

It's not a Bug, it's a Feature: Formanten als Timbre Deskriptoren und ihr Einsatz im Formantenfeld 2.0

Christoph Reuter¹, Saleh Siddiq¹, Isabella Czedik-Eysenberg¹, Michael Oehler²

¹ Institut für Musikwissenschaft der Universität Wien

² Institut für Musikwissenschaft der Universität Osnabrück

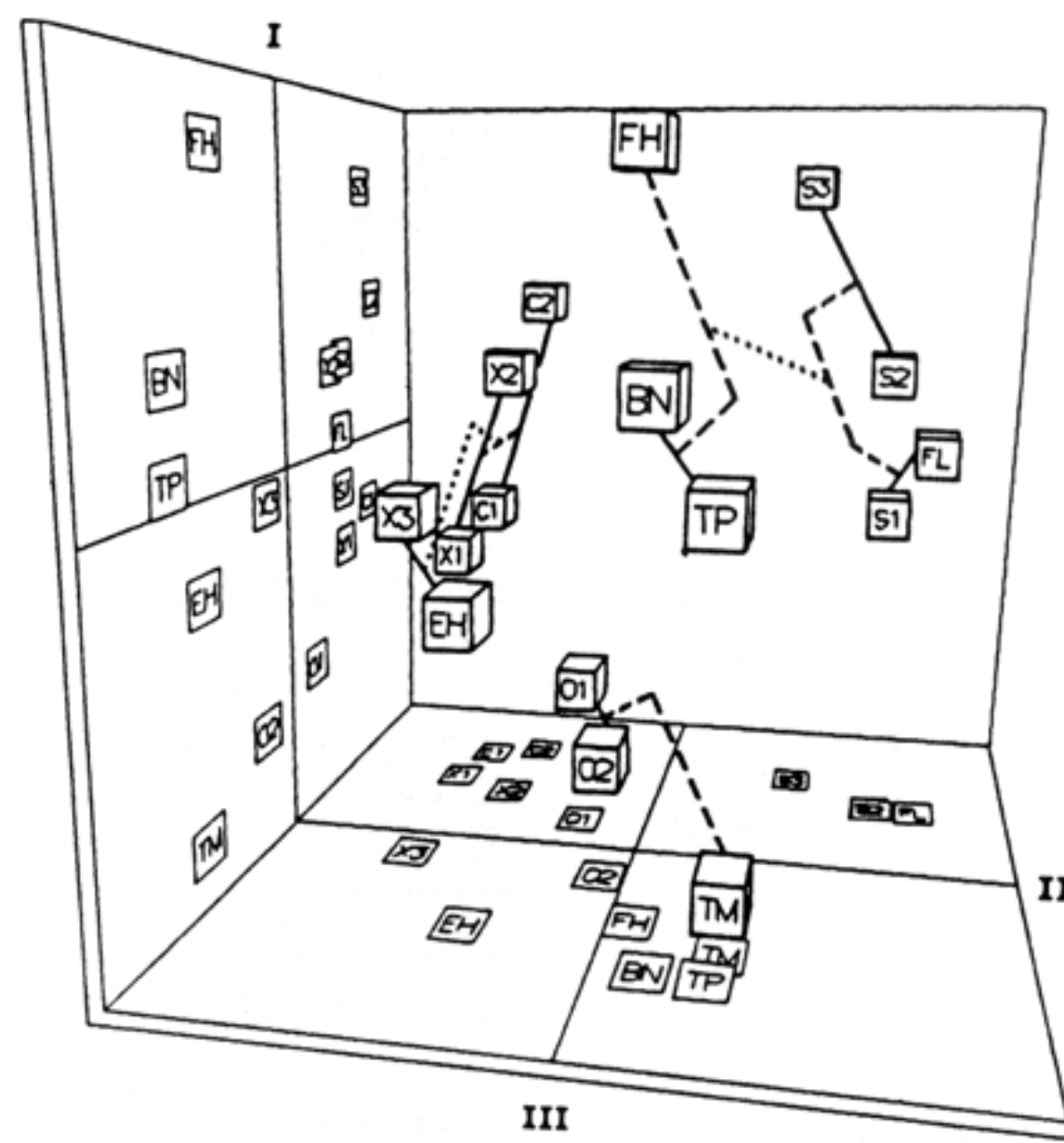
Populäre Methoden der Klangfarbenbeschreibung

In den letzten 50 Jahren haben sich besonders drei Arten der **Klangfarbenbeschreibung** etablieren können:

Timbre Spaces

Erster bekannter **Timbre Space**, in dem die **Ähnlichkeiten von Klangfarben** entlang dreier Raumdimensionen aufgetragen sind: (seit Grey 1975)

- **I**: spektrale Energieverteilung
- **II**: Einschwingvorgang und Synchronität der höheren Teiltöne dort
- **III**: Fluktuationen und Inharmonizität



Timbre Space - Klangfarbenähnlichkeitsraum (Grey 1975, S. 62)

Ein Vergleich der drei bisher **populärsten Timbre Spaces** in einem **Meta Timbre Space** ergab jedoch, dass Klangfarben **desselben Stimuli-Sets** untereinander **ähnlicher** waren als die Klangfarben desselben Instruments: Timbre Spaces sind zur Klangfarbenbeschreibung **nur bedingt geeignet**, da **weder untereinander vergleichbar noch verallgemeinerbar** (Siddiq et al. 2018).

Mel Frequency Cepstral Coefficients (MFCC)

Ursprünglich eine Berechnungsmethode zur **automatischen Sprechererkennung** bzw. **Sprachähnlichkeitsbewertung** (seit Davis & Mermelstein 1980)

- **Pro**: gut geeignet zur **Berechnung von Ähnlichkeiten** bei Sprache/Musik/ Instrumentalklangfarben
- **Contra**: Wenig intuitiv, numerische Ausgabe **schwer zu interpretieren**.

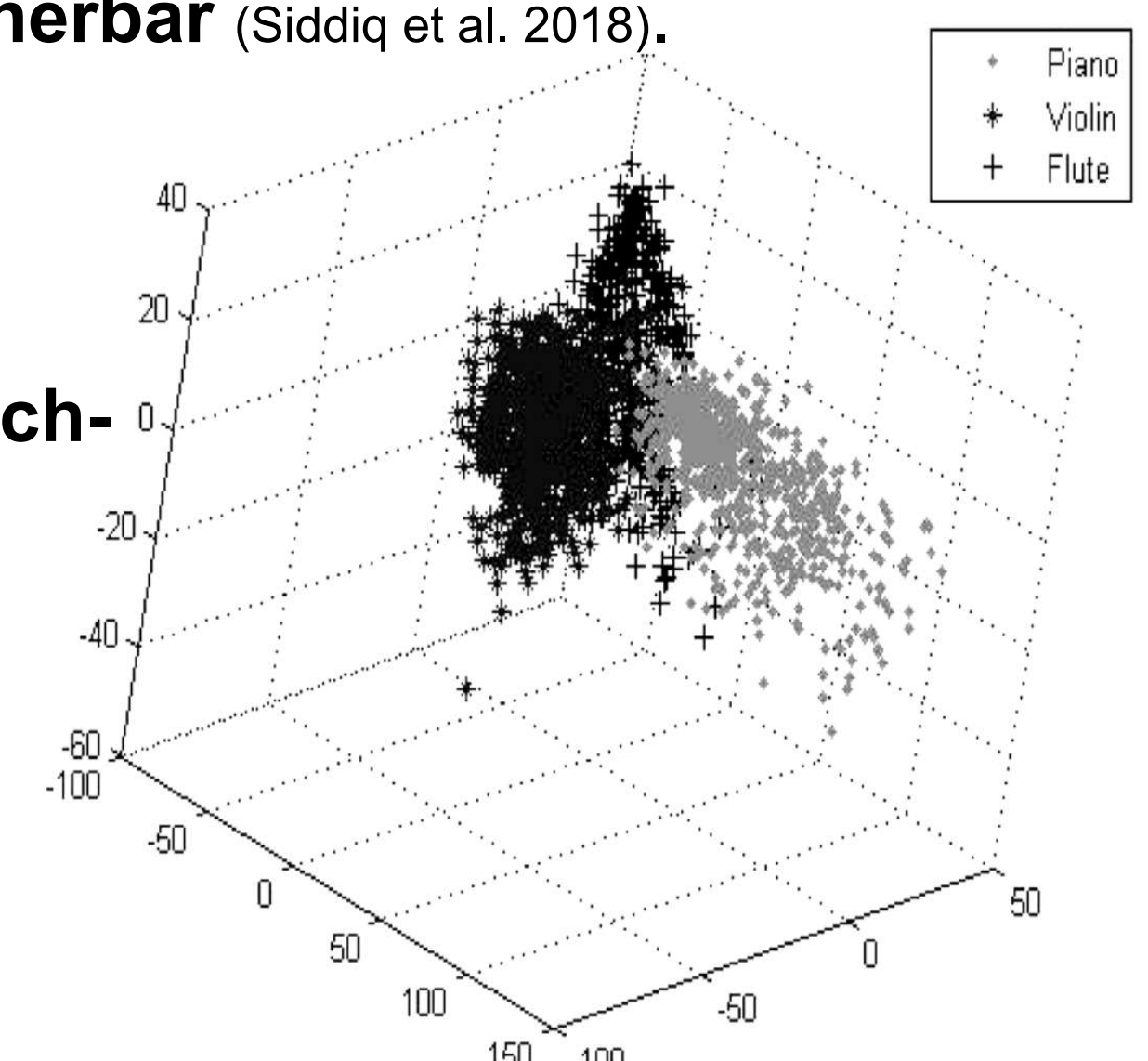
MFCCs sind **Standard-Features**, wenn es um Berechnung von Klangähnlichkeit geht.

Formanten

Tonhöhenunabhängige stabile Maxima im Spektrum von Instrumentenklängen, die - wie Vokalformanten - **klangprägend** wirken. (seit Schumann 1929)

Im deutschsprachigen Bereich werden Formanten häufig verwendet, um den **Klang von Musikinstrumenten** anhand ihres **Vokalcharakters** zu beschreiben.

Ähnliche **Formantbereiche** führen zu ähnlichen **Klangfarbenempfindungen**. Instrumente mit ähnlichen Formantbereichen verschmelzen klanglich besser als Instrumente mit unterschiedlichen Formantbereichen.



Automatische Klangfarbentrennung im MFCC-Space (Loughran et al. 2008, S. 3)

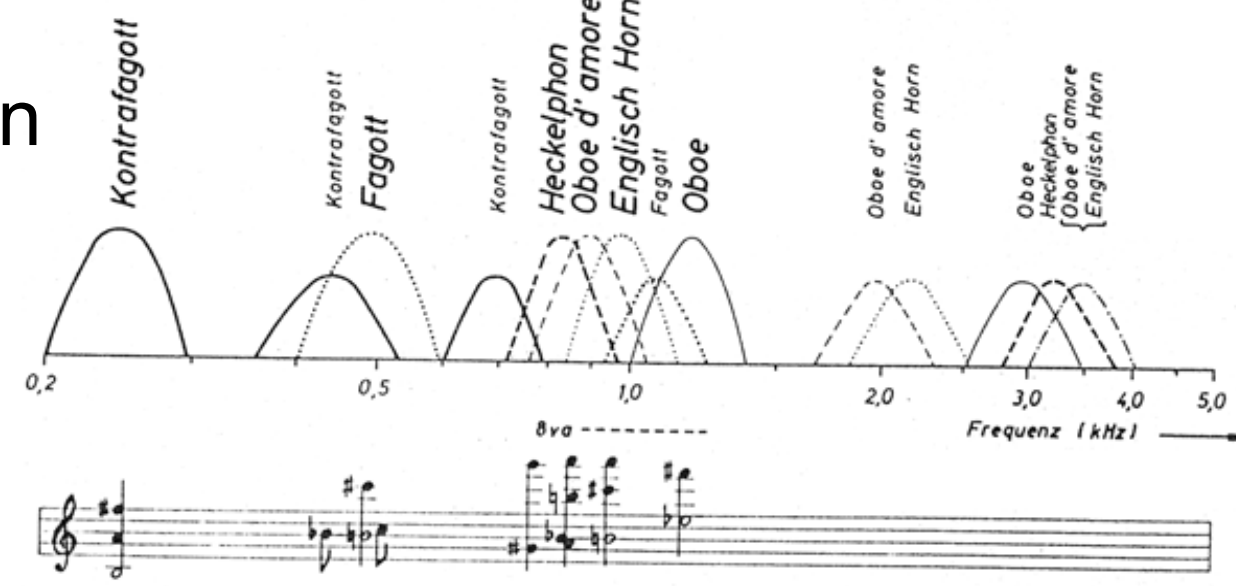
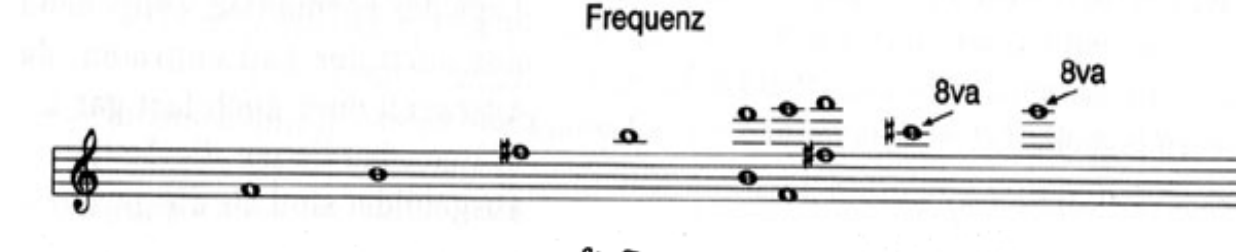
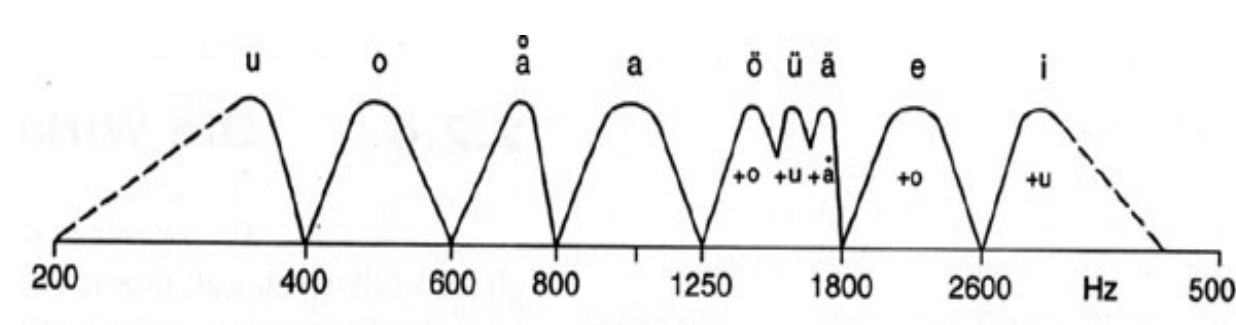


Abb. 6 Frequenzlage der Formanten für die Doppelrohrblattinstrumente, zusammengestellt nach Angaben von E. Meyer und G. Buchmann [3] (Oboen und Englisch Horn) und eigenen Messungen des Verf. (Fagotte [1] und Heckelphön)

Vokalformanten und ihre Frequenzbereiche (oben) Formanten von Doppelrohrblattinstrumenten (unten) (Meyer 2015, S. 33 und 63)

Formantanalyse in den gängigen Signalanalyse-Libraries?

Warum gibt es so gut wie keine Formantanalyse in Libraries zur Signalanalyse musikalischer Klänge?

In den gängigen Libraries zur musikalischen Signalanalyse **fehlen** Berechnungsmöglichkeiten für Formanten völlig (z.B. in **MIRToolbox** (Lartillot, Toivianen 2007), **Timbre Toolbox** (Peeters et al. 2011), **Essentia** (Bogdanov et al. 2013), **Yaaf** (2013), **Meyda** (Rawlinson 2014), **LibROSA** (McFee et al. 2015), **JS-tract** (Jillings 2016), **Aubio** (2017), **MiningSuite** (Lartillot 2019))

Mögliche **Gründe**:

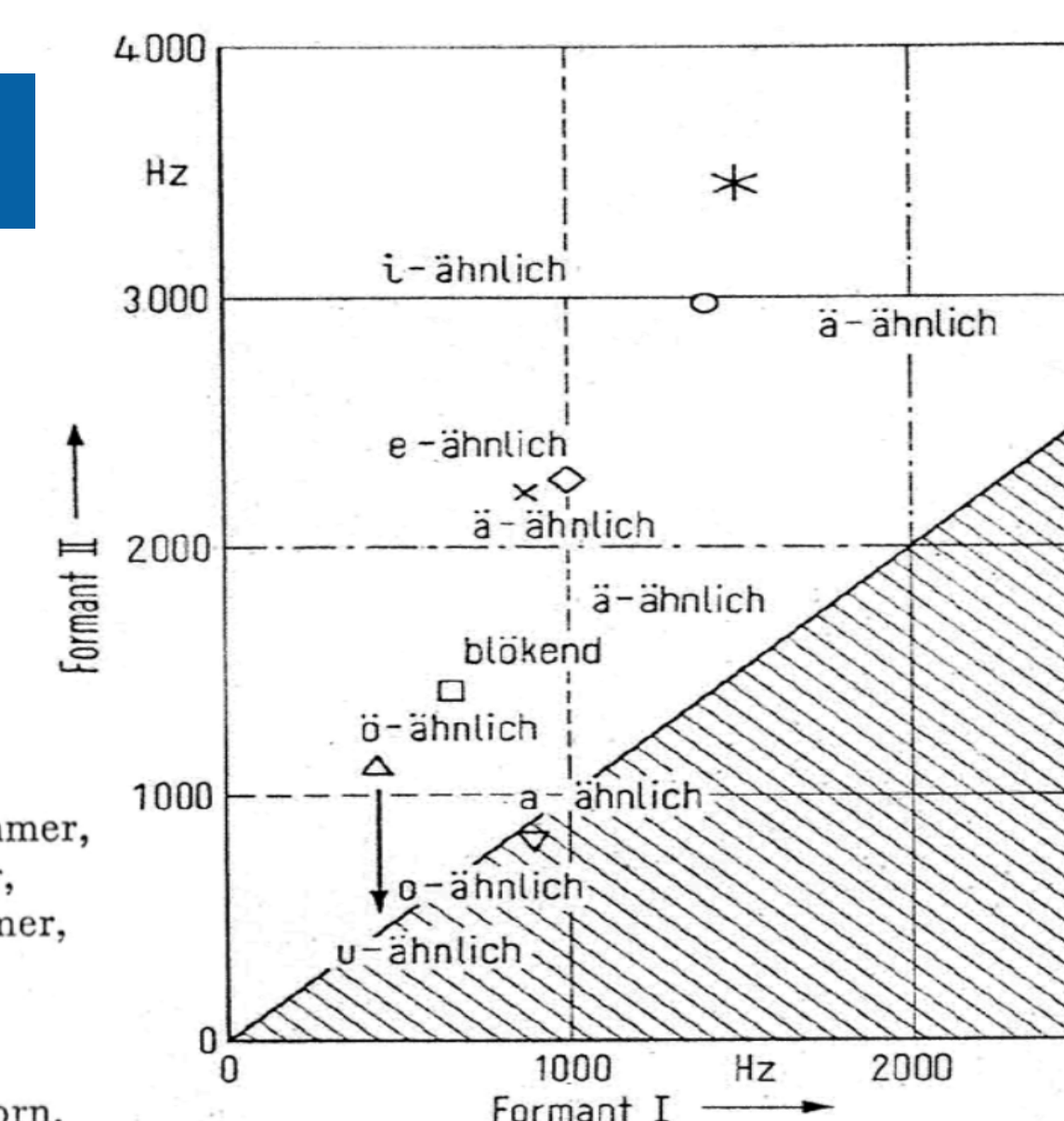
- Stumpf, Schumann etc. wurden **nicht** ins Englische **übersetzt**, waren in der englischsprachigen Literatur **nicht präsent**.
- Formanten wurden „zu früh“ entdeckt, lange bevor es eine Idee von berechenbaren Timbre Features überhaupt gab.
- **Formanteinschätzung via LPC** ist stark abhängig von den **Voreinstellungen**.
- Formanten werden eher zur **Phonetik** zugerechnet, nicht zur musikalischen Akustik.

Aktuelle Möglichkeiten der **Formantberechnung** könnten leicht aus schon **bestehenden Phonetik-Libraries** übernommen werden (z.B. **Colea** (Loizou 1998/9), **Praat** (Boersma, Weenink, ab 2001), **Parselmouth** (Jadoul et al. 2018), **Formant Tracker** (Kamath 2021), **Formant Estimation** (Rabiner et al. 2021))

Formantenfelder

1974: Erstes Formantenfeld

Zuordnung von **Doppelrohrblattinstrumenten** zu Vokalen anhand ihrer ersten beiden Formantbereiche, ermittelt aus den jeweils stärksten Amplituden im Spektrum.



* Sopran-Pommer, x Alt-Pommer, o Tenor-Pommer, □ Querflöte, ○ Oboe, △ Fagott, ◇ Englisch Horn.

„Wahrnehmungsraum bei zweiformaligen Klängen“ (Sirker 1974, S. 52)

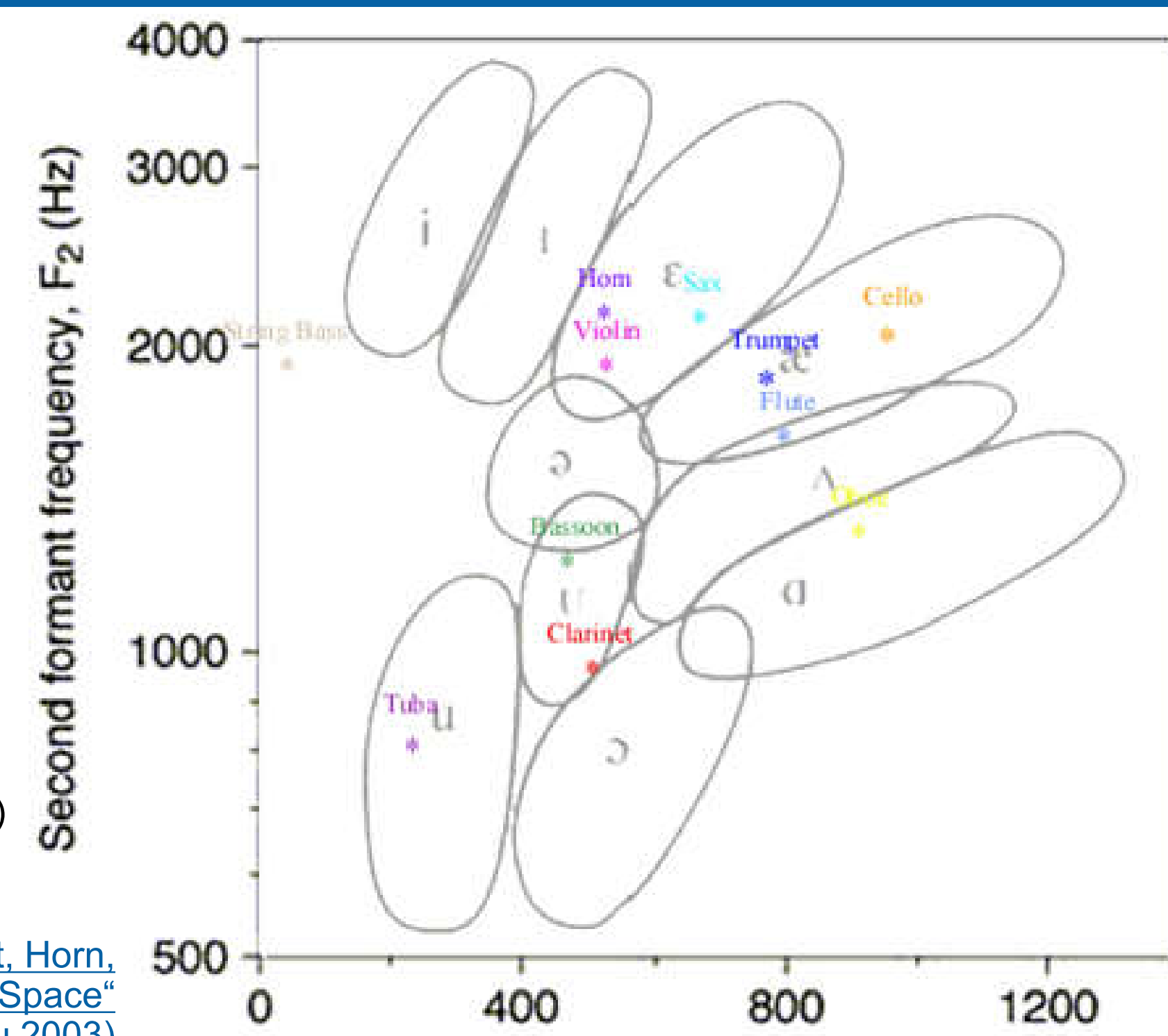
Formantenfelder

2003: Anordnung der Klänge der gängigen Orchesterinstrumente auf einer (pro Instrument unterschiedlichen) Tonhöhe im **Vokalformantenfeld** durch John McCarty (errechnet via Colea).

“Now I can say that the tuba's timbre has a 'U' sound or (oo) as in the word who, or the trumpet has an 'ae' timbre like the work actor.”

(McCarty, Stanford.edu 2003)

Klänge von Saxophon, Flöte, Oboe, Klarinette, Fagott, Horn, Trompete, Tuba, Geige, Cello, Bass im „Vowel Space“ (McCarty, Stanford.edu 2003)



2016: **interaktives Formantenfeld** für die gängigen Holz- und Blechblasinstrumente aus der VSL-Library in **allen erreichbaren Tonhöhen** und **zwei Dynamikstufen** (ff und pp) durch Reuter et al. (593 Einzelklänge)

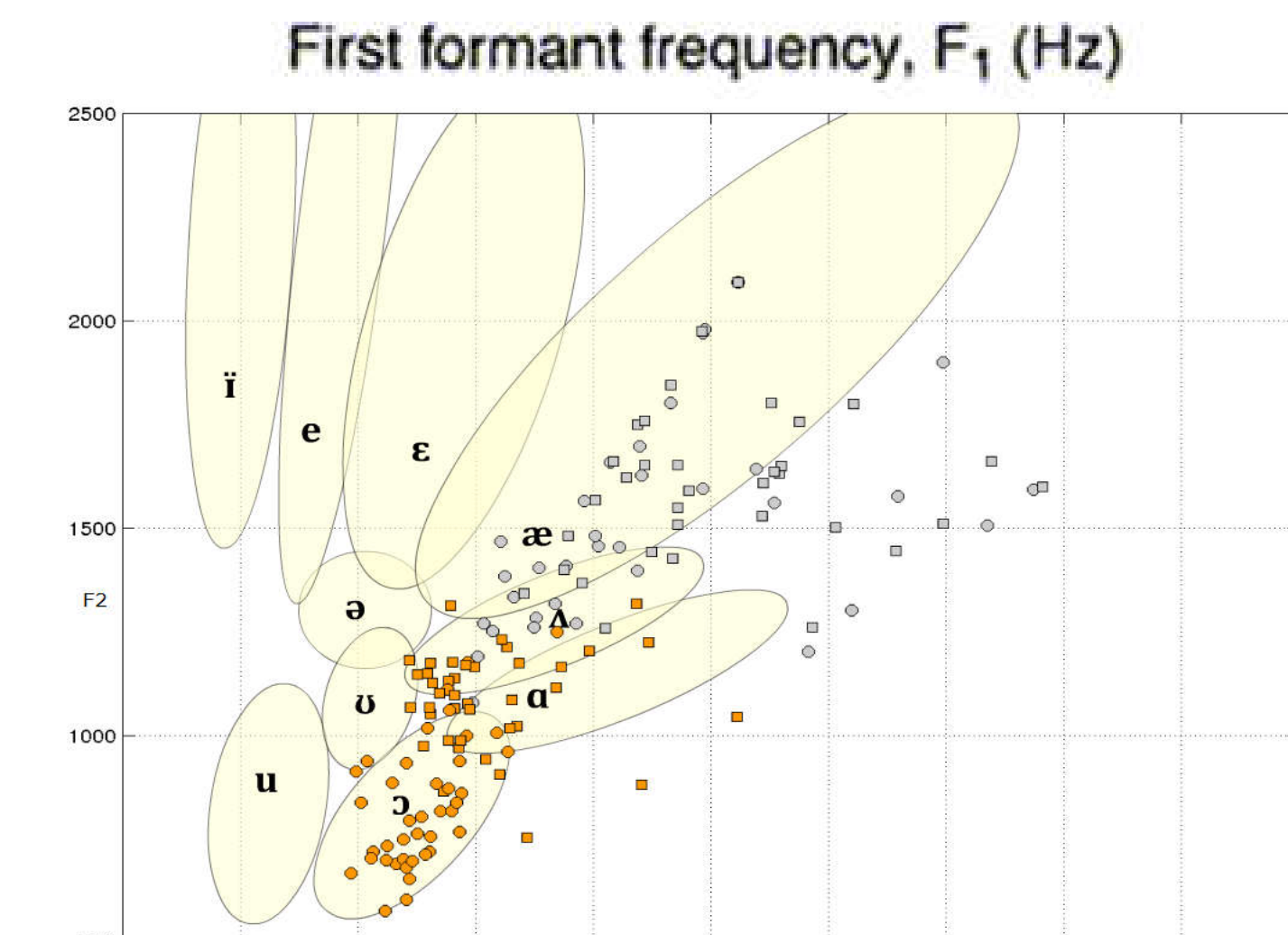
Pro Instrument und Register **können Mittelwerte** (Kreismittelpunkt) und **Standardabweichung** (Durchmesser der Ellipsen) angezeigt werden.

Überlappende Bereiche klingen **ähnlich**, während weit **auseinander liegende** Bereiche **unähnlich** klingen.

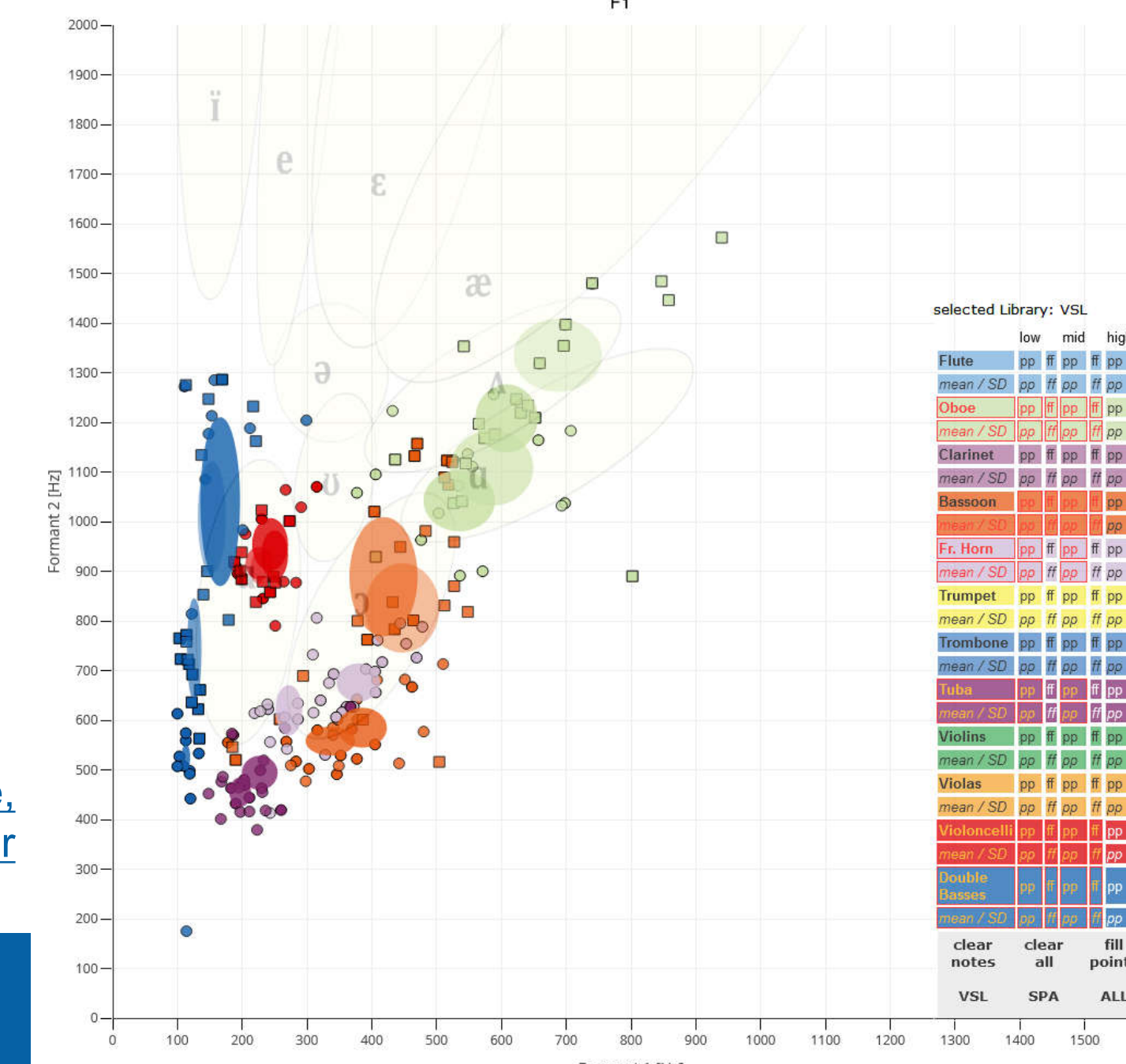
2020: Update des Formantenfelds:

- Umstieg von Flash auf **Javascript**
- **Erweiterung der Instrumente** um Geige, Viola, Cello und Bass
- Einbindung einer weiteren Orchester Library (**Spitfire Audio**)
- Insgesamt **1100 Einzelklänge**

Formanten, ihre Mittelwerte und Standardabweichungen von Oboe, Fagott, Horn, Tuba, Cello und Bass im tiefen und mittleren Register



Formantenfeld mit den Klängen von Fagott (orange) und Oboe (grau) in allen erreichbaren Tonhöhen in ff und pp (Reuter et al. 2017).



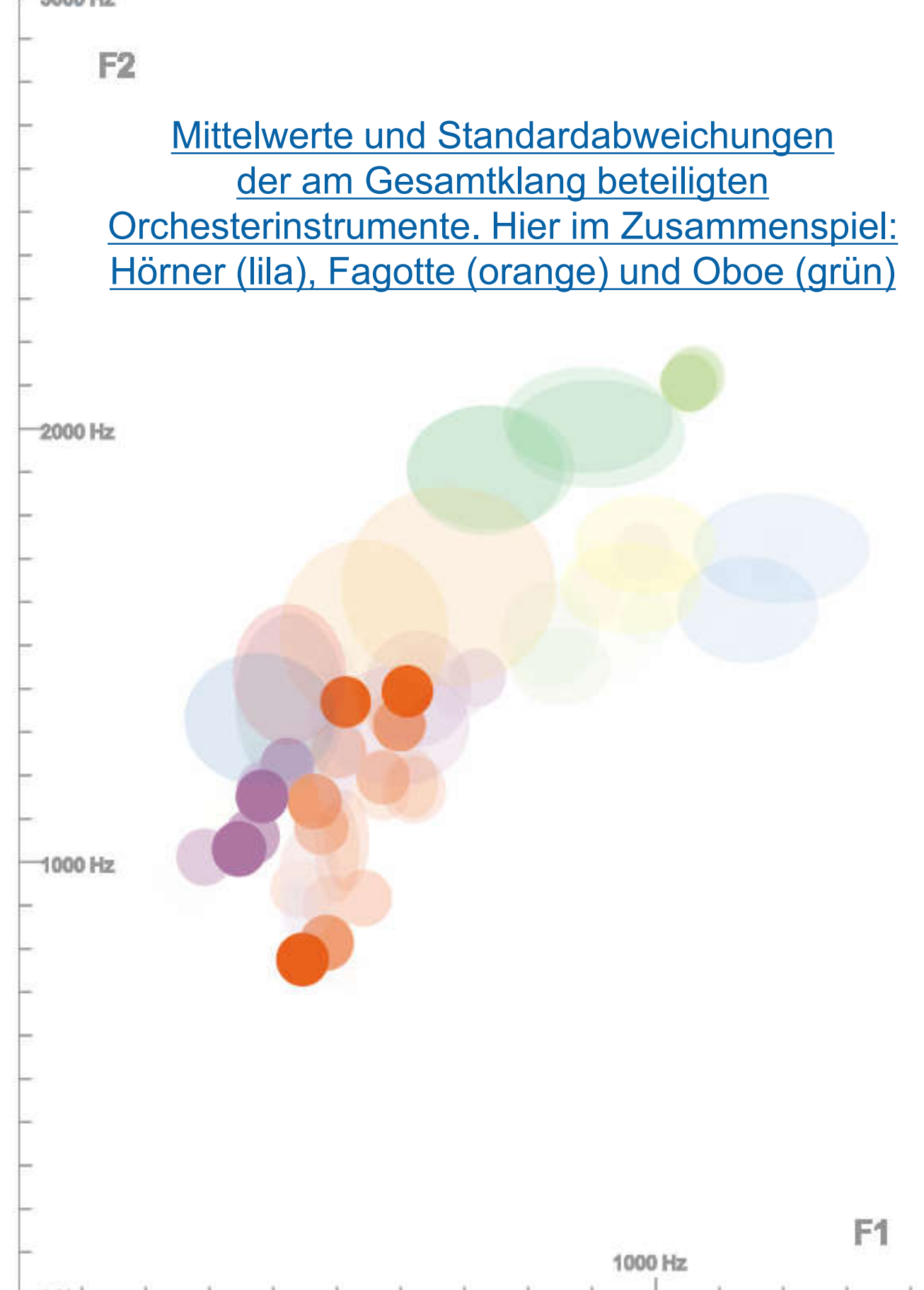
Dynamisches Formantenfeld

Via Parselmouth wurden die Formanten der einzelnen Musikinstrumente im **1. Satz der 8. Sinfonie** von Beethoven getrackt (Aufnahmen der Einzelspuren aus Pätynen et al. 2008).

Via Plotly und P5 wurden die erhobenen Werte mit der Musik synchronisiert und auf ein **interaktives Formantenfeld** übertragen, so dass dadurch das Verhalten von Instrumentalformanten in „freier Wildbahn“ in jeweils spezifischen „Revieren“ oder Bereichen visualisierbar wird.

Hier zeigt sich die schon von vorangegangenen Formantenfeldern bekannte Anordnung der Instrumente in typischen Bereichen.

Mit **MFCCs** lassen sich **ähnliche Ergebnisse** erzielen. Zum Vergleich wurde auch eine Visualisierung in zwei **Dimensionen des Timbre Spaces** erstellt.



Mittelwerte und Standardabweichungen der am Gesamtklang beteiligten Orchesterinstrumente. Hier im Zusammenspiel: Hörner (lila), Fagotte (orange) und Oboe (grün)

Zusammenfassung

- Obwohl sowohl **MFCCs** als auch **Formanten** zur Beschreibung von klanglichen Eigenschaften aus der **Phonetik** in die **Musikalische Akustik** übernommen wurden, gibt es bis jetzt **nur die MFCCs** als Deskriptoren in den gängigen **Signalanalyse-Libraries für Musik oder Klangfarben**.
- Die derzeit in Python- und Matlab-Scripten zu findenden **Formant-Extraktions-Algorithmen** könnten ohne weiteres auch zur **Klang/Musik-Feature-Extraktion** in die entsprechenden Signalanalyse-Libraries **übernommen** werden.
- Spätestens seit den 1970er Jahren gibt es Ansätze **Musikinstrumente** auf das **Vokaltrapez der Phonetik** bzw. das darauf basierende **Formantenfeld** abzubilden.
- Mit einer genügend hohen Anzahl an Einzelklängen in allen erreichbaren Tonhöhen und verschiedenen Dynamikstufen ergeben sich pro Register **klare Bereiche**, in denen sich die Instrumentalklangfarben im **Formantenfeld** ansiedeln.
- Die im **dynamischen Formantenfeld** getrackten Formanten der Instrumente im Zusammenspiel visualisieren das **Formantverhalten** bei **Tonhöhen- und Dynamikwechseln** sowie **Klangähnlichkeiten** intuitiv.