel is toegespitst op de auteurschapdiscussie over BWV 534. Het belangrijkste onderdeel hiervan is de bepaling van de grootheden die in de composities gemeten zullen worden. Hieraan wordt in paragraaf 6.2 aandacht besteed.

De verkregen meetwaarden worden geanalyseerd met behulp van methoden uit de *Machine Learning*. Dit is een vakgebied dat onder de noemer “Kunstmatige Intelligentie” geschaard kan worden. Hierin wordt gepoogd om aspecten van de menselijke waarneming na te bootsen door middel van algoritmes. Deze algoritmes kunnen door computers uitgevoerd worden. Het gaat hierbij met name om de manier waarop mensen dingen *herkennen*. De ontwikkelde methoden voorzien in middelen om *objecten* (in dit geval composities) te klassificeren door geavanceerde vergelijking met andere, reeds geklassificeerde, objecten. Vandaar de naam “Machine Learning”. Van een aantal voorbeeld-objecten worden kenmerken ‘geleerd’ van de klassen waartoe ze behoren. De aldus verkregen ‘kennis’ kan vervolgens gebruikt worden om niet eerder ‘geziene’ objecten te klassificeren. In hoofdstuk 5 worden enkele concepten en uitgangspunten van deze benadering besproken.

Muzikale stijl

We zijn dus op zoek naar middelen om muzikale stijl te beschrijven. En dan wel zodanig dat het mogelijk wordt om persoonlijke stijlen van verschillende componisten van elkaar te onderscheiden. Het is daarbij van belang om enige notie te hebben van de betekenis van het concept “muzikale stijl”. Een uitgebreid overzicht van opvattingen over muzikale stijl voert op deze plaats te ver. Daarom zal er één benadering uitgelicht worden. De bespreking van muzikale stijl van Leonard B. Meyer in zijn boek *Style and Music* biedt aanknopingspunten voor auteurschapsonderzoek. Meyer neemt de activiteit van het componeren als uitgangspunt voor zijn denkbeelden over muzikale stijl. Hij geeft de volgende definitie:

Style is a replication of patterning, whether in human behavior or in the artifacts produced by human behavior, that results from a series of choices made within some set of constraints.⁴

Centraal in deze definitie staan de begrippen *keuze* (choice) en *beperkingen* (constraints). De componist heeft een arsenaal mogelijke patronen tot zijn beschikking waaruit hij voortdurend kiest. Deze keuzes vinden zowel op bewust als op onbewust niveau plaats. Meyer neemt als voorbeeld vaardigheden als praten, viool spelen en autorijden. Naarmate er meer oefening is, zullen de meeste deelhandelingen van deze vaardigheden op een onbewust niveau uitgevoerd worden. In de woorden van Meyer: “Once such skills become ingrained as habits of

³Love 2002, 132–162.

⁴Meyer 1989, 3.

mental/motor behavior, choice becomes conscious only when the situation seems problematic in some way.”⁵

Bij het maken van keuzes zijn er beperkingen waar de componist rekening mee moet houden. Het is dus vrijheid in gebondenheid. Meyer brengt een hiërarchie aan in deze beperkingen. Allereerst onderscheidt hij universele wetmatigheden (*laws*).⁶ Hierbij moet gedacht worden aan fysische en fysiologische beperkingen — het is bijvoorbeeld niet mogelijk om een piccolo een contra G te laten spelen, hoe graag de componist dat misschien ook zou willen. Daarnaast zijn er regels (*rules*) die door de culturele omgeving van de componist worden gedictieerd.⁷ Deze regels kunnen zeer lange tijd gehandhaafd blijven. Ze beschrijven stijl op het niveau van de grote stijlperioden (Renaissancestijl, Barokstijl, etc.). Tenslotte zijn er strategieën (*strategies*).⁸ Dit zijn de beperkingen die de individuele componist zichzelf oplegt. Meyer wijst erop dat de samenhangen tussen de laatste twee niveaus zeer complex kunnen zijn.⁹

In het licht van deze benadering van stijl maakt Meyer onderscheid tussen klassificatie en analyse.¹⁰ Zijn uitwerking daarvan biedt een kader voor de studie die in deze scriptie beschreven is. Klassificatie geeft antwoord op de vragen welke composities bij elkaar horen, welke stijlkenmerken samengaan en met welke frequenties dat gebeurt. Maar klassificatie geeft geen antwoord op de vraag *waarom* die composities bij elkaar horen en *waarom* bepaalde stijlkenmerken in een bepaalde samenhang optreden. De studie daarvan is volgens Meyer de taak van de stijlanalyse. Daarbij moet gezocht worden naar verklaringen waarom een componist een bepaalde keuze gemaakt heeft en niet een andere. En hoe zijn keuzes samenhangen.

De problematiek rond BWV 534 speelt zich dus af op het terrein van de klassificatie. Ten minste, als we tevreden zijn zodra er een auteurschapstoewijzing tot stand is gekomen. Wanneer men wil bepalen of BWV 534 in de catalogus van Bachwerken moet worden opgenomen, zal dat het geval zijn, maar als het de bedoeling is de verschillen en overeenkomsten van BWV 534 met de rest van het oeuvre van Bach te *begrijpen*, zullen er hypothesen over de eigenaardigheden van Bachs stijl moeten worden opgesteld. Dat zal in deze scriptie niet uitgebreid gebeuren. Wellicht kan dit in vervolgonderzoek een plaats krijgen.

Meyers klassificatie en analyse staan in wisselwerking met elkaar. Bepaalde gevonden unieke kenmerken van een stijl kunnen aanleiding zijn tot vorming van ideeën over het waarom van het optreden van die kenmerken. Daarom is het klassificeren van composities een goed beginpunt voor het toepassen van de kwantitatieve benadering die in deze scriptie is uitgewerkt. De hypothesen waarop de keuze van de te meten stijlkenmerken berust, tezamen met de resultaten van de experimenten, kunnen leiden tot hypothesen over Bachs stijl als zodanig. Of over de persoonlijke stijl van welke componist dan ook. In deze scriptie zal de betekenis die elk van de onderzochte stijlkenmerken heeft voor het onderscheiden van de werken van verschillende componisten, uit een empirische test moeten blijken.

⁵Ibid., 5.

⁶Ibid., 13.

⁷Ibid., 17.

⁸Ibid., 20.

⁹Ibid., 20.

¹⁰Ibid., 38v.

Aan het slot van de bespreking van zijn theorie over stijl wijdt Meyer nog een aantal pagina's aan statistische methoden.¹¹ Hierin benadrukt hij nogmaals dat aan onderzoek naar muziekstijlen (dus ook aan statistisch onderzoek) hypothesen over syntactische regels en strategische doelen ten grondslag moeten liggen. Er moet een "real connection" zijn tussen de onderzochte statistische grootheid en de klasse (stijl) waartoe de betreffende compositie wordt gerekend. Door puur *correlaties* aan te wijzen wordt niets aangetoond. Er moet een idee zijn van oorzaak en gevolg. Meyer constateert nog een andere valkuil. Als van bepaalde grootheden een gemiddelde waarde wordt berekend, wil dat nog niet zeggen dat dat ook de ideale waarde van die grootheid is. In veel gevallen is juist verscheidenheid belangrijker dan benadering van één bepaalde waarde. Meyer gebruikt de kleuren van auto's als voorbeeld. Als de 'gemiddelde kleur' van alle auto's berekend zou worden, zou dat waarschijnlijk een soort grijs zijn. Maar dat is dus niet de ideale kleur van een auto. Bij het samenstellen van een lijst te meten stijlkenmerken dient aandacht aan dit onderscheid besteed te worden. Voor elk te kwantificeren stijlkenmerk dienen de mogelijke en te verwachten waarden te worden vastgesteld, zodat daar in de modellen die van de persoonlijke stijlen worden gemaakt, rekening mee kan worden gehouden. Als, in het voorbeeld van Meyer, door de onderzoeker gerealiseerd wordt dat de 'gemiddelde kleur' van auto's een betekenisloze grootheid is, dan zal hij deze niet in zijn modellen opnemen, maar dan zal hij eerder de diversiteit van kleuren van auto's modelleren. In de Machine Learning zijn methoden voorhanden die met dergelijke variabelen overweg kunnen.

Over het gebruik van statistische methoden om auteurschap vast te stellen is Meyer niet zo te spreken. Hij vindt het "mistaken" en "misleading".¹² "Mistaken" omdat de vergelijking met een vingerafdruk die meestal gemaakt wordt, niet opgaat. Een vingerafdruk is onveranderlijk. Persoonlijke stijl daarentegen kan wel degelijk veranderen. Een ander probleem dat hiermee samenhangt en dat door Meyer niet wordt genoemd, is dat een componist voor verschillende doeleinden verschillende stijlen kan ontwikkelen. Het is bijvoorbeeld denkbaar dat een componist die zowel kerkelijke als wereldlijke muziek schrijft, in beide een geheel andere stijl ontwikkelt. Beide bezwaren kunnen tegemoet worden gekomen door een zorgvuldige samenstelling van de dataset. Er moet een selectie uit het oeuvre van de kandidaat-componisten gemaakt worden van werken die vergelijkbaar zijn met het anonieme werk. Daarnaast moeten de stijlkenmerken die bij het onderzoek worden betrokken, van dusdanige aard zijn dat aangenomen kan worden dat deze in alle betrokken werken dezelfde waarden hebben. Meyer vindt de vingerafdruk-vergelijking "misleading" omdat de stijlkenmerken die worden gebruikt, misschien de klassen wel goed kunnen onderscheiden, maar daarom nog niet automatisch in staat zijn de persoonlijke stijl van een componist te verklaren. Het hangt natuurlijk van het doel van het onderzoek af of dit echt een bezwaar is. Als we tevreden zijn met een auteurschapstoewijzing is dit allerminst bezwaarlijk.

Meyer besluit zijn bespreking met de erkenning van statistiek als een noodzakelijk hulpmiddel bij het bestuderen van muziekstijlen. Ter afsluiting van de bespreking van Meyers theorieën twee citaten:

¹¹Ibid., 57–65.

¹²Ibid., 61v.

Since all classification and all generalization about stylistic traits are based on some estimate of relative frequency, statistics are inescapable.¹³

en

I should add that I have no doubt about the value of employing computers in such studies, not merely because they can save enormous amounts of time but, equally important, because their use will force us to define terms and traits, classes and relationships with precision — something most of us seldom do.¹⁴

Meyer is dus uiteindelijk optimistisch gestemd over de mogelijkheden van kwantitatief onderzoek. Met zijn bedenkingen en waarschuwingen kunnen we ons voordeel doen.

Het gebruik van de computer in de muzikwetenschap

De studie die in deze scriptie wordt gepresenteerd, maakt gebruik van de computer als hulpmiddel. De ontwikkeling van de computer als apparaat (de hardware) en de ontwikkeling van methoden om computers te gebruiken (het interessegebied van de informatica) zijn de afgelopen decennia zeer snel gegaan. Het is daardoor nog maar sinds korte tijd dat deze hulpmiddelen dermate toegankelijk zijn dat ze vruchtbaar en op grote schaal ingezet kunnen worden voor onderzoek op het gebied van de letteren. Al de berekeningen die voor deze scriptie nodig waren, zijn op een laptop uitgevoerd. Dit zou tien jaar geleden ondenkbaar geweest zijn. Maar nu hebben we een enorme rekenkracht binnen handbereik. En het lijkt erop dat de ontwikkelingen nog lang niet ten einde zijn.

De kracht van technieken uit de informatica en verwante disciplines ligt in gecontroleerde uitvoering van veel bewerkingen op grote hoeveelheden gestructureerde gegevens (data). Hiervoor kunnen computers gebruikt worden. Een bepaalde reeks bewerkingen in een bepaalde volgorde wordt een *algoritme* genoemd.¹⁵ Het ontwerpen van goede algoritmes is niet eenvoudig. Er is een heel arsenaal aan theorieën nodig om te bepalen of algoritmes *efficiënt* en *effectief* zijn. Een algoritme is efficiënt als het aantal bewerkingen dat benodigd is om het beoogde resultaat te verkrijgen, niet te snel toeneemt als de te verwerken hoeveelheid data groter wordt. Een algoritme is effectief als het beoogde resultaat daadwerkelijk verkregen wordt. Er zijn ook middelen om uitspraken over de oplosbaarheid van bepaalde problemen te doen. Als je kunt bewijzen dat een bepaald probleem niet efficiënt oplosbaar is, kun je de moeite van het zoeken naar een efficiënte oplossing besparen. De huidige stand van kennis in de informatica verschaft een verscheidenheid aan bruikbare datastructuren en algoritmes voor muzikwetenschappelijke doeleinden, waaronder dus de algoritmes uit de Machine Learning die in deze scriptie gebruikt worden.

Computer-ondersteund onderzoek is in de muzikwetenschap nog een grotendeels onontgonnen terrein. Hoewel bijna iedereen een computer gebruikt voor het klaarmaken van teksten of het bijhouden van de agenda, wordt het potentieel dat de computerwetenschap voor het onderzoek zelf biedt nog lang niet optimaal benut. Deze scriptie wil daarom een bijdrage

¹³Ibid., 64.

¹⁴Ibid., 64.

¹⁵Een inleiding tot algoritmes en datastructuren is te vinden in Cormen 1997.

leveren aan de verkenning van de mogelijkheden van deze technieken voor een onderdeel van de muzikwetenschap (auteurschapsonderzoek). Meer dan een eerste stap kan het niet worden. Er liggen een aantal fundamentele vragen die niet in het bestek van een scriptie als deze zijn op te lossen. Om de verkregen resultaten optimaal te interpreteren, moet een zeer grondig begrip zijn van de gebruikte methoden. Daarvoor zijn betrouwbare theorieën over de betekenis van bepaalde stijlkenmerken voor het auteurschap van een compositie benodigd. De plaats van computer-ondersteund onderzoek ten opzicht van ‘traditioneel’ onderzoek dient in kaart gebracht te worden. Een juiste afstemming van die twee zal tot optimale resultaten leiden. Het toepassingsgebied moet afgebakend worden. Niet elk probleem is geschikt om door een computer opgelost te worden. Pas als er meer ervaring met en grondiger kennis van de toepassing van deze methoden is, zullen zij breder ingezet kunnen worden om muzikwetenschappelijk onderzoek te ondersteunen.

Bij het schrijven heb ik ernaar gestreefd deze scriptie zo toegankelijk mogelijk te maken voor lezers die geen achtergrond in de patroonherkenning hebben. Dat zal voor meeste musicologen het geval zijn. Er is een inleidend hoofdstuk opgenomen waarin de basisprincipes van Machine Learning uiteen worden gezet (hoofdstuk 5). Daarnaast is er achter in de scriptie een begrippenlijst opgenomen (Bijlage C). In de lopende tekst zijn deze vaktermen de eerste keer cursief weergegeven. Vanwege de herkenbaarheid zijn deze termen voor het grootste gedeelte onvertaald gelaten. Formules zijn vermeden. Hier en daar zijn nog wat inleidende opmerkingen geplaatst.

HOOFDSTUK 1

De fuga in f (BWV 534.ii)

In dit hoofdstuk wordt het preludium-en-fugapaar in f (BWV 534) en zijn achtergrond kort verkend. Deze bespreking is toegespitst op de fuga. De methode die in de latere hoofdstukken gevolgd wordt om nieuw licht op het auteurschap te werpen, is slechts toepasbaar op polyfone werken. Vandaar dat het preludium in deze scriptie minder aandacht krijgt dan de fuga.

1.1. Bronnen

Van BWV 534 is geen autograaf overgeleverd. De twee vroegste bronnen die in Schmieders *Bach-Werke-Verzeichnis* genoemd worden, stammen beide uit de eerste helft van de negentiende eeuw. Het betreft een handgeschreven kopie van Johann Andreas Dröbs (1784–1825) en een gedrukte uitgave door Gotthilf Wilhelm Körner (1809–1865). Deze laatste verscheen als Heft 260 in Körners reeks *Der Orgel-Virtuos*.¹ Het manuscript van Dröbs wordt bewaard in de Musikbibliothek Leipzig (Sammlung Becker III.8.21). En een exemplaar van de editie van Körner wordt bewaard in de Bibliothek der Musikhochschule Lübeck.² Van beide bronnen zijn mij door de genoemde bibliotheken kopieën ter beschikking gesteld.

Zowel Dröbs als Körner zijn verbonden met de orgelschool van Johann Christian Kittel (1732–1809). Dröbs was een leerling van Kittel zelf.³ Körner studeerde in Erfurt bij Johann Immanuel Müller (1774–1839) en Ludwig Ernst Gebhardi (1787–1862), die op hun beurt leerlingen van Kittel waren.⁴ Kittel staat bekend als laatste leerling van Bach.⁵ Zijn lespraktijk

¹Schmieder 1990, 504.

²Kilian vermeldt dat een exemplaar van deze editie in het bezit is van de Schleswig-Holsteinischen Musikakademie und Norddeutschen Orgelschule Lübeck (Kilian 1978, 259). Deze bibliotheek bestaat niet meer. De collectie is overgenomen door de genoemde Bibliothek der Musikhochschule Lübeck. In de Kenney-catalogus van zeldzame items in de collectie van het Riemenschneider Bach Institute (online te raadplegen: <http://www.bw.edu/academics/libraries/bach/library/kenney>, 30 augustus 2004) wordt als item 2105, Heft 2 van Körners “Sämmtliche Orgel-Compositionen von JOH. SEBASTIAN BACH [...]” genoemd, bevattende BWV 534. Als uitgevers worden Körner en Friedrich Köhmstedt genoemd (dit moet waarschijnlijk Kühmstedt zijn; deze naam wordt een aantal malen genoemd in de inhoudsopgave van “Der Orgel-Virtuos” op het voorblad van N^o 260). De medewerkers van deze bibliotheek zijn niet bereid kopieën te vervaardigen in verband met mogelijke beschadiging van dit zeldzame exemplaar, waardoor ik deze niet onder ogen gehad heb. Kilian heeft deze editie niet gekend. Hij had uit deze serie enkel de Hefte 1 en 49 ter beschikking (Kilian 1978, 259). Ook in Schmieder 1990 en Dürr 1998 wordt deze editie niet vermeld. Merkwaardig genoeg komen de paginanummers die in de Kenney-catalogus genoemd worden exact overeen met de paginanummers op de kopieën van “Der Orgel-Virtuos” Heft 260 die mij ter beschikking staan (namelijk 18–24). Navraag bij de Bibliothek der Musikhochschule Lübeck leerde dat BWV 534 direct op het titelblad volgt. Als deze editie al een andere is dan die uit “Sämmtliche Orgel-Compositionen [...]”, is te verwachten dat beide edities veel verwantschap vertonen. Het is niet aannemelijk dat Körner dubbel werk verricht heeft.

³Kilian 1978, 217.

⁴Een biografie van Körner is te vinden in de *Allgemeine Deutsche Biographie*, Bd. 16, 713. Deze is ook in te zien op: <http://aronsson.se/acdb/16/713> (30 augustus 2004). Daarin worden van L. I. Müller en L. E. Gebhardi enkel de initialen genoemd. De volledige naam en de geboorte- en sterfjaren van Gebhardi worden genoemd in Kilians bespreking van Kittels leerlingenkring (Kilian 1978, 211). Over Müller staat een artikel in *Die Musik in Geschichte und Gegenwart* (Blankenburg 1961).

⁵Matyl 1996, 360v.

resulteerde in een uitgebreide orgelschool waarin veel muziek van Bach circuleerde.⁶ Körner vermeldt in zijn uitgave expliciet dat hij een handschrift van Kittel als bron gebruikt heeft. Gezien de geringe verspreiding van BWV 534 is het aannemelijk dat zowel het afschrift van Dröbs als de editie van Körner teruggaan op hetzelfde handschrift van Kittel.⁷ Helaas is deze bron verloren gegaan. De verschillen tussen beide versies geven aanwijzingen voor de lezing van Kittel. Een overzicht van deze verschillen is opgenomen in de toelichting bij de *Neue Bach Ausgabe*.⁸

Het manuscript van Dröbs draagt de titel “Praeludien et Fugen | für | die Orgel | von | Johann Sebastian Bach”. Gezien de sterfdatum van Dröbs moet het vóór 1825 ontstaan zijn. Behalve BWV 534 zijn ook BWV 544 (in b), BWV 545 (in C) en BWV 548 (in e) opgenomen. De titels van de werken luiden als volgt:

BWV 544: Praeludium con fuga pedaliter di J. S. Bach.

BWV 534: Praeludium et fuga ex F moll pedaliter di J. S. Bach.

BWV 545: Praeludium [et F]uga in Organo pleno, pedaliter. di Joh. Seb: Bach.⁹

BWV 548: Praeludium pedaliter pro Organo pleno. di J. S. Bach

De naamgeving van de afzonderlijke composities is dus niet consistent. Dit kan erop duiden dat de werken door Dröbs uit verschillende bronnen bijeengebracht zijn.

In alle systemen van het prelude BWV 534 en in het eerste systeem van de fuga is te zien dat Dröbs aanvankelijk vier mollen aan de sleutel genoteerd heeft. De vierde mol is echter nadien in alle systemen weer verwijderd.¹⁰ Hieruit kan de conclusie getrokken worden dat in het origineel drie mollen aan de sleutel stonden.¹¹ Dröbs heeft blijkbaar de verouderde dorische notatie willen moderniseren, maar heeft daar later weer van afgezien. Wellicht vanwege het moeizame kopieerproces. Deze wijziging lijkt pas plaats gevonden te hebben nadat het grootste gedeelte van het prelude al was gekopieerd. Op een aantal plaatsen is bij een d een herstellingsteken geplaatst waar deze, na verwijdering van de vierde mol aan de sleutel, niet meer nodig is. Dit is in de fuga niet het geval.¹²

Eenzelfde constatering kan gedaan worden met betrekking tot de sleutel. Op het eerste, vierde en vijfde systeem van het prelude staan op de bovenste balk g-sleutels, die daarna overschreven zijn door sopraansleutels. In de rest van de compositie wordt enkel de sopraansleutel gebruikt. De noten zijn vanaf het begin op de juiste hoogte genoteerd. Het is mogelijk dat in Dröbs' origineel een sopraansleutel stond. Als Dröbs het teveel werk vond om de notatie van drie naar vier mollen aan de sleutel te wijzigen, heeft hij het zeker teveel werk gevonden om de hele rechterhand naar een andere sleutel te moeten transcriberen. Bovendien

⁶Voor een overzicht van de Bach-bronnen uit de kring rond Kittel zie Kilian 1978, 208–218. Ook in Kobayashi 1973 worden een aantal scribenten uit de kring rond Kittel besproken.

⁷Dit vermoeden wordt — voor zover ik kan terugvinden — voor het eerst geuit door Kilian in de toelichting bij de *Neue Bach Ausgabe*: Kilian 1979, 413. In Kilian 1978, 208v is een transcriptie opgenomen van een gedeelte van de lijst met manuscripten uit Kittels nalatenschap die Ernst Ludwig Gerber in 1812 publiceerde in zijn *Neues historisches-biographisches Lexicon der Tonkünstler*. Het betreft dat gedeelte waarin de “Preludien und Fugen für die Orgel” genoemd worden. Op deze lijst worden geen prelude en fuga in f genoemd. Gerber heeft het bewuste manuscript dus niet gekend. De enige referentie aan dat manuscript is dus bij Körner te vinden.

⁸Kilian 1979, 414.

⁹De woorden “et fuga” zijn later toegevoegd. Op de kopie die mij ter beschikking staat is de bovenkant van deze twee woorden niet meer zichtbaar. De lezing “et fuga” lijkt echter evident.

¹⁰Het is op de kopie niet goed te zien hoe de mol verwijderd is. Waarschijnlijk is deze weggeschraapt.

¹¹Dit wordt opgemerkt door Kilian in de toelichting bij de *Neue Bach Ausgabe*, Kilian 1979, 415.

¹²Zie voor een overzicht van deze plaatsen Kilian 1979, 414.

zijn typische schrijffouten die ontstaan bij transcriptie van g- naar sopraansleutel (notatie een tertse te laag) nagenoeg afwezig. Zoals reeds opgemerkt zijn notatiefouten die ontstaan bij verandering van drie naar vier mollen (ontbrekende herstellingstekens waar het een d betreft) in het preludium wel veelvuldig aanwezig. Het is niet waarschijnlijk dat een kopiist die in het ene geval vrij slordig is, in het andere geval foutloos werkt. Gezien het voorgaande is een sopraansleutel in het origineel aannemelijker dan een g-sleutel. De drie systemen waar in eerste instantie een g-sleutel genoteerd stond, hebben alle een aanzienlijk aantal hoge noten, waarvoor dus veel hulplijntjes benodigd zijn. Op het derde systeem van het preludium na hebben de overige systemen dat niet. Het is mogelijk dat Dröbs ter voorkoming hiervan — en daarmee ter verhoging van de leesbaarheid — een g-sleutel had willen gebruiken.¹³

De editie van Körner verscheen als N^o 260 in zijn reeks *Der Orgel-Virtuos*. De volledige titel luidt: “Der Orgel-Virtuos, | Sammlung von Tonstücken aller Art für die Orgel, | zum | Gebrauche bei Orgel-Concerten. | nach | Original-Manuscripten der vornehmsten Orgel-componisten älterer u. neuerer Zeit | herausgegeben von | Gotth. Wilh. Körner. | [links:] N^o [handgeschreven:] 260 [midden:] Erfurt & Langensalza: | Verlag und Eigenthum von G. Wilh. Körner [rechts:] PREIS: [handgeschreven:] 10 [...]gr | Das Werk erscheint in einzelnen zwanglosen Heften von 1–4 Bogen und Umschlag.” Daarop volgt een overzicht van de inhoud van de nummers 1–33 van deze reeks. Er is geen jaartal genoemd. In de literatuur wordt ervan uitgegaan dat deze publicatie in de jaren ‘40 van de negentiende eeuw het licht zag.¹⁴ Op de eerste bladzijde van de notentekst vermeldt Körner zijn bron: “Nach einer Handschrift von Kittel. War bis jetzt ungedruckt.” Als we de titel van de gehele reeks zeer letterlijk nemen, was het handschrift van Kittel een autograaf van Bach. Er is immers sprake van “Original-Manuscripten”. Het is echter niet verstandig om zonder verdere aanwijzingen deze conclusie te trekken. Gezien het feit dat het N^o 260 van de reeks betreft, was deze titel er waarschijnlijk eerder dan de beslissing om BWV 534 in de reeks op te nemen.

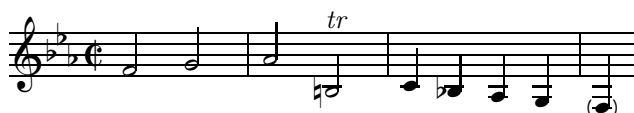
1.2. Algemene kenmerken

De fuga BWV 534.ii heeft het karakter van een allabreve-fuga. In de druk van Körner wordt de maatsoort dan ook aangeduid met \mathbb{C} . Dröbs noteert echter een \mathbb{C} . Wellicht is dit een vergissing want in bijvoorbeeld BWV 545 noteert hij wel een \mathbb{C} . Het is mogelijk dat de oorzaak hiervan bij Kittel ligt en dat Körner de lezing van Kittel in dezen ‘verbeterd’ heeft.

De toonsoort is f. Zoals gebruikelijk bij een fuga is er een voortdurende afwisseling tussen de tonica- en dominant-toonsoorten. In BWV 534 blijft het voornamelijk bij deze twee. Er zijn twee inzetten op de derde trap (A^b , mtn. 47 en 73), maar verder worden de hoofdtonsoorten niet verlaten.

¹³Het blijft dan merkwaardig dat in het vierde en vijfde systeem wel een g-sleutel staat en in het derde niet. Een mogelijke — zeer speculatieve — reconstructie van de gang van zaken is als volgt. Dröbs dacht bij het eerste systeem een g-sleutel te gaan gebruiken maar heeft dat toch niet gedaan vanwege de moeite die dat zou kosten en omdat hij toch voldoende ruimte boven dat systeem had voor hoge noten. Na de hoge noten van het derde systeem besloot hij om alsnog op een g-sleutel over te stappen omdat er in de volgende systemen nog meer hoge noten genoteerd moesten worden. Hij voorzag daarom het vierde en vijfde systeem alvast van een g-sleutel, maar heeft er vóór het schrijven van de eerste noot toch weer vanaf gezien en de g-sleutels vervangen door sopraansleutels. Zoals gezegd, is deze reconstructie zeer speculatief, maar het laat zien dat er in ieder geval één denkbare gang van zaken gevonden kan worden waarmee de relatie tussen een eventuele sopraansleutel in Dröbs’ origineel en de eigenaardigheden in de notatie van Dröbs’ afschrift verklaard zou kunnen worden.

¹⁴Kilian 1979, 413; Schmieder 1990, 504.



FIGUUR 1.1. Het thema van de fuga in f (BWV 534.ii).

Het stuk is vijfstemmig opgezet. Zoals gebruikelijk is in dit soort werken, zijn niet alle stemmen voortdurend actief. De plaatsen waar alle vijf de stemmen worden ingezet zijn het eind van de expositie (mt. 17–26), de middelste thema-inzet in de contra-expositie (mt. 38–41), de thema-inzet waarmee het pedaal zijn intrede doet na enige tijd gezwegen te hebben (mt. 65–72), de thema-inzet in hoge ligging (mt. 81–86) en tenslotte de allerlaatste thema-inzet en de coda (mt. 123–eind). Dit zijn dus steeds climaxmomenten in het werk. Voor het overige komen zowel twee-, drie- als vier-stemmige passages voor.

1.3. Thema

Het thema (zie figuur 1.1) is het centrale gegeven van de fuga. Het is een allabreve thema met een omvang van drie maten. Het ritme is eenvoudig: vier halve noten gevolgd door vier kwartnoten. De versnelling in het tweede gedeelte versoepelt de overgang naar het vervolg op een thema-inzet.¹⁵ Omdat de tonica direct op het thema aansluit, is het gevaar groot dat voortijdig een slot gesuggereerd wordt. Deze ongewenste omstandigheid is door de ritmische versnelling minder dreigend aanwezig.

Er zijn in het thema drie opeenvolgende motieven te onderscheiden. Een stijgend opgevolde kleine terts, een dalende verminderde septime en een dalend opgevolde kwint.

De toonsoort wordt in het verloop van het thema niet consequent vastgehouden. De verhoogde vierde trap wordt als leidtoon naar de dominant gebruikt, waardoor er een tussendominant-werking ontstaat. Ook de toon die aan deze verhoogde vierde trap vooraf gaat, zou bij deze tussendominant-werking betrokken kunnen worden. Samen vormen ze dan het ‘skeletal’ van een tussen-VII^o voor de vijfde trap. Dit zorgt voor een sterke binding tussen het eerste en het laatste motief in het thema. Daarnaast verleent deze uitwijking melodische spanning aan het thema. Wanneer we de afsluitende tonica bij het thema betrekken, is bovendien het eind van het thema de omkering van het begin, zij het in de verkleining. Dit alles verleent aan het thema zijn eenheid en zijn eigenheid.

1.4. Vorm

De componist — of in ieder geval de kopiist — heeft boven het stuk “fuga” geschreven. Voor wie enigszins thuis is in de muzikale vormleer, roept deze aanduiding direct een aantal verwachtingen op. In dit geval ten onrechte, want BWV 534 blijkt geen fuga ‘volgens het boekje’ te zijn. De expositie doorbreekt al een gebruikelijk patroon: er is geen contrasubject. De begeleiding van elke thema-inzet, zowel in dux- als comesgedaante, is uniek. Hiermee wordt een trend gezet die het gehele stuk door wordt volgehouden. Alle harmonisaties van het thema verschillen van elkaar (zie appendix A.2). Het lijkt erop dat de componist zichzelf de opdracht gegeven heeft om het thema op zoveel mogelijk manieren te presenteren.

¹⁵Hier en in het vervolg wordt onder thema-inzet het gehele thema bedoeld.

Wanneer de stemmen van de hoogste naar de laagste genummerd worden, kan de volgorde van inzetten in de expositie als volgt worden weergegeven: 3-2-5-4-1. De hoogste stem komt dus het laatste aan de beurt. Dit zorgt voor een climax-werking. Na een tussenspel wordt het thema vanaf maat 27 wederom in alle stemmen ingezet. Men zou dit een contra-expositie kunnen noemen. De volgorde is nu: 5-3-4-2-1. De hoogste stem komt opnieuw als laatste aan bod, zij het ditmaal met een thema-inzet op de derde trap (A^b), de parallel-toonsoort van f. Hierdoor kan niet gesproken worden van een contra-expositie in de strikte zin van het woord. Dan zou deze laatste inzet namelijk in de tonica- of dominant-toonsoort moeten staan. Het vervolg van de compositie laat een onregelmatig patroon van thema-inzetten zien. Behalve de reeds genoemde, is er nog een inzet op de derde trap. Verder komt het thema alleen in de tonica- en dominant-toonsoorten voor (zie appendix A.1 voor een overzicht). De dominant-inzetten zijn daarbij in de meerderheid. De laatste twee inzetten, voorafgaand aan de coda, staan beide in de dominant-toonsoort.

In de tussenspelen is wel een zekere consequentie aanwijsbaar. Vooral in het begin worden deze gedomineerd door dalende reeksen secundes. Dit refereert sterk aan het derde motief van het thema. Ook is veelvuldig de opgevulde stijgende tert te horen, die aan het eerste motief van het thema herinnert. De beweging in achtsten die in mt. 38 in het pedaal wordt ingezet, keert ook een aantal malen terug in de tussenspelen. Daarnaast is er een aantal sequensen.

De coda (mt. 126–einde) bevat ook veel herinneringen aan het thema. Met name aan het eerste motief. Dit vormt enige compensatie voor het ontbreken van een thema-inzet in de hoofdtoonsoort aan het einde van het stuk.

Naar aanleiding van bovenstaande observaties zou kunnen worden verondersteld dat BWV 534.ii een experimenteel werk is. Het lijkt erop dat de componist één en ander heeft willen uitproberen. Het is daarom goed denkbaar dat het een oefenstuk of een uitwerking van een opdracht in lesverband betreft. Dit blijft natuurlijk hypothetisch, maar de enorme diversiteit in behandeling van het thematisch materiaal geeft wel enige aanleiding tot dit vermoeden.

HOOFDSTUK 2

Bespreking van de literatuur over BWV 534

In het bespreken van de literatuur over BWV 534 dient een tweedeling in de tijd aangebracht te worden. In 1985 poneerde David Humphreys de stelling dat BWV 534 niet door Johann Sebastian Bach gecomponeerd zou zijn.¹ Sindsdien hebben de meeste besprekingen van deze compositie in het teken van de daarna ontstane auteurschapsdiscussie gestaan. We doen de auteurs die zich vóór 1985 over BWV 534 hebben uitgelaten geen recht, als we hun beweringen in het licht van deze discussie lezen (een enkele uitzondering daargelaten). Omdat een aantal van hun observaties later gebruikt is als argument vóór of juist tegen het auteurschap van Bach, is het wel noodzakelijk om deze hier te bespreken.

2.1. Vóór 1985

De Bach-biograaf Johann Nicolaus Forkel (1749–1818), heeft in zijn boek een overzicht van de hem bekende preludium-en-fugaparen van Bach opgenomen.² BWV 534 is niet in deze lijst opgenomen. Hieruit kunnen we afleiden dat Forkel dit werk waarschijnlijk in het geheel niet kende, of ten minste niet als compositie van Johann Sebastian Bach. Omdat een aantal andere composities, waarvan met zekerheid vastgesteld kan worden dat Bach de componist is, ook aan de lijst van Forkel ontbreekt, biedt deze constatering weinig houvast in de auteurschapsdiscussie. Forkel beweert zelf dat hij jarenlang uitgebreide naspeuringen verricht heeft om zoveel mogelijk composities te achterhalen.³ Als we hem mogen geloven, kunnen we hoogstens concluderen dat BWV 534 niet wijd verspreid was aan het begin van de negentiende eeuw.

In 1844 nam Friedrich Konrad Griepenkerl BWV 534 op als nummer 5 in band II van de Peters editie van de orgelwerken van Bach. Gezien de enorme verbreiding van deze editie heeft deze beslissing sterk bijgedragen aan de status van dit werk als een Bachwerk. Griepenkerl vermeldt in zijn voorwoord dat hij slechts het afschrift van Dröbs tot zijn beschikking had.⁴ Ook na uitvoerig navragen heeft hij geen tweede exemplaar kunnen vinden, wat wederom duidt op een geringe verspreiding.

Philipp Spitta brengt BWV 534 in verband met BWV 582, 536, 546, 537 en 540.⁵ Hij plaatst deze composities in Bachs tweede periode in Weimar. Volgens hem onderscheiden zij zich als volgt van de vroegere werken uit Weimar: “Vor allem tritt das Streben nach Zurückdrängung äußerlicher Virtuosität und nach ruhiger Vertiefung hervor.”⁶ “[...] die Beweglichkeit und

¹Humphreys 1985.

²Forkel 1802, figuur 16.

³Ibid., 60.

⁴Griepenkerl 1844, I.

⁵Spitta 1916, Bd. 1, 581v.

⁶Ibid., 579.

Unruhe der nordländischen Meister, welche nicht ohne Einfluß auf Bach blieb, ist überwunden und hat einer in bedeutsamen Intervallen schreitenden Gemessenheit Platz gemacht.”⁷ Over de fuga’s BWV 534 en 546 schrijft Spitta niet zo lovend als over de andere werken. In BWV 546 is het vooral de homofone passage (mt. 121–140) die hem bevreedt.⁸ Over BWV 534 schrijft hij het volgende:

Nachstehend an Werth ist unter ihnen nur die F moll-Fuge, bei welcher auch der Seitengedanke keine ordentliche Gestalt gewinnt. Sie hat, soweit das bei Bach überhaupt möglich ist, ein etwas ungeordnetes Wesen, viel neue Contrapuncte kommen zum Tage, denen aber in kurzer Zeit die Lebenskraft ausgeht, so daß das Thema sich immer nach Hülfe umsehen muß. Deshalb fehlt trotz hoher Schönheiten doch etwas zum vollkommenen Genüße.⁹

Spitta’s chronologische plaatsing is dus uitsluitend op stilistische gronden gebaseerd.

Albert Schweitzer komt tot dezelfde ontstaanstijd. Hij noemt ook nog BWV 545 en 538 als werken uit Bachs latere periode in Weimar. Zijn omschrijving van Bachs stijlverandering heeft verwantschap met de observaties van Spitta: het virtuoze wordt minder. De werken uit deze periode “stellen das Große an sich, nicht mehr das Große als Pathetisches dar.”¹⁰ Hij ziet BWV 534 en 546 als zeer verwant: “Die c moll-Fuge [...] und die f moll-Fuge [...] sind darum von so gewaltiger Tragik, weil sie alles Leidenschaftliche abgestreift haben und nur großen Schmerz und tiefes Sehnen reden lassen.”¹¹

In de voorwoorden bij de orgelwerken van Bach die Schweitzer samen met Charles-Marie Widor schreef, beperkt hij zich wat BWV 534 betreft tot een zeer uitgebreid registratievoorstel.¹²

In een artikel over de authenticiteit van een aantal aan Bach toegeschreven orgelwerken laat Hermann Keller BWV 534 links liggen.¹³ In het inleidende gedeelte van zijn artikel vermeldt hij dat er geen twijfel aan de authenticiteit van onder andere BWV 534 is vanwege de “innere Beglaubigung”, die veroorzaakt wordt door de hoge “Stufe der Meisterschaft”.¹⁴ Hij kondigt aan alle werken te bespreken waarvan het bronnenmateriaal beperkt is, of waarvan slechts late bronnen bestaan.¹⁵ Hoewel BWV 534 in deze categorie thuishoort, bespreekt Keller dit werk niet.

Keller is uitgebreider in zijn boek over de orgelwerken van Bach.¹⁶ De enige bron die hij noemt is het afschrift van Dröbs. Blijkbaar kende hij de versie van Körner niet. In de bespreking van de ‘echtheid’ en chronologie van de orgelwerken, plaatst Keller BWV 534 in de categorie werken waar geen autograaf van is, maar die wel “durch gute Abschriften und

⁷Ibid., 582.

⁸Ibid., 583.

⁹Ibid., 583.

¹⁰Schweitzer 1955, 238.

¹¹Ibid., 238.

¹²Schützeichel 1995, 106–108.

¹³Keller 1937.

¹⁴Ibid., 62v.

¹⁵Ibid., 63.

¹⁶Keller s.a., 79v.

durch Tradition hinreichend beglaubigt sind”.¹⁷ Gezien de beperktheid van het bronnenmateriaal is dit een nogal optimistische categorisering. In zijn bespreking van de fuga citeert Keller Spitta, en sluit zich aan bij de twijfelachtige indruk die het werk maakt.¹⁸ Vervolgens wijst hij een aantal technische onvolkomenheden aan. De vijf-stemmigheid is niet consequent doorgevoerd en er zijn leidtoonverdubbelingen, kwintparallellen en verboden oktaven.¹⁹ Bovendien verandert volgens Keller het thema van karakter in de loop van de fuga. En wel als volgt: “[...] bald ernst, bald zart (in As dur), dann heldisch, dann bittend (in c moll) [...]”.²⁰ Dit vindt Keller a-typisch voor Bach. Hij vermeldt niet expliciet hoe hij tot deze karakterisering komt, maar ongetwijfeld ligt hier het weinig consistente gebruik van het thematische materiaal aan ten grondslag. Doordat de componist steeds andere middelen ingezet heeft, verliest het werk inderdaad enigszins zijn eenheid. Maar BWV 534 blijft voor Keller dus overeind als Bachwerk.

Ook Hans Klotz dateert BWV 534 in de periode waarin Bach werkzaam was in Weimar.²¹ Hij komt tot deze datering door vergelijking van (reconstructies van) de klavieromvangen van de orgels die Bach ter beschikking gestaan hebben. Het orgel van het hof te Weimar is het enige waar volgens deze reconstructies de C#/D \flat beschikbaar was.²² Deze is benodigd voor het preludium BWV 534 (niet voor de fuga). In Köthen had Bach vermoedelijk geen orgel met een C#/D \flat tot zijn beschikking.²³ En in Leipzig heeft Bach volgens Klotz beseft dat hij niet meer alleen voor eigen gebruik moest schrijven, waardoor hij rekening hield met de in zijn tijd meest gangbare klavierindelingen.²⁴ Daarom is het volgens Klotz zeker dat BWV 534 voor het orgel in Weimar geschreven is. Evenals alle (sic) andere werken waarin de C# of de D \flat voorkomt.

Omdat Klotz geen gegevens over het orgel te Weimar had, leidde hij de klavieromvang van dit orgel af uit de orgelwerken die Bach schreef in de periode dat hij daar werkzaam was. De werken die Klotz noemt zijn: “Christus der uns selig macht” (BWV 620), de partita “Sei gegrüßet, Jesu gütig” (BWV 768.V), preludium en fuga in f (BWV 534), de toccata in d (BWV 565), het pedalexercitium (BWV 798), de “älteren Fassungen” van het preludium in A (BWV 536a), “Christ lag in Todesbanden” (BWV 718) en “Jesu, meine Freude” (BWV 713). In de twee laatstgenoemde werken kan ik echter geen C# of D \flat ontdekken. In beide gevallen wel een D#. BWV 565 staat ter discussie als origineel Bach-werk (zie bijvoorbeeld Williams 1981). Van BWV 536a wordt aangenomen dat het een latere bewerking door een ander is (Dürr 1998, 315). Dat BWV 534 ook ter discussie staat behoeft op deze plaats geen toelichting. Hierdoor wordt Klotz’ bewijsmateriaal flink uitgedund. David Humphreys wijdt in zijn bespreking van BWV 534 een paar opmerkingen aan deze kwestie (Humphreys 1985, 175). Hij voegt de fantasia BWV 542.i aan het lijstje toe. Hierin komt inderdaad de C# voor. Humphreys verwijst hierbij naar Kilian, die in zijn toelichting bij de *Neue Bach Ausgabe* Bachs periode in Köthen als ontstaanstijd noemt (Kilian 1979, 453–455), waardoor Klotz’ aanname nog meer op losse schroeven zou komen te staan. Schmieder lijkt hierin mee te gaan, maar plaatst ook een verwijzing naar Stauffer, die 1708–12 als ontstaanstijd noemt (Schmieder 1990, 511). Dürr plaatst het werk in Bachs periode te Weimar (Dürr 1998, 317). Deze onenigheid over de ontstaanstijd van BWV 542.i (met C#!) vertroebelt het beeld dat Klotz schetst nog meer. De C# in BWV 620 kan volgens Humphreys ook in tenor-ligging gespeeld worden. Waar hij dit op baseert

¹⁷Ibid., 25.

¹⁸Ibid., 80.

¹⁹Keller spreekt over “nachschiessende Oktaven”. Aangezien hier geen goede Nederlandse vertaling voor is, is dit vertaald met “verboden oktaven”. Bedoeld wordt de none-voorhouding die door een oktaaf wordt voorbereid in mt. 98–99.

²⁰Ibid., 80.

²¹Klotz 1950, 198.

²²Ibid., 198.

²³Klotz doet deze aanname op basis van een vergelijkbaar orgel van dezelfde bouwer (Het Müller-orgel te Calbe), dat een pedaalomvang van C D – d¹, e¹, f¹ had (Ibid., 196).

²⁴Ibid., 196.

is onduidelijk. In ieder geval is de situatie complexer dan Klotz wil doen voorkomen. Betrouwbare datering op basis van de aanwezigheid van een C# of Db is daarom praktisch onmogelijk.

In zijn boek over de fuga's van Bach laat ook Alan Dickinson blijken moeite te hebben met de fuga BWV 534.²⁵ Hij ziet het werk als eerste van een groep fuga's na een stijlwijziging van Bach. Deze fuga's hebben een meer Italiaanse en vocale stijl.²⁶ BWV 534 wordt volgens hem gekenmerkt door "forced counterpoint".²⁷ De 61 maten met niet-thematisch materiaal zijn "mainly short and thin extensions of entries".²⁸ Hij kent vooral waarde toe aan het preludium. "If nothing but the prelude prevents it from being dismissed as an overgrown plant superseded later, it is better to leave the prelude in its fullness, a majestic query."²⁹ Hij beschouwt de fuga dus als een min of meer mislukt Bachwerk, dat we maar beter kunnen vergeten.

Een interessante benadering van het werk wordt gegeven door Roger Bullivant.³⁰ Hij benadert de fuga niet vanuit de theoretische vorm die een fuga zou moeten hebben, maar hij beschrijft het stuk zoals het zich aan de luisteraar voordoet. Dat is volgens hem de enige manier om het stuk recht te doen: "Neither key or entry nor stretto are important in this fugue: this is not a decision made by the theorist analyzing it, but something which the composer tells the listener by the way in which the design unfolds."³¹ De componist heeft de beslissing genomen om deze fuga zo te maken als hij gemaakt is. Dit sluit aan bij de opmerking in het vorige hoofdstuk dat deze fuga een experimenteel werk zou kunnen zijn.

Peter Williams noemt in zijn bespreking van BWV 534 twee bronnen: het verloren gegane manuscript van Kittel en het afschrift van Dröbs.³² De editie van Körner wordt door hem niet vermeld. Ook Williams signaleert technische onvolkomenheden, maar hij houdt de mogelijkheid open dat deze door de kopiisten veroorzaakt zijn. Behalve deze technische onvolkomenheden kan ook de grootte van sommige akkoorden volgens Williams van een kopiist afkomstig zijn — er staat een elf-stemmig akkoord in het preludium (maat 70).³³

Om dezelfde reden stelt Williams de toonsoort ter discussie. Er is geen bron die de authenticiteit daarvan kan bevestigen. Volgens Williams zou de toonsoort f ongewenst kunnen zijn vanwege problemen die bij bepaalde orgelstemmingen zouden kunnen ontstaan.³⁴ Hij onderzoekt daarom de mogelijkheid dat het werk voorheen in g gestaan heeft.³⁵ Waarom hij alleen deze toonsoort onderzoekt, vermeldt hij niet expliciet, maar het is wel het meest aannemelijke alternatief. Vreemd genoeg doet Williams geen concluderende uitspraak. Het is dus niet duidelijk of hij nu g of f waarschijnlijker vindt.

Andere toonsoorten vallen inderdaad af. In e zou hier en daar het contra-oktaaf nodig zijn. Dit zou betekenen dat bij de transpositie de oktaaflijgingen aangepast zouden zijn. De passage in het preludium met de C als orgelpunt (mt. 23–42) geeft voldoende aanwijzing om deze mogelijkheid te verwerpen. Ook a is onwaarschijnlijk omdat dan

²⁵Dickinson 1950.

²⁶Ibid., 20.

²⁷Ibid., 21.

²⁸Ibid., 20.

²⁹Ibid., 21.

³⁰Bullivant 1971, 149v.

³¹Ibid., 151.

³²Williams 1980, 70.

³³Ibid., 70 (voetnoot).

³⁴Williams 1989, 186.

³⁵Williams 1980, 72, met de aanvullingen uit Williams 1989, 256v, waar hij de orgelstemmingen aandraagt als reden voor zijn twijfels over de toonsoort.

de e³ benodigd is. Deze was echter op verreweg de meeste orgels niet aanwezig. (Homer Blanchard vermeldt in *The Bach Organ Book* een groot aantal disposities van orgels uit de omgeving van Bach. Van de orgels waarvan hij klavieromvangen noemt, heeft slechts één orgel klavieren tot e³, het orgel in de Georgenkirche te Eisenach. Omdat Bach op vrij jonge leeftijd Eisenach al verliet, geeft dit onvoldoende aanwijzing voor BWV 534). De toonsoort f[♯] zou dezelfde moeilijkheid veroorzaken, maar dan met de c^{♯3}. Bovendien zouden dan ook problemen door de stemming veroorzaakt kunnen worden. Dat g[♯] en a^b zijn uitgesloten, is evident. Andere aanwijzingen dat de oorspronkelijke toonsoort g geweest zou kunnen zijn, ziet Williams in twee oktaafwisselingen. Volgens hem zou de dalende lijn in het pedaal na maat 20 van het preludium voortgezet kunnen worden in maat 21 als het werk in g had gestaan. Ik zie echter niet in waarom dit zou moeten gebeuren. De sequens is immers na maat 20 afgelopen en de ons overgeleverde pedaalpartij heeft een natuurlijk verloop in deze maten. Bovendien zou dan in het vervolg van maat 21 of in maat 22 een sprong naar een hoger oktaaf ingevoegd moeten worden om te voorkomen dat de pedaallijn tot in het contra-oktaaf daalt. Ook in g ligt de overgeleverde pedaalpartij dus het meest voor de hand. Een tweede oktaafwisseling die Williams bespreekt staat in het slot van de fuga. In de laatste drie maten zou volgens Williams in g de oktaafsprong in het pedaal niet nodig zijn. De gebruikte tonen worden dan: C[♯]-D-G. Maar dan zou — zoals ook Williams terecht opmerkt — de C[♯] op veel orgels voor problemen gezorgd hebben (Zie ook Klotz 1950 en Blanchard 1985. Verreweg de meeste orgels waarover zij vanuit historische bronnen gegevens vermelden, hadden geen C[♯]/D^b. Aanwezigheid van deze toon was duidelijk een luxe). Bovendien zou in g de d³ nodig zijn. Klotz concludeert dat het orgel te Weimar manualen tot en met c³ had. Als hier een C[♯] voorhanden was — wat twijfelachtig is — zou dit het enige orgel met C[♯] zijn waar Bach vaste bespeler van was. Dit instrument laat de toonsoort g voor BWV 534 niet toe. In f is in het preludium de D^b nodig, maar niet de d³. Dit zou dus wel mogelijk zijn. De twee oktaafwisselingen waar Williams op wijst vervallen dus als aanwijzingen voor g. In beide toonsoorten is het werk in ieder geval niet op alle orgels uit Bachs omgeving uit te voeren. Als een kopiist al tot transpositie van g naar f besloten zou hebben — wat dus allerminst zeker is — dan zou hij dat gedaan kunnen hebben omdat hij een orgel had waar de d³ niet en de D^b wel op aanwezig was, of wellicht vanuit esthetische overwegingen. Bij gebrek aan duidelijke aanwijzingen blijft het echter speculatie en lijkt f als oorspronkelijke toonsoort het meest waarschijnlijk.

Williams ziet niet noodzakelijk Italiaanse invloeden in het werk. Wel verwijst hij naar Johann Pachelbel vanwege diens toccata-type: lange tonica- en dominant-orgelpunten, met daarboven en daartussen ander materiaal.³⁶ Bij zijn bespreking van de vorm van de fuga merkt Williams op dat het erop lijkt dat de componist zich ten doel heeft gesteld het thema in zo min mogelijk verschillende toonsoorten, maar “in different voices, with different countersubject, in different textures, and spaced at different intervals of time” in de fuga te verwerken.³⁷

Williams refereert aan de negatieve toonzetting van Spitta’s bespreking van BWV 534 en biedt daar tegenwicht aan door op enkele “geniale” kenmerken te wijzen.³⁸ De afstanden tussen de thema-inzetten zijn volgens hem zeer vindingrijk gekozen. Zij zijn optimaal verschillend. Om dit te laten zien noteert hij de maatnummers van de eerste 12 thema-inzetten: “[1,] 4, 8, 12, 17, 27, 31, 37, 38, 42, 47, 56, 64 etc”.³⁹ De afstanden tussen deze inzetten worden dan: 3, 4, 4, 5, 10, 4, 6, 1, 4, 5, 9 en 8 maten. Vier keer een afstand van vier maten is minder optimaal verschillend dan mogelijk is. Zoals in het schema in bijlage A is te zien, kan de opbouw in het begin van het werk nog enigszins ordelijk genoemd worden. Na de contra-expositie wordt de opbouw onoverzichtelijker. Bovendien is er dan helemaal geen verband meer te ontdekken in de afstanden tussen de thema-inzetten. Het lijkt er eerder op dat de verdeling van de thema-inzetten over de fuga het min of meer toevallige resultaat is van een ander proces.

³⁶Williams 1980, 71.

³⁷Ibid., 73.

³⁸Ibid., 73.

³⁹Ibid., 73. De thema-inzet die in mt. 37 begint is niet compleet. Het derde motief van het thema ontbreekt (zie paragraaf 1.3).



FIGUUR 2.1. Uit BWV 546.i, maat 25–27.

In de opbouw van de contrasubjecten is volgens Williams een subtiel patroon te ontdekken.⁴⁰ Er is een contrasubject met slechts halve noten (mt. 12), één met halve én kwartnoten (mt. 4), en ook één met overwegend achtste noten (mt. 120). Dit alles creëert optimale verscheidenheid. Williams beschrijft deze compositie dan ook als een “attempt to present the subject — which remains in as few keys as is compatible with a length of nearly 150 bars — in various guises.”⁴¹ Tot slot wijst Williams nog op de coda (mt. 130–einde van de fuga). Daar is op verschillende manieren materiaal uit het thema verwerkt. Hierdoor wordt het minder bezwaarlijk dat de twee laatste ‘echte’ thema-inzetten in de dominant-toonsoort staan. Dit alles sluit aan bij de opmerking van Bullivant dat deze fuga niet vanuit het formele fuga-model geanalyseerd moet worden. BWV 534.ii is geen fuga ‘volgens het boekje’.

2.2. 1985 en daarna

In 1985 verscheen een artikel van David Humphreys waarin hij Johann Sebastian Bach uitsluit als auteur van BWV 534.⁴² Zijn centrale argument hiervoor is dat de stilistische factoren in verschillende richtingen wijzen. Het werk heeft te weinig kwaliteit om door een volwassen Bach gecomponeerd te zijn, maar het idioom is te laat voor een jeugdwerk.⁴³ Zo positief als Williams was, zo negatief is Humphreys. Hij onderbouwt zijn bewering dat het een slechte compositie is door te stellen dat het werk gekenmerkt wordt door: “awkward, clogged counterpoint and part-writing”, een “badly thought-out tonal scheme”, “waste of material”, een “general absence of control” en door “awkward, ungrammatical or unidiomatic harmonic progressions.”⁴⁴ Hoewel hij toelichtingen geeft, heeft deze woordkeuze een nogal tendentieuze karakter.

Humphreys wijst allereerst op de duistere ontstaansgeschiedenis van het werk. Met name op het feit dat de vroegste sporen van dit werk meer dan 50 jaar na Bachs dood opduiken.⁴⁵ Hij neemt aan dat de toewijzing aan Bach van Kittel afkomstig is, en door Dröbs en Körner is overgenomen.⁴⁶ Hoewel Humphreys zegt dat de duistere ontstaansgeschiedenis geen aanleiding hoeft te geven tot het verwerpen van BWV 534 als Bachwerk, ziet hij deze omstandigheid wel als een aanleiding om het auteurschap kritisch te onderzoeken. Naast het benoemen van de onvolkomenheden, besteedt Humphreys veel aandacht aan de mogelijke voorbeelden die de componist gebruikt zou hebben bij het componeren. Het thema is volgens hem ontleend aan het Preludium in c BWV 546.i (zie figuur 2.1).⁴⁷ Er is inderdaad verwantschap tussen beide thema’s. De constatering hiervan is echter niet voldoende om te beweren

⁴⁰Ibid., 73.

⁴¹Ibid., 73.

⁴²Humphreys 1985.

⁴³Ibid., 178.

⁴⁴Ibid., 175.

⁴⁵Ibid., 175.

⁴⁶Ibid., 174.

⁴⁷Ibid., 176v.

dat deze beïnvloeding ook daadwerkelijk zo heeft plaatsgevonden. Dat lijkt Humphreys aanvankelijk ook niet te doen — hij gebruikt het woord “suggest”⁴⁸ — maar in een concluderende alinea verderop in het artikel, poneert hij het wel degelijk als stelling.⁴⁹ Behalve BWV 546 noemt Humphreys vooral BWV 548 als model. Hij reconstrueert het compositieproces als volgt:

From the E minor prelude BWV 548.i and the Toccata BWV 914 he [de componist] obtained the main thematic idea of the prelude, with BWV 548.i also supplying several characteristic figures and textures in the prelude, as well as the coda to the fugue. From the C minor Fugue BWV 546.ii he took the general concept of the fugue, at the same time deriving its subject from a subsidiary idea in the prelude of the same work. Other pieces which the composer may have consulted are BWV 541 and 544, and possibly the Prelude and Fugue in F minor by J. L. Krebs.⁵⁰

Deze verwantschappen zijn niet voldoende om te concluderen dat de componist ook daadwerkelijk de genoemde composities als voorbeeld genomen heeft. Dezelfde observaties kunnen ook ondersteuning bieden voor de stelling dat de afhankelijkheid andersom tot stand is gekomen. Het is moeilijk voorstelbaar dat Bach zelf niet heeft gezien dat het werk kwalitatief niet tot zijn sterkste composities behoort. Daarom is het des te aannemelijker dat hij, zodra hij daar gelegenheid voor had, de goede ideeën uit het werk later nogmaals gebruikt heeft. Van Bach is bekend dat hij veel muziek hergebruikte. Anderzijds is te verwachten dat in de leerlingenkring van Bach ook dergelijke werken geschreven werden. Vooral van J. L. Krebs zijn vele stijllimitaties bekend.⁵¹ De genoemde overeenkomsten zijn daarom onvoldoende om een auteurschapstoewijzing of -afwijzing op te baseren.

Nu Humphreys Bachs auteurschap verworpen heeft, moet hij de vraag aansnijden wie dan wel de componist is geweest. Voor de beantwoording van deze vraag onderneemt hij geen uitgebreide zoektocht. Hij poneert Kittel als meest geschikte kandidaat.⁵² Andere mogelijkheden worden door hem niet onderzocht. Hij vermeldt nog wel dat “especially” J. L. Krebs bekend staat vanwege zijn Bachiaanse stijl, maar laat deze, ook zonder toelichting, verder buiten beschouwing.⁵³ Het vergelijkingsmateriaal in het oeuvre van Kittel is mager. Er zijn zelfs geen andere fuga’s van hem bekend: “The nearest approaches are the two unambitious fughettas published in the first part of his [Kittels] two-volume treatise *Der angehende praktische Organist* (1801–3).”⁵⁴ Humphreys probeert Kittels auteurschap aannemelijk te maken door te wijzen op overeenkomsten in diens *Grosse Präludien* en Bachs contrapunt. In die werken zijn inderdaad Bach-achtige passages te vinden, maar deze zijn veel minder ambitieus en groots opgezet dan BWV 534. Het is dus duidelijk dat BWV 534 niet goed in het oeuvre van Kittel past. Humphreys laat het dan ook bij een suggestie.

⁴⁸Ibid., 177.

⁴⁹Ibid., 181.

⁵⁰Ibid., 181.

⁵¹Bij een aantal werken van Krebs is duidelijk een compositie van Bach aan te wijzen die model heeft gestaan. Enkele voorbeelden zijn het preludium in f (naar BWV 544.i), de toccata in a (naar BWV 540) en de bijbehorende fuga in a (passages ontleend aan BWV 548). Karl Tittel noemt zelfs BWV 534 als verwant met de fuga in f (Band II, nr. 15 in de editie van Gerhard Weinberger) van Krebs (Tittel 1976, 178).

⁵²Humphreys 1985, 181.

⁵³Ibid., 181.

⁵⁴Ibid., 181.

Samenvattend. Humphreys heeft veel retoriek nodig om aannemelijk te maken dat BWV 534 niet door Bach is geschreven. Hij noemt geen sterkere argumenten dan de auteurs vóór hem, maar presenteert deze anders. De verwantschappen met andere composities die hij noemt, zijn inderdaad te vinden, maar zijn niet voldoende om te concluderen dat J. S. Bach niet de componist is. Het voorstel om Kittel als componist te zien, is ongeloofwaardig.

In het kader van een bespreking van de bundel waar het artikel van Humphreys in gepubliceerd is, verscheen een jaar later een weerwoord van George Stauffer.⁵⁵ Stauffer verwerpt de rigoureuze conclusies van Humphreys. Hij wijst op een aantal Bachwerken waar we een vroege versie van kennen (BWV 535a, 536a, etc).⁵⁶ Deze vroege versies zijn muzikaal minder overtuigend dan de latere versies. We mogen er van Stauffer niet vanuit gaan dat Bach al zijn werken onmiddellijk in hun definitieve vorm produceerde. Daarom is het goed mogelijk dat BWV 534 ook zo'n jeugdwerk is. Alleen heeft Bach dit werk later niet meer verbeterd. Verder wijst Stauffer erop dat Bach moeite had met het schrijven van composities met meer dan vier stemmen.⁵⁷ Het geringe aantal vijfstemmige fuga's in het gehele oeuvre van Bach is daar een aanwijzing voor. BWV 534.ii zou dan een eerste poging geweest zijn om een vijfstemmige allabreve fuga te schrijven. Later zou Bach met de fuga in c, BWV 546.ii, meer succes hebben. Stauffer verwerpt het auteurschap van Kittel. De schrijfwijze met drie mollen aan de sleutel wijst volgens hem op een vroeger ontstaan. En de reeds genoemde beperktheid van vergelijkingsmateriaal in het oeuvre van Kittel pleit ook niet voor diens auteurschap. Afsluitend merkt Stauffer op dat Humphreys lijkt te onderschatten hoe weinig we weten van de stijlontwikkeling van Bach voordat hij zich rond 1712 door het idioom van Vivaldi liet beïnvloeden.

Werner Breig sluit zich bij de conclusie van Humphreys aan. Hij laat BWV 534 daarom buiten beschouwing bij het ontwikkelen van zijn "Theorie der Bachschen Orgelfuge".⁵⁸ In een artikel over vormproblemen in de vroege orgelfuga's van Bach wijdt hij een aparte paragraaf aan de authenticiteit van BWV 534.⁵⁹ Hij constateert dat na het artikel van Humphreys en het weerwoord van Stauffer een patstelling ontstaan is. Breig probeert nieuw licht op de zaak te werpen door BWV 534.ii te vergelijken met de andere fuga's die hij besproken heeft. In deze fuga's is een vast patroon van thema-inzetten te ontdekken. Breig onderscheidt vier fasen: 1. expositie, 2. meer inzetten op I en V, 3. inzetten op andere trappen en 4. inzetten op I en V.⁶⁰ BWV 534 past niet goed in dit schema. In wat de derde fase zou zijn, komen naast de twee inzetten op III ook nog inzetten op I en V voor. Bovendien zijn slechts twee van de 20 inzetten op een andere trap dan I of V. Dat is dus een grotere terughoudendheid in het verlaten van de hoofdtoonsoort dan in de andere fuga's. Naast de formele problemen, wijst Breig vooral technische onvolkomenheden aan om Bachs auteurschap in twijfel te trekken. Hij heeft moeite met het slot van de fuga. Na twee inzetten op V volgen nog "12 unthematische Takte", wat volgens hem een mate van "formalen Orientierungslosigkeit" laat zien, die zelfs in de vroegste fuga van Bach niet te vinden is.⁶¹ De referenties aan het thema die Williams in de slotmaten aanwijst, laat Breig buiten beschouwing. Naast de door Humphreys

⁵⁵Stauffer 1986, 273v.

⁵⁶Ibid., 278.

⁵⁷Ibid., 279.

⁵⁸Breig 1995.

⁵⁹Breig 1992, 17.

⁶⁰Ibid., 14.

⁶¹Ibid., 18.

al genoemde parallellen met andere Bachwerken, wijst Breig nog een overeenkomst met een andere compositie van Bach aan. De begeleiding van de thema-inzet vanaf maat 96 is volgens hem gemodelleerd naar het preludium in f uit het tweede deel van het *Wohltemperierte Clavier*. BWV 534.ii moet volgens hem dus later ontstaan zijn dan dat preludium. Maar ook hier geldt dat de afhankelijkheid even goed andersom tot stand gekomen kan zijn. En natuurlijk is er altijd nog de mogelijkheid dat deze twee passages geheel onafhankelijk van elkaar ontstaan zijn. Over Humphreys' voorstel het werk aan Kittel toe te schrijven, laat Breig zich niet uit. Ook waagt hij zich niet aan een voorstel voor een andere toewijzing. Hij besluit zijn bespreking met de opmerking: "Wie immer BWV 534 zu Johann Sebastian Bachs Namen gekommen ist und wer immer der Komponist gewesen sein mag: unser Bild vom Orgel-Oeuvre Bachs sollten wir mit diesem offensichtlichen Irrläuferer nicht länger belasten."⁶²

Alfred Dürr en Yoshitake Kobayashi, de opstellers van de *Bach-Werke-Verzeichnis—Kleine Ausgabe*, hebben Humphreys stelling niet geheel overgenomen.⁶³ Bij BWV 534 is de aantekening "Echtheit angezweifelt" opgenomen.

In een artikel in *Het Orgel* sluit Pieter Dirksen zich aan bij Humphreys' verwerping van Bachs auteurschap en Breigs bevestiging daarvan.⁶⁴ Tevens probeert hij verder te komen bij het zoeken naar een geschikte kandidaat. Vanwege de bekendheid die de componist van BWV 534 met het orgeloeuvre van Bach gehad moet hebben, dient deze componist gezocht te worden onder de leerlingen van Bach. De suggestie van Humphreys om het werk aan Kittel toe te schrijven, wordt door Dirksen van de hand gewezen. Er zijn geen andere fuga's van Kittel bekend, en bovendien is het stilistisch ongeloofwaardig. Kittels idioom is later dan dat van Bach.⁶⁵ Er moet dus gezocht worden naar een componist van formaat die ergens tussen Kittel en Bach geplaatst kan worden. Terloops noemt Dirksen nog Johann Ludwig Krebs. Ook diens auteurschap wordt van de hand gewezen omdat volgens Dirksen in Krebs' orgelwerken vaak een concreet voorbeeld van Bach aan te wijzen is. De componist van BWV 534 is volgens Dirksen echter minder 'slaafs' geweest in zijn navolging van Bach.

Dirksen introduceert Wilhelm Friedemann Bach, de oudste zoon van Johann Sebastian, als kandidaat die aan het profiel van de gezochte componist voldoet.⁶⁶ De weinige orgelmuziek die Wilhelm Friedemann naliet, is vrijwel uitsluitend via de Kittel-school bewaard gebleven.⁶⁷ Hij suggereert dat in het manuscript van Kittel enkel "Bach" als auteur genoemd zou kunnen zijn. Dan is de toewijzing een kwestie geweest van een verkeerde aanname over de voorletters. Hier is echter het een en ander op af te dingen. Kittel heeft zowel muziek van Johann Sebastian als van Wilhelm Friedemann gekopieerd. Het is daarom zeer waarschijnlijk dat hij zich heeft gerealiseerd dat het weglaten van de initialen tot verwarring zou kunnen leiden. Temeer daar het een zeer uitzonderlijke compositie betreft als deze van Friedemann zou zijn. Een toewijzing aan enkel "Bach" van de hand van Kittel wijst daarom meer naar Johann Sebastian dan naar Wilhelm Friedemann. Het is natuurlijk mogelijk dat de toewijzing zonder initialen teruggaat op een nog oudere bron en dat Kittel dat overgenomen heeft, maar daar kunnen we slechts naar gissen. Bovendien zouden zowel Dröbs als Körner — waarschijnlijk

⁶²Breig 1992, 19.

⁶³Dürr 1998, 314.

⁶⁴Dirksen 2000.

⁶⁵Ibid., 6.

⁶⁶Ibid., 6.

⁶⁷Ibid., 6.

onafhankelijk van elkaar — dezelfde vergissing gemaakt moeten hebben. Dröbs heeft Kittel gekend. Het is daarom denkbaar dat ze ooit over het werk gesproken hebben. Als Kittel wist dat het een compositie van Friedemann betrof, zou hij dat zeker aan Dröbs gezegd hebben. Ook met deze bedenkingen in het achterhoofd is de de gang van zaken zoals Dirksen die voorstelt mogelijk, maar aangezien hij allerminst aantoonbaar is, moet deze theorie de status van hypothese houden.

Naast extern bewijs draagt Dirksen ook intern bewijs aan. Hij wijst op een aantal overeenkomsten tussen BWV 534 en andere werken van Friedemann.⁶⁸ De verminderde septime op de verhoogde vierde trap in het thema, wijde akkoordbrekingen en decimegrepen (Friedemann had grote handen) zijn op meerdere plaatsen in Friedemanns oeuvre te vinden. Terwijl deze bij vader Bach zeldzamer zijn of geheel niet voorkomen. Daarnaast is de ambitus van de stemmen volgens Dirksen a-typisch voor Bach. Er is relatief veel activiteit in het groot oktaaf, terwijl bij Johann Sebastian de meeste stemmen hoger gelegen zijn. Van elk van deze stijlkenmerken geeft Dirksen voorbeelden.

Het blijft in het artikel van Dirksen dus bij exemplarische verificatie. De genoemde overeenkomsten tussen BWV 534 en werken uit het oeuvre van Wilhelm Friedemann Bach bestaan inderdaad. En deze overeenkomsten kunnen zeker een belangrijke rol spelen in het vaststellen van het auteurschap van dit werk. Voor een betrouwbare toewijzing van het werk aan Friedemann is echter een grondigere benadering noodzakelijk. Om tot een evenwichtig oordeel te komen dienen naast de overeenkomsten ook de verschillen met de werken van Friedemann in kaart te worden gebracht. Daarbij is het van belang om zo volledig mogelijk te zijn. De gegevens die zo'n grondige vergelijking op zou leveren, zouden een betere basis voor een evenwichtige uitspraak over het auteurschap van BWV 534 vormen dan het exemplarische bewijs dat nu wordt gepresenteerd. Dirksen hakt uiteindelijk de knoop nog niet definitief door en laat het — terecht dus — bij een voorstel.

2.3. Resumerend

De aanwijzingen voor het auteurschap van BWV 534 die in dit hoofdstuk de revue gepasseerd zijn, geven onvoldoende grond voor een definitieve uitspraak.

Het ontbreken van een autograaf is op zichzelf geen reden om Bachs auteurschap ter discussie te stellen. Van een groot aantal orgelfuga's waarover geen enkele twijfel bestaat is ook geen autograaf overgeleverd.⁶⁹ De negentiende-eeuwse toeschrijvingen aan Johann Sebastian Bach door Körner en Dröbs zijn belangrijke aanwijzingen. Zeker als we bedenken dat deze toeschrijvingen hoogstwaarschijnlijk teruggaan op een handschrift van Kittel. Toch is de onduidelijke voorgeschiedenis van deze negentiende-eeuwse bronnen een complicerende factor. Vanwege gebrek aan meer bronnenmateriaal en ander extern bewijs, is het onmogelijk om de toeschrijvingen van Dröbs en Körner te verifiëren. Deze omstandigheid en de constatering dat BWV 534 kwalitatief niet tot de top van de Bachwerken behoort, maken BWV 534 tot een dankbaar object om het auteurschap van te problematiseren. Omdat de middelen voor weerlegging ontbreken, ontstaat er ruimte voor allerlei speculaties.

⁶⁸Ibid., 9.

⁶⁹De enige fuga's waarvan volgens Schmieder *wel* een autograaf beschikbaar is, zijn BWV 535a.ii, 541.ii, 544.ii, 552.ii (geen autograaf maar wel een versie in druk) en 562.ii (slechts een fragment) (Schmieder 1990). Van de in totaal meer dan 30 genoemde fuga's is dit slechts een kleine minderheid.

De eerste die gebruik maakte van deze omstandigheid was Humphreys. Breig en Dirksen volgden hem hierin. Geen van hen onderzoekt de zaak uitputtend. Het blijft beperkt tot het aanwijzen van voorbeelden die hun respectievelijke hypothesen ondersteunen. De negatieve test komt er echter steeds bekaaid vanaf. Er zijn, zoals uit de bespreking van Stauffer blijkt, ook argumenten aan te voeren vóór het auteurschap van Bach, of ten minste tegen het verwerpen van het auteurschap van Bach. Om tot een evenwichtig oordeel te komen zouden ook deze argumenten uitgebreid onderzocht moeten worden.

Het is verbazingwekkend dat Humphreys, die op basis van stilistische overwegingen BWV 534 niet aan Johann Sebastian Bach wil toeschrijven, hetzelfde werk, óók op basis van stilistische overwegingen, wel aan Kittel wil toeschrijven, terwijl in het gehele oeuvre van Kittel een enigszins vergelijkbaar werk niet voorkomt. Bij de toewijzing aan Kittel zou hij even streng moeten zijn als bij de toewijzing aan Bach. Het feit dat hij het bij een voorstel laat doet niets af aan deze constatering. Hij zou dan namelijk de toewijzing aan Bach ook als mogelijkheid open moeten laten. En dat doet hij duidelijk niet. Voor Breig komt het goed uit dat BWV 534 ter discussie staat. BWV 534 past niet in de schema's die hij opstelt om tot een "Theorie der Bachschen Orgelfuge" te komen. Op basis van de lage kwaliteit van het werk sluit hij het uit als Bachwerk. Hoe rigoureuus hij te werk gaat blijkt ook uit zijn afwijzing van de fuga in c (BWV 546.ii) als compositie van Bach. Wederom vanwege de lage kwaliteit.⁷⁰ Ook Dirksen betreedt de ruimte die door het gebrek aan bewijsmateriaal ontstaat. Zijn toewijzing van het werk aan Friedemann is denkbaar, maar kan eveneens niet met zekerheid bevestigd worden.

Behalve de toewijzingen van Dröbs en Körner is er geen extern bewijs voor het auteurschap van Johann Sebastian Bach. Voor meer aanwijzingen is men dus aangewezen op intern (stilistisch) bewijs. Tot nu toe is op dat gebied slechts exemplarisch bewijs gebruikt. Bepaalde overeenkomsten tussen werken van mogelijke componisten en BWV 534 werden aangegrepen om het auteurschap van die componisten aannemelijk te maken. Een uitputtende vergelijking tussen stijlkenmerken van BWV 534 en stijlkenmerken van de werken van andere componisten is echter niet gemaakt. Er bestaat — voor zover ik weet — zelfs geen algemeen toepasbare methode om dat te doen. Elke denkbare methode om zo'n uitputtende vergelijking te maken zal ongetwijfeld zeer arbeidsintensief zijn. Dergelijk arbeidsintensief werk kan echter — als het daar geschikt voor is — aan een computer overgelaten worden. In het vervolg van deze scriptie wordt een methode verkend om met behulp van middelen uit de computerwetenschap voor een aantal stijlkenmerken zo'n uitputtende vergelijking te maken. Hierbij wordt dus het beschikbare materiaal (de notentekst) volledig gebruikt.

⁷⁰Breig 1995, 17v.

HOOFDSTUK 3

De kandidaten

In het vorige hoofdstuk zijn drie kandidaten voor het auteurschap van BWV 534 genoemd: Johann Sebastian Bach (door Dröbs en Körner), Johann Christian Kittel (David Humphreys) en Wilhelm Friedemann Bach (Pieter Dirksen). We mogen niet zonder meer aannemen dat deze lijst volledig is. Daarom wordt in dit hoofdstuk een korte zoektocht naar eventuele andere kandidaten ondernomen.

De voornaamste plaats om te zoeken naar kandidaten voor het auteurschap van BWV 534 is de leerlingenkring van Bach. De overlevering via Kittel, de stilistische kenmerken en de toewijzing van dit werk aan Bach sluiten een ontstaan buiten de directe invloed van Bach vrijwel uit. In het kader van deze scriptie is het niet mogelijk een uitputtende zoektocht te ondernemen. Het in kaart brengen van de vroege overlevering van de orgelcomposities van Bach en diens tijdgenoten is echter zeer complex. Alleen al over de werken van Bach zijn verschillende uitgebreide studies verschenen.¹

Daarom wordt gebruik gemaakt van secundaire literatuur over de leerlingenkring van Bach. Over de orgelcomponisten onder Bachs leerlingen verscheen in 1935 een uitgebreid artikel van de hand van Reinhold Sietz.² Van de 81 leerlingen van Bach die Sietz bekend waren, bespreekt hij alleen degenen van wie orgelcomposities zijn overgeleverd. Dat het slechts 16 componisten betreft, vindt volgens Sietz zijn oorzaak in de dalende status van het orgel en de orgelmuziek in de tweede helft van de achttiende eeuw. De volgorde waarin Sietz deze componisten bespreekt weerspiegelt de mate waarin ze het idioom van hun leermeester trouw zijn gebleven. In 1950 verscheen een artikel van Hans Löffler over de Leerlingenkring van Bach.³ Daarin heeft hij 81 korte biografieën van de hem bekende leerlingen opgenomen. Deze beschrijvingen beperken zich voornamelijk tot biografische gegevens, waardoor de composities van deze leerlingen zeer weinig aandacht krijgen. Dit artikel biedt praktisch geen aanknopingspunten voor het zoeken naar een mogelijke auteur van BWV 534. Meer recent publiceerde Ulrich Matyl een uitgebreide studie naar de koraalbewerkingen van de leerlingen van Bach.⁴ Hoewel hij fuga's en andere vrije werken geheel buiten beschouwing laat, kunnen de inleidingen die hij bij elke leerling van Bach geeft enige aanknopingspunten

¹Bijvoorbeeld Kobayashi 1973, Hill 1987, Schulze 1984 en Stinson 1989. Een illustratie van de complicaties die bij dit onderzoek op kunnen treden is de identificatie van Anonymus 18 als de Weimarer opvolger van Bach, Johann Caspar Volger (1696–1763) door Schulze op basis van handschriftvergelijking. Hij besluit zijn verhaal met de volgende opmerking: "Daß Teile von Voglers Handschriftenbesitz in den Sammlungen von Johann Christian Kittel (1732–1809), Johann Nikolaus Forkel (1749–1818) und Johann Gottfried Schicht (1753–1823) auftauchen, ohne daß ihr Weg von Weimar nach Erfurt, Göttingen und Leipzig sich bisher im einzelnen verfolgen ließe, und daß eines der Manuskripte spätestens 1809 irrtümlich als Bach-Autograph gilt [BWV 545 met BWV 529.ii als middendeel ging door voor Bach-Autograaf (Schulze 1984, 59)], wirft im übrigen ein bezeichnendes Licht auf die Bach-Überlieferung um und nach 1800 und läßt erneut die Schwierigkeiten ahnen, die der Bewältigung dieses Themenkomplexes noch immer im Wege stehen." (Schulze 1984, 68).

²Sietz 1935.

³Löffler 1953.

⁴Matyl 1996.

bieden. Tenslotte is gebruik gemaakt van de artikelen over de betreffende componisten in de *New Grove Dictionary* en in *Die Musik in Geschichte und Gegenwart* (MGG).

Het is noodzakelijk dat van een mogelijke componist van BWV 534 een aantal werken als vergelijkingsmateriaal beschikbaar is. Op grond van te weinig ‘harde’ gegevens — in dit geval de notenteksten — kan moeilijk gegeneraliseerd worden. Daarom worden componisten van wie weinig of geen fuga’s bewaard zijn gebleven, buiten beschouwing gelaten bij het onderzoeken van het auteurschap van BWV 534. Dit heeft natuurlijk gevolgen voor de betekenis van een eventuele toewijzing. Het is theoretisch denkbaar dat van de componist van BWV 534 verder geen werken overgeleverd zijn, zodat deze nooit via stilistisch bewijs kan worden opgespoord. Dezelfde beperking geldt echter voor ‘traditioneel’ auteurschapsonderzoek dat op stilistisch bewijs is aangewezen. Bovendien is het onwaarschijnlijk dat van een componist die een groot werk als BWV 534 kon schrijven, niets anders bewaard is gebleven.

De componisten die Sietz dicht bij Bach plaatst en die orgelfuga’s geschreven hebben, zijn: Johann Caspar Vogler (1696–1763), Johann Schneider (1702–1788), Wilhelm Friedemann Bach (1710–1784), Johann Ludwig Krebs (1713–1780) en Johann Peter Kellner (1705–1772). Kellner is geen leerling van Bach in de strikte zin van het woord, maar vanwege de contacten die hij met Bach onderhield en de mate waarin hij zich door Bach liet beïnvloeden, is hij in al de bovengenoemde besprekingen van Bachs leerlingenkring opgenomen.⁵

Van Vogler zijn zeer weinig werken overgeleverd. Sietz wijst op invloeden van de Noord-Duitse Orgelschool, waar Dieterich Buxtehude (ca. 1637–1707) de voornaamste representant van was.⁶ De enige fuga die hij van Vogler kende is een virtuoos stuk, waarin volgens Sietz geen gedegen polyfonie bereikt wordt. Sietz is de enige die deze fuga noemt. Matyl in zijn reeds genoemde studie, Russel Stinson in zijn artikel over Vogler in de *New Grove Dictionary* en Wolfgang Lidke in de MGG vermelden allen geen fuga van Vogler. Vanwege deze onduidelijkheid, de stilistische karakterisering van Sietz en vanwege het feit dat er zeer weinig vergelijkingsmateriaal beschikbaar is, vervalt Vogler als serieuze kandidaat.

Behalve leerling van Bach was Johann Schneider als organist van de Nicolaikirche te Leipzig later ook nog diens naaste collega. Matyl citeert het vroeg-negentiende-eeuwse lexicon van Ernst Ludwig Gerber (1746–1819). Volgens Gerber was Schneider “in dem Jahren 1766, 67 und 68 noch bey voller Munterkeit; so daß er [...] in keiner Frühkirche zu spielen versäumte”, waar “er gewöhnlich zu Anfange des Gottesdienstes eine regelmäßige Fuge mit Kraft und Leben vortrug.”⁷ Getuige dit citaat was Schneider bedreven in het maken van fuga’s. Sietz meldt vijf fuga’s die zijn overgeleverd. Slechts één daarvan vindt hij duidelijk een orgelfuga. De overige zijn volgens Sietz klavierwerken.⁸ In de werkljst van Schneider in de *New Grove* worden echter maar drie fuga’s genoemd. Deze fuga’s, die door Hermann J. Busch zijn uitgegeven,⁹ zijn beduidend kleinschaliger van opzet en minder pretentius dan BWV 534. Vanwege de beperkte omvang van dit vergelijkingsmateriaal is het met de in deze scriptie gebruikte methode niet goed mogelijk Schneiders auteurschap van BWV 534 te onderzoeken.

⁵Vgl. Matyl 1995, 71–73.

⁶Sietz 1935, 44v.

⁷Geciteerd in: Matyl 1995, 64.

⁸Sietz 1935, 46v.

⁹Busch 1973.

Van Wilhelm Friedemann Bach zijn enkele orgelfuga's bewaard gebleven.¹⁰ Het betreft de werken met catalogusnummers fk 31 tot en met fk 37, waaraan later door Peter Wollny nog fk-add. 201 en fk-add. 211/1 tot en met fk-add. 211/3 zijn toegevoegd.¹¹ Vanwege de beschikbaarheid van dit vergelijkingsmateriaal en vanwege de suggestie van Pieter Dirksen dat Friedemann de componist van BWV 534 is, zal het auteurschap van Wilhelm Friedemann nader onderzocht worden.

Ook Johann Peter Kellner heeft enkele orgelfuga's geschreven. Hoewel het niet is uit te sluiten, is het onwaarschijnlijk dat een groot orgelwerk als BWV 534 dat—als Bachwerk—alleen via de school van Kittel is overgeleverd, van Kellners hand is. We zouden minstens een afschrift in de handschriften van Kellner of diens leerlingen verwachten. Daarom is Kellner buiten beschouwing gelaten bij het onderzoek naar BWV 534. Om zoveel mogelijk onzekerheid weg te nemen, zou het goed zijn om toch een aantal van Kellners fuga's bij het onderzoek te betrekken. Vanwege de arbeidsintensieve wijze waarop de notenteksten gedigitaliseerd worden (zie paragraaf 6.4.1), is dat in het kader van deze scriptie echter niet haalbaar gebleken. Betrekking van Johann Peter Kellner in het onderzoek naar authenticiteit van werken die aan Bach zijn toegeschreven, zou in eventueel vervolgonderzoek een plaats kunnen krijgen.

De laatste componist uit de bespreking van Sietz die in aanmerking komt is Johann Ludwig Krebs. Deze leerling van Bach staat bekend als componist van grote orgelwerken die in stijl zeer dicht bij zijn leermeester staan. In 1726 stuurde zijn vader, Johann Tobias Krebs (1690–1762), hem naar de Thomasschule in Leipzig, waar Johann Sebastian Bach doceerde.¹² Hij was toen dus ongeveer twaalf jaar oud. Hoewel Johann Ludwig voor die tijd al enig muziekonderricht van zijn vader had genoten, is hij voornamelijk door Bach gevormd. In totaal is hij meer dan tien jaar in Leipzig gebleven. Uit een aanbeveling die Bach in 1735 schreef blijkt duidelijk dat deze zeer tevreden over zijn leerling was:

Da Vorzeiger dieses H. Joh. Ludwig Krebs mich endes Benandten ersuchet, Ihme mit einem attestat, wegen seiner afführung auf unsern Alumneo, zu aßistiren; als habe Ihme solches nicht verwegern, sonden so viel melden wollen, daß ich persuadiret sey aus Ihme ein solches subjectum gezogen zu haben, so besonders in Musicis sich bey uns distinguiet, indem Er auf dem Clavier, Violine und Laute, wie nicht weniger in der Composition sich also habitiret, daß Er sich hören zu lassen keine Scheu haben darff; wie den deßfals die Erfahrung ein mehreres zu Tage legen wird. Ich wünsche Ihme demnach zu seinem avancement Göttl. Beistand, u. recommendire denselben hiermit nochmahligst bestens.¹³

Vanwege Krebs' getrouwheid aan Bachs stijl, is een aantal werken van zijn hand aan Bach toegeschreven geweest. Ook andersom is er verwarring geweest. Karl Tittel noemt in een artikel over deze auteurschapsproblemen enkele voorbeelden.¹⁴ Van Krebs zijn het preludium-fugapaar in f, de trio "Herr Jesu Christ, dich zu uns wend" (BWV anh. 172) en de fuga in

¹⁰Wollny 1993, 214–235.

¹¹Ibid., 449vv.

¹²Tittel 1976.

¹³Geciteerd in: Tittel 1976.

¹⁴Tittel 1966, 103.

a (BWV anh. 181) in sommige handschriften aan Bach toegeschreven. Van Bach zijn bijvoorbeeld de toccata in F (BWV 540.i), de koraalbewerking “Christ lag in Todesbanden” (BWV 718) en de fuga sopra il Magnificat (BWV 733) in sommige handschriften aan Krebs toegeschreven. Het gaat hier niet om de minste composities van Bach.

Karl Tittel noemt in een biografisch artikel over Krebs twee kopiïsten met name, die zeer belangrijk zijn geweest voor de overlevering van Johann Ludwigs orgelwerken: Johann Christian Kittel en Gotthilf Wilhelm Körner. Kittel is ook een belangrijk figuur in de laat-achttiende-eeuwse overlevering van de orgelwerken van Bach. Blijkbaar kopieerde hij zowel veel muziek van Johann Sebastian Bach als van Johann Ludwig Krebs.

Al deze omstandigheden rechtvaardigen het kandidaatschap van Krebs als componist van BWV 534. Zoals reeds eerder ter sprake kwam, zijn de grotere orgelfuga's van Wilhelm Friedemann Bach ook via de school van Kittel overgeleverd. Hier hebben we dus de belangrijkste kandidaten voor het auteurschap van BWV 534 bij elkaar.

David Humphreys is de enige geweest die serieus overwogen heeft dat Kittel zelf de componist van BWV 534 zou kunnen zijn. Zoals we al gezien hebben, heeft hij weinig bijval gekregen. Sietz behandelt Kittel als een van de laatsten in zijn opsomming van Bachs leerlingen. Hij plaatst Kittel stilistisch ver bij Bach vandaan: “Die größte Bachtreue und -nähe haben wir in den Meistern bis einschließlich Kirnberger. Der empfindsame Einschlag wird von da ab immer stärker, zum Teil mit dem Gegengewicht einer nicht immer lebendigen Gelehrsamkeit (Oley [die ingewikkelde canons schreef]); er gipfelt in Kittel, der zugleich die Zeitgenossenschaft der Klassik als Lebensgenosse Haydns nicht mehr verbergen kann.”¹⁵ Spitta gaat iets minder ver als hij in zijn levensbeschrijving van Kittel in de *Allgemeine Deutsche Biografie* schrijft: “Der reine Orgelstil Bach's findet sich freilich nicht mehr überall; Elemente der damals modernen Clavierkunst Mozart's mischen sich hier und da störend ein.”¹⁶ Ondanks zijn schatplichtigheid aan Bach is duidelijk dat Kittel stilistisch een andere weg ingeslagen is dan zijn grote leermeester. Daarbij komt dat er geen fuga's van zijn hand bewaard zijn gebleven.¹⁷ Daarom vervalt Kittel als kandidaat voor het auteurschap van BWV 534.

¹⁵Sietz 1935, 94.

¹⁶ADB, Bd. 16, 45v. In te zien op <url:http://aronsson.se/adb/16/45> (30 augustus 2004).

¹⁷Zie de werklijst van Kittel in het artikel over Kittel van Karl Gustav Fellerer in de *New Grove Dictionary*.

HOOFDSTUK 4

Auteurschapstoewijzing en stylometry

Alvorens specifiek op het auteurschap van BWV 534 in te gaan, is het verstandig om het veld van het auteurschapsonderzoek kort te verkennen. Er is met het computer-ondersteund classificeren van teksten op basis van stilistische eigenschappen al ruime ervaring opgedaan. De ontwikkelingen op het gebied van deze vorm van toegepaste taalwetenschap zijn vooral te volgen in de tijdschriften *Computers and the Humanities* en *Literary and Linguistic Computing*. De inzichten die dat heeft opgeleverd kunnen goed gebruikt worden voor muzikwetenschappelijk onderzoek.

4.1. Auteurschapstoewijzing

Al zolang er teksten geschreven worden, zijn er auteurschapsproblemen die om oplossing vragen. Harold Love noemt in zijn boek over auteurschapstoewijzing een aantal historische voorbeelden.¹ Al in de eerste eeuwen voor Christus waren Alexandrijnse bibliothecarissen druk doende het auteurschap van de werken van Homerus te onderzoeken — een project dat heden ten dage nog immer niet voltooid is. Andere bekende voorbeelden van voortdurend debat zijn de toewijzingen in de bijbel en de toneelstukken van Shakespeare. Ook noemt Love als voorbeeld de enorme hoeveelheid gedichten en pamfletten die in het Engeland van de late zeventiende eeuw zijn gedrukt. In tijden van politieke en religieuze onrust kan het verstandig zijn al te subversieve standpunten onder een pseudoniem te publiceren. Voorbeelden van bekende pseudoniemen zijn Defoe, Swift, Mr. Spectator (hier gingen zelfs twee auteurs achter schuil) en Junius. In de rechtspraak was auteurschapstoewijzing daarom een belangrijk hulpmiddel: wie heeft die lasterlijke tekst geschreven? Ook in de twintigste en eenentwintigste eeuw wordt veel aan auteurschapsonderzoek gedaan. De oude problemen (de bijbel, Homerus, Shakespeare) blijven object van onderzoek. In de laatste decennia van de twintigste eeuw zijn nieuwe methoden ontwikkeld, waarop in paragraaf 4.2 nader zal worden ingegaan.

Een definitie van het concept “auteur” is minder eenvoudig vast te stellen dan op het eerste gezicht misschien lijkt. Want, wat doe je nu precies als je schrijft? Een mogelijke benadering is die van Mark Rose:

Authors do not really create in any literal sense, but rather produce texts through complex processes of adaptation and transformation.²

Het inzicht dat in deze omschrijving verwoord wordt, is dat een auteur niet in een vacuüm werkt. De tekst die ontstaat in het proces van het schrijven draagt meer kenmerken van de ‘omgeving’ waarin de schrijver verkeert dan van de schrijver zelf. Alleen de taal al heeft

¹Love 2002, 14–31.

²Geciteerd in: Love 2002, 32.

hij niet zelf verzonnen maar geleerd. Ook de ideologie die doorklinkt in het geschrevene kan gezien worden als ‘transformatie’ van allerlei invloeden waaraan de schrijver bewust of onbewust is blootgesteld. De betekenis die deze benadering van auteurschap voor auteurschapstoewijzing heeft, wordt door Thomas Merriam verder uitgewerkt.³ Enkele gedachten uit zijn artikel en uit het reeds genoemde boek van Harold Love zijn het vermelden waard omdat ze aanwijzingen bevatten voor het evalueren van het bewijsmateriaal en het formuleren van de conclusies aan het eind van het onderzoek naar het auteurschap van BWV 534.

Het semantisch veld dat een bepaalde auteursnaam in een bepaalde culturele context met zich meedraagt wordt grotendeels gevormd door de receptie van wat bekend staat als diens werk. Daarom wijst Merriam op het onderscheid dat gemaakt kan worden tussen de vragen: “wie schreef Shakespeare?” en “wat schreef Shakespeare?”.⁴ In het eerste geval is “Shakespeare” het corpus dat aan de culturele constructie “Shakespeare” wordt toegeschreven, tezamen met de behandeling van dat corpus in die culturele context, en in het tweede geval betreft het de historische persoon die luisterde naar de naam William Shakespeare. Als van bepaalde belangrijke sonnetten blijkt dat ze niet door Shakespeare geschreven zijn, verandert daarmee de inhoud van het concept Shakespeare, terwijl de historische persoon naar wie die naam verwijst niet verandert. Daarom is ook de terminologie aangepast. *Authorship attribution* heeft nu betrekking op het “auteurschap” als sociaal-cultureel construct, terwijl voor het identificeren van de schrijver (dus niet de auteur), de term *authorship ascription* wordt gebruikt.⁵ Een werk kan dus aan Shakespeare toegeschreven zijn (“attributed”), vanwege bepaalde kwaliteiten, terwijl het niet door de historische persoon is geschreven. Het is dan ‘shakespeareiaans’, maar niet van de hand van Shakespeare.

Bovenstaande sluit aan bij een verschuiving van de aandacht in cultuurstudies van de laatste decennia. Waar voorheen de auteur onbetwist in het middelpunt stond, is het nu de lezer c.q. luisteraar die zich meer en meer in de belangstelling mag verheugen. De auteur is zelfs dood verklaard door Roland Barthes in zijn essay *The dead of an author*.⁶ Het is in de act van het lezen c.q. luisteren dat de betekenis van een tekst ontstaat. Niet zozeer in het creatieproces. De theorievorming hierover staat bekend als *readers-response* (of, in het geval van muziek, *listeners-response*) theorieën.⁷

De genoemde inzichten in de betrekkelijkheid van het concept “auteur” hebben voor de auteurschapstoewijzing het één en ander opgeleverd. Er is (meer) oog gekomen voor de context waarin een bepaald werk tot stand is gekomen. Love herdefinieert daarom het identificeren van een auteur als het onderkennen van de *individuele invloed* die een bepaalde historische persoon heeft gehad op de totstandkoming van een bepaald werk.⁸ Love onderscheidt daartoe een aantal vormen van auteurschap, die we kort de revue laten passeren.

Van *precursory authorship* is sprake wanneer voortgebouwd wordt op eerder werk. Zoals in het voorgaande duidelijk werd, is in alle tekst tot op zekere hoogte sprake van “precursory authors”. Soms zijn invloeden concreet aanwijsbaar. Bijvoorbeeld bij parodie of collage. Of

³Merriam 2002.

⁴Ibid., 185.

⁵Ibid., 182v.

⁶Geciteerd in: Merriam 2002, 181.

⁷Voor muziek is dit uitgewerkt door Joke Dame (Dame 1994, 45–65).

⁸Ibid., 32.

als een eerder werk opgenomen wordt in een later werk. Als voorbeeld noemt Love de koraal-zetting van Bach die Alban Berg in zijn vioolconcert verwerkte. Geen van beiden is aan te wijzen als dé auteur van de resulterende passage.

Degene die de tekst daadwerkelijk schrijft is de *executive author*. Dit aspect van het auteurschap komt het dichtst bij de triviale betekenis van het concept “auteur”.

Het kan ook voorkomen dat op de titelpagina de naam geplaatst wordt van een persoon die niet of slechts zijdelings bij het schrijven van het werk betrokken was. In dit soort situaties is het nodig om de categorie *declarative authorship* te onderscheiden. Als een politicus een boek schrijft is er vaak een *ghostwriter* in het spel. Dit is iemand die schrijft onder de naam van de declarative author en daarbij zo goed mogelijk diens ideeën probeert weer te geven. Er is dus sprake van een combinatie van declarative en precursory authorship. De persoon wiens naam op de titelpagina vermeld staat is hiermee de eigenaar van de ideeën in het boek, maar heeft het niet zelf geschreven.

Het laatste aspect van het auteurschap dat Love noemt is dat van het *revisionary authorship*. Vanaf het moment dat de betrokken auteurs de tekst goed genoeg vinden om gepubliceerd te worden, gaat het de herzieningsfase in. In veel gevallen wordt er een redacteur bij betrokken om verschillende aspecten van de tekst te verbeteren. Deze bewerking kan grondige veranderingen teweeg brengen, waardoor auteurschapstoewijzing op stilistische gronden ernstig bemoeilijkt kan worden. Hier dient dus rekening mee gehouden te worden.

In het gehele proces van de totstandkoming van een werk spelen al deze aspecten van het auteurschap een rol. Zij kunnen alle met één en dezelfde persoon verbonden zijn, maar vaak zijn bij de verschillende stadia van de totstandkoming van het werk verschillende personen betrokken, die allen hun invloed op de uiteindelijk tekst laten gelden. Ook geldt dat achter elk van deze verschillende aspecten afzonderlijk zowel de activiteit van een individu als dat van een samenwerkingsverband kan schuilgaan. Deze distributie van activiteiten en invloeden op de totstandkoming van een werk is een complicerende factor waar rekening mee gehouden dient te worden in auteurschapsonderzoek. Het is niet vanzelfsprekend om één persoon als dé auteur aan te wijzen. Het is daarom beter om op zoek te gaan naar de individuele invloeden van diverse personen dan op zoek te gaan naar dé auteur.

Dit geldt ook voor muziek. Wanneer bijvoorbeeld Johann Ludwig Krebs van zijn leermeester Johann Sebastian Bach de opdracht kreeg om een bepaald thema op een bepaalde manier uit te werken, wie is dan de auteur van de resulterende compositie? Zonder de opdracht, de aanwijzingen en correcties van zijn docent zou Krebs nooit dat muziekstuk geschreven hebben zoals hij het geschreven heeft.

4.2. Stylometry

De voortdurende ontwikkeling in rekenkracht van computersystemen heeft aanleiding gegeven tot de bloei van een benadering van auteurschapstoewijzing die al langer theoretisch aanwezig was, maar die nu pas in volle potentie benut kan worden, namelijk *stylometry*.⁹ In de studies die onder deze noemer geschaard worden, wordt het bewijs voor een bepaalde toewijzing gezocht in kwantitatieve, meetbare aspecten van stijl.

⁹Ibid., 132–162.

Een enorme verscheidenheid aan stijlkenmerken is hiervoor gebruikt. Gemiddelde woordlengte, gemiddelde zinslengte, frequenties van bepaalde functiewoorden, frequenties van bepaalde letters, patronen in het gebruik van leestekens, enzovoorts. Harold Love noemt Thomas Mendenhall als grondlegger van deze benadering. Mendenhall publiceerde in de jaren '80 van de negentiende eeuw een studie waarin hij teksten van verschillende auteurs van elkaar probeerde te onderscheiden door woorden van verschillende lengtes te tellen. Hij ontdekte dat bij auteurs van Engelstalige teksten woorden van drie letters het meest frequent voorkomen. Shakespeare daarentegen 'piekt' bij vierletterwoorden. Omdat in teksten van Christopher Marlow (1564–1593) precies dezelfde karakteristieken te vinden zijn als in de teksten van Shakespeare, concludeerde Mendenhall dat Marlow de eigenlijke auteur van de toneelstukken van Shakespeare was. Een theorie die nog steeds aanhangers heeft.

Ondanks de enorme hoeveelheid werk die al op dit gebied verzet is, is de status van deze benadering niet onbetwist. Waar sommigen volhouden dat het een volwaardige tak van wetenschap betreft (Andrew Morton),¹⁰ wordt de benadering door anderen geheel afgewezen (Eric Sams).¹¹ In 1998 stelde Joseph Rudman een aantal pijnpunten aan de kaak.¹² Het lijkt erop dat voor elke 'succesvolle' methode wel een tegenvoorbeeld te vinden is waarin die methode juist niet werkt. Bovendien is er over fundamentele aspecten van de benadering geen eensgezindheid. Rudman noemt hier een aantal voorbeelden van. Daarnaast verwijt hij veel studies een onwetenschappelijke benadering.

Ook Harold Love is niet onverdeeld positief over de huidige situatie. Volgens hem is het grootste probleem het ontbreken van een onderliggende theorie.¹³ Gepaard met het ontbreken van een onderliggende theorie gaat het ontbreken van een algemeen aanvaarde en toepasbare methode. Veel stijlkenmerken blijken gebruikt te kunnen worden om de teksten van verschillende auteurs te onderscheiden, maar het is niet duidelijk *waarom* ze daartoe in staat zijn. Het leidt niet tot beter begrip van de stijlen in kwestie. De door Love en Rudman gewenste theorie zou linguïstisch van aard moeten zijn. Deze zou moeten verklaren waarom bepaalde kenmerken scheidend vermogen hebben en andere niet. Deze theorie zou ook moeten kunnen voorspellen welke stijlkenmerken gemeten zouden moeten worden voor een bepaald concreet auteurschapsprobleem. Ondanks de gesignaleerde tekortkomingen vindt Love de benadering toch veelbelovend. Hij noemt stylometry zelfs "by far the best game in town at the present moment."¹⁴ De vele successen die reeds behaald zijn laten zien dat er veel van verwacht kan worden. De situatie is dus zeker niet hopeloos, maar zolang de methode nog geen degelijke theoretische ondergrond heeft, moeten we voorzichtig zijn met het verbinden van al te 'harde' conclusies aan resultaten van experimenten.

4.3. Muziek

Het schrijven van muziek is verwant aan het schrijven van tekst. Het is daarom aannemelijk dat dezelfde mentale processen een rol spelen. Daarom scheppen de successen in het kwantitatieve onderzoek naar teksten verwachtingen voor het onderzoek naar auteurschap

¹⁰Ibid., 156.

¹¹Ibid., 155.

¹²Rudman 1997/8.

¹³Love 2002, 157.

¹⁴Ibid., 161.

van muziek. Bij toepassing op muziek moet natuurlijk rekening gehouden worden met dezelfde beperkingen als bij het onderzoek naar teksten. Ook de psychische aspecten van het schrijven van muziek zijn nog onvoldoende onderzocht om aanknopingspunten te bieden voor het vinden van stijlkenmerken die gekwantificeerd kunnen worden. We zullen daarom voor het onderzoek naar BWV 534 enkele intuïtieve richtlijnen volgen. De uitkomsten van de experimenten zullen dan tot bevestiging of verwerping van de vermoedens leiden. En wellicht kunnen deze uitkomsten ook aanknopingspunten bieden voor het verwerven van kennis over het compositorisch proces. Maar de uitwerking daarvan gaat buiten de 'scope' van deze scriptie.

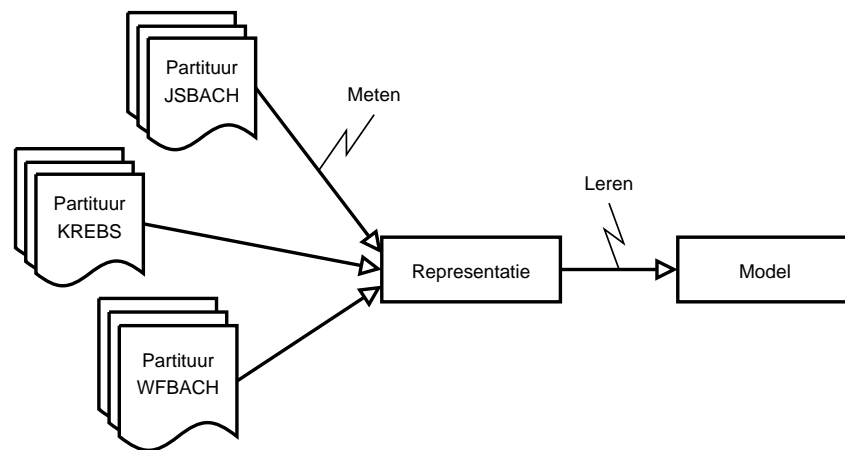
HOOFDSTUK 5

Machine learning

5.1. Introductie

Centraal in *Machine Learning* staan de begrippen ‘leren’ en ‘kennis’. Gepoogd wordt om modellen te ontwikkelen die kennis en kennisvermeerdering beschrijven en die geschikt zijn om in een computersysteem geïmplementeerd te worden. Er zijn verschillende benaderingen mogelijk om dit doel te bereiken. In dit hoofdstuk wordt een inleidend overzicht gegeven dat enkel gericht is op de methoden die in deze scriptie gebruikt worden.¹ Hierbij komen nog niet alle gebruikte methoden aan de orde. Het belangrijkste doel van dit hoofdstuk is het bieden van een kader om het onderzoek naar BWV 534 in hoofdstuk 7 beter te begrijpen. Ter plaatse zal ook op nog enkele aspecten van Machine Learning worden ingegaan.

In figuur 5.1 is schematisch het proces van het leren weergegeven. Het doel is om de persoonlijke stijlen van de verschillende componisten te herkennen. Wanneer we zonder enige kennis van deze stijlen beginnen, is het eerste dat we nodig hebben een aantal voorbeelden van de stijl van iedere componist. Van deze specifieke voorbeelden kan door een leerproces kennis opgedaan worden over de stijlen waar deze partituren een voorbeeld van zijn.



FIGUUR 5.1. Schematisch overzicht van de leerfase.

Een voorbeeld kan dat duidelijk maken. Wanneer men voor het eerst een bepaalde tekst leest, is de kans groot dat deze gezet is met een lettertype dat door de lezer nog nooit eerder gezien is. Desondanks ondervindt deze lezer doorgaans geen enkele hinder hiervan. In figuur 5.2 is de letter Z in een aantal verschillende gedaanten weergegeven. Ook al heeft elk lettertype zijn eigenaardigheden, toch kunnen al deze symbolen met weinig moeite als de letter Z herkend worden. Misschien dat het laatste exemplaar voor sommige mensen wat moeite op

¹Voor een vollediger overzicht, zie bijvoorbeeld Witten 1999, Webb 2002 of Langley 1996.

zal leveren. Dit is een niet alledaagse vorm van de letter Z. Maar wanneer men een paar geschriften gelezen heeft waarin deze letter gebruikt wordt, zal het herkenningprobleem over zijn. Dan heeft men *geleerd* dat dit symbool de letter Z voorstelt.



FIGUUR 5.2. Concrete verschijningsvormen van de letter Z.

Blijkbaar is de menselijke waarneming in staat precies die kenmerken te selecteren waarin de letter Z zich onderscheidt van de andere letters van het alfabet, maar waarin de letters Z in verschillende lettertypen juist met elkaar verbonden worden. Voor een ander classificatieprobleem zullen hoogstwaarschijnlijk andere kenmerken benodigd zijn. Tot nu toe ging het om het herkennen van de letter Z, maar als het bijvoorbeeld de bedoeling zou zijn om verschillende lettertypen te herkennen, zou op kenmerken gelet moeten worden waarin de verschillende letters uit figuur 5.2 zich juist van elkaar onderscheiden, maar waarbij elk van deze letters verbonden wordt met de andere letters in hetzelfde lettertype.

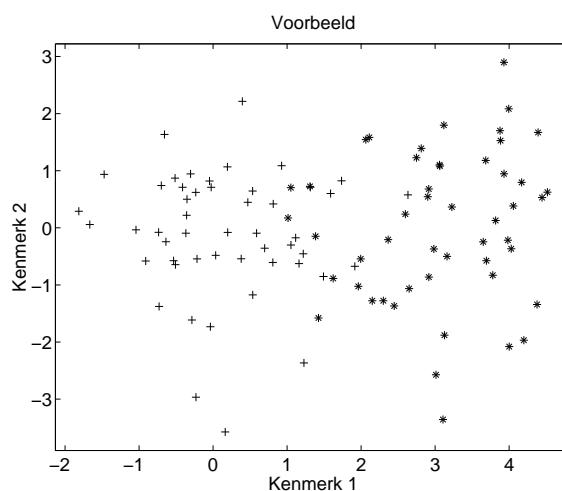
Het modelleren van deze geavanceerde herkenning is de taak die de Machine Learning zichzelf gesteld heeft. Hierbij worden niet de kenmerken van de verschillende klassen van objecten direct in het model opgenomen. Het is bijvoorbeeld denkbaar om een model van de letter Z te maken en dat bij elk symbool te gebruiken om te bepalen of het de letter Z betreft. Dan moet het model van de Z dus *vooraf* beschikbaar zijn, zodat het in een herkenningssysteem geïmplementeerd kan worden. De benadering van Machine Learning is anders. Hierin wordt het model *automatisch* verkregen op basis van een aantal *voorbeeld-objecten* (de *training set*) van de klassen die onderscheiden moeten worden. Niet de concrete klassen worden dus gemodelleerd, de activiteit van het leren zelf wordt gemodelleerd. Vandaar de naam Machine Learning. Het is de machine die leert.

Het feit dat het maken van het model aan de machine overgelaten wordt wil nog niet zeggen dat de onderzoeker die Machine Learning als hulpmiddel gebruikt, geen denkwerk meer hoeft te verrichten. Om uit te vinden welke kenmerken voor een bepaald classificatieprobleem belangrijk zijn en welke niet, moet het systeem al die kenmerken op één of andere manier tot zijn beschikking hebben. Het is praktisch gezien onmogelijk om alle denkbare kenmerken bij het onderzoek te betrekken. Daarom zal een weloverwogen selectie gemaakt moeten worden. Dat is een belangrijk deel van de taak van de onderzoeker. Hiervoor is domeinkennis vereist van het gebied waaruit het classificatieprobleem afkomstig is. Van typografie dus als lettertypen onderscheiden moeten worden, of van muziektheorie als muziekstijlen onderscheiden moeten worden. Daarnaast is het de taak van de onderzoeker een bruikbare verzameling voorbeelden te selecteren. Als voor het onderscheiden van verschillende letters slechts letters in één lettertype gebruikt worden, zal het verkregen model niet adequaat alle concrete verschijningsvormen van de letters beschrijven. Het is bijvoorbeeld maar de vraag of een systeem dat alleen de laatste Z uit figuur 5.2 als voorbeeld-Z ‘gezien’ heeft, de andere letters als Z herkent. De selectie van de kenmerken en voorbeelden bepaalt de *dataset* waarmee gewerkt gaat worden.

5.2. Representatie

Een computer heeft geen ogen, oren en andere zintuigen. De voorbeeld-objecten en de objecten die geklassificeerd moeten worden, dienen daarom kenbaar gemaakt te worden aan het systeem. Dit moet op een zodanige wijze gebeuren dat de Machine Learning algoritmes er iets mee kunnen. In figuur 5.1 is dit aangegeven met het blokje “Representatie”.

Deze representatie wordt verkregen door metingen te verrichten aan de objecten. In deze scriptie wordt van elke compositie een aantal stijlkenmerken (*features*) gemeten (zie paragraaf 6.2). Elke compositie resulteert dus in een lijst getallen. Voor elk gemeten stijlkenmerk één. Deze lijst getallen kan opgevat worden als een vector in een ruimte. Deze ruimte wordt de *feature space* (of kenmerken-ruimte) genoemd.



FIGUUR 5.3. Twee-dimensionale feature space met objecten uit twee klassen.

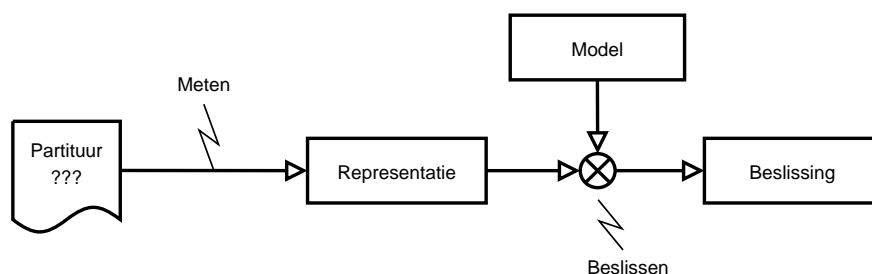
In figuur 5.3 is een voorbeeld van een twee-dimensionale feature space afgebeeld. Een dergelijke afbeelding wordt een *scatterplot* genoemd. De plaats van de objecten in deze ruimte wordt bepaald door de waarden die voor de twee kenmerken gemeten zijn. Er zijn twee klassen met elk 50 objecten. We zullen deze klasse A (+) en klasse B (*) noemen. Blijkbaar verschillen de klassen niet veel van elkaar wat kenmerk 2 betreft maar wel wat kenmerk 1 betreft.

Het aantal dimensies van de feature space wordt bepaald door het aantal kenmerken dat gemeten wordt. In het voorbeeld zijn het er twee. Wanneer er meer dan drie zijn, is de ruimte niet meer goed te visualiseren. Ook het menselijke mentale vermogen schiet te kort om een voorstelling van dergelijke ruimtes te maken. Hoewel dit voor de algoritmes die in de Machine Learning gebruikt worden geen bezwaar is, wordt doorgaans toch gestreefd naar modellen met zo weinig mogelijk features. Hoe meer dimensies, hoe meer data er nodig is om de verschillende klassen goed te kunnen representeren. In veel concrete problemen is geen grote hoeveelheid data beschikbaar. Daarom zijn er methoden ontwikkeld om een deelverzameling van features te selecteren om zo een lager-dimensionale representatie te verkrijgen. Het betreft dan die features die voor het onderscheiden van de verschillende klassen het meest bruikbaar zijn. In paragraaf 7.2.1 zal hier verder op worden ingegaan.

5.3. Leren en klassificeren

Als de objecten eenmaal gerepresenteerd zijn als punten (vectoren) in de kenmerken-ruimte kunnen verschillende algoritmes gebruikt worden om op basis van deze objecten een model te maken waarin de verschillende klassen beschreven worden. Het betreft dus een generalisatie. Op basis van de concrete voorbeelden worden algemene kenmerken van de gerepresenteerde klassen afgeleid. Of, beter gezegd, algemene kenmerken van de verschillen tussen de klassen.

Als eenmaal een model uit de voorbeeld-data is afgeleid, kan dat model gebruikt worden om nieuwe objecten te klassificeren. Dit is schematisch weergegeven in figuur 5.4. Van de onbekende compositie worden dezelfde kenmerken gemeten als eerder voor de voorbeeld-composities. Daardoor wordt deze compositie in dezelfde feature space gerepresenteerd als eerder de voorbeeld-composities. Met gebruikmaking van het verkregen model kan de onbekende compositie aan één van de klassen toegewezen worden.

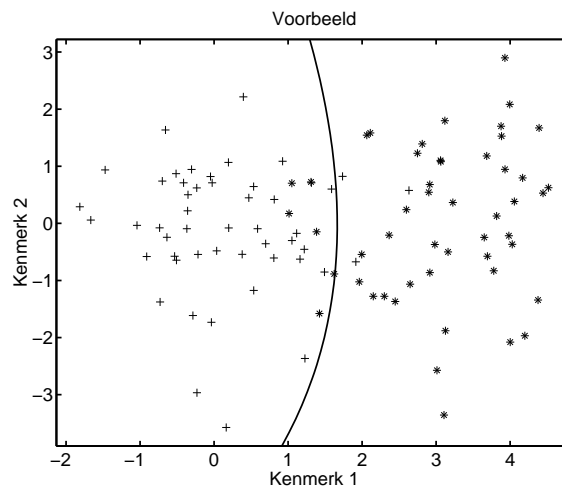


FIGUUR 5.4. Schematisch overzicht van de beslisfase.

Voor het verkrijgen van modellen en het klassificeren van onbekende objecten is een groot aantal methoden ontwikkeld. Hier worden alleen die methoden geïntroduceerd die in deze scriptie gebruikt worden.

5.3.1. Bayes klassificatoren. Allereerst zijn er methoden die gebruik maken van schattingen van de *verdeling* van de objecten van een bepaalde klasse in de feature space. In het voorbeeld van figuur 5.3 is te zien dat klasse A bij lagere waarden van kenmerk 1 een grotere *dichtheid* heeft dan klasse B. Op basis hiervan kan een verdeling van de feature space gemaakt worden in ‘gebieden’ waar klasse A een grotere dichtheid heeft en ‘gebieden’ waar klasse B een grotere dichtheid heeft. Deze dichtheidsfunctie heeft voor elke klasse in elk punt van de feature space een bepaalde waarde. Deze waarde is een indicatie voor de grootte van de kans om op die plek in de ruimte een object van de betreffende klasse aan te treffen. Voor het voorbeeld is een mogelijke verdeling van de ruimte weergegeven in figuur 5.5. Deze grens is verkregen door schatting van de dichtheden van de klassen op basis van de 100 voorbeeld-objecten. Als we van *dezelfde* twee klassen 100 andere objecten zouden kiezen, is het goed mogelijk dat er een andere schatting van deze verdelingen resulteert. En dus ook een andere grens tussen de klassen. Daarom is het belangrijk om een representatieve selectie voorbeeld-objecten ter beschikking te hebben. En ook is het van belang zoveel mogelijk voorbeeld-objecten te hebben.

Een onbekend object dat zich links van de grens bevindt, zal op basis van dit model aan klasse A toegewezen worden en een object dat zich rechts van de grens bevindt aan klasse B. Hierbij



FIGUUR 5.5. Grens tussen de klassen op basis van de dichtheid.

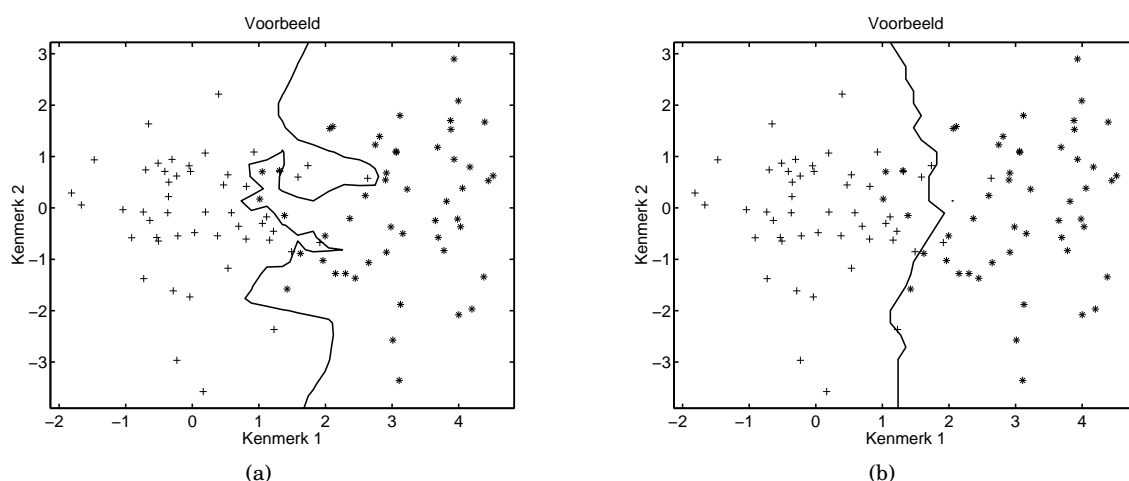
wordt gebruik gemaakt van de regel van Bayes. Daarom heten *klassificatoren* die op deze wijze te werk gaan, *Bayes-klassificatoren*. Op de details hiervan zal niet verder ingegaan worden.²

5.3.2. Naaste-nabuur-klassificatoren. Een ander model kan verkregen worden als uitgegaan wordt van lokale dichtheden. Een voorbeeld van deze familie klassificatoren is de naaste-nabuur-klassificator (*nearest neighbor classifier*). Hierbij wordt het onbekende object simpelweg toegekend aan de klasse van het dichtstbijzijnde bekende object in de feature space. Voor deze methode is het dus niet nodig om een dichtheidsschatting voor de klasse als geheel te berekenen. Het is voldoende de nabije omgeving van het onbekende object te inspecteren. In plaats van enkel naar het dichtstbijzijnde object te kijken, kunnen ook meerdere naaste naburen bij de beslissing betrokken worden. De uiteindelijke klassificatie is dan een meerderheidsbesluit. Als bijvoorbeeld van de vijf naaste naburen er drie tot klasse A behoren, zal het onbekende object aan klasse A toegewezen worden. In figuur 5.6 zijn de beslisgrenzen (*decision boundaries*) voor een 1-naaste-nabuur-klassificator en voor een 10-naaste-nabuur-klassificator weergegeven.

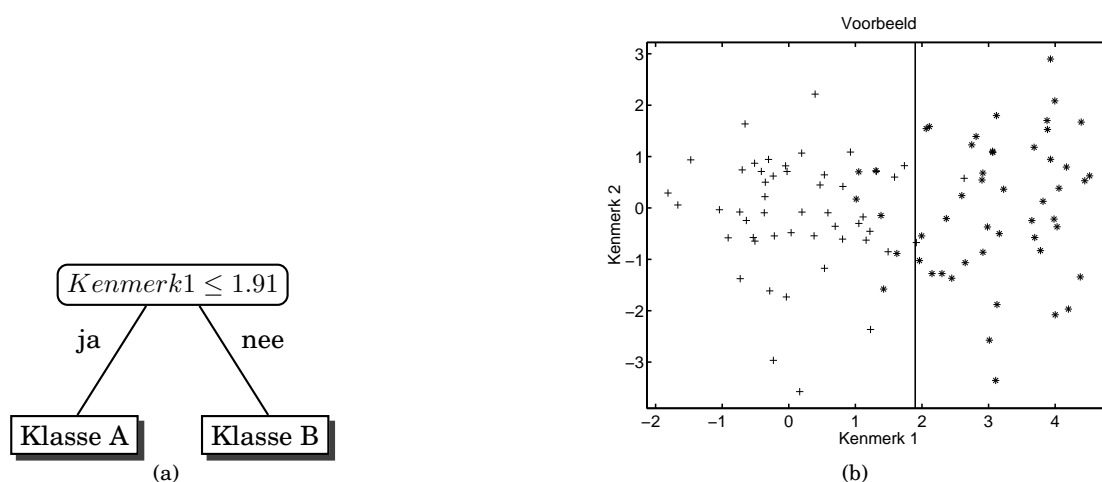
5.3.3. Beslisbomen. De laatste methode die hier besproken wordt is de beslisboom (*decision tree*). Een beslisboom is een manier om een aantal vragen te structureren die achter-eenvolgens beantwoord dienen te worden om tot een klassificatie te komen. Al deze vragen hebben betrekking op de feature-waarden en hebben de vorm: “is de waarde voor deze feature kleiner dan of gelijk aan x ?” Beantwoording van zo’n vraag leidt dus tot een bepaalde selectie van objecten waarvoor de vraag met “ja” of juist met “nee” beantwoord wordt. Aan deze selecties kunnen dan weer nieuwe vragen gesteld worden die leiden tot verdere onderverdeling van de objecten. Uiteindelijk is het de bedoeling dat verzamelingen objecten van dezelfde klasse verkregen worden.

Een boom heeft *bladeren* (leaves) en *takken* (branches). Twee bladeren op verschillende niveaus kunnen door een tak met elkaar verbonden zijn. In vergelijking met een echte boom

²Zie daarvoor bijvoorbeeld Webb 2002, 6vv.



FIGUUR 5.6. Decision boundaries voor (a) een 1nn-klassificator en voor (b) een 10nn-klassificator.



FIGUUR 5.7. (a) Beslisboom en (b) bijbehorende beslisgrens in de feature space.

staat een beslisboom ondersteboven. Zo ontstaan paden vanuit het bovenste blad, de *wortel* (root), via de takken tot in de eindbladeren. In een beslisboom staan in de eindbladeren de verschillende klassen en in de andere bladeren de vragen die aan de features gesteld worden. In deze scriptie zijn enkel binaire bomen gebruikt. Dit betekent dat vanuit elk blad dat geen eindblad is twee takken ‘vertrekken’. De vragen die aan de features gesteld worden zijn dus vragen die slechts met “ja” of “nee” beantwoord kunnen worden. De boom die voor het voorbeeld gemaakt zou kunnen worden is afgebeeld in figuur 5.7. In dezelfde figuur is de beslisgrens afgebeeld. Omdat er slechts met één waarde van kenmerk 1 vergeleken wordt, is deze grens een rechte. In dit voorbeeld levert het geen winst op, maar in principe is het mogelijk om de twee ontstane deelruimtes verder onder te verdelen. Vanwege zijn eenvoud is dit voorbeeld niet zo geschikt om te laten zien wat een beslisboom kan. Bij het onderzoek naar BWV 534 zullen geavanceerdere bomen gemaakt worden.

5.4. Foutschatting

Een zeer belangrijk onderwerp is foutschatting (*error estimation*). Wanneer met behulp van de voorbeeld-data een model verkregen is, dient de kwaliteit van dat model onderzocht te worden. Het is mogelijk dat het verkregen model de klassen niet goed beschrijft. Meestal is dit het gevolg van een niet-representatieve verzameling voorbeeld-objecten, of van een te grote complexiteit van het model. Het tweede geval veroorzaakt vaak *overfitting*. Hiervan is sprake wanneer het model weliswaar de beschikbare voorbeeld-data zeer goed beschrijft, maar niet de algemene kenmerken van de klassen waaruit die data afkomstig is. Hierdoor wordt op de training set een zeer lage fout behaald, terwijl nieuwe, onbekende objecten toch onbetrouwbaar geklassificeerd worden. Een voorbeeld hiervan is de 1-nn-klassificator waarvan de beslisgrens in figuur 5.6a is afgebeeld. Alle objecten uit de training set worden door dit model foutloos geklassificeerd, maar de grens tussen de klassen is zodanig door deze verzameling voorbeeld-objecten bepaald dat deze een slechte benadering is van de echte grens tussen de klassen. Wanneer we echter de echte grens niet kennen, kunnen we het model niet beoordelen. Daarom zijn methoden ontwikkeld om een schatting te maken van de fout die de klassificator maakt.

De basisgedachte van de meeste methoden is als volgt. De voorbeeld-objecten worden verdeeld in twee verzamelingen: een *training set* en een *test set*. De training set wordt, zoals steeds, gebruikt om het model te verkrijgen. Daarna wordt het model getest door de objecten uit de test set te klassificeren. Omdat deze test objecten niet gebruikt zijn bij de generalisatie, is de fout bij het klassificeren van deze objecten een indicatie van de fout die voor nieuwe, onbekende objecten wordt gemaakt. En omdat de klassen waartoe deze test objecten behoren bekend zijn, kunnen we deze fout uitrekenen.

Het nadeel van deze methode is dat niet alle data gebruikt wordt bij het maken van het model. Dit is niet bezwaarlijk als er veel data voorhanden is, maar bij kleine datasets wordt de schatting van de fout hierdoor beïnvloed. Om aan deze bezwaren tegemoet te komen, is een aantal geavanceerde methoden ontwikkeld. Meestal wordt de hierboven beschreven procedure een aantal malen uitgevoerd met steeds een andere verdeling van de voorbeeld-objecten in test en training set. De uiteindelijke schatting van de fout is dan het gemiddelde van de fouten die in de afzonderlijke schattingen worden gemaakt. Hierbij kan steeds willekeurig een verdeling gemaakt worden, maar het is ook mogelijk om vooraf de voorbeeld-objecten op te delen in een aantal elkaar uitsluitende deelverzamelingen, zodat elk object slechts één keer gebruikt wordt. Men spreekt dan van *cross-validation*. In het extreme geval wordt steeds één object uit de voorbeeld-verzameling apart gehouden voor het testen. Dit ene object wordt dan steeds geklassificeerd met behulp van het model dat van alle andere objecten is afgeleid. Het aantal verkeerd geklassificeerde objecten is een benadering van de echte fout (*true error*). Deze schatting wordt de *leave-one-out-error* genoemd.

HOOFDSTUK 6

De dataset

Voor het welslagen van een patroonherkenningsexperiment is een aantal zaken cruciaal. Allereerst moet er voldoende en representatief vergelijkingsmateriaal beschikbaar zijn en dienen de juiste kenmerken (*features*) gemeten te worden. Deze twee aspecten bepalen de gegevensverzameling (*dataset*) waarmee gewerkt gaat worden. Vervolgens is het natuurlijk van belang dat de diverse algoritmes op een verstandige manier toegepast worden.

6.1. Repertoire

Van elk van de in hoofdstuk 3 gevonden kandidaten voor het auteurschap van BWV 534 moet vergelijkingsmateriaal beschikbaar zijn. Hoe meer werken aan de dataset toegevoegd worden, hoe beter. Vanwege de arbeidsintensieve wijze waarop de notentekst geschikt moet worden gemaakt voor verwerking door de software, is het echter niet haalbaar geweest om alle bekende werken bij het onderzoek te betrekken. Uit de fuga's die de verschillende componisten geschreven hebben, is daarom een representatieve keuze gemaakt.

Van Johann Sebastian Bach zijn de volgende fuga's opgenomen in de dataset:

- Fuga in g (BWV 535a)
- Fuga in g (BWV 535)
- Fuga in d (BWV 538)
- Fuga in F (BWV 540)
- Fuga in G (BWV 541)
- Fuga in g (BWV 542)
- Fuga in a (BWV 543)
- Fuga in C (BWV 545)
- Fuga in C (BWV 547)
- Fuga in G (BWV 550)

Er zijn dus werken in verschillende toonsoorten, verschillende maatsoorten en van verschillende ontstaanstijd in de dataset opgenomen. Wat het laatste betreft is vooral het verschil tussen BWV 535 en BWV 535a interessant omdat het een vroege en een late versie van hetzelfde werk betreft. Van al deze stukken is vrijwel zeker dat ze door Johann Sebastian Bach gecomponeerd zijn.

Van Johann Ludwig Krebs zijn de volgende werken opgenomen:¹

- Fuga in c (I, 2)
- Fuga in E (I, 5)
- Fuga in f (I, 6)

¹De nummers verwijzen naar Band en nummer in de Krebs-editie van Gerard Weinberger (Bärenreiter).

- Fuga in G (I, 8)
- Fuga in F (II, 13)
- Fuga in f (II, 14)
- Fuga in f (II, 15)
- Fuga in B \flat (II, 19; B-A-C-H)

Ook hier is gepoogd een ‘dwarsdoorsnede’ te kiezen. Er zijn lange en korte fuga’s, en fuga’s in verschillende maatsoorten en van verschillend karakter.

Van Wilhelm Friedemann Bach tenslotte zijn de volgende werken opgenomen:²

- Fuga in F (fk 33)
- Fuga in F (fk 36)
- Fuga in g (fk 37)
- Fuga in c (fk-Add. 211/1)
- Fuga in B \flat (fk-Add. 211/2)

Dit is al het vergelijkingsmateriaal dat voor de stijl van Wilhelm Friedemann beschikbaar is. Zijn fuga’s hebben catalogusnummers fk 31 tot en met fk 37.³ Peter Wollny voegt nog fk-Add. 201 en fk-Add. 211/1, 2 en 3 toe.⁴ Fk 31 is een verzameling van acht relatief korte driestemmige fuga’s die niet het karakter van grote orgelwerken hebben. Ze zijn zonder pedaal uit te voeren. Dit geldt ook voor fk 32. Fk 34 is verloren gegaan, fk 35 en fk-Add. 201 zijn slechts exposities en fk-Add. 211/3 is van dermate lage kwaliteit dat deze buiten beschouwing is gelaten. Verder zij nog vermeld dat we enigszins voorzichtig moeten zijn met dit vergelijkingsmateriaal. Wollny verbaast zich over de mate waarin het idioom van deze werken afwijkt van de rest van Wilhelm Friedemanns oeuvre: “If they indeed are by Friedemann, this would mean that in his organ fugues he cultivated a style completely different from any other genre he composed in.”⁵ Wollny plaatst dus zelfs vraagtekens bij de authenticiteit.

Tot slot is natuurlijk de fuga in f (BWV 534.ii) in de dataset opgenomen. Dit is het werk waar het allemaal om draait. Door vergelijking met al de hierboven genoemde composities zal blijken op wiens stijl BWV 534 het meeste lijkt.

6.2. Featureset

In deze paragraaf wordt een voorstel gedaan voor een verzameling stijlkenmerken (de featureset) die gebruikt kan worden voor het auteurschapsonderzoek naar BWV 534. We dienen die kenmerken in acht te nemen waarvan verwacht kan worden dat ze per componist verschillende karakteristieke waarden vertonen. Evenals bij het onderzoek naar teksten, is er voor muziek (nog) geen solide theorievorming waarop vertrouwd kan worden voor een verantwoorde keuze. Daarom zullen enkele hypothetische overwegingen als uitgangspunt worden genomen.

²De nummers verwijzen naar de catalogus van Martin Falck, met toevoegingen van Peter Wollny, zoals te vinden is in Wollny 1993.

³Falck 1913.

⁴Wollny 1993, 445–451.

⁵Ibid., 228.

Het soort muziek waar het in deze scriptie over gaat komt voort uit een compositieproces. Wat er precies gebeurt tijdens het componeren is niet duidelijk. Maar we kunnen wel constateren dat componeren voor een groot gedeelte een aangeleerde vaardigheid is. De meest elementaire aspecten van het compositieproces worden als eerste aangeleerd. Het is daarom te verwachten dat deze in het latere leven van de componist niet ingrijpend meer zullen veranderen. Als een componist bij elk muziekstuk dat hij schrijft weer over die basisvaardigheden zou moeten nadenken, zou zijn productie niet zo groot zijn. Het is te vergelijken met het leren lopen. Niemand die eenmaal heeft leren lopen denkt nog na over hoe hij een stap zet, terwijl dat allerminst een vanzelfsprekende handeling is. Een aardige analogie met auteurschapsonderzoek is dat veel mensen aan hun manier van lopen te herkennen zijn. Het is te verwachten dat stijlkenmerken op dit lage niveau vroeger in de ontwikkeling van een componist een stabiel patroon vertonen dan kenmerken op hoger niveau zoals beheersing van vorm, de ontwikkeling van het thema, etc. We moeten dus op zoek naar elementaire kenmerken van het componeren.

Een andere richtlijn, die hier zeer mee samenhangt, is dat voor auteurschapsonderzoek meer te verwachten is van stijlkenmerken die resulteren uit onbewuste processen dan van kenmerken die door bewuste beslissingen van de componist bepaald worden. Kenmerken waarvan de componist zich niet bewust is bij het componeren zijn minder afhankelijk van de beslissingen die voor een bepaald stuk genomen worden, en daarom geschikt om verschillende composities met elkaar te vergelijken.

Het zal ook per componist verschillen wanneer deze tevreden is over een bepaalde compositie. Op een gegeven moment moet er een punt achter gezet worden en kan het werk gepubliceerd of voor publiek uitgevoerd worden. Het is te verwachten dat een aanzienlijk gedeelte van de factoren die tot deze tevredenheid bijdraagt constant is voor verschillende composities. Vanwege de vergelijkbaarheid moet wederom gezocht worden naar elementaire aspecten. Er zijn stijlkenmerken denkbaar die aspecten van de totaalindruk van een stuk weergeven.

Een polyfoon stuk kan gezien worden als een beredeneerde combinatie van verschillende melodieën. Niet elke combinatie van melodieën vormt een acceptabel geheel. Het op de juiste wijze combineren van de stemmen is daarom een belangrijk onderdeel van het compositorisch proces. Hierbij moet de componist controle hebben over de verticale afstanden tussen de stemmen. Hij moet bijvoorbeeld weten wanneer een dissonante samenklank geschreven mag worden en wanneer niet, hoe lang die mag duren en welke andere samenklanken er dan kunnen volgen en welke niet. Op basis van de hierbovenstaande overwegingen, is het te verwachten dat een componist zich bepaalde manieren eigen zal maken om de afzonderlijke stemmen tot een geheel te smeden. Waarschijnlijk is er een arsenaal patronen aanwezig die veelvuldig toegepast worden. Deze veronderstelling sluit aan bij de opvatting van muzikale stijl van Leonard B. Meyer die in de inleiding van deze scriptie is besproken. De ervaren componist weet dat als hij in een stem een bepaalde formule schrijft, dat hij dan in een andere stem een bepaalde andere formule kan schrijven. Het is zeer waarschijnlijk dat hij in de loop van de tijd voornamelijk in zulke patronen zal gaan denken, en zich niet meer elk interval afzonderlijk voorstelt. De mentale representatie van het muziekstuk komt dan op een hoger niveau. Dit doet vermoeden dat in het patroon van de gebruikte intervallen tussen

de stemmen per componist bepaalde karakteristieken te vinden zullen zijn. Dit resulteert in de volgende features:⁶

PartSeconds, PartThirds, PartFourths, PartAugFourth, PartDimFifths, PartSixths, PartSevenths en PartOctaves

Elk van deze features representeert het aandeel van een bepaald interval in het totaal van de intervallen die tussen de verschillende stemmen voorkomen. De berekening is als volgt. Alle stemparen worden achter elkaar geplaatst. Voor bijvoorbeeld een driestemmige compositie wordt dat: eerst stem 1 en 2, daarna stem 2 en 3 en tenslotte stem 1 en 3. Er ontstaat dus een lange tweestemmige ‘partituur’ waarin alle intervallen voorkomen die ook in het oorspronkelijke muziekstuk tussen de stemmen aanwezig zijn. Vervolgens wordt in dat tweestemmige geheel van een bepaald interval de totale tijdsduur berekend waarin dat interval klinkt. Ook wordt de totale duur van alle intervallen tezamen berekend. De waarde van de feature is dan de fractie die de totale duur van een bepaald interval uitmaakt van de totale duur van alle intervallen. De intervallen worden modulo een oktaaf berekend. Een none wordt dus als secunde meegeteld, een decime als tert, enzovoorts. De maten die niet ‘strikt’ meerstemmig zijn worden niet betrokken bij de berekening van deze features. Onder “strikt meerstemmig” wordt hier verstaan dat in geen van de stemmen meer dan één toon tegelijk klinkt en dat op enig moment in de maat ten minste twee stemmen tegelijk actief zijn.

De beschreven manier van meten is onafhankelijk van de maatsoort. Als de teleenheid een grotere waarde heeft, zullen ook de lengtes van de intervallen tussen de stemmen evenredig grotere waarden hebben. Hierdoor worden de features automatisch genormaliseerd zodat de waarde voor bijvoorbeeld een alla breve stuk vergeleken kan worden met die voor een stuk in $\frac{6}{8}$ maat.

Het komt veelvuldig voor dat in één stempaar twee dezelfde intervallen elkaar opvolgen. Dit geldt voornamelijk voor tertsen en sexten en in mindere mate voor kwarten. Om het aandeel van elk van deze parallellen in het totaal van het stuk te meten zijn de volgende drie features gedefinieerd:

ParThirds, ParFourths en ParSixths

Deze features worden op dezelfde wijze berekend als de voorgaande groep. Nu is het echter de tijdsduur van alle intervallen die bij een bepaalde parallel betrokken zijn als fractie van de totale duur van alle intervallen in alle stemparen. Ook hier worden alleen strikt meerstemmige maten bij de berekening betrokken.

Wanneer tussen twee stemmen een dissonant klinkt, moet deze op een bepaalde manier opgelost worden. Dit geschiedt vaak door de laagste van de twee tonen stapsgewijs te laten dalen. De volgende feature meet hoe vaak dit voorkomt:

StepSuspension

De berekening is hetzelfde als die voor de verschillende intervallen en de parallellen hierboven. Nu worden echter alle intervallen betrokken die deel uitmaken van een dergelijke stapsgewijze oplossing van een dissonant. Wederom wordt de verhouding tot de totale duur

⁶De enigszins cryptische namen zijn gekozen volgens conventies in de naamgeving van variabelen in computerprogramma's. Een spatie wordt hierin meestal weggelaten. Om toch te kunnen zien waar een nieuw woord begint, worden de afzonderlijke woorden met een hoofdletter geschreven.

van alle intervallen in alle stemparen uitgerekend. Ook hier worden alleen strikt meerstemmige maten bij de berekening betrokken.

In een meerstemmige compositie komt het bijna nooit voor dat alle stemmen het gehele stuk door ‘aktief’ zijn. Er kunnen lange gedeelten zijn waarin het stemmenweefsel uitgedund wordt. De mate waarin dit het geval is wordt aangegeven door de volgende feature:

VoiceDensity

De waarde van deze feature is het gemiddeld aantal stemmen dat tegelijk aktief is. Om vijfen vier-stemmige fuga’s met elkaar te kunnen vergelijken wordt gedeeld door het totaal aantal stemmen. De hoogst mogelijke waarde is dan 1. In dat geval zijn alle stemmen gedurende het gehele stuk aktief. Ook hier worden alleen strikt meerstemmige maten bij de berekening betrokken.

Normaal gesproken is een groot gedeelte van de samenklanken in een compositie dissonant. Ook dit kunnen we kwantificeren. Daarvoor zijn de volgende features gedefinieerd:

DissPart en BeginBarDiss

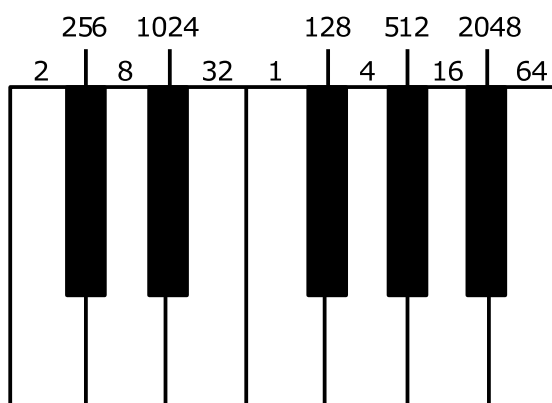
DissPart representeert de totale duur van de dissonante samenklanken als fractie van de totale duur van alle samenklanken. En BeginBarDiss is gedefinieerd als de verhouding van het aantal maten dat met een dissonante samenklank begint tot het totaal aantal maten. Voor de berekening van deze waarden zijn niet de afzonderlijke stemparen geïnspecteerd, maar de opeenvolgende samenklanken waarbij alle stemmen betrokken worden. De samenklanken die als consonant worden beschouwd zijn de reine prime, de kleine en grote tert, de reine kwart, de reine kwint en de kleine en grote sext. Een kwart wordt als dissonant beschouwd wanneer deze zich tussen de laagst klinkende stem en één van de bovenstemmen bevindt. Alle andere intervallen worden als dissonant beschouwd. Als tussen twee van de stemmen een dissonant interval klinkt, wordt de gehele samenklank als dissonant beschouwd.

Het is ook mogelijk iets te zeggen over de ‘rijkdom’ van het gebruikte materiaal. Als een componist gedurende zijn compositie slechts drie soorten akkoorden gebruikt, zal er een minder afwisselend geheel ontstaan dan wanneer hij meerdere soorten samenklanken gebruikt. Het luisteren naar zo’n stuk is spannender. Het is minder zeker wat je als luisteraar kunt verwachten. De verrassing bij elk volgend akkoord zal dus groter zijn. Een maat om de ‘gemiddelde verrassing’ te meten is de *entropie*. Dit is een grootheid uit de informatietheorie.⁷ Er zijn drie features waarbij een entropie berekend wordt:

PitchEntropy, SonorityEntropy en HarmonyEntropy

Voor het berekenen van de PitchEntropy wordt een lijst gemaakt van alle toonhoogtes die in het stuk voorkomen. Voor elke toonhoogte wordt de totale duur berekend van alle keren dat die toonhoogte te horen is. Hierdoor ontstaat een frequentietabel met gewogen frequenties. Bij een muziekstuk van voldoende lengte kunnen deze frequenties worden opgevat als geschatte waarschijnlijkheden (probabilities) van optreden van de afzonderlijke toonhoogten. Met deze waarden kan de entropie berekend worden. De formule die hiervoor gebruikt wordt is: $-\sum_{i=1}^N p_i \log(p_i)$. Waarin N het totaal aantal toonhoogtes is en p_i de (geschatte) waarschijnlijkheid van optreden van toonhoogte i . Het is te verwachten dat in composities

⁷Geïntroduceerd door Claude E. Shannon (Shannon 1948).



FIGUUR 6.1. Klavier met gewichten.

met veel modulaties en uitwijkingen een hogere entropie gemeten wordt dan in composities waarin de hoofdtoonsoort niet verlaten wordt.

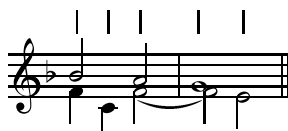
Voor de *SonorityEntropy* en voor de *HarmonyEntropy* is gebruik gemaakt van concepten van Robert Mason.⁸ Hij ontwierp een methode om voor elke samenklank een uniek getal te berekenen. Aan elk van de twaalf tonen van het oktaaf wordt een gewicht toegekend (figuur 6.1). Alle tonen die deel uitmaken van een willekeurige samenklank worden in één oktaaf geprojecteerd. Hierdoor gaat de informatie over de omkering en ligging van het akkoord verloren, maar wordt informatie over het *soort* akkoord en de betrokken toonhoogten (*pitch classes*) behouden. En daar gaat het bij deze concepten ook om. Het concept *sonority* wordt door Mason gedefinieerd als de som van de gewichten van de toonhoogten die in de samenklank aanwezig zijn.⁹ Als voorbeeld: de drieklank c-e-g heeft waarde $2 + 32 + 4 = 38$. Omdat de gewichten machten van twee zijn, kan de binaire representatie van het resulterende getal worden gezien als een bitpatroon waarin de bits de verschillende pitch classes representeren. Het bitpatroon van de grote drieklank op c is dus (inclusief voorloopnullen): 0000 0010 0110. *Elke* grote drieklank op c resulteert dus in dit bitpatroon. Ongeacht ligging, omkering of verdubbelingen. Zo hoort bij elk soort samenklank een uniek getal. Voor de feature *SonorityEntropy* is een lijst gemaakt van frequenties van de verschillende sonorities die in de compositie voorkomen. Op dezelfde wijze als voor de *PitchEntropy* is vervolgens de entropie van deze sonorities berekend.

Mason heeft zijn representatie zo ontworpen dat de rotatie van het bitpatroon een betekenis heeft. Als het patroon dat hierboven voor de grote drieklank op c is gevonden, één stap wordt gerooteerd, wordt het bitpatroon 0000 0001 0011 verkregen. De toonhoogten die hierbij horen zijn: f (1), c (2) en a (16). Dit is dus de grote drieklank op f. We kunnen op deze manier door rotatie de grote drieklanken op alle twaalf de tonen verkrijgen. Nu heeft Mason het concept *harmony* gedefinieerd als de laagste waarde die we door rotatie kunnen krijgen.¹⁰ Dat betekent dat alle grote drieklanken dezelfde waarde voor de *harmony* hebben, en wel die van de *sonority* van de grote drieklank op f. Voor deze drieklank geldt dus dat de *harmony*

⁸Mason 1985.

⁹Ibid., 21.

¹⁰Ibid., 21.



FIGUUR 6.2. Timeslices.

index	feature	index	feature
1	PartSeconds	11	ParFourths
2	PartThirds	12	ParSixths
3	PartFourths	13	StepSuspension
4	PartAugFourths	14	VoiceDensity
5	PartDimFifths	15	DissPart
6	PartFifths	16	BeginBarDiss
7	PartSixths	17	HarmonyEntropy
8	PartSevenths	18	PitchEntropy
9	PartOctaves	19	SonorityEntropy
10	ParThirds	20	StabTimeslice

TABEL 6.1. De featureset.

en de sonority dezelfde waarde hebben. Op deze wijze ontstaat voor elk *soort* akkoord een uniek getal. In tegenstelling tot de sonority, nu óók ongeacht de grondtoon. Voor de feature HarmonyEntropy is van alle harmonies die in de compositie voorkomen de entropie berekend.

Voor het onderscheiden van de muziek van Johann Sebastian Bach kan ook op de ritmische variatie in het stuk gelet worden. Vanuit de luisterervaring kan het vermoeden ontstaan dat Bachs muziek over het algemeen vrij constant van ritme is. Vaak is er een complementair ritme. Als één stem zwijgt of lange noten heeft, wordt de ritmische activiteit overgenomen door een andere stem. De mate van variatie in het ritme is de laatste feature:

StabTimeslice

Voor de berekening van deze feature zijn de lengtes van alle timeslices in de compositie gebruikt. Een *timeslice* is een gedeelte van de compositie waarin geen veranderingen optreden. Elke compositie kan dus gezien worden als een aaneenschakeling van timeslices. Steeds als er in een willekeurige stem iets verandert, wordt een nieuw timeslice betreden. Dit is in figuur 6.2 grafisch weergegeven.

De waarde van StabTimeslice is berekend door de standaard-deviatie van de lengtes van de timeslices te delen door de gemiddelde lengte. Deze normalisatie is nodig om composities in verschillende maatsoorten met elkaar te vergelijken.

Dit alles resulteert dus in de verzameling van 20 features, die in tabel 6.1 is weergegeven. Zoals reeds is aangegeven, is dit een verzameling die op een aantal vermoedens berust. Er kan dus geen aanspraak op volledigheid of adequaatheid gemaakt worden. Het zal (voorlopig) experimenteel moeten blijken of deze stijlkenmerken werkelijk per componist een karakteristiek patroon vertonen of niet. Er zijn reeds aanwijzingen dat deze featureset bruikbaar is. Deze features zijn eerder gebruikt voor een meer algemeen classificatieprobleem.¹¹ Daarbij is

¹¹Kranenburg 2004.

gepoogd een verzameling composities van J. S. Bach, G. F. Händel, G. F. Telemann, W. A. Mozart en F. J. Haydn te classificeren. Dit bleek zeer succesvol te kunnen gebeuren. De foutpercentages van de classificatoren hadden een typische waarde tussen 5% en 10%. Dat betekent dat van elke 100 composities er 5 tot 10 aan de verkeerde componist werden toegewezen. Deze geslaagde praktijktest is een belangrijke aanwijzing dat de voorgestelde features tezamen voldoende scheidend vermogen bezitten om persoonlijke stijlen van verschillende componisten te isoleren.

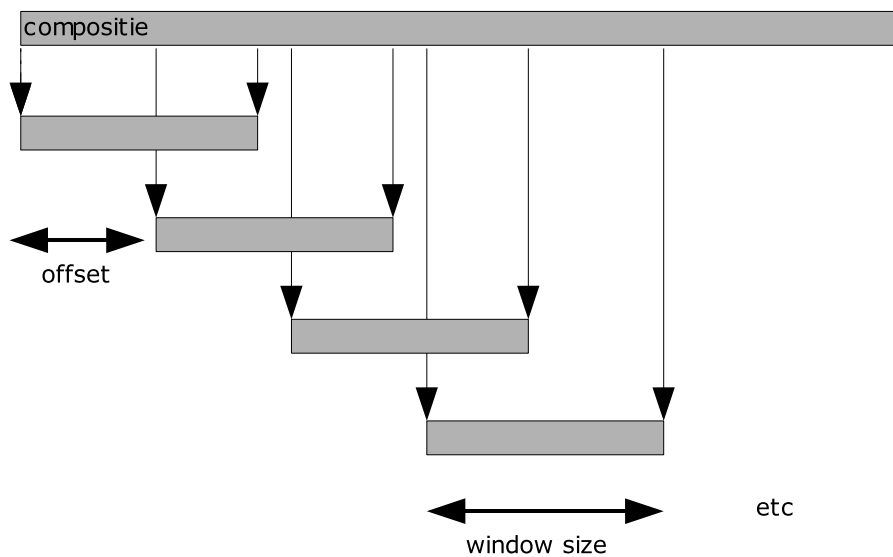
6.3. Opsplitsen

Voor een succesvol patroonherkenningsexperiment is het van belang zoveel mogelijk data ter beschikking te hebben. Met het toenemen van de dimensionaliteit van de dataset wordt deze voorwaarde des te belangrijker. In hoogdimensionale ruimtes zijn zeer veel punten nodig om goede schattingen van verdelingen en *covarianties* te maken. Om enigszins tegemoet te komen aan deze voorwaarde is een methode toegepast waarmee uit één muziekstuk meerdere datapunten (objecten) verkregen kunnen worden.

Het is van belang dat de lengte van een muziekstuk niet te klein is. De variantie in de resulterende meetwaarden is dan te groot. Om de gedachten te bepalen: als we het aandeel van bijvoorbeeld de tertsen meten in een fragment van twee maten, zal één terts meer of minder een groot verschil opleveren in de meetwaarde, terwijl bij een langer fragment één terts meer of minder niet zoveel zal uitmaken. In het tweede geval wordt een meer ‘globale’ waarde verkregen. De composities mogen dus niet te kort zijn. Maar het is ook niet nodig dat ze heel lang zijn. Na inspectie van het gedrag van een aantal features is gebleken dat een fragment van ongeveer 30 maten voldoende is om een redelijk betrouwbare waarde te meten. De meeste composities in de dataset zijn langer. Daardoor ontstaat de mogelijkheid om uit één compositie meerdere meetwaarden te verkrijgen. Dit kan bereikt worden door de compositie op te delen in een aantal fragmenten. Een grafische weergave van het principe is te zien in figuur 6.3. Bij het opsplitsen kunnen twee parameters ingesteld worden: de lengte van de fragmenten en de afstand tussen de beginmaten van twee opeenvolgende fragmenten. Wanneer de afstand tussen de fragmenten kleiner wordt gekozen dan de lengte, overlappen de fragmenten elkaar.

Als een dataset samengesteld wordt uit fragmenten met veel ‘overlap’, kunnen classificatiemethoden waarbij lokale dichtheid een rol speelt niet goed toegepast worden. Datapunten die overlappende fragmenten representeren zullen ook in de feature-space dicht bij elkaar liggen. Het is dan te verwachten dat in de buurt van, bijvoorbeeld, een fragment van Krebs vrijwel altijd een ander fragment van Krebs uit dezelfde compositie gevonden zal worden. Er zullen dus globale dichtheden geschat moeten worden — wat met een grotere hoeveelheid datapunten wél beter mogelijk is — of er zal op een andere manier rekening gehouden moeten worden met het feit dat composities als puntenwolken gerepresenteerd zijn.

Een gevolg van deze opsplitsing is dat de opeenvolgende datapunten uit dezelfde compositie een ‘pad’ in de feature-ruimte vormen. Hoogstwaarschijnlijk zeggen de karakteristieken van deze paden iets over het compositieproces waar ze uit afkomstig zijn. Het blijkt echter vooralsnog niet eenvoudig om deze paden te interpreteren. In deze scriptie zal er daarom niet verder op worden ingegaan.



FIGUUR 6.3. Schematische weergave van het opsplitsen van de composities.

6.4. Enkele praktische aspecten

In deze paragraaf worden enkele praktische aspecten van het experiment besproken. Voor het begrip van de resultaten van het experiment is deze informatie niet benodigd. Deze paragraaf kan daarom zonder problemen overgeslagen worden.

6.4.1. Invoer van de notentekst. Om de stijlkenmerken die in de vorige paragraaf gedefinieerd zijn daadwerkelijk te kunnen meten, moeten digitale representaties van de partituren voorhanden zijn. Deze dienen als invoer voor de software die de metingen verricht. Er zijn vele muziek-coderingen beschikbaar. Een uitgebreid overzicht wordt gegeven in het boek *Beyond MIDI – The Handbook of Musical Codes*.¹² De meest gebruikte codering is MIDI (Musical Instrument Digital Interface). Dit is een uitwisselingstaal bedoeld voor elektronische instrumenten. MIDI is geen één-op-één representatie van de partituur, maar een reeks opdrachten die leiden tot de *uitvoering* van een muziekstuk. De precieze tijden waarop tonen moeten beginnen en eindigen worden vastgelegd. Ook voor zaken als tempo-wisselingen, wijze van aanslag van de toets, vibrato en dergelijke, zijn MIDI-commando's voorhanden. Omdat een menselijke speler nooit precies 'in de maat' speelt, zal een MIDI-representatie van een muziekstuk altijd afwijkingen vertonen ten opzichte van de gebruikelijke muzieknotatie. Er is echter nog een groot nadeel van MIDI voor muziekanalyse. Een toonhoogte wordt gerepresenteerd door het nummer van de bijbehorende toets op een gelijkzwevend gestemd klavier. De toets voor de c^1 heeft bijvoorbeeld nummer 60. Dit nummer wordt ook gebruikt voor de b^\sharp en de d^\flat . Alle enharmonisch onderscheid tussen tonen wordt in deze representatie dus genegeerd. Daardoor gaat informatie over de grootte van intervallen verloren. Er kan bijvoorbeeld geen onderscheid gemaakt worden tussen een kleine terts en een overmatige secunde, of tussen een overmatige kwart en een verminderde kwint. Harmonische analyse wordt daardoor onmogelijk. Omdat deze informatie juist benodigd is voor een aantal van de

¹²Selfridge-Field 1997.

FIGUUR 6.4. Begin van de fuga in C (BWV 547).

stijlkenmerken die gemeten moeten worden, is MIDI een onbruikbare representatie voor het onderzoek dat in deze scriptie gepresenteerd wordt.

Gekozen is voor de ****kern**-indeling. Deze is door David Huron ontwikkeld als onderdeel van zijn Humdrum Toolkit. Deze toolkit biedt een aantal algoritmes om muziek te verwerken. Een uitgebreide beschrijving van de ****kern**-indeling is te vinden in *Beyond MIDI* en op het internet.¹³ Om een indruk te krijgen volgt hier het begin van de fuga in C (BWV 547) van J. S. Bach (de notentekst is weergegeven in figuur 6.4).

```

** kern      ** kern      ** kern      ** kern      ** kern
*MM76      *MM76      *MM76      *MM76      *MM76
*k[]       *k[]       *k[]       *k[]       *k[]
*M2/2      *M2/2      *M2/2      *M2/2      *M2/2
*tb32      *tb32      *tb32      *tb32      *tb32
=1          =1          =1          =1          =1
1r          1r          1r          [4c        1r
.           .           .           16c]      .
.           .           .           16B       .
.           .           .           16c       .
.           .           .           16d       .
.           .           .           8e        .
.           .           .           8c        .
.           .           .           8A        .
.           .           .           8f#       .
=2          =2          =2          =2          =2
1r          1r          [4G        8g        1r
.           .           .           8d        .
.           .           16G]      8e        .
.           .           16E       .           .
.           .           16F       8B        .
.           .           16G       .           .
.           .           8A        8c        .
.           .           8F        16d       .
.           .           .         16e       .
.           .           8D        [4f       .

```

¹³Zie: *Everything You Need to Know About The Humdrum ****kern** Representation*, Ohio State University, School of Music, <url:http://dactyl.som.ohio-state.edu/Humdrum/representations/kern.html> (30 augustus 2004).

.	.	8B	.	.
=3	=3	=3	=3	=3
1r	[4C	8c	16f]	1r
.	.	.	16e	.
.	.	8G	16f	.
.	.	.	16g	.
.	16C]	8A	16f	.
.	16BB	.	16e	.
.	16C	8E	16d	.
.	16D	.	16c	.
.	8E	8G	8B	.
.	8C	16A	16c	.
.	.	16B	16d	.
.	8AA	4c	8e	.
.	8F#	.	[8a	.
[...]				

De stemmen zijn verticaal genoteerd in zogenaamde *spines* (de kolommen). Deze worden van boven naar beneden gelezen. Het lijkt dus enigszins op een gekantelde partituur. De werkwijze met spines maakt de ****kern**-indeling uitermate geschikt voor polyfone muziek. Voor elke stem kan een spine gereserveerd worden. De fuga BWV 547 is vijfstemmig, zodat in het voorbeeld vijf spines gebruikt zijn. De volgorde van de stemmen is niet van belang. Hier is gekozen om de laagste stem in de eerste spine te noteren en de hoogste in de vijfde. Maar dat had ook andersom gekund.

Zoals is te zien moeten de spines op elkaar ‘afgestemd’ zijn. Als in de eerste spine een halve noot staat en in een andere spine tegelijkertijd een aantal noten van kortere duur, kan de noot die in de eerste spine op de halve noot volgt niet direct op de volgende regel genoteerd worden. De ruimte in de eerste spine dient opgevuld te worden met punten totdat de spines weer ‘uitgelijnd’ zijn. Bij het invoeren van de muziek moet dus voortdurend het overzicht over alle stemmen behouden worden. Dit vereist zeer veel concentratie en is daarom zeer foutgevoelig. Het heeft de voorkeur om de stemmen (spines) afzonderlijk van elkaar in te voeren en daarna samen te voegen. Humdrum biedt hier enkele commando’s voor.

De symbolen voor de noten zijn contextvrij. Dit betekent dat bij elke noot alle gegevens over oktaafligging, lengte en eventuele alteraties moeten worden verschaft. Een achtste noot c^3 wordt gerepresenteerd door `8ccc`. Als op deze noot een achtste noot d^3 volgt moet `8ddd` genoteerd worden. Er moet dus veel informatie dubbel ingevoerd worden, in dit geval de lengte en de oktaafligging. Het zou het invoeren van de notentekst aanzienlijk versnellen als een noot de kenmerken van de voorgaande noot over zou nemen zodat alleen de veranderingen aangegeven moeten worden. Als dan op `8ccc` een `d` volgt geldt dat ook deze `d` in het drie-gestreept oktaaf ligt en de lengte van een achtste noot heeft. Om deze wijze van invoer mogelijk te maken is een pre-processor geschreven, `prekern`.¹⁴ Deze neemt een bestand met één spine in context-gevoelige notatie als invoer en vertaalt deze naar een echte ****kern**-spine. Op de

¹⁴De broncode is beschikbaar op: <http://www.musical-style-recognition.net>.



FIGUUR 6.5. Fuga in g, BWV 535, sopraan, mt. 7–9.

details van deze context-gevoelige notatie zal nu niet verder worden ingegaan. Om een indruk te krijgen volgt een voorbeeld. Links is de prekernel-notatie weergegeven en rechts de resulterende **kernel-representatie. De overeenkomstige notentekst is afgebeeld in figuur 6.5.

(prekem)	(** kern)
** kern	** kern
*MM60	*MM60
*k[b-e-]	*k[b-e-]
*M4/4	*M4/4
[...]	[...]
=7	=7
[4@cc#	[4cc#
16c#]	16cc#]
e	16ee
d	16dd
e	16ee
f	16ff
g	16gg
e	16ee
f	16ff
8d	8dd
[g	[8gg
=8	=8
g]	8gg]
c<	8cc
[4f	[4ff
8f]	8ff]
b-	8bb-
[4e<	[4ee
=9	=9
8e]	8ee]
[...]	[...]

Van geen van de fuga's die bij het onderzoek van deze scriptie betrokken zijn is een **kernel-representatie voorhanden. Deze zijn dus alle speciaal hiervoor ingevoerd.¹⁵

6.4.2. Musicprobe. In het voorgaande is beschreven *wat* er gemeten moet worden. Het *hoe* is nog niet ter sprake gekomen. Hoewel elke implementatie van de omschrijvingen van de features dezelfde meetwaarden op zou moeten leveren zal ik voor de volledigheid kort ingaan

¹⁵Ook deze gecodeerde fuga's kunnen van <http://www.musical-style-recognition.net> worden gedownload.

op de software die ik zelf voor dat doeleinde ontwikkeld heb. Deze software is `musicprobe` genoemd. De broncode wordt op het internet beschikbaar gesteld.¹⁶

Het programma is geschreven in C++ met gebruikmaking van CPNView. Dit is een C++-bibliotheek die routines bevat waarmee muziek in de **kern-indeling ingelezen en beschikbaar gesteld kan worden voor de routines die de feature-waarden berekenen. Deze bibliotheek is gemaakt door Donncha Ó Maidín (universiteit van Limerick, Ierland) en door hem zeer vriendelijk beschikbaar gesteld.

Voor goed begrip van het nu volgende is enige kennis van object-georiënteerd ontwerpen benodigd.¹⁷

Het basisidee van de architectuur van `musicprobe` is een scheiding tussen *Representations* en *Analyzers*. Beide concepten worden gerepresenteerd door overeenkomstige klassen. De analyzers berekenen de feature-waarden. Hierbij maken ze gebruik van verschillende representaties van de partituur. Eén van deze representaties is bijvoorbeeld een vector (geordende lijst) die de lengtes van alle achtereenvolgende timeslices bevat (zie figuur 6.2). Dit is de *RhythmRepresentation*. De klasse *RhythmAnalyzer* bevat onder andere een methode om met behulp van deze representatie de waarde voor de feature *StabTimeslice* berekenen. Zo zijn er de volgende representaties en analyzers:

CounterpointRepresentation: Hierin zijn alle opeenvolgende intervallen tussen alle stemmen gerepresenteerd.

ChordRepresentation: Een geordende lijst van alle achtereenvolgende samenklanken met daarbij informatie over lengtes van die samenklanken.

RhythmRepresentation: Een geordende lijst van de lengtes van alle achtereenvolgende timeslices.

CounterpointAnalyzer: Deze bevat methodes om met behulp van een *CounterpointRepresentation* de waarden van de features *Partxxx*, *Parxxx*, *StepSuspension* en *VoiceDensity* te berekenen.

HarmonyAnalyzer: Deze bevat methodes om met behulp van een *ChordRepresentation* de waarden van de features *DissPart*, *BeginBarDiss*, *PitchEntropy*, *SonorityEntropy* en *HarmonyEntropy* te berekenen.

RhythmAnalyzer: Deze bevat een methode om de waarde van de feature *StabTimeslice* te berekenen.

Verder zijn er nog een aantal klassen die zich met de meer ‘huishoudelijke’ zaken bezighouden:

Translator: Deze klasse bevat methodes om vanuit de **kern-representatie vertalingen te maken naar de verschillende representaties.

ResultManager: Deze klasse houdt een tabel bij van de berekende feature-waarden en bevat methodes om deze waarden in verschillende indelingen naar de schijf te schrijven.

¹⁶ <url:http://www.musical-style-recognition.net>.

¹⁷Er zijn zeer veel inleidende teksten tot object-georiënteerd ontwerpen. Een korte zoektocht op internet (trefwoorden: “object oriented”) zal voldoende opleveren om een goed beeld te vormen. Als onderdeel van Connexions is online een cursus “Principles of Object-Oriented Programming” te volgen: <url:http://cnx.rice.edu/content/col10213/1.20> (30 augustus 2004).

MusicprobeApplication: Deze klasse bestuurt het gehele proces.

Communication: Verzorgt de mededelingen en foutmeldingen richting de gebruiker van de software.

Tot slot nog enkele hulpklassen:

Interval: Representeert een interval. Er zijn methodes voorhanden om te bepalen of het interval dissonant is en of het stijgend of dalend is.

HorInterval: Representeert een horizontaal interval. Deze klasse is een afgeleide van de klasse Interval. Als extra zijn er twee methodes waarmee de lengtes van de linker en de rechter noot kunnen worden opgevraagd.

VertInterval: Representeert een verticaal interval. Deze klasse is een afgeleide van de klasse Interval. Als extra is er een methode om de lengte van het interval op te vragen.

Datum<T>: Een instantie van deze klasse kan elk ander datatype bevatten, vergezeld van een maatnummer.

Chord: Deze klasse representeert een samenklank. Het is een verzameling toonhoogtes met een toonduur. Er zijn een aantal methoden. Zo kan het aantal unieke toonhoogtes opgevraagd worden, ook de sonority en harmony van het akkoord kunnen berekend worden en er kan bepaald worden of het akkoord dissonant is.

Dit is een zeer globaal overzicht. Voor de precieze opbouw en werking van de software kan het beste de broncode geraadpleegd worden.

6.4.3. Overige software. Naast software om de metingen te verrichten is ook een implementatie nodig van de diverse algoritmes die gebruikt worden voor patroonherkenning. Hiervoor is gebruik gemaakt van de Matlab-toolbox *PRTools*.¹⁸ Matlab is een applicatie waarmee numerieke berekeningen met vectoren en matrices uitgevoerd kunnen worden.¹⁹ Daarnaast biedt Matlab middels een script-taal de mogelijkheid om zelf procedures en functies te schrijven. PRTools is geschreven door Bob Duin (TU Delft) en omvat een verzameling functies en datatypes waarin een groot aantal patroonherkenningsalgoritmes geïmplementeerd zijn.

¹⁸zie: <url:http://www.ph.tn.tudelft.nl/~bob/PRTTOOLS.html> (30 augustus 2004).

¹⁹zie: <url:http://www.mathworks.com> (30 augustus 2004).

HOOFDSTUK 7

Experimenten en resultaten

In dit hoofdstuk wordt de analyse van de verkregen meetwaarden besproken. Hierbij wordt als volgt te werk gegaan. Allereerst wordt de data verkend. Vervolgens wordt gezocht naar een optimale deelverzameling van features, waarmee de gerepresenteerde stijlen het beste onderscheiden kunnen worden. Dit wordt gedaan voor elk van de drie twee-klassen problemen: J. S. Bach vs. W. F. Bach, J. S. Bach vs. J. L. Krebs en W. F. Bach vs. J. L. Krebs. Voor elk van deze twee-klassen problemen worden vervolgens beslisbomen geconstrueerd. Om een ruimte met maximale scheidbaarheid van de klassen te verkrijgen is de Fisher-transformatie toegepast. De gevonden deelruimtes, de beslisbomen en de getransformeerde ruimtes worden tenslotte gebruikt om BWV 534 te classificeren.

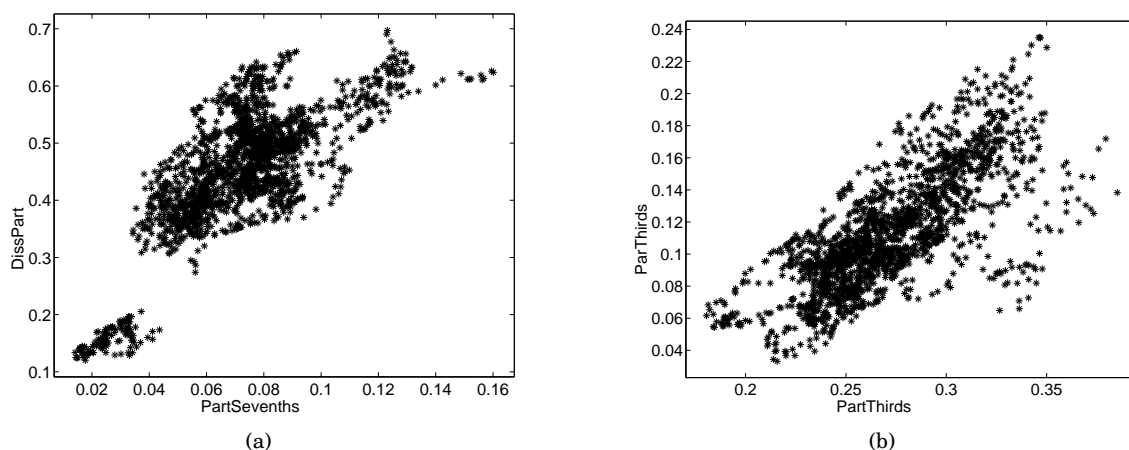
Zoals in paragraaf 6.3 is besproken, kunnen de composities op verschillende manieren opgesplitst worden in een aantal fragmenten. De fragmentatie wordt bepaald door twee instelbare parameters: de lengte van de fragmenten en de afstand tussen twee opeenvolgende fragmenten (figuur 6.3). We zullen een bepaalde opsplitsing noteren als: *lengte_afstand*. Een opsplitsing in fragmenten van 10 maten met een onderlinge afstand van 5 maten noteren we dus als 10_5. In dit hoofdstuk zullen verschillende fragmentaties gebruikt worden. Onder andere 30_10 en 30_01. Helaas zijn een aantal composities te kort om verdelingen te maken waarbij de fragmenten elkaar niet overlappen. Zelfs bij fragmenten van 20 maten zijn er composities die slechts in één datapunt resulteren (bijvoorbeeld fk 37). Hierdoor zullen niet in alle datasets alle composities gerepresenteerd zijn. Naast de opgesplitste datasets wordt ook gewerkt met een dataset waarin de composities niet opgesplitst zijn.

Vanwege de verschillende schaling van de features zijn overwegend genormaliseerde datasets gebruikt. Hierbij is per feature het gemiddelde naar nul geschoven en zijn alle waarden gedeeld door de standaarddeviatie van de betreffende feature. Hierdoor veranderen de waarden in absolute zin, maar blijven de kenmerken van de verdelingen van de verschillende klassen ten opzichte van elkaar behouden. Vooral voor methoden die gebruik maken van euclidische afstanden tussen de objecten kan dit een verbetering opleveren.

7.1. Verkenning van de data

Na het verrichten van de metingen worden de composities (of fragmenten daarvan) gerepresenteerd als punten in een 20-dimensionale ruimte. In deze paragraaf wordt de dataset kort verkend. Omdat het onmogelijk is een mentale voorstelling van een 20-dimensionale ruimte te vormen, zullen we de features afzonderlijk inspecteren en enkele scatterplots maken.

Om een indruk te krijgen van het scheidend vermogen van de individuele features is het van belang inzicht te krijgen in de manier waarop de feature-waarden per componist verdeeld zijn. We hopen natuurlijk dat de waarden voor een bepaalde componist netjes gegroepeerd



FIGUUR 7.1. Scatterplots van een 30_01 dataset met (a) de features DissPart en PartSevenths en (b) de features ParThirds en PartThirds langs de assen.

zijn rond een gemiddelde waarde. Bovendien hopen we dat de stijl van elke componist gekenmerkt wordt door karakteristieke waarden. Om hier zicht op te krijgen is voor elke feature per componist een schatting gemaakt van die verdeling. Hiervoor is een 30_01 dataset gebruikt. Deze bevat veel overlap en dus veel datapunten, zodat de schatting van de dichtheid rond een bepaalde waarde niet van slechts enkele objecten afhankelijk is. De resultaten hiervan zijn te vinden in appendix B.1.

In dit overzicht is duidelijk te zien dat er features zijn die voor elk van de componisten karakteristieke waarden vertonen. Het aandeel van de secundes (PartSeconds) is een mooi voorbeeld hiervan. Krebs schreef gemiddeld de minste secundes, Johann Sebastian meer en Wilhelm Friedemann nog meer. Het aandeel van de septiemen (PartSevenths) laat een soortgelijk patroon zien. Omdat secundes en septiemen de belangrijkste dissonanten zijn, is het te verwachten dat ongeveer hetzelfde patroon ook bij een feature als DissPart te zien zal zijn. Dat blijkt inderdaad zo te zijn.

In het bovenstaande hebben we gezien dat er verbanden zijn tussen features in de wijze waarop de waarden over de verschillende klassen verdeeld zijn. Maar ook als de informatie over de klassen buiten beschouwing wordt gelaten, kunnen er verbanden tussen de waarden van de verschillende features geconstateerd worden. In een scatterplot met de septiemen (PartSevenths) en de mate van dissonantie (DissPart) langs de assen, is duidelijk te zien dat er een zeker lineair verband (correlatie) tussen deze twee features bestaat (figuur 7.1a). Wie veel septiemen schrijft, schrijft ook veel dissonanten. Een dergelijk verband is ook vast te stellen tussen het aandeel van de tertsen (PartThirds) en dat van de parallelle tertsen (ParThirds) (zie figuur 7.1b). Wie veel parallelle tertsen schrijft, schrijft ook veel tertsen. Deze twee voorbeelden geven aan dat de waarden van verschillende features met elkaar gecorreleerd kunnen zijn. Naast het feit dat sommige features in het geheel geen scheidend vermogen lijken te hebben, is dit een belangrijke reden om naar een reductie van het aantal features (en dus dimensies) te streven. Als we de datapunten zodanig in een lager-dimensionale ruimte kunnen projecteren dat de informatie die ze voor het scheiden van de verschillende stijlen bevatten, behouden blijft, is dat een groot winstpunt. Hoe minder dimensies, des te beter de

beschikbare datapunten de verdeling waar ze uit afkomstig zijn representeren. In de volgende paragraaf zal dit nader uitgewerkt worden.

Ondanks de geconstateerde correlatie moet enige voorzichtigheid betracht worden bij het ‘weggooien’ van features omdat ze gecorreleerd zouden zijn. Een voorbeeld is de correlatie tussen het aandeel van de sexten en dat van de parallelle sexten. Hoewel deze sterk gecorreleerd zijn, bevatten deze twee features niet hetzelfde scheidende vermogen met het oog op classificatie van de gerepresenteerde stijlen. Alle drie de componisten schreven ongeveer evenveel sexten (PartSixths). De verdelingen vallen bijna volledig samen. Maar bij de parallelle sexten (ParSixths) is wél een duidelijk onderscheid te constateren (zie appendix B.1). W. F. Bach schrijft de minste parallelle sexten en Krebs de meeste. Als de feature ParSixths uit de feature set verwijderd wordt, gaat daarmee meer informatie verloren dan wanneer de feature PartSixths verwijderd wordt. Als enkel de correlatie tussen die twee in beschouwing wordt genomen, kan dat onopgemerkt blijven. Bij het selecteren van features ten behoeve van dimensiereductie moet daarom rekening gehouden worden met dit soort verschillen. Het is geen eenvoudige opgave om te bepalen welke features mogen blijven en welke buiten beschouwing gelaten kunnen worden. Voor dimensiereductie zijn verschillende algoritmes ontwikkeld, die zorg dragen voor een juiste selectie.

Bij een aantal features is te zien dat de verdeling van de fragmenten van J. S. Bach twee pieken kent. Bij DissPart is dit het duidelijkst te zien. De tweede, kleine piek, wordt in de meeste gevallen veroorzaakt door de fuga in G BWV 550.ii. Al op het eerste gezicht c.q. gehoor valt deze compositie op als afwijkend van de andere orgelwerken van Bach. Dat wordt nu dus bevestigd door de geïsoleerde plaats die dit werk in de feature-ruimte inneemt. Ook in de scatterplots in figuur 7.1 is deze compositie duidelijk geïsoleerd van de andere stukken. In figuur 7.1a bevindt BWV 550 zich linksonder, bij lage waarden van PartSevenths en DissPart en in figuur 7.1b wordt BWV 550 gerepresenteerd door de puntenwolk rechts, bij hogere waarden van PartThirds. Omdat er geen twijfels over het auteurschap van BWV 550 bestaan, zal deze toch waar mogelijk betrokken blijven als referentie voor Johann Sebastians stijl. Het kan voor de classificatieresultaten zelfs gunstig zijn dat een dergelijk afwijkend werk in de trainingset opgenomen is. Als een klassificator gemaakt kan worden die dit werk als “J. S. Bach” kan classificeren, dan kan deze klassificator kenmerken van Bachs stijl gevonden hebben die zowel in dit —afwijkende— werk als in zijn andere composities terug te vinden zijn.

Uit het overzicht van de verdelingen blijkt dat geen van de twintig features in staat is de drie stijlen die in de dataset gerepresenteerd zijn, perfect te scheiden. Zelfs bij de ‘beste’ features overlappen de klassen elkaar voor een zeer groot gedeelte. In de hoop tot betrouwbare classificatie te komen zal dus gezocht moeten worden naar combinaties van features die een groter scheidend vermogen hebben dan de features afzonderlijk. Voor het vinden van deze combinaties zijn algoritmes voorhanden.

7.2. Dimensiereductie

Zoals al duidelijk werd, zijn niet alle features even ‘behulpzaam’ bij het scheiden van de drie klassen. Het is zelfs voorstelbaar dat de classificatie met beter gevolg kan geschieden als bepaalde features buiten beschouwing worden gelaten. Ook vanuit het oogpunt van de

dimensiereductie is dit wenselijk.¹ Er bestaan twee fundamenteel verschillende manieren om het aantal dimensies te reduceren. Bij *feature-selectie* wordt gezocht naar een deelverzameling van features die optimaal de klassen scheidt. Bij *feature-extractie* worden *nieuwe* features berekend met behulp van de bestaande featurewaarden.² Beide methoden zijn gebruikt. Feature-extractie is beperkt gebleven tot lineaire combinaties van de features.

7.2.1. Feature-selectie. Er zijn verschillende algoritmes om features te selecteren. Bij veel van deze algoritmes wordt een bepaalde grootte geoptimaliseerd, bijvoorbeeld een afstandsmaat die kenmerken van de afstanden van de klassen tot elkaar weergeeft. Er wordt dan gezocht naar een selectie van features waarbij die grootte een optimale waarde heeft. Een verzameling van 20 features heeft 1.048.575 mogelijke deelverzamelingen. Zeker bij grote datasets en criteria waarvoor veel rekenwerk vereist is, is het ondoenlijk om al deze deelverzamelingen te evalueren. Er is een algoritme dat een optimale deelverzameling kan vinden, *branch and bound* genaamd, maar dit is geen efficiënt algoritme.³ Daarom zijn er alternatieve methoden ontwikkeld die tot een suboptimaal resultaat leiden. Eén daarvan is *floating forward feature selection*.⁴ Er wordt begonnen met een lege verzameling. Dan wordt achtereenvolgens steeds een variabel aantal features toegevoegd of verwijderd. Het betreft steeds die features waarvan toevoeging of weglating het meeste bijdraagt aan de optimalisering van het criterium. Het algoritme stopt als er geen verbetering meer behaald kan worden of als het gevraagde aantal features geselecteerd is. Door Anil Jain en Douglas Zongker is aangetoond dat deze methode vergelijkbaar met *branch and bound* kan presteren.⁵ Het is dus niet zeker dat met dit algoritme die deelverzameling gevonden wordt waarvoor het criterium de optimale waarde heeft, maar de criteriumwaarde van de gevonden deelverzameling zal deze optimale waarde wel dicht benaderen. Behalve de inefficiëntie is een andere beperking van *branch and bound* de voorwaarde dat het criterium *monotoon* moet zijn: als de verzameling features X een subset is van verzameling Y , dan moet de waarde van het criterium voor X kleiner zijn dan de waarde voor Y . Als een criterium gebruikt wordt dat niet aan deze eis voldoet, zal ook moeten worden uitgeweken naar andere methoden.

De dataset waarin de composities niet opgesplitst zijn, is erg klein. De klasse W. F. Bach is de kleinste met slechts vijf objecten. Hierdoor kunnen methoden die een globale schatting van de verdelingen maken, niet gebruikt worden. Het is onmogelijk om op basis van vijf punten in een 20-dimensionale ruimte een goede schatting te maken van de verdeling waaruit die punten afkomstig zijn. Daarom nemen we als criterium de *leave-one-out-error* van een 1-nearest-neighbor-classifier. Dit is de fout die gemaakt wordt als elke compositie toegewezen wordt aan de componist van het dichtstbijzijnde stuk of fragment in de feature-ruimte. Het *floating selectie* algoritme is gebruikt om subsets van features te selecteren waarvoor deze fout het laagst is.

Allereerst J. S. Bach versus J. L. Krebs. Het algoritme stopt bij een subset van drie features: *PartSeconds*, *PartAugFourths* en *ParFourths*. In de ruimte die opgespannen wordt door deze

¹Webb 2002, 308.

²Ibid., 305–360.

³Ibid., 312vv.

⁴Beschreven in Webb 2002, 316v.

⁵Jain 1997.

drie features is de fout die de 1-nn klassificator maakt nul. Het heeft dus geen zin om meer features toe te voegen.

Voor J. S. Bach versus W. F. Bach zijn vier features nodig: BeginBarDiss, PartSevenths, PartFourths en StepSuspension. Ook nu is de fout nul.

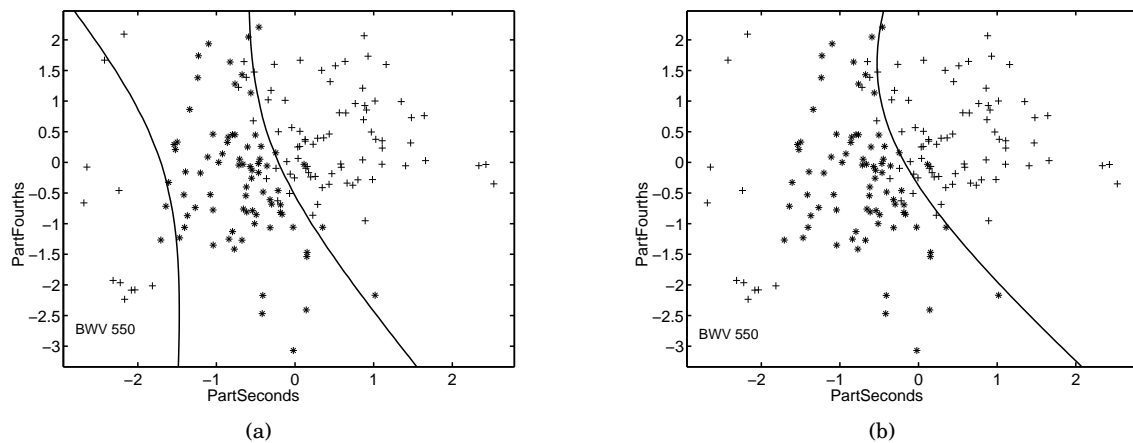
De composities van Krebs en W. F. Bach zijn het gemakkelijkst te scheiden. Slechts BeginBarDiss is nodig om een fout van nul te behalen.

Het ogenschijnlijke succes is misleidend. Een foutloze klassificator is natuurlijk het beste dat er te verkrijgen is, maar we moeten steeds blijven bedenken dat de hoeveelheid datapunten waarmee deze klassificator is getraind, te klein is om representatief te kunnen zijn voor de stijlen, waardoor er weinig zekerheid is over de betrouwbaarheid van de uitspraken die de klassificator over de betwifelde werken zal doen. Daarom moet ook voorzichtigheid betracht worden met het verbinden van conclusies aan deze resultaten. We kunnen hoogstens concluderen dat er enige samenhang is tussen de composities van dezelfde componist.

Het floating feature selectie algoritme is ook uitgevoerd voor de 30_10 dataset. Deze bevat genoeg datapunten om, in ieder geval bij lage dimensionaliteit, een redelijke schatting van de verdelingen te maken. Vanwege de grote overlap tussen de fragmenten waaruit de datapunten berekend zijn, kan nu geen nearest-neighbor-classifier gebruikt worden. De punten die afkomstig zijn uit hetzelfde muziekstuk zullen meestal dicht bij elkaar liggen, zodat de lokale dichtheid altijd hoog zal zijn. Er moeten daarom methoden gebruikt worden die globale dichtheden schatten. Als criterium is gekozen voor het foutpercentage van een kwadratische Bayes-klassificator. In de ruimte die opgespannen wordt door de aldus verkregen deelverzameling van features, zijn de klassen dus bij benadering *gaussisch verdeeld* en zo goed mogelijk van elkaar te onderscheiden. Dit criterium is niet monotoon, zodat we het branch and bound algoritme niet kunnen gebruiken. Daarom wordt het floating selectie algoritme weer gebruikt.

Omdat de afzonderlijke composities samenhangende structuren vormen in de feature-ruimte, is ervoor gezorgd dat in de training sets steeds in ieder geval één compositie geheel afwezig is. De fouten die dan gemaakt worden zijn een indicatie voor de betrouwbaarheid van de klassificatie van een geheel nieuw stuk. De werkwijze is als volgt. Van één van de composities worden alle punten uit de dataset verwijderd, vervolgens wordt een kwadratische Bayes-klassificator met de data van de overige composities getraind en tenslotte worden de fragmenten van de compositie die niet gebruikt is voor het trainen geklassificeerd met de getrainde klassificator. Daarna worden de aantallen verkeerd geklassificeerde fragmenten van alle test-composities bij elkaar opgeteld en het aldus verkregen aantal wordt uitgedrukt als percentage van het totaal aantal fragmenten in de dataset.

De resultaten van het floating feature selectie algoritme met de fout na weglating van gehele composities als criterium, zijn als volgt. Voor de 30_10 dataset met weglating van BWV 550 worden de volgende tien features geselecteerd: PartSeconds, PartThirds, PartSevenths, PartSixths, PartAugFourth, PartFifths, PitchEntropy, BeginBarDiss, StabTimeslice en VoiceDensity. Het foutpercentage dat hierbij hoort bedraagt 0,65%. Dit is zeer laag. De klassificatie geschiedt dus nagenoeg foutloos. Met dezelfde feature set wordt op de 30_01 dataset een fout van 2% gemaakt. Dit foutpercentage wordt vrijwel geheel veroorzaakt door de fuga in F van Krebs. Wanneer deze compositie niet betrokken is bij het trainen van de klassificator,



FIGUUR 7.2. Scatterplots met de fragmenten van J. S. Bach (+) en J. L. Krebs (*) en de features PartSeconds en PartFourths. Ook weergegeven is de decision boundary van een kwadratische Bayes-klassificator die (a) met al deze data getraind is en (b) getraind is zonder de data van BWV 550.

wordt deze grotendeels aan Bach toegewezen. Als de data van BWV 550 wel gebruikt worden, vinden we een andere optimale feature set: ParThirds, StabTimeslice, StepSuspension, PartDimFifths, PartSeconds, ParSixths, PartSixths, DissPart, PartFifths, BeginBarDiss en PartAugFourth. De bijbehorende foutpercentages zijn 1,8% voor de 30_10 dataset en 2,6% voor de 30_01 dataset. Ook nu wordt de fout vrijwel geheel veroorzaakt door de fuga in F van Krebs. Blijkbaar vertoont dit stuk kenmerken van de stijl van J. S. Bach. De nu gevonden deelverzamelingen kunnen gebruikt worden om BWV 534 te classificeren.

Als optimale deelverzameling voor het scheiden van de werken van vader en zoon Bach resulteert voor de 30_10 dataset de volgende deelverzameling: PartSevenths, PartAugFourth, DissPart, PartFourth, HarmonyEntropy en StepSuspension. De foutpercentages die hierbij horen zijn 11,2% op de 30_10 dataset en 12,1% op de 30_01 dataset. Het is duidelijk moeilijker om deze twee stijlen te onderscheiden. Het weglaten van BWV 550 levert nog enige winst op. De gevonden feature set is dan: PartSevenths, PartFourth, StepSuspension en PitchEntropy, met foutpercentages van 8,5% voor de 30_10 dataset en 12,5% voor de 30_01 dataset.

Voor het onderscheiden van de stijlen van W. F. Bach en Krebs tenslotte vinden we de verzameling: BeginBarDiss, PartFourth, PartThirds en PartSeconds. Bijbehorende foutpercentages zijn 0,94% voor de 30_10 dataset en 1,6% voor de 30_01 dataset. Met slechts enkele features kunnen deze stijlen dus zeer goed van elkaar onderscheiden worden. In tabel 7.1 zijn de resultaten van de feature selectie nog eens overzichtelijk weergegeven.

7.2.2. Beslisbomen (C4.5). Er zijn algoritmes beschikbaar om uit de beschikbare data beslisbomen te construeren. Een veelgebruikte methode heet C4.5 en is ontwikkeld door Ross Quinlan.⁶ Hierbij wordt de boom gebouwd door voor de opeenvolgende vragen steeds de feature met de grootste *information gain* te kiezen. Bedoeld is de toename van informatie die deze feature levert voor het classificeren van de objecten. Door een beslisboom te laten maken

⁶Quinlan 1993.

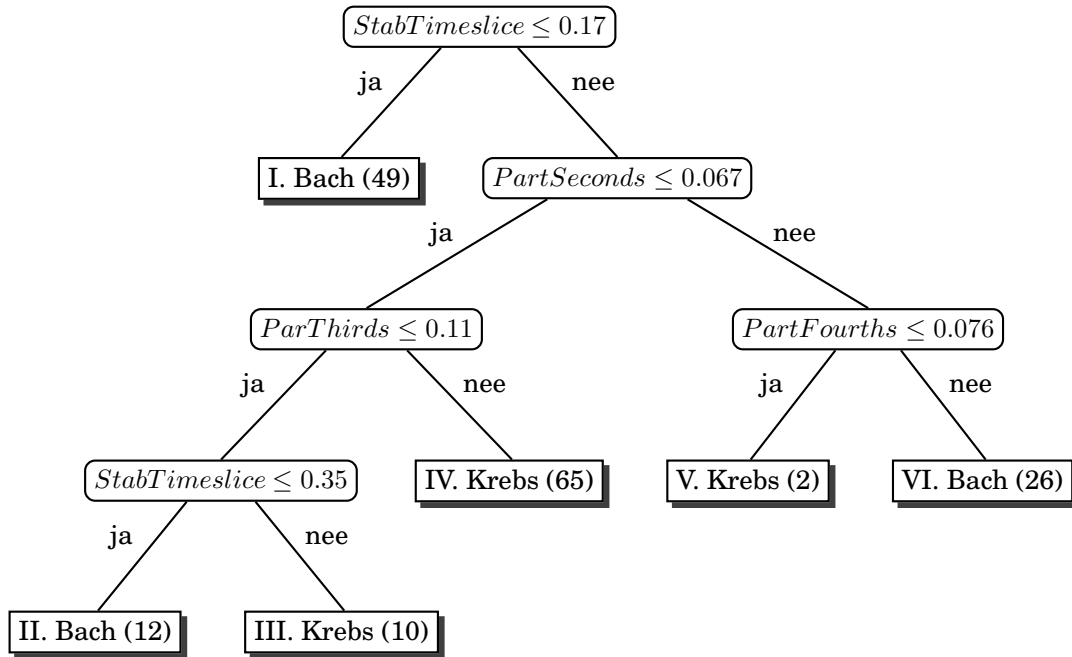
J. S. Bach vs. J. L. Krebs	W. F. Bach vs. J. S. Bach	W. F. Bach vs. J. L. Krebs
<p>Met BWV 550</p> <p>ParThirds StabTimeslice StepSuspension PartDimFifths PartSeconds ParSixths PartSixths DissPart PartFifths BeginBarDiss PartAugFourth</p> <p>Zonder BWV 550</p> <p>PartSeconds ParThirds PartSevenths PartSixths PartAugFourth PartFifths PitchEntropy BeginBarDiss StabTimeslice VoiceDensity</p>	<p>Met BWV 550</p> <p>PartSevenths PartAugFourth DissPart PartFourth HarmonyEntropy StepSuspension</p> <p>Zonder BWV 550</p> <p>PartSevenths PartFourth StepSuspension PitchEntropy</p>	<p>BeginBarDiss PartFourth PartThird PartSecond</p>

TABEL 7.1. De gevonden optimale deelverzamelingsen.

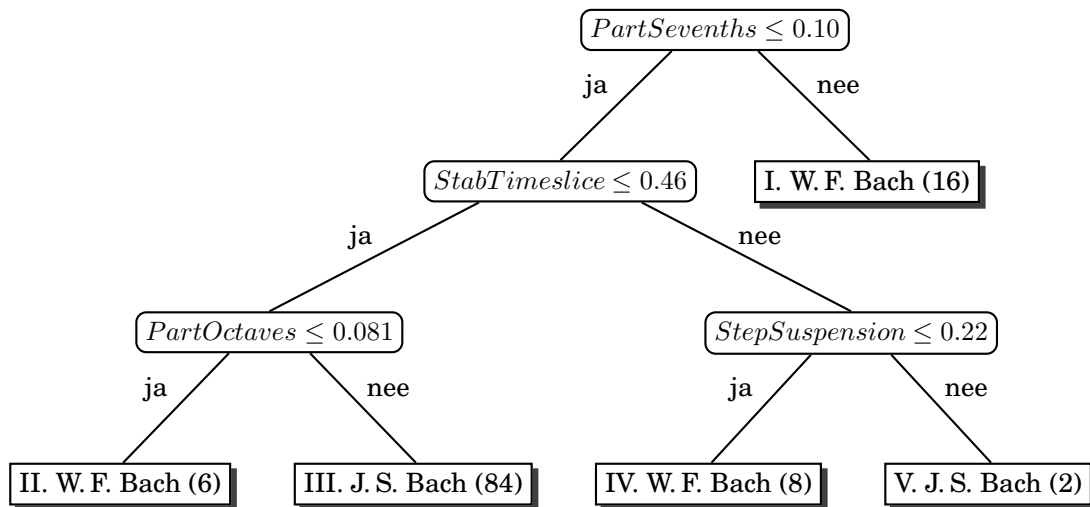
kunnen we dus ook een indruk krijgen welke features belangrijk zijn voor klassificatie. Deze zullen hoger in de boom geplaatst worden. Bovendien wordt elke tak van de boom geheel zelfstandig verder ontwikkeld. Selectie van features heeft geen globale betekenis meer. Dit in tegenstelling tot de selectiemethode die in de vorige paragraaf gebruikt is. Voor het genereren van de bomen kunnen datasets gebruikt worden die niet genormaliseerd zijn. Elke feature wordt immers afzonderlijk beoordeeld.

De boom die door C4.5 gemaakt is om de stijlen van J. S. Bach en J. L. Krebs te scheiden is afgebeeld in figuur 7.3. Deze boom klassificeert slechts één object uit de trainingset verkeerd. We zien dus dat het mogelijk is om met slechts vier features de verschillen tussen deze stijlen goed te beschrijven. Meer dan de helft van de 87 fragmenten van Bach kan al gevonden worden door die fragmenten te selecteren waarin weinig variatie in het ritme gemeten is. Van de overgebleven fragmenten zijn vrijwel alle werken van Krebs te vinden in de deelruimte waarvoor geldt dat het aantal secundes laag is en het aantal parallelle tertsen hoog. We kunnen hier dus uit leren dat de stijl van Krebs gekenmerkt wordt door een grotere ritmische variatie en lager aantal secundes. Vanzelfsprekend heeft deze waarneming alleen betekenis in relatie tot de stijl van J. S. Bach. Vergelijking met werken van andere componisten zal tot andere kenmerken leiden.

De boom die is gemaakt om de werken van J. S. Bach en W. F. Bach te scheiden is afgebeeld in figuur 7.4. Ook in deze boom wordt slechts één fragment verkeerd geklassificeerd. We



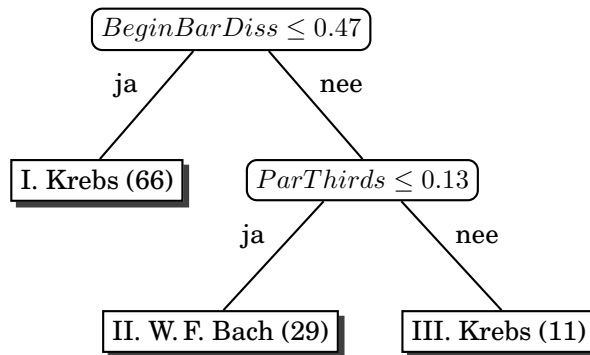
FIGUUR 7.3. Beslisboom J.S. Bach versus J.L. Krebs (30_10 dataset). Tussen haakjes staat aangegeven hoeveel objecten uit de trainingset zich in het betreffende eindblad bevinden. De eindbladeren zijn genummerd.



FIGUUR 7.4. Beslisboom J.S. Bach versus W.F. Bach (30_10 dataset). Tussen haakjes staat aangegeven hoeveel objecten uit de trainingset zich in het betreffende eindblad bevinden. De eindbladeren zijn genummerd.

zien dat het aantal septiemen erg belangrijk is. Dit sluit aan bij de resultaten in de vorige paragraaf, waar deze feature als eerste geselecteerd werd.

De boom, tenslotte, die is gemaakt met de data van W.F. Bach en J.L. Krebs is afgebeeld in figuur 7.5. Deze stijlen zijn goed te scheiden met slechts twee features. Wanneer de composities uit de trainingset geklassificeerd worden met behulp van deze boom, geschiedt dat foutloos.



FIGUUR 7.5. Beslisboom J.L. Krebs versus W.F. Bach (30_10 dataset). Tussen haakjes staat aangegeven hoeveel objecten uit de trainingset zich in het betreffende eindblad bevinden. De eindbladeren zijn genummerd.

Om een indruk te krijgen van de prestaties die beslisbomen als klassificator leveren, zijn foutpercentages geschat op dezelfde manier als eerder voor de kwadratische Bayes klassificator. Met weglating van gehele composities dus, waarbij voor het classificeren van elke compositie een boom geconstrueerd wordt met behulp van de data van de overige composities.

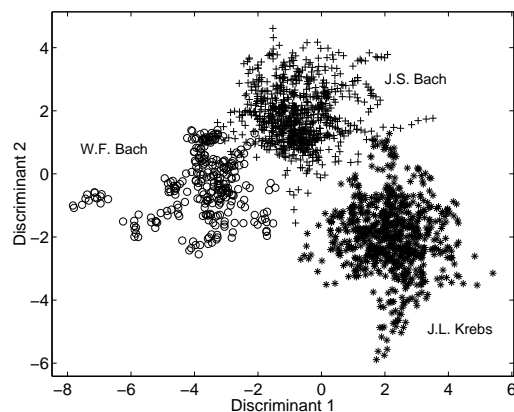
Klassificatie van de werken van J. S. Bach en J. L. Krebs geschiedt met een foutpercentage van 19,5%. Bijna de helft hiervan wordt veroorzaakt door de fuga in f (I, 6) van Krebs. 14 van de 16 fragmenten van deze fuga worden verkeerd geklassificeerd. Ook de fuga in F van Krebs wordt in zijn geheel aan Bach toegewezen. Omdat het slechts twee fragmenten betreft, telt dit echter niet zwaar mee in het totale foutpercentage. Van BWV 538 wordt bijna de helft ten onrechte aan Krebs toegewezen. De fragmenten van de overige composities worden vrijwel alle goed geklassificeerd.

Voor de composities van J. S. Bach en W. F. Bach vinden we een foutpercentage van 25%. De helft van de fragmenten van BWV 538 wordt ten onrechte aan W. F. Bach toegewezen en fk-Add. 211/1 en fk 36 worden vrijwel geheel aan vader Bach toegewezen. De overige composities worden op een enkel fragment na correct geklassificeerd.

Van de composities van J. L. Krebs en W. F. Bach tenslotte wordt 16% van de fragmenten verkeerd geklassificeerd. De twee werken die deze fout grotendeels veroorzaken zijn fk-Add. 211/2 en de B-A-C-H-fuga van Krebs. Uit deze resultaten blijkt duidelijk dat we voorzichtig moeten zijn met het gebruiken van de beslisboom als klassificator. Hoewel veel composities nagenoeg foutloos geklassificeerd worden, zijn er ook enkele composities die voor problemen zorgen. Wanneer we de klassificatie niet kunnen controleren, zoals bij BWV 534, kunnen we er niet zeker van zijn dat deze klassificatie betrouwbaar is. De individuele verschillen tussen de composities uit de test set zijn te groot om daar een uitspraak over te doen.

Gezien de lage foutpercentages van de bomen uit figuren 7.3 tot en met 7.5, moet rekening gehouden worden met overfitting. De testprocedure die we nu toegepast hebben brengt dit aan het licht en behoedt voor misleiding door de aanvankelijk schijnbaar goede resultaten.

7.2.3. Fisher-transformatie. De Fisher-transformatie beeldt de data loodrecht af in een ruimte met ten hoogste $C - 1$ dimensies, waarbij C het aantal klassen in de dataset is. Bij deze transformatie wordt het criterium van Fisher geoptimaliseerd. Dit criterium



FIGUUR 7.6. Scatterplot van de getransformeerde 30_01 dataset. Klassen: J.S. Bach (+), J.L. Krebs (*) en W.F. Bach (o).

houdt in dat na de transformatie de datapunten behorend bij dezelfde klasse zich in de nieuwe ruimte zo dicht mogelijk bij elkaar bevinden, terwijl de afstanden tussen de klassen zo groot mogelijk zijn.⁷ Deze transformatie valt in de categorie feature-extractie. De vectoren die de basis van de nieuwe ruimte vormen, de zogenaamde Fisher-discriminanten, worden gevormd door lineaire combinaties van de features uit de oorspronkelijke dataset.

Transformatie van de gehele dataset resulteert in een twee-dimensionale ruimte, die goed is te visualiseren. De getransformeerde 30_01 dataset is afgebeeld in figuur 7.6. Het is duidelijk te zien dat een projectie van de data gevonden kan worden waarbij de drie klassen zeer goed van elkaar gescheiden zijn. Zelfs BWV 550 wordt grotendeels netjes temidden van de andere Bach-werken geprojecteerd.

In appendix B.2 is een overzicht van scatterplots opgenomen waarin te zien is waar de individuele composities in de getransformeerde ruimte afgebeeld worden. Steeds is de compositie in kwestie niet betrokken geweest bij het maken van de Fisher-transformatie.

De meeste composities van J.S. Bach en J.L. Krebs worden op de ‘juiste’ plaats in de getransformeerde ruimte geprojecteerd. Bij Bach zijn het BWV 535a, 538 en 550 die het meest afwijken van de andere werken. De vroege versie van BWV 535 bevindt zich in het ‘niemandslaan’ tussen Bach en Krebs. Blijkbaar lijkt deze compositie meer op de werken van Krebs dan op Bachs latere werk. BWV 538 blijkt meer op de stijl van W.F. Bach te lijken dan op die van diens vader. Het afwijkende karakter van BWV 550 was al geconstateerd.

Van de werken van Krebs is het alleen de fuga in F die duidelijk afwijkt. Ook dit is in overeenstemming met eerdere bevindingen.

De klasse met de minste samenhang is die van W.F. Bach. Fk 33 wordt zelfs op een zeer afwijkende plaats geprojecteerd. Deze situatie is in overeenstemming met de twijfel die Wollny al uitsprak. We zullen dus voorzichtig moeten zijn met het trekken van conclusies over verschillen of overeenkomsten met de stijl van W.F. Bach.

⁷Webb 2000, 145v.

7.3. Klassificatie van BWV 534

De tot nu toe verkregen resultaten bieden een aantal aanknopingspunten om de fragmenten van BWV 534 te klassificeren. Hierdoor zal blijken met wiens stijl BWV 534 het meest overeenkomt.

7.3.1. J.S. Bach versus W.F. Bach. De vergelijking van BWV 534 met de stijlen van J.S. Bach en W.F. Bach is een test van de hypothese van Pieter Dirksen dat Wilhelm Friedemann Bach de componist van BWV 534 zou zijn. De verschillen tussen de stijlen van vader en zoon Bach die in het voorgaande zijn ontdekt zullen nu gebruikt worden om BWV 534 te klassificeren.

Met de feature subsets die in paragraaf 7.2.1 als optimale subsets gevonden zijn, is een kwadratische Bayes klassificator getraind. Met gebruikmaking van de data van BWV 550, wordt van de 30_10 dataset één fragment van BWV 534.ii als W.F. Bach geklassificeerd, en de overige tien als J.S. Bach. Van de 30_01 dataset worden vijf van de 102 fragmenten als W.F. Bach geklassificeerd. In beide gevallen komen de aan W.F. Bach toegewezen fragmenten ongeveer overeen met de maten 90 tot en met 123. Klassificatie geschiedt op basis van de *posterior probabilities*. Deze geven een indicatie voor de ‘zekerheid’ van de toewijzing. Voor de fragmenten die aan J.S. Bach toegewezen zijn, geldt een waarschijnlijkheid van nagenoeg 1 in alle gevallen. Voor de fragmenten die aan W.F. Bach toegewezen zijn, geldt een typische waarschijnlijkheid van slechts 0.6 voor alle gevallen. Deze bevinden zich dus in een grensgebied tussen de twee stijlen. De toewijzing van deze fragmenten aan W.F. Bach geschiedt dus niet met grote zekerheid. Als de data van BWV 550 buiten beschouwing worden gelaten in de leerfase, worden van de 30_01 dataset 17 van de 102 fragmenten aan W.F. Bach toegewezen en van de 30_10 dataset één van de tien. Deze fragmenten komen ongeveer overeen met de maten 30 tot en met 60. Ook nu geschiedt de klassificatie van de meeste van deze fragmenten niet met grote zekerheid. Voor het ene fragment uit de 30_10 dataset geldt een waarschijnlijkheid van slechts 0.53. Van de fragmenten uit de 30_01 dataset worden de fragmenten die overeenkomen met de maten 28 tot en met 62 met een waarschijnlijkheid groter dan 0.8 aan W.F. Bach toegewezen. Maar zelfs als we bedenken dat voor deze klassificatoren al eerder een fout van rond de 10% is geschat, is de toewijzing van de gehele compositie aan vader Bach nog evident.

De beslisboom uit figuur 7.4 wijst alle fragmenten van BWV 534 aan J.S. Bach toe. Deze boom verschaft van de verschillende methodes die gebruikt zijn het meeste inzicht in de wijze waarop de klassificatie tot stand komt. Alle fragmenten van BWV 534 komen in eindblad III terecht. Daar bevinden zich nagenoeg ook alle andere fragmenten van J.S. Bach. BWV 534 heeft dus niet die specifieke kenmerken die Wilhelm Friedemanns stijl van die van zijn vader onderscheiden.

Een kwadratische Bayes klassificator die getraind is in de ruimte die na de Fisher-transformatie is ontstaan, wijst alle fragmenten van BWV 534.ii aan de klasse J.S. Bach toe. Datzelfde geldt voor een nearest-neighbor klassificator.

We kunnen hieruit concluderen dat BWV 534.ii veel meer op de werken van J.S. Bach lijkt dan op die van W.F. Bach. Op grond van deze bevindingen dient de hypothese van Dirksen dan ook verworpen te worden. Als vader en zoon Bach de enige kandidaten waren, zou op

grond van deze resultaten geconcludeerd moeten worden dat vader Bach de componist van deze fuga is.

7.3.2. J.S. Bach versus J.L. Krebs. Voor een vergelijking van BWV 534 met de stijlen van J.S. Bach en J.L. Krebs zijn dezelfde methoden gebruikt. Een kwadratische Bayes klassificator die zonder de data van BWV 550 getraind wordt in de ruimte die wordt opgespannen door de features uit de optimale deelverzameling die in paragraaf 7.2.1 is gevonden, klassificeert van de 30_10 dataset tien fragmenten van BWV 534 met een waarschijnlijkheid van nagenoeg 1 en één fragment met een waarschijnlijkheid van 0.7 als Krebs. Voor de 30_01 dataset geldt dat vier van de 102 fragmenten aan Bach toegewezen worden en de overige met zeer grote waarschijnlijkheid aan Krebs. Het afwijkende gedeelte komt — wederom — overeen met de maten 90 tot en met 123. Met gebruikmaking van de data van BWV 550, worden van de 30_01 dataset drie fragmenten aan Bach toegewezen en van de 30_10 dataset twee. Nog steeds een ruime meerderheid voor Krebs dus.

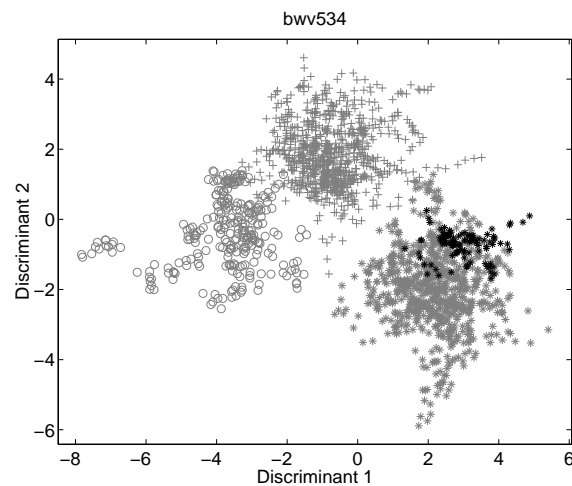
De beslisboom uit figuur 7.3 wijst vijf van de elf fragmenten uit de 30_10 dataset aan Bach toe en de overige zes aan Krebs. De als Bach geklassificeerde fragmenten bevinden zich alle in eindblad VI van de boom. De Bach-fragmenten uit de trainingset die zich in dit eindblad bevinden, zijn nagenoeg alle afkomstig uit BWV 538.ii en BWV 540.ii. Blijkbaar vertoont BWV 534.ii gelijkenis met deze werken voor wat betreft de variatie in het ritme (hoger dan in andere werken van Bach) en het aantal secondes (hoog). Als de subboom met eindbladeren V en VI uit de boom verwijderd wordt, eindigen de fragmenten van BWV 534 op het eerste en het laatste na in eindblad IV (Krebs). Het eerste fragment komt in eindblad III (Krebs) terecht en het laatste in eindblad II (Bach). Nu wordt dus slechts één van de elf fragmenten aan Bach toegewezen en de overige tien aan Krebs. Vrijwel alle fragmenten van BWV 538.ii en de meeste van BWV 540.ii die zich eerst in eindblad VI bevonden, eindigen nu in eindblad II (Bach). Na deze ingreep wordt het verschil tussen BWV 534.ii enerzijds en BWV 538.ii en 540.ii anderzijds dus duidelijk. Er kan geconcludeerd worden dat het grote aantal secondes in BWV 534.ii meer in de richting van Bach wijst, terwijl het hoge aantal parallelle tertsen meer een kenmerk van de stijl van Krebs is.

Als we klassificatoren in de ruimte na Fisher-transformatie trainen, worden alle fragmenten met waarschijnlijkheid van nagenoeg 1 aan Krebs toegewezen. Dit geldt zowel voor een kwadratische Bayes klassificator als voor een nearest neighbor klassificator.

Hoewel de beslisboom enige nuancering verlangt, bieden deze resultaten voldoende houvast om te kunnen stellen dat de stijl van BWV 534.ii meer op die van Krebs dan op die van Bach lijkt.

7.3.3. W.F. Bach versus J.L. Krebs. Tot slot is BWV 534 vergeleken met de stijlen van W.F. Bach en J.L. Krebs. De kwadratische Bayes klassificator met de in paragraaf 7.2.1 gevonden featureset wijst zowel voor de 30_01 als voor de 30_10 dataset alle fragmenten met waarschijnlijkheid 1 aan Krebs toe.

Ook de beslisboom uit figuur 7.5 wijst alle fragmenten uit beide datasets aan Krebs toe. Ze komen alle in eindblad I van de boom terecht. De klassificatie geschiedt dus op basis van het aantal maten dat met een dissonante samenklank begint.



FIGUUR 7.7. Projectie van de data van BWV 534.ii (zwart) in de getransformeerde ruimte. Klassen: J. S. Bach (+), J. L. Krebs (*) en W. F. Bach (o).

Klassificatie na Fisher-transformatie levert dezelfde resultaten op. Alle fragmenten worden met waarschijnlijkheid 1 aan Krebs toegewezen.

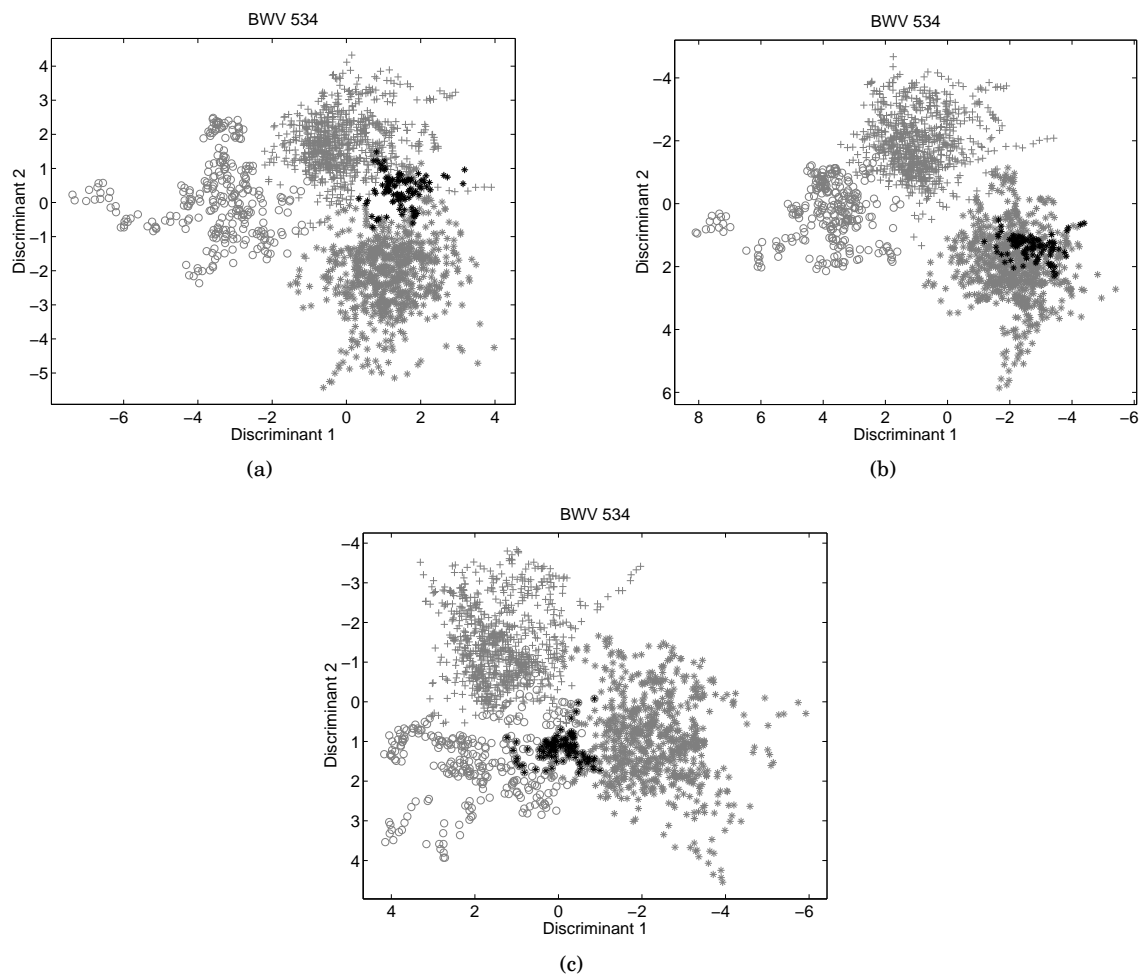
Het is dus duidelijk dat BWV 534.ii niet door Wilhelm Friedemann Bach geschreven is. Als de keuze tussen hem en Krebs zou zijn, dan is Krebs overduidelijk de componist.

7.3.4. Fisher-transformatie. In figuur 7.7 is weergegeven waar BWV 534.ii geprojecteerd wordt in de ruimte die ontstaat na Fisher-transformatie. Zelfs zonder een klassicator te gebruiken is duidelijk te zien dat BWV 534 in het gebied afgebeeld wordt waar zich de composities van Krebs bevinden. Dit is een bevestiging van de toewijzing aan Krebs die in de vorige paragrafen gevonden werd.

7.3.5. Klassificatie met BWV 534 als training object. Tot nu toe is BWV 534 niet gebruikt in de leerfase van de klassificatoren. De reden hiervoor is natuurlijk dat BWV 534 het onbekende werk is dat geklassificeerd moet worden. Wanneer in de training fase de fragmenten van BWV 534 wel gebruikt worden, kan dat aanwijzingen opleveren over de betrouwbaarheid van de hierboven verkregen klassificaties. De fragmenten van BWV 534 moeten dus vooraf voorzien worden van klasse-labels. Als een fragment dan toch aan een andere klasse wordt toegewezen, is dat een sterke aanwijzing dat het niet thuishoort in de klasse waaraan het in eerste instantie was toegewezen.

Ook nu zijn de drie twee-klasse-problemen afzonderlijk onderzocht. Voor de Bayes klassificatoren zijn steeds de in paragraaf 7.2.1 gevonden optimale feature sets gebruikt en wordt geen gebruik gemaakt van de data van BWV 550.

Voor J. S. Bach vs. J. L. Krebs resulteren de volgende klassificaties. Als bij het trainen van een kwadratische Bayes klassificator aan de fragmenten BWV 534 het label “J. S. Bach” meegegeven wordt, wijst de resulterende klassificator 45 van de 102 fragmenten uit de 30_01 dataset toch aan Krebs toe. Het blijkt dus niet mogelijk om met behulp van de beschikbare data een model te construeren waarin BWV 534 duidelijk een Bachwerk is, zelfs niet als we dat per se willen. Het belang van deze aanwijzing wordt nog onderstreept door het feit dat alle andere



FIGUUR 7.8. Projectie van BWV 534 wanneer BWV 534 a-priori aan (a) J.S. Bach, (b) J.L. Krebs en (c) W.F. Bach toegewezen wordt. Klassen: J.S. Bach (+), J.L. Krebs (*) en W.F. Bach (o).

composities op een enkel fragment na wel aan de juiste componist worden toegewezen. Als daarentegen in de training fase aan de fragmenten van BWV 534 het label “J. L. Krebs” wordt gegeven, wordt slechts één van de 102 fragmenten aan Bach toegewezen. Het betreft de maten 92–121. Deze maten zijn al eerder als afwijkend opgevallen. De verkregen resultaten bevestigen de eerder gevonden toewijzing aan Krebs.

Als BWV 534 bij de training aan W. F. Bach toegewezen wordt, resulteert vergelijking tussen de stijlen van vader en zoon Bach in toewijzing van 26 van de 102 fragmenten aan vader Bach. In het omgekeerde geval worden alle fragmenten aan J. S. Bach toegewezen. Gezien het eerder geconstateerde onsamenhangende karakter van de data van Friedemann en de relatief hoge *apparent error* die eerder voor de kwadratische Bayes klassificator gevonden is (12,5%, zie paragraaf 7.2.1), kan aan deze resultaten geen grote betrouwbaarheid toegekend worden. Toch is de voorkeur voor vader Bach als componist van BWV 534 duidelijk.

In het geval van W. F. Bach vs. J. L. Krebs worden bij a-priori toewijzing van BWV 534 aan Friedemann, toch 52 fragmenten aan Krebs toegewezen. Andersom worden alle fragmenten aan Krebs toegewezen. Ook in dit geval worden de reeds gevonden resultaten dus bevestigd.

Tot slot zijn drie Fisher-transformaties gemaakt. Hierbij is BWV 534 a-priori steeds aan respectievelijk één van de drie componisten toegewezen. Scatterplots van de resulterende datasets zijn weergegeven in figuur 7.8. Ook nu is duidelijk te zien dat de toewijzing aan Krebs de minste problemen oplevert.

Conclusies en vervolgonderzoek

8.1. Conclusies

In deze scriptie zijn twee hoofdvragen aan de orde geweest. Ten eerste de vraag of het mogelijk is om met de voorgestelde kwantitatieve benadering persoonlijke stijlen van componisten te onderscheiden. De vraag naar de methode dus. En ten tweede welke uitspraken met behulp van deze methode over de fuga in f (BWV 534.ii) gedaan kunnen worden.

8.1.1. De methode. Er is gepoogd een aantal composities zodanig kwantitatief te representeren dat met behulp van technieken uit de Machine Learning onderscheid gemaakt kan worden tussen de persoonlijke stijlen van de componisten van deze werken. Hiervoor is een aantal stijlkenmerken (features) gemeten. De selectie van deze stijlkenmerken is op basis van een aantal vermoedens tot stand gekomen (zie paragraaf 6.2). Omdat er geen theorie beschikbaar is op grond waarvan kan worden aangenomen dat deze verzameling kenmerken volledig en optimaal is om de persoonlijke stijlen van de betrokken componisten te onderscheiden, moest empirisch blijken of deze stijlkenmerken bruikbaar zijn voor het beoogde doel. Uit de resultaten die in hoofdstuk 7 verkregen zijn, blijkt duidelijk dat deze kenmerken voldoende informatie bieden om de persoonlijke stijlen van Johann Sebastian Bach, Wilhelm Friedemann Bach en Johann Ludwig Krebs van elkaar te onderscheiden.

Zoals uit de geconstrueerde beslisbomen blijkt, is het mogelijk om de verschillen tussen de stijlen van de componisten met slechts enkele kenmerken te beschrijven (paragraaf 7.2.2). Voor het onderscheid tussen J.S. Bach en J.L. Krebs zijn vooral de variatie in het ritme en het aantal parallelle tertsen van belang. Een constant ritme en een laag aantal parallelle tertsen zijn kenmerkend voor Bachs stijl. Voor het onderscheid tussen J.S. Bach en W.F. Bach is ook de variatie in het ritme belangrijk. Daarnaast wijst een groot aantal septiemen op de stijl van Friedemann. Voor het verschil tussen W.F. Bach en J.L. Krebs blijken weer andere kenmerken belangrijk te zijn. In Friedemanns composities begint een relatief groot aantal maten met een dissonante samenklank. Daarnaast is ook hier het aantal parallelle tertsen belangrijk. Krebs lijkt meer parallelle tertsen te schrijven dan Wilhelm Friedemann.

Bij deze resultaten moet goed bedacht worden dat ze enkel met zekerheid gelden voor de werken die zijn gebruikt om de stijlen te modelleren. Hoe meer werken dit zijn, des te aannemelijker wordt de generalisatie van deze bevindingen. Het feit dat weinig werken van J.S. Bach en J.L. Krebs duidelijk van de andere afwijken, geeft aanleiding om te veronderstellen dat de gevonden resultaten ook voor composities gelden die hier niet onderzocht zijn. Uit de Fisher-projecties blijkt dat de werken van Friedemann veel minder onderlinge samenhang vertonen (zie appendix B.2). Dit sluit aan bij de twijfelachtige status die door Peter

Wollny aan deze composities werd verleend.¹ Toch kunnen ook voor Friedemanns stijl kenmerken gevonden worden die in ieder geval alle betrokken composities onderscheiden van de composities van de twee andere componisten.

8.1.2. BWV 534.ii. Het auteurschap van de fuga in f (BWV 534) is met de traditionele methoden niet ondubbelzinnig vast te stellen. In hoofdstuk 2 is gebleken dat er onvoldoende bewijsmateriaal beschikbaar is om op grond van externe aanwijzingen tot een toewijzing te komen. Daarom is naar stilistisch bewijs gezocht. De kracht van de gebruikte methode is hierin gelegen dat steeds uitputtend gebruik gemaakt wordt van alle notentekst die voorhanden is. Dit biedt een betere onderbouwing voor de resulterende observaties dan het exemplarisch bewijs waar men zich bij ‘traditioneel’ onderzoek meestal noodgedwongen toe moet beperken. Met verschillende methoden is gebleken dat de stijl van BWV 534.ii veel meer op die van Johann Ludwig Krebs lijkt dan op die van de Johann Sebastian en Wilhelm Friedemann Bach. De enige classificatiemethode met twijfelachtige uitkomst is de beslissboom die gemaakt is voor de stijlen van J. S. Bach en J. L. Krebs (figuur 7.3). Het hoge aantal secundes in BWV 534 kenmerkt meer de stijl van Bach dan van die Krebs. Het is mogelijk dat dit veroorzaakt wordt door de vijfstemmigheid. Het enige andere vijfstemmige stuk van Krebs dat in de dataset is opgenomen, is de B-A-C-H-fuga. Hierin is het aandeel van de secundes ook groter dan in de andere werken van Krebs.²

In het auteurschapsmodel dat in hoofdstuk 4 is gepresenteerd, wordt rekening gehouden met een distributie van de activiteiten die benodigd zijn voor de totstandkoming van een werk over verschillende actoren. In het geval van BWV 534 hoeven we ons hier niet veel zorgen over te maken. Het is onwaarschijnlijk dat een groot aantal personen invloed heeft uitgeoefend bij het ontstaan van het werk. De enige complicatie zou kunnen zijn dat de compositie in een lessituatie is ontstaan. Voor BWV 534 is niet vast te stellen of dit het geval is.

De classificatoren maken generalisaties op basis van de beschikbare voorbeeld-data. Hierbij wordt dus van het unieke naar het algemene geabstraheerd. Het kan altijd zo zijn dat er een compositie is die niet in het ‘totaalplaatje’ van een componist past, maar wel degelijk door hem geschreven is. We hebben dat gezien met bijvoorbeeld BWV 550 en met de fuga in F van Krebs. Het is natuurlijk mogelijk dat ook BWV 534 zo’n uitzondering is. Daar zullen we echter nooit achter komen met de nu gebruikte methoden. Juist omdat er gegeneraliseerd wordt. Maar als verschillende classificatiemethoden vergelijkbare resultaten opleveren, verhoogt dat de zekerheid van de classificatie. Bovendien zijn de stijlkenmerken die gemeten zijn van zodanige aard dat er een zeer grondige beïnvloeding nodig is om de stijl van een werk zodanig aan te passen dat het overeenkomt met de stijl van een andere componist.

We moeten er ook rekening mee houden dat er een vierde componist in het spel kan zijn wiens stijl meer op die van Krebs dan op die van vader en zoon Bach lijkt. We hebben gezien dat vader Bach als componist aangewezen wordt als slechts tussen Johann Sebastian en Wilhelm

¹Wollny 1993, 228.

²In de 30_01 dataset worden de volgende waardes gevonden voor het aandeel van de secundes (steeds de gemiddelde waarde en de standaard deviatie van alle overeenkomstige fragmenten). In de werken van Bach (zonder BWV 550): 7,37% en 1,41%. In de werken van Krebs (zonder de B-A-C-H-fuga): 4,82% en 0,88%. In de B-A-C-H-fuga van Krebs: 5,77% en 1,52%. In BWV 534: 6,27% en 1,02%. BWV 534 en de B-A-C-H-fuga liggen wat het aantal secundes betreft dus tussen de werken van Krebs en Bach in.

Friedemann gekozen kan worden. Pas als we de composities van Krebs bij de classificatie betrekken, blijkt dat BWV 534 meer op diens stijl lijkt. Ditzelfde zou voor een vierde componist kunnen gelden.

In ieder geval is het op grond van de bevindingen in deze scriptie moeilijk vol te houden dat Johann Sebastian Bach de componist van BWV 534 is. Zelfs als naar die uitkomst wordt toegewerkt, blijkt toewijzing aan Johann Sebastian Bach niet ondubbelzinnig te kunnen geschieden (paragraaf 7.3.5). Van de onderzochte alternatieven komt Johann Ludwig Krebs als meest waarschijnlijke kandidaat uit de bus. Als de gebruikte werken van Wilhelm Friedemann inderdaad van hem zijn, en als deze karakteristiek voor zijn orgeloeuvre zijn, dient de hypothese van Pieter Dirksen dat Wilhelm Friedemann de componist van BWV 534 is, verworpen te worden.

8.2. Vervolgonderzoek

Al met al is het een scriptie geworden die een zeer breed terrein bestrijkt. Er zijn achtergronden uit verschillende disciplines. Naast de muzikwetenschap en de patroonherkenning zijn er ook raakvlakken met de taalwetenschap waarin al ruime ervaring is met sylometry. Deze breedte heeft noodgedwongen een zekere oppervlakkigheid met zich meegebracht — die uitnodigt tot verder onderzoek.

Voor wat betreft het auteurschapsprobleem van BWV 534 zou bij het selecteren van kandidaten dieper op de overlevering van de verschillende (families) bronnen ingegaan moeten worden. Een uitputtende zoektocht zal een meer volledige selectie opleveren. Zoals in hoofdstuk 3 al is aangegeven, is dat echter geen eenvoudige onderneming. Verder is het natuurlijk altijd aan te bevelen om meer werken bij het onderzoek te betrekken. Nog niet alle fuga's van Johann Ludwig Krebs en Johann Sebastian Bach zijn gebruikt.

De nu behaalde resultaten bieden aanknopingspunten voor verder onderzoek naar de verschillen tussen de stijlen van Johann Sebastian Bach en Johann Ludwig Krebs. Hiermee zou ook het auteurschap van andere werken die aan beiden toegeschreven zijn geweest, onderzocht kunnen worden.

Belangrijker is verdere ontwikkeling van de methode. Er zou onderzocht moeten worden of de verzameling gebruikte stijlkenmerken voldoende en volledig is om auteurschapsproblemen als deze op te lossen. Ook zou dieper ingegaan kunnen worden op de informatie die de afzonderlijke stijlkenmerken verschaffen. Dit zou verbonden moeten worden met theorieën over de betekenis van die stijlkenmerken. Het is van belang goed te begrijpen waarom bepaalde stijlkenmerken verschillende karakteristieken vertonen voor verschillende componisten. En ook waarom ze juist die karakteristieke waarden vertonen die ze vertonen. Inzicht hierin kan tot beter begrip van gecomponeerde muziek leiden. Een verkenning van theorieën over stijl uit zowel de muzikwetenschap als uit de taalwetenschap zou vruchtbare aanknopingspunten kunnen bieden voor hypothesen over kwantitatieve aspecten van persoonlijke stijl.

Ook zou het goed zijn om meer zicht te krijgen op de algemene toepasbaarheid van deze methode. Uit de resultaten van deze scriptie kan alleen geconcludeerd worden dat met de gebruikte stijlkenmerken en met de gebruikte classificatie-algoritmen onderscheid gemaakt

kan worden tussen de stijlen van de drie betrokken componisten. Er is geen garantie voor de bruikbaarheid voor andere auteurschapsproblemen. Om het risico op onnodig werk te beperken is het belangrijk om voor een bepaald probleem van te voren in te kunnen schatten wat deze methode zou kunnen betekenen en hoe zij toegepast zou moeten worden. Het ontwikkelen van algemene richtlijnen en het onderzoeken van algemene kenmerken van de kwantitatieve benadering van muzikale stijl is daarom belangrijk.

De stijlkenmerken zijn nu zodanig gedefinieerd dat de gebruikte methode enkel toepasbaar is op polyfone muziek. Uitbreiding van de methode zodat deze ook voor andere muziek gebruikt kan worden is daarom wenselijk.

Er is dus nog genoeg te doen. De in deze scriptie gepresenteerde studie laat zien dat de kwantitatieve modellering van stijl vruchtbaar kan zijn voor het onderscheiden van persoonlijke stijlen van componisten en biedt voldoende aanknopingspunten voor verder onderzoek.



Summary

In this thesis a method for automatic recognition of musical style is investigated. This method is used to evaluate the style of the organ fugue in F minor (BWV 534), which is ascribed to Johann Sebastian Bach (1685–1750). This composition has always been a criticized one. Early Bach investigators (Spitta, Schweitzer), are not very enthusiastic about it. There are some technical and formal weaknesses. Also the sources are not very clear about the origin of this work. The two earliest sources date from the nineteenth century, more than fifty years after Bach's dead. The work was rejected as composition of Johann Sebastian Bach by David Humphreys in 1985.³ His proposal to consider Johann Christian Kittel (1732–1809) the real composer has not found much positive response. There is another hypothesis by Pieter Dirksen.⁴ In his opinion Bach's eldest son, Wilhelm Friedemann (1710–1784), might have composed this fugue. So there is an unresolved authorship dispute.

A short search for more possible composers of BWV 534 results in adding Johann Ludwig Krebs (1713–1780). Krebs was a student of Johann Sebastian Bach. In his compositions for organ he imitates the style of his teacher. The style of BWV 534 is compared with the styles of Johann Sebastian Bach, Wilhelm Friedemann Bach and Johann Ludwig Krebs. This is done using techniques from Machine Learning, in which algorithms are developed to obtain knowledge about a class of objects by learning from examples of that class. These learning algorithms require a representation of the compositions as a series of measurements. Therefore twenty style markers (features) are measured from the compositions. They can be summarized as follows:

Intervals When combining the different voices of a polyphonic composition, the composer has to obey certain constraints. In many of these constraints the vertical distances between the voices are important. This set of style markers measures the amount of some intervals between the different voice-pairs. Systematically all voice-pairs are examined. The total duration of all occurrences of each specific interval is computed and at the end divided by the total duration of all intervals. The intervals are taken modulo one octave. So e.g. a tenth is a third. When the same pitch occurs in more than one voice, it is taken into account once. This is computed for all seconds, all thirds, perfect fourths, augmented fourths, diminished fifths, perfect fifths, all sixths, all sevenths and all octaves.

Parallels It can happen that two intervals of the same size succeed each other. This is called a parallel. For this three style markers the amount of parallel thirds, fourths and sixths is computed in the same way as the previous group of style markers. The total duration of all intervals involved in these parallels is added and divided by the total duration of all intervals in all voice pairs.

³ Humphreys 1985.

⁴ Dirksen 2000.

StepSuspension When a dissonant is sounding between two voices, it often is suspended into a consonant by lowering the lower voice one step. This style marker indicates how many dissonances are suspended this way.

VoiceDensity In a polyphonic composition not all voices are active during the whole composition. This style marker indicates the average number of active voices. This is normalized with the total number of voices. For this, only bars that are strictly polyphonic are taken into account. I.e. bars in which no voice has more than one note and in which more than one voice is active.

DissPart The fraction of the score in which the sonorities are dissonant. Consonants are: perfect primes, minor and major thirds, perfect fourths, perfect fifths and minor and major sixths. A fourth is considered dissonant if it is between the lowest voice and one of the upper voices. All other intervals are considered dissonant. The total duration of dissonant sonorities is divided by the total duration of the composition.

BeginBarDiss The fraction of bars that begins with a dissonant sonority.

SonorityEntropy For this style marker, the concept sonority is used according to the definition of Robert Mason.⁵ In this definition a sonority is a certain type of chord. So e.g. all the major triads are the same sonority, regardless of inversion or pitch. Each sonority has an unique number. For each sonority the total duration of all occurrences in the composition is computed. Then the probabilities of occurrence are estimated using this weighted frequencies. With this probabilities the entropy is computed.

HarmonyEntropy The concept Harmony is also defined by Mason. It is much like sonority, but now difference is made in pitch. So e.g. a F-major triad and a G-major triad are the same sonority but different harmonies. Again the inversion is not taken into account. The value of this style marker is computed the same way as the SonorityEntropy.

PitchEntropy A list of occurrences of all pitches is made. Again the occurrences are weighted by the durations. Of the resulting list, the entropy is computed.

StabTimeslice The “stability” of the length of the successive timeslices. With a timeslice, the time interval between two changes in the music is meant. The stability is computed by dividing the standard deviation of the lengths of the timeslices by the mean length of the timeslices. This normalization is necessary to compare pieces with different time signatures. So, when having a low value, the music is more like a steady stream, while a larger value indicates more diversity in rhythm.

In order to obtain as many measurements as possible, the twenty features are measured not only in entire compositions, but also in parts of compositions. By dividing compositions into (partially overlapping) fragments, a large number of measurements can be obtained from a single composition. The more data is available, the better the learning algorithms are able to construct models of the styles of these compositions.

After measuring these features, each composition — or part of a composition — is represented by a vector of twenty feature values. These vectors are used by the Machine Learning algorithms to construct models of each class of compositions (each personal style). A dataset

⁵ Mason 1985, 21.

is made in which the following fugues of the three composers are incorporated as reference material.

Of Johann Sebastian Bach:⁶

- Fugue G minor (BWV 535a)
- Fugue G minor (BWV 535)
- Fugue D minor (BWV 538)
- Fugue F major (BWV 540)
- Fugue G major (BWV 541)
- Fugue G minor (BWV 542)
- Fugue A minor (BWV 543)
- Fugue C major (BWV 545)
- Fugue C major (BWV 547)
- Fugue G major (BWV 550)

Of Johann Ludwig Krebs:⁷

- Fugue C minor (I, 2)
- Fugue E major (I, 5)
- Fugue F minor (I, 6)
- Fugue G major (I, 8)
- Fugue F major (II, 13)
- Fugue F minor (II, 14)
- Fugue F minor (II, 15)
- Fugue B \flat major (II, 19; B-A-C-H)

Of Wilhelm Friedemann Bach:⁸

- Fugue F major (fk 33)
- Fugue F major (fk 36)
- Fugue G minor (fk 37)
- Fugue C minor (fk-Add. 211/1)
- Fugue B \flat major (fk-Add. 211/2)

It appears that the styles of the three composers can be distinguished from each other using the proposed set of features. The most insightful results are obtained by constructing decision trees from the data. From these trees (which are depicted in figures 7.3, 7.4 and 7.5) we can learn that the style of J. S. Bach differs from that of J. L. Krebs by less rhythmic variation and a lower amount of parallel thirds. The main differences between the styles of father and son Bach are a higher amount of sevenths for Wilhelm Friedemann and (again) less rhythmic variation in the works of Johann Sebastian. The most important differences between Wilhelm Friedemann's and Johann Ludwig's styles are more bars which start with a dissonant sonority in Friedemann's compositions and a higher amount of parallel thirds in Krebs's organ works.

⁶ The identification numbers refer to the Wolfgang Schmieder's catalogue of Bach's compositions (Schmieder 1990).

⁷ The identification numbers refer to the volume and the number of the fugue in the edition of Gerard Weinberger (Weinberger 1985).

⁸ The identification numbers refer to the catalogue of Martin Falck (Falck 1913), with additions of Peter Wollny (Wollny 1993).

Using various classification algorithms, it appears that the measurements from BWV 534 have most in common with those obtained from the works of Johann Ludwig Krebs. If BWV 534 is not an outlier we can conclude that from these three composers, Johann Ludwig Krebs is most likely the author of this composition. The hypothesis of Pieter Dirksen that Wilhelm Friedemann Bach composed BWV 534 should be rejected.

It can be concluded that this method of modeling musical style is very useful for making difference between personal styles of composers. This can be used to dissolve authorship problems. But it can also be used to learn something about those personal styles.

Literatuur

- Allgemeine Deutsche Biographie* (ADB), 55 Bde., Leipzig, 1875–1912.
- Blanchard, H.D., *The Bach Organ Book*, Delaware, Ohio, 1985.
- Blankenburg, W., “Müller, Johann Immanuel”, *Die Musik in Geschichte und Gegenwart, Band 9*, Hrsg. F. Blume, Kassel, 1961, Sp. 857v.
- Breig, W., “Versuch einer Theorie der Bachschen Orgelfuge”, *Die Musikforschung* 48 (1995), 14–52.
- Breig, W., “Formprobleme in Bachs frühen Orgelfugen”, *Bach-Jahrbuch* 78 (1992), 7–21.
- Bullivant, R., *Fugue*, London, 1971.
- Busch, H.J. (Hrsg.), *Johann Schneider, drei Praeludien und Fugen*, Hilversum, 1973.
- Cormen, T.H. e.a., *Introduction to Algorithms*, Cambridge, ¹⁸1997.
- Dame, J.E.J., *Het zingend lichaam – betekenissen van de stem in de westerse vocale muziek*, Kampen, 1994.
- Dickinson, A. E. F., *Bach's Fugal Works*, London, 1956.
- Dirksen, P., “Het auteurschap van Praeludium en fuga in f (BWV 534)”, *Het Orgel* 96 (2000), nr. 5, 5–14.
- Dürr, A. en Y. Kobayashi, *Bach-Werke-Verzeichnis – kleine Ausgabe (BWV^{2a})*, Wiesbaden, 1998.
- Falck, M., *Wilhelm Friedemann Bach – Sein Leben und seine Werke*, Leipzig 1913; unveränderter Neudruck: Lindau/B, 1956.
- Fellerer, K.G., “Kittel, Johann Christian”, *The New Grove Dictionary of Music and Musicians*, ed. S. Sadie and J. Tyrrell, London, 2001, xiii, 642v.
- Forkel, J.N., *Ueber Johann Sebastian Bachs Leben, Kunst und Kunstwerke*, Leipzig, 1802; Faksimile-Druck, Frankfurt am Main, 1950.
- Griepenkerl, F.C., “Vorrede”, in: *Johann Sebastian Bach's Compositionen für die Orgel, Band II*, hrsg. F.C. Griepenkerl und F. Roitzsch, Leipzig, 1844, I–II.
- Hill, R.S., *The Möller Manuscript and the Andreas Bach Book: Two Keyboard Anthologies from the Circle of the Young Johann Sebastian Bach*, Cambridge, 1987.
- Humphreys, D., “Did J. S. Bach Compose the F minor Prelude and Fugue BWV 534?”, *Bach, Handel, Scarlatti – Tercentenary Essays*, P. Williams (ed.), Cambridge, 1985, 173–184.

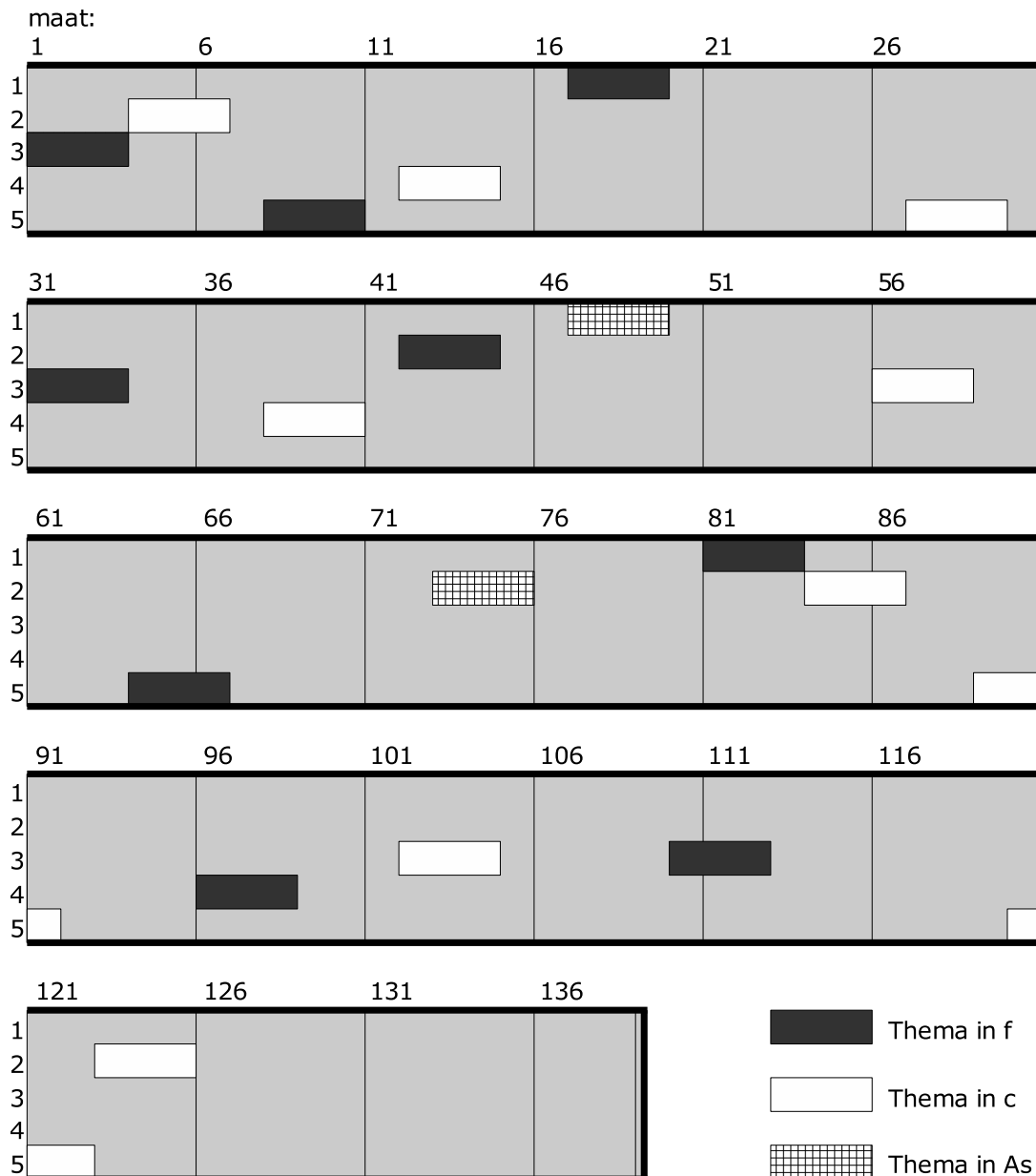
- Jain, A. and D. Zongker, "Feature Selection: Evaluation, Application, and Small Sample Performance", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 19 (1997), 153–158.
- Keller, H., "Unechte Orgelwerke Bachs", *Bach-Jahrbuch* 34 (1937), 59–82.
- Keller, H., *Die Orgelwerke Bachs*, Leipzig, s.a.
- Kilian, D., *Johann Sebastian Bach—Neue Ausgabe sämtlicher Werke—Serie IV, Band 5 und 6, Präludien, Toccaten, Fantasien und Fugen für Orgel—Kritischer Bericht Teilband 1*, Kassel, 1978.
- Kilian, D., *Johann Sebastian Bach—Neue Ausgabe sämtlicher Werke—Serie IV, Band 5 und 6, Präludien, Toccaten, Fantasien und Fugen für Orgel—Kritischer Bericht Teilband 2*, Kassel, 1979.
- Klotz, H., "Bachs Orgeln und seine Orgelmusik", *Die Musikforschung* 3 (1950), 189–203.
- Kobayashi, Y., *Franz Hauser und seine Bach-Handschriftensammlung*, Göttingen, 1973.
- Kranenburg, P. van en E. Backer, "Recognizing Musical Style", C. H. Chen and P. S. P. Wang (eds.), *Handbook of Pattern Recognition and Computer vision*, forthcoming.
- Langley, P., *Elements of Machine Learning*, San Fransisco, 1996.
- Löffler, H., "Die Schüler Joh. Seb. Bachs", *Bach-Jahrbuch* 40 (1953), 5–28.
- Love, H., *Attributing Authorship*, Cambridge, 2002.
- Mason, R.M., *Modern Methods of Music Analysis using Computers*, Peterborough, 1985.
- Matyl, U., *Die Choralbearbeitungen der Schüler Johann Sebastian Bachs*, Kassel, 1996.
- Merriam, T., "Linguistic Computing in the Shadow of Postmodernism", *Literary and Linguistic Computing* 17 (2002), 181–192.
- Meyer, L.B., *Style and Music—Theory, History, and Ideology*, Philadelphia, 1989.
- Quinlan, J., *C4.5: Programs for Machine Learning*, San Mateo, 1993.
- Rudman, J., "The State of Authorship Attribution Studies: Some Problems and Solutions", *Computers and the Humanities* 31 (1997/8), 351–365.
- Rust, W. (Hrsg.), *Joh. Seb. Bach's Orgelwerke—Erster Band*, Leipzig, 1867.
- Schmieder, W., *Thematisch-systematisches Verzeichnis der musikalischen Werke von Johann Sebastian Bach. Bach-Werke-Verzeichnis*, Wiesbaden, 1950.
- Schmieder, W., *Thematisch-systematisches Verzeichnis der musikalischen Werke von Johann Sebastian Bach. Bach-Werke-Verzeichnis—2. überarbeitete und erweiterte Ausgabe*, Wiesbaden, ²1990.
- Schulze, H.-J., *Studien zur Bach-Überlieferung im 18. Jahrhundert*, Leipzig, 1984.
- Schweitzer, A., *J. S. Bach* [herdruk van het gelijknamige boek uit 1908], Wiesbaden, 1955.
- Schützeichel, H., *Albert Schweitzer—Die Orgelwerke Johann Sebastian Bachs—Vorworte zu den "Sämtlichen Orgelwerken"*, Hildesheim, 1995.
- Selfridge-Field, E. (ed.), *Beyond MIDI—The Handbook of Musical Codes*, Cambridge, 1997.

- Shannon, C.E., “A Mathematical Theory of Communication”, *The Bell System Technical Journal* 27 (1948), 379–423, 623–656. Een digitale facsimile kan worden ingezien op: <http://www.eessrl.wustl.edu/~jao/itrj/shannon.pdf> (30 augustus 2004).
- Sietz, R., “Die Orgelcompositionen des Schülerkreises um Johann Sebastian Bach”, *Bach-Jahrbuch* 32 (1935), 34–96.
- Stauffer, G. B., “Reviews of Books”, *The Musical Quarterly* 72 (1986), 272–282.
- Stauffer, G. B., “Fugue Types in Bach’s Free Organ Works”, *J. S. Bach as Organist—His instruments, music, and performance practices*, G.B. Stauffer en E. May (eds.), Londen, 1986, 133–156.
- Spitta, Ph., *Johann Sebastian Bach*, Leipzig, ²1916.
- Stinson, R., *The Bach Manuscripts of Johann Peter Kellner and his Circle*, Durham, 1989.
- Stinson, R., “Vogler, Johann Caspar”, *The New Grove Dictionary of Music and Musicians*, ed. S. Sadie and J. Tyrrell, London, 2001, xxvi, 868.
- Tittel, K., “Welche unter J. S. Bachs Namen geführten Orgelwerke sind Johann Tobias bzw. Johann Ludwig Krebs zuzuschreiben?”, *Bach-Jahrbuch* 52 (1966), 102–137.
- Tittel, K., “Vom ‘einzigen Krebs in meinem Bach’ Johann Ludwig Krebs (1713–1780) als Bachschüler und Orgelkomponist”, *Musik und Kirche* 46 (1976), 172–181.
- Webb, A., *Statistical Pattern Recognition*, Chichester, ²2002.
- Weinberger, G. (Hrsg.), *Johann Ludwig Krebs, Sämtliche Orgelwerke*, IV Bde., Wiesbaden, 1985.
- Williams, P., *The Organ Music of J. S. Bach. I: Preludes, Toccatas, Fantasias, Fugues, Sonatas, Concertos and Miscellaneous Pieces*, Cambridge, 1980.
- Williams, P., *The Organ Music of J. S. Bach. III: A Background*, Cambridge, 1989.
- Williams, P., “BWV 565: A toccata in D minor for organ by J. S. Bach?”, *Early Music* 9 (1981), 330–337.
- Witten, I.H. and Frank, E., *Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques with JAVA Implementations*, San Francisco, 1999.
- Wollny, P., *Studies in the music of Wilhelm Friedemann Bach: Sources and style*, Cambridge, 1993.

BIJLAGE A

Overzicht van BWV 534.ii

A.1. De thema-inzetten in BWV 534.ii



A.2. De harmonisaties van het thema

A.2.1. Thema-inzetten op de eerste trap.



mt.

8	f	i	ii	i ⁶	(vii ^o)→	V	ii ⁶	vii ^{o4} ⁶	i ⁶	vii ^{o6}	IV ⁶⁴		
17	f	i	vii ^{o6}	i	(vii ^{o2}) ↘ V	(V ⁶)→	IV	(vii ^{o7})→	V	i ⁶			
30	f	i	iv ⁶	ii ⁶	V	i	i ²	(vii ^{o6} V ⁷)→	V	V ⁷	i ⁶	V ²	i ⁶
42	f	i	V ⁶	i	(vii ^{o2})→	V ⁶	ii	(vii ^{o5})→	V	i			
64	f	i	vii ^{o6}	i ⁶	(vii ^{o7})→	V	V ²	i ⁶	ii	i			
81	f	i ⁶	V ⁴ ₃	i	(vii ^{o5})→	V	vi	i ⁶	V ²	i ⁶			
96	f	i	(vii ^o)→	III	(vii ^{o7})→	[V]	V ²	*	ii	i			
110	f	i	VII	* V	i	i ⁶	(vii ^o)→	v	V ⁷	VI	(iii ⁶)→	V	

A.2.2. Thema-inzetten op de derde trap.



mt.

47	A ^b	I	vi	ii ⁷	V	I (V)→	(V V ⁷)→	V	V ⁷	I ⁶	V	I
73	A ^b	I	V ⁶	I	(V V ⁷)→	V	V ⁷	vi ⁷	V ⁶	[I]		

A.2.3. Thema-inzetten op de vijfde trap.



mt.

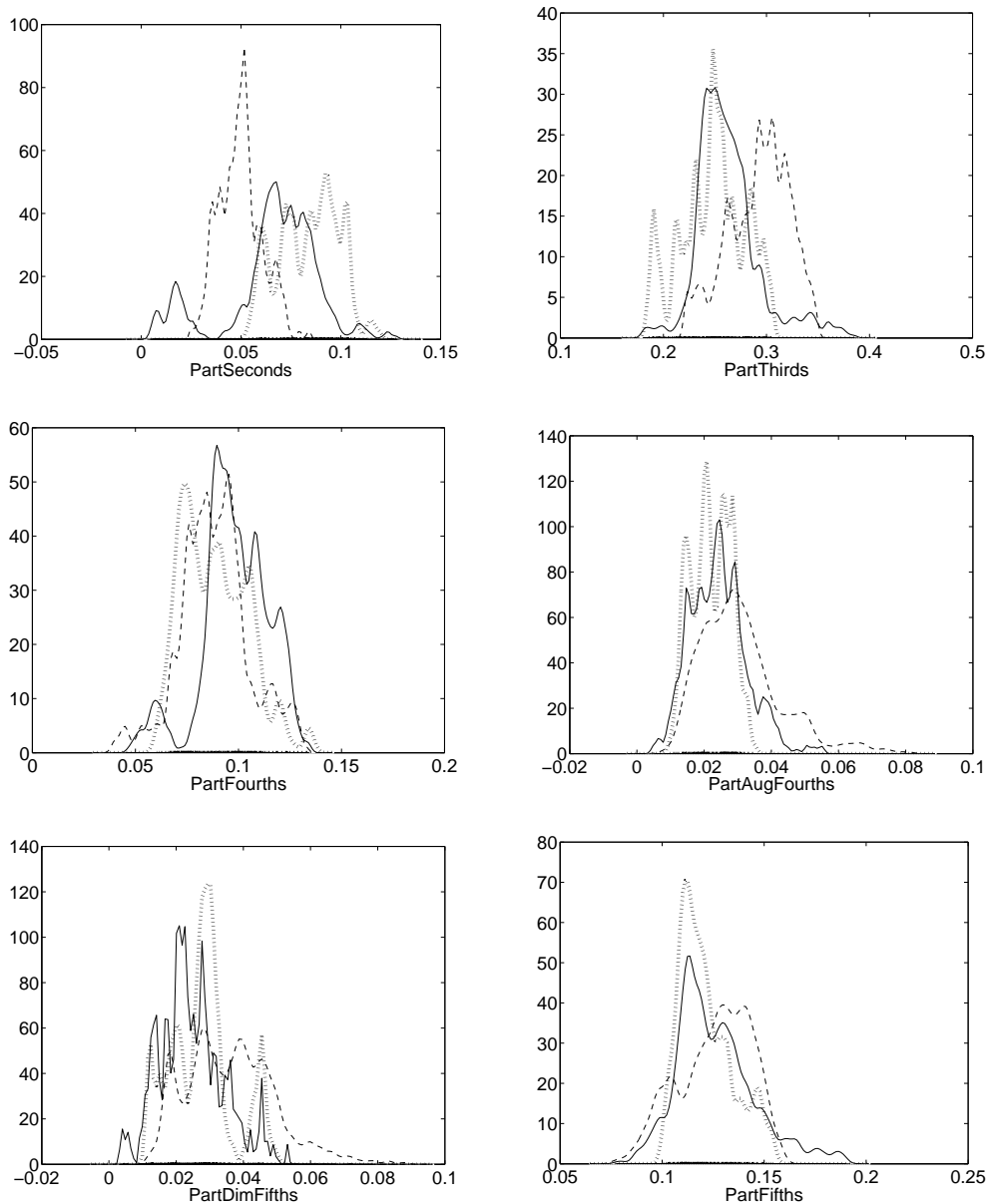
4	c	IV	II ⁶	V	i	(vii ^{o6})→	ii ⁶		vii	i				
12	c	I	vii ^{o2}	i ⁶	(vii ⁶)↘	V	i ⁶	V ⁷	i ⁶	V ⁷	i			
27	c	i	V ⁴ ₃	i ⁶	(vii ^{o7})→	V	*	III	vii ^{o6}	i				
38	c	iv	iv ²	V ⁷	i	i ⁷	(vii ^{o6})→	V	iv ⁶	iv ⁷	V	i		
56	c	iv	*	V ⁶	V	i	(vii ^{o6})→	V	V ⁷	vi ^{↑φ2}	V	i		
84	c	iv ⁶	(V ⁶ ₅)→	(III) ⁶	→V ⁷	i	(V	V ⁷)→	V ⁴ ₃	vii ^{o5}	i	vii ^{o7}	i	
89	c	i	(V ⁷)↘	ii ^o	III	(vii ^o)→	V	vii ^{o4}	i ⁶	vii ^{o6}	i			
				↘										
102	c	iv	(V ²)→	(III ⁶)→	V	i	i ²	(vii ^{o6}	V)→	V	V ⁶ ₅	III ⁶ ₄	V ⁷	[iv ⁶]
120	c	i	V ⁴ ₃	i ⁶	(vii ^φ)→	[V]	V ²	i ⁶	vii ^{o6}	i				
123	c	i	i ⁷	vii ²	i	V ⁴ ₃	(vii ^{o2}	vii ^{o4} ₃)→	V	V ⁷	i ⁶	V ²	i ⁶	

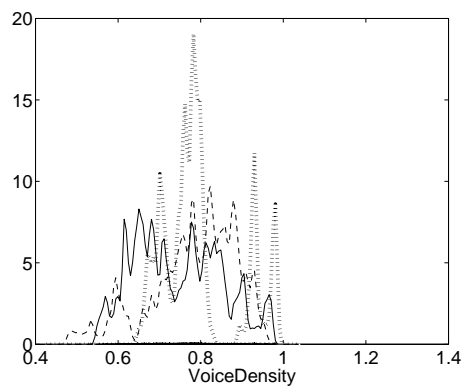
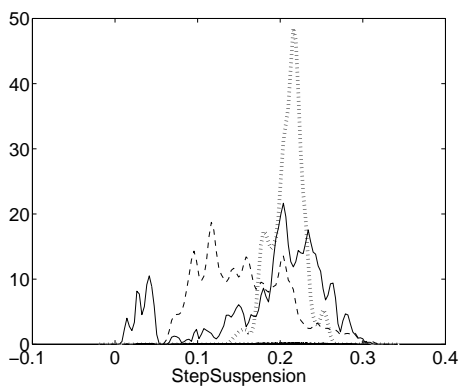
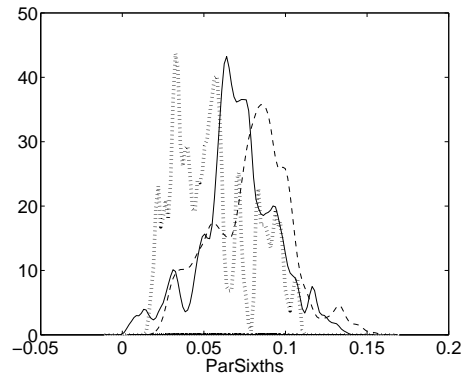
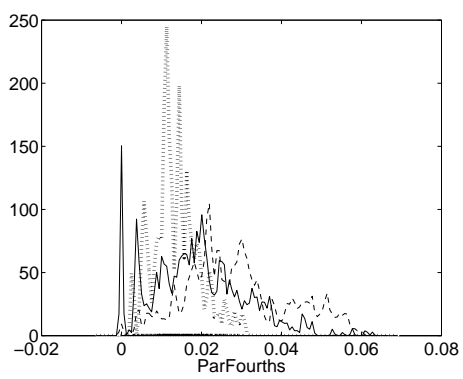
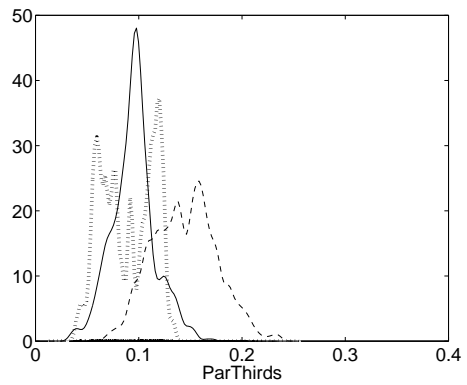
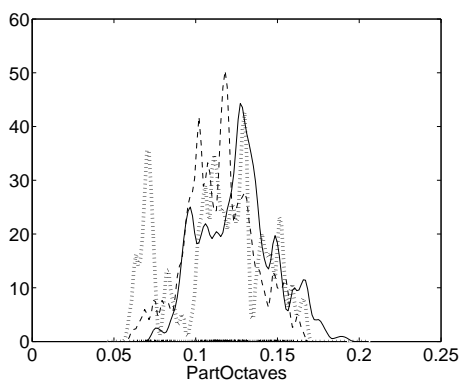
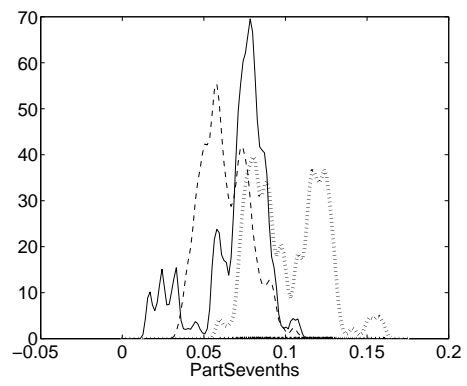
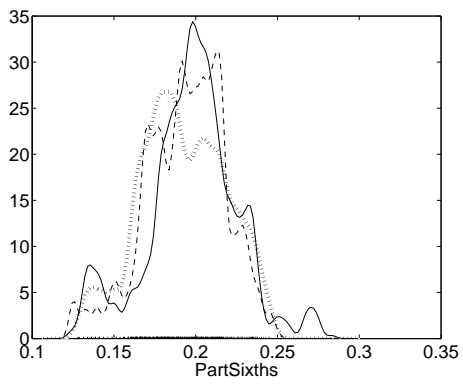
BIJLAGE B

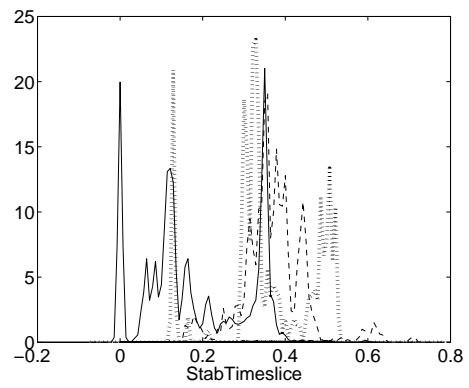
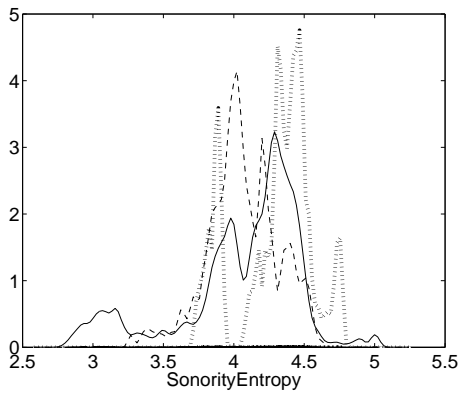
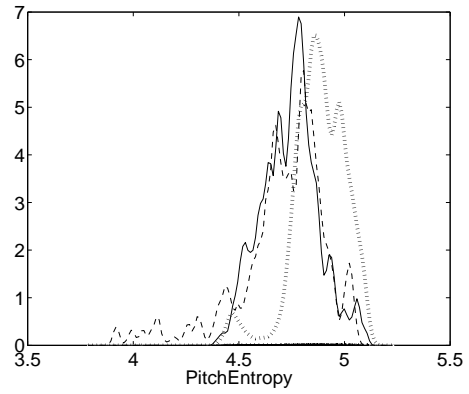
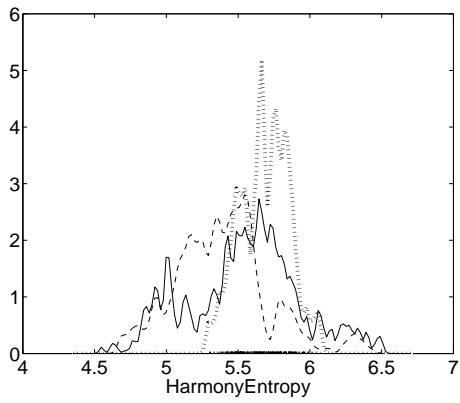
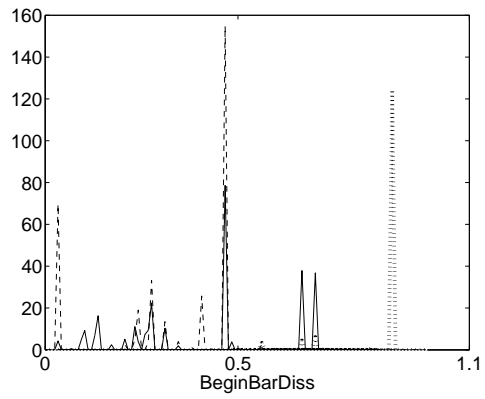
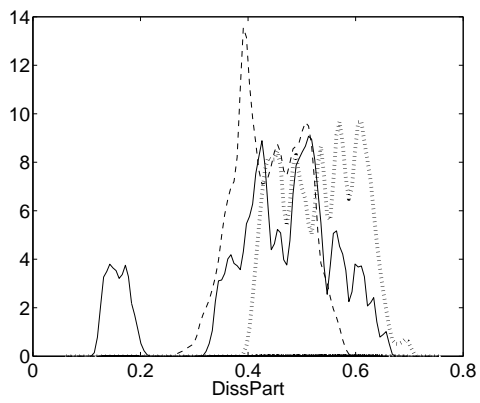
Overzichten

B.1. Verdelingen van de feature-waarden

Hieronder staan de geschatte verdelingen van de feature-waarden. Deze zijn berekend met een 30_01 dataset. De lijn-typen zijn als volgt gekozen. J. S. Bach: doorgetrokken, J. L. Krebs: gestreept, W. F. Bach: gestippeld.

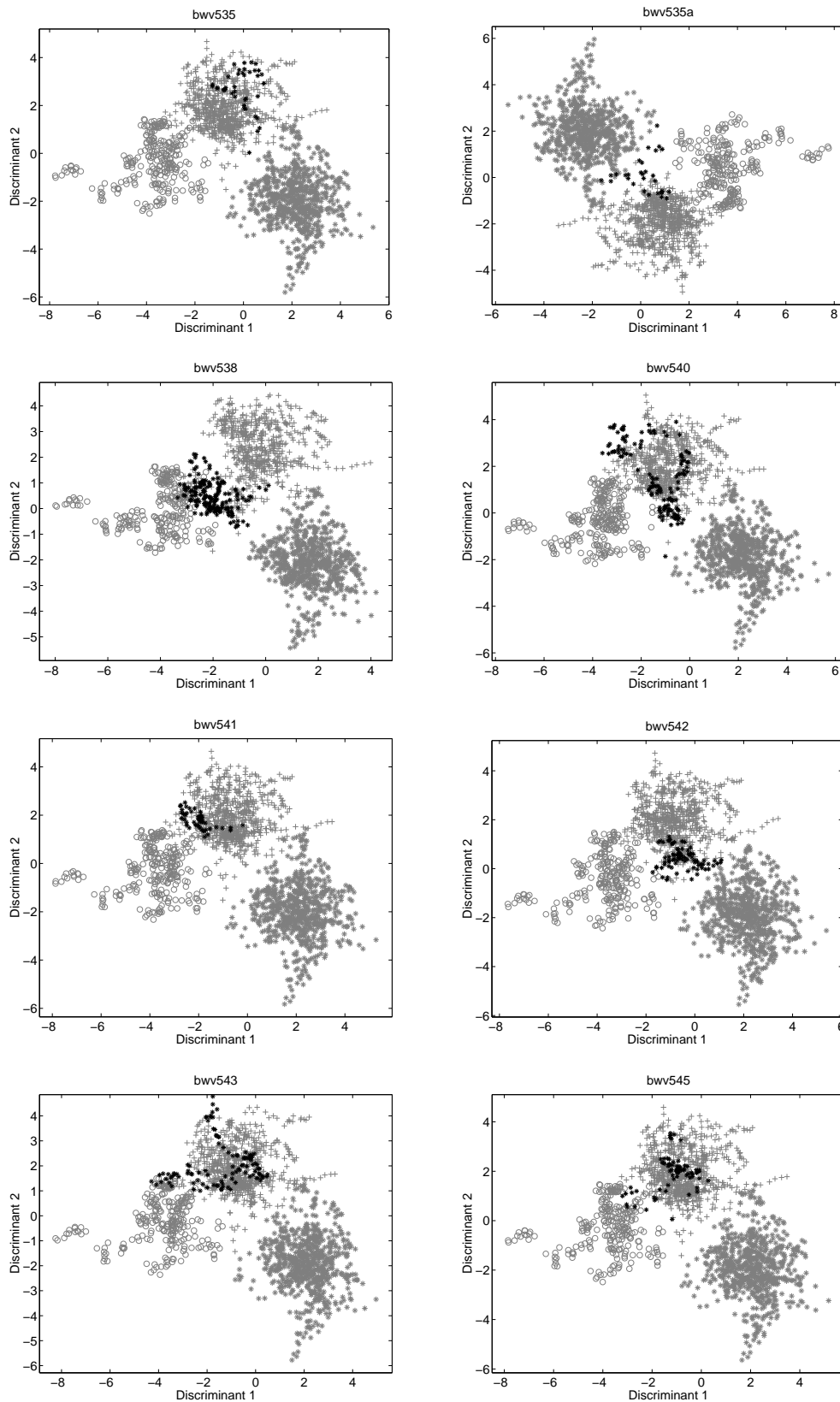


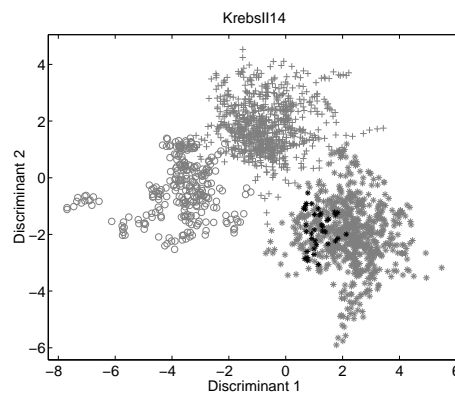
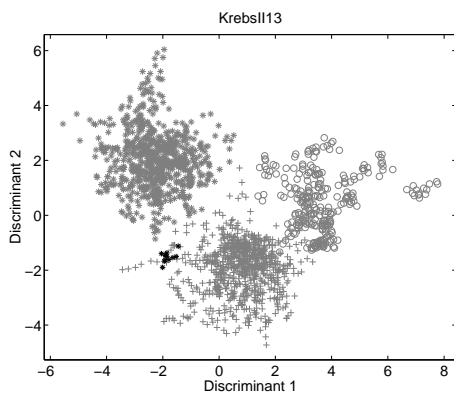
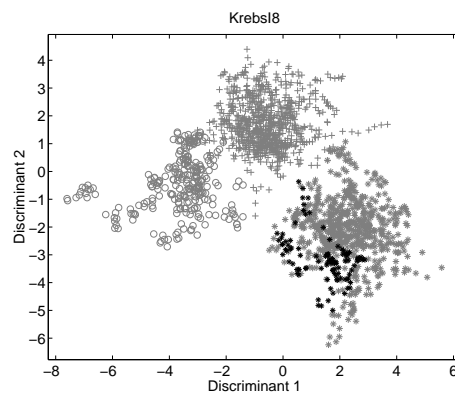
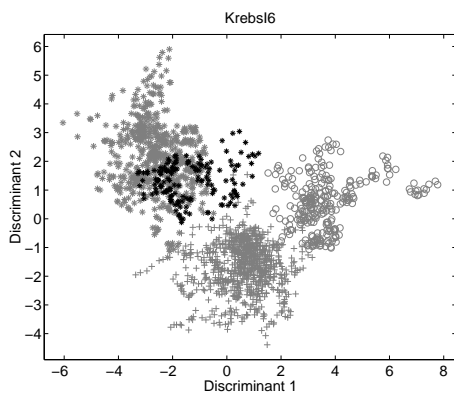
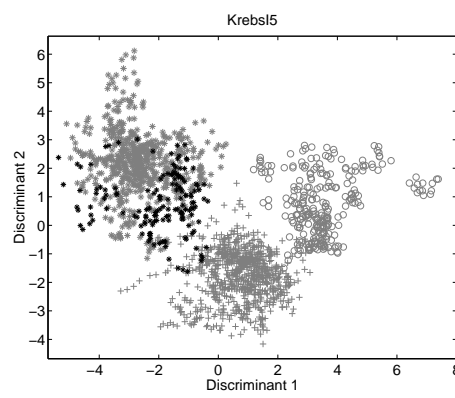
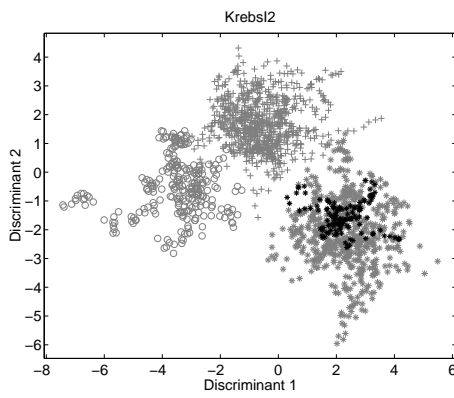
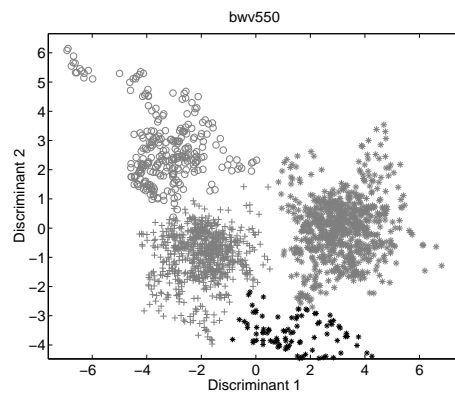
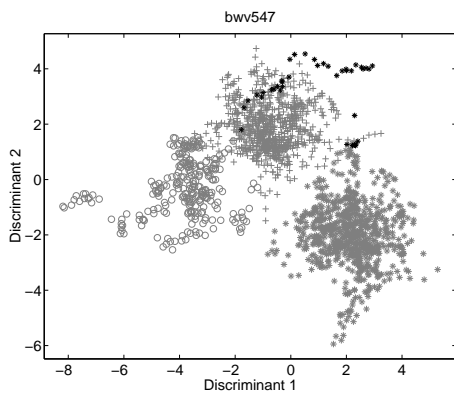


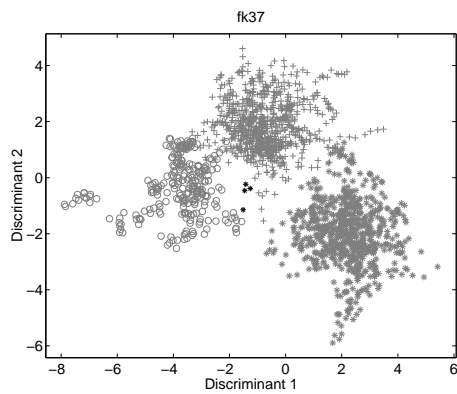
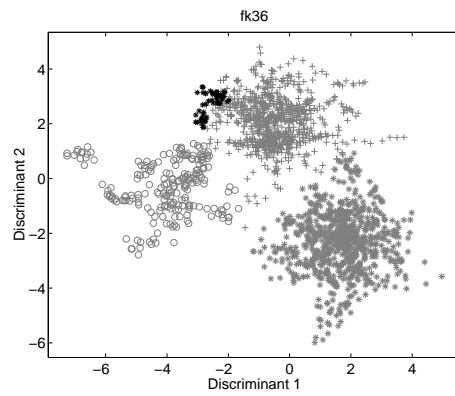
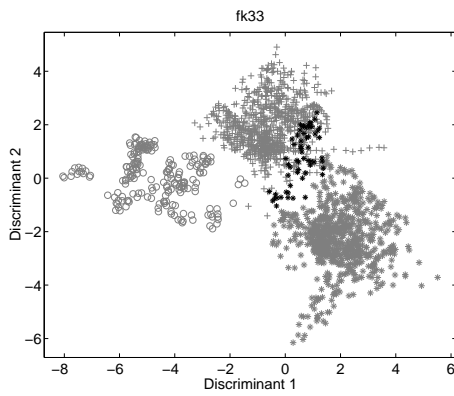
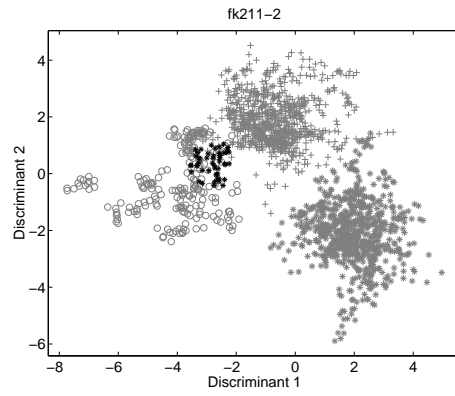
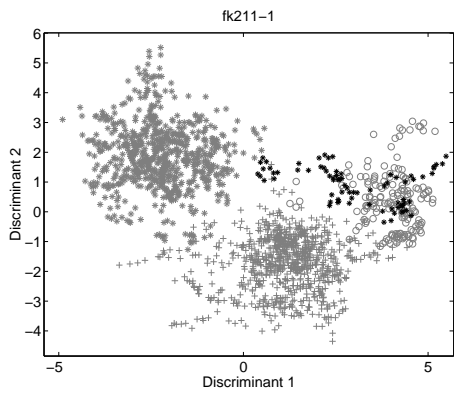
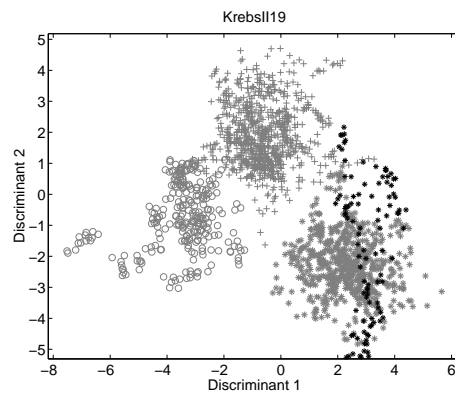
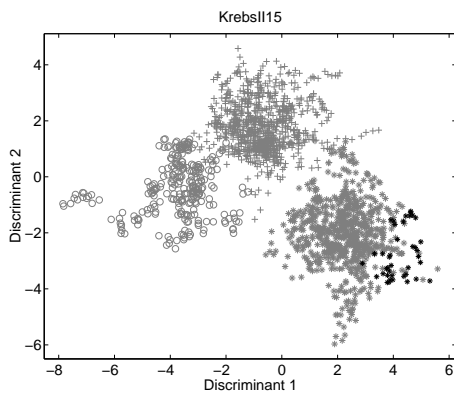


B.2. De afzonderlijke composities in de getransformeerde ruimtes

Klassen in grijs: J. S. Bach (+), J. L. Krebs (*), en W. F. Bach (o).







BIJLAGE C

Begrippenlijst

In de onderstaande opsomming worden enkele gebruikte begrippen uit de patroonherkenning toegelicht. De eerste maal dat één van deze begrippen in de lopende tekst wordt gebruikt, is deze cursief weergegeven.

Apparent error De fout die een klassificator maakt op de verzameling objecten waarmee hij getraind is. Dit is een zeer optimistische benadering van de *true error*.

Bayes-klassificator Klassificator die de verdelingen van de data per klasse modelleert als gaussische verdelingen. Klassificatie van een onbekend object wordt verkregen door toepassing van de regel van Bayes. Het onbekende object wordt toegewezen aan die klasse waarvan de (gewogen) kansdichtheid het grootst is in het punt waar het onbekende object terecht komt. De kansdichtheid van een bepaalde klasse gegeven een bepaald object kan met behulp van de regel van Bayes verkregen worden uit de kansdichtheid van een bepaald object gegeven een bepaalde klasse. En deze laatste kan geschat worden met de beschikbare data. Een lineaire Bayes klassificator veronderstelt gelijke *covariantiematrices* voor alle klassen, terwijl een kwadratische Bayes klassificator dat niet doet.

Correlatie De mate waarin een lineair verband tussen verschillende variabelen bestaat. Deze waarde wordt berekend door de covariantie zodanig te normeren dat een waarde tussen 0 en 1 resulteert.

Covariantie Maat voor de lineaire samenhang in de verandering van twee random variabelen (bijvoorbeeld twee features).

Covariantiematrix Een matrix waarin de covarianties tussen alle features opgenomen zijn. Op positie (i, j) staat de covariantie tussen feature i en feature j . De matrix is dus symmetrisch.

Cross validation Dit is een procedure om de fout van een bepaalde klassificator te schatten. De beschikbare objecten worden in n deelverzamelingen opgedeeld. Achtereenvolgens wordt steeds één van deze deelverzamelingen apart gehouden terwijl op de overige $n - 1$ een klassificator getraind wordt. Deze klassificator wordt dan getest met de objecten in de apart gehouden deelverzameling. De uiteindelijke fout is het percentage objecten dat in de testfasen verkeerd geklassificeerd wordt. Wanneer de deelverzamelingen grootte 1 hebben, spreken we van de leave-one-out error.

Dichtheid Zie verdeling.

Distributie Zie verdeling.

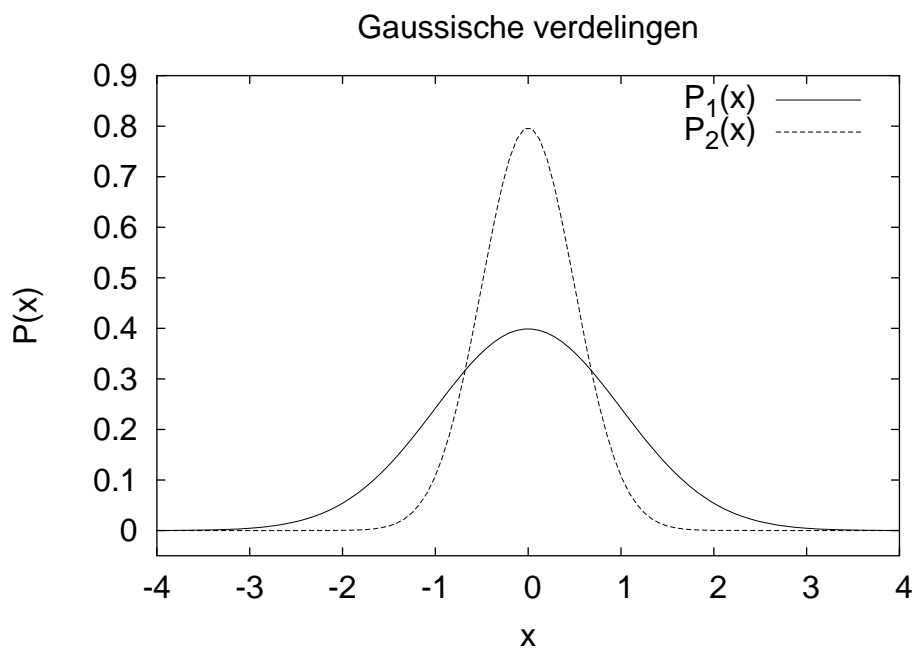
Feature Een bepaald kenmerk van een object.

Feature-extractie Verkrijging van nieuwe features door combinatie van de beschikbare features.

Feature-selectie Verkrijging van een optimale deelverzameling van features. Wat optimaal is, wordt bepaald door een criterium. Er kunnen vele criteria gebruikt worden.

Feature space De ruimte die wordt opgespannen door de verschillende features. (ook Feature-ruimte)

Gaussische verdeling Ook: normale verdeling. Bij deze verdeling zijn de waarden ‘klokvormig’ rond een gemiddelde waarde verdeeld. De verdeling wordt door twee parameters bepaald: de gemiddelde waarde μ en de standaard deviatie σ . Deze laatste parameter is een maat voor de gemiddelde afwijking van de gemiddelde waarde. Zie figuur C.1 voor voorbeelden.



FIGUUR C.1. Gaussische verdelingen. P_1 : $\mu = 0$ en $\sigma = 1$, P_2 : $\mu = 0$ en $\sigma = 0.5$.

Klassificator Algoritme dat na training in staat is een onbekend object in te delen in één van de klassen uit de verzameling objecten waar de klassificator mee getraind is.

Leave-one-out Methode voor het schatten van de fout die een bepaalde klassificator maakt door steeds één object apart te houden, de klassificator op de andere te trainen en vervolgens het apart gehouden object te klassificeren. Dit wordt voor alle objecten in de dataset gedaan. Het aantal fout geklassificeerde objecten is een indicatie voor de true error van de klassificator.

Object Eén specifiek exemplaar van een bepaalde klasse gerepresenteerd door een verzameling feature-waarden. Een object kan gerepresenteerd worden als een vector in de feature-ruimte.

Overfitting Het model dat in de leerfase verkregen wordt, beschrijft de kenmerken van de specifieke verzameling training objecten beter dan de algemene kenmerken van de klassen die zij representeren. Een remedie is meestal het kiezen van een minder complex model.

- Posterior probabilities** De kansdichtheden die een getrainde klassificator (impliciet of expliciet) hanteert voor de verschillende klassen. Deze zijn verkregen door generalisatie op basis van de objecten waarmee de klassificator getraind is. Als een onbekend object geklassificeerd wordt, wordt deze toegewezen aan de klasse waarvan de posterior probability in het punt in de feature-ruimte waar het onbekende object zich bevindt, het grootst is.
- Scatterplot** Grafische weergave van de feature-ruimte met daarin de objecten. Meestal twee-dimensionaal.
- Training set** Verzameling objecten die gebruikt wordt om een klassificator te trainen. De ‘voorbeelden’ van een bepaalde klasse.
- Test set** Verzameling objecten die gebruikt wordt om een getrainde klassificator te testen.
- True error** De fout die de klassificator maakt op oneindig veel objecten die allen afkomstig zijn uit de ‘echte’ verdeling van de betrokken klassen. Deze fout kan alleen geschat worden.
- Verdeling** De wijze waarop de waarde van een bepaalde variabele verdeeld is over alle mogelijk waarden die de variabele theoretisch aan zou kunnen nemen. Als meerdere variabelen betrokken zijn, gaat het om de wijze waarop de data verdeeld is over de ruimte die opgespannen wordt door deze variabelen.