Universität Wien
Institut für Musikwissenschaft

Numerisch-klassifikatorische Interpretationsanalyse mit dem „Bösendorfer Computerflügel“

Band I
(mit beiliegender Audio-CD)

Diplomarbeit zur Erlangung des *Magister der Philosophie*
eingereicht
an der Geisteswissenschaftlichen Fakultät der Universität Wien
von

Werner Goebl

Wien, am 31. Oktober 1999

Inhalt

1. Vorwort 5

Dank 7

ALLGEMEINER TEIL 8

2. Performance-Forschung 8

Historische Forschung 8

Deutschland 8

Die Seashore-Gruppe in Iowa 10

Moderne Forschung 13

Zeitgestaltung, timing 13

Das Thema von Mozarts A-Dur Sonate, KV 331 13

Bruno Repp's Träumerei 15

Shaffer und ein präparierter Bechstein-Flügel 16

Sloboda 1983 17

Shaffer & Todd 1987 18

Manfred Clynes und die Puls-Theorie 18

Composer-specific Pulse Microstrusture 19

Die Puls-Theorie im Test 20

Numerische Bestimmung des Grundtempos 22

Akkord-Asynchronizität 22

3. Das Klavier 27

Funktionsweise der Klaviermechanik 29

Das Zeit-Verhalten der Klaviermechanik 31

Hammergeschwindigkeit-Dynamik Relation 32

Exkurs: Techniker versus Pianisten 33

Geräuschanteile im Klavieranschlag 33

4. Der Computerflügel 35

Geschichtlicher Abriß zu mechanischen Klavieren 35

Das elektrische Klavier 35

Das Kunstspielklavier 36

Das Reproduktionsklavier 36

Moderne computergesteuerte Klaviere 39

a) Systeme, die im Nachhinein einzubauen sind 39

b) Integrierte Systeme 39

c) Auf der Tastatur zu plazierende Systeme 39

d) Systeme, die Teile der Klaviermechanik ersetzen 39

Der Pianocorder von Marantz 39

Der Yamaha MIDI-Flügel 40

Der „Bösendorfer Computerflügel SE" 41

Geschichte, Entwicklung 41

Aufbau und Funktionsweise 41

Grenzen des Systems 44

a) systemimmanente Unterschiede zwischen Einspielung und Reproduktion 44

b) Unterschiede durch Meß- und Reproduktionsungenauigkeiten 45

EXPERIMENTELLER TEIL 47

5. Einleitung 47

Die Pianisten 48
Versuchsaufbau, Einspielsituation 50
Die Stücke 51
Ballade op. 38: musikalische Struktur 52
Etüde op. 10/3: musikalische Struktur 54

6. Auswertung 55

Datenaufbereitung 55
Meßgenauigkeit und Datenexport 55
Zuordnung zu numerischer Partitur 55
Falsche Noten 57
Fehlerquoten der Pianisten 57
Musikalische Zeitgestaltung und Darstellung 58
Mehrschichtige Tempodarstellung 58
Interpretation der mehrschichtigen Tempogramme 62
Detailebene (Sechzehntelnoten) 62
Phrasierungsebene (Halbtaktniveau) 63
Errechnung eines Grundtempos 64
Vorgehensweise 64
Tempovergleich Ballade – Etüde 68
Ähnlichkeitstests 69
Ähnlichkeiten in der Zeitgestaltung zwischen den Spielern 69
Ähnlichkeiten in der Dynamik zwischen den Spielern 70
Numerisch ermittelte Durchschnittsversion 71
Berechnung der Durchschnittsversion 71
Ihre subjektive Bedeutung 72
Akkord-Asynchronizität 74
Ausmaß und Form der Akkord-Asynchronizität 74
Dynamikdifferenz zwischen den Stimmen 77
Ballade: Überbetonung verschiedener Stimmen 78
a) Überbetonung der Melodie 78
b) Überbetonung einer Nebenstimme (Stimme 3) 79
Velocity Artifact 81
Einleitung 81
Auswertung 82
Erklärungshypothese 85

7. Zusammenfassung 87

Hintergrund 87
Ziele 87
Methoden 88
Ergebnisse 88
Conclusio 88

ANHANG I

Literatur 89

Instruktion der Pianisten 98
Fragebogenformular 100
Beilage Audio-CD 101
Anmerkungen zu den Aufnahmebedingungen 101

BAND II

ANHANG II: GRAPHIKEN UND DARSTELLUNGEN

Mehrschichtige Tempogramme 104

Ballade 1–23 104
Etüde 1–23 127

Asynchronizitäts-Profile 150

Ballade 3, 5 und 23 150
Etüde 3, 5 und 23 154

Durchschnittliche Akkordprofile 158

Ballade 1–4 158
Ballade 5–8 159
Ballade 9–12 160
Ballade 13–16 161
Ballade 17–20 162
Ballade 21–23 163
Ausschnitt Ballade: melodiebetonte Version 1–4 164
Ausschnitt Ballade: melodiebetonte Version 5–8 165
Ausschnitt Ballade: melodiebetonte Version 9–12 166
Ausschnitt Ballade: melodiebetonte Version 13–16 167
Ausschnitt Ballade: melodiebetonte Version 17–20 168
Ausschnitt Ballade: melodiebetonte Version 21–23 169
Ausschnitt Ballade: unterstimmenbetonte Version 1–4 170
Ausschnitt Ballade: unterstimmenbetonte Version 5–8 171
Ausschnitt Ballade: unterstimmenbetonte Version 9–12 172
Ausschnitt Ballade: unterstimmenbetonte Version 13–16 173
Ausschnitt Ballade: unterstimmenbetonte Version 17–20 174
Ausschnitt Ballade: unterstimmenbetonte Version 21–23 175
Etüde 1–4 176
Etüde 5–8 177
Etüde 9–12 178
Etüde 13–16 179
Etüde 17–20 180
Etüde 21–23 181

1. Vorwort

In einer Zeit, in der ein Großteil der zum Klingen gebrachten Kunst-Musik aus einem wohlbekannten und sehr begrenzten Repertoire an Werken des 18. und 19. Jahrhunderts stammt, ist es verwunderlich, daß dem schöpferischen Prozeß des Nachschaffens von musikalisch Notiertem vergleichsweise wenig systematisch-wissenschaftliche Aufmerksamkeit geschenkt wird.

Seit der Einführung des Phonographen war es möglich, ein musikalisches Ereignis über den Augenblick seines Erklingens hinaus zu bewahren. Somit war die notenschriftliche Fixierung nicht mehr die einzige beständige Form, Musik und ihre Realisation festzuhalten. Die Konsequenzen dieser „musikgeschichtlichen Revolution" (GOTTSCHEWSKI 1996, 11) sind umfassend und die daraus resultierenden Veränderungen noch nicht beendet. War früher die Kompositionskunst der Bereich, „zu dem sich jeder nach dem Höchsten strebende junge Musiker hingezogen fühlen mußte, weil sich nur hier der Wille zur Schaffung bleibender Werke verwirklichen ließ", so ist sie heute „nur noch einer von vielen Zweigen des Musiklebens" (GOTTSCHEWSKI 1996, 11).

Es geht heute bei der Aufführung komponierter Werke nicht mehr allein darum, den Geist oder den Charakter eines Stückes zu treffen, um den Zuhörer durch den Vortrag zu „rühren" (Carl Ph. E. Bach), sondern in einer Reihe von bereits existierenden Einspielungen muß eine weitere hinzukommende durch Neuheit und Interpretenpersönlichkeit auffallen, ein höchstes spieltechnisches Niveau wird vorausgesetzt. Die Namen der Interpreten sind längst größer gedruckt als die der Komponisten, da sie ja das Neue sind im Kanon der immer wieder aufgenommenen „Klassikern" des 18. und 19. Jahrhunderts.

Wie aber kann man sich dem Phänomen „musikalische Interpretation"[1)] nähern, ohne sich ausschließlich auf das Hören der Aufnahme und das Studium der Partitur zu verlassen? Was unterscheidet die wörtliche Realisation einer Partitur durch einen unwissenden Computer (*dead*

1) Ich möchte den Begriff „musikalische Interpretation" als aufführungspraktischen Begriff des Realisierens einer musikalischen Partitur definieren (vgl. DANUSER 1992, IX), im Gegensatz zur geschichtlichen Interpretation von Musik, womit die wissenschaftliche Behandlung der Kompositionskunst durch Musiktheorie und musikalische Analyse gemeint ist (in diesem Zusammenhang wird auch von „Interpretationsanalyse" gesprochen, vgl. DANUSER 1992, 301, wobei damit nicht die Analyse von Interpretationen gemeint ist, sondern die interpretative Analyse von Musikwerken).

pan version) von einer menschlichen bzw. künstlerischen Interpretation. Was kann man aussagen über die vielen kleinen zeitlichen Abweichungen von den notierten Verhältniswerten der Partitur? Ist jede einzelne Interpretation desselben Stückes wirklich so einzigartig, oder gibt es Realisationspraktiken, die über eine Gruppe von Interpreten konstant bleibt?

Fragen dieser Art werden in dieser Arbeit mit möglichst objektiven Mitteln untersucht. Die im Titel angekündigte „numerisch-klassifikatorische Interpretationsanalayse" sei ein Versuch, mithilfe eines relativ simplen statistischen Apparates ein methodisches Werkzeug zu entwickeln und zu testen, das verschiedene musikalische Interpretationen desselben Werkes nach gewissen Gesichtspunkten zu ordnen und auf Gemeinsamkeiten und Unterschiedlichkeiten hin zu prüfen vermag. Dabei sind Zahlen („numerisch-") der Treibstoff und Statistik („-klassifikatorisch") der Motor der Untersuchung.

Der Computerflügel SE 290 der Firma Bösendorfer war bei der Themenwahl für diese Diplomarbeit ausschlaggebend: nachdem der Autor sowohl für Flügel als auch für Computertechnologie ein starkes Interesse entgegenbringt, war es klar, daß der in einer Präsentationsveranstaltung der Firma Bösendorfer für die Klavier-Konzertfachklassen der Wiener Musikhochschule vorgestellte Computerflügel in einer zukünftigen Untersuchung eine zentrale Rolle spielen mußte. So wurde mit großem Interesse eine passende Fragestellung zu diesem Werkzeug entwickelt und dieser Flügel in Wien das erste Mal zu umfassenderen Performance-Studien genutzt.

Die Ergebnisse der statistischen Auswertung wurden in möglichst anschaulicher Weise visualisiert, der zweite Band mit einer Fülle von Darstellungen und Graphiken ist bewußt separat gebunden, um gleichzeitigen Zugriff auf Bild und Text zu ermöglichen. Da es sich bei dem Untersuchungsgegenstand letztendlich um ein akustisches Ereignis bzw. Erlebnis handelt, wurde eine Audio-CompactDisc beigefügt, da es dem Autor wichtig erscheint, visualisierte Hörphänomene hörend nachvollziehen zu können. Die Einspielungen der einzelnen Pianisten, sowie die Durchschnittsversionen können auch im Internet im MP3-Format abgerufen werden (*http://www.kfs.oeaw.ac.at/goebl/*).

Dank

Dieses Projekt war in vielerlei Hinsicht äußerst ressourcenraubend: angefangen von den 22 Pianisten, die auf dem Spezialgerät ihr Bestes gaben, bis hin zur Verarbeitung, Korrektur und Auswertung der insgesamt über 100.000 Meßdaten, standen mir viele Personen und viele verarbeitende Schaltkreise helfend zur Seite.

Zunächst danke ich der Firma Bösendorfer und Herrn Hanspeter Janipka, der es mir ermöglichte, diesen Flügel für wissenschaftliche Versuche überhaupt nützen zu können und insbesondere dem Flügeltechniker Fritz Lachnit für seine Geduld, den Flügel für mich in Schuß zu halten und für die Dauer der Einspielungen aus seinem Arbeitszimmer verbannt zu sein.

Dank gebührt der Geisteswissenschaftlichen Fakultät der Universität Wien, die für diese Arbeit ein Förderungsstipendium gewährte, sowie Herrn Gerhard Widmer, der mich im Rahmen des START-Projektes[*)] mit einem Stipendium unterstützte und der bei der Korrektur der Datenmassen mit einem Prolog-Programm wesentlich half. Weiters danke ich in zufälliger Reihenfolge Herrn Emil Lubej für technische Unterstützung in vielen Fragen der Computeranwendung, Herrn Wayne Stahnke, dem Entwickler des „Bösendorfer Computerflügels“ für seine detaillierten Auskünfte über genaue Funktion und Konstruktion des Flügels, Herrn Bruno Repp für anregende Korrespondenz, Herrn Hermann Gottschewski für seine kritischen Ansätze, Herrn Marco Maria für lange Diskussionen über die Bedeutung von Computerflügeln, Herrn Bernhard Laback für psychoakustische Beratung, Herrn Oliver Vitouch und Frau Andrea Gaugusch für statistische Unterstützung und nicht zuletzt Herrn Werner A. Deutsch und Professor Franz Födermayr – meinem „Diplomvater“ – für Betreuung der gesamten Arbeit.

Zuguterletzt geht mein ergebenster Dank an alle einspielende Pianisten, ohne die diese Studie nichts zu untersuchen gehabt hätte (in alphabetischer Reihenfolge):

Nelly Banova, Christoph Berner, Senka Brankovic, Holger Busch, Pierre El-Doueihi, Stefan Ender, Rico Gulda, Cornelia Hermann, Christopher Hinterhuber, Philipp Kronbichler, Aki Mizukami, Stephan Möller, Luca Monti, Harald Ossberger, Bruna Pulini, Philipp Richardsen, Noriko Shima, Gerda Struhal, Anika Vavic, Gottlieb Wallisch, Agnes Wolf und Clemens Zeilinger.

[*)] START-Programm, Österreichisches Bundesministerium für Wissenschaft und Verkehr, Projektnummer *Y99-INF*

ALLGEMEINER TEIL

2. Performance-Forschung

Moderne Performance-Forschung kann man methodologisch nach zwei verschiedenen Ansätzen unterteilen: der eine geht prinzipiell von der Vermessung und Auswertung musikalischer Einspielungen aus und wird auch *analysis-by-measurement*-Ansatz genannt (THOMPSON 1989, 18); der andere synthetisiert musikalische Aufführung, verändert ihre Parameter so lange, bis das hörbare Ergebnis befriedigend klingt und verifiziert auf diese Weise interpretatorische Gesetzmäßigkeiten. Dieser Bereich wird unter dem Begriff *analysis-by-synthesis*-Ansatz zusammengefaßt. In meinem Literaturüberblick konzentriere ich mich auf den ersten Ansatz, Synthese-Modelle werden nur kurz erwähnt.

Historische Forschung

Erste Messungen von musikalischer Aufführung beginnen noch am Ende des 19. Jahrhunderts. Die Tastenbewegungen von Klavieren wurden mit unterschiedlichen Methoden von A. BINET und J. COURTIER 1895 bzw. von K. EBHARDT 1898 aufgezeichnet (zit. n. GABRIELSSON 1999, 525), die Tastenbewegungen einer Orgel untersuchte C. H. SEARS (1902). Polyrhythmik wurde von MORTON 1920 untersucht, HEINLEIN machte detaillierte Pedalstudien zu Schumanns „Träumerei" mithilfe eines Duo-Art Reproduktionsklavieres (alle zit. n. GABRIELSSON 1999, 526).

Deutschland

Eine äußerst umfangreiche und in ihrer Auswertung sehr umfassende Studie machte Artur Hartmann (HARTMANN 1932, 103–192). Er analysierte zwei Hupfeld „Animatic"-Rollen des ersten Satzes von Beethovens *Sonata quasi una fantasia* op.27/2 (besser bekannt als „Mondscheinsonate"). Die beiden Pianisten waren Josef Pembaur (geb. 1875 in Innsbruck) und Harold Bauer (geb. 1873, London).

Hartmann vermißt die Notenrollen und wertet die bis zu einem halben Millimeter genauen cm-Daten akribisch aus. Leider wird nicht versucht, diese cm-Daten in reale Zeitwerte umzurechnen. Er untersucht ausschließlich zeitliche Phänomene, und zwar: a) die Länge der Takte, b) die Länge der einzelnen Melodietöne und c) den „Asynchronismus" der Akkordtöne bei einem in der Partitur gleichzeitig notierten Klangereignis.

a) Bei der Feststellung der Länge der einzelnen Takte wählt er zunächst die Distanz Anfang des ersten (Baß-)Tons bis zum Ende (*note off* in der MIDI-Terminologie) des letzten Tons desselben Taktes. Diesen Ansatz läßt er doch bald fallen und bestimmt die Taktlängen

nach heute üblichen Kriterien: Anfang des ersten Tones bis zum Anfang des ersten Tones des folgenden Taktes. Da bei den beiden Aufnahmen die Akkordasynchronizität enorm sein muß (Modus bei Pembauer 0,1cm; bei Bauer 0,5cm), stellt sich das Problem, welchen Bezugston man für den Taktanfang wählt: ob den Baßton (meist früher) oder den ersten Triolenton (HARTMANN 1932, 125, 138).

Hartmann berechnet Taktlängen (in Kurven dargestellt) mit ihren Häufigkeitsverteilungen, Taktlängendifferenzen und deren Durchschnitt jeweils für Messung ab Baßton und ab Triolenton. Es stellt sich heraus, daß Pembaur ab der Reprise ein viel langsameres Tempo spielt. Allgemein spielt Pembaur unregelmäßiger als Bauer (Durchschnitt der Taktdauerndifferenzen ist größer als bei Bauer). Für den ganzen Satz benötigt Pembaur mehr Zeit. Betrachtet man nun die Messung mit der Triolennote als Kriterium wird Pembaurs Spiel noch unregelmäßiger, während Bauers Spiel gleichmäßiger wird. Hartmann konstatierte anfangs für diesen Satz ein regelmäßiges Spiel (die gleichförmige Struktur und u.a. Beethovens Anweisung *Si deve suonare tutto questo pezzo delicatissamente e senza sordini* deute laut Hartmann darauf hin [119]) und folgert aus obigem Ergebnis: „Bauer normiert sein Spiel mahr nach der Triolenbewegung, Pembaur dagegen mehr nach dem Baß“ (HARTMANN 1932, 143).

b) Hartmann mißt die Längen der Melodiephrasen einzeln aus (er stellt 7 verschiedene fest) und bestätigt in bezug auf Regelmäßigmäßigkeit das Ergebnis der Taktlängenuntersuchung. In der Betrachtung der Einzelwerte (𝅗𝅥.,𝅗𝅥,♩,♩.,𝅘𝅥𝅯) der melodischen Phrasen beschränkt er sich auf die realen Tondauern (Dauer zwischen *note on* und *note off*), was Einblick auf artikulatorische Belange gibt, doch über Zeitdauernorganisation meiner Meinung nach wenig aussagt (besser würden sich *inter onset intervalls* eignen).

Die einzelnen Notenwertkategorien überschneiden sich (va. bei ♩ und ♩.), die Maximalwerte der einzelnen Kategorien befinden sich bei stark dominantischen Harmonien vor allem in der zweiten Hälfte des Satzes (HARTMANN 1932, 159). Die Notenlängenzwischenräume sind bei Noten gleicher Tonhöhe meist positiv (zur Repetition muß die Taste losgelassen werden, um nochmal angeschlagen werden zu können), bei Noten unterschiedlicher Tonhöhe meist negativ (dh. die Töne überlappen sich), was dem *legato*-Charakter entspricht.

c) In der Partitur gleichzeitig notierte Akkorde werden von den Ausführenden nicht gleichzeitig gespielt. Hartmann untersucht die „Asynchronismen“ jeweils an den Taktanfängen und gibt ihr Ausmaß und ihre Reihenfolge in detaillierten Tabellen an. Dabei stellt sich heraus, daß Bauer asynchroner spielt (Maximum der Differenzen 1,3cm) als Pembaur (0,95cm), daß absolute Synchronie eine Ausnahme darstellt (Bauer: 2mal, Pembauer: 3mal) und daß vor allem bei Bauer eine gewisse Reihenfolge in den meisten Fällen beibehält: zuerst wird der tiefere Baßton gespielt, gefolgt von hohem Baßton, Mittelstimmen und Melodie. (HARTMANN 1932, 168ff)

Da Hartmann seine Daten in Tabellen präzise veröffentlicht hat, könnten sie als wertvolle

Quelle für vergleichende Untersuchungen zwischen alten und neueren Aufnahmen dienen. Nach kurzem Überfliegen der Daten scheint die Melodiestimme seltener an erster Stelle zu sein als der Baß. Es stellt sich die Frage, ob eine Interpretationstradition von damals tatsächlich den Baß tendenziell früher vorsieht als eine kontemporäre.

Im Schlußkapitel versucht Hartmann, zukünftige Untersuchungsdesigns zu skizzieren, die sich auch auf die dynamische Domäne beziehen.

In manchen methodischen Ansätzen ist Hartmann wirklich modern, manche Phänomen wie *melody lead* (VERNON, REPP, PALMER) oder *systematische Variation* von (Micro-)Rhythmus (GABRIELSSON) konnte er aufgrund seiner Daten nicht beobachten, manche Vorgehensweisen wirken nicht sinnvoll (absolute Tonlängen zu kategorisieren, nicht um artikulatorische, sondern tonlängenspezifische Phänomene festzustellen, die eher durch *inter onset intervalls* (IOIs) repräsentiert würden).

Die Seashore-Gruppe in Iowa

Erste großflächige und äußerst präzise Untersuchungen musikalischer Aufführungen wurden ebenfalls in den 1930er in den USA durchgeführt. Unter voller Ausnutzung des aktuellen Stands der Technik entwickelten die Gruppe um Carl E. Seashore an der *University of Iowa* ausgeklügelte Meßtechniken, um die musikalischen Parameter (Tonhöhe, Zeit, Intensität und Klangfarbe) von Gesang, Geige und Klavier objektiv festzuhalten und zu interpretieren (SEASHORE 1937).

Eine besondere Entwicklung dieser Gruppe war die *Iowa Piano Camera* (HENDERSON, TIFFIN & SEASHORE 1937, 252–262), die es ermöglichte, die zwei der für das Klavier relevanten Parameter (Zeit und Intensität) genau zu messen und festzuhalten. Ein speziell präpariertes Klavier wurde mit einer photographischen Aufnahmeeinrichtung versehen: ein breiter Film, der in konstanter Geschwindigkeit bewegt wird, zeichnet die Bewegungen der einzelnen Hämmer auf. Jeder Hammer besitzt eine eigene Spur auf dem Film. An jeder Hammerkopfunterseite ist ein Fähnchen mit einem kleinem Loch so angebracht, daß der Hammer in Ruhelage den Film nicht belichtet. Wird ein Hammer bewegt (resp. ein Ton gespielt), so wird ab ca. 24 mm vor Auftreffen auf die Saite die entsprechende Stelle auf dem Film belichtet, ab ca. 12 mm wieder nicht mehr, bei Saitenkontakt dann wieder. Fällt der Hammer zurück in den Fänger, während die Taste gedrückt bleibt, läßt das Fähnchen wiederum Licht auf den Film fallen. Wir bekommen also folgendes Muster: ein erster Strich, der die Hammeranfangsgeschwindigkeit in seiner Länge repräsentiert (eher unwichtig), ein weiterer Strich, der bei Saitenkontakt entsteht. Die Distanz zwischen diesen beiden Strichen gibt die Hammerendgeschwindigkeit wieder (je kürzer desto schneller), weiters wird in einem dritten Belichtungsstrich noch angegeben, wie lange die entsprechende Taste gedrückt wurde. An den Rändern des Films werden in ähnlichem Verfahren noch die beiden Pedale dargestellt, sodaß man eine komplette „Piano Roll" einer Klavieraufführung bekommt.

Die zeitliche Auflösung dieses Systems ist erstaunlich gut. Die Vertikalstriche eines solchen *Musical Pattern Score* (SKINNER & SEASHORE 1937, 263) sind im Abstand von 0,04 Sekunden angeordnet, eine Abschätzung auf eine Genauigkeit von 10 ms ist leicht möglich. Die Hammerendgeschwindigkeit wird in 17 Kategorien quantifiziert (HENDERSON et al. 1937, 259).

Schon 1929 konstatiert C. Hickmann, daß die Geschwindigkeitsveränderung der letzten 12 mm vor der Saite vernachlässigbar ist (HICKMANN 1929). In ausführlichen Studien mit einem *high speed output level recorder* konnte Henderson feststellen, daß die Hammerendgeschwindigkeit in linearen Zusammenhang mit dem Schalldruckpegel steht (in einem Dynamikbereich von ca. 10 dB); für den gesamten Dynamikbereich ist diese Funktion leicht logarithmisch (HENDERSON et al. 1937, 258; diese Ergebnisse wurden von PALMER & BROWN (1991) mit modernsten Techniken repliziert).

In einer konkreten Studie (HENDERSON 1937, 281–305) ließ Henderson zwei Profi-Pianisten den Choral von Chopins *Nocturne* op. 15/3 einspielen und zeichnete dies mit der *Iowa Piano Camera* auf. In sehr moderner Weise wertet er die Messungen aus und kommt zu interessanten Ergebnissen: in Takten mit drei Vierteln war das zweite konsequent verkürzt, in Takten mit einer Halben und einer Viertel war das Viertel (3. Schlag) verlängert. Henderson nennt zwei mögliche Interpretationen für die Verlängerung einer Note: entweder sie soll mehr Gewicht bekommen, oder die darauffolgende später einsetzen.

Damit trifft er auch das Grundproblem bei der Interpretation von Tonlängen (nach GABRIELSSON 1983: *Inter Onset Intervalls*, IOIs): man kann nur schwer unterscheiden, ob ein Ton tatsächlich verlängert wurde, oder der nachfolgende zu spät einsetzt. Henderson stellt weiters fest, daß die Akzentuierung des ersten Schlages weniger durch die Dynamik, als durch den verspäteten Einsatz *und* die Verlängerung *derselben* Note erfolgt (HENDERSON 1937, 290).

Darüberhinaus beurteilt er noch Phrasierung, Pedalgebung und Akkord-Asynchronizität. Die Phrasierung (großflächige rhythmische Variation) wird von den Pianisten individueller eingesetzt als die rhythmische Formung kleinerer Einheiten (Einzeltakte). Das Pedal dient vor allem zur Realisierung des *legato*; die Melodietöne (oberste Stimme) sind lauter (4–5 dB) und kommen immer zu früh (10–40 ms), bei einem der zwei Pianisten ist der Baß konsequent zu früh (bis zu 200 ms), was dieser aber, laut eigener Angaben, absichtlich tut (HENDERSON 1937, 298–301).

Das Phänomen der Akkord-Asynchronizität untersuchte Leroy Ninde Vernon anhand von acht Interpretationen von vier verschiedenen Pianisten (Bauer, Bachaus [sic!], Hofmann und Paderewski), die ihm in Form von Duo-Art Rollen (Aeolian Company, siehe Kapitel: *Geschichtlicher Abriß zu mechanischen Klavieren*) zur Verfügung standen (VERNON 1937, 306–345).

(Zur Problematik der Authentizität von Reproduktionsklavier-Notenrollen siehe auch HAGMANN 1984 und GOTTSCHWESKI 1996. Die zeitliche Aufzeichnung der Tastenanschläge war relativ genau. Das Duo-Art Reproduktionssystem konnte die Dynamik nur für jeweils eine Tastatur-

hälfte ansteuern, deshalb wurde öfters, um doch eine dynamische Differenzierung innerhalb eines Akkordes zu erzielen, der eine oder andere Ton später oder früher in die Rolle eingestanzt (VERNON 1937, 310). Der Pianist unterzeichnete nach solchen Manipulationen die Notenrolle, um sie als seine Interpretaion zu autorisieren.)

Vernon unterscheidet zwei typische Fälle von Asynchronizität: a) der Melodieton ist mitsamt dem Akkord in einer Hand gespielt und b) die Melodie wird von einer anderen Hand als die Begleitung gepielt. Bei a) kommt die Melodie meistens früher, bei b) eher später (VERNON 1937, 314). Die Pianisten spielten unterschiedlich asynchron, Bauer und Paderewski bis zu 200 ms, Backhaus spielte sehr exakt, durchschnittlich waren die Hälfte aller Akkorde als ungleichzeitig einzustufen (Vernons Grenzwert: ab 0,01 Sekunden). Akkorde mit Melodietönen sind ungleichzeitiger als solche ohne; Akkorde in *accelerando*s sind gleichzeitiger als solche in *riterdando*s; in langsamem Tempo ungleichzeitiger als in schnellem; an Phrasenbeginn und -ende nicht ungleichzeitiger als sonst.

Die Forschung der 1930er endet abrupt um 1940, ungefähr parallel mit dem Verschwinden der mechanischen Klaviere. Der Zweite Weltkrieg und Seashores Rückzug aus der Wissenschaft mögen Gründe dafür sein (GABRIELSSON 1999, 532). Die Ergebnisse der modernen Performanceforschung ab ca. 1980 wurden im großen und ganzen in den 1930ern bereits vorweggenommen, lediglich neuere Techniken und vor allem Computereinsatz (auch etwa MIDI) konnten feinere Meßergebnisse erzielen und verarbeiten. Die Problematiken waren in ihrem Umfang damals wohl ganzheitlicher durchdacht worden als in zeitgenössischen Studien, die sich eher auf kleinere Einzelaspekte konzentrieren.

Moderne Forschung

Erst mit verstärktem Einsatz von Computern und die Einführung eines allgemeinen digitalen Standards für Musikinstrumente (Musical Instruments Digital Interface, MIDI) in den 1980ern (vgl. JUNKER 1995) konnte eine wiedererstarkende Performance-Forschung neue Ideen und Ansätze durchführen und die meist sehr großen Datenmengen mit vergleichsweise behender Leichtigkeit verarbeiten. Einen Überblick über Performance-Forschung bietet GABRIELSSON 1999. Ich möchte im folgenden die für meine Untersuchung relevanten Studien kurz umreißen und ihre wichtigsten Ergebnisse darstellen.

ZEITGESTALTUNG, TIMING

Das Thema von Mozarts A-Dur Sonate, KV 331

Erste empirische Forschungen aus der jüngeren Zeit stammt aus Schweden. Ingmar Bengtson und Alf Gabrielsson untersuchten verschiedene Melodien im 3/4- und 6/8-Takt (GABRIELSSON, BENGTSSON & GABRIELSSON 1983, 193–213). Die Aufnahmen von unterschiedlichen Instrumentalisten (Klarinette, Flöte, Klavier) wurden auf Band aufgenommen und in digitalisierter Form auf ihre zeitlichen Werte hin vermessen (Meßgenauigkeit 5ms). Untersucht wurde die prozentuelle Abweichung von den mathematischen Verhältnissen der Notation (*mechanical norm*), die den ausführenden Musikern vorgelegt wurde. Dabei stellten die Autoren eine von zufälligen Spielungenauigkeiten unabhängige „systematische Variation" („SYVAR", GABRIELSSON et al. 1983, 193) fest. Im Falle des Siciliano-Rhythmus ♪.𝅘𝅥𝅯𝅘𝅥𝅯 bei Mozarts Sonatenthema sind die punktierte Achtelnote und die Achtel am Schluß verlängert, die Sechzehntelnote stark verkürzt im Vergleich zu ihrer mechanischen Norm; bei dem ♩ ♪-Muster ist die Viertel verkürzt und Achtel verlängert, bis zu einem Verhältnis von 1,7 zu 1 (GABRIELSSON et al. 1983, 202; GABRIELSSON 1983, 30).

In ihrer Meßterminologie prägen Gabrielsson und Bengtson den Ausdruck *Inter onset interval* (IOI), mit dem sie den Zeitabstand zwischen dem Beginn einer Note und dem Beginn der nächsten definieren. Weiters wird die Dauer einer Note mit D_{io} (*duration in–out*) bezeichnet, die Pause zwischen zwei Noten mit D_{oi} (*duration out–in*). Somit werden auch artikulatorische Veränderungen erfaßt.

In einer weiteren Studie untersuchte Alf Gabrielsson dieses Thema anhand von Schallplattenaufnahmen fünf bekannter Pianisten (Haebler, Kempf, Backhaus, Ara und Brendel) (GABRIELSSON 1987, 81–103). Die Zeit- sowie Dynamikwerte wurden aus der Wellenform der digitalisierten Aufnahmen herausgemessen (die Dynamik ist somit nur über einen ganzen Akkord meßbar, einzelne Stimmen können meßtechnisch nicht unterschieden werden). Die Dar-

stellung der Zeitverläufe erfolgt in prozentueller Abweichung vom jeweiligen Durchschnittstempo; damit werden die Zeitkurven der einzelnen Aufführungen untereinander vergleichbar.

In der Tempodomäne sind die Ergebnisse beinahe wie in GABRIELSSON (1983): Die punktierte Achtel des Siciliano-Rhythmus ist beinahe unverändert, die Sechzehntel stark verkürzt und die Achtel verlängert (z.B.: 50,3%–13,5%–36,3%). Beim einfachen Jambus-Rhythmus (♩♪) ist das theoretische 2:1 Verhältnis immer verwaschener: zwischen 1,52:1 und 1,94:1. Gabrielsson gibt auch noch Verhältniswerte zu den zwei Sechzehntel (Takt 4 der Mozartsonate) an, bei denen die zweite immer verlängert ist.

Allgemein stellt sich in der Betrachtung von IOI-Werten immer die Frage, ob jetzt ein Ton verlängert wird (wie es Gabrielsson annimmt), oder ob der nachfolgende (aus welchen Gründen auch immer) zu spät einsetzt. Meines Erachtens ist es im Falle dieser zwei Sechzehntel im Takt 4 naheliegend, daß die vierte Zählzeit später kommt, ist sie ja nicht nur artikulatorisch abgesetzt, sondern auch leiser als das vorhergehende *sforzato*, aber doch schwerer als die folgende Auflösung.

Die dynamische Auswertung gibt nur Auskunft über die *overall peak amplitude*, man kann *sforzatos* gut erkennen, oft wird die Wiederholung leiser begonnen (GABRIELSSON 1987, 98).

Die Phrasierung dieses Themas ist nicht ganz eindeutig: die Peters-Ausgabe bindet die vorhergehenden Achtelnoten an die folgende Viertel, im Gegensatz zur Urtext-Edition, die taktweise phrasiert (GABRIELSSON 1987, 84–85). Es ergeben sich daraus verschiedene Interpretationsmuster, die in den fünf Aufnahmen wiedererkannt werden können: die Peters-Version würde die End-Achtel später einsetzen lassen, sie verkürzen und die lauter bringen (Pianist D: Ken Ara) als in der Urtext-Version, wo das letzte Achtel verlängert und unbetont ist (die anderen vier Pianisten) (GABRIELSSON 1987, 99–100).

Zu ähnlichen Ergebnissen in der Zeitdomäne gelangt auch eine deutsche Studie, die mithilfe eines YAMAHA MIDI-Flügels unternommen wurde (BEHNE & WETEKAM 1994, 24). Zehn Schulmusiker spielten wiederum die ersten acht Takte von Mozats KV. 331 ein – einmal musikalisch, einmal in einer rhythmisch möglichst exakten Version. Die Abweichungen von den notierten Verhältnissen waren den Ergebnissen von Gabrielsson sehr ähnlich, auch in der rhythmische exakten Version konnte man das typische Performace-Pattern erkennen. Die Autoren wundern sich, warum einmal bei der kürzeren Note Verlängerung (Achtel im Vergleich zu Viertel), einmal Verkürzung (Sechzehntel im Vergleich zu Achtel) eintritt. Es „kann hier kaum ein allgemeines Gesetz wirksam sein“ (BEHNE & WETEKAM 1994, 28). In einem Fragebogen wurde noch erhoben, inwieweit eine Phrasierung (4taktig, 8taktig) vom Spieler intendiert war. Bei manchen konnten die Angaben in der Tempodarstellung gut nachvollzogen werden, bei anderen nicht.

Auch eine amerikanische Untersuchung aus dem Jahr 1989 widmete sich dieser Mozart Sonate. Caroline Palmer ließ auf einem anschlagsdynamischen Keyboard mit gewichteten Tasten (YAMAHA KX88) sechs Pianisten (3 Studenten versus 3 Profis) die ersten acht Takte von der Mozart-Sonate KV. 331 einspielen: zweimal richtig und ein weiteres Mal unmusikalisch (PALMER 1989, 334). Sie untersuchte die MIDI-Daten auf Akkord-Asynchronizität, Rubato-Pattern und Tonüberlappungen. Die von Gabrielsson gefundenen rhythmischen Pattern konnte auch Palmer bestätigen, sogar in den mechanisch gespielten Versionen sind sie erkennbar, jedoch wesentlich kleiner. Die expressive Formung des Siciliano-Rhythmus ist im Spiel des Musikers immer vorhanden, nur das Ausmaß kann er graduell variieren.

Bruno Repp's Träumerei

Eine weitere Art der Betrachtung von zeitlichen Strukturen präsentierte Bruno Repp anhand der Schumann'schen „Träumerei" (REPP 1992a, 1995b, 1996a).

Zu zeitlichen Daten der Melodie gelangte er durch Ausmessen der Wellenform von 28 handelsüblichen Einspielungen durch 24 Pianisten (einige mehrfach vertreten). Dabei lag sein Meßfehler bei durchschnittlich 5ms (Repp 1992a, 2551). Er extrahierte das Grundtempo mithilfe der ersten Quartile (vgl. REPP 1994b, wo er andere Berechnungsarten vorschlägt).

Mithilfe einer Hauptkomponentenanalyse (*Principal Component Analysis*, PCA) kann er vier Faktoren finden, die untereinander geringe Ähnlichkeiten zeigen und zu denen die einzelnen Pianisten verschieden hohe Affinitäten aufweisen. Somit kann man die Einspielungen der Pianisten nach dem Kriterium ‚Ähnlichkeit in der Zeitgestaltung' gruppieren. Der erste Faktor repräsentiert eine zeitliche Struktur, die von den meisten (19) Pianisten geteilt wird, der zweite wird von 13 Pianisten geteilt, wobei Horowitz mit drei Aufnahmen vertreten ist. Der dritte (Cortot mit drei Einspielungen) und vierte werden von 5 bzw. 4 Pianisten angenähert.

In seiner Fortsetzungsstudie (REPP 1995b) ließ er 10 Klavierstudenten nach nur kurzer Einspielphase die Träumerei auf einem Yamaha Disclavier (Pianino) einspielen und verglich diese Daten mit den Profipianisten. Die zehn Studenten erbrachten nur *einen* hochladenden Faktor, sie waren zueinander sehr ähnlich und wiesen keine prinzipiell gegenläufigen Tendenzen auf (REPP 1995b, 2419). In einer kombinierten PCA (der ersten 8 Takte) mit allen Profis und Studenten, die 5 Faktoren lieferte, fanden sich 8 der 10 Klavierstudenten im ersten Faktor, gemeinsam mit sieben Profipianisten. Die große Ähnlichkeit in expressiver Zeitgestaltung bei nur kurzer Vorbereitung unter den Klavierstudenten verblüfft, Klavierstudenten produzieren diesselben Zeitmuster wie Profipianisten, obwohl diese weit individueller und innovativer zeitliche Strukturen ausführen.

Repp betrachtet jeweils einzelne Phrasenteile separat und paßte ihrem zeitlichen Verlauf parabolische Kurven an, welche als lineare Geschwindigkeitsänderung biologischer Beweugung im

Raum am besten entsprächen (REPP 1995b, 2425; SUNDBERG & VERILLO 1980).

Auch in Österreich wurde in einer kleinen Studie versucht, Plattenaufnahmen in objektiver Weise zu analysieren (LECHLEITNER 1994, 173–186). Gerda Lechleitner extrahierte aus zwei Einspielungen von Brahms-Walzern op. 39 (Walter Klien und Julius Katchen) Zeitwerte und verglich diese auf zeitliche Merkmale. Diese Daten werden in Zusammenhang mit Aussagen von Musikhistorikern (Winfried Kirsch 1970, Erwin Stein 1964) gebracht. Methodische Angaben über die Art der Datengewinnung fehlen allerdings.

Shaffer und ein präparierter Bechstein-Flügel

L. H. Shaffer (*University of Exeter*) verwendet für seine Klavier-Einspielungen einen speziell mit optischen Sensoren ausgestatteten Bechstein-Flügel. Er besitzt zwei Lichtschranken pro Hammer, die zeitliche Information über die Hammeraktivität geben (SHAFFER 1981, 343). So läßt sich die genaue zeitliche Struktur musikalischer Aufführung festhalten (Meßgenauigkeit $^{+}$/- eine Millisekunde), die Dynamik durch die Differenzzeit beider Lichtschranken ebenfalls gut bestimmen. Die Meßgenauigkeit bei der Dynamik im Vergleich zu heutigen MIDI-Instrumenten konnte ich nicht bestimmen.

Er knüpft mit dieser meßtechnischen Präzision dabei als Erster an die Forschungen der Seashore-Gruppe aus Iowa an, noch bevor sich der MIDI-Standard etabliert.

Mechanismen von *skilled performance* untersuchte L. H. Shaffer vor allem unter dem Aspekt *motor programming* (SHAFFER 1981, 326–376). Er stützt sich dabei auf Ergebnisse von Bewegungsstudien bei Tippen auf der Schreibmaschine und beim Sprechen, um sie auf das Klavierspiel zu übertragen. Er nimmt ein Bewegungs-Programm (*motor programm*) an, das es einem (freilich *skilled*) Interpreten erlaubt, oftmals ein Stück in sehr ähnlicher Weise zu spielen. Dabei wird eine innere Uhr konstruiert, die zu *temporal markers* (rhythmische Einheiten in der musikalischen Struktur) in Beziehung gesetzt wird.

Die unabhängige motorische Steuerung der beiden Hände wird anhand von Chopins Nr. 1 aus *Trois Nouvelles Études* (f-Moll) untersucht, deren rhythmischer Reiz in der Parallelführung von Achtelnoten versus Viertel-Triolen (=4:3) liegt. Die Pianistin in diesem Experiment hatte das Stück für ein Konzert studiert, spielte es einmal ein. Neben der dynamischen Auswertung ist vor allem die zeitliche sehr interessant: Shaffer geht von einem Modell einer inneren Uhr (*internal clock*) aus, das er nach dieser Untersuchung erweitert, in dem er feststellt, daß beide Hände getrennte zeitliche *time scales* erzeugen (SHAFFER 1981, 348, 353). Die *rubato*-Pattern weisen zwei Ebenen von Deformation auf: einerseits *rubati*, die in beiden Händen gleichzeitig auftreten, und andererseits zeitliche Verschiebung zwischen den beiden Händen.

In einer zweiten Untersuchung spielte ein guter Blattspieler eine vierstimmige Bachfuge (WTK II, Es-Dur) zweimal (aufgrund eines Fehlers in der ersten Fassung) ein, die er vor langer Zeit

studiert hatte und jetzt vom Blatt wiedergab (SHAFFER 1981, 357–365). Obwohl man nicht annehmen darf, daß der Pianist beide *takes* ähnlich machen *wollte*, weisen *timing*-Muster erstaunliche Übereinstimmungen auf. Die vier Stimmen (B, T, A, S) gliedern sich dynamisch im Durchschnitt (es wurde der Medianwert gemessen) von unten nach oben lauter werdend, d.h. der Baß ist leiser als der Tenor usw., am lautesten ist der Sopran. Shaffer weist ein hierarchisches rhythmisches Modell nach (vgl. VORBERG & HAMBUCH 1978, konnte von mir nicht eingesehen werden), das *temporal markers* definiert, innerhalb derer ein Interpret kleinere rhythmische Einheiten weiter untergliedert. Auf der Viertelnoten-Ebene zeigt die Einspielung systematische Tonlängenveränderungen (der erste und der dritte Schlag sind länger als der Zweite und der Vierte, SHAFFER 1981, 361).

In einem dritten Experiment spielt John Sloboda einen Tanz von Bartók in einem 3+3+2/8-Takt; hier zeigt sich eine Gliederung in 6 und 2 Achtel, das Taktende ist verlängert, wobei die einzelnen Hände teilweise unabhängig agieren (SHAFFER 1981, 365–369).

Sloboda 1983

In welcher Form Information zum Metrum in einer ausdrucksvollen Aufführung dem Hörer mitgeteilt wird, untersucht John A. Sloboda mithilfe des von L. Henry Shaffer entwickelten Meßflügels (SLOBODA 1983, vgl. SHAFFER 1981). Sechs Pianisten spielen jeweils fünfmal eine kurze dreitaktige Phrase im 4/4-Takt in zwei metrischen Varianten: die Taktschwerzeiten verschieben sich bei der zweiten Variante um ein Achtel nach hinten, obwohl der Rhythmus exakt derselbe bleibt. Sloboda untersucht nun, wie sich die zwei Ausführungen derselben Melodie in den beiden unterschiedlichen Metrisierungen unterscheiden. Dabei berücksichtigt er die Parameter Tondauern (IOI), Artikulation (Überlappung oder *„touch"*) und Dynamik. Die größten Unterschiede zeigen sich bei den metrisch wichtigeren Noten (die Eins und die Drei im 4/4 Takt): je betonter eine Note sein soll, desto länger und lauter wird sie gespielt (SLOBODA 1983, 388).

Er überprüft die Kommunikation dieser Information durch einen Hörtest, in dem er 10 musikalisch gebildete Versuchspersonen beurteilen läßt, wie eindeutig sich die 60 (akustischen) Aufnahmen zu den beiden Versionen zuteilen lassen (den Versuchspersonen stand der Notentext zur Verfügung). Die Beurteilungen streuten durchaus stark, man kann aber feststellen, daß je mehr Erfahrung der spielende Pianist hat, desto eindeutiger konnten die Versuchspersonen die metrischen Versionen zuordnen. Auch in der Beurteilungsgruppen kann man eine solche Tendenz erkennen: je größer die musikalisch aktive Erfahrung (beispielsweise Ausübung des Instruments), desto präziser auch die Zuteilungsfähigkeit bei den Aufnahmen der weniger erfahrenen Pianisten (SLOBODA 1983, 393). Obwohl die weniger erfahrenen Pianisten sehrwohl wußten, daß sie durch Variation von Tonlängen, Artikulation und Dynamik das Metrum definieren können, waren sie in der Ausführung im Vergleich zu den erfahreneren Pianisten dazu nicht imstande.

In einer frühen Studie betrachtet Eric Clarke rhythmische Aspekte bei Satie's „Gnossienne No. 5" (CLARKE 1985), in der zu einer gleichförmigen Achtelbegleitung die Melodie in unterschiedlichster rhythmischer Unterteilung steht (2er, 3er, ...7er). Er betrachtet diese rhythmischen Unterteilungen im Detail anhand einer Einspielung eines Pianisten auf dem Shaffer-Bechstein in Exeter.

Shaffer & Todd 1987

Anhand von Einspielungen auf einem speziell präparierten Bechstein-Flügel (optische Sensoren messen genaues *timing* und die Intensität jedes Tones, vgl. SHAFFER 1981) werden großflächige Zeitmuster im Zusammenhang zum Notentext diskutiert. Einspielungen von Chopins *Prélude* in fis-Moll (op. 28/8), von Bachs erstem *Preludium* (WTK I), von Saties *Gnossienne* No. 5 und von Chopins *Mazurka* in a-Moll (op. 17/4) werden öfters wiederholt. Sind die Stücke gut studiert, so weisen die Wiederholungen größe Ähnlichkeiten hinsichtlich des Tempos und der Phrasierung auf, bei *prima-vista*-Einspielungen (Bach) ist der Unterschied wesentlich größer (SHAFFER & TODD 1987, 145).

Der Vergleich zwischen zwei Pianisten am selben Stück war nur bei der Mazurka möglich. Beide Pianisten waren Chopin-Liebhaber und hatten das Stück gut studiert (SHAFFER & TODD 1987, 147–150). Obwohl das Grundtempo sehr unterschiedlich war, sind die Phraseneinschnitte und das Grundmuster der IOI-Werte sehr ähnlich. Dies legt nahe, daß *expressive timing* musikalische Struktur transportieren kann. Bei dem *Prélude* von Chopin versuchen die Autoren mit entsprechend parametrisierten paraboloiden Kurven und einer genauen strukturellen Analyse nach der Lerdahl & Jackendoff'schen *time-span reduction* (LERDAHL & JACKENDOFF 1983) das Zeitmuster nachzumachen (SHAFFER & TODD 1987, 144, vgl. auch TODD 1985, 1992, der die Parallelen zwischen Tempogestaltung durch Interpreten und musikalischer Struktur nach Lehrdahl & Jackendoff'scher *time-span reduction* in ein Modell faßte).

MANFRED CLYNES UND DIE PULS-THEORIE

Eine extravagante und spekulative Theorie, die eigentlich zu den *analysis-by-synthesis*-Verfahren zu zählen ist, die ich aber interessenshalber hier besprechen möchte, bietet Manfred Clynes (CLYNES 1981, 1983, 1986, 1987, 1990, 1992, 1995, 1996). In der Problematik Partitur versus Klang meint Clynes, daß ein Komponist zwar das Klangereignis mit seiner *expressive microstructure* eingeplant hat, aber außerstande gewesen wäre, es in der Partitur zu notieren. „The thought of the composer contains the microstructure, but he cannot put it on the paper!" (CLYNES, 1987, 202). Doch mithilfe seiner Puls-Theorie ist es „possible to fill the missing gap between thought and notation" (CLYNES 1987, 202).

Im Unterschied zu anderen Forschungsansätzen, die eine Interpretation vor allem in

Zusammenhang mit der gegebenen musikalischen Struktur stellen (SLOBODA 1983, SHAFFER, CLARKE & TODD 1985, Todd 1985, 1992 etc.), geht Clynes davon aus, daß es über die Gegebenheiten der lokalen musikalischen Struktur hinaus, über das konkrete Musikstück hinaus, über die Eigenart des Interpreten hinaus eine Konstanz auf der Ebene des Komponisten gibt, die sich in regelmäßigen, im ungefähren 1-Sekunden-Abstand wiederholenden Einheiten manifestiert. Er nennt dies *Composer-specific Pulse Microstrusture*.

Composer-specific Pulse Microstrusture

Die Grundlagen zu seiner Puls-Theorie entwickelte er mithilfe eines von ihm entwickelten Geräts, des Sentographen, das in der Lage ist, den sich verändernden Fingerdruck einer Versuchsperson auf einem Touch-Pad sehr genau zu messen. Die mit diesem Gerät von Versuchspersonen ermittelten Druckkurven geben Auskunft über charakteristische Reaktionen des Nervensystems auf spezielle emotionale Reize. Sie sind bei verschiedenen Menschen äußerst ähnlich (Meßergebnisse von US-Amerikaneren, Australiern und Aborigines stimmen sehr überein, CLYNES 1987, 90f). Diese Druckkurven übertrug Clynes analog in akustische Formen (*Sentic Forms*, zunächst ohne diskrete Tonhöhen), die die emotionale Information für z.B. *Love, Joy, Anger, Sex, Reverence* in sich trugen und von Testpersonen eindeutig identifiziert werden konnten. Auch nach ihrer Umwandlung in konkrete Melodien mit Tonhöhen und Tonlängen blieb der emotionale Gehalt bestehen!

Die Idee eines komponistenspezifischen Pulssystems (Clynes bezieht sich dabei auf Forschungsarbeiten von BECKING 1928) umsetzend, ließ Clynes hochmusikalische Versuchspersonen (Rudolf Serkin, Pablo Casals, vor allem sich selbst) gewisse Musikstücke in Gedanken musizieren und gleichzeitig auf dem Sentographen „herumfingern". Die Ergebnisse waren verblüffend: es ergab sich zunächst für Haydn, Mozart, Beethoven und Schubert, später auch für andere Komponisten, jeweils eine gewisse Form des Pulses (Abbildungen siehe CLYNES 1983, 92ff). Je nach Tempo eines Stückes wird der Puls auf verschiedene Notenwerte angewandt (3er oder 4er Puls), meist in einer Periodendauer von ca. *einer* Sekunde.

Ausgehend von diesen Vorgaben synthetisierte Clynes bestimmte, zeitlich wie dynamisch geprägte Tonformen, deren Parameter er solange veränderte, bis sie jenen Grad der Komponistenspezifität erreichten, den er anstrebte. Durch dieses Analsye-durch-Synthese-Verfahren kam er zu jenen Zeit- und Dynamikwerten, die er im Folgenden als *Composer-specific Pulses* zur Verfügung stellt, welche sich in verschiedenen hierarchischen Ebenen manifestieren können (CLYNES 1987).

In einem weiteren Aspekt seiner Theorie führt er ein Regelsystem zur Generierung von Klang an: *Predictive Amplitude Shaping* (PAS), in dem er sinusoidale Schwingungen verwendet (CLYNES 1983, 1987, 1990). Dabei spielen u.a. seine sogenannte *Beta-Funktion* (CLYNES 1983, 96) eine wichtige Rolle, die die bestimmte Form der Sinuswelle definiert und ebenfalls für jeden Komponisten typisch ist.

Einen umfassenden Einblick gewährt eine Internet-Homepage der Software-Firma *microsoundmusic*, die ein freies browser-plug-in (*SuperPerfomer*) anbietet und einen stattlichen Auszug seiner artifiziell generierten Musik präsentiert: Verschiedene Instrumente und Besetzungen werden dabei nachgeahmt: Geige solo, Streich-, Klavierquartett, Oboe, Cello solo, Bläserensemble etc., und verschiedene Komponisten mit Beispielen abgedeckt: Bach, Mozart, Beethoven, Mendelssohn, Brahms etc. (vgl: *http://www.microsoundmusic.com/default.htm*, Stand: Herbst 1999).

Die Puls-Theorie im Test

Die Puls-Theorie, die 1983 in Stockholm (ein Seminar organisiert von der Schwedischen Academy of Music, Okt. 1982) für Aufregung sorgte, wurde im folgenden von Bruno Repp (REPP 1989a, 1989b, 1990a, 1990b, 1990c) und William Forde THOMPSON (THOMPSON 1989) überprüft.

Nach dem Clynes'schen Prinzip künstlich erzeugte Musikstücke (von Haydn, Mozart, Beethoven und Schubert) wurden musikalisch gebildeten Testpersonen (meist Musikstudenten) in verschiedenen Versionen vorgespielt. Die Versionen enthielten immer den korrekten Puls und jeweils einige nicht korrekte. Die Versuchspersonen hatten diese „Interpretationen" nach komponistentypischen Aspekten hin zu beurteilen. Die Ergebnisse konnten zwar die Theorie nicht widerlegen, sie aber auch nicht wirklich bestätigen. Zwar fanden manche korrekte Pulse bei den Versuchspersonen mehr Gefallen als inkorrekte, vor allem war die pulsierte Version höher eingestuft als ein *deadpan*-Version (REPP 1990c, 638), doch streuten die Ergebnisse stark.

Manfred Clynes warf in einem Artikel (CLYNES 1990) Thompson und vor allem Repp Ungenauigkeit und Fehler (vor allem bei der Puls-Konfiguration) beim Überprüfen seiner Thesen vor und bezweifelte die Gültigkeit ihrer Testergebnisse. (In einem, noch im selben Heft von *Music Perception* erschienen Gegenartikel verteidigt sich Bruno Repp (REPP 1990a) gegen Clynes' Vorwürfe: Wenn zum Testen seiner Theorie so hohe Präzisionsstandards notwendig seien, um überhaupt Ergebnisse zu erzielen, so dürfte es sich dabei um ein sehr „fragile" Theorie handeln.)

In einer weiteren Studie belegt Bruno Repp, daß eine Puls-Theorie den gemessenen Ergebnissen widerspricht (REPP 1990c): er vermißt 19 Plattenaufnahmen von Beethovens op. 31/3: Menuetto: *Moderato grazioso* in zeitlicher Hinsicht (sein Meßfehler bleibt unter 2% oder 12 ms, REPP 1990c, 623). Es konnte zwar festgestellt werden, daß in dem ¾-Takt der erste und der dritte Schlag länger ist als der zweite, doch weitere rhythmische Pattern konnten nicht gefunden werden. Es schien eher so zu sein, daß die lokale musikalische Struktur eine Interpretation mehr beeinflußt als ein konstantes Pattern. Weiters wiesen die Aufnahmen hohe zeitliche Konsistenz untereinander auf (die ersten zwei Faktoren hielten 71% der Gesamtvarianz), was zeigt, daß es einen gewissen zeitlichen Standard für die Realisation einer derartigen Partitur geben muß (REPP 1990c, 639).

In einer Beurteilung der verschiedenen Aufnahmen durch 9 musikerfahrene Hörer konnte

Repp nachweisen, daß auch Hörer einem solchen *„common standard"* gehorchen, und daß Abweichungen von ihm schlecht beurteilt werden bzw. wenn diese zumindest *„imaginative"* sind, die Beurteilungen stark divergieren (REPP 1990c, 639).

In einer von Manfred Clynes selbst geleiteten Studie (CLYNES 1995) führt er einen umfangreichen Test seiner Puls-Theorie an insgesamt 135 Versuchspersonen durch und kommt zu, wie er meint, eindeutigen Ergebnissen. Seine Versuchspersonen sind nach ihrem musikalischen Ausbildungsstand geordnet: 10 berühmte Pianisten (u.a. Paul Badura-Skoda), drei Gruppen von Musikstudenten von drei Konservatorien und eine unmusikalische Testgruppe. Die Stücke waren wiederum Ausschnitte von Haydn, Mozart, Beethoven und Schubert (nicht von Clynes ausgewählt). Die Ergebnisse lassen ihn seine Theorie eine robuste nennen. Hauptaussage: Der jeweils korrekte Puls wird von den Versuchspersonen den inkorrekten vorgezogen (*„accuracy-Effect"*), wobei zu beobachten ist, daß je höher die musikalische Ausbildung, desto präziser das Ergebnis Die Korrelation Korrekter-Puls–Komponist war also bei den zehn berühmten Künstlern die höchste. (Ich möchte an dieser Stelle anmerken, daß Sir Yehudi Menuhin, der auch als Testperson agierte, lediglich die „Interpretation" der Haydn-Sonate Hob. XVI/48, C-Dur, 3.Satz (die ersten 12 Takte) als *„finished performance"* (zit. n. CLYNES 1995) bezeichnet, daß also alle anderen sinusoidal produzierten Stücke durchwegs besonders artifiziell geklungen haben müssen.)

Ungewöhnlich an dieser Methodologie scheint mir die besondere Subjektivität dieses Analyse-durch-Synthese Ansatzes zu sein. Bei der Gewinnung dieser Komponistenspezifika verläßt sich Clynes offenbar ganz auf seine musikalische Intuition; es ist daher auch anzunehmen, daß er einen u.a. durch ihn favorisierten Interpretationsstil oder eine bestimmte Musikauffassung transportiert, indem er solche Puls-Pattern derart präzise festsetzt. Steht er da nicht ganz in der begrenzten Beliebigkeit von Aufführungspraxis, die sich, wie wir bereits über fast ein Jahrhundert akustisch beobachten können, von Generation zu Generation ändert?

Es ist schon anzunehmen, daß die nach seinem Reglement generierte Musik besser klingt als eine völlig neutrale Version, doch muß die Allgemeingültigkeit eines komponistenspezifischen Pulses stark angezweifelt werden. Über die Frage seiner Entstehung kann daher nur gemutmaßt werden, seine Partiturimmanenz ist kaum vorstellbar, eher ein Wachsen von Aufführungsschemata im Laufe der Interpretationsgeschichte. Für William Thompson hängt Komponistenspezifität in Interpretationen eher von Dingen wie typische Pedalgebung, Dynamikumfang oder Artikulation/Phrasierung ab (vgl. THOMPSON, 1989, 23 und 41).

Clynes bestreitet, daß jene Puls-Pattern in Aufnahmen (oder evtl. MIDI-Einspielungen) von lebenden Interpreten wiederzufinden sind, da sie nicht so strikt angewendet werden und werden sollen (CLYNES 1987, 207). Ein Interpret wäre daher also nicht imstande, Musik zu erzeugen, in denen diese *Pulse-Patterns* nachweisbar wären. Daher ist eine eventuelle weitere Überprüfung dieser ohnehin schon sehr spekulativen Theorie hinfällig.

Numerische Bestimmung des Grundtempos

Wie errechnet man aus den gemessen Zeitdaten einer bestimmten Einspielung das Grundtempo (in Metronom-Schlägen pro Minute), wie es der Interpret bzw. der Hörer empfinden würde. Man könnte aus jedem Tonlängenwert (IOI) z.B. der Melodiestimme im Vergleich zu seiner Nominaldauer in der Partitur eine Metronomangabe errechnen (Reziprokwert). Den Durchschnitt aller Metronomwerte könnte man als Grundtempo ansehen. Große Ritardandi würden diesen Wert stark in Richtung eines zu langsamen Tempos verzerren.

Zu dieser Problematik liefert Bruno Repp einen interessanten Beitrag (Repp 1994b). Zwei Pianisten spielen auf einem Keyboard insgesamt neunmal die ersten 8 Takte der Schumann'schen „Träumerei", dreimal im bevorzugten Tempo, dreimal schneller, dreimal langsamer. Sie gaben jeweils vor den Einspielungen das Tempo an, das sie zu spielen intendierten. Diese Einschätzungen waren stets höher (schneller) als die Realisation selbst.

Nachfolgende Hörtest durch neun Klavierstudenten bestätigten das *gespielte* Tempo der Pianisten, und nicht ihr *intendiertes*. Dabei wird klar, daß das gespielte Tempo als Mittel der reziproken IOI-Verteilung (lokale Tempoverteilung in Schlägen pro Minute (M.M.)) ermittelt werden kann, eher als durch den Modalwert oder eine Perzentile. Starke *ritardandi*, d.h. Verzerrungen der IOI-Verteilungen im oberen Abschnitt (in der reziproken im unteren) müßten bei der Tempobestimmung weggelassen werden, um den Wert nicht nach unten zu verzerren (in Repps Beispiel traten keine allzu großen Schlußriterdandi auf).

In früheren Untersuchungen benützte Repp zur Extraktion des Grundtempos die erste Quartile einer IOI-Verteilung (Repp 1992a).

Akkord-Asynchronizität

Töne, die in der Partitur untereinander notiert sind, werden selten wirklich gleichzeitig gespielt, kleine Zeitdifferenzen beim Anschlag eines Akkords treten immer auf, ein menschlicher Spieler ist zu völliger Synchronizität nicht fähig. Man kann aber beobachten, daß diese Asynchronizitäten eine gewisse Systematik aufweisen können, z.B. die Melodiestimme ist früher als die Begleitung (*melody lead*) oder die linke Hand wird vor der rechten gespielt (eine Manier vor allem einer älteren Pianistengeneration).

Diese Asynchronizitäten treten nicht nur beim Klavierspiel auf, sondern wurden auch bei Instrumental-Ensembles beobachtet: bei Holzbläser- bzw. Blockflöten-Ensembles beträgt die Zeitdifferenz zwischen den Instrumenten ca. 30ms, bei Streichtrios wurden bis zu 49ms gemessen (Rasch 1979). Die Zeitdifferenzen zwischen den Instrumenten werden umso größer, je länger der Einschwingvorgang dauert.

Unser Ohr kann zwar bei sehr kurzen Einschwingvorgängen (zwischen 0,6 und 10ms) sehr

kurze Zeitunterschiede zwischen Toneinsätzen feststellen (sogar unter 1ms, ZERA & GREEN 1992, 1038), wobei bei längeren Einschwingvorgängen der perzeptuelle Toneinsatz nicht mehr so klar ist (vgl. VOS & RASCH 1982). Unterhalb von ca. 30ms werden ungleichzeitige Toneinsätze mit Einschwingvorgängen üblicher Orchesterinstrumente nicht mehr als ungleichzeitig gehört (GORDON 1987, 92; RASCH 1979). Bei Christoph Reuter fällt diese Schwelle in die „zweite Integrationszeit" des Ohres (bis ca. 50ms) und wird als „Verwischungsschwelle" oder *perception time smear* bezeichnet (REUTER 1995, 33 und 222ff). Bei dem Hören von beinahe gleichzeitigen Toneinsätzen spielen sowohl spektrale als auch zeitliche (va. *foreward masking*) Verdeckungsphänomene eine große Rolle.

Das Phänomen des *melody lead*s bewegt sich beim Klavier ebenfalls im Rahmen der 30ms (siehe unten), was perzeptuell nicht wirklich hörbar ist. Eine noch unbeantwortete Frage dabei ist, ob dieser *melody lead* auf das Phänomen der dynamikabhängigen Zeitcharakteristik der Klaviermechanik (*velocity artefact*, siehe unten) gänzlich zurückzuführen ist, oder ob der Pianist diesen Effekt willkürlich steuern kann und ihn als musikalisches Ausdrucksmittel zum Verdeutlichen von Stimmführungen verwendet.

Erste Forschungen dazu finden wir von der Seashore-Gruppe in den USA (VERNON 1937, HENDERSON 1937) und in Deutschland (HARTMANN 1932) (siehe Kapitel *Historische Forschung*).

In jüngerer Zeit knüpften amerikanische Wissenschafter an diesen Forschungen der 1930er an. Die oben bereits erwähnte Caroline Palmer (PALMER 1989 und 1996b) und Bruno Repp (REPP 1996e).

Aus den Keyboard-Einspielungen von Mozarts Variationsthema aus KV. 331 durch sechs Pianisten (PALMER 1989) geht hervor, daß die Melodie konsequent bis zu 30 Millisekunden führt, in den musikalischen Versionen mehr als in den unmusikalischen. Der *melody lead* ist bei den Profi-Pianisten größer als bei den Studenten. Palmers Pianisten gaben an, die Melodie lediglich lauter zu spielen, nicht aber früher. Die Korrelation zwischen Dynamik und *melody lead* ist nur bei vier von sechs Pianisten signifikant, was bedeutet, daß dieser Effekt nicht nur durch das schnellere (=lautere) Hinunterdrücken der Taste entsteht (PALMER 1989, 335). Bei den Tonüberlappungen ergeben sich kaum Unterschiede zwischen Experten und Studenten, die Länge der Überlappung war großteils proportional zu den einzelnen Tonlängen (PALMER 1989, 338).

In einem zweiten Experiment, in der ihr acht (andere) Pianisten (vier Studenten, vier Profis) das Thema von Brahms' Intermezzo op.117/1 (*Schlaf sanft mein Kind...*) einspielten (Methodik wie oben, Keyboard), mußten die Versuchspersonen zusätzlich noch angeben, welche Stimme sie als Melodie betonten. Der *melody lead* (berechnet zu der von den Pianisten angegebenen Stimme) war nicht sehr groß; doch auf den Taktschwerzeiten (1 & 4 im 6/8 Takt) war er beträchtlich.

Dieses Ergebnis könnte durch die Tatsache beeinflußt sein, daß die Melodiestimme teilweise in der Mitte eines Akkordes liegt.

Sieben Jahre später befaßte sich Palmer mit einer verfeinerten Gerätschaft an denselben Fragen (PALMER 1996b, 23–56): Unter Verwendung eines Bösendorfer SE 290 an der *Ohio State University* untersucht sie das Phänomen *melody lead* noch einmal gründlich. In drei unabhängigen Experimenten läßt sie das Regentropfen-Prélude (Chopin, op. 28/15, drei Profis, drei Studenten, sie haben das Stück gut studiert), die Beethoven-Bagatelle op. 126/1 (fünf Profis, fünf Studenten, prima vista, jeweils zehnmal eingespielt) und das Variationsthema von Beethovens op. 109 (ein Profi, in mehreren Versionen eingespielt) auf dem Bösendorfer SE 290 darbieten, jeweils einige Male musikalisch und einmal in unmusikalischer Form.

Der *melody lead* war stärker bei Experten, stärker in übertrieben gespielten Versionen, wurde stärker, je besser das Stück bekannt war und wurde etwas kleiner in den unmusikalischen Versionen. Einer der Pianisten setzte den *melody lead* ein, um die Aufmerksamkeit auf eine Stimme zu lenken, er verwende ihn als expressives Ausdrucksmittel, „to emphasize different melodic interpretations“ (PALMER 1996b, 52).

In einem abschließenden Hörtest überprüfte Caroline Palmer an musikalischen Personen die Indentifizierbarkeit von Melodiestimme versus Begleitung. Dazu konstruierte sie aus dem dritten Experiment mehrere Kunstversionen von dem Thema des letzten Satzes aus Beethovens op.109: eine mit übertriebender Oberstimme, eine mit normal betonter Oberstimme, eine mit betonter Unterstimme und eine mit übertriebener Unterstimme. Diese vier Versionen wurden jeweils mit allen Zeit- und Intensitätsvariationen, nur mit Zeitvariationen (die Dynamik war vereinheitlicht) und ohne beides (alle Akkorde exakt zusammen und Dynamik vereinheitlicht) am Bösendorfer SE vorgespielt. Das Ergebnis war folgendes: die Version mit beidem, Zeit und Dynamik, wurde ziemlich klar auf die Melodieführung zugeordnet, die völlig sterile konnte kaum zugeordnet werden, diejenige nur mit dem *melody lead* konnte ebenfalls kaum zugeordnet werden. Ein Untergruppe der Testpersonen bestand aus Pianisten, diese konnte mit der Nur-Zeit-Version etwas besser umgehen als Nicht-Pianisten (PALMER, 1996b, 45–51).

Man könnte das Phänomen der der Begleitung stets vorgezogenen Melodie mit dem Begriff *stream segregation* (BREGMAN & PINKER 1978, zit. n. PALMER 1996b, 52) erklären: die Perzeption eines intendierten *perceptual stream* wird durch permanente Asynchronizität erzeugt. Das Phänomen wirkt stärker bei vorgezogener Melodie als bei schleppender (PALMER 1996b, 52): eine eventuelle zeitliche Verdeckung wirkt stärker nach hinten als nach vorne (*temporal backward/foreward masking*).

Eine andere Frage ist, wie weit denn der *melody lead* nicht auch ein spieltechnisch bedingtes Phänomen darstellt (vgl. REPP 1996e: *velocity artifact*): werden zwei verschiedenlaute Töne (z.B. mit einer Hand) gleichzeitig angeschlagen, erzeugt der lauter gespielte früher einen Ton als der

leiser gespielte (vgl. Kapitel: *Das Zeitverhalten der Klaviermechanik*). Doch die von Palmer überprüften Korrelationen zwischen *melody lead* und Intensitätsdifferenz waren nur in einigen Fällen signifikant (ca. die Hälfte), offenbar ist die rein spieltechnische Erklärung dieses Phänomens anhand ihrer Daten und mit ihrer Methodik nicht ausreichend (PALMER 1996b, 32 und 38).

In dem Aufsatz von 1989 (PALMER 1989) müßte unter der Annahme des *velocity artifact* der *melody lead* deutlich geringer ausfallen, als im Aufsatz von 1996 (PALMER 1996b), da der Bösendorfer-Flügel die *onset*-Zeiten an der Saite mißt, und nicht an den Tasten, wie das ein Keyboard macht. Das heißt: einzig bei dem Bösendorfer-Flügel ist die Klaviermechanik in der Messung miteingeschlossen und somit der *velocity artifact* meßbar. Doch geht Palmer in ihrer Studie leider von der fehlerhaften Annahme aus, daß der Bösendorfer-Flügel die *onset*-Zeiten an der Taste mißt (PALMER 1996b, 27 & 29, vgl. auch Kapitel: *Funktionsweise des Bösendorfer SE 290*). Aus diesem Grunde sind die gewonnenen Ergebnisse und Interpretationen der Autorin nicht mehr sehr überzeugend.

Auch Bruno Repp widmet zur selben Zeit sich gründlich dem Phänomen der Akkord-Asynchronizität bei Pianisten (REPP 1996e). Er untersucht anhand von Einspielungen von zehn Klavierstudenten von der *Yale School of Music*, die auf einem Yamaha MIDI-Pianino die Schumannsche Träumerei, ebenfalls das Regentropfen-Prélude (absichtlich wie PALMER 1996b) und *La Fille aux cheveux de lin* von Debussy (Préludes I/8). In seiner Methodik geht er weit differenzierter vor als Palmer und kommt zu teilweise sehr gegensätzlichen Ergebnissen.

Er erstellt zunächst jeweils die zeitlichen Abweichungen jeder einzelnen Stimmer zur Melodie (bzw. Oberstimme). In Graphiken werden das durchschnittliche Asynchronizitäts-Pattern der einzelnen Pianisten eines Stückes sowie das durchschnittliche Asynchronizitäts-Profil aller Pianisten zu den jeweiligen Akkorden dargestellt. Dabei unterscheidet er (im Gegensatz zu Palmer) zwischen (a) Notenasynchronizitäten innerhalb einer Hand und (b) Notenasynchronizitäten zwischen den Händen (REPP 1996e, 3919).

Ad (a): diese lassen sich wegen ihrer hohen Korrelationen zu MIDI-*velocity*-Differenzen (Korrelation *melody lead* zu Differenz von *velocity* der Melodie und *velocity* der betreffenden Begleitstimme) großteils mit dem Phänomen des *velocity artifact* erklären (REPP 1996e, 3917, 3920, 3929, vgl. Kapitel: *Zeitverhalten der Klaviermechanik*). Innerhalb einer Hand (Melodie in einem Akkord oben) ist der *melody lead* eine spieltechnische Gegebenheit und es ist nicht sicher, ob der Pianist diese bewußt stark verändern kann. Dieses Ergebnis widerspricht den Ergebnissen von Palmer (1996b), Repp vermißt in Palmers Methodik die Differenzierung zwischen Asynchronizität innerhalb der Hand und zwischen den Händen.

Ad (b): hier teilt Repp seine 10 Pianisten per *Principal Components Analysis* in zwei Teile (durch alle Stücke erstaunlich konsistent), der eine Teil, der die beiden Hände eher synchron spielt, der andere, der die linke Hand meist zu früh bringt. Die letztere Gruppe ist sich ihrer Eigenart

bewußt, sie betrachtet sie eher als Angewohnheit, denn als bewußte Strategie (Repp 1996e, 3930). Repp vergleicht die Manier, die Melodie nach der Begleitung zu spielen, mit Vorschlagsnoten oder Arpeggios, bei denen ebenfalls die oberste Noten resp. Melodie am spätesten komm (Repp 1996e, 3930).

Besonders interessant ist die Analyse des Regentropfen-Préludes, da es drei sehr unterschiedlich gebaute Teile (Takte 1–27, 28–59, 60–75 und Reprise wie der Beginn) besitzt, die mit unterschiedlichem Asynchronizitäts-Pattern gespielt werden. Der Beginn besteht aus eine einzelnen Melodiestimme mit der Begleitung in der linken Hand. Hier zeigt sich, daß die eine Gruppe mit der linken-Hand-früher-Manier (Group I) konsequent um 20–50 ms mit der linken Hand vor der Rechten ist, während die andere Gruppe (Group II) die Melodie um 40 ms führen läßt (Repp 1996e, 3928). Am Beginn des zweiten Teils (Takte 28–34 resp. 44–50) führt die Linke nur um 20 ms (Group I) oder wird sehr synchron gespielt (Group II); im folgenden Teil (Takte 35–43 resp. 51–60) verschwindet der linke-Hand-*lead* der Group I bzw. entsteht ein linke-Hand-*lag* bei Group II. Der dritte Teil (Takte 60–75) war für Repps Pianisten offenbar am schwierigsten, es traten häufig Fehler auf. Beide Gruppen zeigten starken *melody lead* (bis zu 40ms), die Linke streute stark, ging aber großteils parallel zur Melodie (Repp 1996e, 3929).

Gerade in der Frage, welche Rolle tatsächlich das dynamikabhängige Zeitverhalten der Klaviermechanik (*velocity artifact*) für den *melody lead* spielt, ist noch einiges an Forschung notwendig. Interessant wäre noch, wie Pianisten auf unterschiedlich eingestellte Klaviermechaniken reagieren bzw. wie sie bei unterschiedlichem *velocity artifact* ihr Spiel anpassen und wie schnell sie sich einer solchen veränderten Situation anpassen können.

Diese ungeklärten Fragen seien Gegenstand zukünftiger Forschung.

3. Das Klavier

Die Literatur zu „Klavier“ bzw. *piano* ist ungeheuerlich groß und facettenreich, ich möchte für prinzipielle Konstruktionsfragen und allgemeine Einleitungen auf folgende Literatur verweisen: *Encyclopedia of the piano* 1996; Belt et al. 1988; Fletcher & Rossing 1991, 305–344; Good 1982; Henkel 1996; Uchdorf 1985.

Bezeichnung ‚Clavier‘ (clavis – lat. Schlüssel) für ein „System von Tönen mit festliegender Höhe im Gegensatz zum relativen und verschiebbaren, nur stufenmäßig geordneten System der Solmisation“ (Henkel 1996, 283). Klaviaturen waren schon in der Antike bekannt, die ältesten erhaltenen stammen aus dem 14. Jahrhundert. ‚Clavier‘ zunächst nur als allgemeine Bezeichnug für Tasteninstrumente, ab ca. 1730 eher für das Clavichord; ab ca. 1870 steht die Bezeichnung ‚Klavier‘ in Deutschland für ‚Pianino‘ (aufrechtes Klavier) im Gegensatz zum ‚Flügel‘ (horizontales Klavier). Diese Terminologie ist in Österreich nicht so getrennt: ‚Klavier‘ als Überbegriff, ‚Pianino‘ und ‚Flügel‘ als spezielle Begriffe für vertikale bzw. horizontale Saitenausrichtung, ähnlich wie im Englischen ‚piano‘ – ‚upright piano‘ und ‚grand piano‘.

Gattungssystematik: Das Klavier zählt zu den Klavierinstrumenten, im speziellen zu den Saitenklavieren mit Hammermechanik (die Unterteilung dort in Hammerflügel, Pianino, Tafelklavier etc.) (nach Henkel 1996, 289–290).

Die Anfänge des Klaviers gehen auf Bartolomeo Cristofori (Anfang des 18. Jahrhunderts) zurück, der mit der Konstruktion einer Stoßzungenmechanik und dem Einsatz von Hämmern erstmals ein Tasteninstrument erfand, auf dem größere und kontinuierliche Dynamikunterschiede möglich wurden (im Vergleich zu Clavichord und Cembalo). Die Weiterentwicklung dieses Instruments begann noch am Ende desselben Jahrhunderts durch verschiedene Klavierbauer und erreichte ihren Höhepunkt in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts. Die Konstruktionsweisen änderten sich ständig, neue Patente und Erfindungen kamen permanent hinzu; die Klanglandschaft der Flügel dieser Zeit war bunt und äußerst inhomogen, von Ort zu Ort und von Klavierbauer zu Klavierbauer verschieden. Parallel zu der Entwicklung des Klavierbaus sind auch neue Spieltechniken von Pianisten und Komponisten zu sehen, neue und höhere Anforderungen in bezug auf Klang und technischer Spielbarkeit werden an die Instrumente gestellt, Virtuosentum bildet sich heraus, die Institution Konzert entsteht, dem Klavier fällt gesellschaftlich wie wirtschaftlich eine überaus wichtige Bedeutung zu (vgl. Hildebrandt 1985).

Erst mit der Präsentation eines Steinway D-Flügels auf der Weltausstellung 1867 in Paris treffen wir auf ein Modell, das im Prinzip bis heute kaum verändert gebaut wird (Good, 1982, 176–183). Im 20. Jahrhundert nun stagniert die Weiterentwicklung des Klaviers, der Klang wird innerhalb des Instruments (keine Registerwechsel mehr) wie unter den verschiedenen Klavierfirmen immer einheitlicher. Die „englische“ Mechanik, dh. die doppelte Stoßzungenmechanik und der schwere Eisenrahmen mit gekreuzten Saiten, um nur einige der wichtigsten Konstruktions-

prinzipien eines heutigen Flügels zu nennen, setzen sich quasi als internationaler Standard durch. Ein moderner Konzertpianist kann sich auf den großen Podien der Welt zwischen Tokio und Buenos Aires, zwischen New York, Sydney und Wien auf einen unbekannten Konzertflügel sofort einstellen, da dieser den allbekannten und erwarteten Anforderungen entsprechen wird.

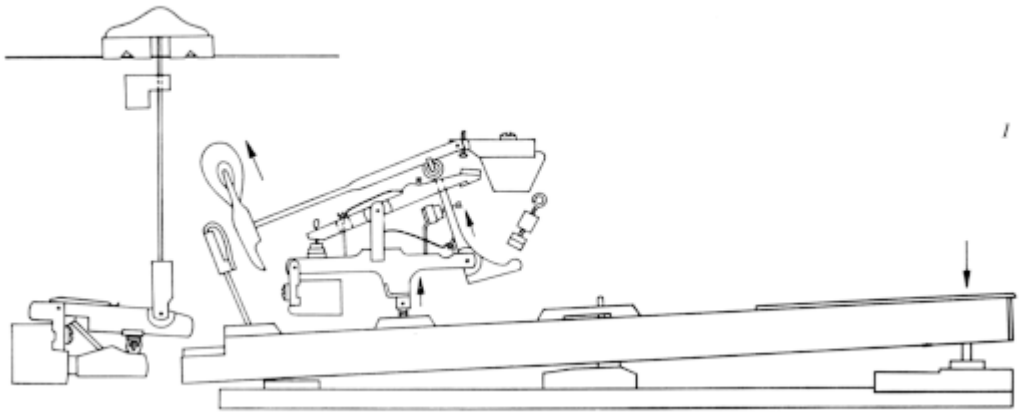
Die vielen instrumentenphysikalischen Untersuchungen am Flügel wurden zwar immer an verschiedenen Marken und Längen durchgeführt, man kann aber annehmen, daß diese Varianz eher zu vernachlässigen sein wird. Einzig erachte ich den Unterschied zwischen einem Pianino und einem Flügel sowohl in klanglicher wie auch in mechanischer Hinsicht als so groß, daß man ihn in gewissen Bereichen (z.B. das Zeitverhalten der Mechanik) nicht vernachlässigen sollte.

Sowohl in der klassischen Klavierausbildung an den Konservatorien und Hochschulen, wie auch bei Klavierwettbewerben wird der Variationsfaktor des Instruments Klavier nicht prinzipiell beachtet, sondern eher ein nur individuell wenig variables Ideal eines „guten" Flügels angenommen, das circa von den Welt-Firmen Steinway und Bösendorfer (um nur zwei der gegensätzlicheren zu nennen) abgesteckt wird. (Eine Ausnahme dabei bilden alljene Pianisten, die sich mit authentischer Aufführungspraxis der Klaviermusik beschäftigen und dabei auf den noch reichlich vorhandenen und mittlerweile auch gut restaurierten Flügelbestand des späten 18. und des 19. Jahrhunderts zurückgreifen. Für sie ist die Wahl des Flügels zu einem bestimmten Werk schon Gegenstand langer Überlegung und Teil der Interpretation.)

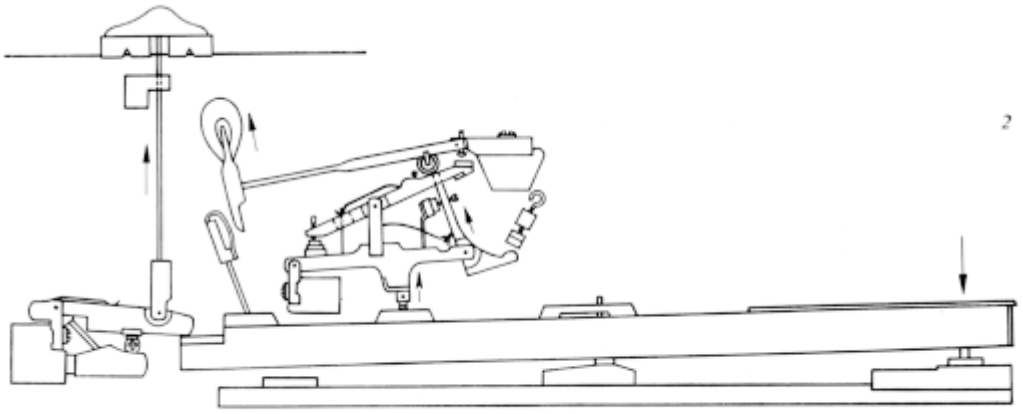
Daher kann man annehmen, daß die in meinem Experiment einspielenden Pianisten, die allesamt mit diesem Klavierstandard vertraut sind, alle in prinzipiell ähnlicher Weise auf den im Experiment verwendeten Bösendorfer Imperial reagieren. (Im Gegensatz zu den oben erwähnten Hammerklavierspielern oder etwa Keyboardern, für die ein gutgestimmter Konzertflügel ungewohntes Terrain darstellen kann.)

Funktionsweise der Klaviermechanik

In Ruheposition liegt die Taste am hinteren Tasten(end)filz auf, das Hebeglied befindet sich in seiner tiefsten Position, die Stoßzunge ruht direkt unter dem Röllchen des Hammers, der Dämpfer auf der Saite – das rechte Pedal sei nicht gedrückt (**Abbildung 1**).

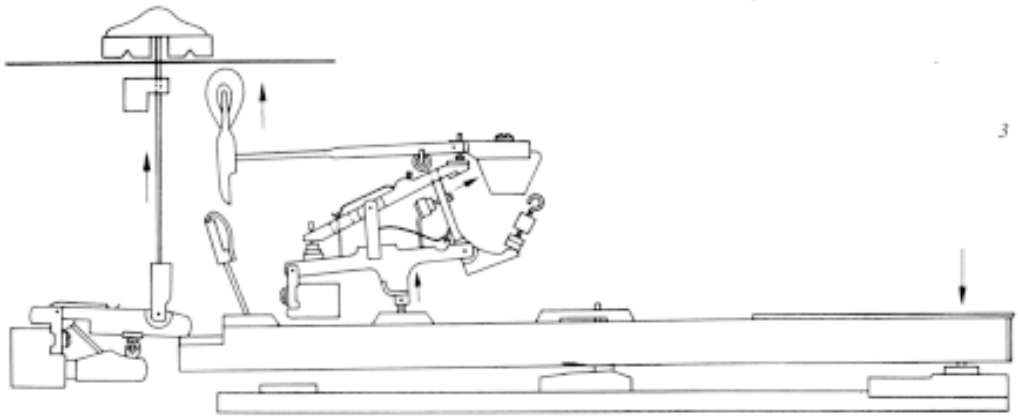


Bein Anschlagen einer Taste hebt diese über den Piloten das Hebeglied, die Stoßzunge und den Hammer; die Tastenrückseite betätigt den jeweiligen Dämpfer (**Abbildung 2**), die volle Beschleunigung der Taste wird über die Stoßzunge, das Hammerröllchen auf den Hammerstiel und den Hammer selbst übertragen.



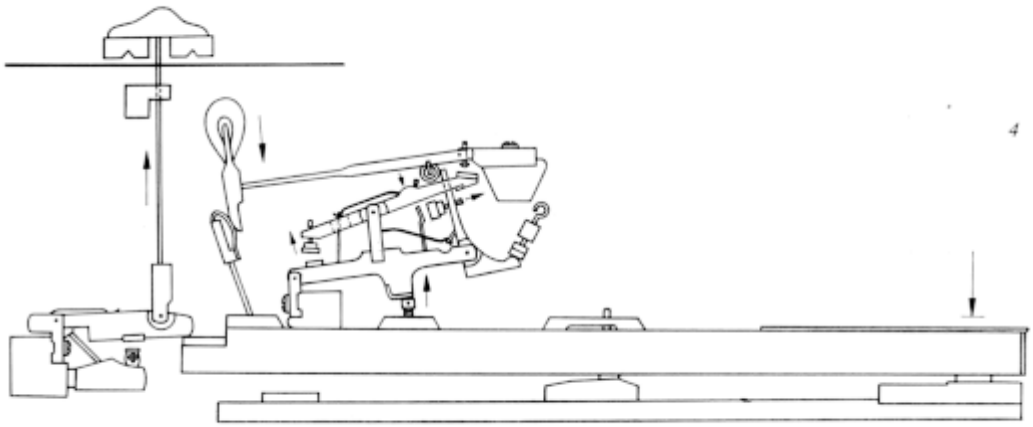
(Fünf Abbildungen aus: UCHDORF 1985, 102–103)

Kurz vor Auftreffen des Hammers auf die Saite stößt die Stoßzungennase gegen die Auslösepuppe. Dadurch wird die Stoßzunge abgelenkt, der Kontakt zwischen Taste und Hammer unterbrochen und die Beschleunigung von der Taste auf den Hammer nicht weiter übertragen



(**Abbildung 3**).

Die Taste fällt in den Filz des vorderen Tastenbodens, während der Hammer nach kurzem freien Flug (ohne weitere Beschleunigung) auf der Saite auftrifft und nach entsprechender Verweildauer wieder zurückgeschleudert wird. Wieder unten angekommen wird er vom belederten Fänger aufgefangen, während das für einen eventuellen weiteren Anschlag wichtige Röllchen auf dem Repetierschenkel zu ruhen kommt, der von einer Feder noch oben gedrückt wird (**Abbil-**



dung 4).

Läßt der Pianist nun die Taste ungefähr bis auf halbe Spieltiefe aus, so kann die, ebenfalls unter einer gewisser Federwirkung stehende Stoßzunge wieder unter das Hammerröllchen zurückschnellen und den Hammer nochmals beschleunigen (Doppelrepetitionsmechanik,

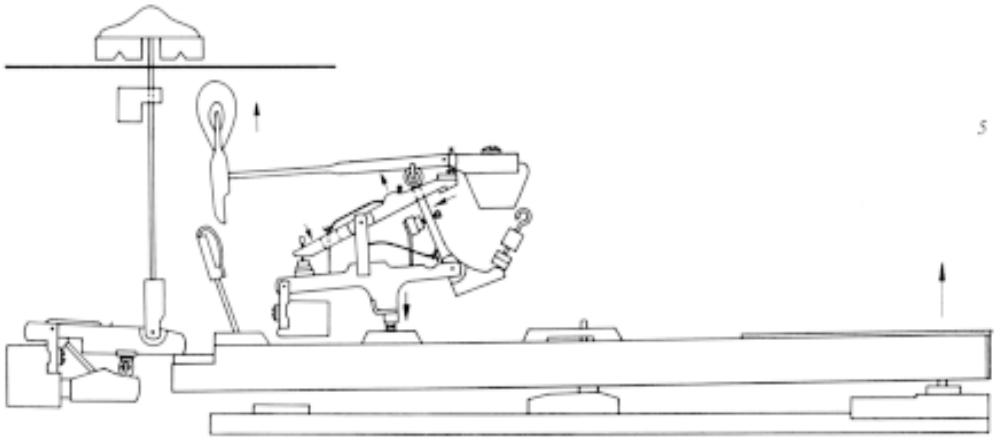


Abbildung 5).

Die Mechanik bietet dem Klaviertechniker mannigfaltige Möglichkeiten zur Einstellung und Regulation, die das Spielgefühl für den Pianisten wesentlich verändern können.

Das Zeit-Verhalten der Klaviermechanik

Da die Lautstärke des Klaviertones vor allem von der Geschwindigkeit abhängt, mit der der Hammer auf die Saite trifft, ist es einleuchtend, daß eine stark angeschlagene Taste schneller den Hammer–Saitenkontakt bewirkt als eine schwach angeschlagene. Nehmen wir zwei gleichzeitig angeschlagene Töne mit sehr unterschiedlicher Dynamik, so erreicht der stärker angeschlagene Ton die Saite um einige Millisekunden früher als der schwächer angeschlagene. Man bedenke noch zwei weitere Effekte: der lautere Ton hat eine kürzere Einschwingzeit und außerdem im Ohr des Hörers eine geringere Latenz. Alle drei Effekte arbeiten in dieselbe Richtung: es wird also der lautere Ton früher gehört als der gleichzeitig angeschlagene leisere.

In äußerst detailliert geführten Untersuchungen von Askenfelt und Jansson (ASKENFELT & JANSSON 1990, 1991, 1992 und ASKENFELT 1990) werden die einzelnen mechanischen Teile mit Sensoren ausgestattet, die Auskunft über ihre zeitliche Aktivität während eines Anschlages geben. Hier seien nur die wichtigsten Charakteristika beschrieben:

Bei einem *piano*-Anschlag wird die Taste relativ langsam nach unten gedrückt. Von der ersten Bewegung der Taste (bei Askenfelt wegen einer automatischen Spielhebeleinrichtung: *Finger-Key*

genannt, ASKENFELT 1990, 56) bis zum Tastengrund vergehen circa 120 ms, der Hammer-Saiten-Kontakt ist schon *vor* erreichen des Tastengrundes hergestellt! Hingegen vergehen bei einem *forte*-Anschlag zwischen Tastenbewegungsbeginn und Tastengrund lediglich ca. 25 ms, während der Hammer die Saite erst etwas (ca. 5 ms) *später* erreicht. Der freie Flug des Hammers nach Auslösen der Stoßzunge ist freilich bei einem *piano*-Anschlag relativ lang (2 ms), während bei einem *forte*-Anschlag diese Zeit gegen null geht (bzw. sogar etwas, wenn auch mit geringem Druck, überlappt, ASKENFELT 1990, 58). Der Hammer-Saiten-Kontakt ist bei *forte* kürzer als bei *piano*, bei höheren Tönen kürzer als bei tiefen; im Baßbereich sind bei Anschlägen ab einer mittleren Dynamik multible Hammer-Saiten-Kontakte möglich.

Obwohl durch Regulation dieses Zeitverhalten teilweise veränderbar ist, gibt als Richtwert Askenfelt Zeitdifferenzen bis zu 30 ms zwischen *pp* und *ff* an, also kommt ein lauter Ton um bis zu 30 ms früher als ein leiser.

Ich bin sicher, daß jeder, eine Flügelmechanik gewohnte Pianist dieses Zeitverhalten unbewußt abschätzen und seinen Anschlag entsprechend präzise setzen kann, sodaß das Hörergebnis seiner Vorstellung entspricht. Renate Klöppel beobachtete Unregelmäßigkeiten bei noch ungeübten Pianisten, bei denen allzulaute Akkorde immer zu früh kamen (KLÖPPEL 1997, 32). Vor allem bei der Synchronisation mit anderen (z.B.: Streich-)Instrumenten bei Klavierkammermusik muß ein Pianist diese Gegebenheiten genau beachten.

Auch kann man das Fehlen einer derartigen Zeitcharakteristik beispielsweise bei einem elektronischen Klavier mit Anschlagsdynamik schmerzvoll beobachten, wenn leise Töne permanent zu früh erklingen. Dieser Effekt ist jedoch in mittleren Dynamikbereichen relativ gering, bei ähnlichlauten Tönen hintereinander macht er sich auch kaum bemerkbar.

Hammergeschwindigkeit-Dynamik Relation

Für eine weitere Auswertung mechanischer Daten des Bösendorfer-Flügels ist eine Studie von Caroline Palmer und Judith Brown interessant, in der sie nachwiesen, daß zwischen Hammerendgeschwindigkeit und abgestrahlter Maximal-Amplitude ein linearer Zusammenhang besteht, zumindest im mittleren Dynamikbereich (entspricht den Hammerendgeschwindigkeiten zwischen 0,5 und 4 m/s) (PALMER & BROWN 1991). Dies gilt auch für zusammengesetzte Töne (Zweiklänge). Ähnliche Ergebnisse hatten Henderson und Hickmann bereits in den 1930er Jahren geliefert (HENDERSON et al 1937, HICKMANN 1929, siehe Kapitel: *Historische Forschung*).

Exkurs: Techniker versus Pianisten

Eine prinzipielle Frage zum Wesen des Klavierklanges ist, ob die gesamte nur irgendvorstellbare Pallette an Klangfarben und Nuancen eines Flügels wirklich durch die Parameter Hammerendgeschwindigkeit, Ton-*on*/*off*-Zeiten und die genauen Pedalstellungen repräsentiert werden kann, oder ob dem Pianisten weitere Differenzierungsmöglichkeiten beispielsweise im Anschlag zur Verfügung stehen.

Theoretisch muß man konstatieren, daß mit dem Auslösen der Stoßzunge der Kontakt zwischen Hammer und Taste unterbrochen ist, dieser eine kurze freie Flugbahn durchläuft, um dann auf der Saite aufzutreffen. Der Hammer versetzt die Saite in Schwingung, die sich über den Steg auf den Resonanzkörper überträgt. Der Einschwingvorgang des Klaviertones ist relativ kurz und stark geräuschhaft (BACHMANN et al. 1989, REUTER 1995). Durch Variation der Hammerendgeschwindigkeit kann ein Pianist die Lautstärke, und damit auch die Klangfarbe des Klaviertons steuern; je schneller der Hammer, desto lauter und obertonreicher der abgestrahlte Klang. (Nach diesem Prinzip ermittelt der Bösendorfer SE seine Meßdaten, siehe Kapitel: *Der „Bösendorfer Computerflügel SE“*)

Geräuschanteile im Klavieranschlag

Die Geräuschanteile des Klaviertons werden vor allem vom Hammer-Saiten-Aufprall verursacht. Dieses scharfe Geräusch gibt dem Klavierklang seinen unverwechselbaren Charakter. In den höchsten Registern (und vor allem im *forte*) ist es am besten hörbar. Es wird durch Longitudinal-Schwingungen der Saiten äußerst rasch über den Steg auf den Resonanzkörper übertragen, noch bevor die transversalen Schwingungen, die den stationären Anteil des Klaviertons ausmachen, ihn erreichen (*string precursor*, ASKENFELT 1994, 298; auch von PODLESAK & LEE 1988 beobachtet).

Doch eine Reihe weiterer Faktoren spielt bei dem Einschwingvorgang eine wichtige Rolle. Da ist einerseits das Aufprallen der Taste auf den Tastengrund, das ein hörbares Schlaggeräusch ergibt. Askenfelt erwähnt das Bestreben von Klavierfabrikanten, die die Hölzer der Spiellade nach ihrem Klang auswählen, um so diese Aufprallgeräusch zu veredeln (ASKENFELT, 1991, 2392).

Der ungarische Klavierpädagoge József Gát bemerkt, daß „die Geräuschwirkung als ein ergänzender Faktor der Klangfarbenbildung angesehen werden“ muß und teilt die Geräusche nach ihren Entstehungsquellen in drei Teile: die Geräusche, die beim Anschlagen der Saite entstehen, die Geräusche beim Auftreffen der Taste auf den Tastenboden („untere Geräusche“) und Geräusche, die im Zusammenwirken von Hand bzw. Finger und Taste entstehen („obere Geräusche“) (GÁT 1956, 7). Die Minimierung der Geräuschwirkungen (resp. der „oberen“ und „unteren“) im Vergleich zur Tonstärke führe zu einem „klangvolleren“ Tonempfinden (GÁT 1956, 7).

In seinen Messungen stellte Askenfelt noch einen weiteren wesentlichen Faktor fest: der *touch*

precursor, der bis zu 30 ms *vor* dem Hammer-Saiten-Kontakt auftreten kann (ASKENFELT 1994, 298–299). Er tritt vor allem dann auf, wenn die Taste spontan massiv beschleunigt wird: wie beim *staccato*-Anschlag (der inaktive und gestützte Finger fällt von großer Höhe auf die Klaviatur), kaum bei einem *legato*-Anschlag (Finger beschleunigt von der Taste weg). In ihrer rapiden Beschleunigung (und wohl auch durch das Kontaktgeräusch des Fingers) entsteht ein *thump*, der über die Spiellade, den Kasten und die Raste (resp. der gesamten Konstruktion) auf den Steg übertragen wird. Er ist zwar wesentlich leiser am Steg als der *string precursor*, wird aber vor allem auch von der Spiellade etc. stärker abgestrahlt und ist im abgestrahlten Klang gut sichtbar.

Zusammenfassend könnte man den *string precursor,* der vom Anschlag unabhängig ist, als den „Biß" (*bite*, höhere Frequenzen) des Klavieranschlages bezeichnen, während der *touch precursor* den „Bums" (*thump*, tiefere Frequenzen) darstellt, der aber vom Anschlag (*stccato–legato*) sehrwohl abhängig ist (ASKENFELT 1994, 299).

Zu ähnlichen Ergebnissen kommen G. W. Koornhof & A. J. van der Walt in einer ähnlich angelegten Studie aus demselben Jahr (KOORNHOF & VAN DER WALT 1994, 318–324). Sie überprüften zusätzlich mittels eines Gehörtests an musikalischen Versuchspersonen die Unterscheidbarkeit zweier prinzipiell gleichlauter, aber mit unterschiedlichem Anschlag gespielter Töne; das Ergebnis bewies eine hohe Eindeutigkeit bei Tönen mit Einschwinggeräusch, während Töne, denen dieses Geräusch weggeschnitten wurden, kaum unterschieden werden konnten.

Daß der *touch precursor* vom Aufschlag der Taste auf den Tastengrund entsteht, ist zwar naheliegend, aber anhand der oben diskutierten Artikel nicht argumentierbar: Der *touch precursor* ist bereits 30 ms vor dem Hammer-Saiten-Kontakt meßbar, bei *forte*-Anschlägen (und vor allem dort ist er beobachtbar) trifft aber die Taste erst ca. 5 ms davor auf dem Tastenboden auf. Da diese Frage nicht weiter überprüft werden kann, muß sie vorläufig in dieser Mutmaßung unbeantwortet bleiben.

Unterschiedlichen Anschlagsarten führen darüberhinaus auch noch zu unterschiedlichen Beschleunigungsmustern der Taste und des Hammerkopfes (ASKENFELT 1991, 2385–2387); weiters könnten Eigenschwingungen des Hammerstieles einen Einfluß auf den Klavierton haben (ASKENFELT 1991, 2389–2391).

Obwohl in diesem Zusammenhang noch weitere und umfangreichere Messungen notwendig wären, kann schon jetzt konstatiert werden, daß noch weitere Faktoren als Hammerendgeschwindigkeiten, on/off-Zeiten, Pedalstellungen den Klang des Klavieres beeinflussen und daß dies Pianisten wohl zu nützen wissen und damit künstlerisch umzugehen wissen. (Siehe auch Kapitel: *Der „Bösendorfer Computerflügel SE", Grenzen des Systems*).

4. Der Computerflügel

Geschichtlicher Abriß zu mechanischen Klavieren

Dieser Abschnitt bietet lediglich eine kurze Übersicht über mechanische bzw. automatische Klaviere, als Quellen dienten: GOTTSCHEWSKI 1996; HAGMANN 1984; GOOD 1982, 226–236; HENKEL 1996, HOCKER 1996, eine umfassende Bibliographie zu mechanischen Musikinstrumenten bietet KOWAR 1996.

Mechanische Musikinstrumente gab es bereits in vorchristlicher Zeit, seit der Spätrenaissance kamen selbstspielende Instrumente durch neuentwickelte technische Möglichkeiten wieder in Mode, im 18. Jahrhundert schrieben zahlreiche namhafte Komponisten Werke für Spieluhren und Flötenspiele (C. Ph. E. Bach, Mozart Haydn, Beethoven etc). Das 19. Jahrhundert kannte eine bunte Palette dieser komplizierten Apparate: von einfachen Walzenspielorgeln bis zum *Panharmonicon* von Johann N. Mälzel aus dem Jahre 1804. Auch Klaviere wurden im 19. Jahrhundert von Walzen angesteuert (HOCKER 1996, 1722; ORD-HUME 1973, GOOD 1982, 227), die Stifte auf den Walzen lösten mechanisch die Bewegung der Hämmer aus, oft fehlte solchen Apparaten eine Klaviatur gänzlich, wie z.B. der *barrel organ* (GOOD 1982, 226).

Zwei wesentliche technische Errungenschaften am Ende des 19. Jahrhunderts eröffneten den undifferenziert spielenden Walzenklavieren neue spieltechnische Möglichkeiten: einerseits wurde die Walze von einem Notenband abgelöst, andererseits die mechanische Tonauslösung durch eine pneumatische ersetzt (HOCKER 1996, 1721). Damit begann eine circa 40 Jahre dauernde Hoch-Zeit des automatischen Klaviers, bis es in den 1940er Jahren unpopulär wurde.

Bei automatischen oder mechanischen Klavieren unterscheidet man die elektrischen Klaviere, die Kunstspielklaviere und die Reproduktionsklaviere (diese Terminologie nach HAGMANN 1984, 21, Fußnote 40).

Das elektrische Klavier

Das elektrische Klavier diente vor allem als grelles Unterhaltungsinstrument in öffentlichen Lokalen, Bars oder Kneipen und ersetzte dort oft eine Kapelle. Sein Spiel war musikalisch undifferenziert, arbeitete aber völlig selbsttätig. Ein Notenband (oder auch Endlosnotenband), das die früheren Notenwalzen ablöste, steuerte die gesamte Klaviatur mitsamt den beiden Pedalen, ein Elektromotor erzeugte den für die Pneumatik notwendigen Unterdruck, wer noch keinen Stromanschluß besaß, mußte mit Batterien oder Ähnlichem arbeiten. Zusätzlich konnte das Klavier auch noch mit Orgelpfeifen oder Schlagwerk erweitert werden, Beleuchtungseffekte erhöhten die Attraktivität.

Das Kunstspielklavier

Während das elektrische Klavier vor allem der reinen Unterhaltung diente, war das Kunstspielklavier für die Wiedergabe von Konzertliteratur im privaten Bereich gedacht. Der Mechanismus wurde ebenfalls pneumatisch betrieben, nur ersetzten zwei Fußpedale den Elektromotor, was dem Heimbetrieb wesentlich entgegenkam. Wie bei einem Harmonium mußte ein Spieler an diesem Gerät mit den Pedalen einen Luftstrom erzeugen, der für den Transport des Notenbandes und die Bewegung der Mechanik sorgte. Er konnte dadurch einerseits die Lautstärke der Wiedergabe wesentlich beeinflussen, andererseits auch mittels an der Klaviatur angebrachter Hebel und Knöpfe die Dämpfung und die Hammerleiste (linkes Pedal) verändern. Die in den Notenbändern noch nicht vorhandene dynamische Differenzierung mußte der kreative Spieler selbst gestalten.

Im Englischen unterscheidet man zwischen *piano player* und *player piano*. *Piano player* ist vor ein gewöhnliches Klavier zu stellen, mechanische „Finger" spielen die Klaviatur an (Vorsetzer); *player piano* verwendet denselben Mechanismus, ist aber in ein Klavier fix eingebaut. Ist der Mechanismus ausgeschaltet, kann man auf dem Klavier normal spielen (GOOD 1982, 226).

Erstmals großflächig eingeführt wurde ein Kunstspielklavier in den USA von der Firma Aeolian Company (New York) im Jahre 1887 (HAGMANN 1984, 23), Kunstspielklaviere gab es seit der Jahrhundertmitte, die ersten Patente kamen aus Frankreich (BOWERS 1972, 255). Um die Jahrhundertwende wurde mit großem Werbeaufwand das „Pianola" vorgestellt, das in Form eines Vorsetzers mit 65 Tönen das „traute Heim" mit Musik füllen sollte. Im Jahre 1902 stellte die Leipziger Firma Hupfeld ihr „Phonola" vor, das bereits 73, später alle 88 Töne ansteuerte. In den folgenden Jahren entwickelten sich dieses Systeme rasch weiter, es wurden dynamische Differenzierungsmöglichkeiten für einzelne Töne geschaffen, das Pedal angesteuert und das Tempo immer mehr vorgegeben. (Bei Hupfeld: 1904 Phonoliszt mit Anschlagsnuancierung, 1905 „Künstlerrollen"; bei Aeolian Company: Themodist und Metrostyle, vgl. HAGMANN 1984, 39).

Das Reproduktionsklavier

Im Jahre 1904 ließ sich die Freiburger Firma Welte ein Steuersystem patentieren, mit die dynamische Nuancierung jedes einzelnen Tones möglich wurde. Auf der Leipziger Frühjahrsmesse 1905 wurde dann das Welte-Mignon vorgestellt (mit 80 Tönen), ein Reproduktionsklavier zunächst ohne Klaviatur und Pedaltritte.

Es reproduzierte selbsttätig zuvor aufgenommene Einspielungen in recht authentischer Weise, ein elektrische Gebläse erzeugt den Luftdruck für die Bewegung der Notenrolle und der gesamten Mechanik. Die Notenrolle, auf der alle Parameter des Klavierspiels festgehalten wurden (zwei Pedale, die 80 Klaviertöne und ihre Lautstärke), wurde über den Gleitblock gezogen und mittels Unterdruckverfahren abgetastet; die Notenrollen konnten bis zu einer Viertelstunde Musik aufzeichnen. Die Dynamik wurde auf eigenen Lochbahnen auf der Notenrolle aufge-

zeichnet, die in zwei speziellen Windladen den Luftdruck und somit den Anschlag differenzieren konnte; es war daher möglich, jeweils eine Hälfte der Klaviatur dynamisch unabhängig von der zweiten anzusteuern.

(Um beispielsweise in einem Akkord den obersten Ton lauter als die restlichen zu gestalten, war dies nur möglich, wenn die Akkordtöne ungleichzeitig angeschlagen wurden. Dieses Verfahren stand zwar mit der pianistischen Aufführungspraxis nicht im Widerspruch, doch zeigt dieses Beispiel, daß die Authentizität von Welte-Rollen nur unter genauer Kenntnis der Funktionsweise der Apparate beurteilt werden kann, GOTTSCHEWSKI 1996, 26–42.)

Nach der Einführung des Welte-Mignon im Jahre 1905 folgten verschiedene Ausführungen desselben Fabrikats: ein Welte-Vorsetzer mit lederbespannten Holzfingern und zwei Hebel für die Pedale (1908). Im selben Jahr wurden auch erstmals die Welte-Reproduktionsmechanik in Pianinos von Steinway, Blüthner, Feurich etc. eingebaut, sie wurden Steinway-Welte-Piano, Blüthner-Welte-Piano etc. genannt. Ab 1920 wurden auch Flügel derselben Firmen mit Welte-Systemen ausgestattet (Leipziger Frühjahrsmesse 1920). Es wurde bei dem Welte-Flügel besonders darauf geachtet, daß die Klangentfaltung des Flügels durch den Mechanismus nicht beeinträchtigt wird, der Elektromotor war in einem separaten Gehäuse außerhalb des Flügels untergebracht (HAGMANN 1984, 105–108).

Die Firma Welte propagierte ihren Mignon-Flügel als ein Luxusinstrument, das nicht weiterentwickelt werden mußte, da der Mechanismus von Anfang an perfekt konzipiert war. Bald standen zahlreiche Aufnahmen von berühmten Pianisten zur Verfügung, die ihr Klavierspiel nun endlich in all seinen interpretatorischen Feinheiten aufzeichnen lassen konnten.

Die exakte Funktionsweise der Aufnahme ist bis heute unbekannt, die Firma Welte hütete das Geheimnis immer strengstens. Es besteht jedoch die Vermutung, daß vor allem bei der Aufzeichnug der Dynamik geschummelt wurde und diese im Nachhinein von den Notenrollenstechern teilweise in Zusammenarbeit mit den Pianist hinzugefügt wurde (andere Hypothesen gehen von Aufzeichnungsverfahren anderer Firmen aus, keine konnte für die Welte-Rollen nachgewiesen werden) (HAGMANN 1984, 57–76).

Reproduktionsklaviere wurden auch von Hupfeld mit seinem DEA-Klavier im Jahre 1907 produziert (85 Tasten), es konnte sich nicht gegen das Welte-Modell durchsetzen. Auch die Aeolian Company stellte mit ihrem Duo-Art 1913 ein Reproduktionsklavier vor, das in den USA große Verbreitung fand (vgl. Forschungen von VERNON 1937, siehe Kapitel: *Historische Forschung*). Dieses Modell stand in großer Konkurenz mit dem von der 1908 durch einen Zusammenschluß dreier großer Klavierfirmen geschaffene American Piano Company (New York) geschaffenen Ampico-Klavier (1913), das von Charles Fuller Stoddart entwickelt wurde. Verbesserungen kamen: 1920 Ampico A; zuletzt Ampico B (1929), dessen ausgeklügelte Aufnahmeapparatur besonders erwähnenswert ist (HAGMANN 1984, 40). Ein weiteres Aufnahmeverfahren, das die Dynamik jeder einzelnen Taste erfassen konnte, war der von dem schwedischen Ingenieur Carl

Wilhelm Nyström 1911 in Stockholm entwickelte Melograph (HAGMANN 1984, 69).

Die unterschiedlichen Notenrollen-Systeme wurden durch einen Versuch einer „Standart-Skala“ [sic!] im Jahre 1908 normiert, um untereinander kompatibel zu sein, jedoch führte jede Fabrik ihr spezielles Format weiter.

Die Produktion von mechanischen Klavieren ging mit dem Beginn der Weltwirtschaftskrise am Ende der 1920er, dem Aufkommen des Grammophons und der Einführung des Rundfunks jäh zurück und endete schlagartig. Erst durch neuere Techniken, wie digitale Meßmöglichkeiten, Computereinsatz und elektro-magnetischer Tastenanschlag ließen in den 1980er Jahren neue selbstspielende Klaviere aufkommen: ein Pianocorder von Marantz (mit Audiokassettensteuerung), von der Firma Yamaha ein MIDI-Flügel (bzw. Disc-Klavier) und Bösendorfer der SE-Flügel.

Zahlreiche angesehene Pianisten verewigten ihr Klavierspiel in den Notenrollen der verschiedensten Firmen (Rachmaninoff, Serkin, Gieseking, d’Albert, Schnabel, Busoni, Saint-Saëns...), Komponisten und Arrangeure nutzen die über die spieltechnischen Fähigkeiten des menschlichen Pianisten hinausgehenden Möglichkeiten von selbstspielenden Klavieren (Igor Stravinskij, George Antheil, Paul Hindemith... in den 1920er und später auch Conlon Nancarrow und G. Ligeti...).

Moderne computergesteuerte Klaviere

Durch die Entwicklung von Computertechniken wurden zahlreiche Versuche unternommen, die Tradition der Selbstspiel- und Reproduktionsklaviere mit modernster Technik weiterzuführen. Ich möchte in einer kurzen Systematik die wichtigsten Selbstspielsysteme klassifizieren (ich beziehe mich dabei auf COENEN & SCHÄFER 1992, 104).

a) Systeme, die im Nachhinein einzubauen sind

Autoklav, verwendet *Gulbransen Recording System* (optische Messung)

Marantz (siehe unten)

b) Integrierte Systeme

Bösendorfer SE, IBM MS-Dos PC (siehe unten)

Yamaha MIDI-Flügel (siehe unten)

c) Auf der Tastatur zu plazierende Systeme

Trimpin-Vorsetzer, nicht kommerziell erwerbbares Produkt. Solenoide spielen auf der Tastatur, vollständige MIDI-Kompatibilität, kein Aufnahmesystem. Nachteil: beim Abspielen kann nicht mitgespielt werden, da Tastatur verdeckt.

d) Systeme, die Teile der Klaviermechanik ersetzen

Es gibt Reproduktionssysteme, die nicht die Klaviermechanik ansteuern, sondern direkt mit z.B. Solenoiden auf die Saite schlagen. Als Beispiel seien hier Entwicklungen von Alistair RIDDELL erwähnt (COENEN & SCHÄFER 1992, 105).

Der Pianocorder von Marantz

Bereits im Jahre 1977 wurde von **Joe Tushinsky** ein computergestütztes Player Piano System eingeführt, das von der Firma *Marantz/Superscope Corp.* hergestellt wurde: der Pianocorder.

Das Pianocordersystem war zunächst ein opto-elektrisches Aufnahmeverfahren, das, wie später Yamaha und Bösendorfer, die Hammergeschwindigkeit mittels Lichtsensoren mißt. Die Pedale wurde durch ein/aus-Kontakte abgenommen, unter den einzelnen Tasten waren keine weiteren Sensoren vorgesehen. Die so gemessenen Daten wurden mit einem Intel MDS-800 verarbeitet und auf einer 8-1/2 inch-Diskette gespeichert, die Abtastfrequenz lag bei ca. 35 Hertz.

Das Abspielsystem basierte auf einem Welte-Vorsetzer, dessen Pneumatik elektronisch angesteuert wurde. Die Dynamik konnte wegen der Vorsetzer-Mechanik nur für eine Tastaturhälfte separat gesteuert werden.

(Ich beziehe die genaue Information zu Funktionsweise und Aufbau des Systems aus Berichten von den **Mechanical Music Digest™ Archives**. Wayne STAHNKE: *http://mmd.foxtail.com/Archives/Digests/199606/1996.06.24.10.html*; zur geschichtlichen Entwicklung der Firma Marantz, Mark FONTANA: *http://mmd.foxtail.com/Archives/Digests/199708/1997.08.20.08.html*)

Die Firma Marantz jubelte die neue Erfindung hoch und überschätzte aber dabei den Markt für solche Instrumente. Die Produktion wurde 1985 eingestellt, insgesamt wurden ca. 16,500 Pianocorder hergestellt. Im Jahr 1987 übernahm die *Yamaha Music Corp.* die *Pianocorder Division* von Marantz.

Der Yamaha MIDI-Flügel

Die erste Generation von Disk-Flügel stammte aus dem Jahr 1989 mit MX199A, DGP. Die zweite Generation folgte 1992 mit MX100II, DGPII.

Der Yamaha-Flügel mißt folgendermaßen: unter der Taste befindet sich ein Kontakt (gibt den ersten Zeitpunkt), kurz vor Auftreffen des Hammers auf die Saite liefert ein optischer Sensor einen zweiten Zeitpunkt. Der erste Zeitpunkt entspricht dem MIDI-*note-on*-Befehl; aus der Zeitdifferenz der beiden Meßzeitpunkte wird die Hammerendgeschwindigkeit berechnet, wobei die Meßgenauigkeit vom MIDI-Fomat bestimmt und begrenzt wird (7bit = 0 bis 127 *velocity*-Werte). Weiters wird die Pedalstellung gemessen und in MIDI-Daten konvertiert. Der Flügel ist mit einer Box verbunden, die die flügelinternen Daten auf einer 3,5-Zoll-Diskette speichert und automatisch MIDI-Konvertierung vornimmt, d.h. im Gegensatz zu dem Bösendorfer SE ist Bearbeitung von Aufnahmen nur in der MIDI-Domäne durchführbar!

Die Präzision der Aufnahme, sowie des Abspielens läßt bei den ersten beiden Generationen sehr zu wünschen übrig: bei A/B-Vergleich sind in bezug auf zeitliche Genauigkeit starke Unterschiede festzustellen. Marco MARIA, der an der Humboldt-Universität Berlin im Rahmen seiner Dissertation solche Ungenauigkeiten überprüft, nimmt als Teststück gerne das C-Dur Präludium aus dem WTK I von J. S. Bach her, bei dem vor allem im leisen gleichmäßigen Spiel oft Töne wegbleiben und sich starke Unregelmäßigkeiten einschleichen. Ich konnte mich von dieser mangelhaften Reproduktionsgenauigkeit an einem in der Universität für Musik und darstellende Kunst Wien aufgestellten Exemplar überzeugen (Metternichgasse 8, 1030 Wien).

In den Jahren 1994/95 entstanden die Silent-Systeme, bei denen man die mechanische Tonerzeugung blockieren und durch eine synthetische ersetzen konnte, somit wurde Kopfhörer-Betrieb möglich, was generell Nachbarn und Mitbewohner schont!

Seit 1998 gibt es die Disk-Flügel Pro Serie, die bereits mit einem neuartigen Barcode-System arbeiten, das auch die Art und Weise, wie eine Taste losgelassen wird, registriert und mit jeweils doppelten Solenoiden (ein Solenoid drückt in die eine, ein anderer in die entgegengesetzte Rich-

tung) diese Bewegungen exakt reproduzieren kann. Ich konnte leider dieses neue System nicht testen, es dürfte in punkto Reproduktionsgenauigkeit wesentlich besser sein als die vorhergehenden Generationen.

(Die Angaben über die Produkt-Geschichte wurden mir von der Firma Yamaha Deutschland (Rellingen) durch Herrn Peter Kolodziej dankenswerterweise zur Verfügung gestellt.)

Der „Bösendorfer Computerflügel SE“

Geschichte, Entwicklung

Der Bösendorfer Computerflügel wurde von Wayne STAHNKE am Massachusetts Institute of Technology (MIT) entwickelt (vgl. MOOG & RHEA 1990, 53–54).

Wayne Stahnke war von Jugend an Spezialist für mechanische Klaviere. Schon in den 1970ern baute er elektronische Schnittstellen in Player Pianos ein, später stattete er einen Steinway D-Flügel mit optischen Sensoren für die Messung von individuellen Hammergeschwindigkeiten aus, ein Projekt, das von der *Merle Norman Foundation* ermöglicht wurde.

In den frühen 1980ern stellte Stahnke einen weiteren Prototyp (eingebaut in einen Yamaha-Flügel) auf der *MIT Conference on Musical Learning* (Sept. 1982) vor und erntete enthusiastischen Beifall. John Amuedo von *Kimball International* regte eine Zusammenarbeit mit Kimball, MIT und Stahnke an (*Kimball International* ist Eigentümer der Frima *Bösendorfer*). Ein erster Prototyp eines computergesteuerten Bösendorfer 290, der von Stahnke im MIT hergestellt wurde, erschien im Februar 1985. Ab dem Sommer 1986 wurde der 290 SE von Kimball/Bösendorfer offiziell verkauft.

Der Appendix „SE“ steht für ***S**tahnke **E**lectronics*, die Ziffer repräsentiert die Länge des Flügels in Zentimetern. Der erste Prototyp war vor allem softwaretechnisch sukzessive weiterzuentwikkeln; MIDI-Kompatibilitäten wurden erst später implementiert.

Aufbau und Funktionsweise

Der Bösendorfer SE besteht zunächst einmal aus einem „gewöhnlichen“ Konzertflügel. In der Flügelmechanik und unter der Klaviatur sind zum Zwecke der Präzisionsmessung Infrarotlichtsensoren eingebaut. Die gemessenen Daten werden über ein Kabel an eine externe Schaltstelle weitergeleitet (ein sogenannte „black box“). Diese ist direkt mit dem PC verbunden. Die dort gespeicherten und eventuell bearbeiteten Daten können natürlich auch auf dem Flügel wiedergegeben werden.

Bei diesem Vorgang steuert der Computer über die besagte „black box“ Magnetspulen, lineare Motoren (sogenannte „Solenoide“) an, die am hinteren Ende unter jeder Taste so angebracht sind, daß sie genau jene Anschlagsgeschwindigkeit reproduzieren können, die ein Pianist für die betreffende Taste zu einem bestimmten Zeitpunkt verwendet hat.

Der Flügel mißt folgende Parameter:

a) Die Hammerendgeschwindigkeit jeder der 88 (bzw. im Falle des SE 290 97) Tasten
b) Den Zeitpunkt, in dem eine bestimmte Taste gedrückt bzw. losgelassen wurde
c) Die exakte Stellung der drei Pedale

ad a) Auf jedem Hammerstiel befindet sich ein Fähnchen, das dergestalt angebracht ist, daß es bei einem Anschlag eine Infrarotlichtschranke zweimal unterbricht: einmal circa 5mm bevor der Hammer die Saite erreicht, das zweite Mal unmittelbar davor. Diese zwei Meßzeitpunkte werden durch einen mit genau 25,6 kHz operierenden Zähler abgenommen und zu einer inversen Hammerendgeschwindigkeit verrechnet (*inverse hammer velocity*, IHV), die sich folgendermaßen ermitteln läßt:

$$IHV = 128 / v(h),$$

$$\text{bzw.: } v(H) = 128 / IHV$$

wobei v(h) die Hammerendgeschwindigkeit in Metern pro Sekunde darstellt. Das heißt der kürzest meßbare Zeitraum beträgt 0,0391ms, was einer v(h) von 128 m/s entspricht (IHV = 1). Der längste Zeitabstand ist mit IHV = 1024 (2^{10}) begrenzt, was einem Zeitintervall von 0,04 Sekunden oder einer v(h) von 0,125m/s entspricht. Typische Werte eines Pianisten gehen von circa 32–512 IHV, größere Werte lassen den Hammer kaum mehr zur Saite gelangen. Nimmt man für die 5cm Hammerweg von seiner Ruhelage bis zur Saite eine konstante Geschwindigkeit an (nämlich die Hammerendgeschwindigkeit) kommt man bei diesen IHVs (32–512 IHV =4–0,25m/s) auf eine Hammer-Reisezeit von 12–200 (!) Millisekunden (Differenz 188ms zwischen *pp* und *ff*)!

ad b) Unter jeder Taste befindet sich eine weitere Infrarotlichtschranke, die genau festtellt, wann die Taste mindestens circa 3 mm gedrückt wird und wann sie wieder ausgelassen wird. Diese Meßung wird 800mal in der Sekunde vorgenommen, wir erhalten eine Zeitquantisierung von 1,25ms. Für den *note-on*-Wert wird **nicht** die Zeitmessung unter der Taste herangezogen, sondern der Zeitwert der Hammerstiel-Lichtschranke unmittelbar vor Auftreffen des Hammers auf die Saite. Der erste Meßzeitpunkt geht in die Daten als *note-on*-Wert nur dann ein, wenn kein Meßergebnis von der Hammerstielmessung geliefert wird (stummer Anschlag). Als *note-off* wird das Loslassen der Taste gespeichert.

(Der Flügel mißt also als *note onsets* an der Saite, und nicht, wie in der Literatur großteils fälschlicherweise angenommen, an der Taste (MOOG & RHEA 1996, PALMER 1996). Ich beziehe die präzise Information aus einer e-Mail-Korrespondenz mit dem Entwickler W. Stahnke.)

ad c) Die Pedalstellungen des rechten (Aufheben der Dämpfung) und des linken Pedals (Verschiebung) werden in Werten zwischen 0 und 255 codiert (8bit), das mittlere Pedal (*sostenuto*) wiederum nur on/off, wobei die zeitliche Auflösung deutlich ungenauer ist: das rechte Pedal alle 10ms (=8*1,25), das linke Pedal (Verschiebung) alle 20ms (=16*1,25).

Über die erwähnte „black box" werden diese Daten in einer speziell entwickelten Software (laufend unter einem MS-DOS-Betriebssystem) abgespeichert. Für die Zeitdaten (*on/off*-Werte) und die Dynamikdaten (IHV) wird ein file mit der Extension .kb (=*keyboard*) angelegt, die Pedalinformationen werden in zwei Extrafiles (.lp, .sp = *loud pedal, soft pedal*) gespeichert. Das Bearbeitungsprogramm (Stahnke-Editor) ist für heutige Verhältnisse eher mühsam zu bedienen. Jeder einzelne Ton kann zwar bearbeitet, falsche Töne gelöscht und fehlende Töne eingefügt werden. Aber bei der relativ hohen Anzahl von Noten in einer durchschnittlichen Klaviereinspielung ist dies oft ein zeitintensives Unterfangen.

Spezielle Konvertierungsprogramme machen das Bösendorferformat MIDI-kompatibel. Dabei kann man u.a. eine *velocity-map* konfigurieren, die angibt, welcher IHV welchem velocity-Wert (MIDI) zugeordnet wird. Die Grundeinstellung ist IHV 600–30 linear interpoliert zu MIDI-velocity 0–127 (d.h. jedem MIDI-Wert entsprechen 4 bzw. 5 IHV-Werte). Da aber in der Praxis die IHV-Wert über 400 selten vorkommen, bzw. solche Werte keinen Anschlag am Flügel mehr produzieren, ist eine Umrechnung 400–30 auf 0–127 sinnvoller, da sie dynamisch differenziertere und nicht so laute MIDI-files ergibt. Ich habe von dieser Möglichkeit nicht Gebrauch gemacht und die Grundeinstellung verwendet, um bei der Rückführung der Daten (Einspielung der Mittelwertsversionen) wieder exakt die anfänglichen Dynamiken repräsentiert zu haben, ohne eine velocity-map vorschalten zu müssen.

Da der Bösendorfer SE die *note onset*s an der Saite mißt, muß er in der Aktivierung seiner Solenoide immer entsprechend früher agieren, damit bei der Wiedergabe keine zeitlichen Verzerrungen auftreten. Diese Interpolationskurve ist natürlich abhängig von der Dynamik resp. von der IHV. Er wurde daher mit einer Kalibrierungsfunktion ausgestattet. Diese sollte in regelmäßigen Abständen aufgerufen werden. Dabei überprüft das System unter Verwendung von mehreren IHVs die dynamikabhängige Zeitverzerrung der betreffenden Klaviatur, der betreffenden Taste. Die Ergebnisse werden in einem *lookup table* auf der Festplatte gespeichert.

Das Ausführen des Kalibrierungsprogrammes ist der einzige Fall, bei dem der Computerflügel gleichzeitig Solenoide betätigt (Wiedergabe) und Infrarotmessungen durchführt (Aufnahme). Unter Normalbetrieb ist immer nur eine der Funktionen (Messen oder Wiedergeben) in Aktion. Eine hohe Präzision in der Reproduktion wird nur durch regelmäßige Kalibrie-

rung des Systems erreicht.

Neben der Verwendung der Bösendorfer-Software kann man auch den Flügel direkt über die „black box“, die mit einer MIDI-Schnittstelle ausgestattet ist, ansteuern. Doch man muß beachten, daß der timecode, den der Bösendorfer-Flügel verwendet (eine starre Zeitrasterung von 1,25ms), in MIDI unter Tempo 120 und 400 clicks pro beat abgespeichert wird. Sequenzerprogramme verwenden hingegen 480 bzw. 328 clicks pro beat. Diese Um-Quantisierung führt zwar zu vernachlässigbaren unsystematischen Zeitfehlern (im Bereich von 0,5 ms), doch beim Export in Tabellenkalkulationsprogramme (MIDI to ASCII-Konvertierung) muß man diese timecode-Phänomene unbedingt beachten, um grobe Zeitverzerrungen zu vermeiden.

Grenzen des Systems

Eine brennende Frage ist natürlich, wie ident sind Originalklang eines einspielenden Pianisten und die Reproduktion durch das Hochpräzisionsgerät Bösendorfer SE? Die Unterschiedlichkeiten liegen für ungeübte Ohren im unhörbaren Bereich, trotzdem gibt es Unterschiede. And dieser Stelle sei auf einen sehr ausführlichen Test hingewiesen, in dem fünf verschiedene Computer-Player Pianos gegeneinander getestet wurden (COENEN & SCHÄFER 1992). Doch gehen die Autoren von dem Computerflügel als einem Kompositionswerkzeug aus, im Gegensatz zu mir, der es als Reproduktionssystem betrachtet, das wesentlich feiner arbeiten sollte und das mannigfaltige Spiel eines Pianisten speichern und möglichst getreu wiedergeben können sollte (ebenfalls diesen Anspruch stellt die Firma Bösendorfer).

Ich möchte zwei Typen von möglichen Unterschiedlichkeitsquellen beleuchten:

a) Einerseits jene, die im Prinzip des Systems immanent sind, d.h. die dadurch zustande kommen, daß gewisse Parameter des Klavierspiels nicht gemessen und nicht reproduziert werden, die aber für die Klangerzeugung beim Klavierspiel durchaus eine wichtige Funktion einnehmen.

b) Andererseits jene Unterschiedlichkeiten, die sich dadurch einschleichen, daß Parameter ungenau gemessen bzw. ungenau reproduziert werden. Diese Fehler sind äußerst gering, aber dennoch vorhanden.

a) systemimmanente Unterschiede zwischen Einspielung und Reproduktion

Da ja nur die Parameter Hammerendgeschwindigkeit, Tondauer und die Pedalstellungen gemessen und reproduziert werden, werden viele Klangereignisse, die ein Pianist aber dennoch erzeugt und die daher zum Klangereignis „Interpretation“ dazugezählt werden müssen, nicht beachtet: Tastenobergeräusche (Fingerklappern, *touch precursor*, vgl. Kapitel: *Geräuschanteile im Klavieranschlag*); Stampfen, Schnaufen, Singen der Pianisten; Klappern der Füße auf den Pedalen fehlen. Dafür erzeugt der Flügel in der Reproduktion andere zusätzliche Geräusche: ein Klappern der Solenoide am hinteren unteren Ende der Tasten und Geräu-

sche der Magnetspulen, die die Pedale bewegen, welche auch durch den Resonanzboden verstärkt werden.

Man muß natürlich festhalten, daß einerseits diese Geräusche nur kaum hörbar sind und daher diese Unterschiedlichkeit vernachlässigbar sind, und andererseits, daß sie teilweise unerwünscht sind und für eine (akustische) Aufnahme möglichst vermieden werden (Singen und Schnaufen der Pianisten).

Ein weiterer prinzipieller Unterschiedlichkeitsfaktor ist im Kapitel: *Techniker versus Pianisten* bereits beschrieben. Die Taste kann vom Pianisten in derart differenzierter Weise beschleunigt werden, daß man die alleinige Messung der Hammerendgeschwindigkeit als ungenügend bezeichnen muß. Eine kontinuierliche Messung des Beschleunigungsvorganges und eine entsprechende Reproduktionseinrichtung wären konstruktionstechnische Lösungen dieses Problems.

Ein weiteres prinzipielles Problem dieses ausgereiften Reproduktionsklavieres ist, daß, im Gegensatz zu einem Pianisten, der seine interpretatorischen Intentionen permanent mit dem Gehörten vergleicht und somit in einer stetigen *feed-back*-Schleife steht, dieses System einmal möglichst genau die Mechanikaktivität mißt, diese speichert und wiedergibt.

Wird irgendein Umstand im Vergleich zur Einspielsituation verändert, verändert sich auch die Wiedergabe. In einem anderen Raum, einer anderen Akustik, würde ein Pianist anders spielen, der Flügel nicht. So klingt beispielsweise eine Aufnahme, die in einem kleinen Studio eingespielt wurde, in einem Konzertsaal so, als erreiche sie das Publikum nicht (Information stammt aus mündlicher Kommunikation mit einem Pianisten).

Ändert sich die Stimmung des Klavieres, die Regulation der Mechanik oder die Intonation, verändert sich Temperatur oder Feuchtigkeit im Raum, so kann plötzlich ein Ton lauter oder schärfer im Vergleich zu einem anderen klingen. Der Flügel kann auf derartige Schwankungen nicht reagieren, ein Pianist muß es.

b) Unterschiede durch Meß- und Reproduktionsungenauigkeiten

Bei der Messung:

Off-Zeitpunkte werden erst ab ca. 3mm unter der Taste gemessen. Wiederholte Tastenanschläge, die nicht bis zu dieser Meßschwelle die Taste freigeben, werden als durchgehende Töne gemessen, und nicht als Repetitionen, obwohl erneute *note-on*-Werte gegeben werden!

Bei der Reproduktion:

Das rechte Pedal agiert oft nicht wie bei dem Pianisten. Oftmals wird hörbar der Dämpfungspunkt (die Schwelle, bei der der Dämpfungsfilz in die Saiten greift, kann unterschiedlich bei verschiedenen Flügeln sein) nicht exakt reproduziert. Das Klangbild kann daher entweder teilweise verschwommen klingen bzw. lange Bässe, die kurz angeschlagen und ins Pedal genommen

worden sind, dann zu unverhofften *staccato*-Tönen mutieren. Dieses Problem ist besonders deutlich, wenn man Aufnahmen eines Flügels auf einem anderen Flügeln abspielt, bei dem das Pedal unter Umständen etwas anders eingestellt ist. Eventuell hängen diese Ungenauigkeiten mit der vergröberten zeitlichen Auflösung von 10ms zusammen.

Weiters konnte ich beobachten, daß besonders leise Tönen bei Pianisten natürlicher und weicher als beim SE klingen. Bei äußerst schnellen Trillern und Ton-Repetitionen sind die Solenoide überfordert, ein Pianist spielt in solchen Situationen genau am Anschlagspunkt der Mechanik (knapp unter und über der Auslösung), was die Solenoide nicht machen (Information stammt aus persönlicher Kommunikation mit dem SE-erfahrenen Pianisten Stefan Möller).

An dieser Stelle möchte ich auf Tests verweisen, die Marco Maria aus Berlin an verschiedenen Computerflügeln durchgeführt hat (MARIA, in Druck befindlich).

EXPERIMENTELLER TEIL

5. Einleitung

Ziel dieser Untersuchung war es, nicht nur Ergebnisse schon erfolgter Forschung zu replizieren, sondern durch die Verwendung unterschiedlicher Forschungsansätze diese vorhandenen Ergebnisse zu stützen oder zu korrigieren. Dabei war es wichtig, daß die Datengewinnung möglichst wenig Unschärfe in sich birgt und daß trotzdem die Einspielsituation für die Pianisten nicht allzu artifiziell wird. Beide Prämissen erfüllt der Bösendorfer-Flügel bestens: er mißt einerseits sehr exakt die zeitlichen, wie auch die dynamischen Eigenschaften einer Einspielung, andererseits ist er ein hochwertiges Konzertinstrument, auf dem sich die Pianisten nicht umstellen müssen, wie sie es auf einem Keyboard zu machen hätten.

Um eine adequate Versuchsanordnung zu installieren, wurden in einem Vorversuch vom Autor selbst Teststücke eingespielt (u.a. die Chopin Etüde) und aufgrund rasch angefertigter Auswertungen zu testende Hypothesen erstellt.

Arbeitshypothesen

Hypothese 1: Die größten Tempoänderungen treten auf an Phrasenenden/-anfängen oder bei Kadenzierungen, d.h. korrespondieren mit der musikalischen Struktur (TODD 1985, 1992).

Hypothese 2: Bei der zeitlichen Ausführung des Siciliano-Rhythmus (st trotz unterschiedlicher Spieler und unterschiedlicher Stücke Ähnlichkeit zu erwarten: im Vergleich zur punktierten Achtelnote sind die Sechzehntelnote wesentlich kürzer und die Achtelnote länger als ihr Nominalwert (vgl. GABRIELSSON 1983, 1987, PALMER 1989 und BEHNE & WETEKAM 1994).

Hypothese 3: In der Partitur gleichzeitig notierte Noten (Akkorde) werden von den Spielenden nicht gleichzeitig angeschlagen. Besonders die betonte Melodie kommt konsequent früher, je lauter sie ist (*melody lead*). Diese spieltechnische Eigenart ist ausschließlich zurückzuführen auf die Zeitcharakteristik der Klaviermechanik (*velocity artefact,* REPP 1996e).

Versuchsvorgaben

Die Auswahl der Stücke erfolgte nach pianistischen Kriterien (einfache Spielbarkeit, Bekanntheit), nach ihrer Bedeutung für die Verifikation bzw. Falsifikation der Hypothesen und nach ihrer früheren Verwendung in relevanter Literatur. Es war notwendig, die mechanischen Daten (MIDI) möglichst vieler und qualitativ hochwertiger Einspielungen

derselben Stücke durch qualifizierte Pianisten zu erhalten. Das Herausmessen von Zeit- und Dynamikdaten aus der Klangdomäne von bereits bestehenden Interpretationen wurde somit umgangen, da eine derartige Vorgangsweise ungenaue und unzulängliche Daten liefert (vgl. REPP 1998, 1999).

Die Einspielsituation sollte möglichst natürlich sein und die Pianisten in ihrem Spiel nicht irritieren (beispielsweise hätte die Verwendung eines elektronischen Keyboards einen störenden Einfluß auf die Ausführung durch die Pianisten). Die Aufnahmesituation sollte weiters immer gleich, insbesondere der Raum und der Konzertflügel immer derselbe sein, um eine Vergleichbarkeit der Daten sicherzustellen.

Vier Ausschnitte aus Stücken wurden von 22 Pianistinnen und Pianisten (Professoren, Unterrichtende oder Studierende an der Wiener Musikuniversität) auf einem Bösendorfer Computerflügel (SE 290 Imperial), der in der Klavierfabrik in 1040 Wien aufgestellt ist, eingespielt. Die Stücke wurden einerseits vom Flügel aufgezeichnet und als MIDI-Daten exportiert, andererseits mit einem DAT-Recorder mitgeschnitten, um die originale Tonsituation zu dokumentieren.

Folgende Stücke wurden aufgenommen:

1. Fr. CHOPIN: *Ballade* Nr. 2 F-Dur, *Andantino* (Takte 1–45, ohne das *Presto con fuoco*)
2. Fr. CHOPIN: *Etude* op. 10/3 Thema: *Lento ma non troppo* (21 Takte)
3. Fr. SCHUBERT: aus *Deutsche Tänze und Ecossaisen*, D.783 (op.33), Nr.15 f-Moll–As-Dur
4. W. A. MOZART: *Sonate* KV. 331, A-Dur: Thema: *Andante grazioso* (6/8) (18 Takte)

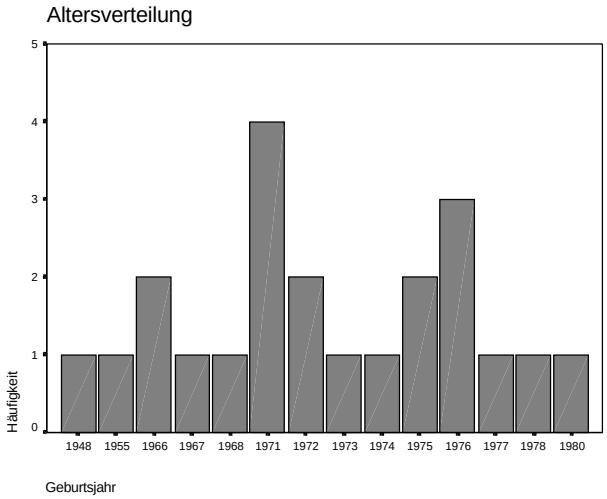
Wegen des zu erwartenden hohen Rechenaufwandes war von vornherein geplant, für diese Arbeit lediglich die beiden Kompositionen von Chopin auszuwerten. Die Daten der beiden restlichen Stücke sind in MIDI-Form, sowie als akustische Aufnahmen gespeichert und bleiben für zukünftige Auswertungen erhalten.

Die Pianisten

Die Pianisten* wurden auf dieses Experiment hin persönlich angesprochen und erhielten einige Tage vor der Aufnahmesitzung die Noten der vier Stücke und eine schriftliche Beschreibung des Experiments (siehe Anhang I). Die Auswahl der Pianisten erfolgte vor allem nach qualitativen Kriterien (Klavierstudium). Da Pianistenkollegen, die dem Autor bekannt waren, leichter für derartige Unterfangen zu begeistern waren, erfolgte die Rekrutierung vor allem in dessen Bekanntenkreis im Umfeld der Wiener Musikuniversität (Uni-

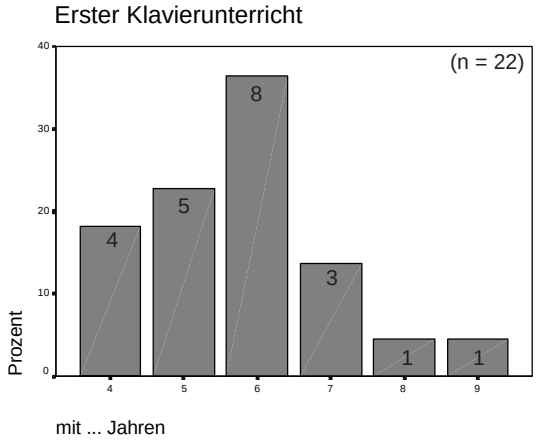
* Die grammatikalisch männliche Form „Pianist“ wird hier und in der weiteren Arbeit allgemein *neutral* gebraucht und bezieht daher *beide* natürlichen Geschlechter ein.

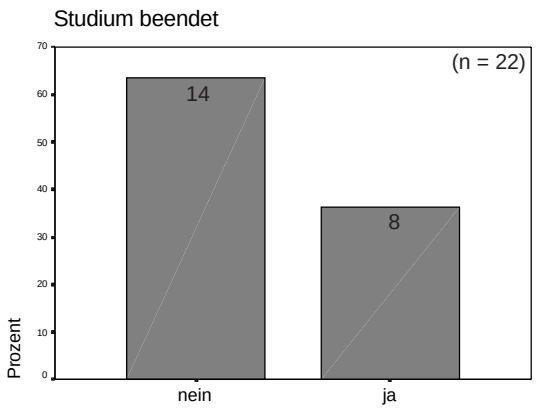
versität für Musik und darstellende Kunst, Wien). Die Versuchsgruppe ist also in bezug auf ihre künstlerisch prägende Instanz – die Ausbildungstätte Wiener Musikuniversität – sehr homogen. (Über Unterschiede durch verschiedene Klassenzugehörigkeit bzw. Professoren kann nur spekuliert werden.) Falls man einen (jungen) Wiener Interpretationsstil annehmen möchte, so ist dieser in diesen Aufnahmen wahrscheinlich gut repräsentiert. Die Aufnahmen dauerten ca. eine Stunde und fanden zwischen dem 13. Januar und dem 9. Februar 1999 in einem Zimmer der Firma Bösendorfer (1040 Wien) statt.

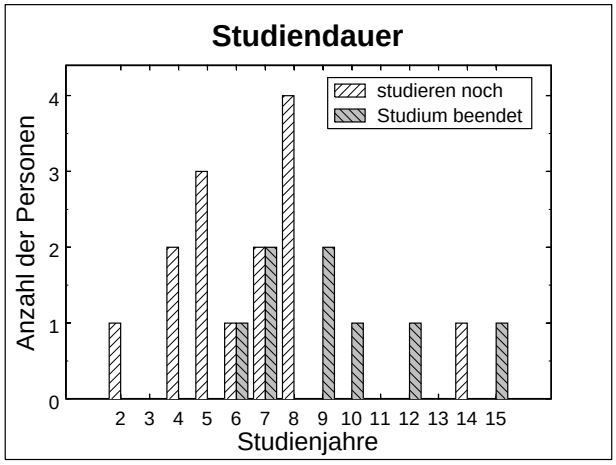


Das Alter der Versuchsgruppe war im Durchschnitt ca. 27 Jahre (Geburtsjahr 1970,8). Das häufigste Geburtsjahr war 1971, der älteste Pianist Jahrgang 1948, der jüngste 1980 (Altersdifferenz 32 Jahre).

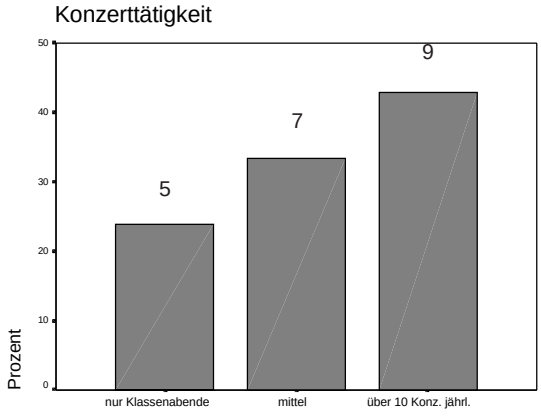
Von den 22 Pianisten waren 9 weiblich, 13 männlich, sie begannen großteils mit dem Alter von 5–6 Jahren mit ihrem ersten Klavierunterricht, alle studieren oder studierten in einer Klavier-Konzertfachklasse an einer Hochschule, zu über 95% an der Wiener Musikuniversität. Das Studium hatten 8 bereits beendet (durchschnittliche Studiendauer 9,25 Jahre), 14 studieren noch (seit durchschnittlich 6,4 Jahren). Drei der Pianisten unterrichten selbst an der Wiener Musikuniversität.







Auf die Frage nach ihrer Konzerttätigkeit gaben 5 an, lediglich Klassenabende zu spielen, 7 geben bis zu 10 Konzerten jährlich, 9 der Pianisten spielen mehr als 10 Konzerte pro Jahr.



Mit dem Zustand und der Qualität des Konzertflügels waren 86,4% der Pianisten völlig zufrieden, bei der Aufnahmesituation wurde wenig kritisiert. Einmal störte ein im Nebenraum agierende Klaviertechniker, einmal stürzte der Computer mehrmals ab. Nur einem Pianisten fiel der durchaus hörbare Ventilator des PCs auf.

Versuchsaufbau, Einspielsituation

Die Aufnahme fand in einem ca. 6 mal 6 Meter großen und ca. 3 Meter hohen Raum in der Bösendorfer Klavierfabrik (Graf-Starhemberggasse 14, 1040 Wien) statt. In dem Raum befanden sich außer dem großen Flügel mit seinem PC noch Schreibtische und Werkzeugkästen, zeitweise weitere Flügel. Der Flügeldeckel war immer ganz offen, im Direktschall rechts vom Flügel war das Mikrophon für die DAT-Aufnahme positioniert, der Versuchsleiter (=der Autor) saß hinter dem Rücken des einspielenden Pianisten und bediente den

Computer.

Die Pianisten hatten die Möglichkeit, sich mit dem Flügel vertraut zu machen, das DAT-Gerät wurde zu Beginn eingeschaltet und laufen gelassen – dadurch wurde es von allen Pianisten durchaus vergessen und nicht als hemmend empfunden. Die Reihenfolge der Stücke war den Pianisten freigestellt, dadurch wurde Randomisierung erreicht. Die einzelnen Aufnahmen sollten möglichst fehlerlos sein und eine befriedigende Realisiation dessen sein, was der betreffende Pianist intendierte. Daher konnte jeder nach Maßgabe der Zeit (1–1,5 Stunden) seine Einspielungen beliebig oft wiederholen. Nach jeder Aufnahme wurde das Eingespielte vom Flügel selbst reproduziert. So hatte der Pianist die (seltene) Möglichkeit einer direkten Aufnahmekontrolle und konnte sich selbst auf dem Flügel spielend im Raum zuhören.

Nach Einspielung der vier Stücke wurden zusätzlich die ersten neun Takte der Ballade in zwei Versionen verlangt: einmal mit extremer Überbetonung der Oberstimme, ein zweites Mal mit Überbetonung der tiefsten Stimme der rechten Hand (= oberes System, meist zweite, teilweise dritte Stimme).

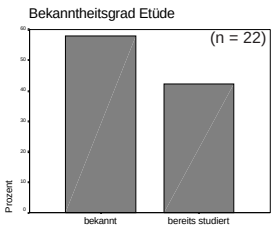
Zuletzt wurde noch ein Fragebogen ausgefüllt (siehe Anhang I).

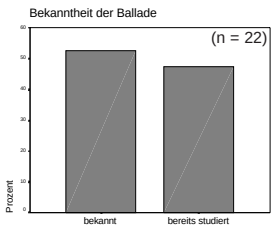
Die Stücke

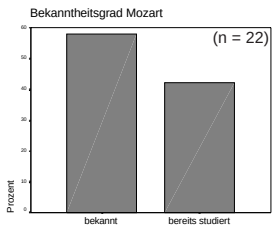
Die Schwierigkeit der vier Ausschnitte wurden von *allen* Pianisten für diese Einspielsituation (kurze Vorbereitungszeit) als „angemessen“ empfunden (im Vergleich zu „zu leicht“ bzw. „zu schwer“).

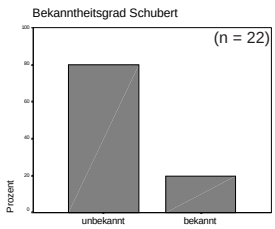
Der Bekanntheitsgrad der Stücke wurde einzeln mit „unbekannt“ – „bekannt“ – „bereits studiert“ gemessen. Erwartungsgemäß waren alle Stücke außer dem Schubert Tanz bekannt bzw. bereits studiert. Der Schubert Tanz war für 80% der Pianisten neu, studiert hatte ihn noch niemand (Schuberts Tänze zählen nicht zu einem Repertoire, das an Hochschulen studiert wird – man spielt sie einfach!).

In der Rubrik „besondere Intentionen bei den Stücken“ erhielt man ganz unterschiedliche Rückmeldungen. Es ist mir klar, daß die Frage nicht sehr präzise gestellt wurde, sie wurde von den Pianisten auch sehr unterschiedlich aufgefaßt. Es sollte die Möglichkeit vorhanden sein, besonders konkrete bzw. abweichende Interpretationsvorstellungen zu Papier zu bringen. Die einzelnen Kommentare werden mit den einzelnen Stücken separat besprochen.



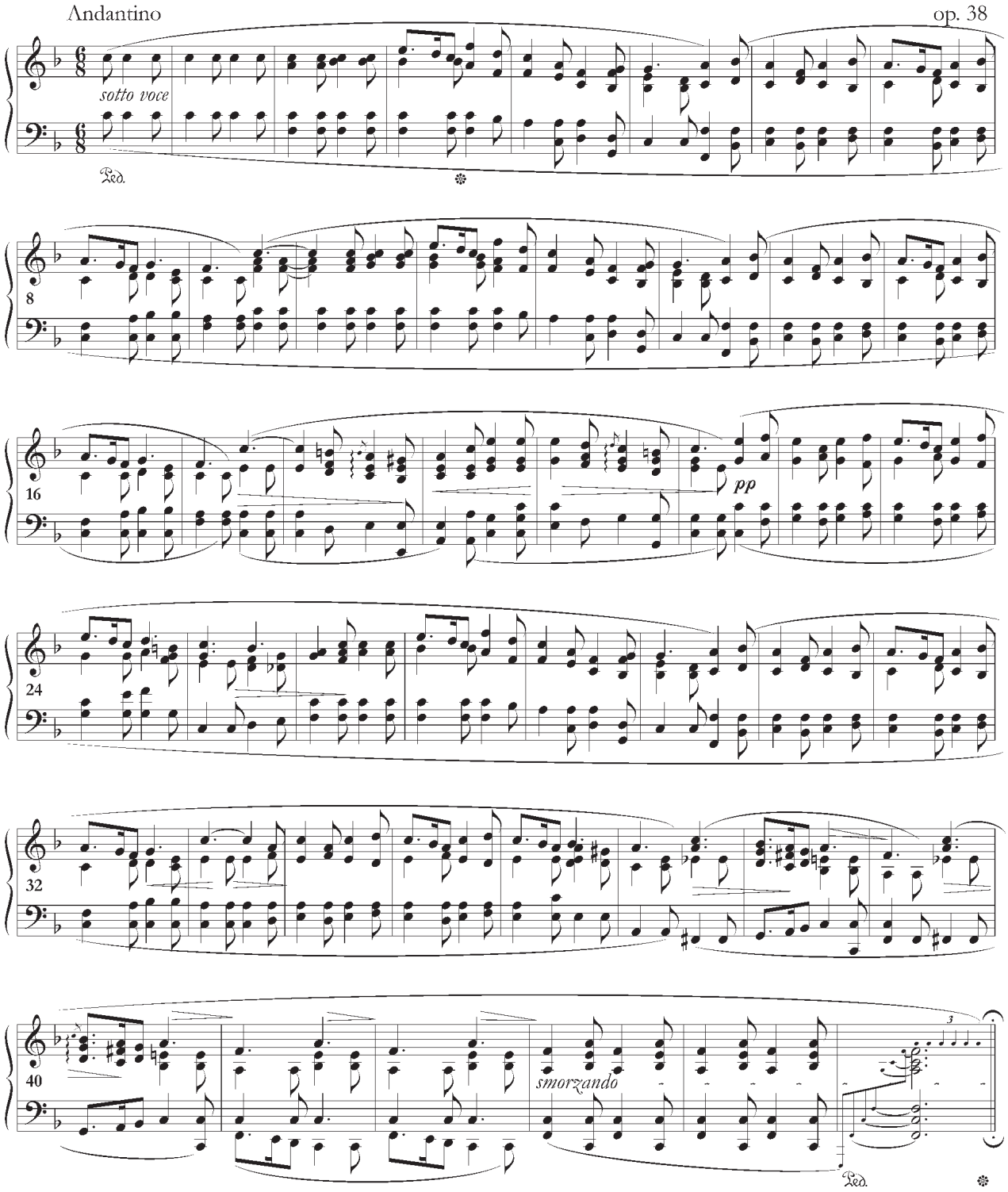






Ballade op. 38: musikalische Struktur

Diese ersten 45 Takte der Hauptstimmung von Chopin's F-Dur Ballade (insges. 203 Takte) sind geprägt von einem intimen und ruhigen Charakter (*sotto voce*), ihre Tonart pendelt zwischen F-Dur und a-Moll, das Ende der Ballade steht in a-Moll. Der 8taktige Hauptgedanke (Takt 2, A-Teil, Periode) besteht aus zwei viertaktigen Phrasen und wird in Takt 10 wiederholt. Weiters folgt ein B-Teil in a-Moll bzw. C-Dur, in Takt 26 Rückkehr



(Notentext erstellt nach: F. CHOPIN: *Balladen*, München: Henle Verlag 1976, 20–29)

zum Hauptmotiv (A-Teil), der jedoch vor seiner Vollendung unterbrochen wird (Takt 33) vom zweiten Gedanken (B'-Teil), um in Takt 37 in a-Moll zu enden, quasi als Variante zu dem F-Dur Schluß des Hauptgedankens. Mit einer Modulation (wiederholt) wird das Geschehen doch noch in F-Dur zu Ende gebracht, wo es kontinuierlich auspendelt (Dominante–Tonika, *smorzando*).

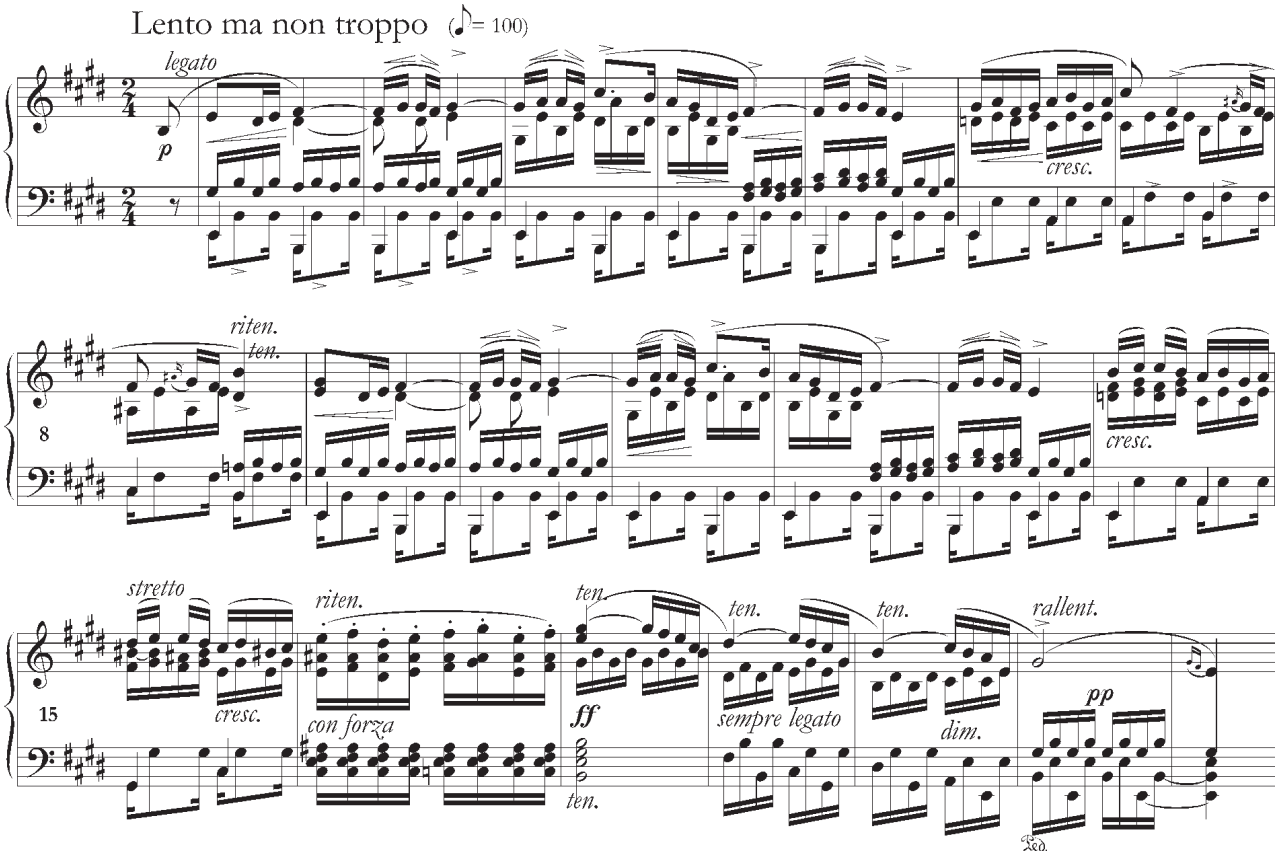
Die Chopinschen Phrasen besitzen die Eigenart, teilweise ihren Beginn in die Mitte des vorhergehenden Taktes vorzuziehen (Takt 6, 10, 14, 18, 22 und 30), bzw. bis zum Beginn des vorherigen Taktes (a-Moll Einwurf in Takt 33).

Als einzige Dynamikbezeichnung finden wir – außer ein paar Schwellergabeln – vor Takt 22 ein *pianissimo*, das zur besonderen Ausführung geradezu anregt. Die von mir oben skizzierte Phrasenstruktur unterstreicht Chopin mit weitschweifigen Legatobögen, die sich in der rechten Hand 4- und 8taktig, in der linken Hand bis zu 16taktig erstrecken können. Die Pedalisierungsinformation von Chopin beschränkt sich auf den Beginn (*crescendo*-Wirkung) und das Schlußarpeggio.

Etüde op. 10/3: musikalische Struktur

Der Versuchsausschnitt umfaßt das gesamte Hauptthema der Etüde (insges. 77 Takte), das im Gegensatz zur Ballade sehr asymmetrisch aufgebaut ist. Der erste Hauptgedanke (A) dauert 5 Takte, bleibt in E-Dur. Ein quasi weiterführender Gedanke (B) führt über die Subdominante (auch als Quintsextakkord) zur Dominante (Takte 6 bis 8). Hier notiert Chopin ein kleines *stretto* mit anschließendem *ritenuto*. Im Takt 9 wiederholen sich die fünf Takte des Beginns beinahe identisch, werden aber anders weitergeführt (B'): der harmonische Bogen spannt sich über cis-Moll (mit Dominante) über Fis-Septakkord, der alteriert in den Quartsextakkord von E mündet (Takt 17). Dieser Höhepunkt wird durch *crescendo, ritenuto* und der Anweisung *con forza* eingeleitet und durch ein *ff* und ein in beiden Systemen notiertes *tenuto* verstärkt. Der Abstieg folgt in plagalen Klauseln cis–gis-Moll, A–E-Dur.

Der Partiturausschnitt ist frei von Pedalangaben (außer Schlußakkord Takt 20), die Artikulation trägt fast klassische Züge und ist sehr detailliert ausgeführt.



(Notentext erstellt nach: F. CHOPIN: *Studies*, hg. von I. J. PADEREWSKI et al, Warschau: Instytut Fryderyka Chopina 1949, 17–20)

6. Auswertung

Datenaufbereitung

Die Auswertung wurde auf die beiden Exzerpte von Chopin (Ballade und Etüde), einschließlich der beiden überbetonten Versionen des Balladen-Anfanges beschränkt. Die 22 Einspielungen der Ballade ergaben bereits ca. 16.000 onset-Werte und ebensoviele Dynamikwerte, die überarbeitet werden mußten. Die 22 Einspielungen der Etüde umfaßten 20.000 onset- und Dynamikwerte, die beiden überbetonten Versionen weitere 11.500.

Meßgenauigkeit und Datenexport

Die vom Bösendorfer SE 290 erhaltenen Daten auf der Festplatte des angeschlossenen PCs abgespeichert (.KB, .LP und .SP-Dateien) und mit einem Programm des Bösendorfer-Systems in Standard-MIDI-files konvertiert.

Bei dem Export in das Standard-MIDI-Format blieb die zeitliche Auflösung der *note onsets* vollständig erhalten. Der Bösendorfer mißt *note onset*-Werte 800mal pro Sekunde, was einem Zeitraster von 1,25ms entspricht. Die Dynamikauflösung von 10bit (1024 Werte) wurde mit einer Standard-velocity-map exportiert: die IHV-Werte 600–30 wurden linear interpoliert auf MIDI-velocity Werte von 0–127 (vgl. Kapitel: *Bösendorfer SE Funktionsweise*). Hier ergibt sich eine Vergröberung der velocity-Skala um den Faktor 4,49. Derzeit kann man die Bösendorfer-files nur bildschirmweise anzeigen, jedoch nicht direkt z.B. in Textform exportieren. Nach sorgfältiger Prüfung wurde festgestellt, daß dieser Genauigkeitsverlust die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit in ihrer Aussagekraft nicht stört.

Die MIDI-Dateien wurden in Textfiles umgewandelt, die *note offsets* und die Pedalwerte herausgefiltert und die verbleibenden *onsets* abgespeichert. Die Rohdaten waren infolge der Spieltechnik der Pianisten durchsetzt mit fehlenden bzw. falschen Noten und stummen Anschlägen. Diese Fehler mußten korrigiert werden.

Zuordnung zu numerischer Partitur

Die gesamten Daten wurden im Vergleich zu einer numerischen Partitur „gelabelt“, d. h. jedem (richtigen) Ton im MIDI-file mußte seine Entsprechung in der numerischen Partitur zugeordnet werden.

Ein kurzer Ausschnitt der numerischen Partitur der Chopin Ballade mit den Zeit- und Dynamikwerten eines Pianisten:

Ereignis	Stimme	*onset*-Zeit in ms	Tonname	Dynamik *velocity*
0,334	1	0	c6	89
0,334	4	26,25	c5	76
0,500	1	462,5	c6	98
0,500	4	503,75	c5	75

Ereignis	Stimme	*onset*-Zeit in ms	Tonname	Dynamik velocity
0,834	1	1225	c6	105
0,834	4	1218,75	c5	93
1,000	1	1611,25	c6	106
1,000	4	1648,75	c5	78
1,334	1	2360	c6	107
1,334	4	2377,5	c5	88
1,500	1	2785	c6	105
1,500	4	2840	c5	77
1,834	1	3607,5	c6	104
1,834	4	3643,75	c5	84
2,000	1	4147,5	c6	103
2,000	3	4200	a5	77
2,000	4	4185	c5	72
2,000	6	4182,5	f4	80
2,334	1	4906,25	c6	110
2,334	3	4932,5	a5	98
2,334	4	4932,5	c5	87
2,334	6	4956,25	f4	80
2,500	1	5375	c6	114
2,500	3	5403,75	a#5	101
2,500	4	5412,5	c5	92
2,500	6	5426,25	f4	87
2,834	1	6132,5	c6	114
2,834	3	6176,25	a#5	95
2,834	4	6166,25	c5	84
2,834	6	6182,5	f4	71
3,000	1	6652,5	e6	113
3,000	3	6681,25	a#5	98
3,000	4	6693,75	c5	82
3,000	6	6705	f4	81
3,250	1	7268,75	d6	113
3,334	1	7437,5	c6	113
3,334	3	7478,75	a#5	96
3,334	4	7462,5	c5	85
3,334	6	7495	f4	70
3,500	1	7973,75	f6	110
3,500	3	8007,5	a5	95
3,500	4	8015	c5	77
3,500	6	8015	f4	79

Die Zahlen vor dem Komma in der Ereignisspalte beziehen sich auf die Taktzahlen, nach dem Komma auf die metrische Stellung im Takt (jedes Achtel hat eine Dauer von 1/6 Takt).

Die Nummerierung der Stimmen wurde nach stimmführungstechnischen Gesichtspunkten gewählt, um später gezielte Fragestellungen in stimmenmäßiger Hinsicht bearbeiten zu können. Die Melodie wurde mit 1 gelabelt, 2 und 3 sind Mezzo und Alt der rechten Hand, wobei bei zweistimmigen Akkorden die tiefere Stimme immer mit 3 versehen wurde; 4, 5 und 6 Tenor, Bariton und Baß der linken, wobei die fünfte Stimme nur bei dreistimmigen Ereignissen vergeben wurde.

Um die circa 16.000 Noten der Ballade und die rund 10.000 Noten des Etüden-Exzerpts computerunterstützt zu korrigieren und zu labelisieren, wurde ein spezielles Computer-Programm geschrieben (auf einem UNIX-System durch Gerhard Widmer). Die automatische Zuordnung der einzelnen Noten des MIDI-files zu der numerischen Partitur konnte nur bei geringer Fehler-

quote der Pianisten durchgeführt werden. Bei größerer Fehlerkumulation war das Programm überfordert, und es mußte händisch korrigiert werden. Nach mehreren Durchläufen und Korrekturen war die Zuordnung eindeutig. Die Daten wurden anschließend in ein Tabellenkalkulationsprogramm importiert (*MS EXCEL 97*), und die weitere Auswertung mit Hilfe von *Visual Basic Application* geführt.

Falsche Noten

Richtig gespielte Noten wurden direkt übernommen. Falsch gespielte Noten zum richtigen Zeitpunkt (z.B. eine Note zu hoch) wurden stillschweigend korrigiert. Stumme Noten, die entweder zusätzlich angeschlagen wurden oder Töne, die zwar richtig gemeint waren, aber mit zu geringer Dynamik gespielt wurden (velocity 0 oder 1) wurden entfernt.

Fehlende Noten wurden folgendermaßen interpoliert:

Falls ein Melodieton fehlte (was sehr selten vorkam) wurde die Zeit mit Begleitstimmen (falls vorhanden) interpoliert, die Dynamik wurde nicht ergänzt. Falls ein Ton der Begleitstimme fehlte, wurde die Zeit mit der Melodiestimme ergänzt, die Dynamik wiederum vernachlässigt. War kein Melodieton vorhanden, wurde zeitlich mit der nächstgelegenen Stimme (innerhalb der Hand) korrigiert. Die zeitlichen Werte mußte man deshalb alle korrigieren, da sonst eine Durchschnittsversion arge Verzerrungen erlitten hätte. Das Fehlen einzelner Dynamikwerte beeinträchtigt die Durchschnittsversion in geringerem Ausmaß.

Fehlerquoten der Pianisten

Von den 9.988 Noten der Etüde waren insgesamt 34 (3,4‰) fehlend und zu ersetzen, von den 16.082 der Ballade 107 (6,6‰). Die fehlenden Noten verteilten sich ziemlich gleichmäßig auf die ganzen Stücke, einzig bei der Ballade war auffällig, daß die Ereignisse 42,334/4 und 41,334/4 (jeweils c4 = eingestrichenes c) lediglich von 12 Pianisten richtig gespielt wurden! Bei den Ereignissen: 26,334/2 und 19,834/5 waren es 18; bei den Ereignissen 26,000/3, 28,500/4 und 40,250/3 19 richtige Realisationen. Nicht zuletzt diese geringe Fehlerquote (obwohl nur die fehlenden Noten gezählt wurden) zeugt von der hohen Qualität der gemachten Einspielungen (wer sich hörend ein Bild von diesen machen möchte, suche: *http://www.kfs.oeaw.ac.at/goebl/*).

Abschließend wurde die Richtigkeit der Daten mehrmals überprüft und die Reihenfolge streng aufsteigend angeordnet. Die Zeitwerte wurden als Zeitpunkt ab dem ersten Ton in Millisekunden angegeben (d.h. erster Ton hat Zeit = 0 ms).

Musikalische Zeitgestaltung und Darstellung

Um sich ein Bild von der Zeitgestaltung der einzelnen Pianisten zu machen, wird nach einer Visualisierung gesucht, die der mehrschichtigen und komplexen Struktur gerecht wird und diese entsprechend abbildet.

Man könnte, wie bei GABRIELSSON 1983, 1987 oder BEHNE & WETEKAM 1994 und anderen Autoren, die prozentuellen Abweichungen des Spielenden von der „mechanischen Norm" darstellen (y-Achse). Die mechanische Norm wird aus der Gesamtlänge der Einspielung ermittelt. Die x-Achsen sind starr eingeteilt, unabhängig davon, wie lange der Spieler dafür gebraucht hat. GOTTSCHEWSKI 1996, 243 führt folgendes Beispiel an, um die Schwächen dieser Darstellungsweisen zu veranschaulichen: zwei Achtel, die einmal -40% und -20% von der mechanischen Norm anweichen und einmal +40% und +20%, würden denselben Ausschlag in der Graphik erzeugen. Einmal jedoch stehen sie im Verhältnis 3:4 (60% und 80%), das andere Mal im Verhältnis 7:6 (140% und 120%)!

Stellt man die Tondauern (*inter onset intervalls*, IOI) direkt dar, ist ein Vergleich nicht möglich. Wird die Tondauern auf ihren jeweils kleinsten Notenwert reduziert und wird eine Viertel als ein gerader Strich durch vier Punkte dargestellt, ist die mikrorhythmische Komponente gut erkennbar (vgl. REPP 1992a, 1995b, 1996a). Zur Darstellung größerer Phrasenverläufe wären beispielsweise die Dauern der Halbtakte bzw. Ganztakte sinnvoll.

Ich schließe mich daher dem Prinzip der mehrschichtigen Tempodarstellung an, das GOTTSCHEWSKI 1996 verwendet, zwar nicht in seiner Form der „SKYLINE Graphik", sondern in einer aus computertechnischen Gründen modifizierten Form.

Mehrschichtige Tempodarstellung

Um musikalische Tempophänome auf mehreren Ebenen anschaulich vergleichbar zu machen, müssen diese auch entsprechend dargestellt sein. In diesen Graphiken wurden jeweils vier zeitliche Ebenen oder Kategorien gewählt: als niedrigste die Sechzehntelnotenebene, und weiters die dem jeweiligen Taktmaß entsprechend zusammengefaßten höheren Ebenen. Im Falle der Etüde (2/4 Takt) Achtel- Viertel und Halbe-Noten (=Taktebene), bei der Ballade (6/8 Takt) Achtel-, punktierte-Viertel- und punktierte-Halbe-Noten (Taktebene).

Da in den Graphiken die Zeit*dauern* abgebildet werden und nicht, wie in obigen Darstellungen eventuell vermutbar, Zeit*punkte*, wurden, entgegen der in der Literatur üblichen Darstellungsweise (REPP, GABRIELSSON, BEHNE & WETEKAM etc.), keine mit Strichen verbundene Punktdarstellung, sondern Treppengraphen verwendet, da hier die Eigenschaft: *Dauer* besser erkennbar ist. Die x-Achse wurde als Realzeitachse ausgeführt. In die y-Achse wurden die Zeitdauernwerte der einzelnen Kategorien aufgetragen. Je länger beispielsweise ein Takt dauert, desto höher ist nicht nur der Graph auf der y-Achse, sondern desto breiter ist dieser Takt auch auf

der x-Achse dargestellt (besonders augenscheinlich bei großen Verzögerungen).

Die **Dauer der einzelnen Einspielungen** war sehr unterschiedlich, der Unterschied zwischen dem langsamsten und dem schnellsten bei der Ballade größer als bei der Etüde. Gemessen wurde die Zeitdauer vom ersten Ton bis zum *onset* des letzten Tones. In der untenstehenden Auflistung sind die Pianisten nach Zeit aufsteigend sortiert.

Bei beiden Stücken benötigt Pianist 5 bis zum letzten Ton die wenigste Zeit. Die Reihenfolge stimmt mit der Reihenfolge nach Tempo (siehe Kapitel: *Numerische Bestimmung des Grundtempos*) nur grob überein.

Ballade

Pianist	*Zeit*	2	02:08
5	01:50	8	02:08
12	01:58	19	02:09
20	01:59	4	02:09
13	01:59	10	02:10
7	02:00	21	02:10
15	02:00	9	02:11
18	02:02	3	02:13
16	02:03	6	02:15
1	02:05	17	02:20
22	02:05	11	02:22
23	02:07	14	02:25

Etüde

Pianist	*Zeit*	7	01:17
5	01:04	3	01:18
9	01:06	4	01:21
16	01:07	10	01:21
8	01:08	17	01:21
18	01:10	1	01:21
13	01:10	14	01:24
19	01:10	21	01:24
2	01:11	6	01:25
12	01:14	20	01:27
22	01:17	15	01:27
23	01:17	11	01:29

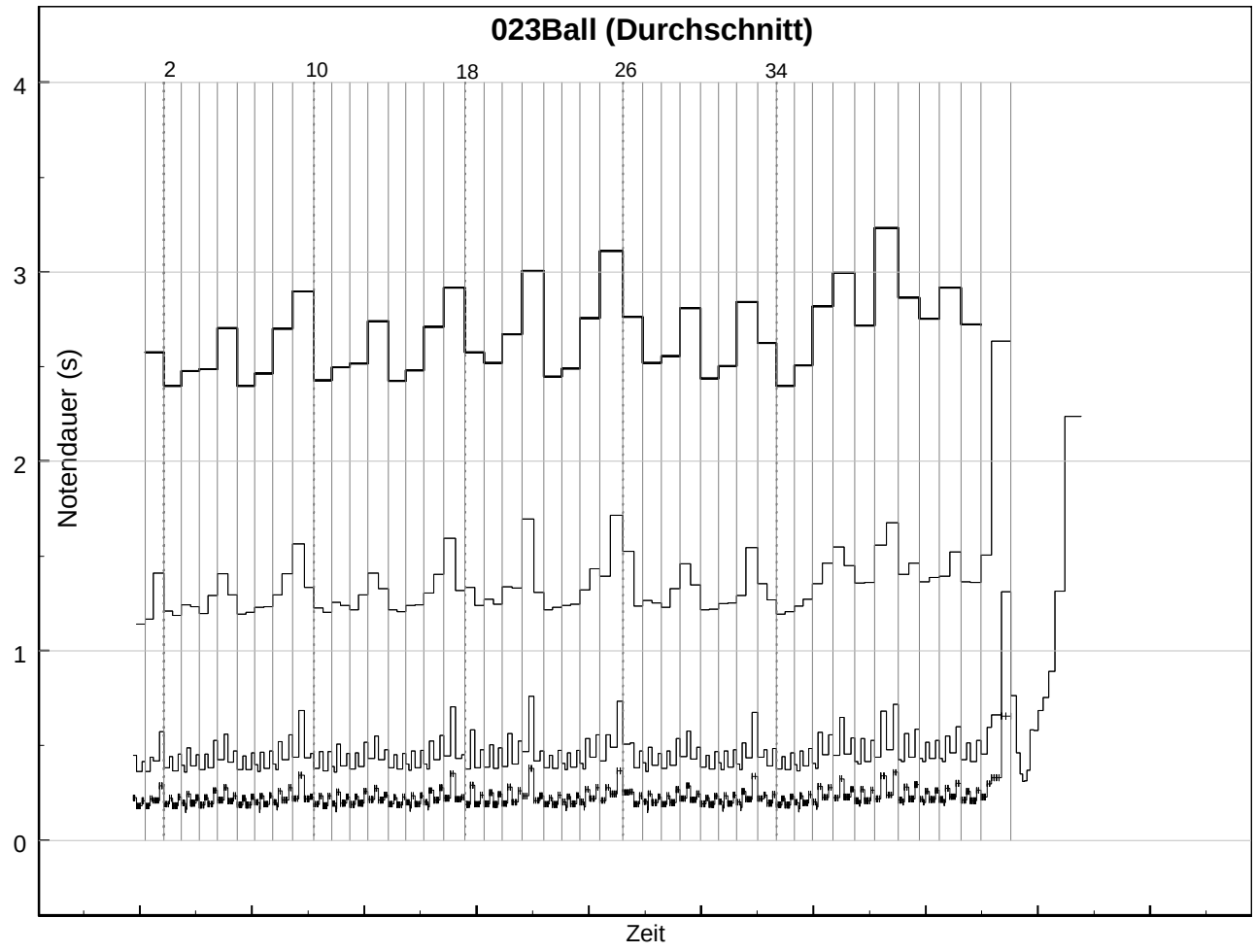
Zeitdauer vom ersten Anschlag bis zum Beginn des letzten Tones.
22 Pianisten und Durchschnittsversion (23), Zeit gerundet

In den **Tempogrammen** der Ballade wurde wegen des großen Zeitunterschieds zwischen der längsten und der kürzesten Einspielung die Realzeitachse (x-Achse) relativ zum Fenster skaliert, damit der zur Verfügung stehende Raum des Graphikfensters gut ausgenützt wird. Bei der Etüde war dieser Unterschied nicht so gravierend (ca. 25 Sekunden), daher konnte zum besseren zwischenpianistischen Vergleich eine absolute Skalierung der x-Achse gewählt werden (siehe unten).

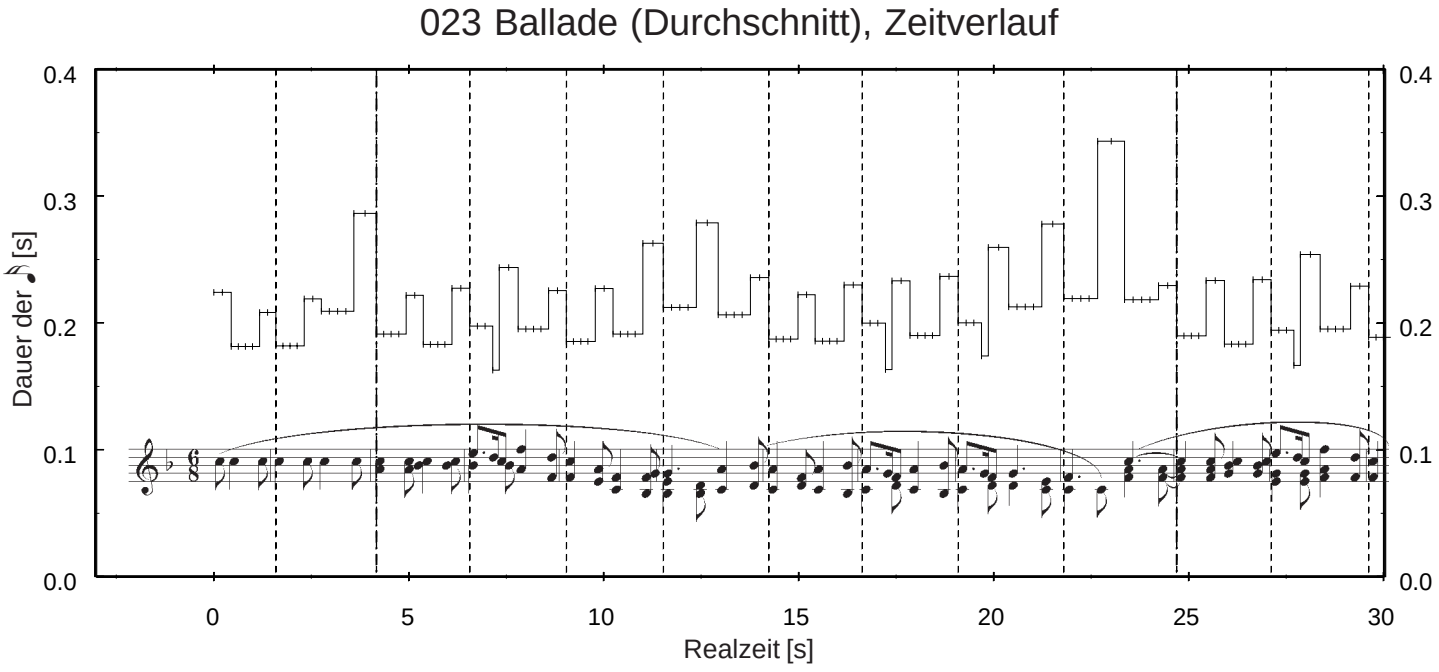
In der untersten Ebene werden alle Notendauern der Melodiestimme (falls diese nicht vorhanden, die oberste Stimme der Begleitung) entsprechend ihrem Nominalwert dividiert, um ihre Sechzehntelnotendauer zu erhalten. Ein gerader Strich mit vier Unterteilung zeigt also ein Viertelnote an. Taktstriche wurden mit durchgehenden Linien angedeutet, die Grenzen der musikalischen Struktur mit unterbrochenen Linien.

Hier das **mehrschichtige Tempogramm** der Durchschnittsversion der Ballade. Das Arpeggio am Ende (Takt 45) wurde lediglich in die Achtelebene gelegt, da in Chopin's Notation keine klare metrische Gliederung, sondern vielmehr ein notiertes und rhythmisch freies Arpeggio nahelegt, quasi als Fortführung des *smorzando*s.

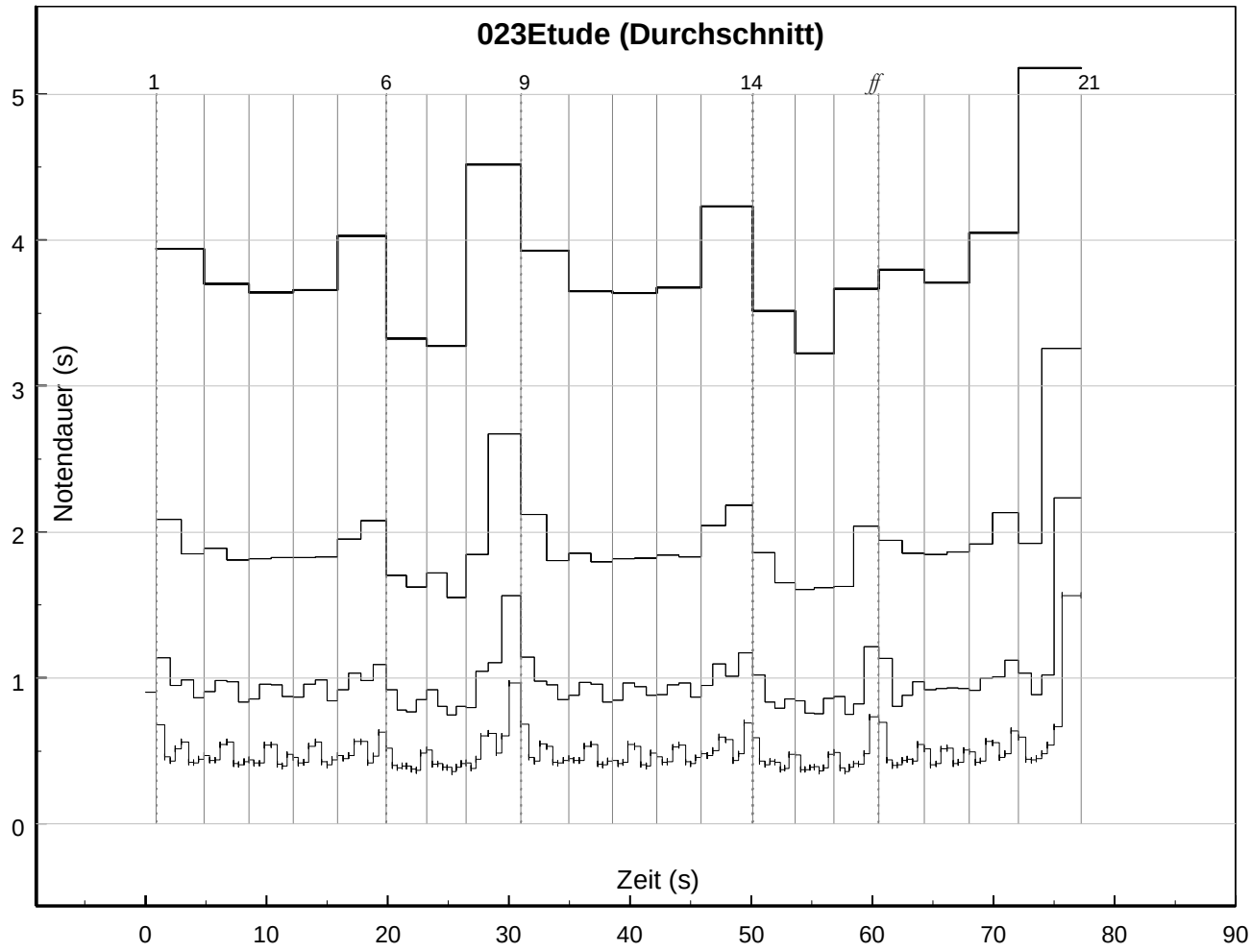
Um rhythmische Eigenheit genau zu studieren, wurde die ersten 30 Sekunden (ca. 11 Takte) der Durchschnittsversion der Ballade vergrößert dargestellt.



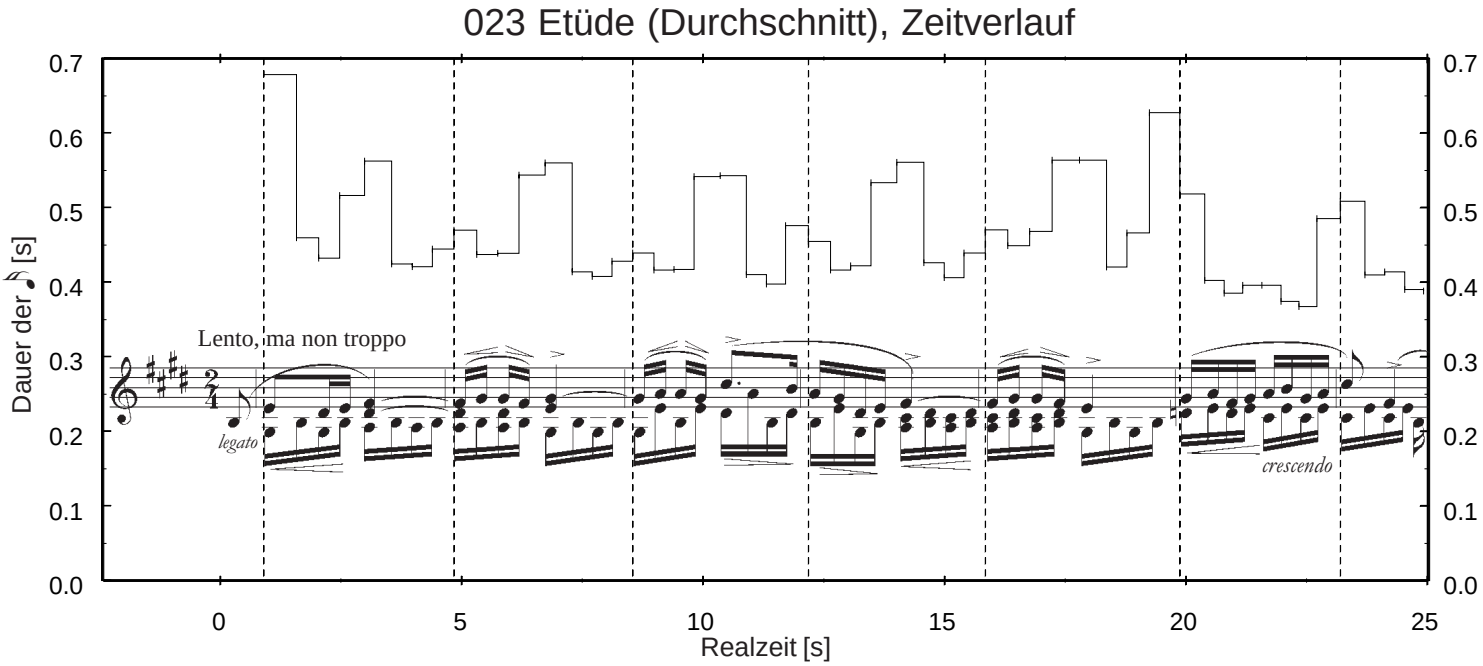
Mehrschichtiges Tempogramm der Ballade, Durchschnittsversion.
x-Achse: Realzeit, relativ skaliert; y-Achse Zeitdauern der einzelnen Notenkategorien (𝅘𝅥𝅯,𝅘𝅥𝅮,𝅘𝅥,𝅘𝅥., von unten), vertikale Striche entsprechen den Taktstrichen. Tempogramme *aller* Einspielungen in Anhang II.



Ballade (Durchschnittsversion 23), Anfang. Die Dauernwerte der 𝅘𝅥𝅯-Kategorie im Vergleich zur Notation. Eine Viertelnote wurde durch vier dividiert, eine Achtel durch zwei etc.



Mehrschichtiges Tempogramm der Etüde, Durchschnittsversion.
x-Achse: Realzeit, absolut skaliert (in Sekunden); y-Achse Zeitdauern der einzelnen Notenkategorien (𝅘𝅥𝅯,𝅘𝅥𝅮,♩,𝅗𝅥, von unten), vertikale Striche entsprechen den Taktstrichen. Tempogramme *aller* Einspielungen in Anhang II.



Etüde (Durchschnittsversion 23), Anfang. Die Dauernwerte der 𝅘𝅥𝅯-Kategorie im Vergleich zur Notation. Eine Viertelnote wurde durch vier dividiert, eine Achtel durch zwei etc.

Interpretation der mehrschichtigen Tempogramme

Nach Durchsicht aller 46 Tempogramme (jweils 22 Tempogramme und jeweils eine Durchschnittsversion, vgl. Anhang II, S. 104–149) beobachtet man unterschiedliche Muster der Zeitgestaltungen. Einige Pianisten spielen beinahe metronomisch und weisen wenig Zickzack-Abweichungen auf, andere ändern in jedem Takt ihr Tempo, kein Takt gleicht dem vorhergehenden. Doch fällt auf, daß trotz dieser Unterschiedlichkeiten immer wieder an ähnlichen Stellen große Ausschläge (=*ritardandi*) auftreten und daß die Detailstruktur äußerst ähnlich gebaut ist.

Detailebene (Sechzehntelnoten)

Auf der untersten Ebene, der Sechzehntelnotenebene, kann man systematische Variation des Mikrorhythmus gut beobachten (vgl. untere Abbildung S. 60 und 61).

Bei der **Ballade** (6/8 Takt) tritt der Jambus (♩ ♪) durch alle Pianisten typisch verzerrt auf: statt eines klaren 2:1 Verhältnis ist die kürzere Note, die Achtelnote, stets verlängert. Diese Verformung erkennt man durch das konstante Zickzack-Pattern, das sich durch alle Graphiken zieht. Etwas geringer fällt es bei Pianist 17 aus.

Der Siciliano-Rhythmus, der eigentlich ein ausgeschmückter Jambus ist (♩ ♪ → ♪. 𝅘𝅥𝅯), ist ebenfalls typisch geformt: die Sechzehntelnote ist sehr verkürzt, die Achtel verlängert im Vergleich zum Nominalwert. Besonders stark ausgeprägt ist diese Eigenschaft bei Pianist 12, 17, und 19, nicht oder kaum ausgeprägt ist sie bei Pianist 8 und 22. Die Sechzehntelnote sehr an die punktierte Achtelnote angepaßt spielen Pianist 11 und 15, während die Formung bei Pianist 16 unterschiedlich ausfällt. Allgemein noch läßt sich sagen, daß die beiden Stellen, in denen die Siciliano-Sechzehntel akkordisch ausgesetzt ist (Takte 38 und 40), sie weniger verkürzt ist, als in anderen Stellen, in denen sie als Einzel- resp. nur als Melodiestimme auftritt.

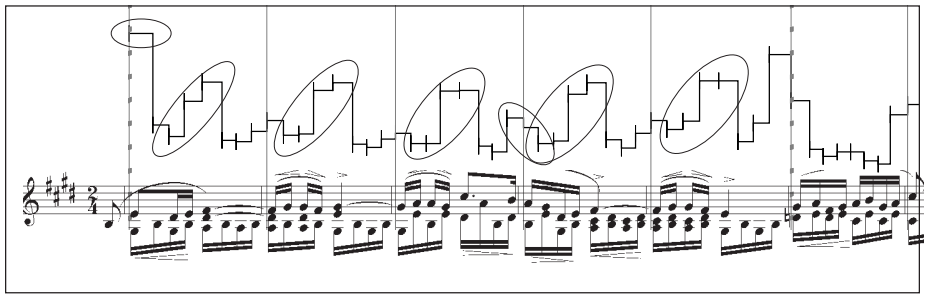
Für die Ballade kann man festhalten, daß **Hypothese 2 gültig** ist. Über das rhythmische Verhalten der Pianisten in der Mozartsonate und in dem Schubertländler, die beide diesen Rhythmus aufweisen, kann keine Aussage gemacht werden, da die Auswertung für diese Arbeit nicht erfolgte. In welcher Weise die Variation des Rhythmus zwischen den Stücken und zwischen den Pianisten sich verteilt, muß Gegenstand zukünftiger Forschung bleiben.

In der **Etüde** (2/4 Takt) gibt die Sechzehntelnotenebene, die ja real in der Partitur vorkommt, andere Auskünfte. Die dargestellten Zeitwerte kann man in Melodie- und Nichtmelodietöne unterteilen (Als Meßpunkte für die Graphiken wurden nur dann Nichtmelodietöne herangezogen, wenn für ein existentes Partiturereignis die Melodie fehlte). Dabei fällt auf, daß die zeitliche Formung der Melodie sich deutlich von der der Begleitung abhebt.

In der unterstehenden Darstellung sind zur Verdeutlichung die Melodietöne eingekreist. Ein dahinterliegendes System ließe sich so formulieren: ein jeweiliger Melodieabschnitt wird zu sei-

nem längsten (und wohl auch lautesten) Ton hin verlangsamt. Einzig bei Takt 4 (mit Auftakt) ist eine Beschleunigung–Verzögerung festzustellen. Dieses Zeitmuster läßt sich bei den meisten Pianisten feststellen (deshalb auch seine klare Repräsentation im Durchschnitt), doch manche arbeiten nicht nach diesem Muster (z.B.: Pianist 2).

Dieses Phänomen sollte vor allem im Zusammenhang mit der Dynamik gesehen werden, eine ausführlichere Untersuchung würde aber den Rahmen dieser Arbeit sprengen und bleibt daher hier nur grob umrissen.



Etüde Durchschnittsversion, Takte 1 bis 5, Sechzehntelniveau, Melodiestimme eingekreist

Phrasierungsebene (Halbtaktniveau)

In den beiden oberen Ebenen (♩,𝅗𝅥 bzw. ♩.,𝅗𝅥.) der Tempogramme können Halbtakt- bzw. Taktlängen gut verglichen werden. Man sei sich im klaren, daß hier Tondauern abgebildet sind (*inter onset intervalls,* IOIs).

Die Länge einer Tondauer ist bestimmt vom Anschlag eines Tones bis zu dem des nächsten. Ein Hörer muß also für eine Tondauer (IOI) zwei Töne hören und ordnet auch zwei Töne in ein zeitliches Umfeld ein. Es wird angenommen, daß ein dargestellter verlängerter Dauerwert für den Hörer als ein späterkommender Folgeton hörbar ist, und nicht als verlängerter eigentlicher Ton. Wenn beispielsweise ein Ton herausgehoben wird durch große Dynamik und Absetzen vom Vorhergehenden (wie z.B. in der Etüde Takt 17 *fortissimo*), dann erscheint nicht die betreffende Note als erhöhter Graph im Diagramm, sondern die vorhergehende.

Bei der **Ballade** kann der 6/8-Takt im *Andantino* gut auf der punktierten Achtel, also im Halbtaktniveau, gepulst werden. Daher ist vor allem diese Ebene äußerst ergiebig zu interpretieren. In der Durchschnittsversion ist klar ersichtlich, daß Tempoänderungen im 8- bzw. 4taktigem Intervall ihren größten Ausschlag haben. Stets vor Strukturgrenzen (Takt 2, 10, 18, 26) sind die Verlangsamungen am stärksten, in den viertaktigen Einteilungen der Periode wird jeweils nur ein kleineres *ritardando* gespielt. Der größte Ausschlag des Graphen ist (außer am Ende im Takt 45) bei der Wiederkehr des Hauptgedankens (Takt 26). Ebenfalls viel Zeit benötigt der gemittlte Pianist für die *pp*-Anweisung im Takt 21. Man könnte also sagen, daß je größer der strukurelle Einschnitt, desto größer auch die zeitliche Abweichung in der Ausführung durch einen Spieler

(vgl. u.a. SHAFFER & TODD 1987, TODD 1985, 1992)

Da die Chopinschen Phrasengrenzen oft in der Taktmitte anzutreffen sind, sind auch die Verzögerungen dort aufzufinden. Als typische Tempoform ist ein rascher Beginn (mit leichtem *accel.*) und ein kontinuierliches Langsamerwerden bis zur Phrasengrenze (besonders deutlich ausgeprägt ist diese Tempokurve von Takt 33 bis 37. Ebenfalls einen derartigen Tempoverkauf bildet das Schlußarpeggio, das beinahe unabhängig vom vorhergehenden Ritardando diese Form in extremerer Weise ausgebildet zeigt.

In der Mittelungsversion der **Etüde** kann man diese Phänomene in ähnlicher Weise beobachten. Hier sind die ersten fünf Takte unter so eine Beschleunigungs-Verzögerungskurve gelegt, so wie die Takte 9 bis 13. In den Takten 6 bis 8 ist das notierte *accel.* und *riten.* erstaunlich wörtlich realisiert, so wie auch in der zweiten Weiterentwicklung ab Takt 14. Vor dem Höhepunkt (Takt 17) wird das Geschehen partiturgemäß zurückgehalten, die abbauende Phrase von 17 bis 21 erscheint wiederum gekurvt.

Aus dem Vergleich über 22 Pianisten beider Stücke wird die Abhängigkeit der durchschnittlichen Tempogestaltung der Pianisten von der musikalischen Struktur klar.
Damit wird **Hypothese 1** als gültig betrachtet.

Errechnung eines Grundtempos

Über einer Partitur steht meist eine Tempoanweisung durch den Komponisten (bei der Ballade: *Andantino*; bei der Etüde: *Lento ma non troppo*). Bei der Etüde wurde sogar mit einer genauen Metronomangabe (♪ = 100) ein Grundtempo fixiert. Ein Spieler orientiert sich an diesen Angaben und wird daraus eine eigene Vorstellung von Tempo entwickeln, nach der er spielen wird. Das Tempo ist nie konstant, es ist vielmehr äußerst flexibel und ändert sich in Abhängigkeit zur musikalischen Struktur.

Wie ermittelt man numerisch aus bestehenden Daten ein Grundtempo, das in etwa dem entspricht, was ein Pianist selbst oder ein Hörer empfindet. Es sei also der Puls gefragt, den ein Pianist fühlt und von dem er an Phrasenenden abweicht. Über die statistischen Möglichkeiten (Modus, Median, Mittelwert, modifizierter Mittelwert jeweils von einer Häufigkeitsverteilung der Notendauern bzw. ihres Reziprowertes) wurde im entsprechenden Theoriekapitel berichtet (*Numerische Betimmung des Grundtempos*).

Vorgehensweise

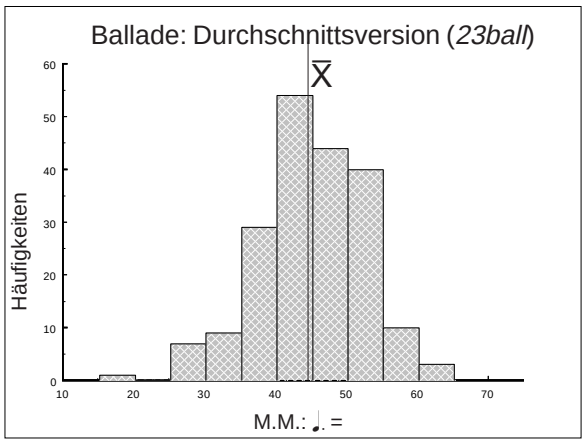
Zunächst wurden von allen Tondauern(IOIs) die entsprechenden Reziprokwerte gebildet, um die Darstellungsweise dem Usus von Partituren anzupassen, wo normalerweise das Tempo in Schlägen pro Minute (Menzels Metronom, M.M.) für eine bestimmte Noteneinheit angegeben wird.

Im Falle der Ballade wurde für jede Tondauer (jeweils die Anschlagszeitdifferenz zwischen jeder obersten Note eines Ereignisses und seines folgenden) ihre Entsprechung im Halbtaktniveau aus (eine Achtel wird mit dem Faktor 3 multipliziert) errechnet und durch die Formel

Tpo [M.M.] = 60.000 / IOI [ms]

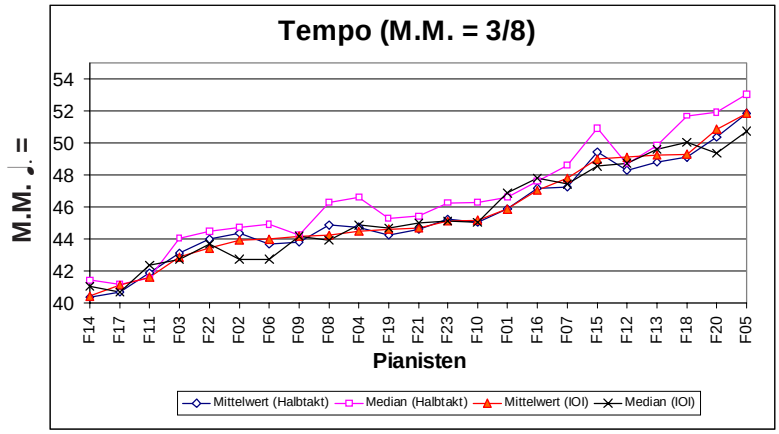
ihren Metronomwert ermittelt, wobei die Tondauern in Millisekunden angegeben waren. Man erhält somit pro Einspielung 196 verschiedene Tempowerte (der letzte *note on* Wert war 45/1, das Schlußarpeggio wurde weggelassen) zwischen 𝅗𝅥. = 12 und 𝅗𝅥. = 95 in Extremfällen. Eine Häufigkeitstabelle der Durchschnittsversion sei der Anschaulichkeit halber hier eingefügt.

Die statistischen Eckdaten für diese Verteilung sind: Mittelwert = 45,13; Minimum = 15,25, Maximum = 62,36; Median = 45,13; der Modus liegt bei 40. Die Verteilung ist relativ symmetrisch, daher sind Mittelwert und Median beinahe ident.



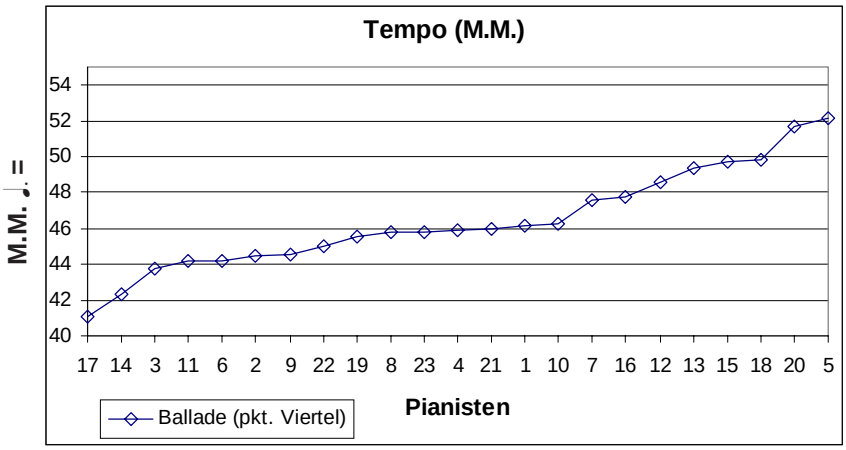
Ballade Durchschnittsversion: Verteilung der Metronomwerte für 𝅗𝅥.

Da für das Tempo der Ballade wurde als Pulseinheit der Halbtakt erachtet (𝅗𝅥.), wurde als Kontrast zu der IOI-Verteilung eine Häufigkeitsverteilung der Halbtaktdauerwerte (n= 89)zusammengestellt. Nicht ganz unerwartet unterscheiden sich diese von den aus allen Notenwerten generierten Versionen. Um die Unterschiedlichkeiten zwischen den Mittelwerten und den Medianen der Verteilungen auf IOI-Ebene und Halbtaktebene zu demonstrieren, sind in dieser Graphik die Werte aller Pianisten aufgetragen (aufsteigend sortiert nach Mittelwert IOI-Verteilung).



Ballade: Metronomwerte für alle Pianisten und Durchschnittsversion in vier Berechnungen. Medianberechnung weicht teilweise stark ab.

Alle vier Eckdaten bewegen sich zwar in derselben Richtung, sind aber oft nicht parallel. Da bei den einzelnen Pianisten die Verteilungen nicht so symmetrisch erscheinen wie in der Durchschnittsversion, wurde die Methodik Repps (REPP 1994b) herangezogen, der den um große Verzögerungen befreiten Mittelwert als ein, einem empfundenen Grundtempo nahekommendes Maß vorschlägt. Um nun zu einheitlichen Ergebnissen zu kommen, wurden die Daten der Halbtaktebene gewählt und zu langsame Werte herausgefiltert. Dabei wurde von jedem Mittelwert seine Standardabweichung abzogen, um eine ungefähre Schwelle zu erhalten, unter der gefiltert wird. Die Schwelle wurde bei ♩. = 36 festgesetzt.



17	41,1082
14	42,3092
3	43,7923
11	44,1942
6	44,1954
2	44,4912
9	44,5654
22	44,9926
19	45,5072
8	45,8246
23	45,8446
4	45,9019
21	45,9636
1	46,1761
10	46,2054
7	47,5646
16	47,7825
12	48,5524
13	49,346
15	49,7305
18	49,8354
20	51,6572
5	52,1166

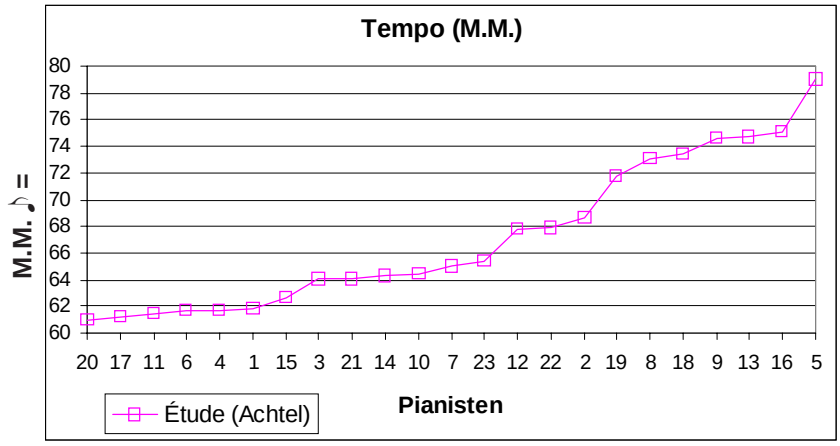
Ballade: Tempo M.M. ♩.= (aufsteigend sortiert), rechts: Zahlennachweis (Pianisten, M.M.)

Das mittlere Grundtempo aller Pianisten liegt zwischen 44 bis 46, d.h. circa die Hälfte aller Pianisten wählte unabhängig voneinander ungefähr dasselbe Tempo. Die erstaunlich enge Varia-

tionsbreite von nur 11 Metronomwerten verblüfft, wenn man auf einem handelsüblichen Metronom dieses Intervall betrachtet: dort kann man es nur in folgende Kategorien einteilen: 40, 44, 48 und 52. Anscheinend haben die 22 Pianisten der Wiener Musikuniversität ungefähr dieselbe Vorstellung, was das Grundtempo betrifft.

Bei der **Etüde** war die Methodik diesselbe. Der Mittelwert wurde bei einer Schwelle von 46 reduziert. Die Ergebnisse streuen wesentlich größer.

Die Variationsbreite beträgt nahezu 20 Metronomwerte. Erstaunlicherweise kommt kein Pianist auch nur annähernad an Chopins Tempoanweisung von ♪= 100 heran. Pianist 22 machte bei der Einspielung den Autor extra auf diese Tempoangabe aufmerksam und erachtete sein Spieltempo als das von Chopin angegebene, obwohl er nur auf ♪= 68 kam.

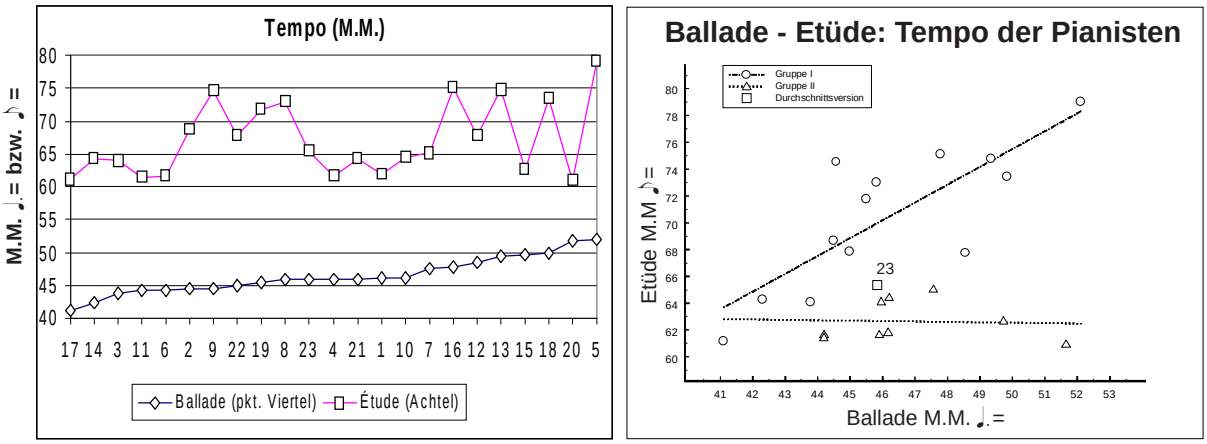


20	60,9535
17	61,1757
11	61,45
6	61,6522
4	61,6711
1	61,8252
15	62,6855
3	64,06
21	64,1194
14	64,2727
10	64,4255
7	65,0662
23	65,36
12	67,7727
22	67,8446
2	68,6752
19	71,7677
8	73,0065
18	73,4221
9	74,5633
13	74,7755
16	75,1154
5	79,013

Etüde: Tempo M.M. ♪ = (aufsteigend sortiert), rechts: Zahlennachweis (Pianisten, M.M.)

Tempovergleich Ballade – Etüde

Interessant wäre noch, ob Pianisten, die die Ballade schnell spielen auch die Etüde rasch absolvieren (z.B. Pianist 5 ist immer der schnellste). Dazu die Tempowerte für beide Stücke in einem Diagramm (nach Balladenwerten aufsteigend sortiert).



Tempovergleich: Ballade – Etüde
Links in paralleler Darstellung; rechts im Skatterplot mit Regressionsgeraden

Der Korrelationkoeffizient zwischen den einzelnen Tempowerten der Pianisten für die Ballade und für die Etüde beträgt 0,39 (n=22, p=0,75). Sondert man die auf einem Scatterplot abgelegeneren Pianisten aus (1, 4, 6, 7, 10, 11, 15, 20 und 21 = Gruppe II) dann erhöht sich der Korrelationskoeffizient auf 0,80 (n=13, p=0,001). Man kann für diese Gruppe I (2, 3, 5, 8, 9, 12, 13, 14, 16, 17, 18, 19, 22) daher grob sagen, daß es doch einen gewissen Zusammenhang zwischen diesen Variablen gibt (in der Graphik: Kreise). Ein Pianist dieser Gruppe, der die Ballade tendenziell schneller spielt, wählt auch für die Etüde ein schnelleres Tempo, und umgekehrt.

Für Gruppe II beträgt der Korrelationskoeffizient -0,049 (n=9, p = 0,900), es ist also hier kein Zusammenhang festzustellen.

Am typischsten für Gruppe I sind Pianist 5 (der schnellste) und Pianist 17 (der zweitlangsamste), typisch für Gruppe II sei Pianist 20 zu erwähnen, der die Ballade sehr schnell (Zweitschnellster) nimmt, während er bei der Etüde das langsamste Tempo (♪ = 60) einschlägt.

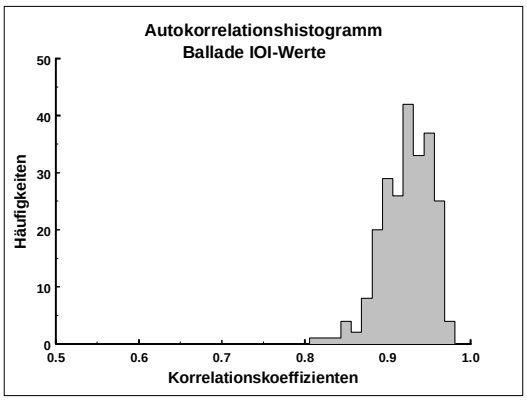
Ähnlichkeitstests

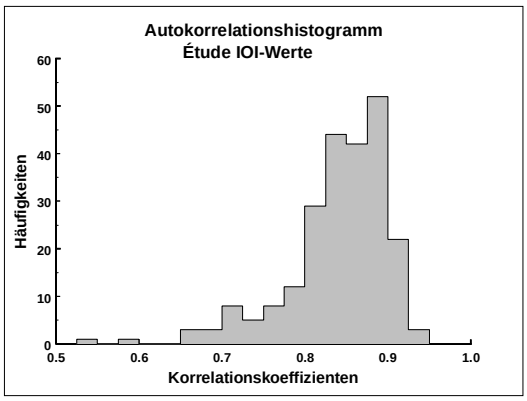
Ähnlichkeiten in der Zeitgestaltung zwischen den Spielern

Wie aus den Tempogrammen gut ersichtlich ist, weisen die einzelnen Spieler in ihrer Zeitgestaltung, trotz vieler Unterschiedlichkeiten, große Übereinstimmungen auf. Diese Übereinstimmungen wurden mithilfe der Produkt-Moment-Korrelation gemessen.

Alle IOI-Werte der obersten Stimme (Ballade: n=196; Etüde: n=161) aller 22 Pianisten wurden spaltenweise miteinander korreliert. Diese Interkorrelationsmatrizen lieferten (n*(n-1))/2 Korrelationskoeffizienten ((22*21)/2=231). In der folgenden Tabelle die Minima, Maxima und die Verteilungskurven der Korrelationen (bei allen $p<0{,}001$).

Korrelationskoeffizient	Min	Max	Mittel	Modus	Median
Ballade	0,815	0,973	0,923	bei 0,92	0,93
Etüde	0,55	0,933	0,84	bei 0,83	0,85





Man kann gut erkennen, daß die Spieler bei der Ballade sich in zeitlicher Organisation weit mehr decken als bei der Etüde (siehe Verteilungen). Doch bei beiden Stücken ist die hohe Übereinstimmung evident.

Um nun zu prüfen, ob innerhalb der Korrelationsmatrix gewisse Spieler sich untereinander ähnlicher sind als z.B. eine Gruppe anderer Spieler, die untereinander ebenfalls wesentlich höhere Korrelationskoeffizienten aufweisen als die beiden Gruppen zueinander, wurde eine Hauptkomponentenanalyse (*Principle Component Analysis*, PCA) mit Varimax-Rotation durchgeführt (Methodologie in Übereinstimmung mit REPP 1992b, 1995b, 1996a, 1996d, 1998b, etc.).

Es werden nur jene Faktoren berücksichtigt, die einen Eigenwert über 1 besitzen (vgl. REPP).

So liefert die PCA für beide Stücke jeweils nur *einen* hochladenden Faktor, der den Großteil der Varianz erklärt (Ballade 93,5% der Varianz; Etüde 85,8% der Varianz. Rotationen können bei *einem* Faktor nicht berechnet werden).

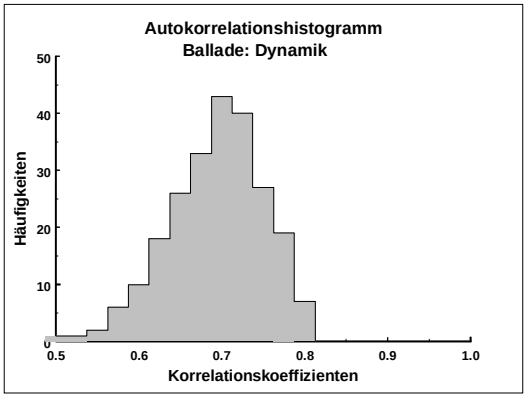
Es liegen also keine gegensätzlichen zeitlichen Verhaltensstrategien vor, da es im großen und ganzen nur eine Strategie gibt, die von allen Spielern geteilt wird. Dieses Ergebnis ist übereinstimmend mit Repps Ergebnissen für Pianisten, die noch studierten (*student pianists* REPP 1995b).

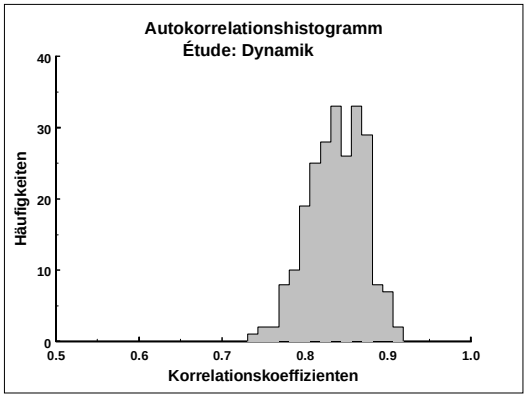
Ähnlichkeiten in der Dynamik zwischen den Spielern

Ebenso wie im vorangegangenen Abschnitt wird hier die Übereinstimmung der dynamischen Formung der obersten Stimme geprüft.

Die Vorgehensweise ist wie oben. Alle Dynamikwerte (MIDI-velocity) der obersten Stimme (Ballade n=197, Etüde n= 162) aller 22 Pianisten wurden spaltenweise miteinander korreliert. Diese Interkorrelationsmatrizen lieferten wieder 231 Werte, deren statistische Eckdaten und Verteilungskurven hier präsentiert werden (wiederum alle Korrelationen signifikant auf dem 0,01-Niveau)

Korrelationskoeffizient	Min	Max	Mittel	Modus	Median
Ballade	0,506	0,814	0,695	0,69	0,70
Etüde	0,743	0,909	0,838	0,83/0,86	0,84





Die höheren Übereinstimmungen weist hier die oberste Stimme der Etüde auf (durchschnittlicher Korrelationskoeffizient 0,83 versus 0,7).

Die Überprüfung auf eventuelle Gruppierungen in diesen Korrelationsmatrizen durch eine Hauptkomponentenanalyse mit Varimax-Rotation (nicht berechenbar bei einer Komponente) erbrachte ein ähnliches Ergebnis wie im vorhergehende Abschnitt: jeweils eine hochladende Komponente konnte extrahiert werden. Diese erklärten 71% (Ballade) bzw. 84,5% (Etüde)

der Gesamtvarianz. Somit stimmen auch in der dynamischen Formung der Oberstimme (meist Melodie) die 22 Einspielungen der Pianisten sehr überein.

Numerisch ermittelte Durchschnittsversion

Seit man musikalische Aufführung in ihren Parametern (Tonhöhe, -beginnzeit, -dauer, Dynamik, Pedalisierung) aufzeichnen konnte wurde die Betrachtung von numerisch ermittelten Durchschnitts-Interpretationen möglich. Durch MIDI kann eine solche Durchschnittsinterpretation auch hörbar gemacht werden. Ihren ästhetischen Gehalt untersuchte erstmals Bruno Repp (REPP 1997b).

Er ließ musikalisch trainierte Hörer mehrere Version desselben Stückes in ästhetischer Hinsicht bewerten (Qualität, Individualität etc.). Die verschiedenen Versionen waren die Durchschnittsversion (nur in zeitlicher Domäne gemittelt) und die Einspielungen, die in diesen Durchschnitt einflossen. Das Ergebnis war erstaunlich: die Durchschnittsversion wurde zwar als mit der geringsten Individualität ausgestattet empfunden, doch in qualitativer Hinsicht placierte sie sich vor den einzelnen menschlichen Interpretationen. Es wird also die Durchschnitts-Interpretation von einer Menge als die durchschnittlich schönste empfunden, da der individuelle Geschmack im Durchschnitt am geringsten von ihr entfernt ist (*minimal distance hypothesis*, REPP 1997b, 420).

Repps Durchschnittsversionen beinhalteten nur Mittelungen in zeitlicher Domäne, alle Akkord-Asynchronizitäten waren entfernt, Dynamik nur in einem Experiment beachtet, die Einspielungen selbst mit einem MIDI-Synthesizer generiert. Also durchaus artifizielle Umstände.

In der vorliegenden Arbeit wird angenommen, daß eine numerische Mittelung, die sich auf möglichst alle Parameter ausdehnt (Zeit, Dynamik, Akkord-Asynchronitzität, Artikulation, Pedal...) nicht mehr als ästhetisch schönste Version empfunden werden kann, weil in gewissen Parametern zuviel Individualität liegt, als daß ein Mittelung sie nicht sofort als artifiziell entlarven könnte.

Berechnung der Durchschnittsversion

Das Ziel war, eine möglichst natürlich anmutende Durchschnittsversion zu generieren, die die meisten der oben genannten Parameter berücksichtigt. Sie sollte so klingen, daß sie im Vergleich mit den Originalaufnahmen der 22 menschlichen Pianisten nicht sofort durch grobe Artefakte auffällt (wie z.B.: kein Pedal, Klang eines künstlichen Klaviers), sondern daß erst durch genaue Hörkontrolle der einzelnen Parameter auffallen könnte, es handle sich hierbei um eine künstlich erzeugte Einspielung.

In die Berechnung wurden einbezogen: alle zeitlichen *onset*-Werte aller 22 Aufnahmen (mit dem ersten Ton genullt), alle Dynamikwerte. Damit wurde auch das Phänomen Akkord-

Asynchronie in die Mittelung einbezogen. Die Parameter Artikulation (*note off*) und Pedal konnten nicht berechnet werden.

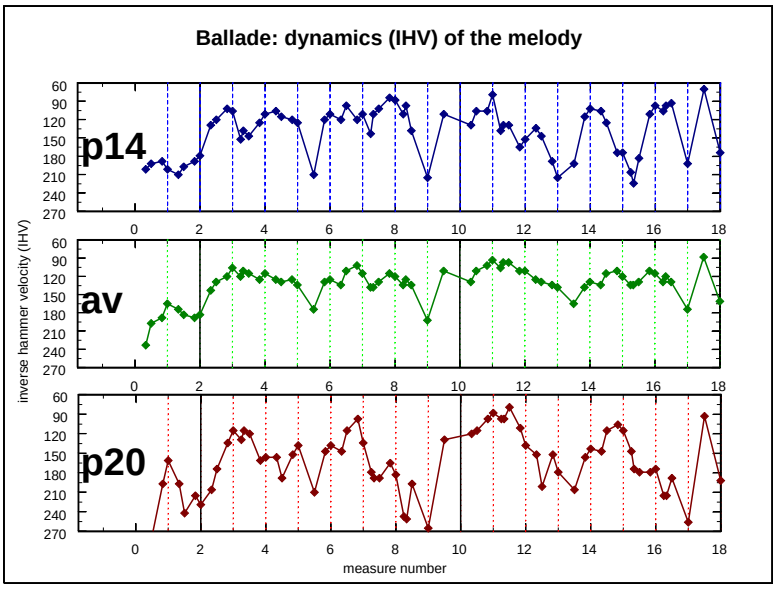
Aus den gemittelten Daten wurde in einem Tabellenkalkulationsprogramm die Eckdaten eines MIDI-files berechnet, die dann in ein solches mit einem Text-MIDI-Konverter umgewandelt wurden. In einem Standard-Sequenzer-Programm wurden die Tondauern auf eine *legato*-Artikulation bearbeitet.

Dieses MIDI-file steuerte nun den Bösendorfer Flügel an. Während der Resynthese wurde das rechte Pedal (und an einer Stelle das linke Pedal) vom Autor selbst gedrückt. Diese Resynthese wurde mit DAT aufgezeichnet. Die erstellten Audio-files können auf der beiliegenden CD (Track 15 und 30) oder auf der Projekthomepage (im MP3-Format, *http://www.kfs.oeaw.ac.at/goebl/*) angehört werden.

Daß ein Mittelungswert von 22 verschieden Pianisten in zeitlicher und dynamischer Domäne Sinn macht, kann man nicht nur über das Hören der Aufnahmen verifizieren, sondern wurde auch im vorhergehenden Kapitel nachgewiesen. Die Ähnlichkeiten der Pianisten untereinander in zeitlicher und dynamischer Hinsicht sind äußerst hoch und weisen keine gegenläufigen Tendenzen auf (was Auslöschung bedeuten könnte).

Ihre subjektive Bedeutung

Das Ergebnis klingt tatsächlich durchaus nicht artifiziell. Was die zeitliche Formung betrifft, so meine ich, daß diese wirklich besonders gelungen klingt, ja daß man sich vorstellen kann, daß sie von einem Großteil der Hörer als ästhetisch äußerst befriedigend beurteilt werden könnte.



Ballade: Dynamische Formung der Melodie (Takte 1–18), Pianist 14 (oben), Durchschnittsversion (mitte) und Pianist 20 (unten)

Doch in der dynamischen Domäne macht vor allem in der Ballade die etwas monoton anmutende Phrasierung Probleme. Da in den einzelnen Einspielungen die Zielpunkte der Melodie an sehr unterschiedlichen Orten liegen können, weist das Mittelungsergebnis beinahe bei jedem Taktschwerpunkt eine Betonung auf.

In der Abbildung auf Seite 72 wurden zwei Pianisten ausgewählt (Pianist 20, einer der schnellsten und Pianist 14, einer der langsamsten). Man kann gut erkennen, wie der Dynamikverlauf in der Durchschnittsversion an Umfang und Richtung verliert.

Um die ästhetische Bewertung gut zu prüfen, müßte ein Hörtest an möglichst vielen Personen durchgeführt werden, was aufgrund der langen Einspielungen und der vielen Pianisten ein wirklich schwieriges Unterfangen darstellt. Dies sei Gegenstand zukünftiger Forschung.

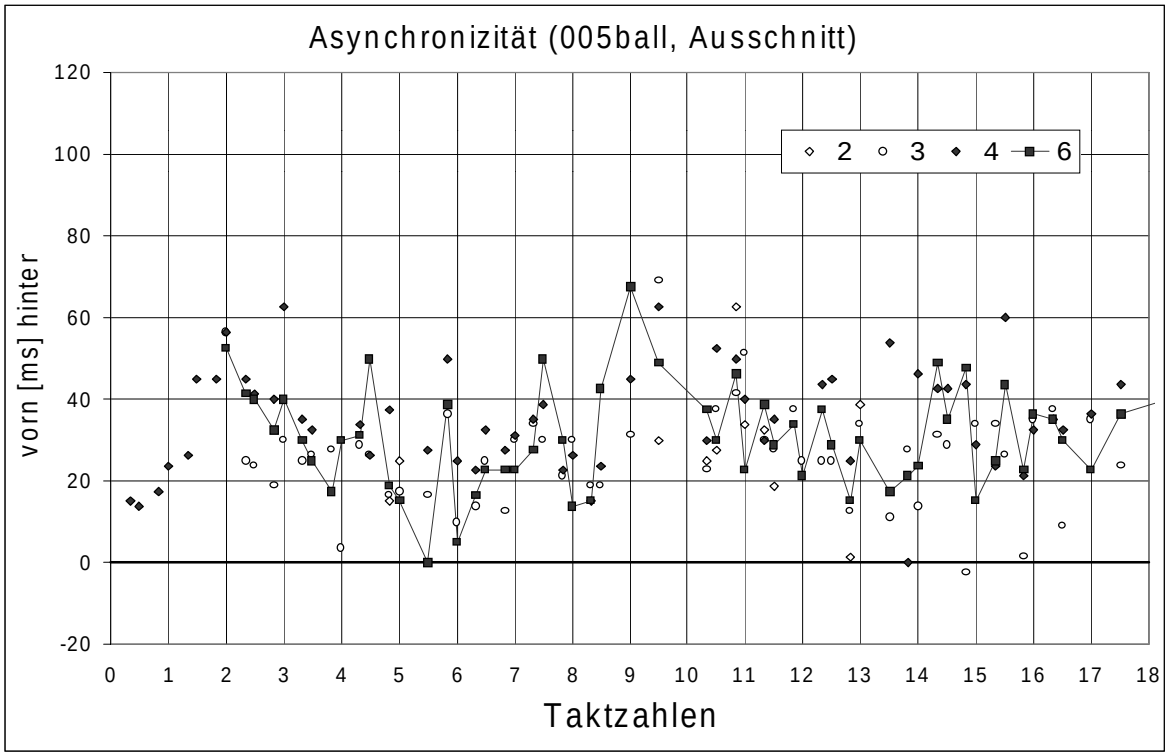
Akkord-Asynchronizität

Wie bereits in der Literaturübersicht dargestellt (vgl. Kapitel: *moderne Performance-Forschung*), werden in einer Partitur gleichzeitig notierte Akkorde von Pianisten selten wirklich gleichzeitig angeschlagen. Gründe dafür mögen nicht nur mangelnde Genauigkeit oder eine gewisse Bewegungsunschärfe sein, man kann als allgemeine Tendenz auch feststellen, daß die (meist lauter gespielte) Melodie auch konsequent früher auftritt, als die restlichen Akkordtöne (*melody lead*).

Ausmaß und Form der Akkord-Asynchronizität

Zunächst wird das Ausmaß der Akkord-Asynchronie, die Akkord-Asynchronizität detaillierter beschrieben.

In untenstehender Abbildung ist das Asynchronizitäts-Profil der ersten zwei 8-Takt-Phrasen der Ballade, gespielt von Pianist 5, abgebildet. Es wurden die Zeitdifferenzwerte der *note onsets* zwischen jedem Melodieton (Stimme 1) und seinen gleichzeitig notierten Akkordtönen aufgetragen. Die Oberstimme (1) ist in der Null-Linie repräsentiert, die Baßstimme (6) wurde mit Linienzeichnung herausgehoben. Ein positiver Differenzwert bedeutet, daß der jeweilige Akkordton später auftrat als die Melodie; ein negativer, daß er früher war. Die Stimmen, die von der rechten Hand gespielt werden (Stimme 2 und 3), sind mit hohlen Formen gekennzeichnet, die der linken mit geschwärzten (4 und 6)*).

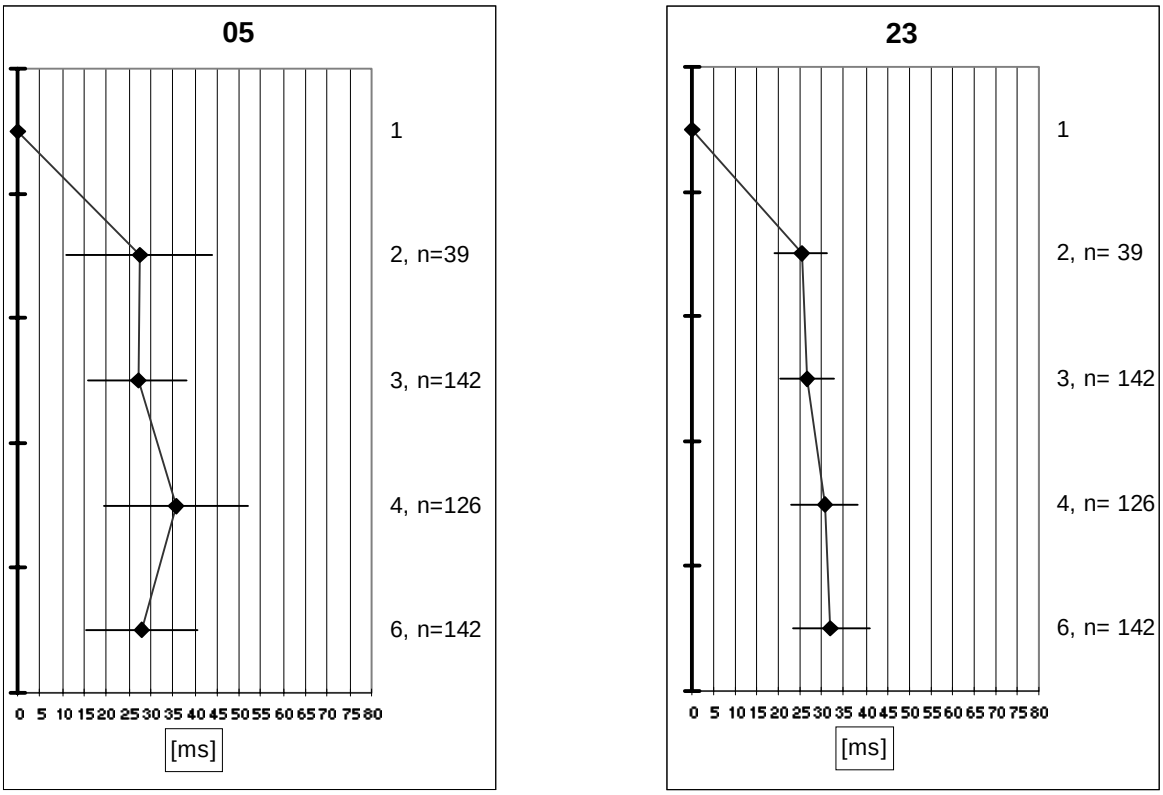


Ballade, Asynchronizitätsprofil der einzelnen Stimmen: Pianist 5, Takt 1 bis 18
(Stimme 2 und 3 der rechten Hand, 4 und 6 der linken)

*) In diesem Ausschnitt kommt die Stimme 5 nicht vor.

Sogar in den ersten zwei Takten, in denen die Oberstimme sich noch nicht als Melodie etablieren konnte, ist ein *melody lead* ausgeprägt. Ab Takt 3 wird er stärker, vor allem in Stimme 4 und 6. (Für weitere Asynchronizitäts-Profile siehe Band II, S. 150–157).

Um ein Bild von der durchschnittlichen Akkord-Asynchronizität zu bekommen, wird das Akkordprofil desselben Pianisten betrachtet. Die Abbildung zeigt die Durchschnittsabweichungen mit ihren Standardabweichungs-Balken, zusätzlich sind die Anzahl der in den Durchschnitt eingehenden Werte genannt. Fehlende Daten bei den Einspielungen wurden als fehlende Werte behandelt und nicht in die Berechnung einbezogen. Die durchschnittlichen Akkordprofile aller Pianisten für die Ballade und die Etüde sind im Band II, Anhang II, S. 158–181 zu finden.



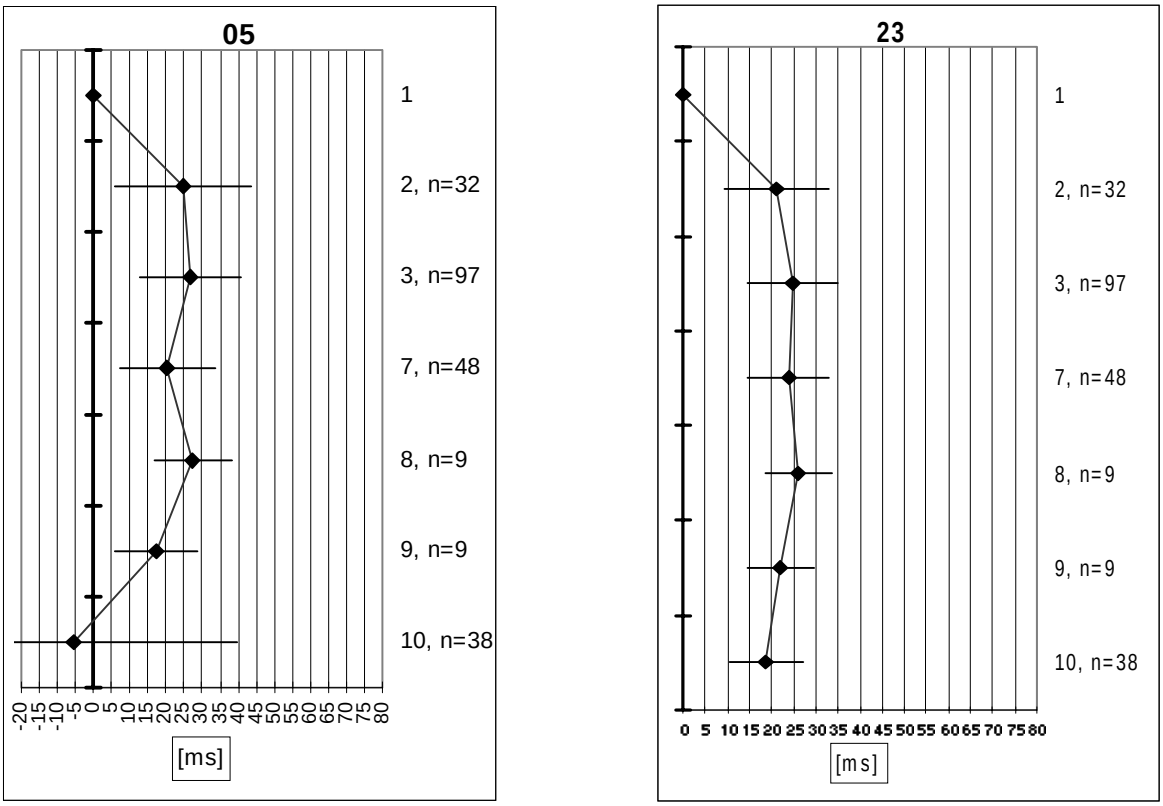
Ballade: durchschnittliche Akkordprofile: Pianist 5 und Durchschnittsversion (23), aufgetragen sind die durchschnittliche zeitliche Abweichung der einzelnen Stimmen von der Melodie und ihre Standardabweichungs-Balken.

In der obenstehenden Abbildung kann man gut erkennen, daß dieser Pianist (Pianist 5, links) die Melodie circa 25–30ms früher spielt als die restlichen Akkordtöne, wobei diese relativ gleichzeitig erklingen. Dies stimmt ziemlich genau überein mit dem Akkordprofil der Durchschnittsversion, wo sich der *melody lead* ebenfalls zwischen 25 und 30ms bewegt. Die Standardabweichungen sind in der Durchschnittsversion durch die Mittelungen wesentlich kleiner, auch das Asynchronizitäts-Profil wirken viel gezähmter als die individuellen Einspielungen (vgl. Band II; Anhang II: *Asynchronzität 023ball,* S.152.

Außergewöhnlich verhält sich Pianist 3, der die Melodie extrem viel früher nimmt. (vgl. Band II, Anhang II: *Asynchronzität 003ball* und sein durchschnittliches Akkordprofil). Sein *melody lead* bewegt sich zwischen 45 und 70ms! Bei diesem Pianisten wird die Verwischungsschwelle (bis 50ms, REUTER 1995, 33 und 222) deutlich überschritten und der *melody lead* wird klar hörbar (vgl. Kapitel: *Akkord-Asynchronizität* im theoretischen Teil dieser Arbeit). Interessant ist auch, daß die Reihenfolge der Akkordtöne von oben nach unten verläuft, quasi ein Arpeggio von oben.

Bei der **Etüde** können wir ebenfalls das Phänomen der verfrühten Melodie beobachten.

Bei den Pianisten 5, 8, 13, 14, 16 und 21 ist auffällig, daß die Baßstimme früher erscheint als die anderen Akkordtöne, sogar manchmal früher als die Melodie, wobei die Streuungen beson-



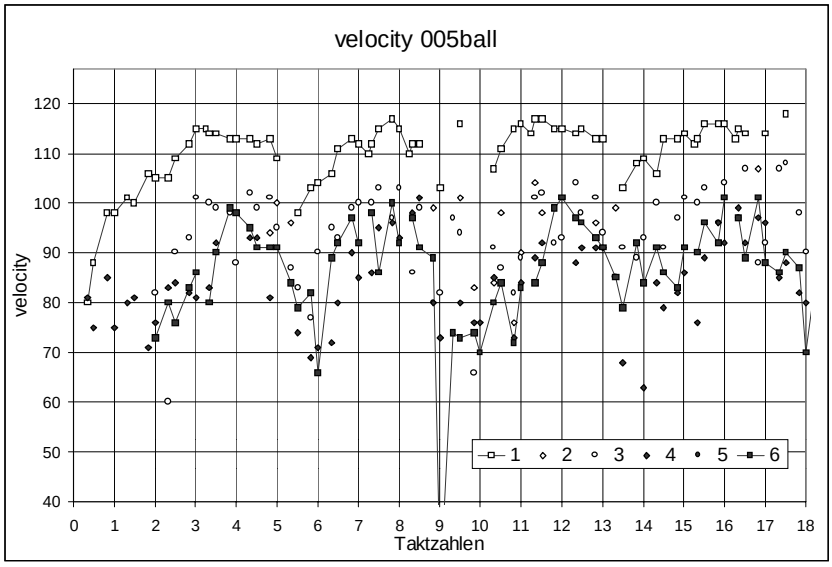
Etüde: durchschnittliche Akkordprofile: Pianist 5 und Durchschnittsversion (23), aufgetragen sind die durchschnittliche zeitliche Abweichung der einzelnen Stimmen von der Melodie und ihre Standardabweichungs-Balken.

ders im Baß sehr groß sind. Gerade bei Pianist 5 wird klar, daß der Baß nicht immer früher kommt, sondern besonders bei bestimmten Akkorden, meist wichtigere Melodietöne auf betonteren Taktteilen (vgl. Band II; Anhang II: *Asynchronzität 005ball*).

Auch bei der Etüde ist Pianist 3 die Ausnahme mit seinen 40–70ms *melody lead*, Pianist 7 spielt sowohl bei der Ballade, als auch bei der Etüde sehr kompakt, beinahe wie die Durchschnittsversion. Pianisten mit geringem *melody lead* sind Nr. 2, 7, 12, 16 (zwischen 15 und 25ms).

Dynamikdifferenz zwischen den Stimmen

Die Melodiestimme kommt nicht nur konsequent früher als die gleichzeitig notierten restlichen Akkordtöne, sondern sie wird auch lauter gespielt als die Begleitung. In der untenstehenden Graphik ist die Melodie (1) als lauteste Stimme gut zu erkennen, die Baßstimme (6) ist meist leiser als die restlichen Stimmen der rechten Hand (2, 3), aber lauter als die Mittelstimmen der linken Hand (4, 5).



Ballade Ausschnitt: Dynamikverlauf *(velocity)* der einzelnen Stimmen; Pianist 5

Um diese Dynamikdifferenz abzuschätzen, wurde der Mittelwert aller Dynamikdifferenzen (MIDI-velocity) aller Ereignisse gerechnet, weiters jeweils für die Stimmen der rechten Hand und die der linken.

Ballade: Dynamikdifferenz (MIDI-velocity) Mittelwerte pro Pianist*)
Alle Stimmen (n=450), rechte Hand (n=181), linke Hand (n=269)

Pianist	1	2	3	4	5	6	7
alle Stimmen	-21,66	-12,24	-24,63	-15,96	-19,95	-23,43	-15,34
rechte Hand	-14,43	-8,95	-20,4	-10,72	-16,56	-16,3	-11,58
linke Hand	-26,5	-14,45	-27,47	-19,49	-22,23	-28,23	-17,87

8	9	10	11	12	13	14	15
-16,59	-20,13	-20,28	-20,45	-15,83	-18,18	-20,06	-23,47
-8,872	-15,22	-14,18	-19,09	-8,49	-13,16	-17,29	-15,11
-21,73	-23,43	-24,38	-21,37	-20,71	-21,55	-21,93	-28,97

16	17	18	19	20	21	22	23
-15,35	-20,41	-19,27	-17,53	-23,73	-22,53	-21,19	-19,96
-9,27	-13,82	-15,52	-9,27	-20,97	-17,67	-14,93	-14,49
-19,44	-24,84	-21,79	-23,09	-25,59	-25,80	-25,4	-23,64

*) Das negative Vorzeichen der Dynamikdifferenzen ergibt sich aus der parallelen Berechnung der Dynamikwerte mit den Zeitwerten. Dort wird die Differenz von der Toneinsatzzeit des typischerweise späteren Begleitstimmentones mit dem meist früheren Melodieton berechnet ($t_2 - t_1$ = positiv), bei der Dynamik ergibt sich dann ein negativer Wert ($d_2 - d_1$ = negativ). Daraus ergeben sich im Folgenden auch die negativen Korrelationskoeffizienten (diese Vorzeichencharakteristik wie bei REPP 1996d).

Man sieht, daß die Melodie von der Begleitung ca. 20 velocity-Einheiten entfernt ist, von den Stimmen der eigenen Hand (=rechte Hand) weniger weit (15 vel.-Einheiten) als von der linken (24 vel.-Einheiten).

Etüde: Dynamikdifferenz (MIDI-velocity), Mittelwerte pro Pianist
Alle Stimmen (n=233), rechte Hand (n=129), linke Hand (n=104)

Pianist	1	2	3	4	5	6	7
alle Stimmen	-16,41	-10,27	-18,42	-12,88	-14,99	-16,48	-10,88
rechte Hand	-19,29	-13,19	-22,71	-13,81	-18,18	-20,94	-11,95
linke Hand	-12,82	-6,635	-13,12	-11,72	-11,03	-10,95	-9,558

8	9	10	11	12	13	14	15
-17,55	-18,41	-17,64	-16,49	-11,34	-15,98	-18,07	-15,33
-16,73	-18,56	-20,93	-18,64	-13,18	-16,89	-18,96	-19,06
-18,58	-18,23	-13,57	-13,83	-9,058	-14,86	-16,96	-10,70

16	17	18	19	20	21	22	23
-12,26	-16,11	-17,34	-10,03	-19,43	-22,43	-14,72	-15
-14,54	-16,74	-18,71	-12,3	-21,12	-25,32	-16,43	-17,16
-9,43	-15,33	-15,64	-7,2	-17,35	-18,84	-12,59	-12,32

Bei der Etüde ist die linke Hand dynamisch lauter als die Begleitstimmen in der rechten Hand.

Ballade: Überbetonung verschiedener Stimmen

Um zu überprüfen, wie sich der *melody lead* verändert, wenn die Melodie übertrieben stark gespielt wird, oder wenn überhaupt eine andere Stimme betont wird, wurde von allen Pianisten der Beginn der Ballade (die ersten 9 Takte) zweimal eingespielt: einmal mit überbetonter Melodie, einmal mit starker Stimme 3 (unterste Stimme des oberen Systems).

Diese kurzen Einspielungen waren teilweise mit einer größeren Anzahl von fehlenden bzw. falschen Noten versehen als die Einspielungen der größeren Einheiten. Die Aufgabe wurde von den Pianisten unterschiedlich intensiv und unterschiedlich gerne gelöst; manche fanden diese Überbetonungen grausam unmusikalisch, manche hatten gewisse Schwierigkeiten mit einer raschen Umsetzung der Fragestellung. Die beobachteten Phänomen weisen daher etwas größere Unschärfen auf als die ganzen Einspielungen.

a) Überbetonung der Melodie

Zunächst wurden die ersten 9 Takte mit extrem überbetonter Melodie aufgezeichnet (*00balkza*). Wie erwartet, erhöhte sich die Dynamikdifferenz zwischen Melodie und Begleitstimmen auf durchschnittlich 28,8 Velocity-Einheiten (Durchschnittsversion 23), bzw. 21,7 und 32,3 für die rechte bzw. linke Hand. Parallel dazu erhöhte sich auch der *melody lead* auf durchschnittlich ca.

41ms. Pianist Nummer 3 kommt sogar auf 33 Velocity-Differenz und 86,5ms *melody lead*!

Ausschnitt Ballade: Dynamikdifferenz (MIDI-velocity) melodiebetonte Version, Mittelwerte pro Pianist; alle Stimmen (n=87), rechte Hand (n=29), linke Hand (n=58)

Pianisten	1	2	3	4	5	6	7
alle Stimmen	-28,81	-28,41	-32,93	-28,72	-18,98	-32,64	-28,42
rechte Hand	-22,14	-18,96	-30,41	-18,67	-15,24	-20,59	-22,61
linke Hand	-32,21	-33,64	-34,14	-32,95	-20,85	-39	-31,28

8	9	10	11	12	13	14	15
-26,92	-28,99	-34,01	-28,29	-26,85	-25,42	-28,72	-27,58
-15,59	-22,26	-24,58	-16,34	-16,57	-17,56	-24,37	-19,9
-32,79	-32,29	-37,98	-34,48	-31,9	-29,35	-30,74	-31,41

16	17	18	19	20	21	22	23
-29,29	-29,21	-34,89	-30,41	-30,65	-31,21	-31,01	-28,75
-15,39	-16,82	-20,79	-17,41	-26,39	-23,31	-20,48	-21,69
-36,12	-36,14	-43,3	-37,29	-32,91	-35,3	-36,28	-32,28

b) Überbetonung einer Nebenstimme (Stimme 3)

In der zweiten Variante (*00balkzb*) war die Überbetonung der untersten Stimme des oberen Systems gefragt (Stimme 3). Auch hier ist das Ergebnis erwartungsgemäß: die diesmal betonten Nebenstimmen der rechten Hand (die Stimme 2 kommt in diesem Beispiel nur 2mal vor!) waren ca. 7,4 Velocity-Einheiten *über* der Melodie (positive Werte bedeuten, daß die unteren Stimmen lauter waren als die Melodie), die Stimmen der linken Hand mit 18 Velocity-Einheiten (also insgesamt 20 V.-E. von der betonten Stimme) entfernt. Der *melody lead* veränderte sich ebenfalls parallel dazu, d.h. die Stimme 3 führte in den meisten Fällen (vgl. Band II, Anhang II: *durchschnittliche Akkordprofile, melodiebetonte/unterstimmenbetonte Versionen,* S. 164–175).

Auf der nächsten Seite sind als Beispiel die Ergebnisse für die Durchschnittsversion abgebildet: Dynamikverläufe der einzelnen Stimmen (melodiebetonte und unterstimmenbetonte Version), darunter: drei Profile der Durchschnittsversion (gesamte Einspielung, melodiebetonte und unterstimmenbetonte Version).

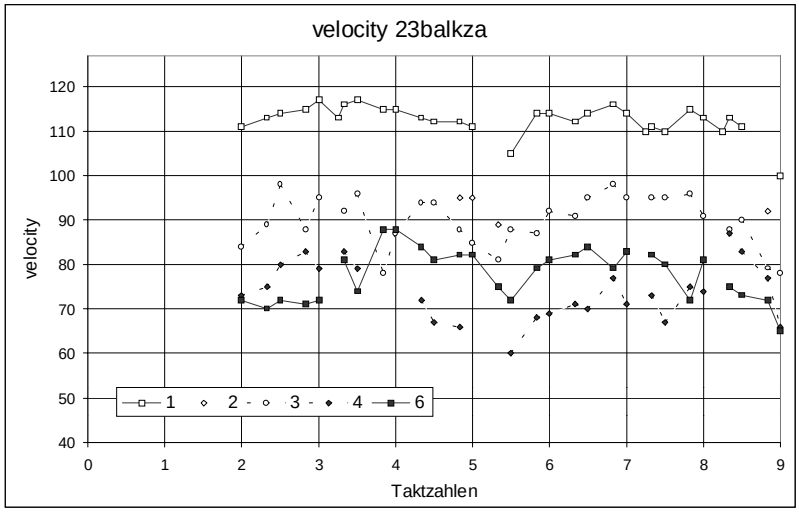
Als Ergebnis dieser beiden Einspielungen kann man festhalten, daß ein Pianist eine zu betonende Stimme nicht nur durch erhöhte Dynamik hervorhebt, sondern er spielt sie konsequent früher, auch wenn die betonte Stimme nicht die Oberstimme ist. Je lauter sie gespielt wird, desto größer auch der *melody lead*. Will ein Pianist eine Mittelstimme hervorheben, tritt dieser Effekt ebenfalls auf. Inwieweit diese Gegebenheit auf die dynamikabhängige Zeitcharakteristik der Klaviermechanik (*velocity artifact*) zurückzuführen ist, soll im folgenden Kapitel geklärt werden.

Vergleich: melodiebetonte Version – unterstimmenbetonte Version

Ausschnitt Ballade:
Dynamikverläufe
melodiebetonte Version

rechte Hand
(1) . Melodie
(2) . Mezzo
(3) . Alt

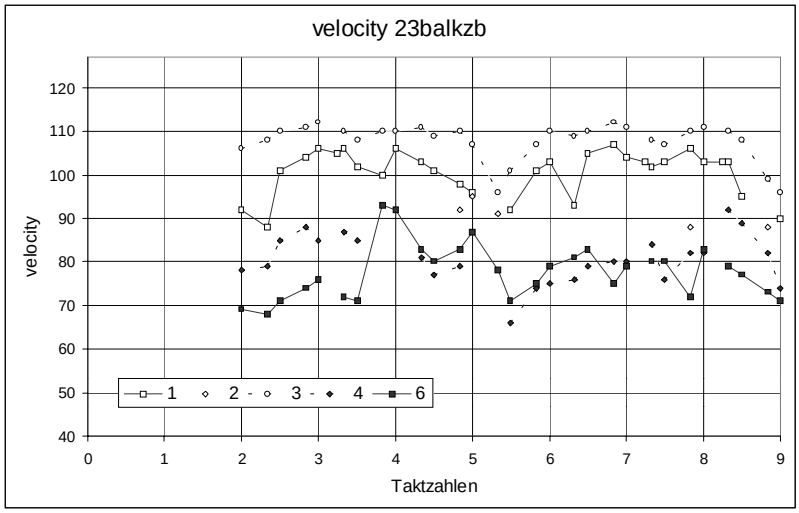
linke Hand
(4) . Tenor
(6) . Baß



Ausschnitt Ballade:
Dynamikverläufe
unterstimmenbetonte Version

rechte Hand
(1) . Melodie
(2) . Mezzo
(3) . Alt

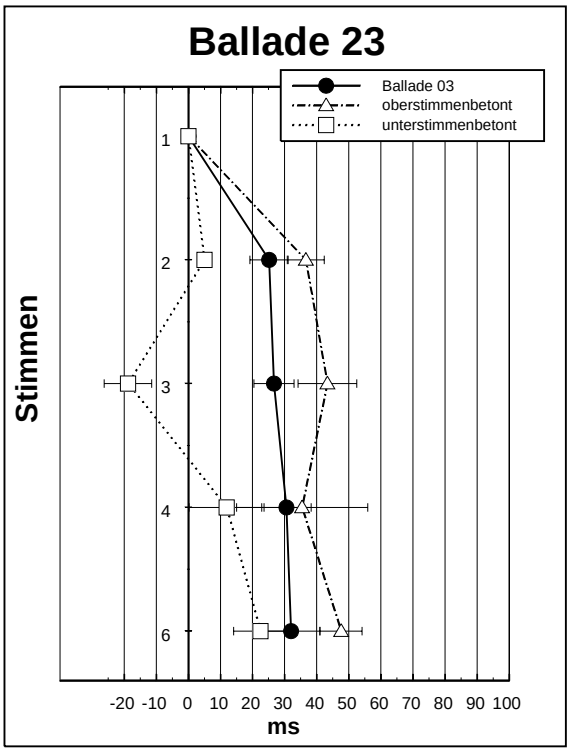
linke Hand
(4) . Tenor
(6) . Baß



Durchschnittsversion,
durchschnittliche Akkordprofile:
Ballade (*23ball*, mittlerer Graph),
melodiebetonte Version (*23balkza*, rechter Graph) und
unterstimmenbetonte Version (*23balkzb*, linker Graph)

rechte Hand
(1) . Melodie
(2) . Mezzo
(3) . Alt

linke Hand
(4) . Tenor
(6) . Baß



Velocity Artifact

Einleitung

Wie im Kapitel: *Zeitverhalten der Klaviermechanik* bereits beschrieben, benötigt der Hammer für den Weg von seiner Ruhelage bis zur Saite (ca. 5cm) unterschiedlich viel Zeit, je nachdem, wie rasch er beschleunigt wird. Wenn also zwei Töne, die absolut gleichzeitig, aber unterschiedlich stark auf der Klaviatur angeschlagen werden, erklingt der stärker angeschlagene auch früher. Dieser Effekt wird *velocity artifact* genannt (Repp 1996d), wobei Repp durch eine Messung an einem Yamaha-Disklavier Mark II Stutzflügel eine quadratische Funktion mit ca. 110ms Anschlagszeitdifferenz zwischen den Dynamikextremen erhält (Repp 1996d, 3920).

Dieser Effekt sei mit einer stark vereinfachten Rechnung charakterisiert. Die Beschleunigung des Hammers wird als konstant angenommen. So ist

$$s(t) = 1/2 \, . \, a_0 \, t^2 ,$$

wobei s(t) der in der Zeit (t) zurückgelegte Weg ist a_0 die (als konstant angenommene) Beschleunigung ($a_0 = v / t$). Mit den Velocity-Werten (IHV-Werten) des Bösendorfer-Flügels ist die Hammerendgeschwindigkeit exakt gemessen, es ergibt sich also:

$$s(t) = 1/2 \, . \, (v/t) \, t^2 = 1/2 \, . \, v \, t,$$

oder setzt man für s(t) die 5cm ein:

$$t = 0.1 \, / \, v. \text{ (t in Sekunden, v in m/s)}$$

Damit könnte man grob die Zeit approximieren, die der Hammer von seiner Ruhelage bis zur Saite bei konstanter Beschleunigung benötigen würde. Das würde bei den üblichen Extremwerten der Einspielungen von Ballade und Etüde (Velocity von 40 bis 123, bzw. IHV 423 bis 48, bzw. v = 0,3 bis 2,6 m/s) eine Zeit von 333 bis 38,5ms bedeuten. Es hätte also ein *pp*-Ton eine Verspätung von bis zu fast 300ms zu einem gleichzeitig angeschlagenen *ff*-Ton!

Diese rohe Schätzung ist besonders bei langsam angeschlagenen Tönen falsch, da dort sicherlich nicht von einer konstanten Beschleunigung ausgegangen werden kann. Daher wird die zeitliche Differenz um einiges geringer ausfallen, als hier berechnet.

Auswertung

Im vorangegangenen Kapitel wurde ein allgemeiner Zusammenhang festgestellt, daß je größer der durchschnittliche Abstand Melodie–Begleitung, desto größer auch der durchschnittliche *melody lead*. Im Folgenden wird nun untersucht, ob diese Tendenz in den einzelnen Akkordtönen ebenfalls zu finden ist. Eine lineare Abhängigkeit zwischen der Zeitdifferenz der einzelnen Akkordtöne und ihrer Dynamikdifferenz würde bedeuten, daß der Spieler den *melody lead* nicht bewußt steuern kann, sondern daß dieser Effekt von der Anschlagsstärke des entsprechenden Melodietones abhängig ist (obwohl dieser Effekt nicht linear verläuft, messe ich der Einfachkeit halber lineare Zusammenhänge. Ein daraus resultierender Fehler wird nicht sehr groß ausfallen).

Wie Bruno Repp nachweisen konnte, sind zeitliche Asynchronizitäten zwischen den Händen von den Spielern bewußt gestaltbar. Manche ziehen als Eigen- (bzw. Un-)Art die linke Hand der rechten vor (*melody lag*, REPP 1996d). Daher wird es notwendig sein, die gegenseitige Abhängigkeit von Zeit- und Dynamikdifferenz für die Begleitstimmen der einzelnen Hände getrennt zu berechnen. Es ist zu erwarten, daß die Korrelationen innerhalb der Hand (nachdem die Melodie in der rechten Hand ist, innerhalb der rechten Hand) größer sind als die Korrelationen für beide Hände.

Auf den zwei Folgeseiten sind die Korrelationen zwischen den Zeit- (in Millisekunden) und Dynamikdifferenzen (MIDI-velocity) von der Melodie und all ihren Begleitstimmen abgebildet (und nach Händen getrennt). Darunter sind Skattergramme dieser Zusammenhänge (nach Händen getrennt) auszugsweise von 5 Pianisten und der Durchschnittsversion angeordnet (mit Regressionsgeraden für die rechte und linke Hand getrennt). Die Fenstergröße ist genormt, daher fallen einige Meßpunkte (besonders bei Pianist 3 und 20) aus der Graphik heraus.

Bei der **Ballade** sind die Korrelationen zwischen den Zeit- und Dynamikdifferenzen von der Melodie und ihren Begleitstimmen alle hochsignifikant (auf einem Niveau von $p < 0{,}01$), die höchste Übereinstimmung über beide Hände weist Pianist 17 auf, gefolgt von der Durchschnittsversion (23), Pianist 10 und 8. Den geringsten Zusammenhang hat Pianist 16, 20 und 22. Die Differenzen zu den Begleitstimmen der rechten Hand weisen im allgemeinen höhere Korrelationen als die Differenzen zu den Begleitstimmen der linken Hand bzw. beider Hände auf (Ausnahmen: Pianist 2, 3, 11, 13, 18 und 22).

In den Skattergrammen darunter sind die einzelnen Hände mit hohlen Kreisen bzw. Dreiecken bildlich getrennt; man sieht, daß die rechte Hand meist etwas kleinere Dynamik- wie Zeitdifferenzen erzeugt. Die beiden getrennt gerechneten Regressiongeraden verlaufen relativ parallel, bei Pianist 17 ist der Zusammenhang besonders gut sichtbar, die Durchschnittsversion benötigt ihrer geringen Streuung wegen nur einen kleinen Teil des Fensters.

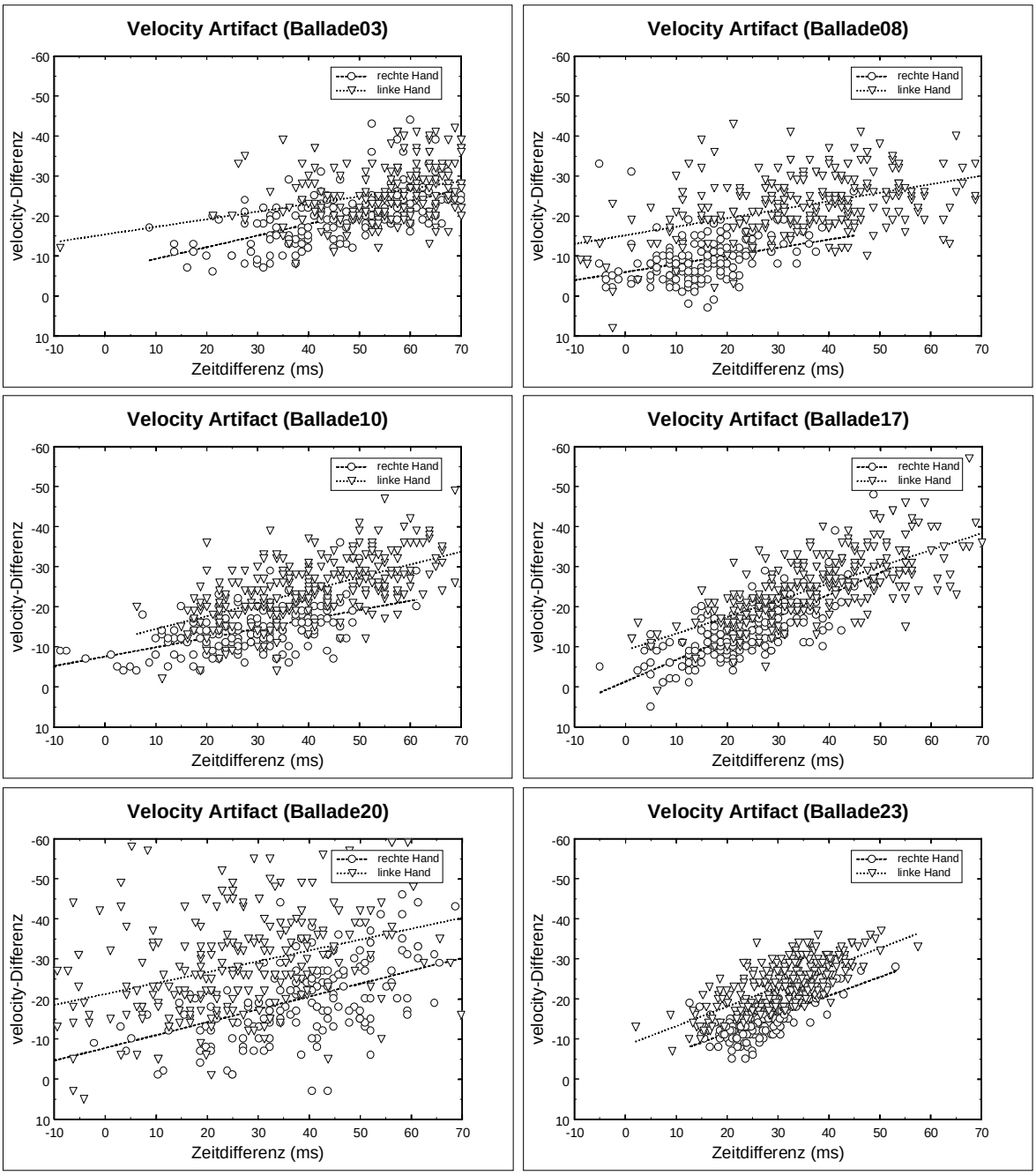
Für die Ballade scheint der *velocity artifact* die Ursache des *melody lead*s zu sein, was die hohen Korrelationen beweisen, die auch sehr oft für die rechte Hand höher sind.

Ballade: Korrelationen zwischen Zeitdifferenz Melodie–Begleitstimmen und deren Dynamikdifferenz, einzelne Pianisten 1 bis 22 und Durchschnittsversion (23).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
***r*, beide Hände**	-0,42	-0,62	-0,59	-0,61	-0,48	-0,57	-0,5	-0,66	-0,48	-0,68
fehlende Werte (von n=450)	*5*	*24*	*3*	*13*	*11*	*15*	*15*	*31*	*28*	*5*
***r*, rechte Hand** (n=181)	-0,7	-0,56	-0,51	-0,66	-0,54	-0,61	-0,67	-0,56	-0,74	-0,63
***r*, linke Hand** (n=269)	-0,53	-0,7	-0,54	-0,37	-0,42	-0,46	-0,51	-0,42	-0,35	-0,58
(alle hochsignifikant, p < 0,01)										

11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
-0,56	-0,47	-0,36	-0,6	-0,6	-0,21	-0,77	-0,58	-0,5	-0,3	-0,66	-0,32	-0,71
6	*9*	*4*	*25*	*17*	*15*	*6*	*29*	*5*	*37*	*4*	*10*	*0*
-0,42	-0,64	-0,25	-0,63	-0,54	-0,59	-0,72	-0,54	-0,56	-0,65	-0,74	-0,41	-0,74
-0,63	-0,34	-0,36	-0,57	-0,5	-0,34	-0,69	-0,57	-0,56	-0,4	-0,68	-0,45	-0,67

Ballade: ausgewählte Skatterplots (Daten wie oben)



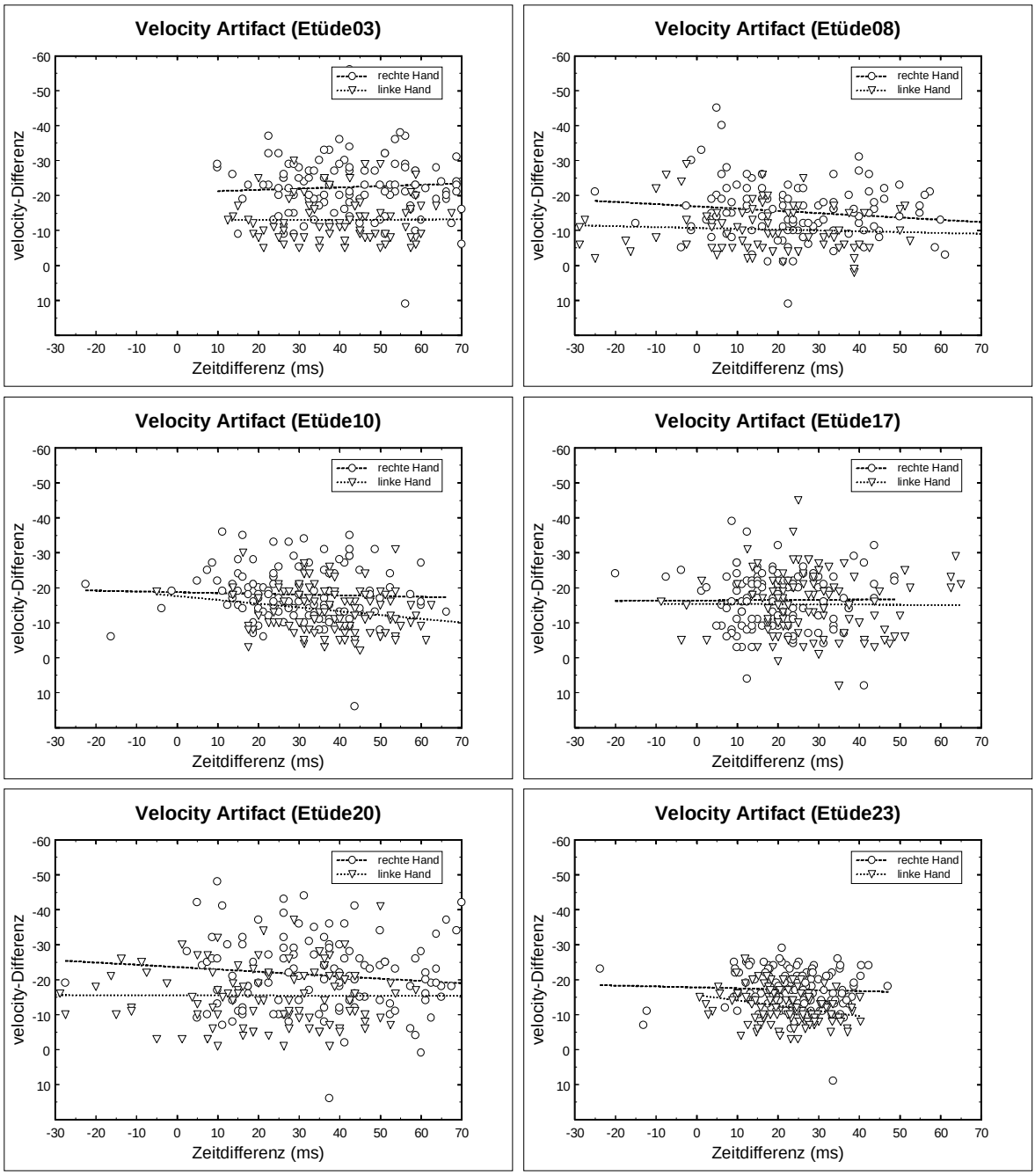
Etüde: Korrelationen zwischen Anschlagszeitdifferenz Melodie–Begleitstimmen und deren Dynamikdifferenz, einzelne Pianisten 1 bis 22 und Durchschnittsversion (23).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
***r*, beide Hände**	0,04	0,1	-0,11	-0,04	0,05	0,08	-0,14	0,02	0,02	0,24**
fehlende Werte (von n=233)	*6*	*14*	*1*	*5*	*10*	*12*	*10*	*38*	*20*	*10*
***r*, rechte Hand** (n=129)	0,26*	0,13	-0,09	-0,19	0,18	-0,05	-0,05	0,03	0,07	0,14
***r*, linke Hand** (n=104)	0,11	0,12	0,15	0,12	-0,05	0,24	-0,18	0,1	-0,06	0,28

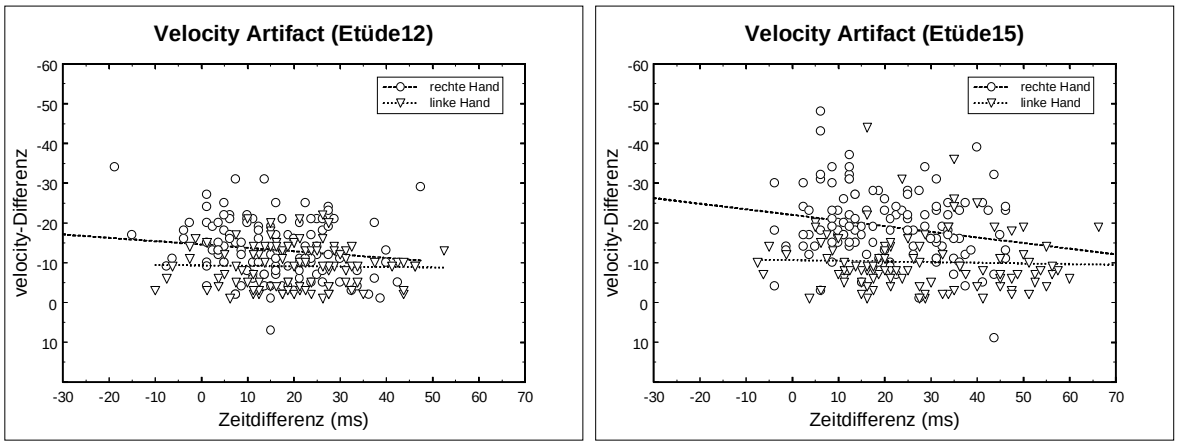
*(* p < 0,05; ** p < 0,01)*

11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
0,15	0,23**	0,06	-0,04	0,2*	-0,1	-0,03	-0,04	0,03	0,01	0,06	-0,02	0,15
5	*6*	*10*	*17*	*3*	*12*	*12*	*8*	*13*	*6*	*11*	*13*	*2*
0,08	0,16	0,07	-0,12	0,26*	0,18	0,01	0,07	-0,02	0,05	-0,01	0,09	0,13
-0,02	0,19	0,05	0,17	0,07	-0,14	-0,05	-0,32*	0,11	0,28	0,05	-0,09	0,32*

Etüde: ausgewählte Skatterplots (Daten wie oben)



Ein völlig anderes Bild ergibt sich aus den Daten der **Etüde**. Die Korrelationen sind gering, die wenigsten weisen Signifikanz auf, und falls sie Signifikanz aufweisen, verläuft der Zusammenhang genau in die entgegengesetzte Richtung (Pianist 10, 12 und 15). Die Auswahl an Skattergrammen der vorhergegangenen Seite wird um die von Pianist 12 und 15 ergänzt, die beide einen positiven (hochsignifikanten) Zusammenhang aufweisen, d.h. bei ihnen ist der *melody lead* umso größer, je geringer die Dynamikdifferenz zwischen den Stimmen ausfällt.



Aus welchem Grund das Phänomen des *velocity artifact* einmal so deutlich und klar sichtbar (Ballade) ist und ein anderes Mal beinahe überhaupt nicht bzw. sich sogar teilweise gegenläufig verhält, obwohl das Ausmaß des *melody lead* bei der Ballade nur um weniges größer als bei der Etüde ist, kann nur in einer spekulativen Hypothese zu erklären versucht werden.

Erklärungshypothese

Ein spieltechnisches Moment wird für die Erklärungshypothese herangezogen, die zu beweisen aus den vorhandenen Daten leider nicht möglich ist.

Das Phänomen des *velocity artifact*s kann nur dann in den gemessenen Daten aufscheinen, wenn der Pianist den Anschlagsvorgang auf der Klaviatur wirklich gleichzeitig begonnen hat. Dies ist aus spieltechnischer Sicht eher nur dann der Fall, wenn die Anschlagsbewegung nicht aus individuell steuerbaren Elementen kommt (Finger), sondern aus kollektiv steuerbaren Hebeln (Handgelenk, Unterarm, ganzer Arm). Es wird konstatiert, daß der *velocity artifact* nur bei Anschlägen, die nicht aus den Fingern gemacht werden, sondern aus höherliegenden Gelenken, in voller Sichtbarkeit auftritt.

Die beiden Stücke unterscheiden sich in spieltechnischer Hinsicht sehr: während die Repetitionen von Akkorden der Ballade ein Spiel aus dem Handgelenk oder Unterarm erfordern (und die *legato*-Vorschrift meistens nur mit dem Pedal realisiert wird), sind die zwei Stimmen in der rechten Hand der Etüde *legato* aus den Fingern zu spielen und der Finger-

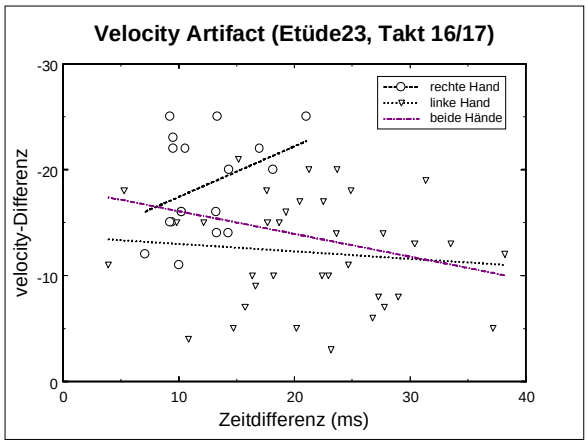
satz so zu wählen, daß möglichst wenige Fingerrepetitionen auftreten. Aus diesem Grunde wird angenommen, daß der *velocity artifact* in der Etüde kaum in Erscheinung tritt.

Die einzige Ausnahme in der Etüde stellen die Akkorde in Takt 16/17 (1. Schlag) dar. Dort ist ein *legato*-Spiel aus den Fingern nicht mehr möglich, es muß ein höherliegender Hebel (Unterarm, ganzer Arm) eingesetzt werden.

Es wurde untersucht, ob ein *velocity artifact* in diesen neun Akkorden verstärkt auftritt. Die Korrelationen zwischen Dynamikdifferenz und Anschlagszeitdifferenz bei den einzelnen Pianisten sind alle nicht signifikant und äußerst gering. Sie liefern daher den Gegenbeweis nicht. Einzig die Durchschnittsversion bietet interessante Werte:

Etüde Takt 16/17 (Anfang): Korrelationen zwischen Anschlagszeitdifferenz und Dynamikdifferenz der einzelnen Stimmen, Durchschnittsversion (23).

alle (n_{max} = 56)	0,3*	*p = 0,027*
rechte Hand (n_{max} = 18)	-0,38	*p = 0,124*
linke Hand (n_{max} = 36)	0,11	*p = 0,526*



Man sieht, daß, obwohl die Gesamtkorrelation positiv ist (siehe Regressionsgerade), ist die Korrelation der rechten Hand negativ (obwohl weit nicht signifikat, wegen der wenigen Werte, n = 18). In den Ergebnissen für die einzelnen Pianisten kann man diesen Effekt kaum und nur selten herauslesen, dieser Beweis hält nur wenig Evidenz für meine Erklärungshypothese.

Mit dem Phänomen *velocity artifact* muß jeder Pianist zwangsläufig rechnen, und er muß damit umgehen lernen, da auf verschiedenen Klavieren dieses Phänomen in unterschiedlicher Ausprägung auftritt. Doch in welcher Weise und wie schnell Pianisten darauf reagieren, in welcher Weise er ausgeglichen oder für perzeptuelle Zwecke noch verstärkt wird, muß für zukünftige Forschung noch offen bleiben.

7. Zusammenfassung

Hintergrund

Seit dem Beginn dieses Jahrhunderts gibt es verschiedene Forschungsansätze, die Parameter musikalischer (Klavier-)Interpretation (Tempo, Rhythmus, Dynamik, Artikulation und Pedalisierung) zu messen, zu visualisieren und zu interpretieren.

Dabei wurden unterschiedliche Phänomene untersucht: (*expressive*) *timing* auf einer detaillierten Ebene (Rhythmus), *timing* auf größeren Ebenen (Phrasierung), spieltechnische Phänomene (*melody lead*) oder perzeptuelle Besonderheiten (ästhetische Beurteilung einer numerisch ermittelten Durchschnittsinterpretation, vgl. REPP 1997b).

Bei der Datengewinnung gibt es zwei grundsätzliche Vorgehensweisen: zum einen das Herausmessen von *onset*-Zeitwerten aus bestehenden Einspielungen (CD, Schallplatte), zum anderen das Messen der Zeit- und Dynamikwerte direkt beim Einspielvorgang (Notenrollen der Reproduktionsklaviere, MIDI-Klaviere, Bösendorfer SE290, etc.), wodurch genauere und verläßlichere Daten gewonnen werden.

Ziele

In dieser Arbeit wurde versucht, mit statistischen Methoden Unterschiede und Gemeinsamkeiten in Tempo, Rhythmus und Dynamik zwischen den einzelnen Pianisten festzustellen und graphisch darzustellen, wobei auf Präzision bei der Datengewinnung und eine größere Anzahl an Versuchspersonen als in den meisten Studien Wert gelegt wurde.

Drei Hypothesen wurden aufgestellt: **(1)** Tempoverläufe der einzelnen Pianisten stimmen mit der musikalischen Struktur der eingespielten Stücke überein (TODD 1985, 1992). **(2)** Bei der zeitlichen Ausführung des Siciliano-Rhythmus (♪. 𝅘𝅥𝅯♪) wird, wie in Einspielungen der Mozartsonate KV 332 (GABRIELSSON 1983, 1987, PALMER 1989 und BEHNE & WETEKAM 1994) die Sechzehntelnote im Vergleich zur punktierten Achtelnote wesentlich kürzer und die Achtelnote länger als ihr Nominalwert gespielt. **(3)** In der Partitur gleichzeitig notierte Noten (Akkorde) werden von den Spielenden nur selten wirklich gleichzeitig angeschlagen. Besonders die betonte Melodie kommt konsequent früher, je lauter sie ist (*melody lead*). Diese spieltechnische Eigenart ist ausschließlich zurückzuführen auf die Zeitcharakteristik der Klaviermechanik (*velocity artifact*).

Mit der Wiedergabe einer aus den verschiedenen Einspielungen numerisch ermittelten Durschnittsversion durch den „Bösendorfer Computerflügel“ sollte eine den Originaleinspielungen gleichwertige weitere Einspielung kreiert werden, die auf ihren ästhetischen Gehalt überprüft werden kann.

Methoden

22 Wiener Pianisten spielten zwei Chopin Exzerpte (Ballade Nr. 2, Etüde op 10/3) auf dem „Bösendorfer Computerflügel“ ein. Die vom Flügel gewonnenen, korregierten und gelabelten MIDI-Daten wurden auf ihre mehrschichtige Tempostruktur und ihre Akkord-Asynchronizität hin untersucht. Aus den 22 Einspielungen wurde eine Durchschnittsversion errechnet und durch den Flügel eingespielt (vgl. Audio-CD Beilage).

Die zeitliche Genauigkeit der Flügeldaten liegt bei 1,25ms, die dynamische entspricht nach dem Datenexport der Genauigkeit von MIDI.

Ergebnisse

In mehrschichtigen Tempogrammen konnte der Zusammenhang zwischen musikalischer Struktur und größeren Temposchwankungen gezeigt werden (Hypothese 1 bestätigt) und die typische rhythmische Formung des Siciliano nachgewiesen werden (Hypothese 2 bestätigt).

Die einzelnen Einspielungen zeigten große Ähnlichkeiten in ihrer Tempo- und Dynamikgestaltung (Hauptkomponentenanalysen lieferten jeweils nur einen hochladenden Faktor), daher war die Synthetisierung einer Durchschnittsversion legitimiert, die auf dem Flügel abgespielt und aufgenommen wurde (vgl. beiliegende Audio-CD).

In der Frage der Akkord-Asynchronizität wurde festgestellt, daß die Melodistimme im Vergleich zu den anderen Stimmen um durchschnittlich 30 ms früher angeschlagen wird. Für die Ballade konnte gezeigt werden, daß der *melody lead* vor allem von der dynamikabhängigen Zeitcharakteristik der Klaviermechanik (*velocity artifact*) abhängt (besonders hohe und hochsignifikante Korrelationen zwischen Dynamik- und Zeitdifferenz von Melodie und Begleitung). Bei der Etüde konnte, obwohl der *melody lead* gleichermaßen vorhanden, überhaupt kein Zusammenhang zwischen Dynamik- und Zeitdifferenz von Melodie und Begleitung beobachtet werden. Als Begründung wurden spieltechnische Gegebenheiten angenommen (Arm- versus Fingerspiel).

Conclusio

Die Ergebnisse replizieren weitgehend Ergebnisse der Literatur. Die Datenpräzision dieser Arbeit war durch die Verwendung des Bösendorfer Flügels sehr hoch, die Anzahl der einspielenden Pianisten machte die untersuchte Versuchsgruppe repräsentativ. In der Frage der ästhetischen Beurteilung der Durchschnittsversionen müssen in weiterer Forschung noch genaue perzeptuelle Ergebnisse erziehlt werden. Auch bei dem Phänomen *melody lead* konnten offene Fragen nur teilweise beantwortet werden, weitere experimentelle Studien sind notwendig.

ANHANG I

Literatur

ASKENFELT, Anders & JANSSON, Eric V. (1990): From touch to string vibrations. I: Timing in grand piano action, *Journal of the Acoustical Society of America* **88**, 52–63

ASKENFELT, Anders & JANSSON, Eric V. (1991): From touch to string vibrations. II: The motion of the key and hammer, *Journal of the Acoustical Society of America* **90**, 2383–2393

ASKENFELT, Anders & JANSSON, Eric V. (1992): From touch to string vibrations. III: String motion and spectra, *Journal of the Acoustical Society of America*, **93**, 2181–8196

ASKENFELT, Anders (1994): Observations on the transient components of the piano tone, in: FRIBERG, Anders et al: *SMAC 93, Proceedings of the Stockholm Music Acoustics Conference*, Publications issued by the Royal Swedish Academy of Music **79**, 297–301

ASKENFELT, Anders (Ed) (1990): *Five lectures on the acoustics of the piano*, Stockholm, (Publications issued by the Royal Swedisch Academy of Music **64**)

BACHMANN, W., BÜCKER, H. & KOHL, B. (1989): Feinstrukturanalyse des Einschwingens eines Pianoklanges. *Acustica* **68**, 123–132

BATEL, Günter (1986): *Handbuch der Tasteninstrumente und ihrer Musik*, Braunschweig: Arbeitskreis für Klavierkunde

BECK, K (1993): *Rhythmus und Timing*, in: BRUHN, Herbert; OERTER, Rolf und RÖSING, Helmut (Hg.): *Musikpsychologie. Ein Handbuch*, Reinbek bei Hamburg: Rowohlt, 449–466

BECKING, G. (1928): *Der musikalische Rhythmus als Erkenntnisquelle*, Augsburg: B. Filser

BEHNE, Klaus-Ernst & WETEKAM, Burkhard (1994): *Musikpsychologische Interpretationsforschung: Individualität und Intention*, in: BEHNE, Kl.-E., KLEINEN, G. & MOTTE-HABER, H.: *Jahrbuch für Musikpsychologie* **10**, Wilhelmshaven: Noetzel, 24–32

BELT, Philip R. et al. (Ed.)(1988): *Piano*, New York: Norton, The Grove Musical Instruments Series

BENGTSSON, Ingomar; GABRIELSSON, Alf (1983): *Analysis and synthesis of musical rhythm*, in: SUNDBERG, Johan, ed. (1983): *Studies of Music Performance*, papers given at a seminar organized by the Music Committee of the Royal Swedisch Academy of Music, Stockholm 1983, (Publications issued by the Royal Swedisch Academy of Music **39**), 27–60

BORTZ, Jürgen (1993): *Statistik: für Sozialwissenschaftler*, 4. Aufl. Berlin etc.: Springer

BOUTILLION, X. (1988): Model for piano hammers: Experimental determination and digital simulation, *Journal of the Acoustical Society of America* **83**, 746–754

BOWERS, Q. David (1972): *Encyclopedia of Automatic Musical Instruments*, New York: Vestal Press (13. Auflage 1997), 253–342

BREGMAN, A. (1990): *Auditory Scene Analysis*, Cambridge, Mass.: MIT-Press

BRINSMEAD, Edgar (1879): *The History of the Pianoforte* (reissued by Singing Tree Press, Detroit, orig pub. By Novello, Ewer& Co., London 1879).

BRUHN, Herbert; OERTER, Rolf und RÖSING, Helmut (Hg.) (1985): *Musikpsychologie. Ein Handbuch in Schlüsselbegriffen*, München: Urban&Schwarzberg

BRUHN, Herbert; OERTER, Rolf und RÖSING, Helmut (Hg.) (1993): *Musikpsychologie. Ein Handbuch*, Reinbek bei Hamburg: Rowohlt

CLARKE, E. F. (1982): Timing in the performance of Erik satie's ‚Vexations', *Acta Psychologica* **50**, 1–19

CLARKE, E. F. (1985): Some aspects of rhythm and expression in performances of Erik Satie's ‚Gnossienne No. 5', *Music Perception* **2**, 299–328

CLARKE, E. F. (1987): *Categorial Rhythm Perception: An ecological perspective*, in: A. GABRIELSSON ed.: *Action and Perception in Rhythm and Music*, papers given at a symposium in the Third International Conference on Event Perception and Action, Stockholm 1987, (Publications issued by the Royal SWEDISCH ACADEMY OF MUSIC **55**), 19–33

CLARKE, E. F. (1988): *Generative principles in music performance*, in: SLOBODA, John A. ed. (1988): *Gernerative processes in music. The psychology of performance, improvisation, and composition*, Oxford: Clarendon Press, 1–26

CLARKE, E. F. (1989): The perception of expressive timing in music, *Psychological Research*, **51**, 2–9

CLYNES, Manfred (1983): *Expressive microstructure in music, linked to living qualities*; in: SUNDBERG, Johan, ed. (1983): *Studies of Music Performance*, papers given at a seminar organized by the Music Committee of the Royal Swedisch Academy of Music, Stockholm 1983, (Publications issued by the Royal Swedisch Academy of Music **39**), 76–181

CLYNES, Manfred (1986): Generative principles of musical thought: Integration of microstructure with structure, *Communication and Cognition AI*, 1986, **3**, 185–223

CLYNES, Manfred (1987): *What can a musician learn about music performance from newly discovered microstructure principles (PM or PAS)?*, in: GABRIELSSON, Alf, ed. (1987): *Action and Perception in Rhythm and Music*, papers given at a symposium in the Third International Conference on Event Perception and Action, Stockholm 1987, (Publications issued by the Royal Swedisch Academy of Music **55**), 201–233

CLYNES, Manfred (1990): Some guidelines for the synthesis and testing of pulse microstructure in relation to musical meaning, *Music Perception* **7**, 403–422

CLYNES, Manfred (1995): MicroStructural Musical Linguistics: Composer's pulses are liked best by the best musicians, *Cognition, International Journal of Cognitive Science* **55**, 269–310

CLYNES, Manfred (1996): *Auf den Spuren der Emotionen*, (Mit einem Geleitwort von Yehudi Menuhin), Freiburg im Breisgau: Verl. für Angewandte Kinesiologie; Übersetzung von: *Sentics. The Touch of the Emotions*, New York: Doubleday & Co. 1977/89

CLYNES, Manfred (Ed.)(1981): *Music, Mind and Brain. The Neuropsychology of Music*, New York, London: Plenum Press

COENEN, Alcedo & SCHÄFER, Sabine (1992): Computer-Controlled Player Pianos, *Computer Music Journal* **16**/4, 104–111

DANUSER, Hermann (Hg.) (1992): *Musikalische Intepretation*, Laaber: Laaber Verl., Neues Handbuch der Musikwissenschaft **11**

DEUTSCH, Diana ed. (1982): *Psychology of Music*, New York: Academic Press

DEUTSCH, Diana ed. (1999): *Psychology of Music*, second edition, New York: Academic Press

Encyclopedia of the Piano (1996), ed. by Robert PALMIERI, New York, London

EPSTEIN, D. (1995): *Shaping time: Music, the brain and performance*, New York: Schirmer

FELDMAN, J. EPSTEIN, D. & RICHARDS, W. (1992): Force dynamics of tempo change in music, *Music Perception* **10**, 185–204

FLETCHER, N. H. & ROSSING, T. D. (1991): *The Physics of Musical Sounds*, New York: Springer, 305–344

FRAISSE, Paul (1987): *A historical Approach to Rhythm as Perception*, in: Gabrielsson, Alf, ed. (1987): *Action and Perception in Rhythm and Music*, papers given at a symposium in the Third International Conference on Event Perception and Action, Stockholm 1987, (Publications issued by the Royal SWEDISCH ACADEMY OF MUSIC **55**), 7–18

FRIBERG A., FRYDÈN L. & SUNDBERG J. (1997). *A rule for automatic musical punctuation of melodies*. In: Proc of 3rd Triennial ESCOM Conference, Uppsala, Sweden; 719–723

GABRIELSSON, Alf & JUSLIN, Patrik N. (1996): Emotional Expression in Music Performance: Between the Performer's Intention and the Listener's Experience, *Psychology of Music* **24**, 69–91

GABRIELSSON, Alf (1974): Performance of rhythmic patterns. *Scandinavian Journal of Psychology,* **15**, 63–72

GABRIELSSON, Alf (1985): Interplay between analysis and synthesis in studies of music performance and music experience, *Music Perception* **3**, 59–86

GABRIELSSON, Alf (1999): *Music Performance*, in: DEUTSCH, Diana (ed.): *Psychology of Music*, second edition, New York: Academic Press, 501–602

GABRIELSSON, Alf, (1987): *Once again: The Theme from Mozart's Piano Sonata in A Major (K.331)*; in: GABRIELSSON, Alf, ed. (1987): *Action and Perception in Rhythm and Music*, papers given at a symposium in the Third International Conference on Event Perception and Action, Stockholm 1987, (Publications issued by the Royal Swedisch Academy of Music **55**), 81–103

GABRIELSSON, Alf, BENGTSSON, Ingmar & GABRIELSSON, Barbro (1983): *Performance of musical rhythm in 3/4 and 6/8 meter*, Scandinavian Journal of Psychology **24**, 193–213

GÁL, Bernhard (1997): *Analyse der Mikrostruktur von Walking Bass Lines*, Dipl. Univ. Wien

GÁT, József (1956): *Die Technik des Klavierspiels*, Budapest: Corvina

GOEBL, Werner (1999): *Analysis of Piano Performance: Towards a Common Performance Standard?*, Conference Booklet of Society of Music Perception and Cognition Conference 1999, Evanston

GOOD, Edwin M. (1982): *Giraffes, Black Dragons, and other Pianos. A technical History from Cristofori to the Modern Concert Grand*, Stanford: Stanford Univ. Press.

GORDON, John W. (1987): The perceptual attack time of musical tones, *Journal of the Acoustical Society of America* **82**, 88–105

GOTTSCHEWSKI, H. (1993): *Theorie einer Analyse der musikalischen Zeitgestaltung*. Diss, Uni Freiburg

GOTTSCHEWSKI, H. (1996): *Die Interpretation als Kunstwerk. Musikalische Zeitgestaltung und ihre Analyse am Beispiel von Welte-Mignon-Klavieraufnahmen aus dem Jahre 1905*, Laaber: Laaber

HAGMANN, Peter (1984): *Das Welte-Mignon-Klavier, die Welte-Mignon-Orgel und die Anfänge der Reproduktion von Musik*, Frankfurt am Main: Peter Lang, Europäische Hochschulschriften XXXVI, **10**

HARDING, Rosamund E. M. (1933): *The Pianoforte—Ist History traced to the Great Exhibition of 1851* (Da Capo, New York 1973)

HARTMANN, A. (1932): *Untersuchungen über das metrische Verhalten in musikalischen Interpretaionsvarianten*, Archiv für die gesamte Psychologie, **84**, 103–192

HELLBRÜCK, Jürgen (1993): *Hören: Physiologie, Psychologie und Pathologie*, Göttingen etc.: Verlag für Psychologie

HENDERSON, M. T. (1937): *Rhythmic Organisation in Artistic Piano Performance*, in: Carl E. SEASHORE (ed.): *Objective Analysis of Musical Performance*, Iowa: University Press, Studies in the Psychology of Music **IV**, 281–305

HENDERSON, M. T., TIFFIN, J. & SEASHORE, C. E. (1937): *The Iowa Piano Camera and Ist Use*, in: Carl E. SEASHORE (ed.): *Objective Analysis of Musical Performance*, Iowa: University Press, Studies in the Psychology of Music **IV**, 252–262

HENKEL, Hubert (1996): Klavier, in: *Musik in Geschichte und Gegenwart*, 2. Auflage, Sachteil Bd. 5, Kassel etc: Bärenreiter, Sp. 283–313

HICKMANN, C. (1929): A spark chronograph developed for measuring intensity of percussion instrument tones, *Journal of the Acoustical Society of America* **1**, 138–146

HILDEBRANDT, Dieter (1985): *Pianoforte oder Der Roman der Klaviers im 19. Jahrhundert*, München: Hanser

HOCKER, Jürgen (1996): Mechanische Musikinstrumente, in: *Musik in Geschichte und Gegenwart*, 2. Auflage, Sachteil Bd. 5, Kassel etc: Bärenreiter, Sp. 1710–1742

JESSER, Barbara (1991): *Interaktive Melodieanalyse. Methodik und Anwendung computergestützter Analyseverfahren in Musikethnologie und Volksliedforschung: typologische Untersuchung der Balladensammlung des DVA* (Deutsches Volksliedarchiv), Bern, Frankfurt/M., New York etc.: Lang

JUNKER, Gerhard (1995): *MIDI-Synthese in der kognitiven Musikologie: eine exemplarische Studie des psychoakustischen Phänomens der subjektiven Tondauer*, Univ. Wien: Dipl.

KLÖPPEL, Renate (1997): *Die Kunst des Musizierens: von den physiologischen und psychologischen Grundlagen zur Praxis*, Mainz: Schott (2. erg. Aufl.) 1997; (Studienbuch Musik)

KOORNHOF, G. W. & VAN DER WALT, A. J. (1994): *The influence of touch on piano sound*, in: FRIBERG, Anders et al: *SMAC 93, Proceedings of the Stockholm Music Acoustics Conference*, Publications issued by the Royal Swedish Academy of Music **79**, 318–324

KOPIEZ, Reinhard & AUHAGEN, Reinhard (Eds.) (1998): *Controlling creative processes in music*, Frankfurt am Main etc: Lang; Schriften zur Musikpsychologie und Musikästhetik, Bd. 12

KOPIEZ, Reinhard (1994): *Interpretationsforschung mit Hilfe des Computerflügels*, in: BEHNE, Kl.-E., KLEINEN, G. & MOTTE-HABER, H.: *Jahrbuch für Musikpsychologie* **10**, Wilhelmshaven: Noetzel, 7–23

KOWAR, Helmut (1996): *Mechanische Musik, eine Bibliographie*, Wien: Vom Pasqualatihaus

LANGNER, Jörg & KOPIEZ, Reinhard (1996): *Entwurf einer neuen Methode der Performanceanalyse auf Grundlage einer Theorie oszillierender Systeme (TOS)*, in: BEHNE, Kl.-E., KLEINEN, G. & MOTTE-HABER, H.: *Jahrbuch für Musikpsychologie* **12**, Wilhelmshaven: Noetzel, 9–27

LANGNER, Jörg, KOPIEZ, Reinhard & FEITEN, Bernhard (1998): *Perception and Representation of Multiple Tempo Hierarchies in Musical Performance and Composition: Perspectives from a New Theoreticel Approach*, in: KOPIEZ, Reinhard & AUHAGEN, Reinhard (Eds.) (1998): *Controlling creative processes in music*, Frankfurt am Main etc: Lang; Schriften zur Musikpsychologie und Musikästhetik, Bd. 12, 13–35

LECHLEITNER, Gerda (1994): *"Aus der Sicht des Interpreten"*, in: HILSCHER, Elisabeth Th. und ANTONICEK, Theophil: *Vergleichend-systematische Musikwissenschaft. Beiträge zu Methode und Problematik der systematischen, ethnologischen und historischen Musikwissenschaft. Franz Födermayr zum 60. Geburtstag*, Tutzing: Schneider, 173–186

LERDAHL, Fred & JACKENDOFF, Ray (1983): *A Generative Theory of Tonal Music*, Cambridge (Mass.), London: MIT-Press

MARIA, Marco (in Druck befindlich): *Unschärfetests mit hybriden Tasteninstrumenten*, Klangart 1999, Universität Osnabrück, Konferenzbuch

MARIAN, Reinhard (1989): *Untersuchungen zur Unterschiedsschwelle im Rhythmushören*, Dipl. Univ. Wien

MAUSER, Siegfried (1992): *Klavier- und Kammermusik*, in: DANUSER, Hermann (Hg.) (1992): *Musikalische Intepretation*, Laaber: Laaber Verl., Neues Handbuch der Musikwissenschaft **11,** 360–400

MCADAMS, S. & BREGMAN, A. (1979): Hearing musical streams, *Computer Music Journal*, **3**, 26–44

MOOG, R. A. & RHEA, T. L. (1990): Evolution of the keyboard interface: The Bösendorfer 290 SE recording piano and the Moog multiply-touch-sensitive keyboards, *Computer Music Journal* **14**, 52–60

MOTTE-HABER, Helga de la (1968): *Ein Beitrag zur Klassifikation musikalischer Rhythmen*, Köln: Arno Volk

ORD-HUME, Arthur W. J. G. (1973): *Clockwork Music: An Illustrated History of Mechanical Musical Instruments from the Musical Box to the Pianola, from Automaton Lady Virginal Players to Orchestrion*, New York

PALMER, C. & BROWN, J. C. (1991): Investigations in the amplitude of sounded piano tones, *Journal of the Acoustical Society of America* **90**, 60–66.

PALMER, C. (1989): Mapping musical thought to musical performance, *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* **15**, 331–346

PALMER, C. (1996a): Anatomy of a performance: Sources of musical expression, *Music Perception* **13**, 433–453

PALMER, C. (1996b): On the assignment of structure in music performance, *Music Perception* **14**, 23–56

PARNCUTT, Richard (1989): *Harmony: a psychoacoustical approach*, Berlin [u.a.]: Springer; (Springer series in information sciences; **19**)

RAHMATIAN, Andreas (1996): *Psychoakustische Analysen von Klavierklängen*, Dipl. Wien

RASCH, R. A. (1978): The perception of simultaneous notes such as in polyphonic music. *Acustica* **40**, 21–33

RASCH, R. A. (1979): Synchronization in performed ensemble music. *Acustica* **43**, 121–131

REPP, B. H. (1989a). Expressive microstructure in music: A preliminary perceptual assessment of four composers' pulses". *Music Perception* **6**, 243–274

REPP, B. H. (1989b): Further Tests on Composer's Pulses in Computer Performance of Piano Music from the Classical Period, *Journal of the Acoustical Society of America* **85**, 66–

REPP, B. H. (1990a): Composers' pulses: Science or art? *Music Perception* **7**, 423–434

REPP, B. H. (1990b): Further perceptual evaluations of pulse microstructure in computer performances of classical piano music. *Music Perception* **8**, 1–33

REPP, B. H. (1990c): Patterns of expressive timing in performances of a Beethoven minuet by nineteen famous pianists. *Journal of the Acoustical Society of America* **88**, 622–641

REPP, B. H. (1992a): Diversity and commonality in music performance: An analysis of timing microstructure in Schumann's "Träumerei". *Journal of the Acoustical Society of America* **92**, 2546–2568

REPP, B. H. (1992b): A constraint on the expressive timing of a melodic gesture: Evidence from performance and aesthetic judgment. *Music Perception* **10**, 221–242

REPP, B. H. (1993): Some empirical observations on sound level properties of recorded piano tones. *Journal of the Acoustical Society of America* **93**, 1136–1144

REPP, B. H. (1994a): Relational invariance of expressive microstructure across global tempo changes in music performance: An exploratory study. *Psychological Research* **56**, 269–284

REPP, B. H. (1994b): On determining the basic tempo of an expressive music performance, *Psychology of Music*, **22**, 157–167

REPP, B. H. (1995a): Acoustics, perception, and production of legato articulation on a digital piano. *Journal of the Acoustical Society of America* **97**, 3862–3874

REPP, B. H. (1995b): Expressive timing in Schumann's "Träumerei": An analysis of performances by graduate student pianists. *Journal of the Acoustical Society of America* **98**, 2413–2427

REPP, B. H. (1996a): The dynamics of expressive piano performance: Schumann's "Träumerei" revisited. *Journal of the Acoustical Society of America* **100**, 641–650

REPP, B. H. (1996b): Review of Shaping time: Music, the brain, and performance by David Epstein. *Music Perception* **13**, 591–604

REPP, B. H. (1996c): Pedal timing and tempo in expressive piano performance: A preliminary investigation. *Psychology of Music* **24**, 199–221

REPP, B. H. (1996d): Patterns of note onset asynchronies in expressive piano performance. *Journal of the Acoustical Society of America* **100**, 3917–3932.

REPP, B. H. (1996e): The art of inaccuracy: Why pianists' errors are difficult to hear. *Music Perception* **14**, 161–184

REPP, B. H. (1997a): Acoustics, perception, and production of legato articulation on a computer-controlled grand piano. *Journal of the Acoustical Society of America* **102**, 1878–1890

REPP, B. H. (1997b): The aesthetic quality of a quantitatively average music performance: Two preliminary experiments. *Music Perception* **14**, 419–444

REPP, B. H. (1997c): Expressive timing in a Debussy Prelude: A comparison of student and expert pianists. *Musicae Scientiae* **1**, 257–268

REPP, B. H. (1998a): A microcosm of musical expression. I. Quantitative analysis of pianists' timing in the initial measures of Chopin's Etude in E major, *Journal of the Acoustical Society of America* **104**, 1085–1100

REPP, B. H. (1998b): Variations on a theme by Chopin: Relations between perception and production of deviations fromisochrony in music. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* **24**/3, 791–811

REPP, B. H. (1999 in press): A microcosm of musical expression. II. Quantitative analysis of pianist' dynamics in the initial measures of Chopin's Etude in E-major, *Journal of the Acoustical Society of America*

REUTER, Christoph (1995): *Der Einschwingvorgang nichtperkussiver Musikinstrumente*, Frankfurt/M: Lang

SCHÜTTE, H. (1978): Subjektiv gleichmäßiger Rhythmus: Ein Beitrag zur zeitlichen Wahrnehmung von Schallereignissen, *Acustica* **41** (3), 197–206

SEASHORE, Carl E. (1937): *Objective Analysis of Musical Performance*, Iowa: University Press, Studies in the Psychology of Music vol. IV

SEIFERT, Uwe: *Systematische Musiktheorie und Kognitionswissenschaft. Zur Grundlegung der kognitiven Musikwissenschaft*, Bonn 1993 (*Orpheus-Schriftenreihe zu Grundfragen der Musik*, hg. v. Martin VOGEL, Bd. 69)

SHAFFER, L. H. & TODD, N. P. (1987): *The interpretative component in musical performance*, in: GABRIELSSON, Alf, ed.: *Action and Perception in Rhythm and Music*, papers given at a symposium in the Third International Conference on Event Perception and Action, Stockholm 1987, (Publications issued by the Royal SWEDISCH ACADEMY OF MUSIC NO. 55), 139–152

SHAFFER, L. H. (1981): Performances of Chopin, Bach and Bartòk: Studies in motor programming, *Cognitive Psychology*, **13**, 326–376

SHAFFER, L. H., CLARKE, E. F. & TODD, N. P. (1985): Metre and Rhythm in Pianoplaying, *Cognition* **20**/1985, 61–77

SKINNER, Laila & SEASHORE, Carl. E. (1937): *A Musical Pattern Score of the First Movement of the Beethoven Sonata, Opus 27, No. 2*, in: Carl E. SEASHORE (ed.): *Objective Analysis of Musical Performance*, Iowa: University Press, Studies in the Psychology of Music **IV**, 263–279

SLOBODA, John A. (1983): The communication of musical metre in piano performance, *Quarterly Journal of Experimental Psychology – Human Experimental Psychology* **35**, 377–396

SLOBODA, John A. (1985): Expressive skill in two pianists: Metrical communication in real and simulated performances. *Special issue: Skill, Canadian Journal of Psychology* **39**, 273–293

SLOBODA, John A. ed. (1988): *Gernerative processes in music. The psychology of performance, improvisation, and composition,* Oxford: Clarendon Press, 1988

SUNDBERG, J. & VERILLO (1980): On the anatomy of the ritard: A study of timing in music, *Journal of the Acoustical Society of America* **68** (3), 772–779.

SUNDBERG, J., FRYDÈN, L. & ASKENFELT, A. (1983*): What tells you the player is musical? An analysis-by-synthesis study for music performance*, In: Sundberg, Johan, ed. (1983): *Studies of Music Performance*, papers given at a seminar organized by the Music Committee of the Royal Swedisch Academy of Music, Stockholm 1983, (Publications issued by the Royal Swedisch Academy of Music **39**), 61–75

SUNDBERG, Johan (1988): *Computer synthesis of music performance*; in: SLOBODA, John (Ed.): *Gernerative processes in music. The psychologie of performance, improvisation, and composition*, Oxford: Clarendon Press

SUNDBERG, Johan (1991): *The Science of Musical Sounds*, San Diego: Academic Press

SUNDBERG, Johan, ed. (1983): *Studies of Music Performance*, papers given at a seminar organized by the Music Committee of the Royal Swedisch Academy of Music, Stockholm 1983, (Publications issued by the Royal Swedisch Academy of Music **39**)

THOMPSON, W. F. (1989): Composer-specific aspects of musical performance: An evaluation of Clynes's theory of pulse for performances of Mozart and Beethoven, *Music Perception* **7**, 15–42

THOMPSON, W. F., SUNDBERG, J., FRIBERG, A. & FRYDÈN, L. (1989): The use of rules in the performance of melodies, *Psychology of Music* **17**, 63–82

TODD, N. A. (1985): *A model of expressive timing in tonal music. Music Perception* **3**, 33–57

TODD, N. P. McA. (1992): The dynamics of dynamics: A model of musical expression, *Journal of the Acoustical Society of America* **91**, 326–376

TODD, N. P. McA. (1994): The auditory "primal sketch" – A multiscale model of rhythmic grouping, *Journal of New Music Research* **23**, 25–70

UCHDORF, Hans-Jürgen (1985): *Klavier. Praktisches Handbuch für Klavierbauer und Klavierspieler*, Wilhelmshaven: Heinrichshofen

VERNON, Leroy Ninde (1937): *Synchronization of Chords in Artistic Piano Music*, in: Carl E. SEASHORE (ed.): *Objective Analysis of Musical Performance*, Iowa: University Press, Studies in the Psychology of Music **IV**, 306–345

VORBERG, D. & HAMBUCH, R. (1984): Timing of two-handed rhythmic performance, *Annals of the New York Academy Sciences* **423**, 390–406

VOS, Joos & RASCH, Rudolf (1981): *The perceptual onset of musical tones*, in: CLYNES, Manfred (Ed.): *Music, Mind and Brain. The Neuropsychology of Music*, New York, London: Plenum Press, 299–319

WATKINS, J. G. (1942): *Objective measurement of instrumental performance*, New York: Teachers College

WEINREICH, G. (1977): Coupled piano strings, *Journal of the Acoustical Society of America* **62**, 1474–1490

WIDMER, Gerhard (1996): Learning Expressive Performance: The Structure-Level Approach, *Journal of New Music Research* **25**, 179–205

ZERA, Jan & GREEN, David M. (1992): Detecting temporal onset and offset asynchrony in multicomponent complexes, *Journal of the Acoustical Society of America* **93**/2, 1038–1052

ZWICKER, E. (1970): Subjektive und objektive Dauer von Schallimpulsen und Schallpausen, *Acustica* **22**, 214–218

ZWICKER, E. & FASTL, H. (1990): *Psychoacoustics. Facts and Models*, Berlin etc.: Springer

Instruktion der Pianisten

Werner GOEBL, Bonygasse 29/2, A-1120 Wien,
Tel./FAX 01.810.27.65, Tel. 0699.100.332.95, e-Mail:
a9072079@unet.univie.ac.at

Performance-Vergleich mit dem Bösendorfer-Computerflügel.

Liebe Kolleginnen, liebe Kollegen!

Bei dieser Studie, die ich im Rahmen meiner Diplomarbeit durchführe, geht es mir vor allem darum festzustellen, wie Pianisten typischerweise Partituren realisieren. Sie werden nie ein metronisch exaktes Tempo spielen, sondern werden es der musikalischen Faktur des Stückes anpassen. Gewisse rhythmische Pattern sind oft in typischer Weise geformt (dh. vom mathematischen bzw. notierten Verhältnis abweichend), wie z.B: der Siciliano-Rhythmus. Die klangliche Schichtung der einzelnen Stimmen wird zeigen, daß die Oberstimme, wenn sie prominent dargestellt wird, nicht nur etwas lauter ist als der Rest, sondern auch konsequent früher kommt! All diese Phänomene sollen visualisiert werden, untereinander verglichen werden etc. Wie klingt beispielsweise die Durchschnittsversion aller Pianisten, oder die Durchschnittsversion der häufigsten Einspielungstypen?

Der Bösendorfer-Computerflügel ist ein ganz normal spielbarer Bösendorfer Imperial, der alles, was man auf ihm spielt, in gleicher Weise selbst wiederspielen kann. Dazu sind in seiner Mechanik optische Sensoren so positioniert, daß sie messen, wann welche Taste wie lange gedrückt ist (on/off) und wie schnell der jeweilige Hammer kurz vor dem Saitenkontakt war (hammer velocity). Zusätzlich mißt er noch die genauen Stellungen der drei Pedale. Diese Daten werden in einem kleinen PC gespeichert. Der Flügel besitzt unter der Klaviatur Magnetspulen (Solenoide), die jede Taste genauso wieder betätigen können, wie es der Pianist zuvor getan hat (auch die Stellungen der drei Pedale sind so reproduzierbar), und kann damit alles wiedergeben, was zuvor auf ihm eingespielt wurde. Die dabei gespeicherte mechanische Information repräsentiert präzise das, was der Pianist wirklich gemacht hat, und ist somit besonders gut geeignet, statistisch ausgewertet zu werden.

Das Experiment:

Es sind vier Stücke einzuspielen, die allesamt wohl bekannt und relativ einfach zu realisieren sind. Wichtig ist, daß es sich hierbei um kein Wettspiel und keine CD-Produktion handelt. Die vier Stücke sollten charakterlich eindeutig und schlicht dargestellt werden, so, als ob man als Lehrer seinem Schüler diese Stücke inhaltlich vorstellt und sie vorspielt.

Alle Einspielungen werden anonymisiert und vertraulich behandelt; sie dienen ausschließlich meinen wissenschaftlichen Arbeiten.

Die Stücke:

Fr. CHOPIN: Etüde op. 10/3 Thema: *Lento ma non troppo* (21 Takte, bis zur Durchführung)

Fr. SCHUBERT: aus *Deutsche Tänze und Ecossaisen*, D.783 (op.33), Nr.15 f-Moll–As-Dur (mit Wiederholung)

W. A. MOZART: Sonate KV. 331, A-Dur: Thema: *Andante grazioso* (6/8) (18 Takte)

Fr. CHOPIN: Ballade Nr. 2 F-Dur, *Andantino* (Takte 1–45, ohne das *Presto con fuoco*)

Die Stücke sind in Kopie beigelegt. Als Einspielungszeit nehme ich ca. eine Stunde an, der Bösendorfer SE 290 steht in der Bösendorfer-Klavierfabrik in der Graf-Starhemberggasse 14, im 4. Bezirk. Bei der Einspielung kann man sich die einzelnen Aufnahmen anhören und (nach Maßgabe der Zeit) auch wiederholen.

Bitte schaut die Stücke kurz durch, um Euch technisch wie musikalisch ein rundes Bild zu machen.

Im Voraus bedanke ich mich herzlich für Eure Unterstützung. Über die einzelnen Ergebnisse werde ich laufend allen Interessierten berichten. Ich bin für Diskussion und Anregungen sehr dankbar.

Euer

Werner Goebl

Fragebogenformular

Fragebogen, bitte ausfüllen

Geburtsjahr: 19....
Erster Klavierunterricht ab dem Alter von: ..... Jahren**.**
Klavierstudium (Konservatorium, Hochschule) seit ..... Jahren.
Falls das Studium bereits beendet: Dauer des Studiums: ..... Jahre.
Konzerttätigkeit:
☐ Wenig (Klassenabende) – ☐ mittel (bis 10 öff. Konzerte jährlich) – ☐ viel
Zufriedenheit mit der Einspielsituation:
War der Flügel gut spielbar, gut gestimmt/reguliert.
☐ Ja – ☐ Nein. Kommentar:
Waren die Stücke für eine schnelle Einspielung
☐ zu schwer – ☐ angemessen – ☐ zu leicht?
Verbesserungsvorschläge zur Aufnahmesituation. Was war störend?

Die Stücke waren

Chopin: Etüde	☐ unbekannt	☐ bekannt	☐ bereits studiert
Schubert: Tanz	☐ unbekannt	☐ bekannt	☐ bereits studiert
Mozart: Sonate	☐ unbekannt	☐ bekannt	☐ bereits studiert
Chopin: Ballade	☐ unbekannt	☐ bekannt	☐ bereits studiert

Besondere Intentionen bei den Stücken
Bitte die persönliche Interpretation mit **kurzen** Worten umreißen (Charakter, Tempo, Artikulation, Dynamik...) bzw. was ist passiert?

Chopin Etüde: .....
Schubert Tanz: .....
Mozart Sonate: .....
Chopin Ballade: .....

Vielen Dank für die Mühe und die Zeit!

Beilage Audio-CD

Frédéric Chopin (1810–1849)

Ballade op. 38 (Takt 1–45)

Track 1	Pianist 03	2:16
Track 2	Pianist 05	1:52
Track 3	Pianist 08	2:16
Track 4	Pianist 10	2:18
Track 5	Pianist 11	2:27
Track 6	Pianist 13	2:07
Track 7	Pianist 14	2:31
Track 8	Pianist 15	2:06
Track 9	Pianist 16	2:08
Track 10	Pianist 17	2:24
Track 11	Pianist 19	2:14
Track 12	Pianist 20	2:02
Track 13	Pianist 21	2:16
Track 14	Pianist 22	2:13
Track 15	Durchschnitt	2:17

Etüde op. 10/3 (Takt 1–21)

Track 16	Pianist 01	1:26
Track 17	Pianist 03	1:23
Track 18	Pianist 05	
Track 19	Pianist 07	1:21
Track 20	Pianist 08	1:12
Track 21	Pianist 10	1:27
Track 22	Pianist 11	1:34
Track 23	Pianist 13	1:14
Track 24	Pianist 15	1:32
Track 25	Pianist 16	1:11
Track 26	Pianist 17	1:25
Track 27	Pianist 20	1:30
Track 28	Pianist 21	1:29
Track 29	Pianist 22	1:21
Track 30	Durchschnitt	1:23

Ballade melodiebetonte Version – unterstimmenbetonte Version

Track 31	Pianist 03	0:55
Track 32	Pianist 05	0:52
Track 33	Pianist 06	0:55
Track 34	Pianist 09	0:57
Track 35	Pianist 14	0:53
Track 36	Pianist 21	0:52
Track 37	Pianist 22	0:54

Anmerkungen zu den Aufnahmebedingungen

Die Aufnahme wurde mit einem DAT-Recorder Tascam (DA-P1) und Mikrophonen von AKG (CK91) in ORTF-Technik in einem Zimmer in der Bösendorfer Fabrik in 1040 Wien gemacht. Die Mikrophone standen ca. 1 bis 1,5 Meter Luftlinie vom weit geöffneten Flügeldeckel entfernt und waren auf den Anschlagsbereich gerichtet. Die Aufnahmen sind alles Mitschnitte der originalen Einspielsituation. Leider wurden durch einen Aufnahmefehler die ersten 10 Einspielungen (Pianist 1 bis 10) im Vorverstärker übersteuert, was Knackser bei höheren Pegeln bewirkte. Dies konnte mit einer Vorverstärkerbegrenzung (minus 20dB) für die restlichen Aufnahmen gelöst werden. Die ersten 10 Aufnahmen wurden wenige Tage später unter denselben Aufnahmebedingungen von dem Bösendorferflügel selbst wiedergegeben. Die DAT-Bänder (Samplingrate 44.100 Hz) wurden digital auf eine Computerfestplatte übertragen, in entsprechende Tracks gewiesen und ohne weitere Nachbearbeitung auf CD gebrannt.

Aus Platzgründen wurde für die beiliegende Audio-CD eine Auswahl getroffen, eine komplette Liste der Einspielungen findet man im Internet unter *http://www.kfs.oeaw.ac.at/goebl/* im MP3-Format.

Universität Wien
Institut für Musikwissenschaft

Numerisch-klassifikatorische Interpretationsanalyse mit dem „Bösendorfer Computerflügel“

Band II

Anhang II
Graphiken und Darstellungen

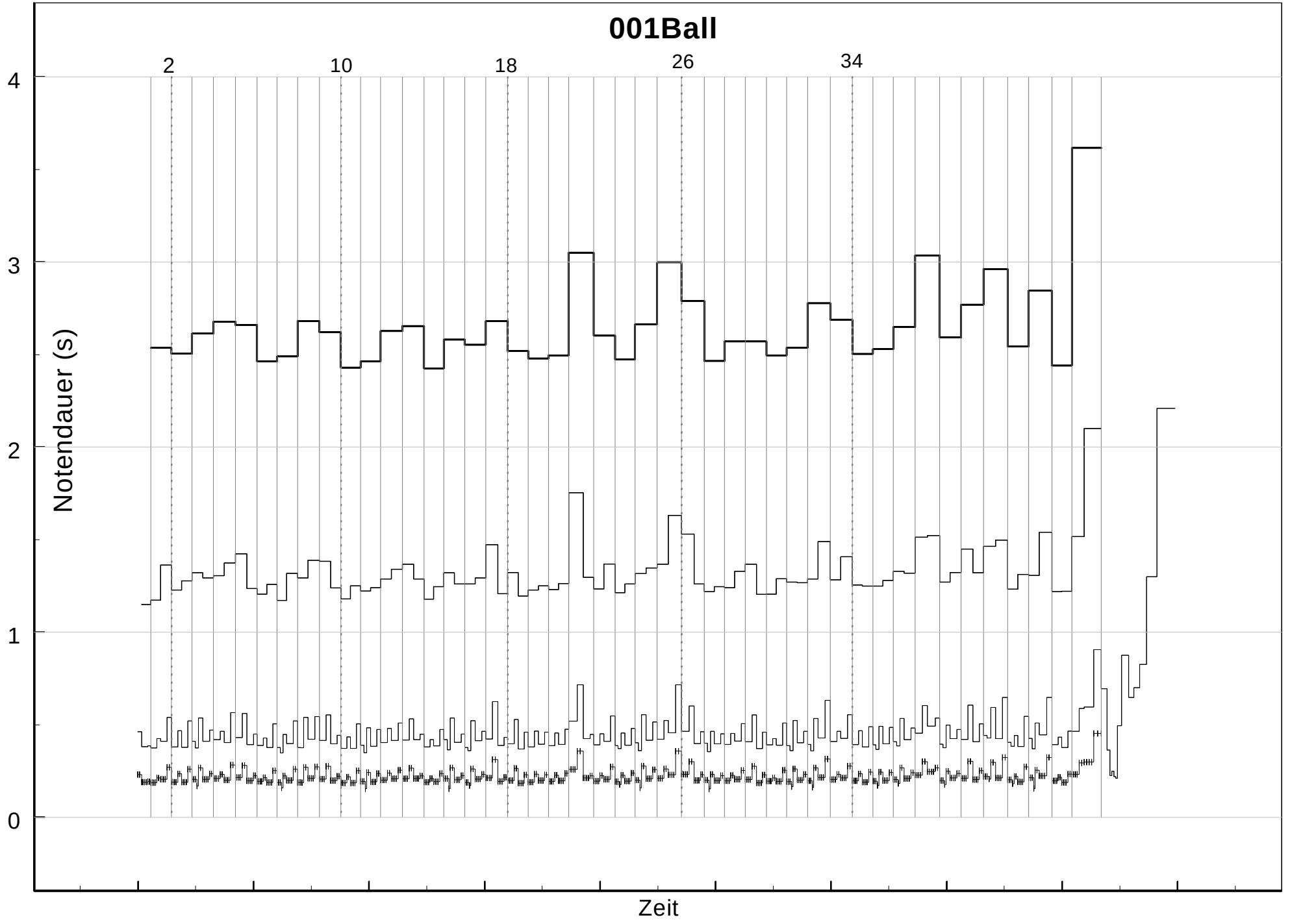
Werner Goebl

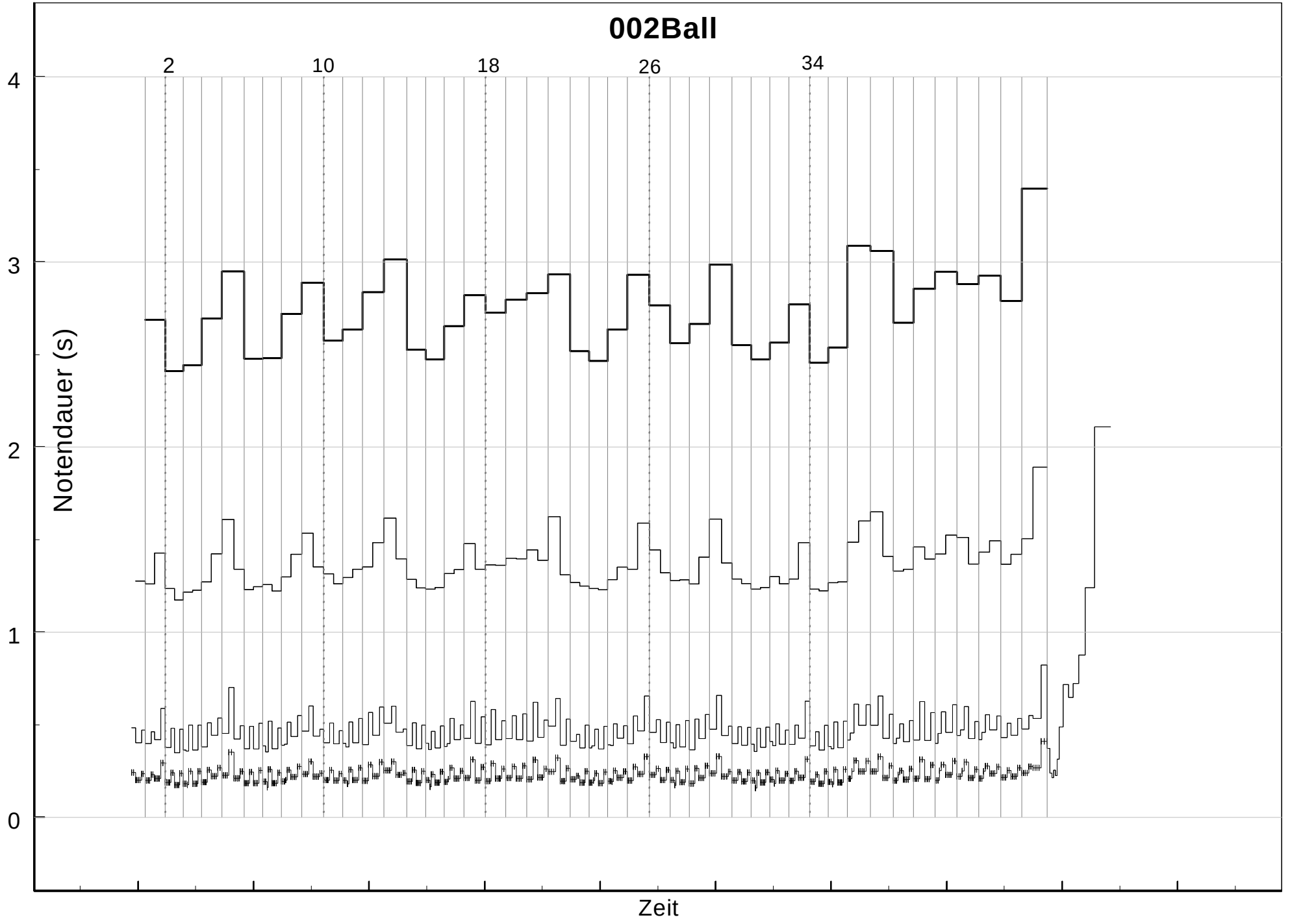
Wien, am 31. Oktober 1999

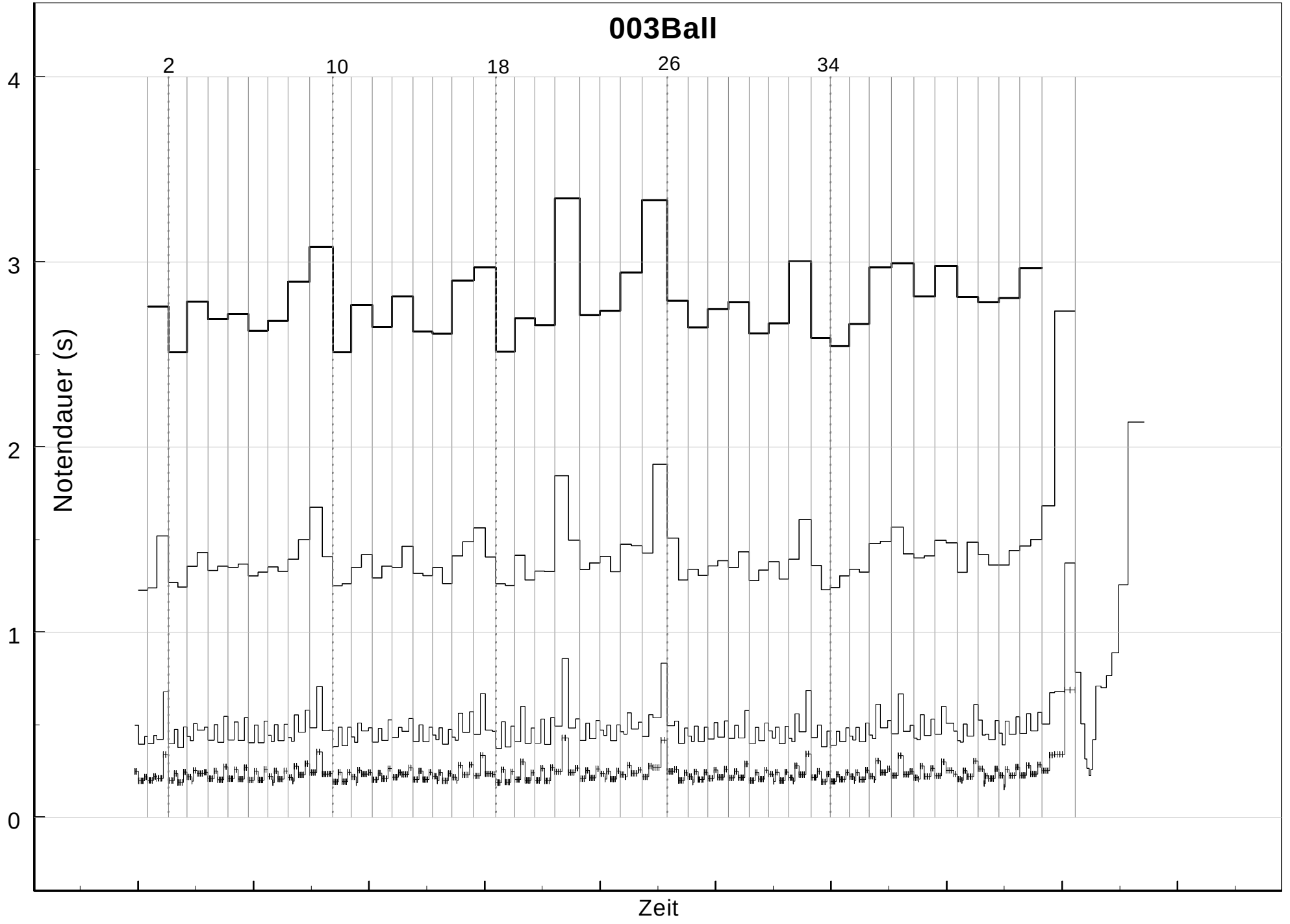
Inhalt

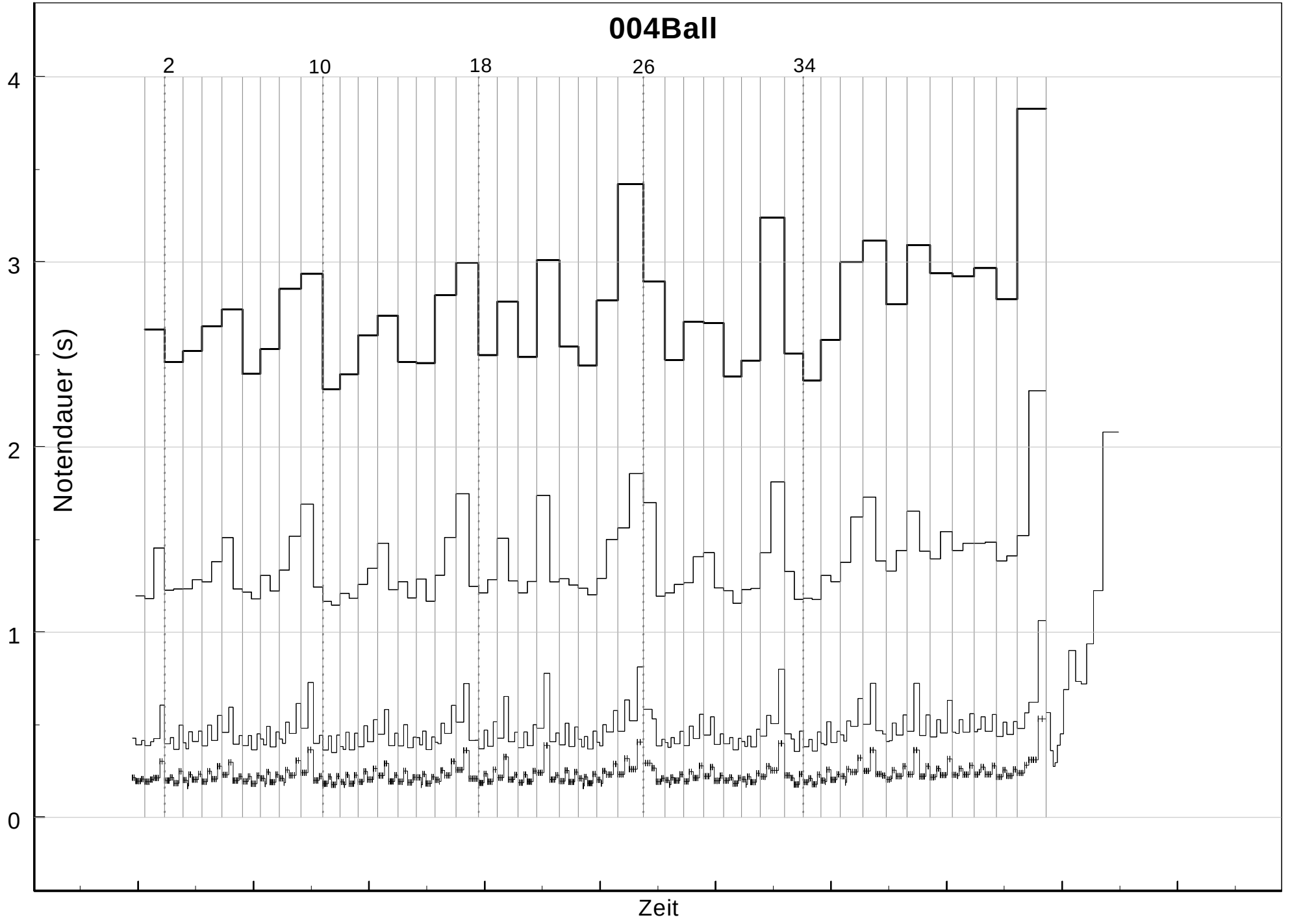
ANHANG II (BAND II) GRAPHIKEN UND DARSTELLUNGEN

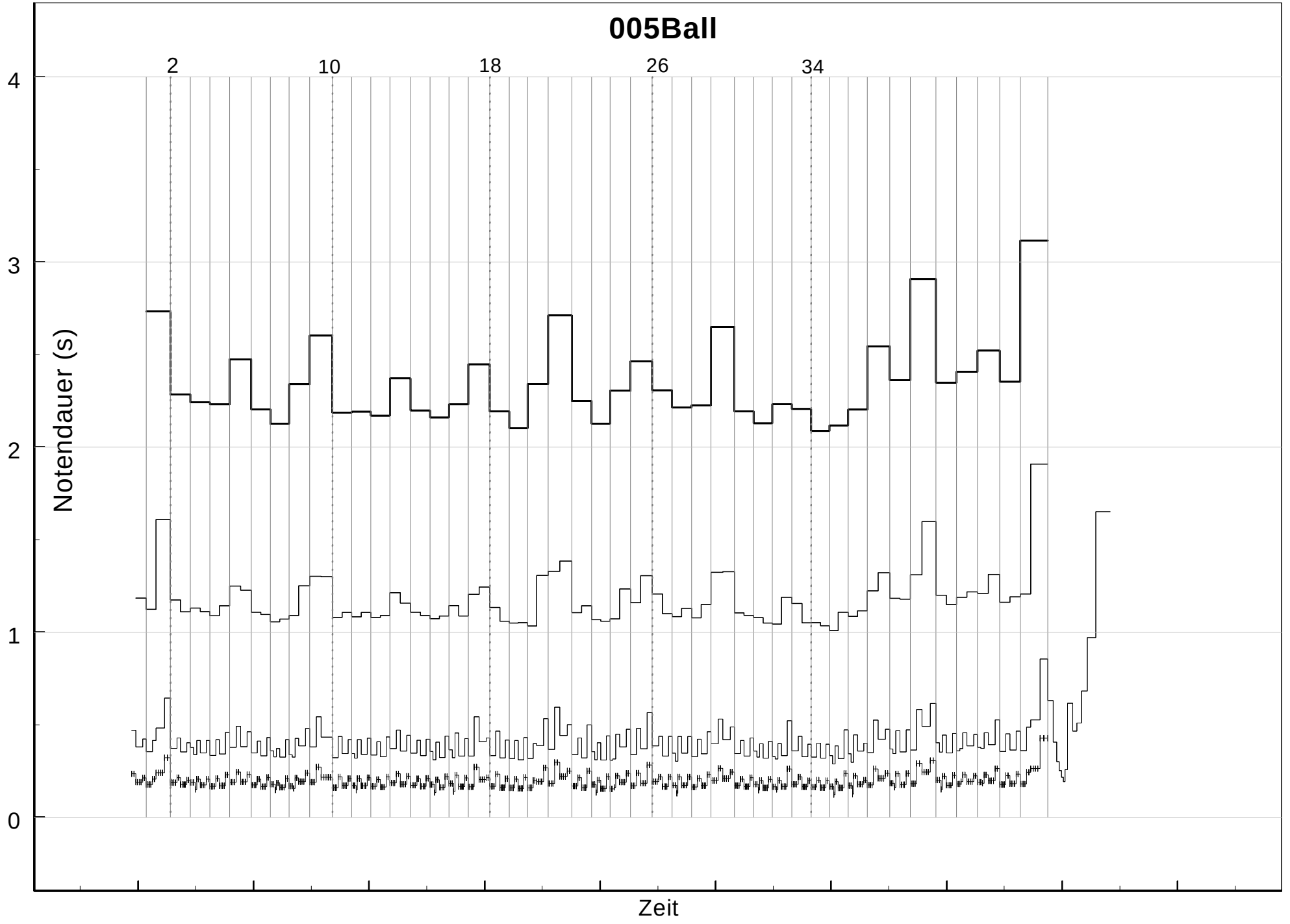
Mehrschichtige Tempogramme 104
Ballade 1–23 104
Etüde 1–23 127
Asynchronizitäts-Profile 150
Ballade 3, 5 und 23 150
Etüde 3, 5 und 23 154
Durchschnittliche Akkordprofile 158
Ballade 1–4 158
Ballade 5–8 159
Ballade 9–12 160
Ballade 13–16 161
Ballade 17–20 162
Ballade 21–23 163
Ausschnitt Ballade: melodiebetonte Version 1–4 164
Ausschnitt Ballade: melodiebetonte Version 5–8 165
Ausschnitt Ballade: melodiebetonte Version 9–12 166
Ausschnitt Ballade: melodiebetonte Version 13–16 167
Ausschnitt Ballade: melodiebetonte Version 17–20 168
Ausschnitt Ballade: melodiebetonte Version 21–23 169
Ausschnitt Ballade: unterstimmenbetonte Version 1–4 170
Ausschnitt Ballade: unterstimmenbetonte Version 5–8 171
Ausschnitt Ballade: unterstimmenbetonte Version 9–12 172
Ausschnitt Ballade: unterstimmenbetonte Version 13–16 173
Ausschnitt Ballade: unterstimmenbetonte Version 17–20 174
Ausschnitt Ballade: unterstimmenbetonte Version 21–23 175
Etüde 1–4 176
Etüde 5–8 177
Etüde 9–12 178
Etüde 13–16 179
Etüde 17–20 180
Etüde 21–23 181

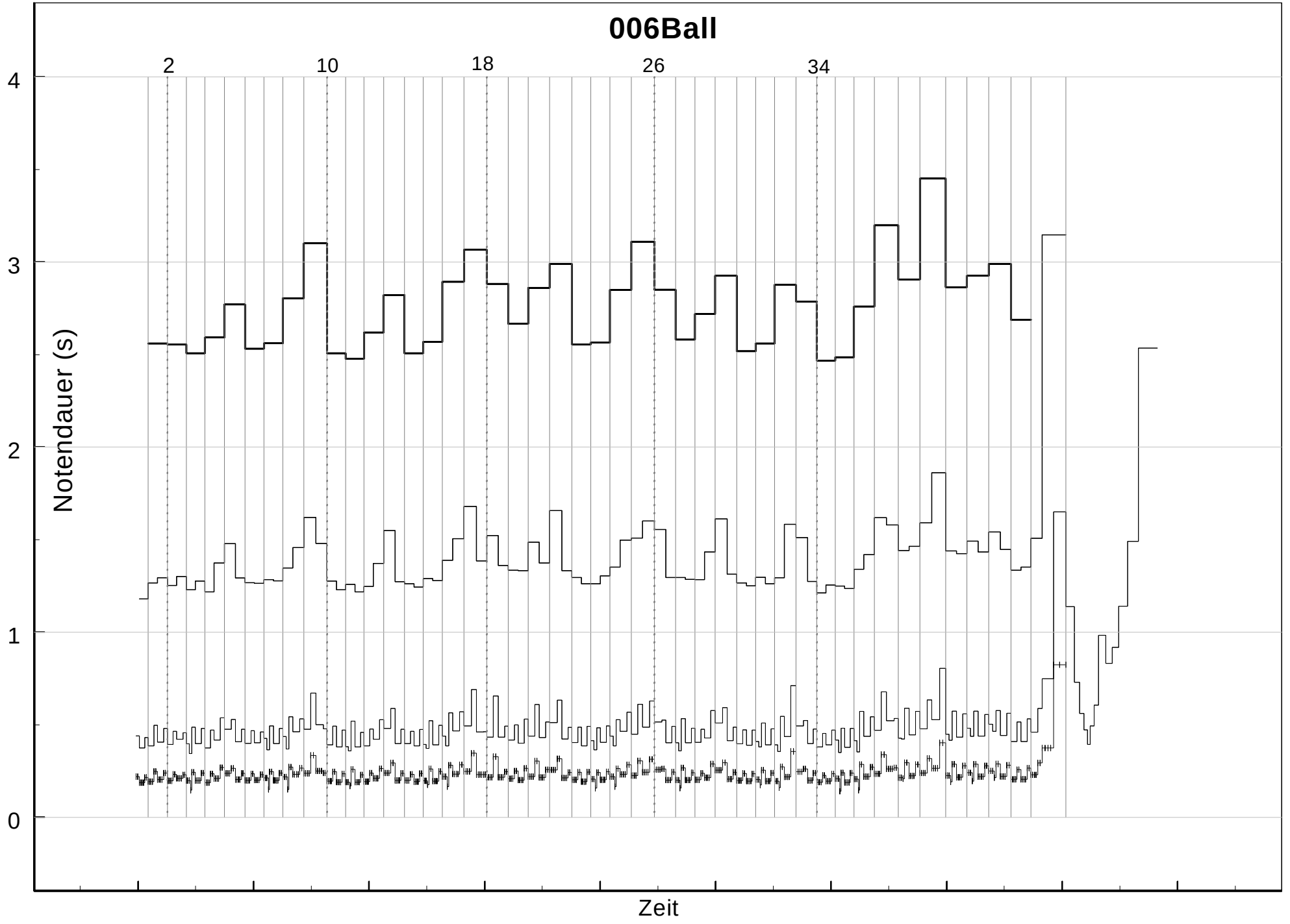

001Ball
2
10
18
26
34
4
3
2
1
0
Notendauer (s)
Zeit

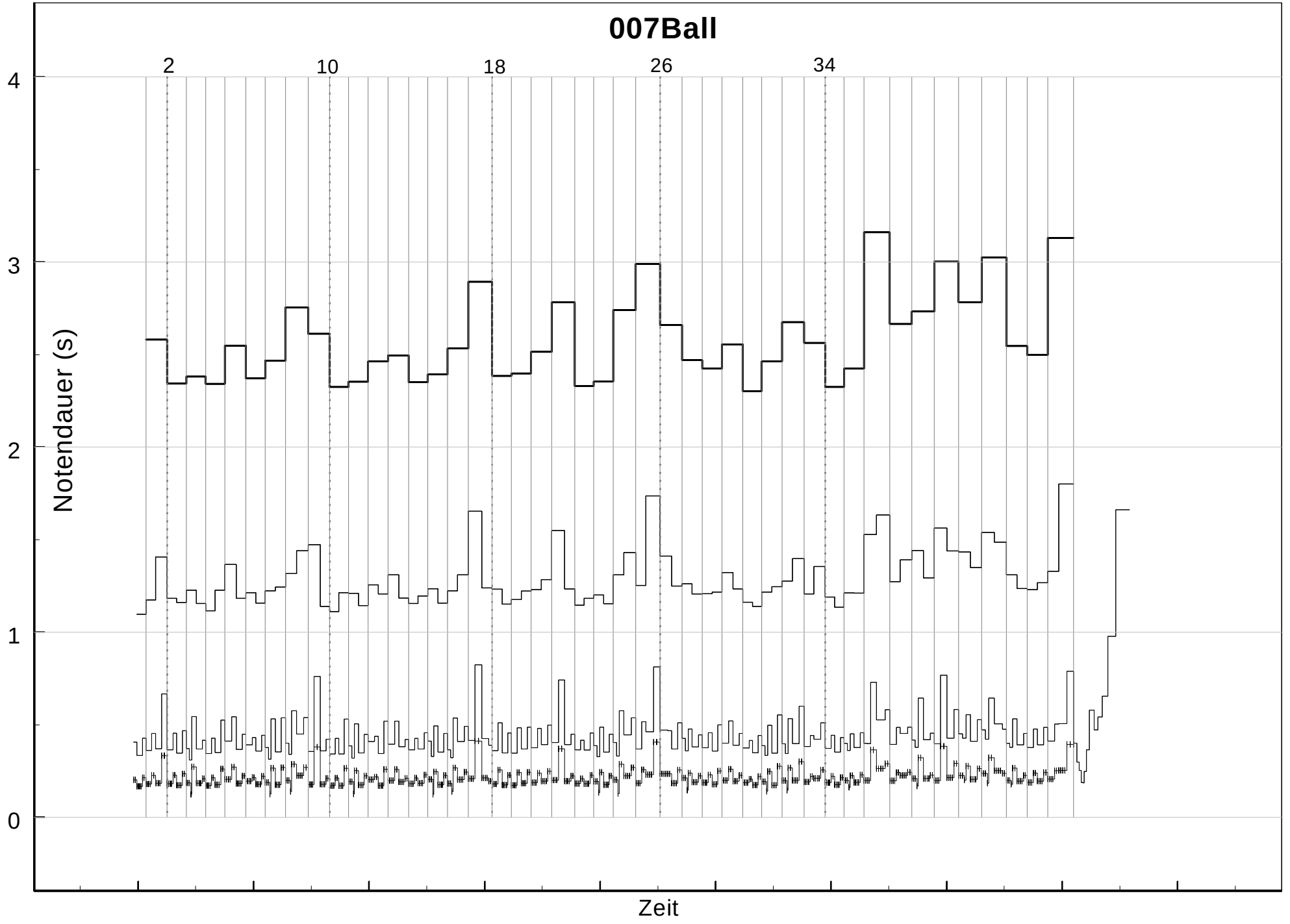

002Ball
2
10
18
26
34
4
3
2
1
0
Notendauer (s)
Zeit

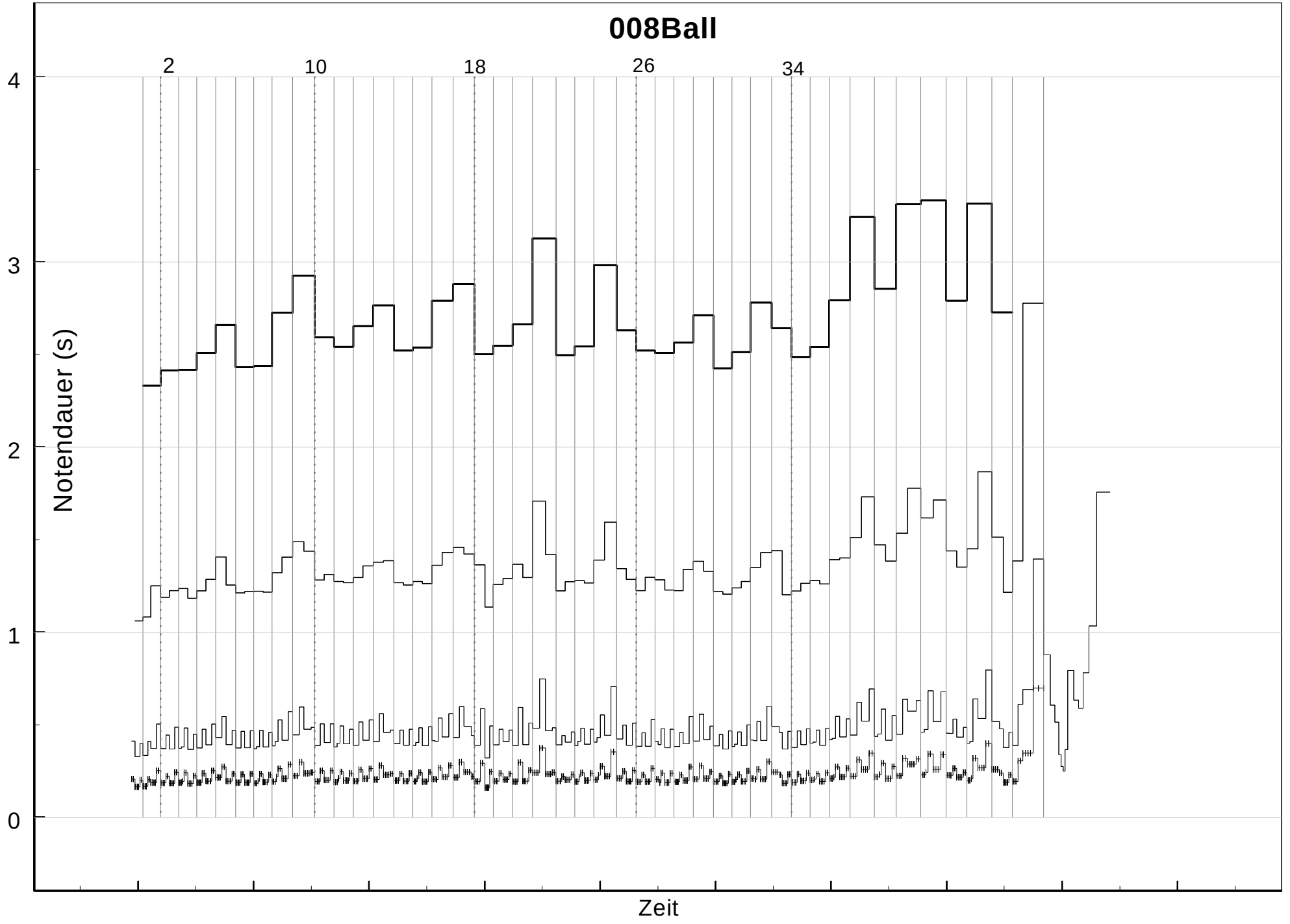

003Ball
2
10
18
26
34
4
3
2
1
0
Notendauer (s)
Zeit

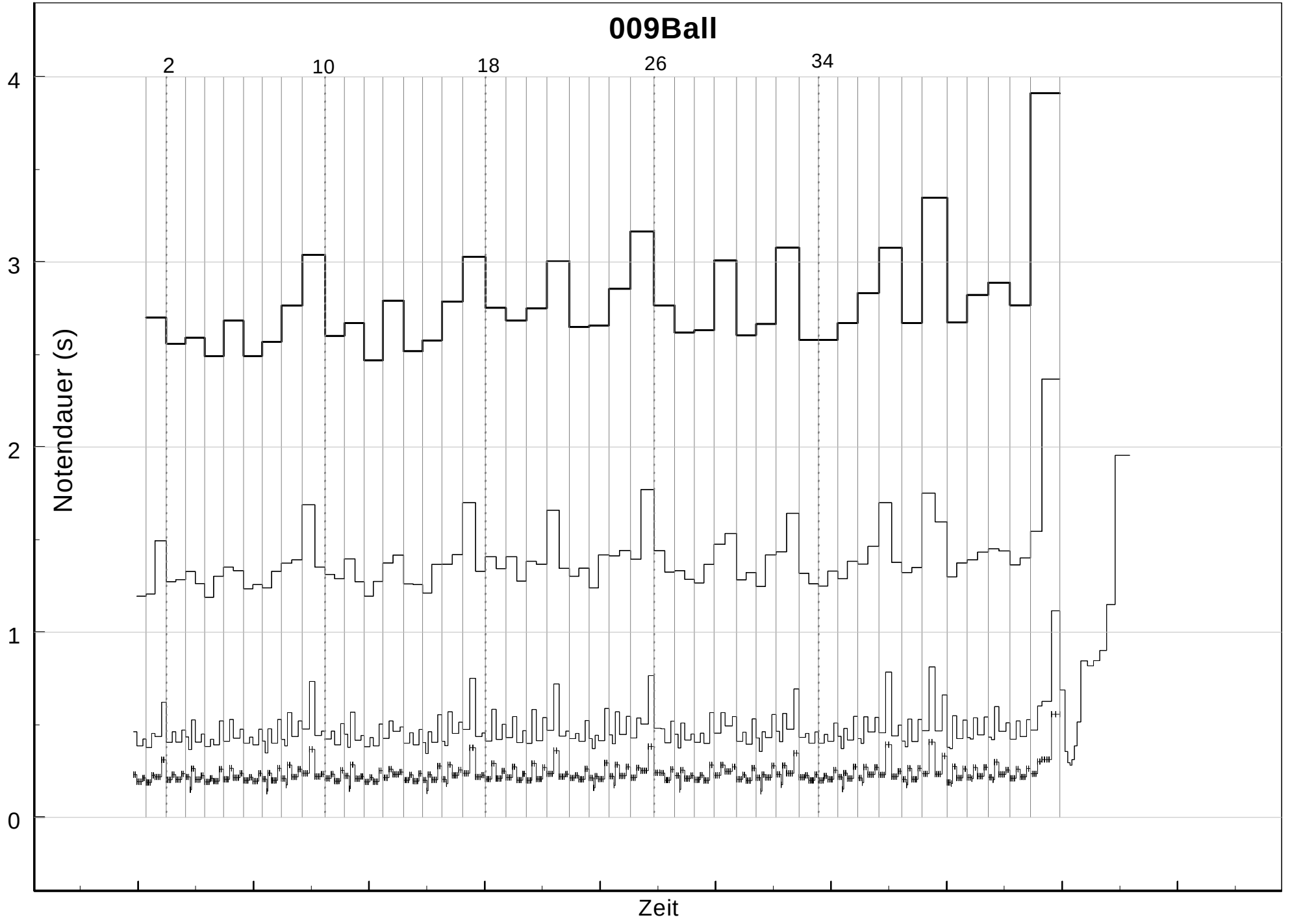

004Ball
2
10
18
26
34
4
3
2
1
0
Notendauer (s)
Zeit

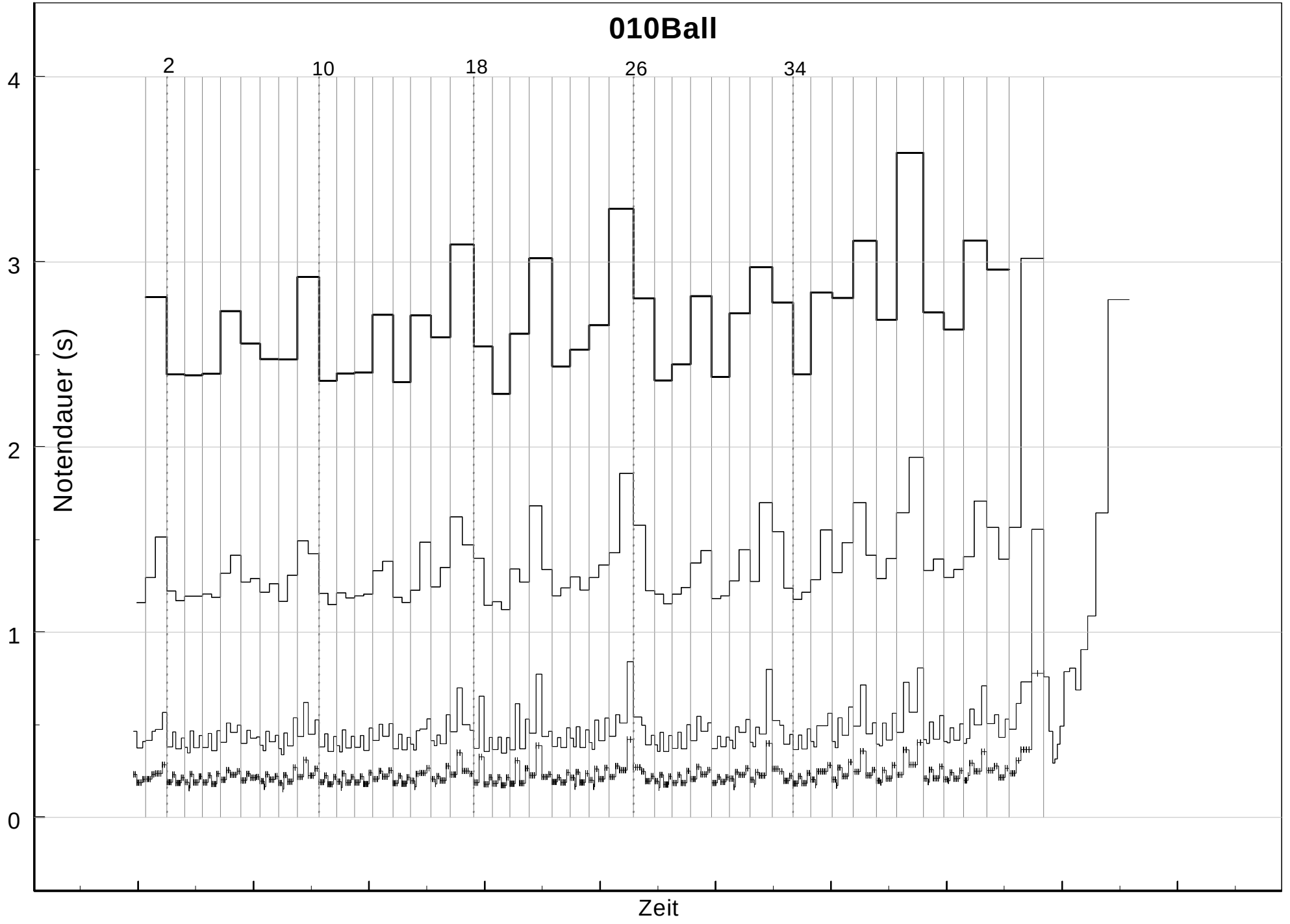

005Ball
2
10
18
26
34
4
3
2
1
0
Notendauer (s)
Zeit

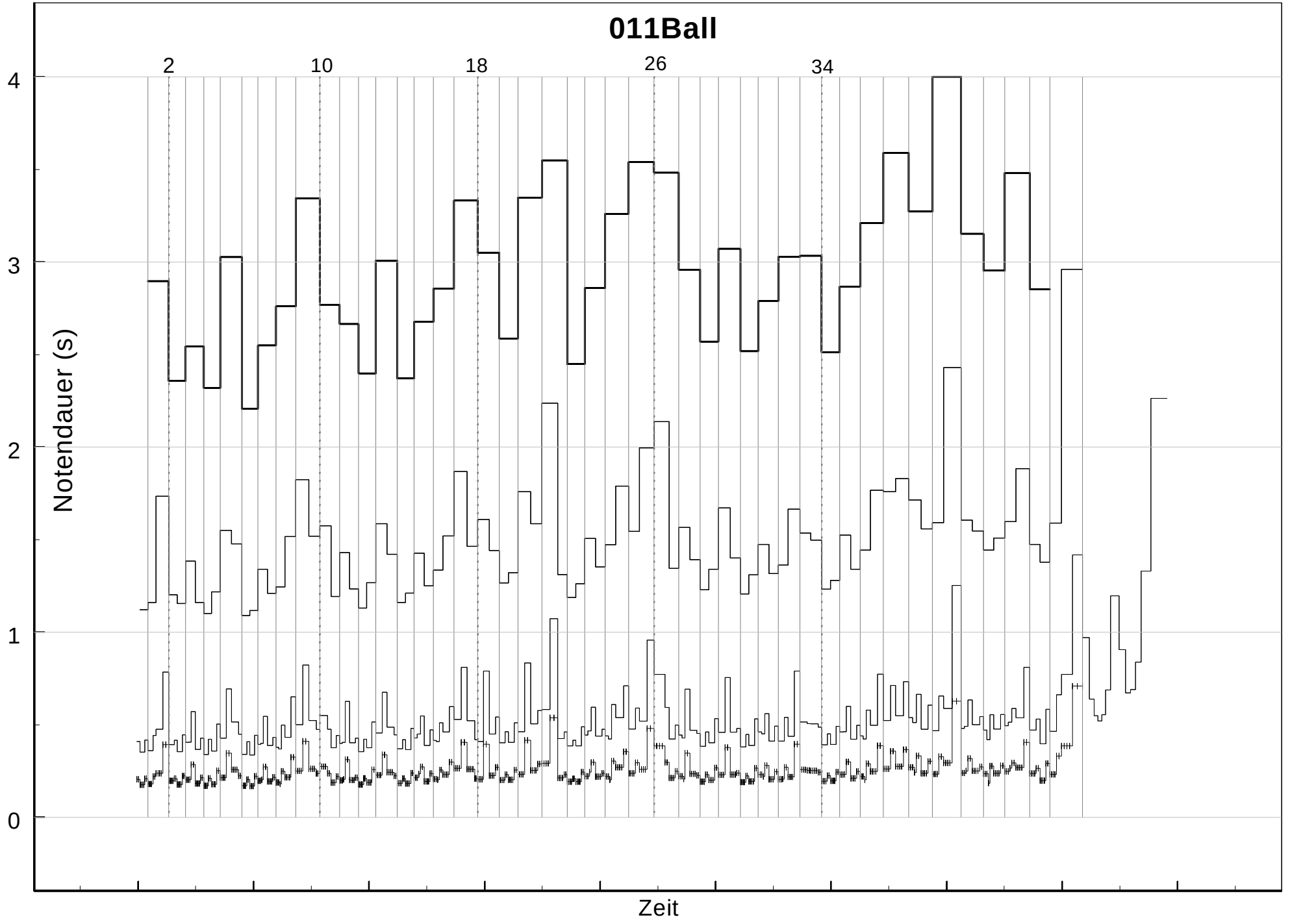

006Ball
2
10
18
26
34
4
3
2
1
0
Notendauer (s)
Zeit

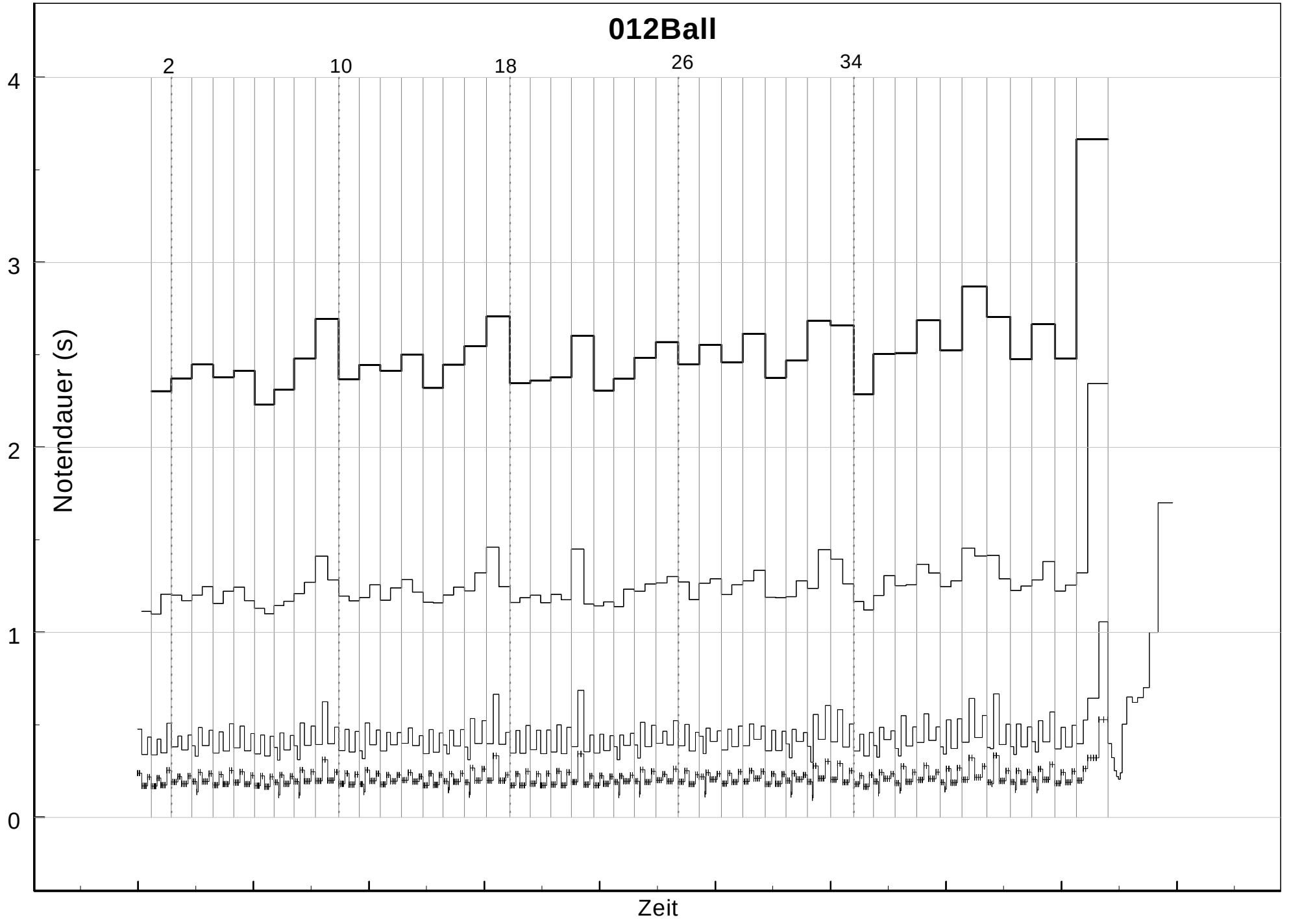

007Ball
2
10
18
26
34
4
3
2
1
0
Notendauer (s)
Zeit

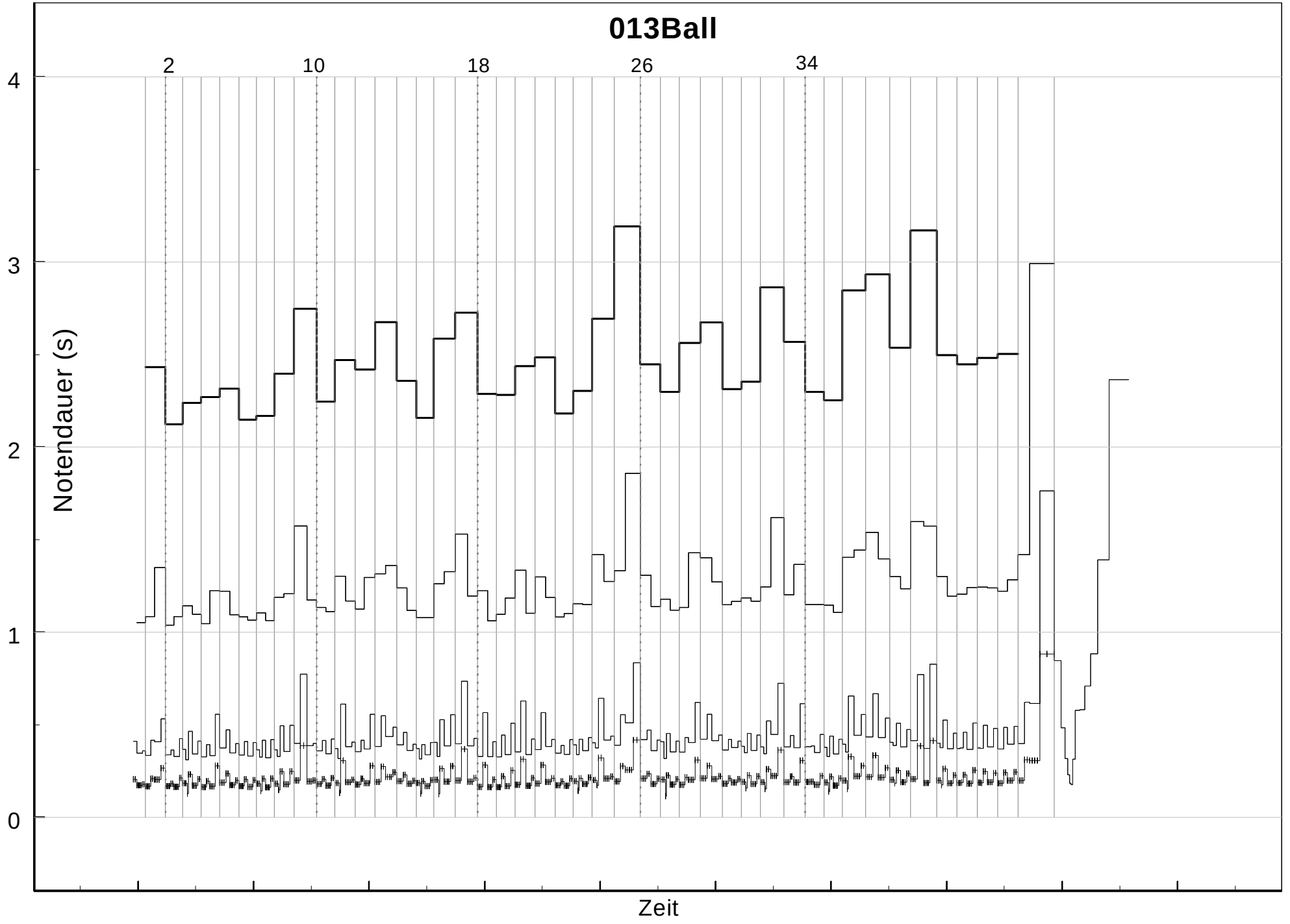

008Ball
2
10
18
26
34
4
3
2
1
0
Notendauer (s)
Zeit

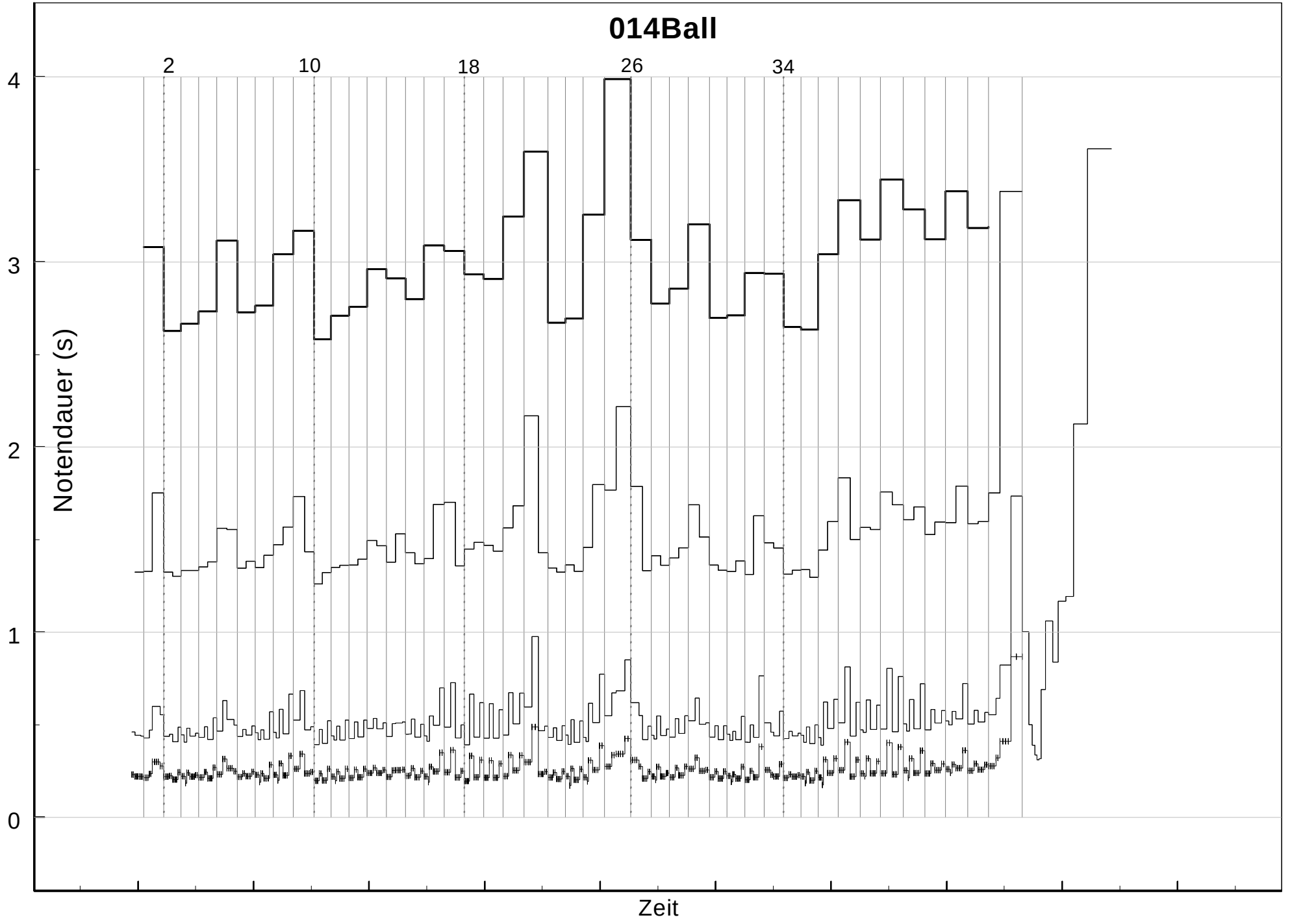

009Ball
2
10
18
26
34
4
3
2
1
0
Notendauer (s)
Zeit

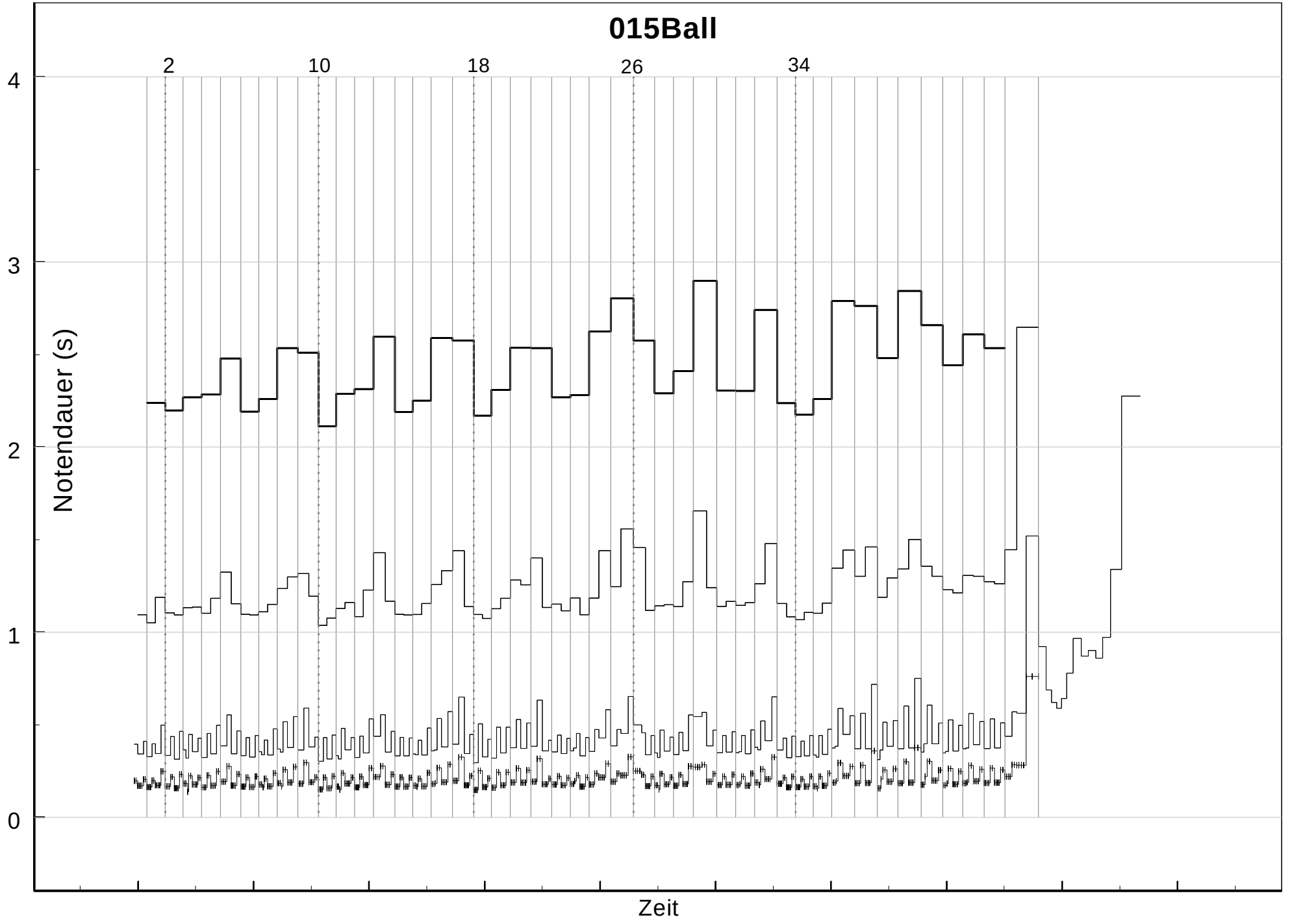

010Ball
2
10
18
26
34
4
3
2
1
0
Notendauer (s)
Zeit

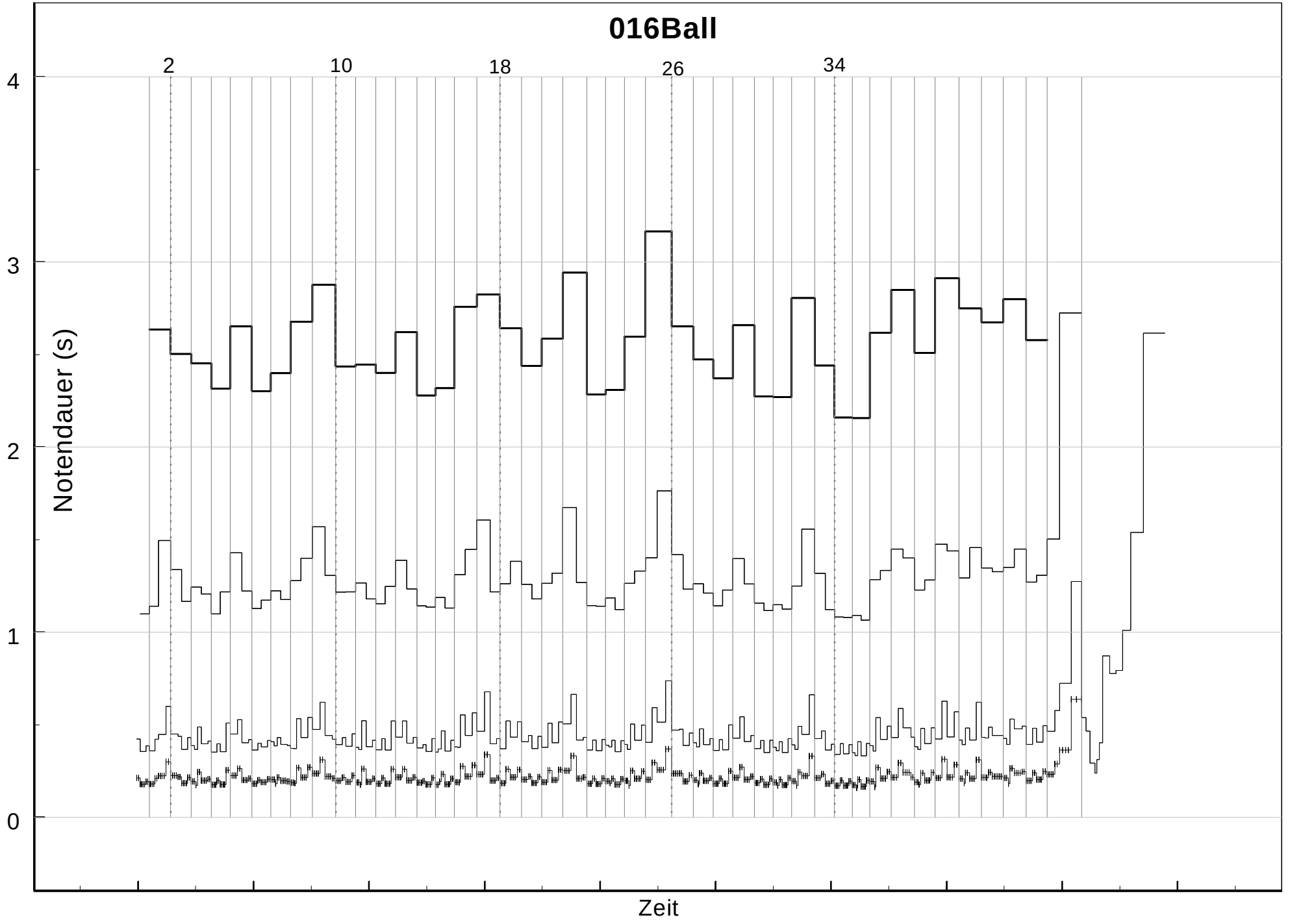

011Ball
2
10
18
26
34
4
3
2
1
0
Notendauer (s)
Zeit

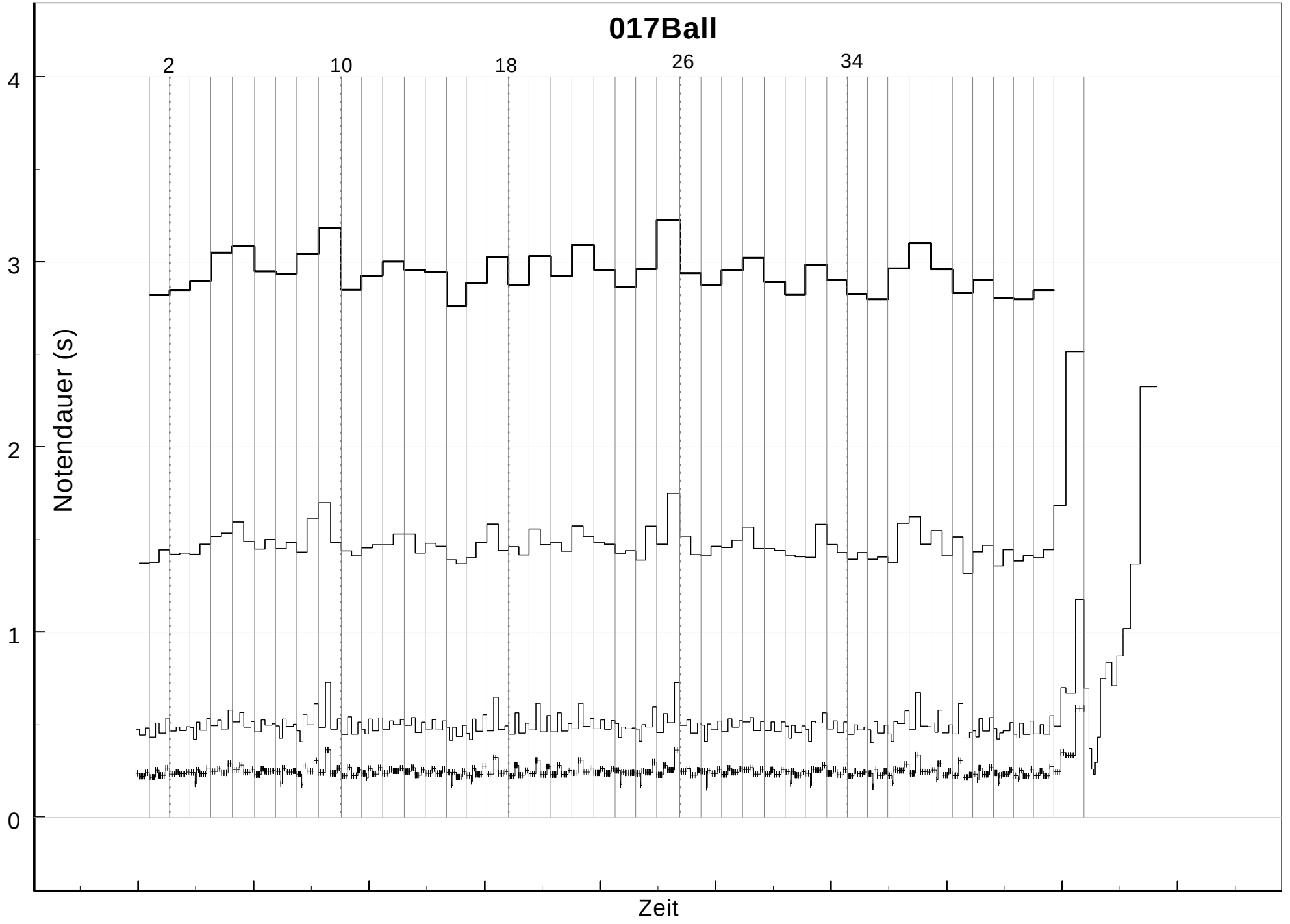

012Ball
2
10
18
26
34
4
3
2
1
0
Notendauer (s)
Zeit

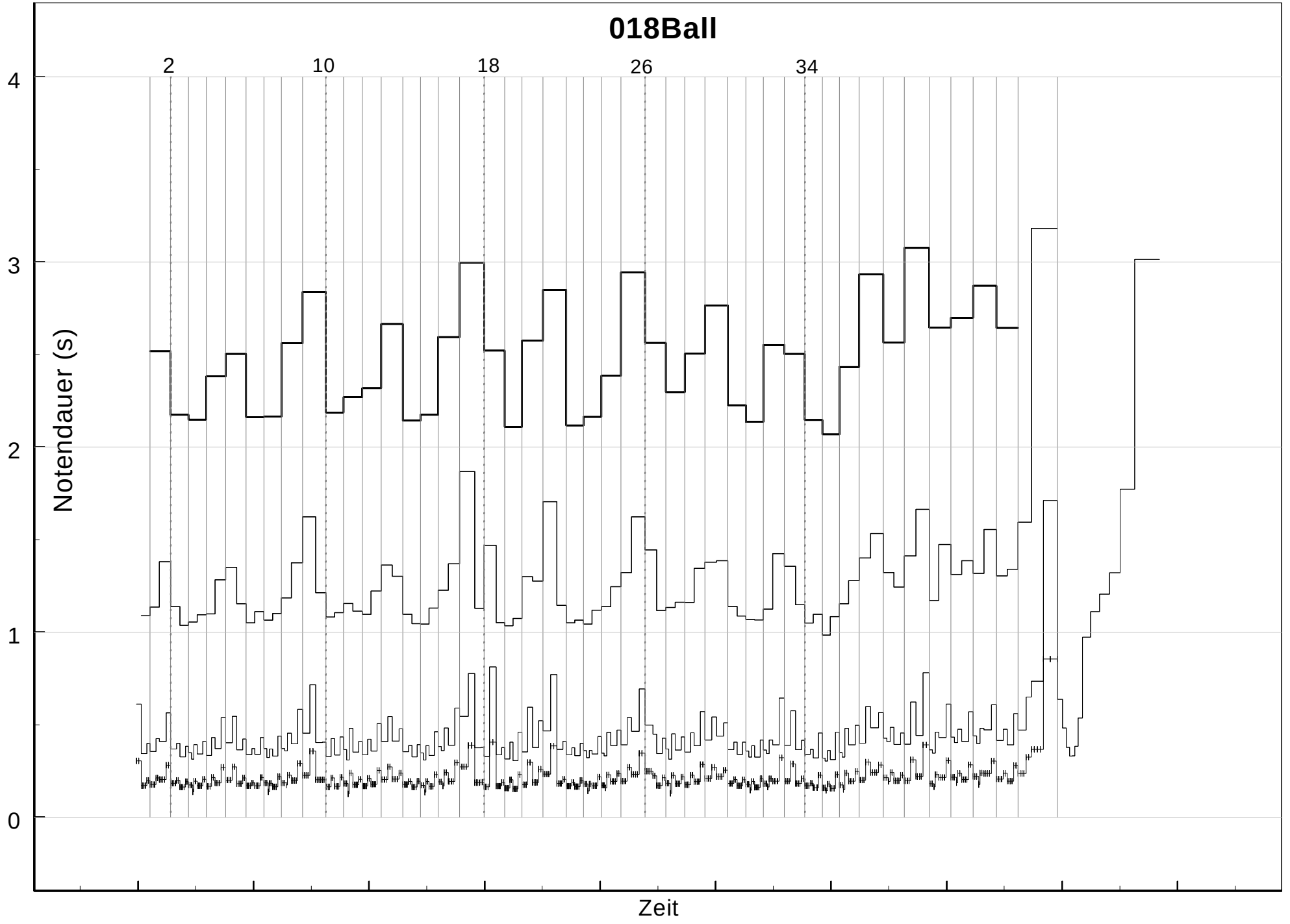

013Ball
2
10
18
26
34
4
3
2
1
0
Notendauer (s)
Zeit

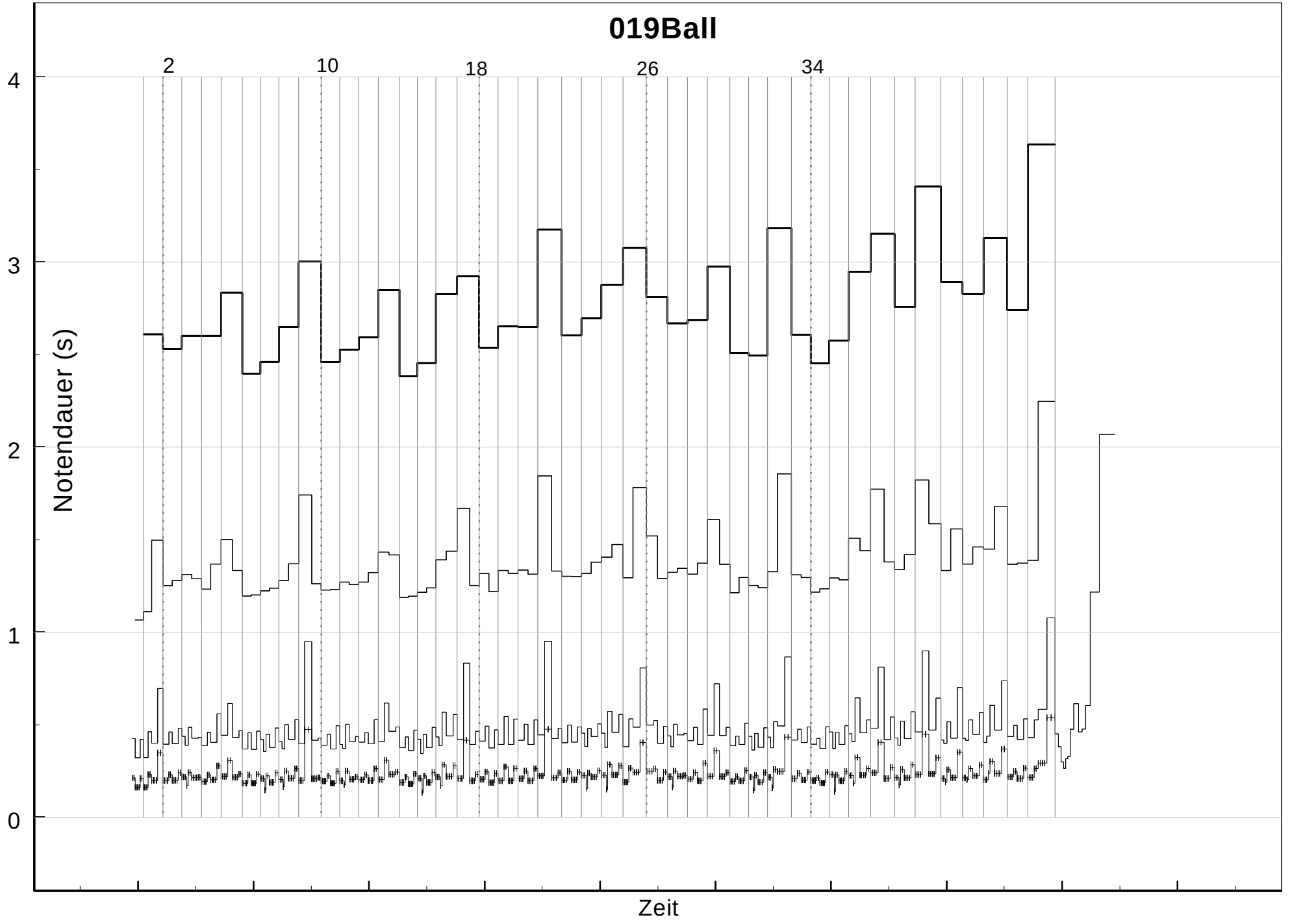

014Ball
2
10
18
26
34
4
3
2
1
0
Notendauer (s)
Zeit

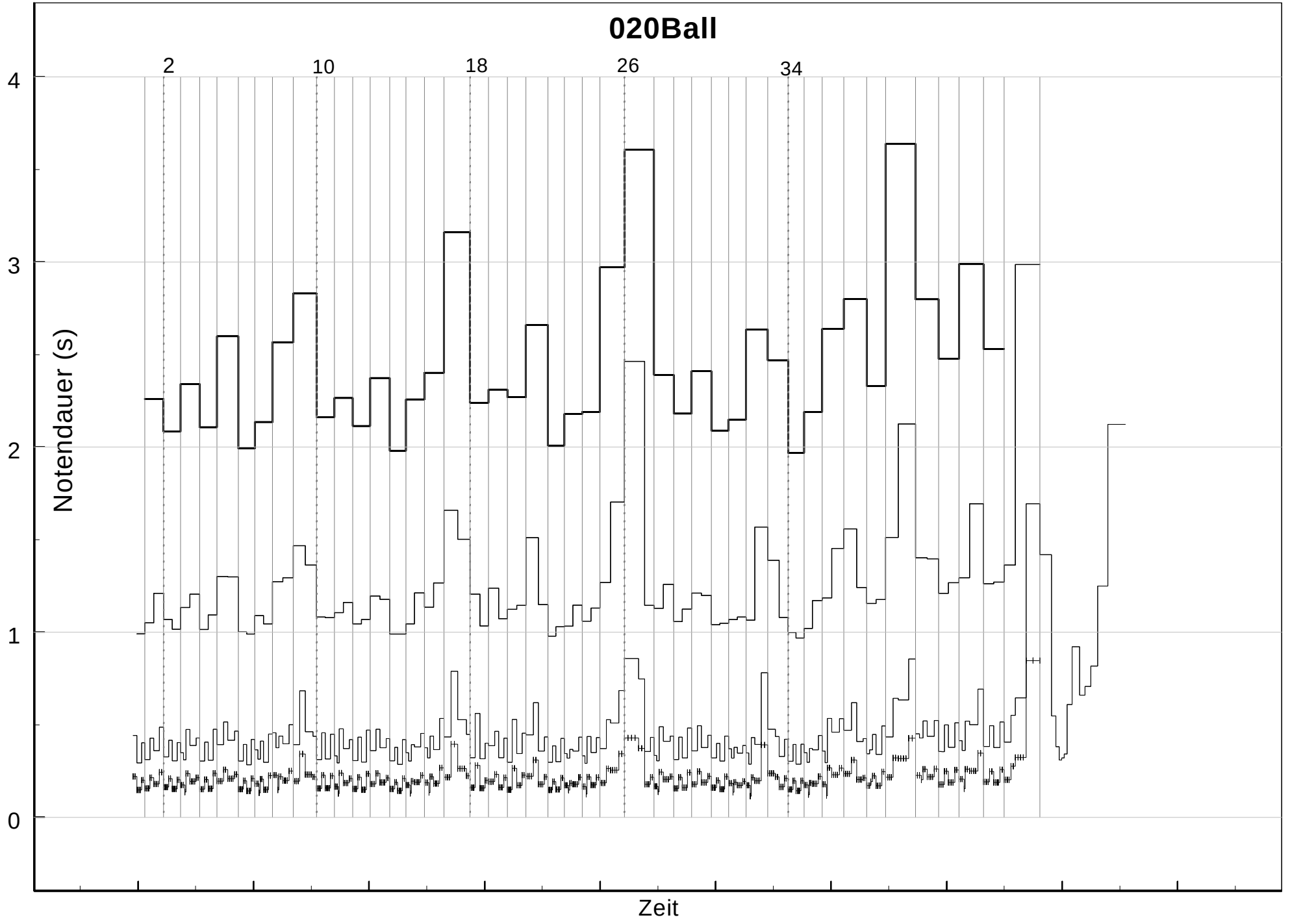

015Ball
2
10
18
26
34
4
3
2
1
0
Notendauer (s)
Zeit

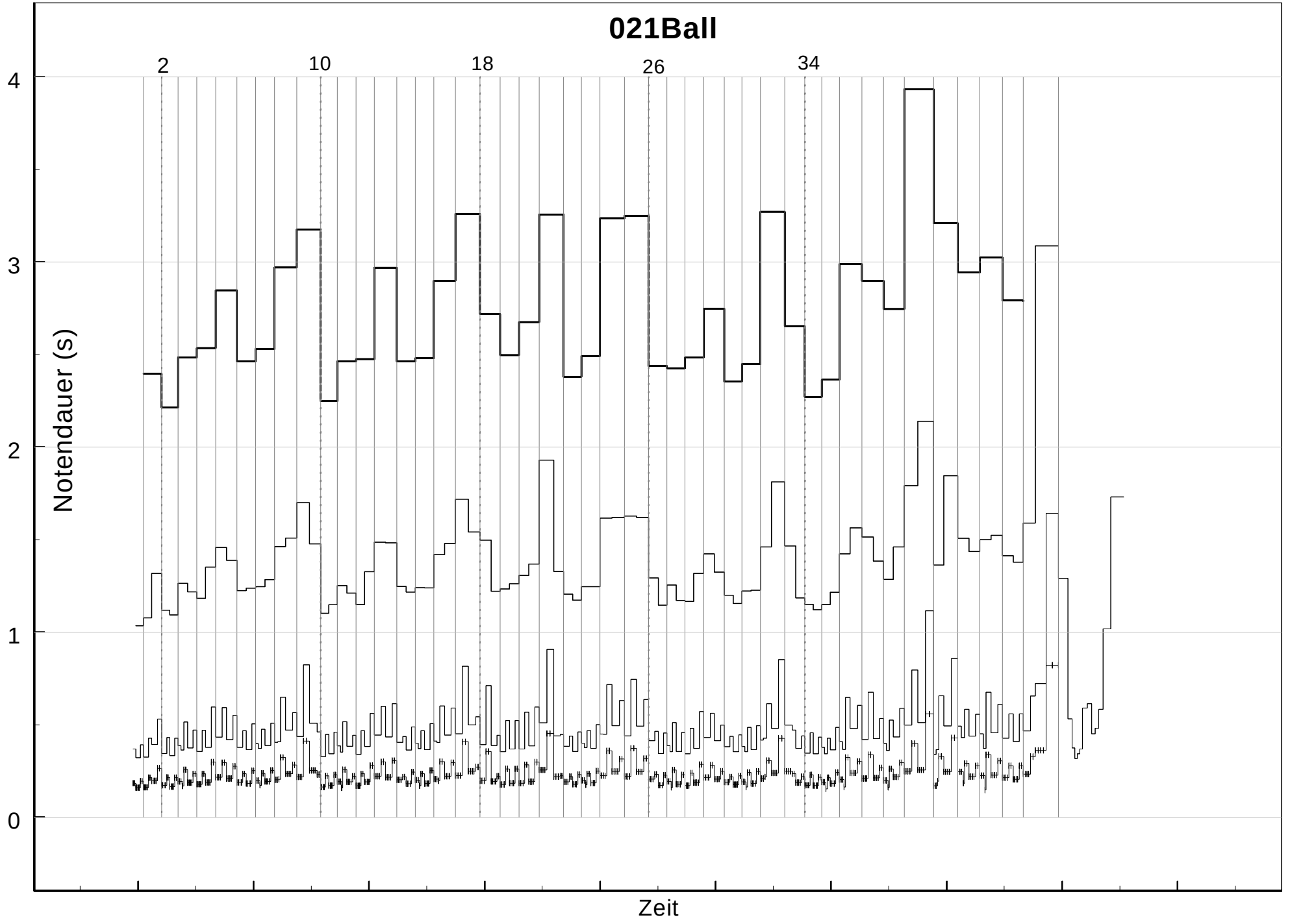

016Ball
2
10
18
26
34
4
3
2
1
0
Notendauer (s)
Zeit

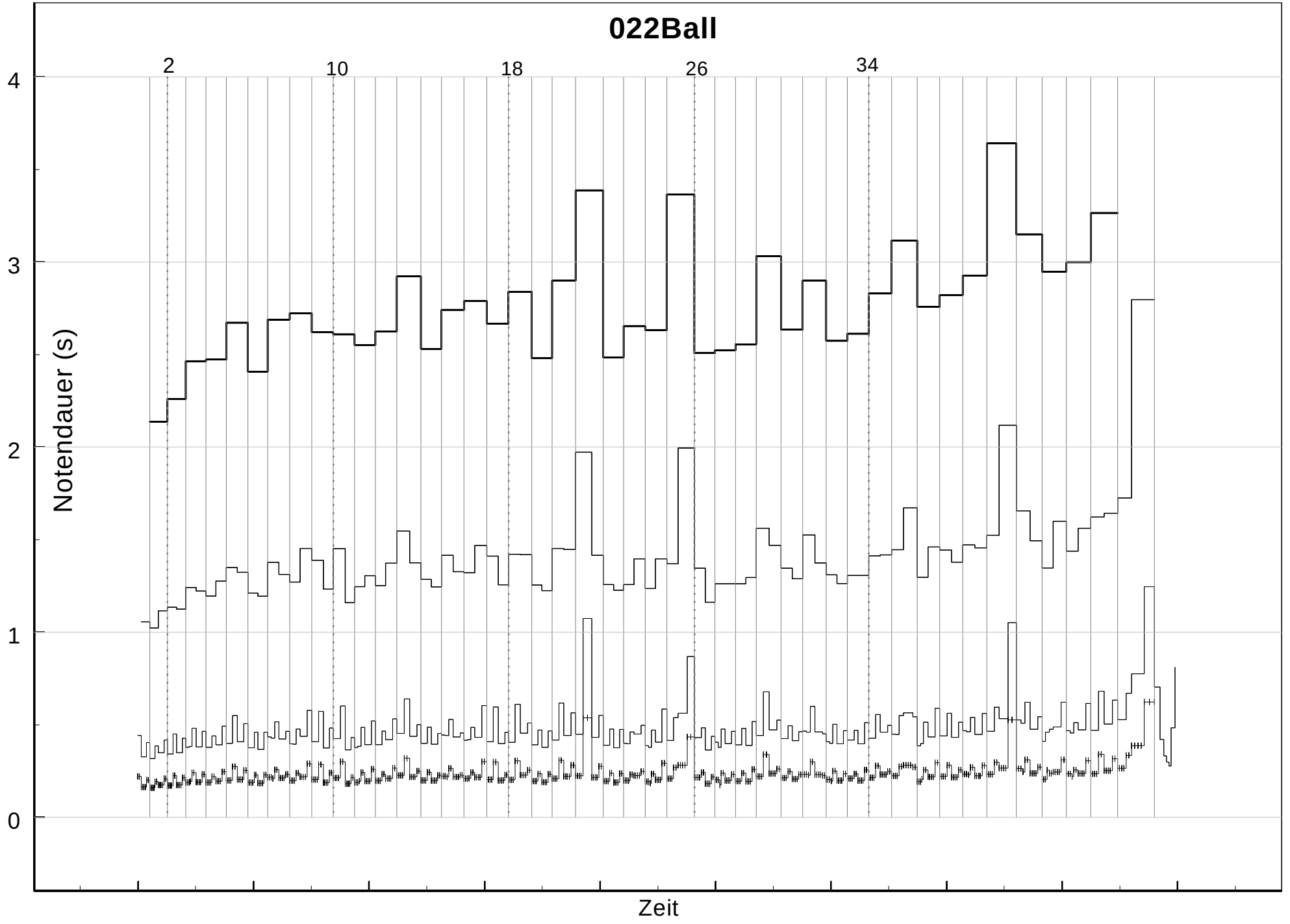

017Ball
2
10
18
26
34
4
3
2
1
0
Notendauer (s)
Zeit

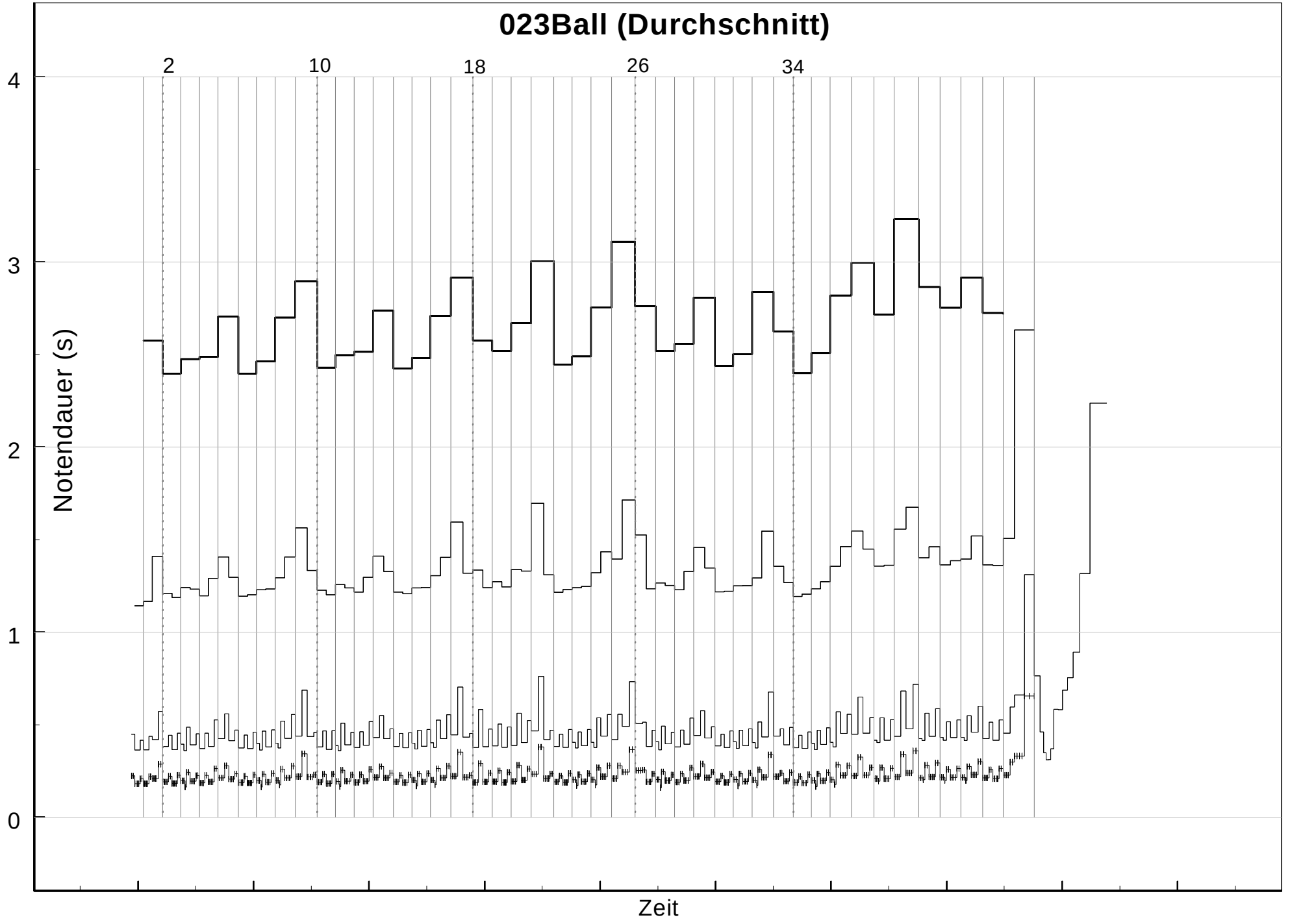

018Ball
2
10
18
26
34
4
3
2
1
0
Notendauer (s)
Zeit

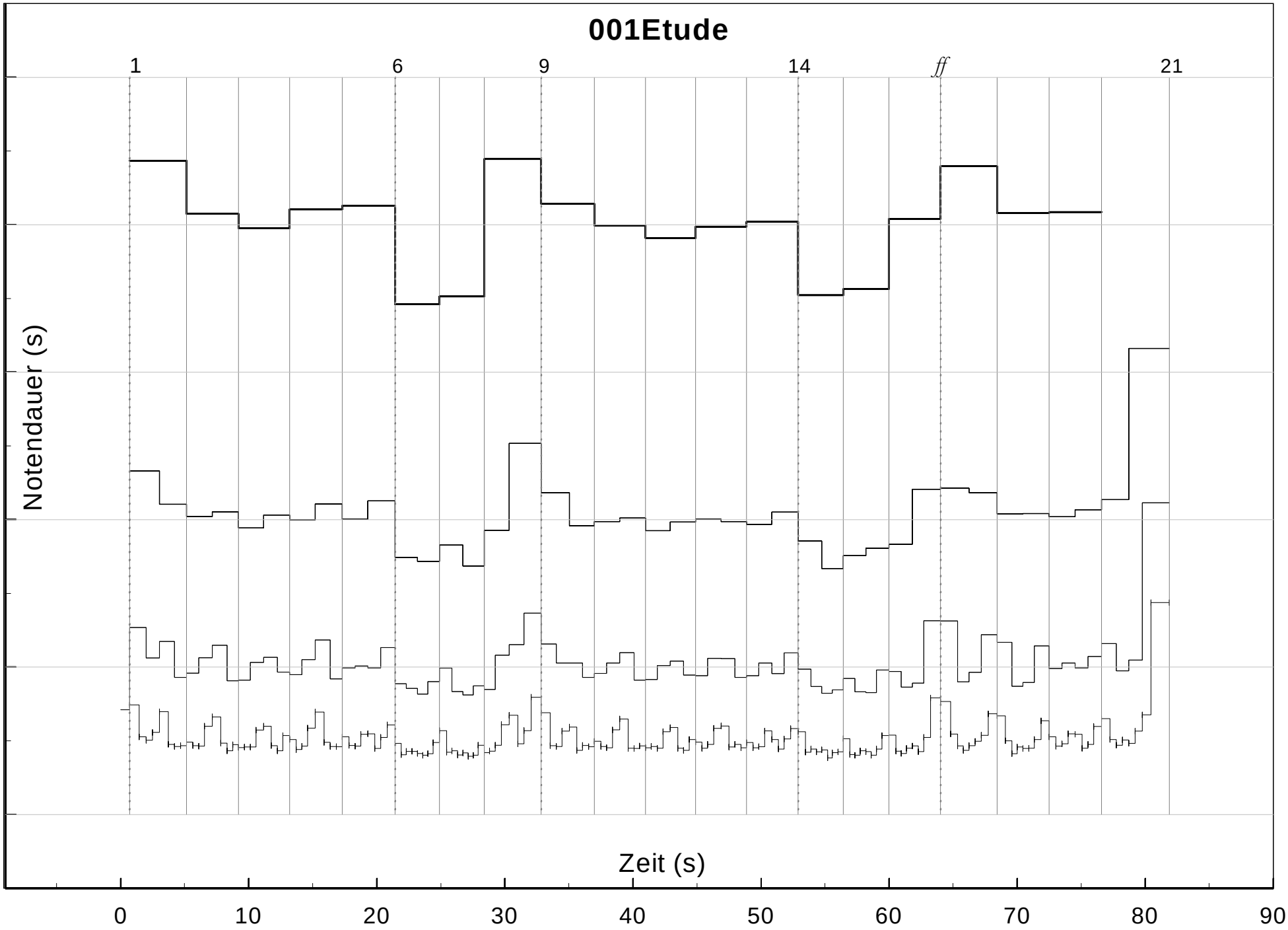

019Ball
2
10
18
26
34
4
3
2
1
0
Notendauer (s)
Zeit

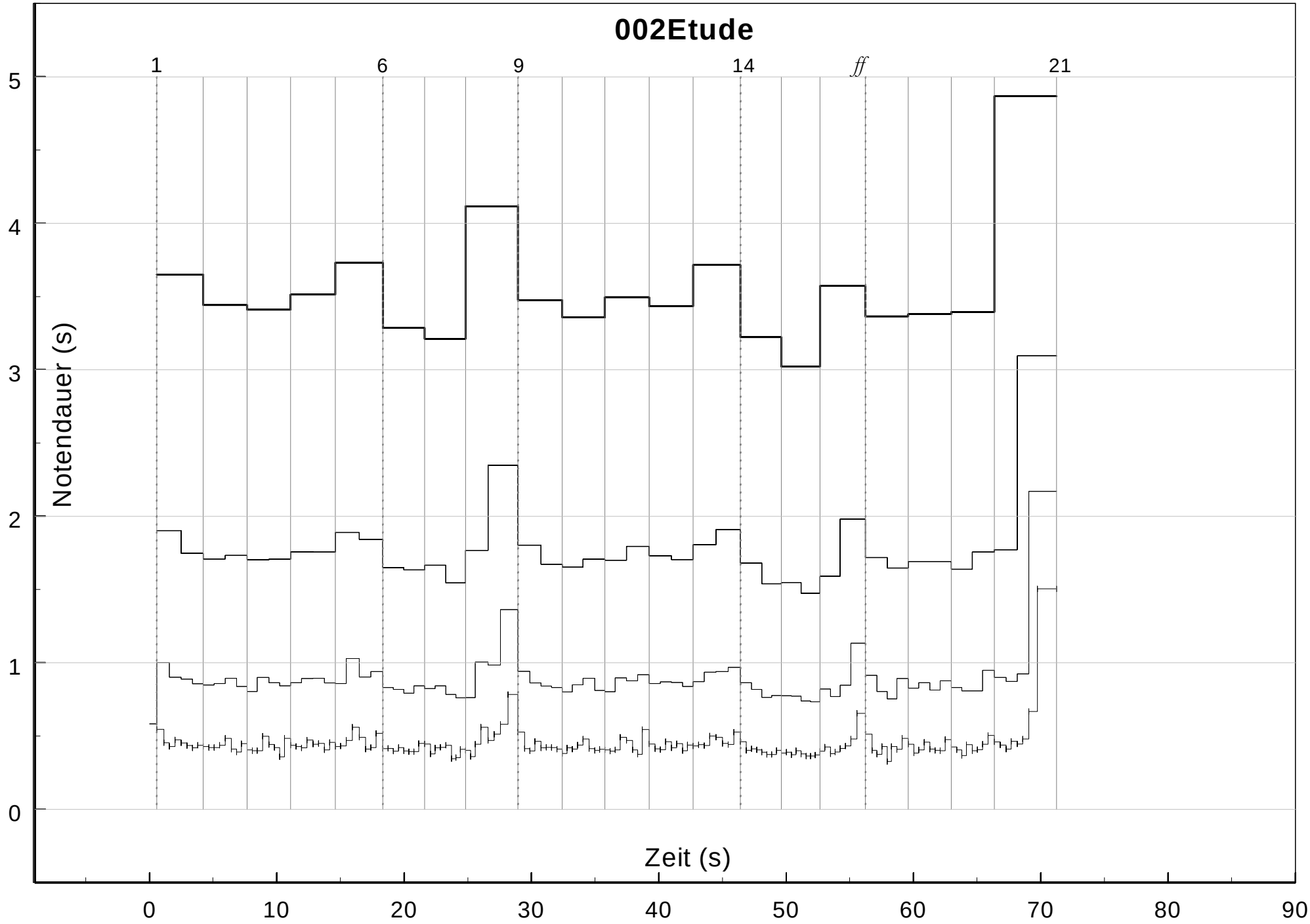

020Ball
2
10
18
26
34
4
3
2
1
0
Notendauer (s)
Zeit

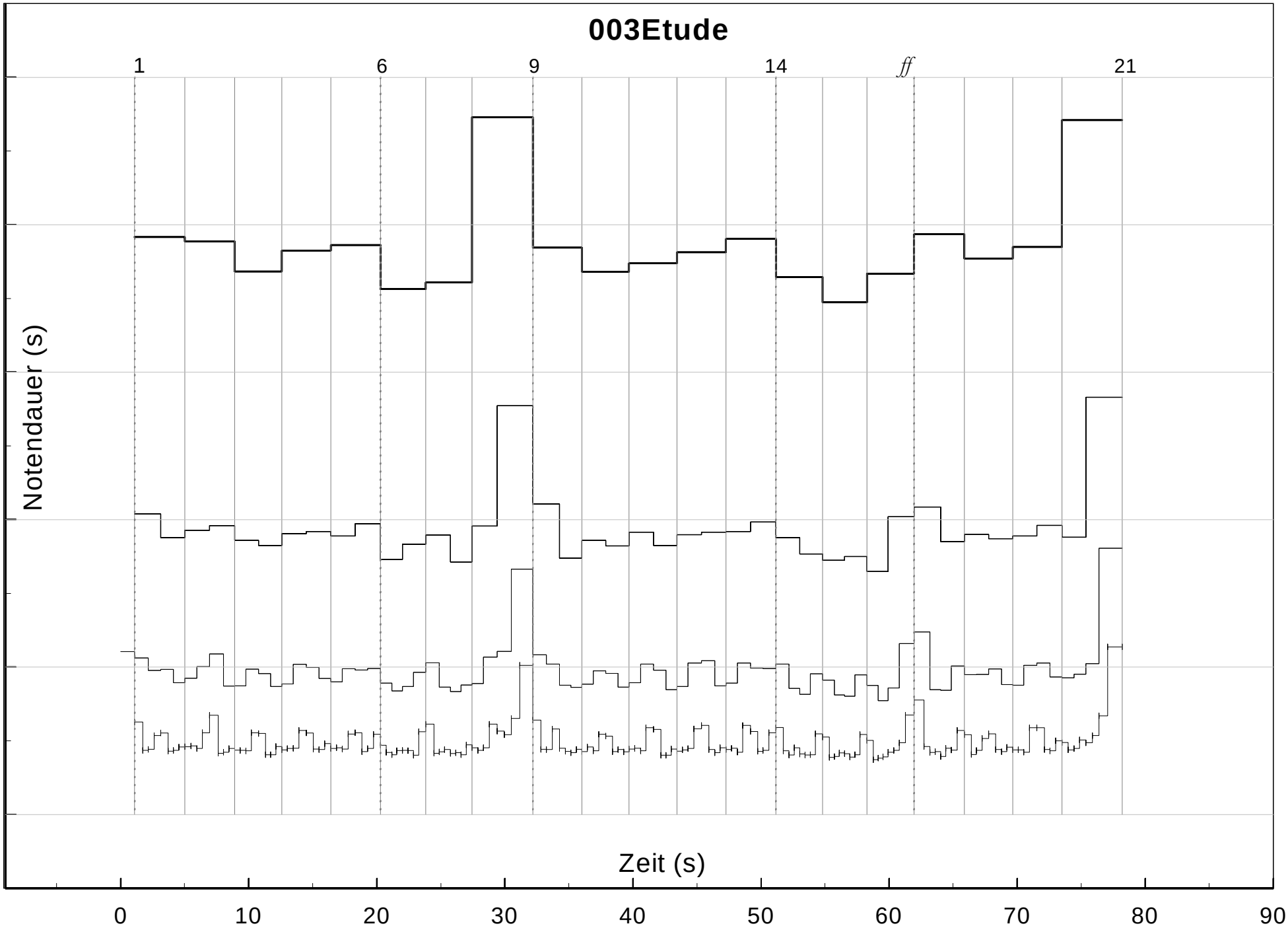

021Ball
2
10
18
26
34
4
3
2
1
0
Notendauer (s)
Zeit

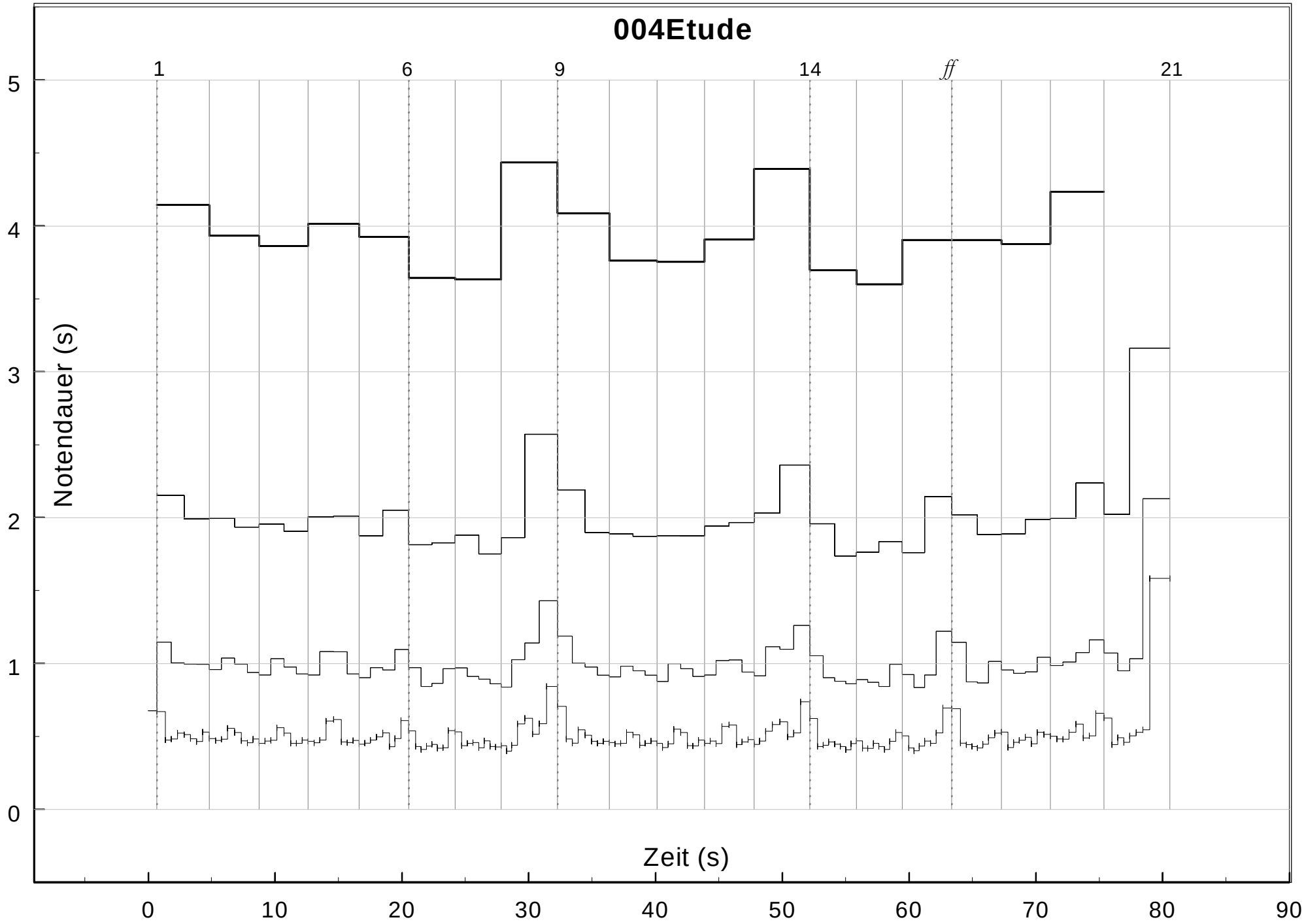

022Ball
2
10
18
26
34
4
3
2
1
0
Notendauer (s)
Zeit

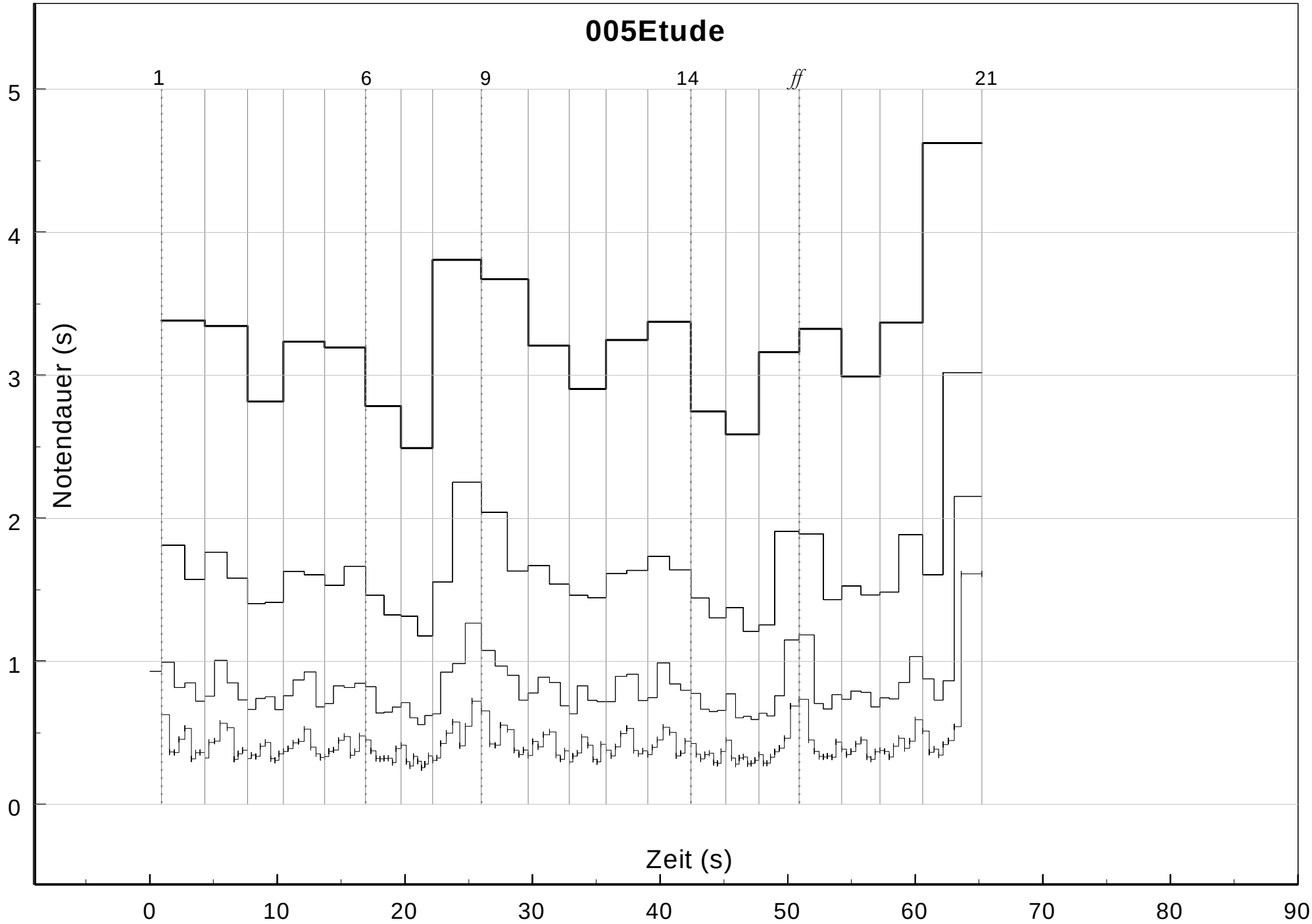

023Ball (Durchschnitt)
2
10
18
26
34
4
3
2
1
0
Notendauer (s)
Zeit

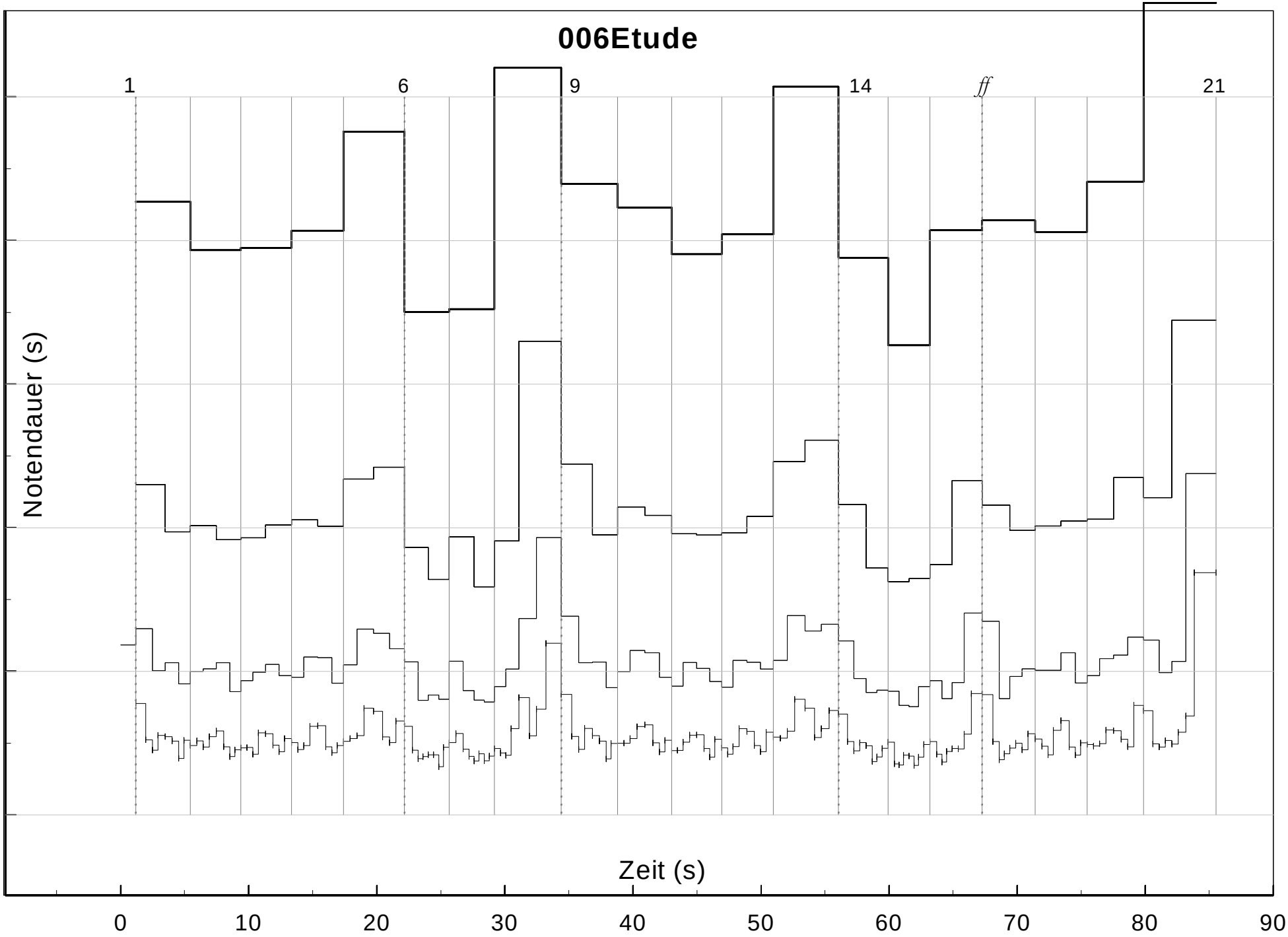

001Etude
1
6
9
14
ff
21
Notendauer (s)
0
1
2
3
4
5
Zeit (s)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90

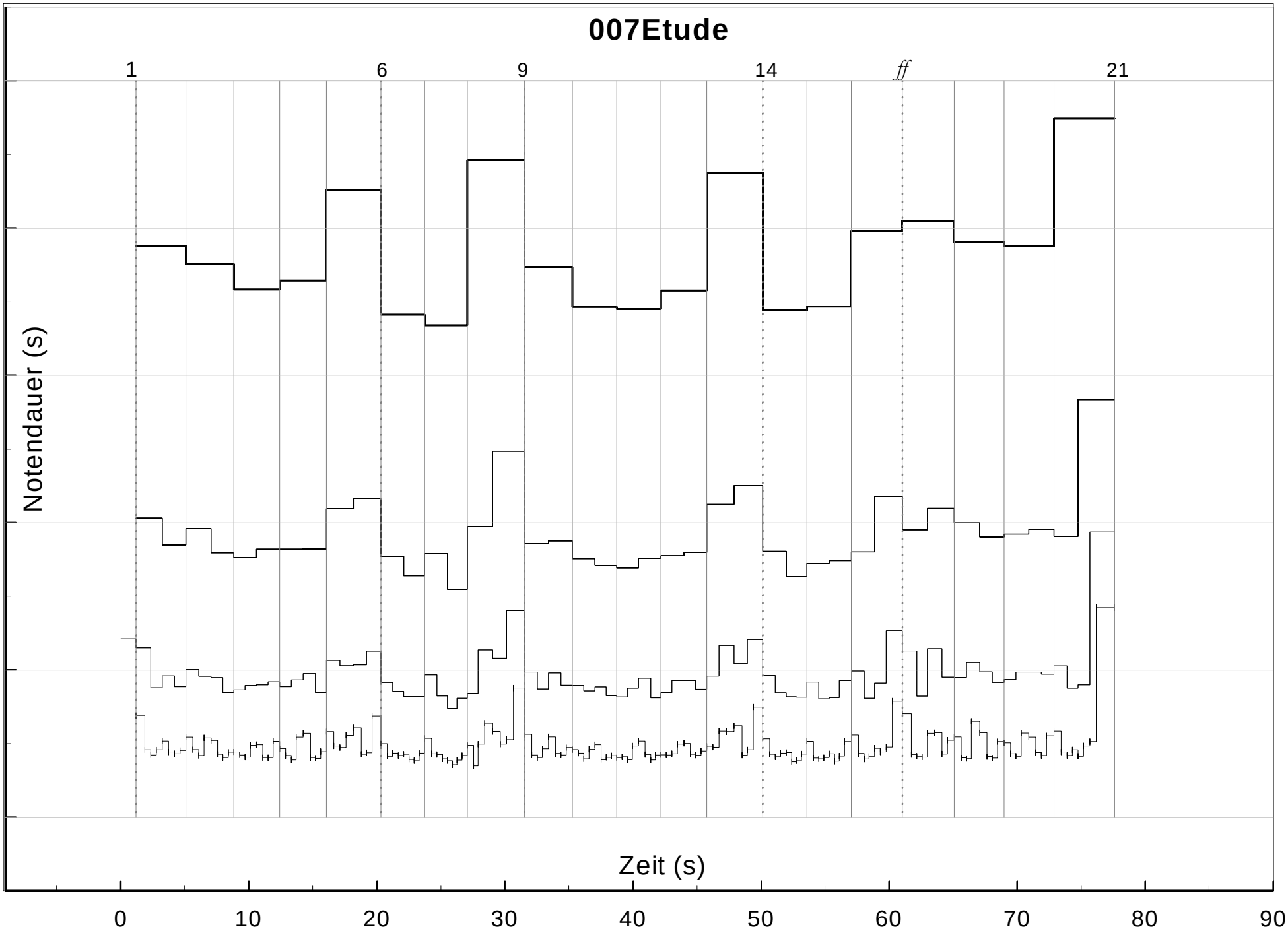

002Etude
1
6
9
14
ff
21
5
4
3
2
1
0
Notendauer (s)
Zeit (s)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90

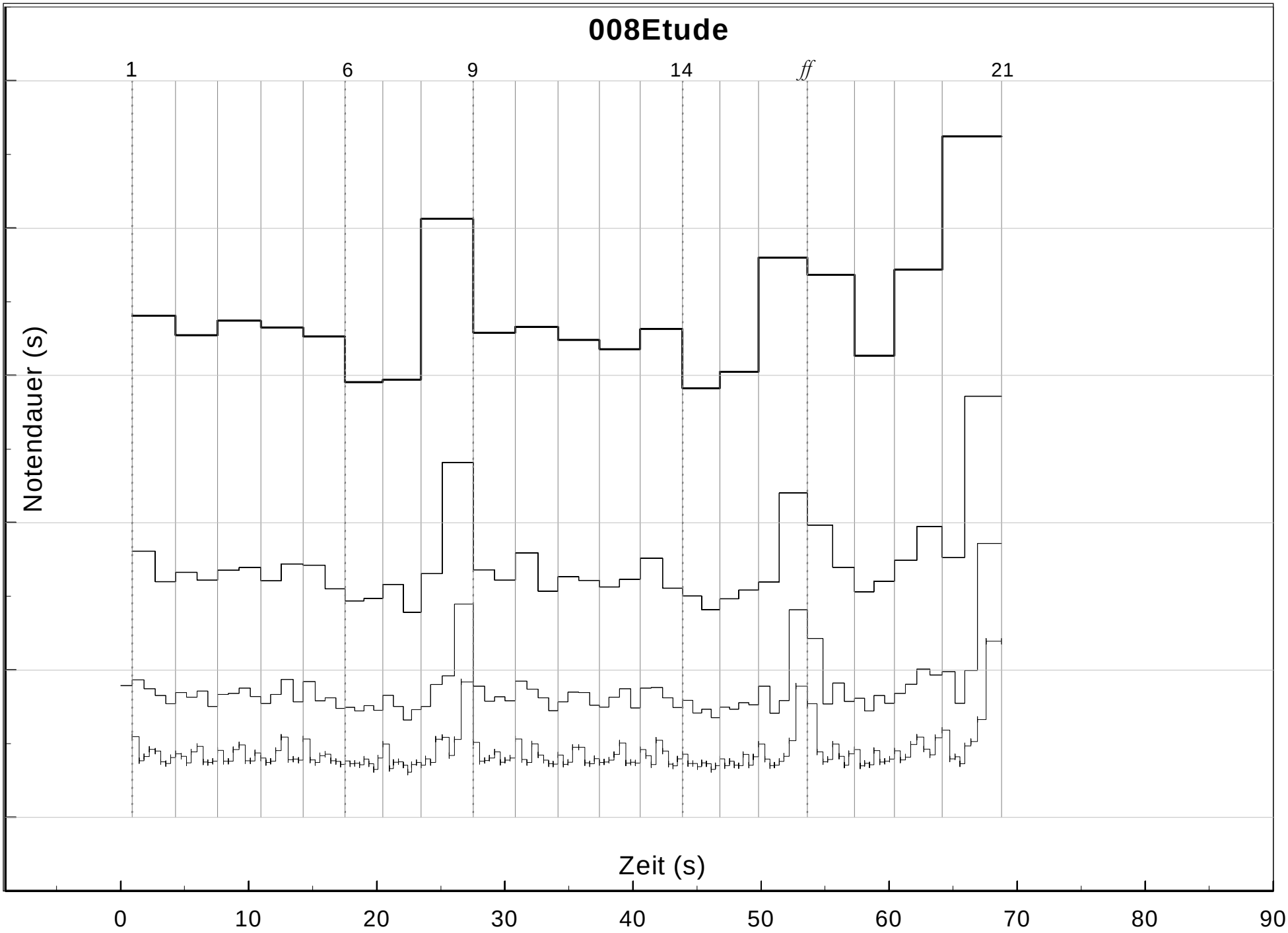

003Etude
1
6
9
14
ff
21
Notendauer (s)
0
1
2
3
4
5
Zeit (s)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90

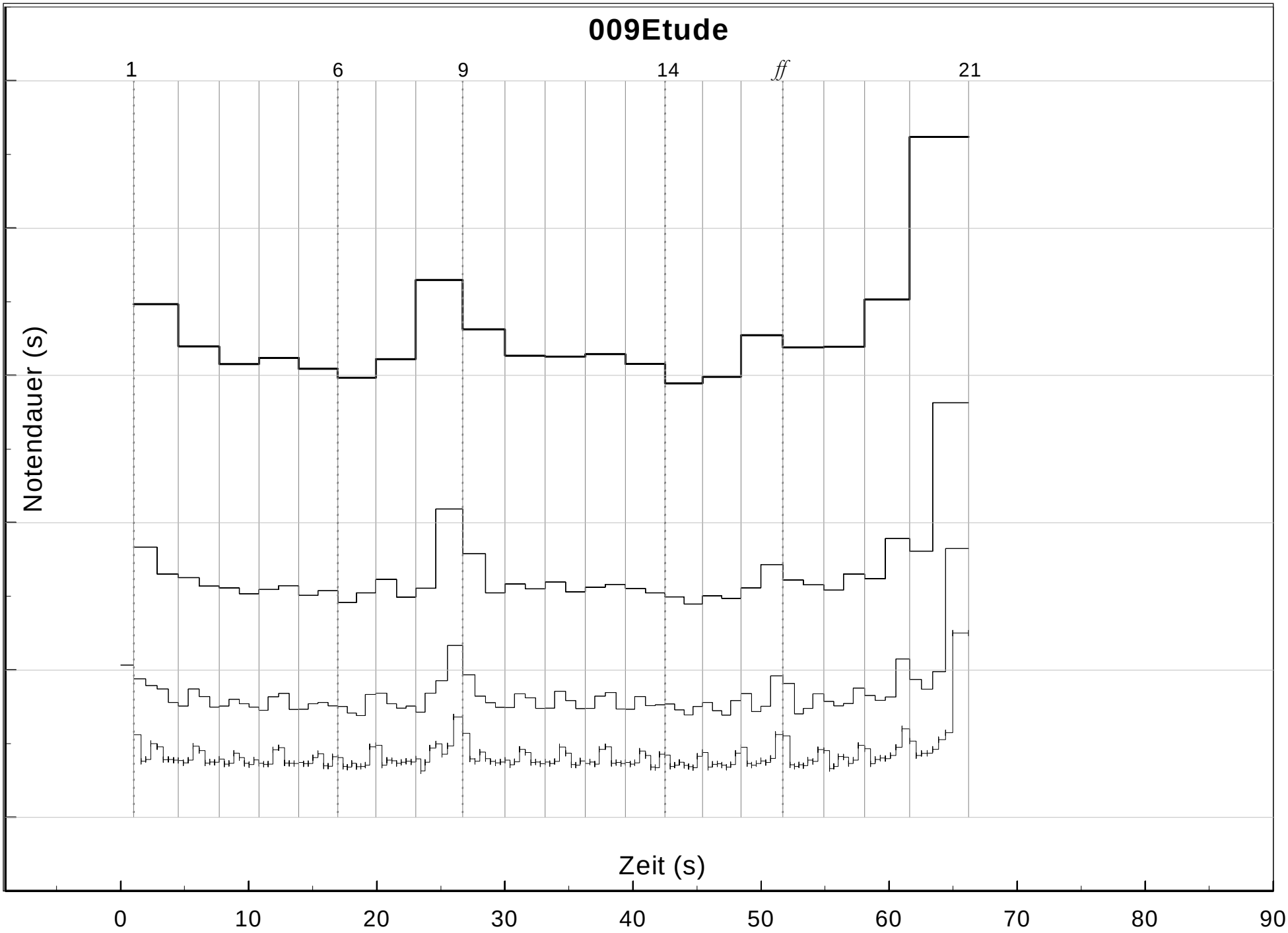

004Etude
1
6
9
14
ff
21
Notendauer (s)
Zeit (s)
0
1
2
3
4
5
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90

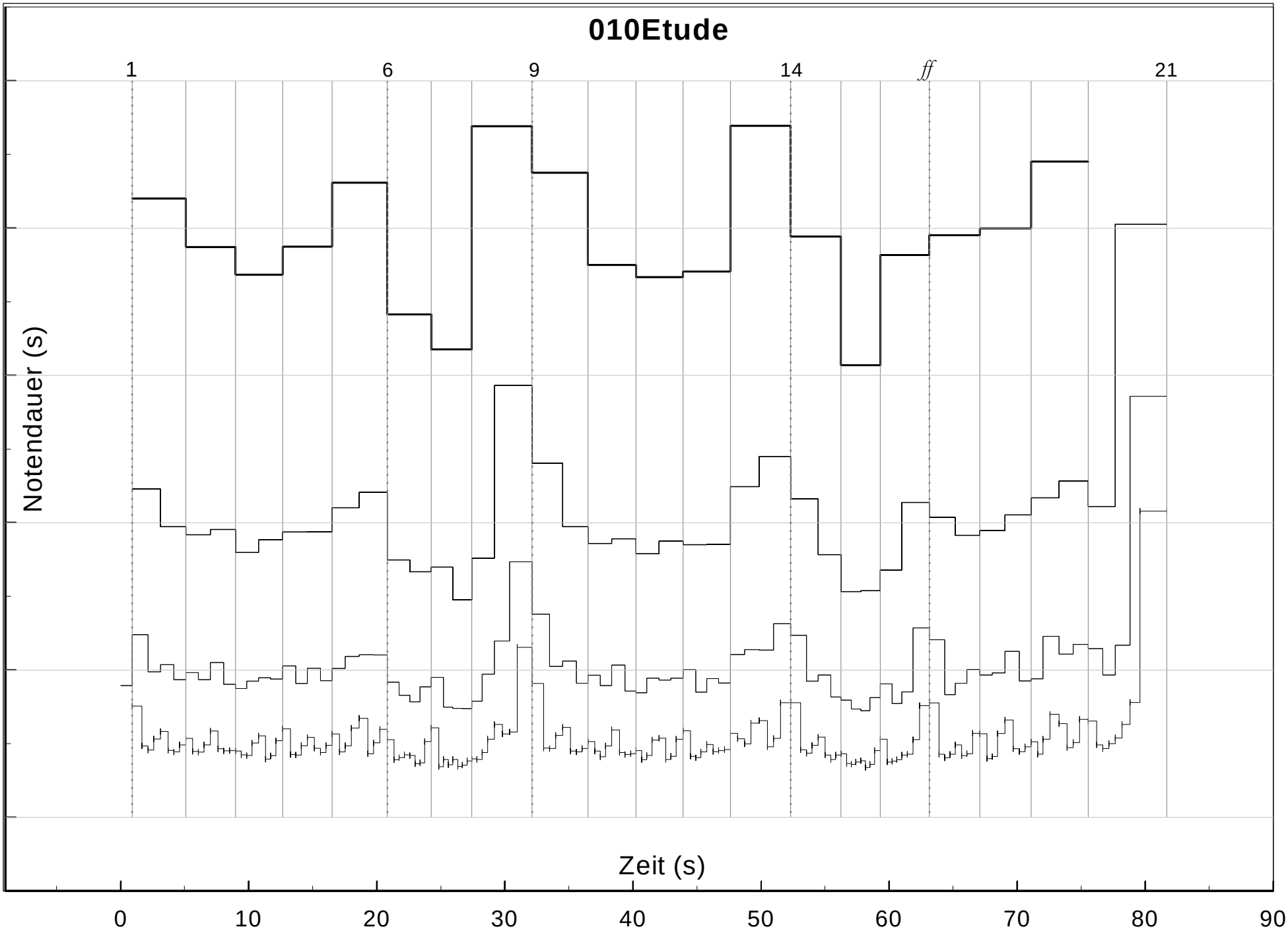

005Etude
1
6
9
14
ff
21
Notendauer (s)
0
1
2
3
4
5
Zeit (s)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90

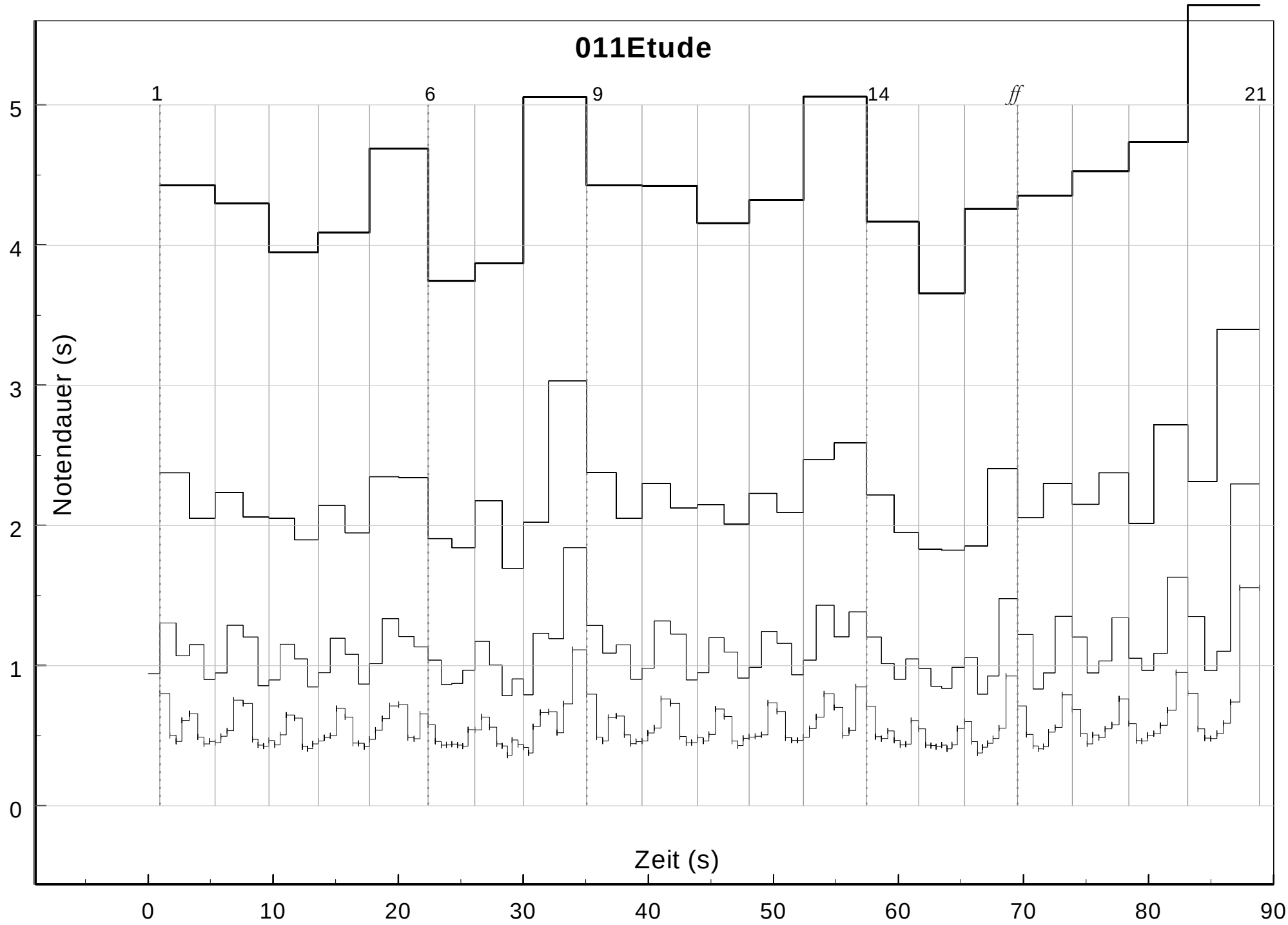

006Etude
1
6
9
14
ff
21
Notendauer (s)
Zeit (s)
0
1
2
3
4
5
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90

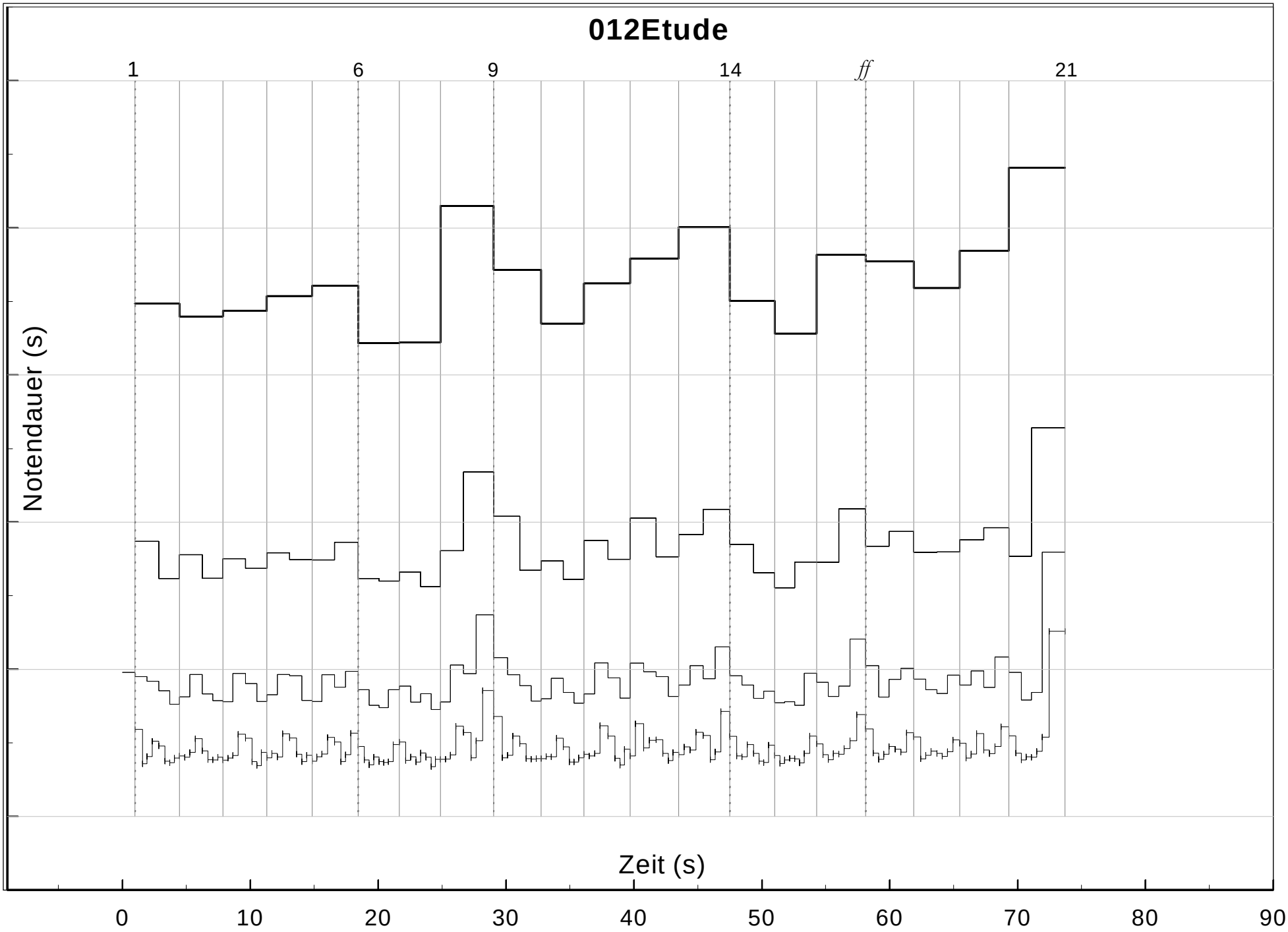

007Etude
1
6
9
14
ff
21
Notendauer (s)
0
1
2
3
4
5
Zeit (s)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90

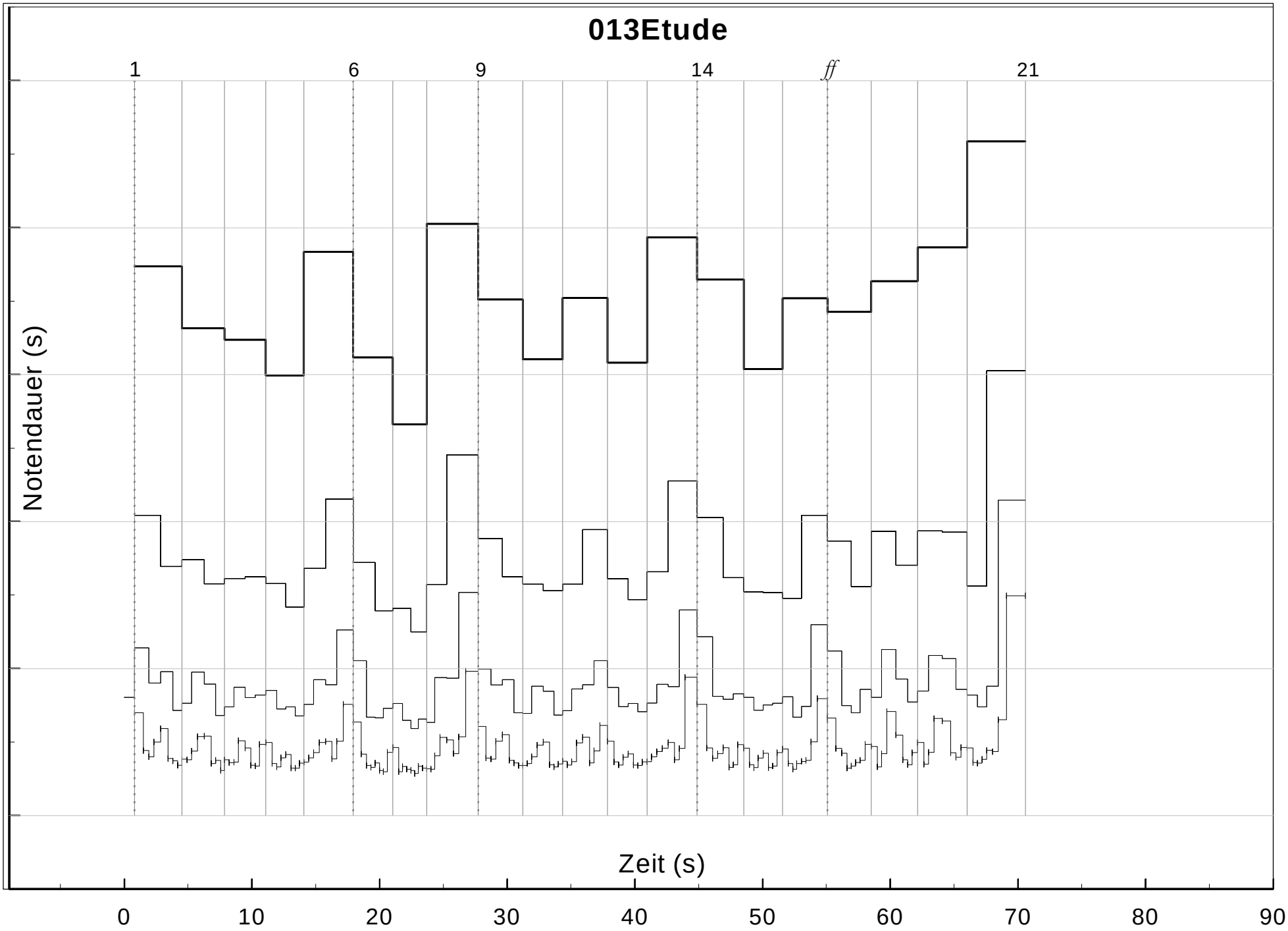

008Etude
1
6
9
14
ff
21
Notendauer (s)
Zeit (s)
0
1
2
3
4
5
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90

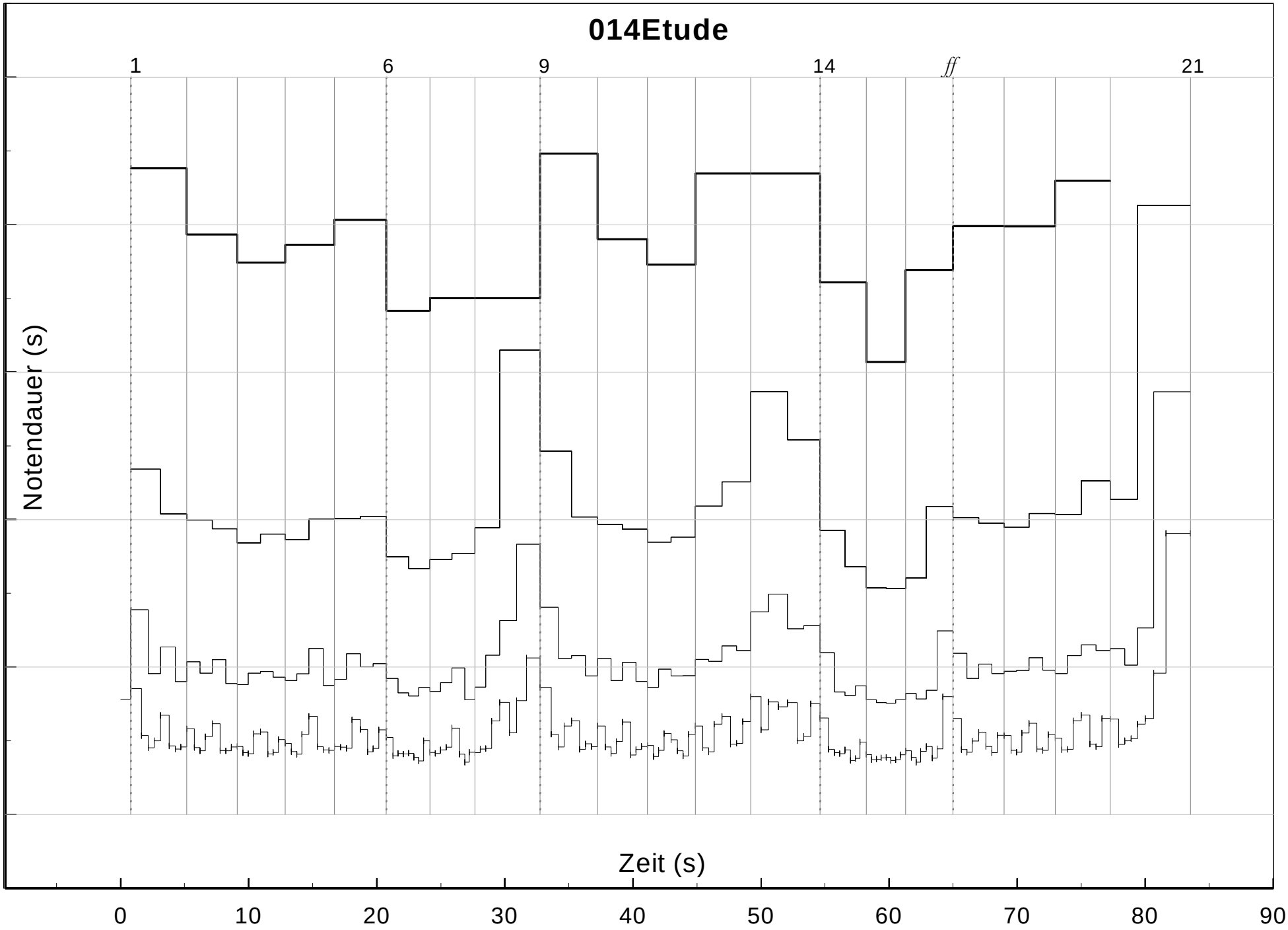

009Etude
1
6
9
14
ff
21
Notendauer (s)
Zeit (s)
0
1
2
3
4
5
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90

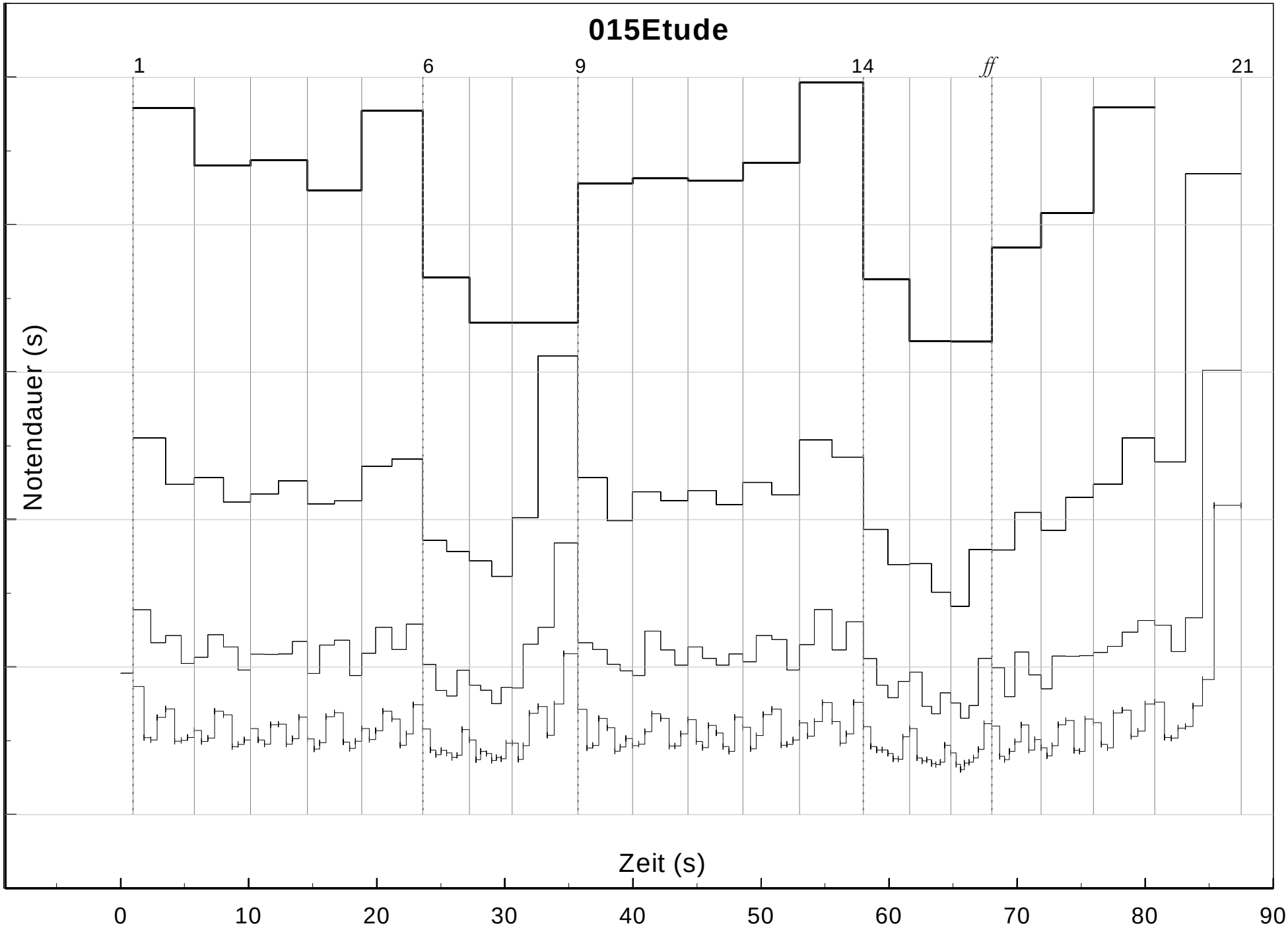

010Etude
1
6
9
14
ff
21
Notendauer (s)
Zeit (s)
0
1
2
3
4
5
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90

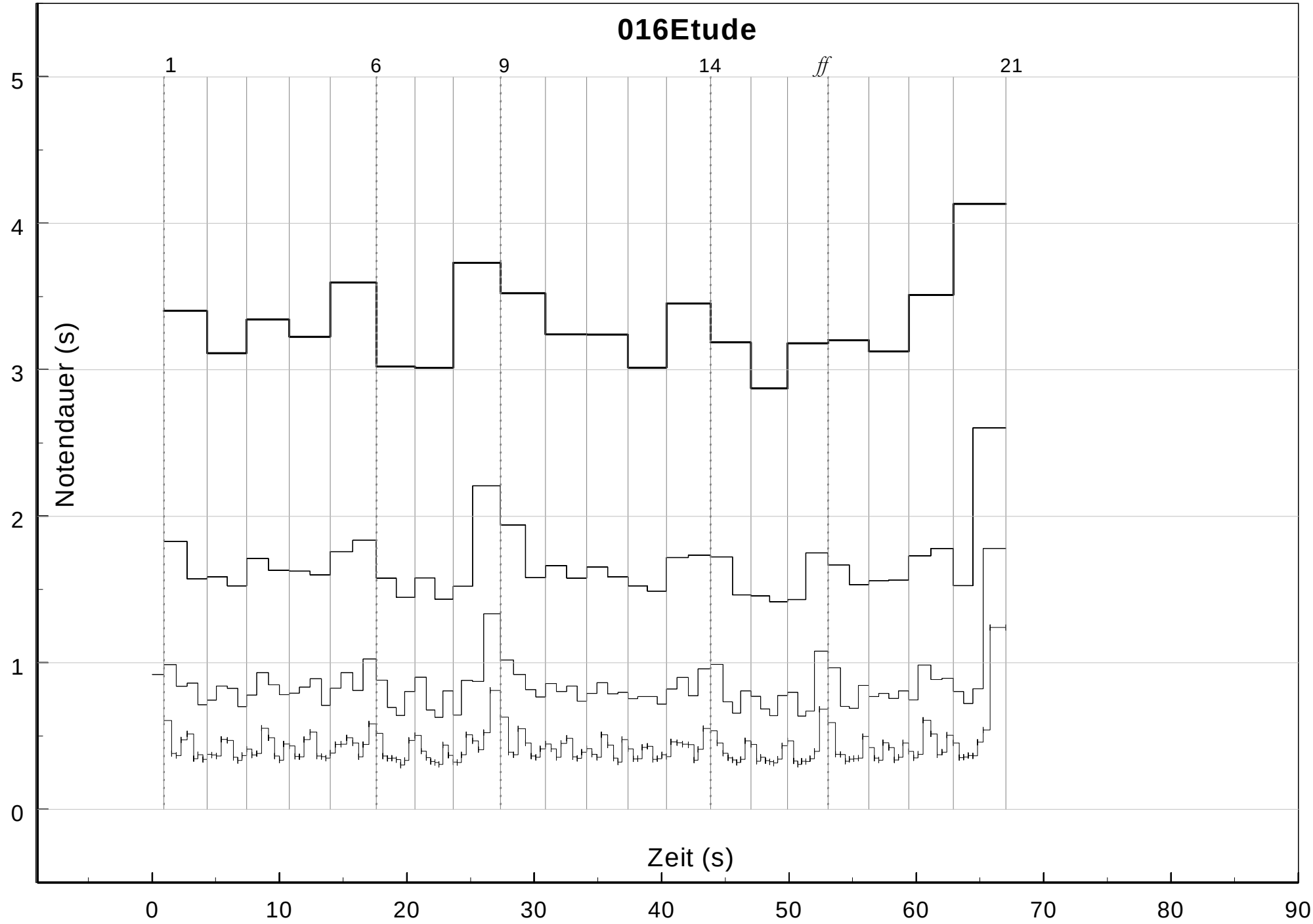

011Etude
1
6
9
14
ff
21
Notendauer (s)
0
1
2
3
4
5
Zeit (s)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90

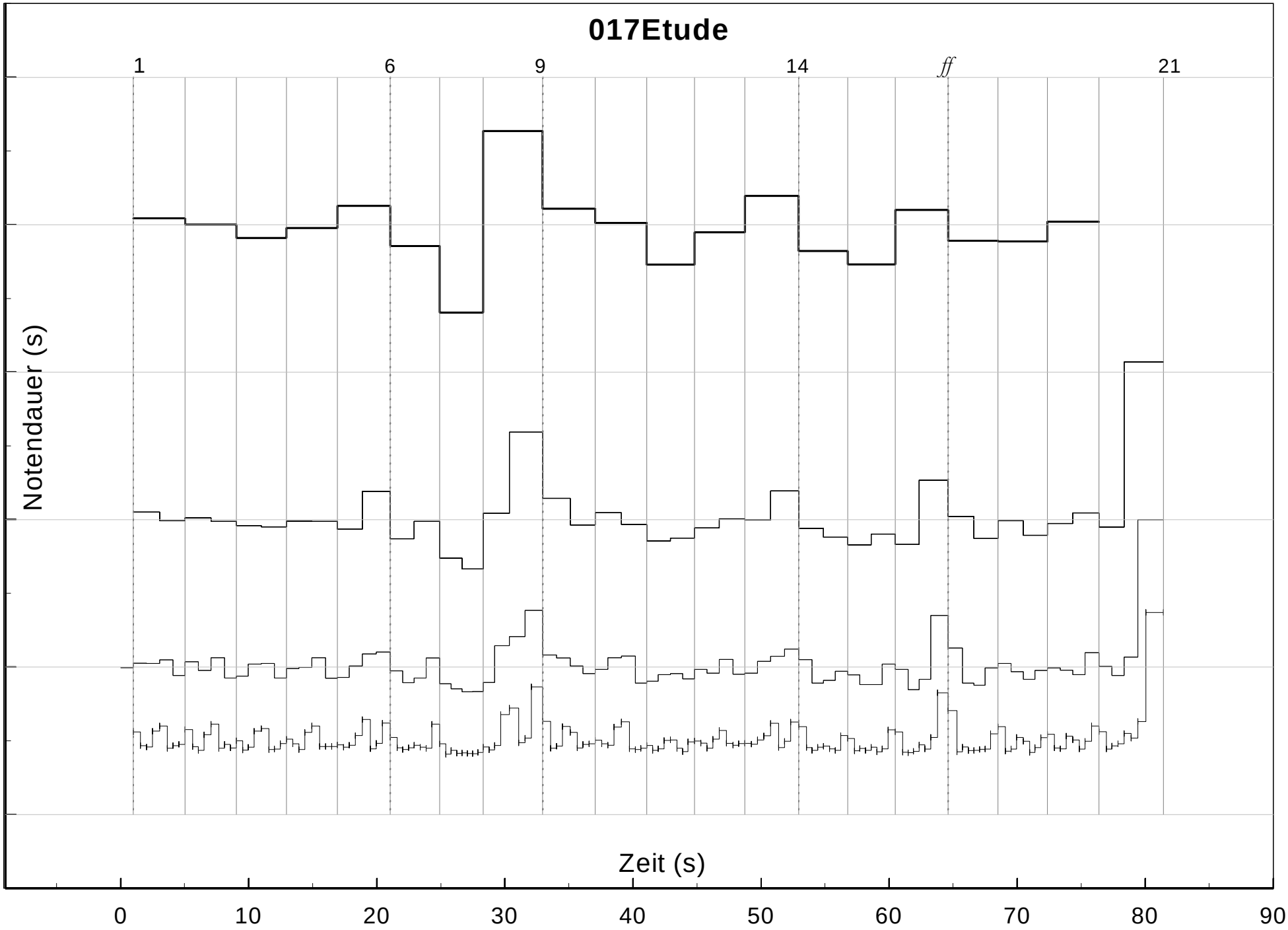

012Etude
1
6
9
14
ff
21
Notendauer (s)
Zeit (s)
0
1
2
3
4
5
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90

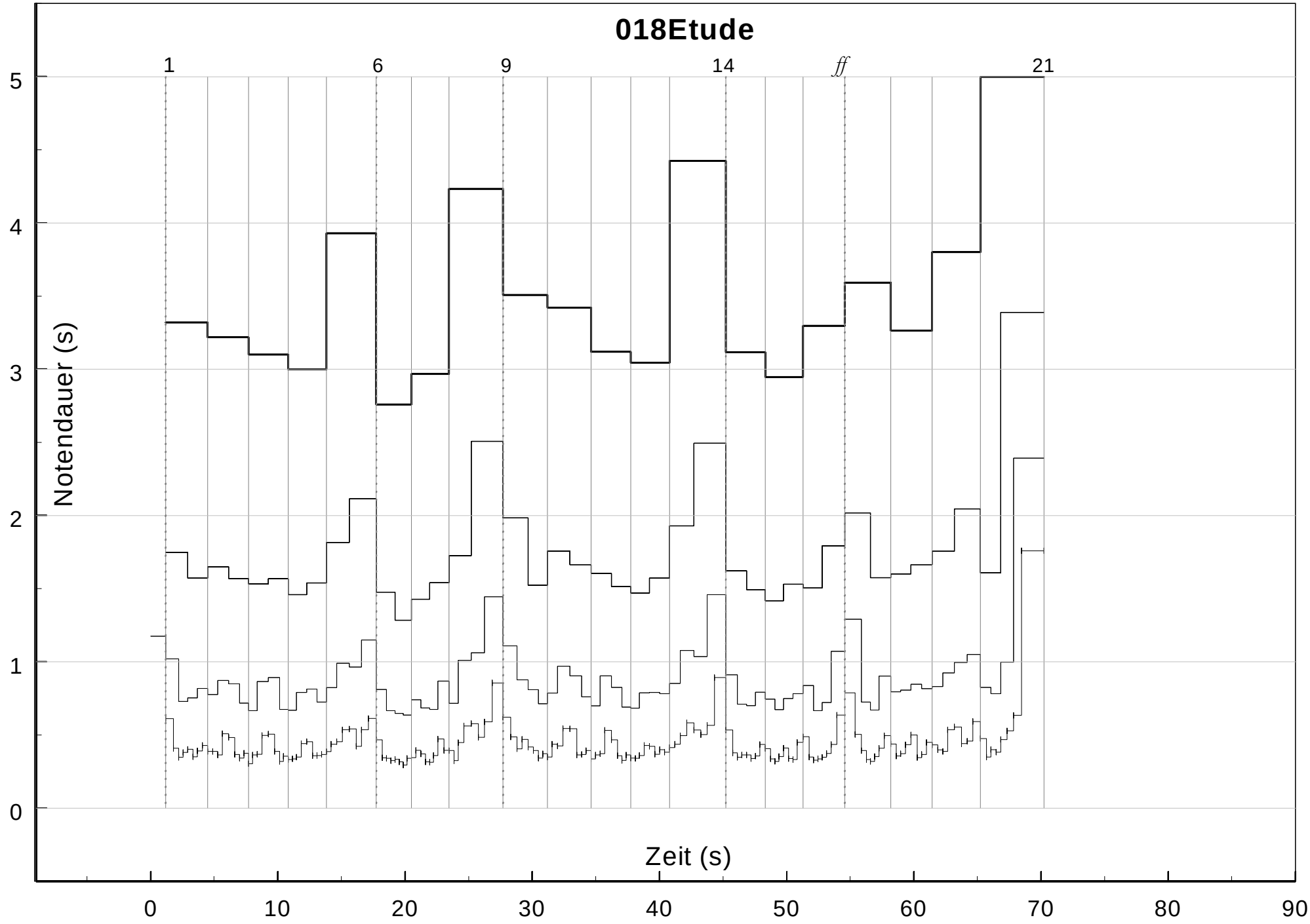

013Etude
1
6
9
14
ff
21
Notendauer (s)
Zeit (s)
0
1
2
3
4
5
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90

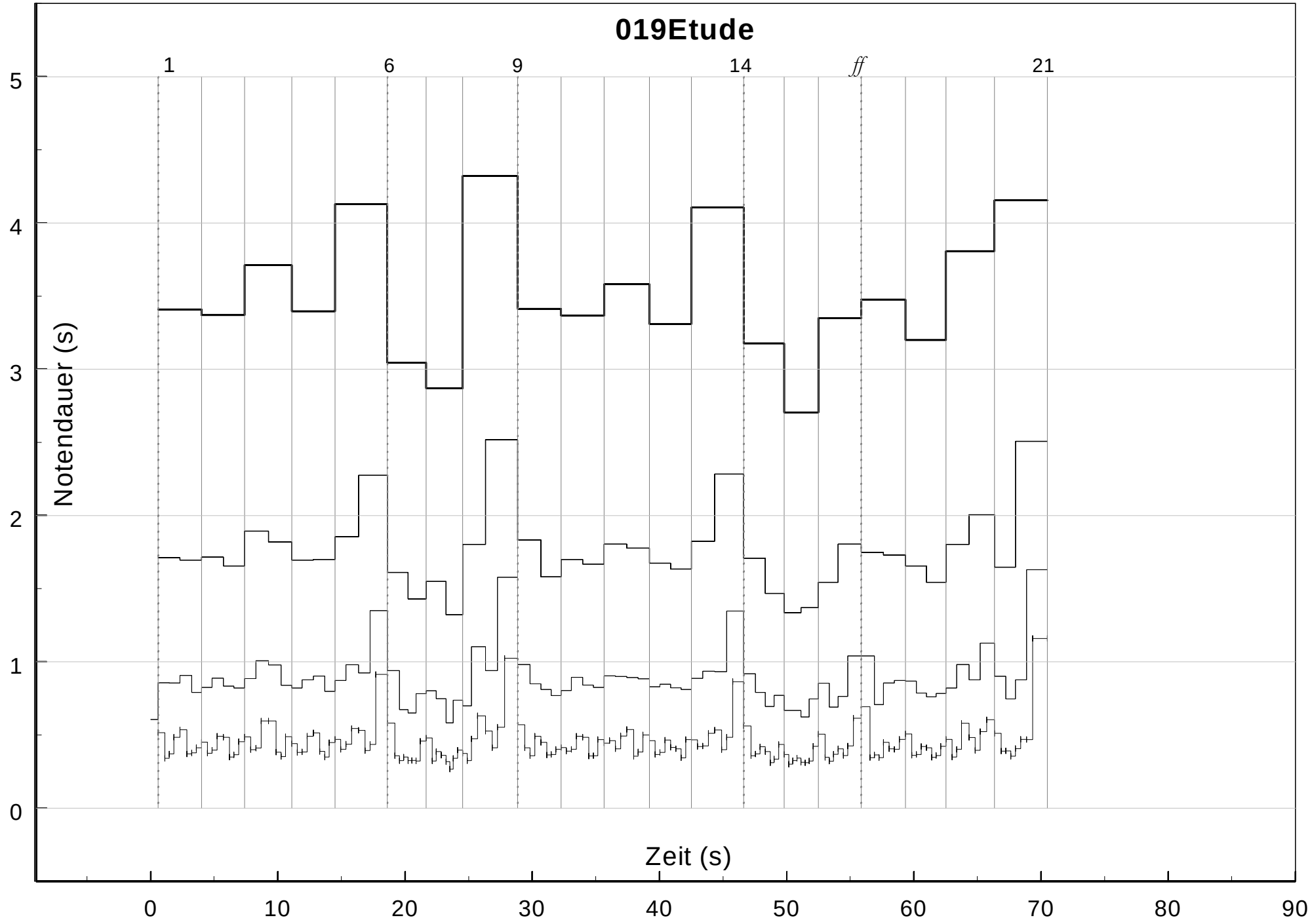

014Etude
1
6
9
14
ff
21
5
4
3
2
1
0
Notendauer (s)
Zeit (s)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90

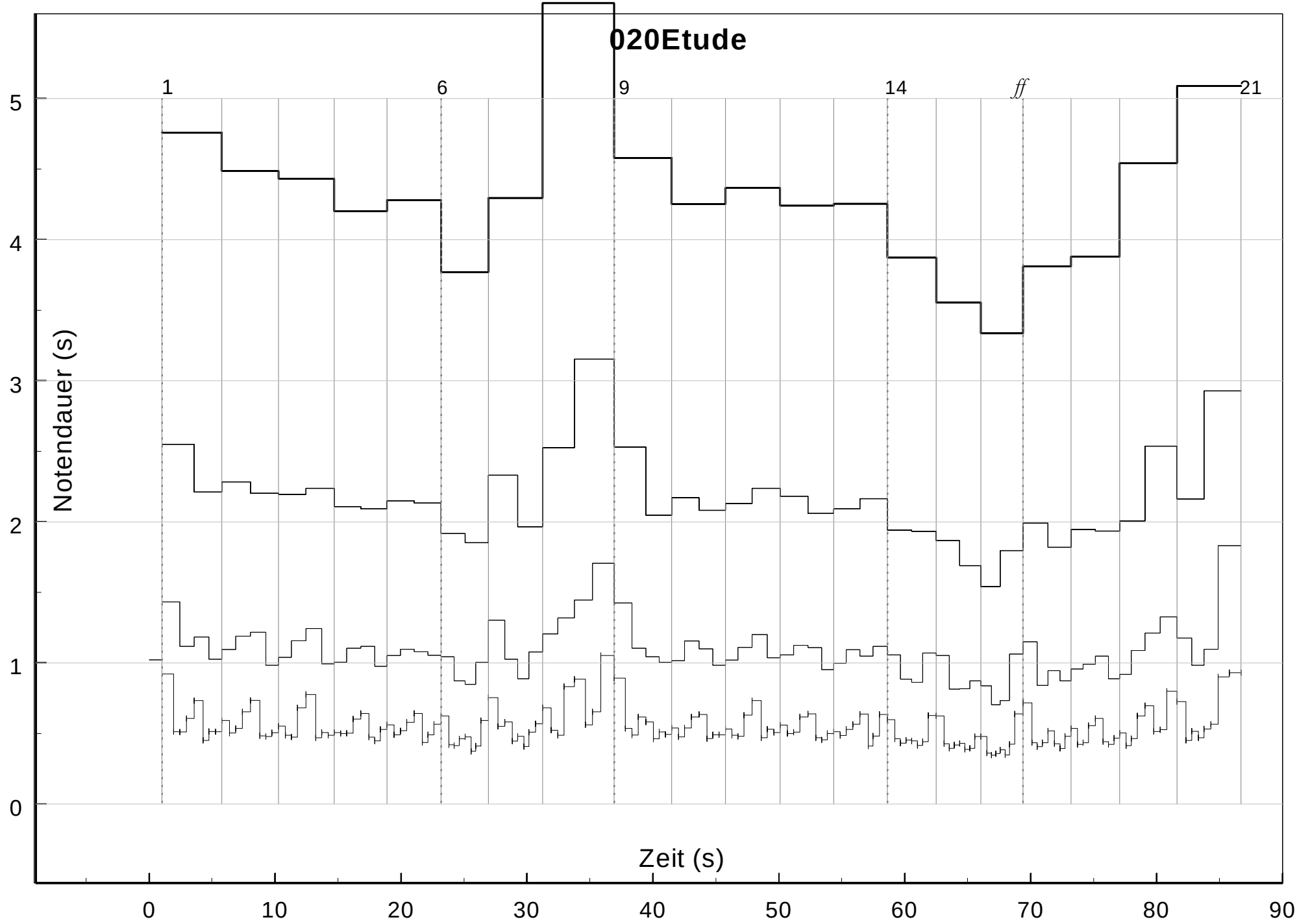

015Etude
1
6
9
14
ff
21
Notendauer (s)
0
1
2
3
4
5
Zeit (s)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90

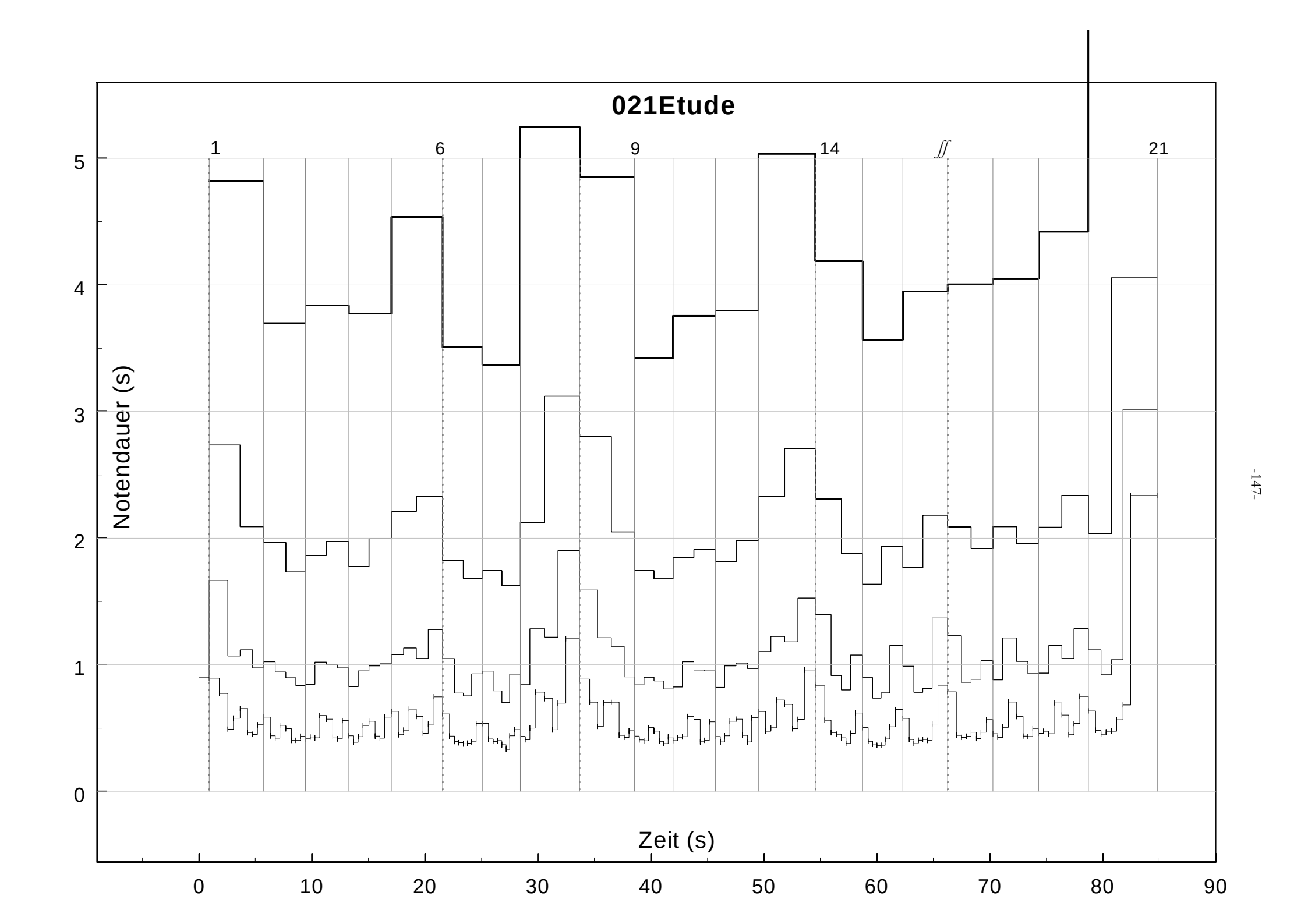

016Etude
1
6
9
14
ff
21
Notendauer (s)
0
1
2
3
4
5
Zeit (s)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90

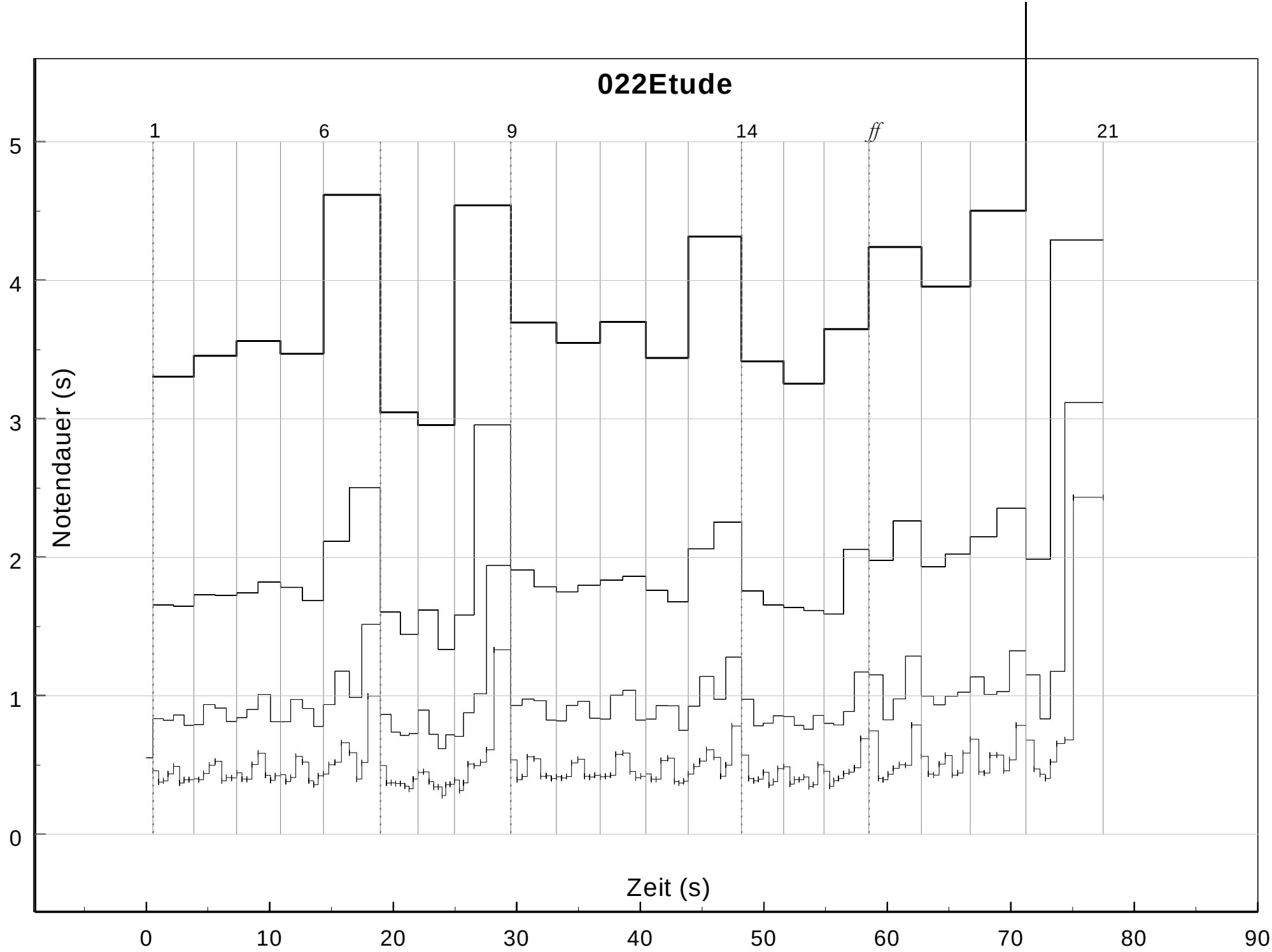

017Etude
1
6
9
14
ff
21
Notendauer (s)
0
1
2
3
4
5
Zeit (s)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90

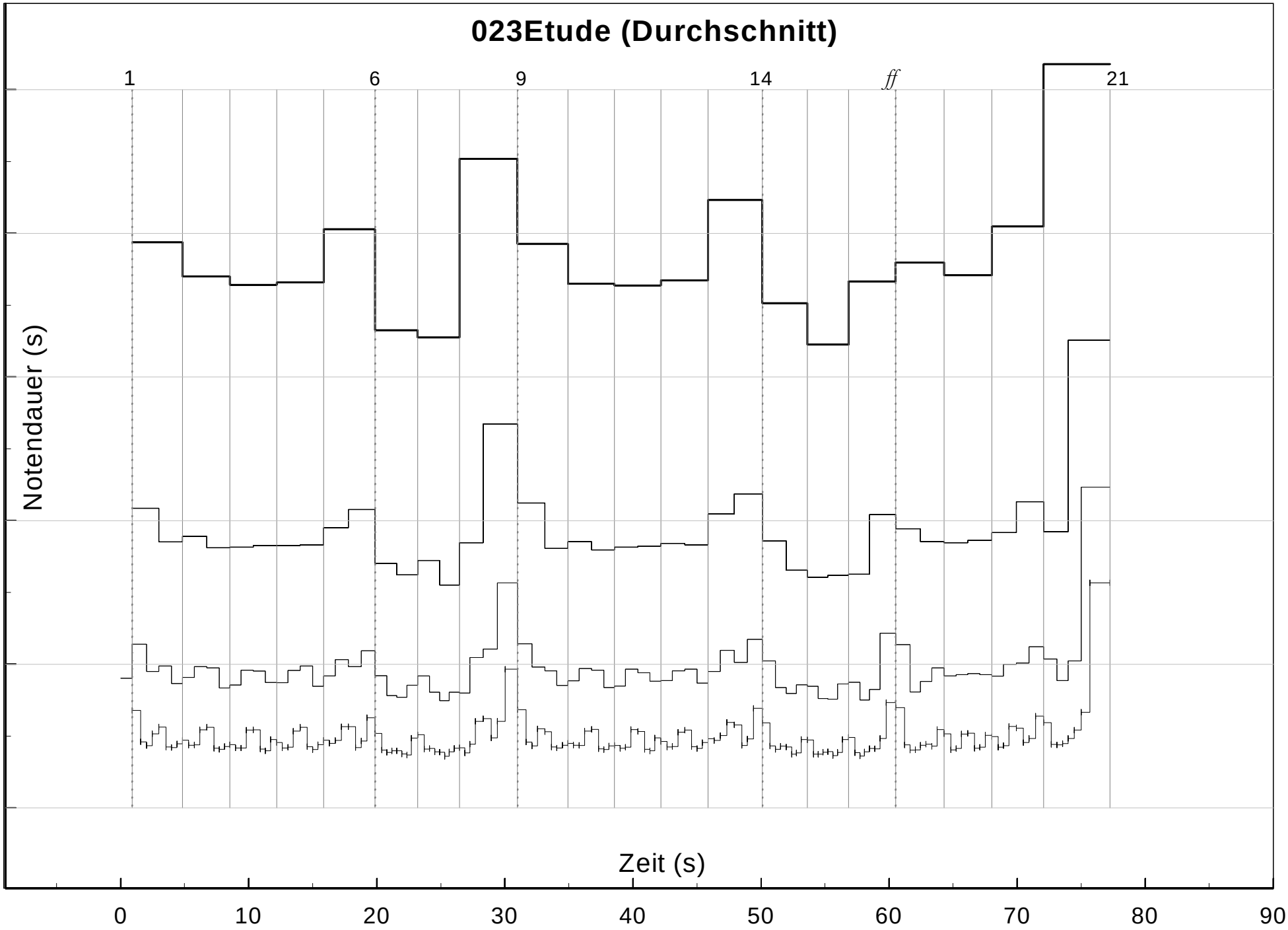

018Etude
1
6
9
14
ff
21
Notendauer (s)
0
1
2
3
4
5
Zeit (s)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90

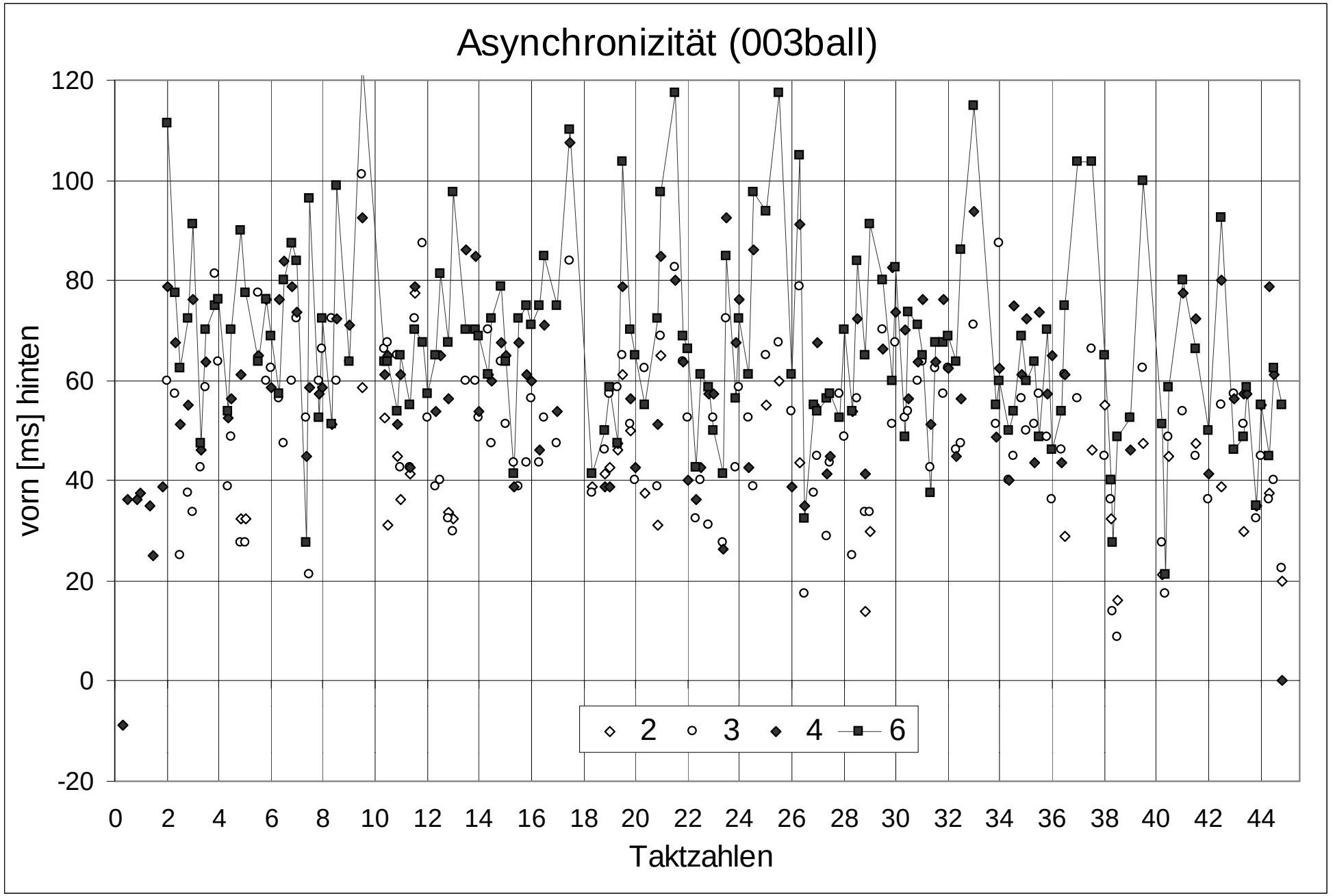

019Etude
1
6
9
14
ff
21
Notendauer (s)
0
1
2
3
4
5
Zeit (s)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90

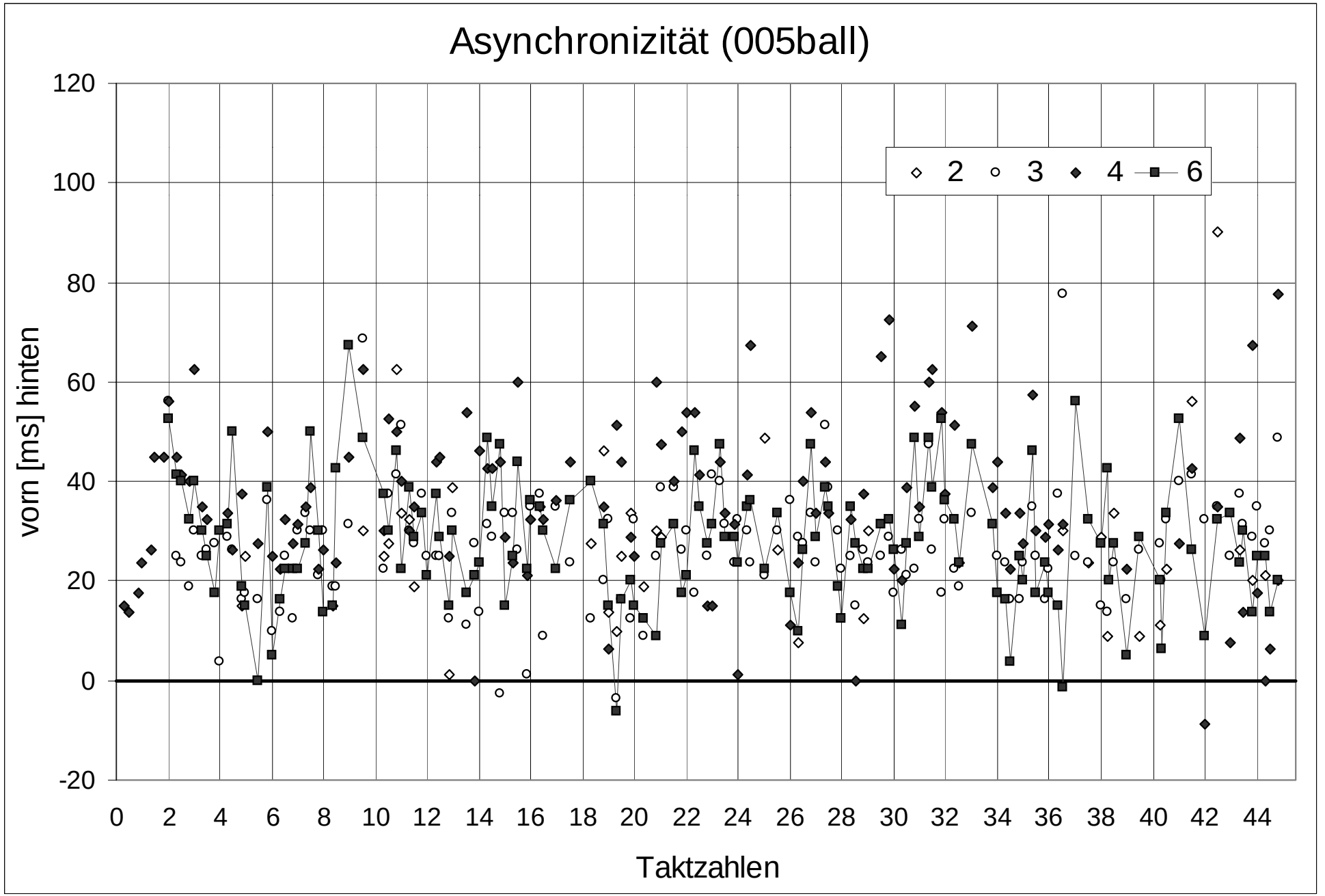

020Etude
1
6
9
14
ff
21
Notendauer (s)
0
1
2
3
4
5
Zeit (s)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90

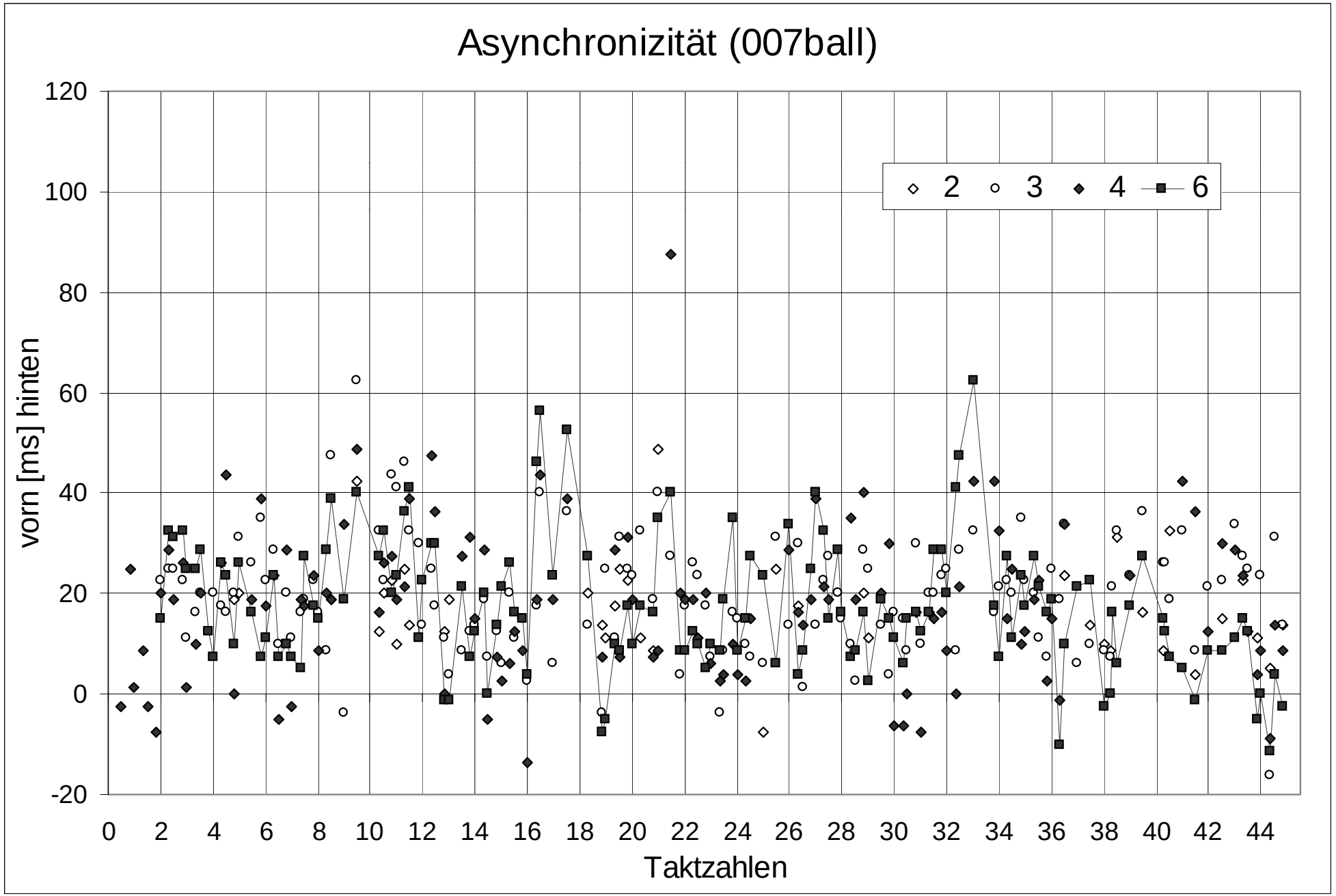

021Etude
1
6
9
14
ff
21
Notendauer (s)
0
1
2
3
4
5
Zeit (s)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90

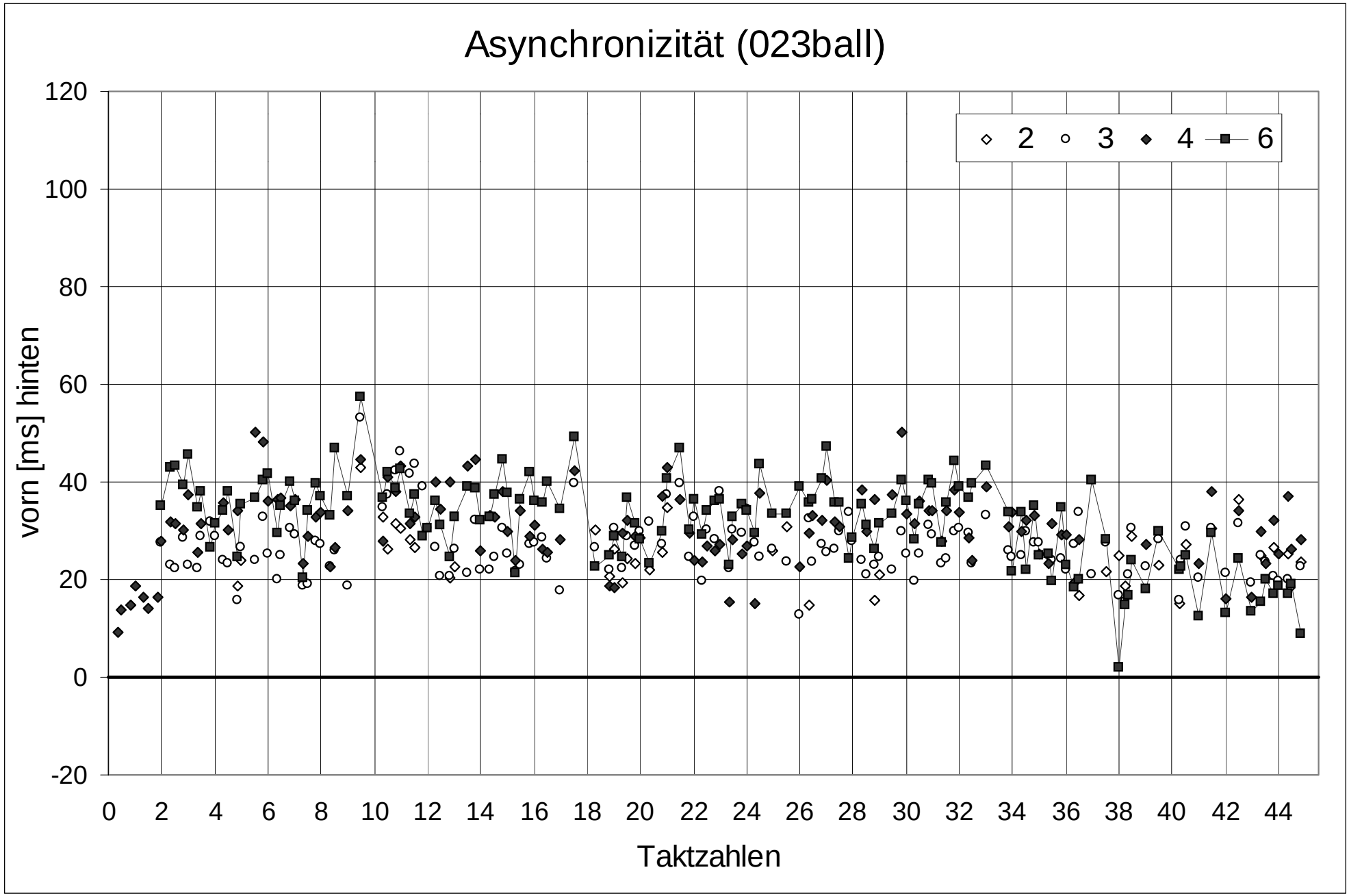

022Etude
1
6
9
14
ff
21
Notendauer (s)
0
1
2
3
4
5
Zeit (s)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90

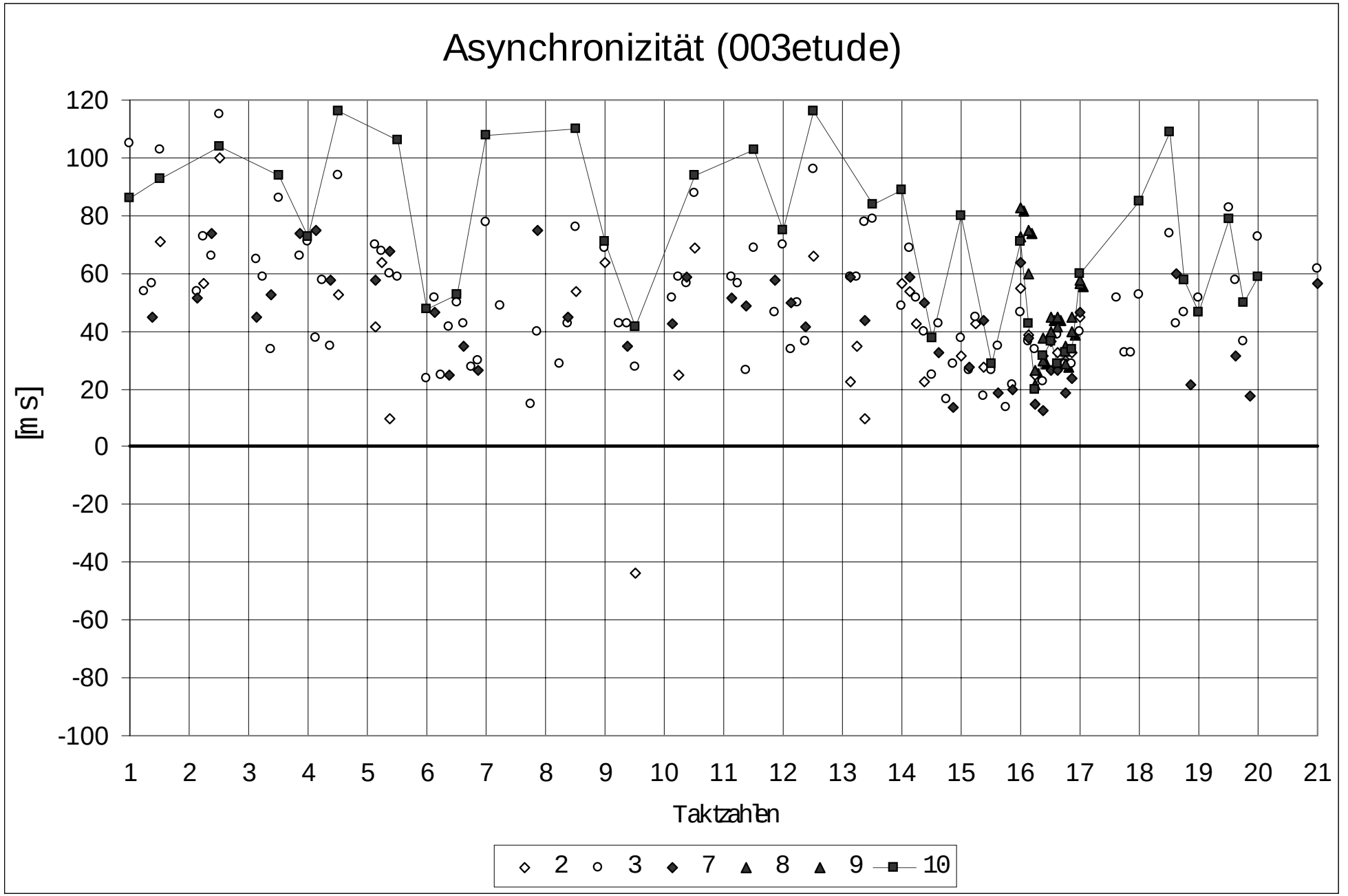

023Etude (Durchschnitt)
1
6
9
14
ff
21
Notendauer (s)
0
1
2
3
4
5
Zeit (s)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90

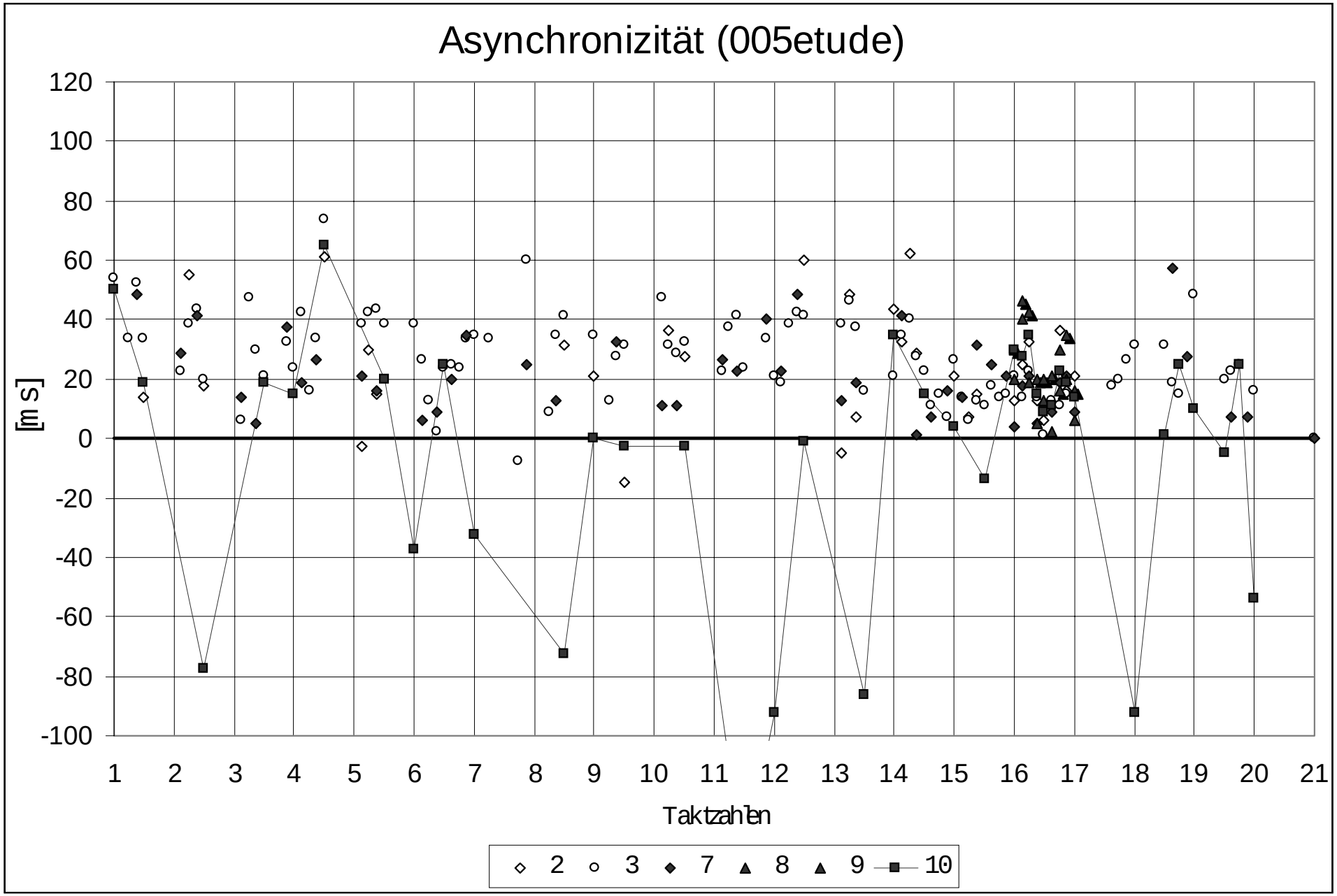

Asynchronizität (003ball)
vorn [ms] hinten
120
100
80
60
40
20
0
-20
0 2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24 26 28 30 32 34 36 38 40 42 44
Taktzahlen
2
3
4
6

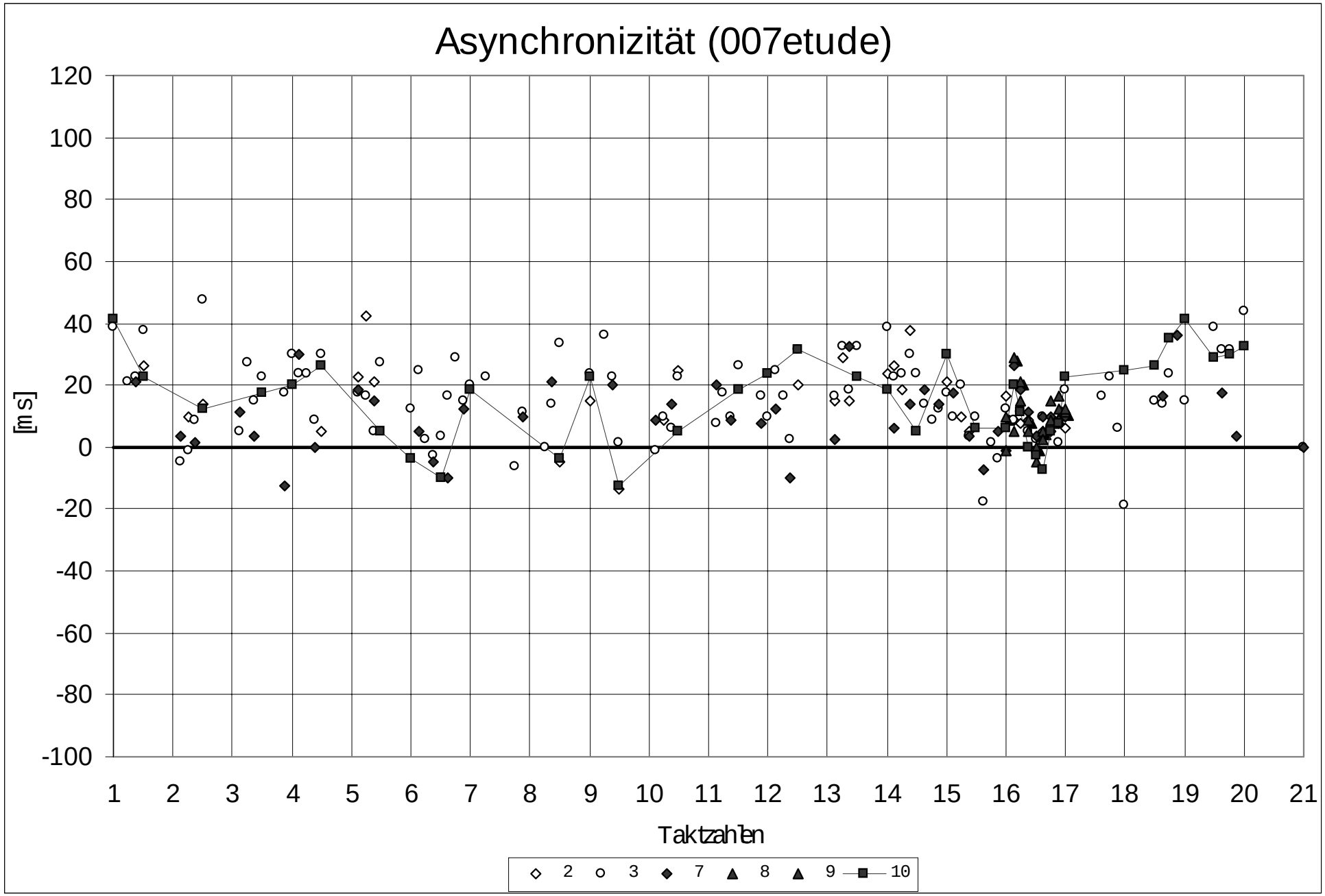

Asynchronizität (005ball)
120
100
80
60
40
20
0
-20
vorn [ms] hinten
2
3
4
6
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
22
24
26
28
30
32
34
36
38
40
42
44
Taktzahlen

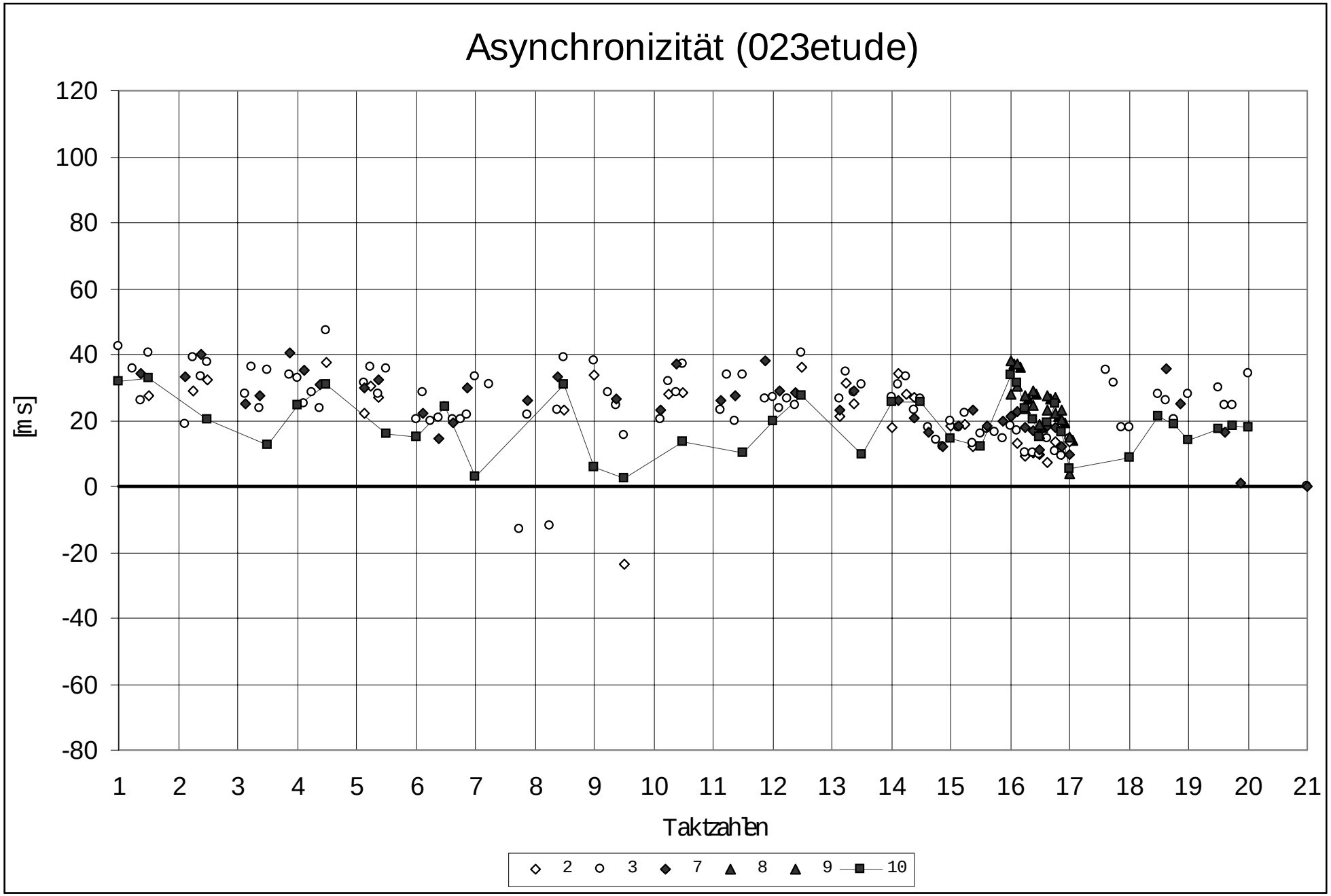

Asynchronizität (007ball)
120
100
80
60
40
20
0
-20
vorn [ms] hinten
2
3
4
6
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
22
24
26
28
30
32
34
36
38
40
42
44
Taktzahlen


Asynchronizität (023ball)
2
3
4
6
120
100
80
60
40
20
0
-20
vorn [ms] hinten
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
22
24
26
28
30
32
34
36
38
40
42
44
Taktzahlen

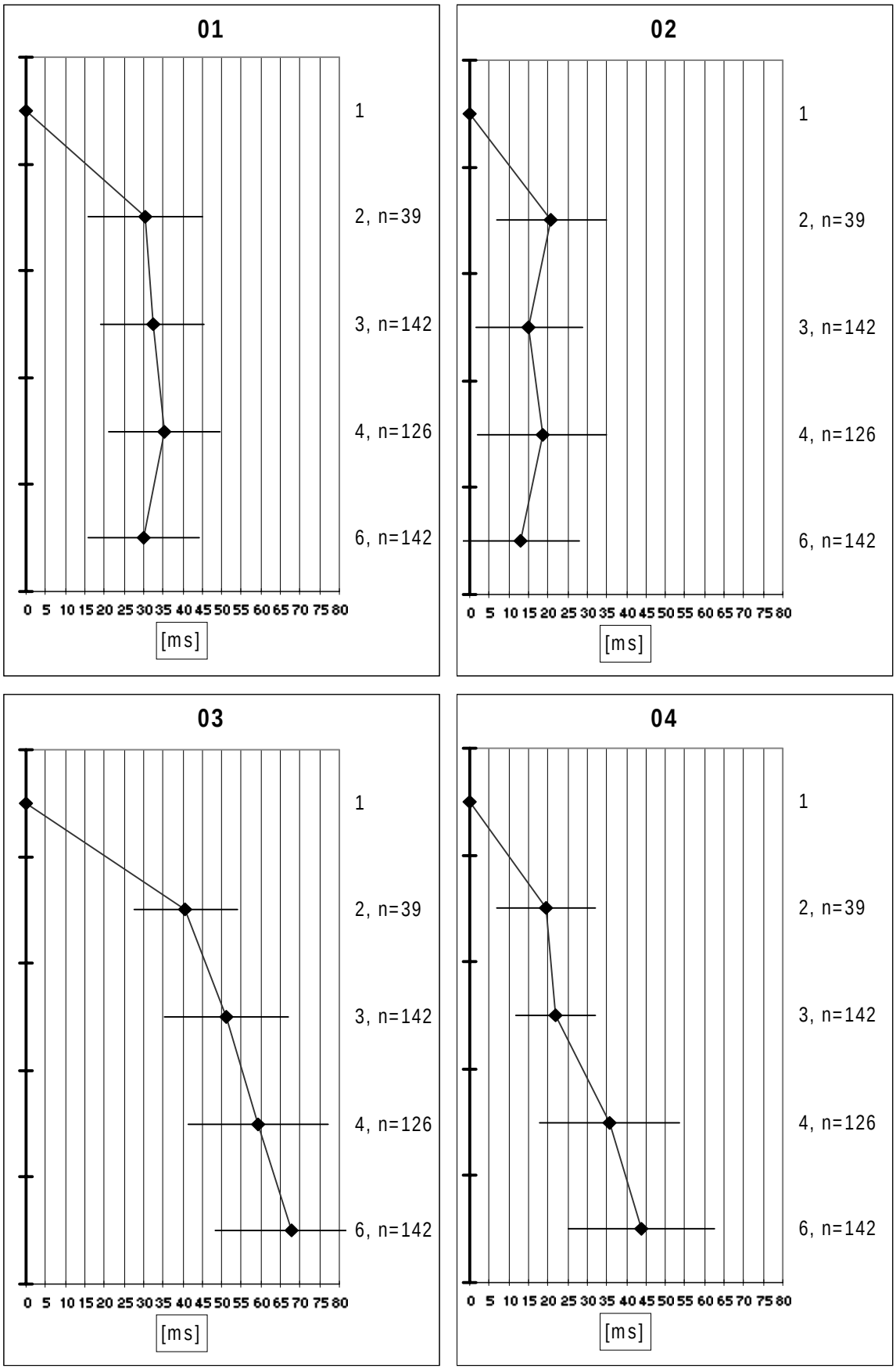

Asynchronizität (003etude)
120
100
80
60
40
20
0
-20
-40
-60
-80
-100
[ms]
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
Taktzahlen
2
3
7
8
9
10


Asynchronizität (005etude)
120
100
80
60
40
20
0
-20
-40
-60
-80
-100
[ms]
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
Taktzahlen
2
3
7
8
9
10

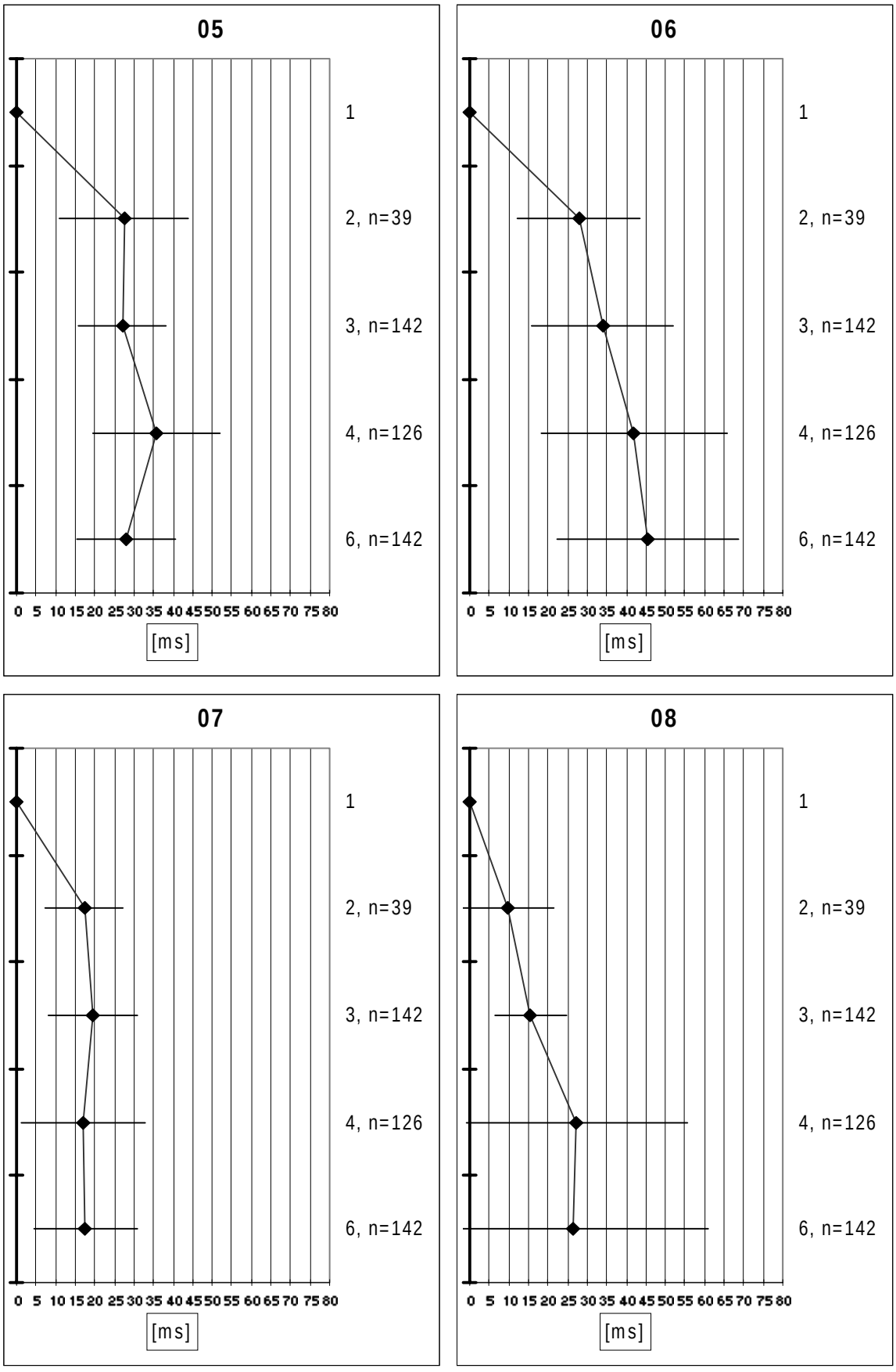

Asynchronizität (007etude)
120
100
80
60
40
20
0
-20
-40
-60
-80
-100
[ms]
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
Taktzahlen
2
3
7
8
9
10


Asynchronizität (023etude)
120
100
80
60
40
20
0
-20
-40
-60
-80
[ms]
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
Taktzahlen
2
3
7
8
9
10

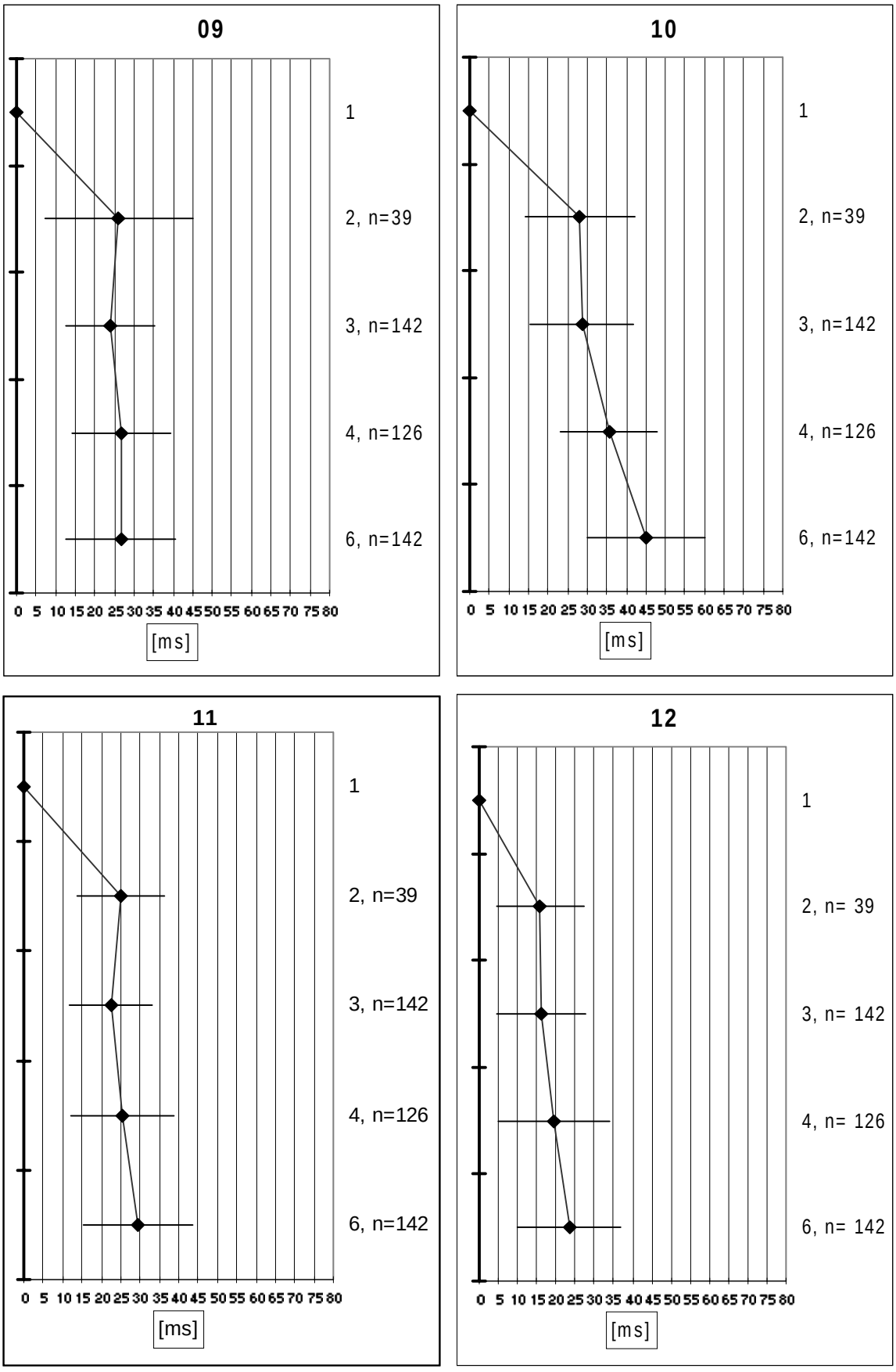
Durchschnittliche Akkordprofile. ***Ballade 1–4***



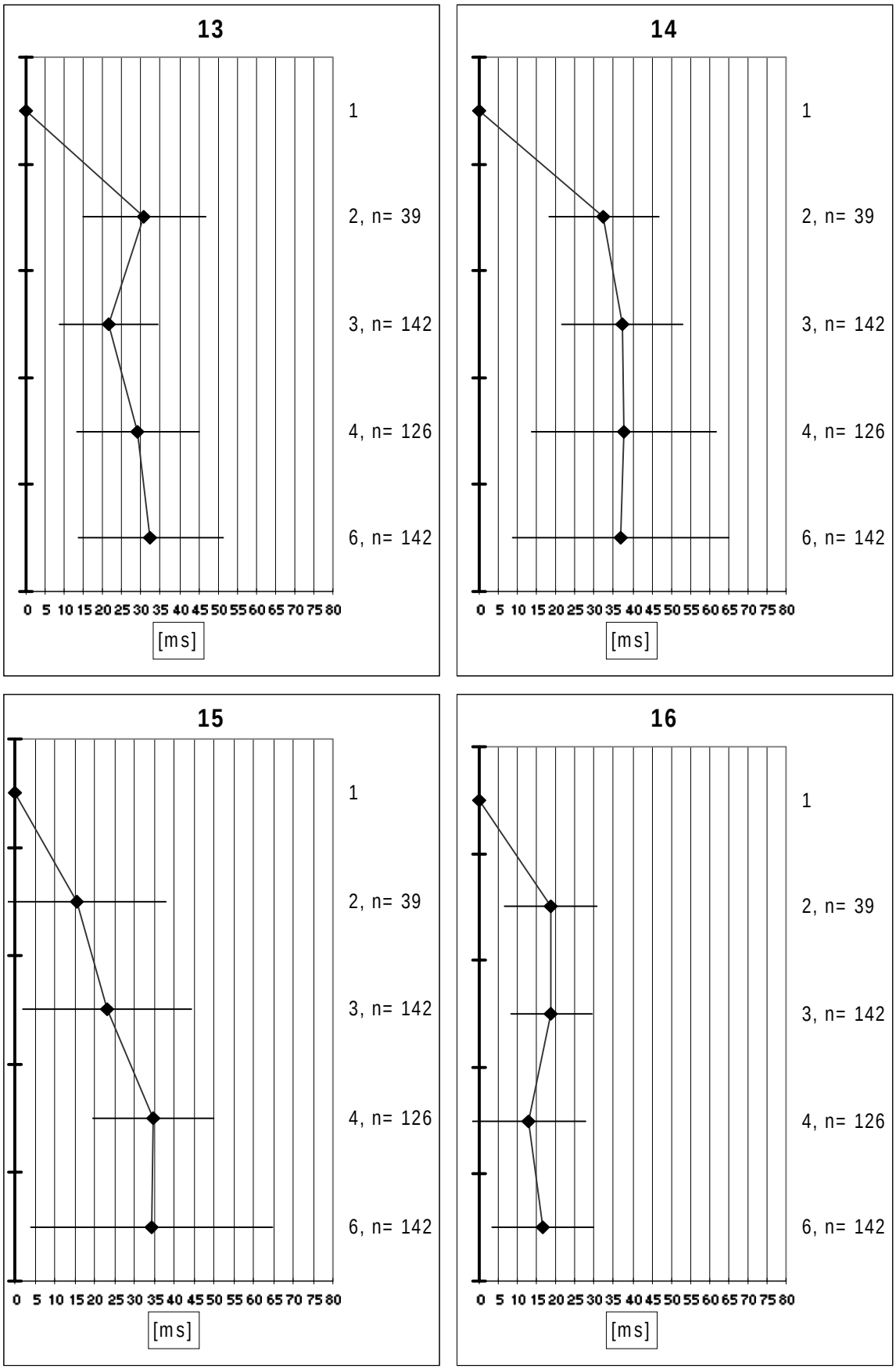
Durchschnittliche Akkordprofile. ***Ballade 5–8***



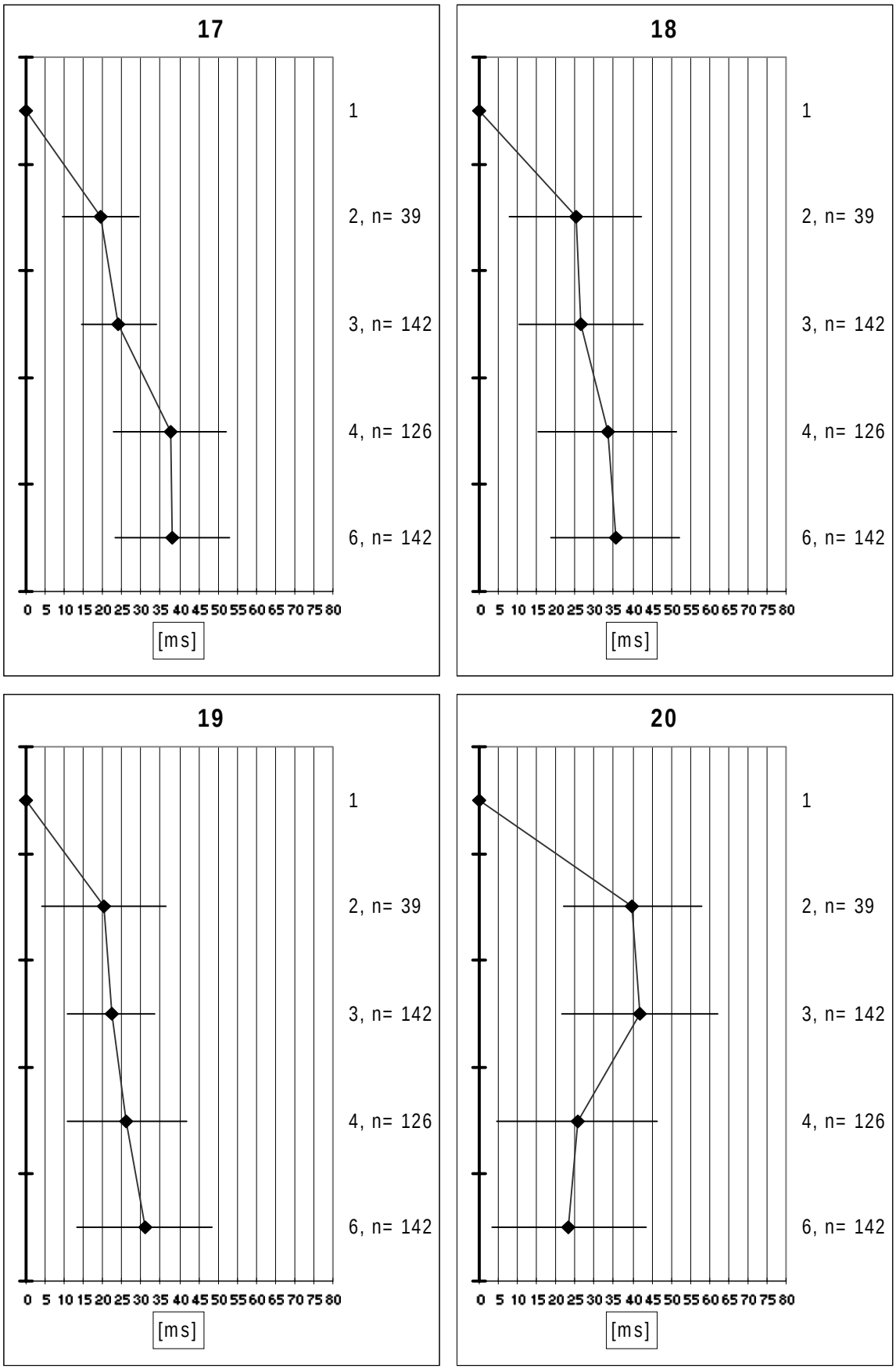
Durchschnittliche Akkordprofile. ***Ballade 9–12***



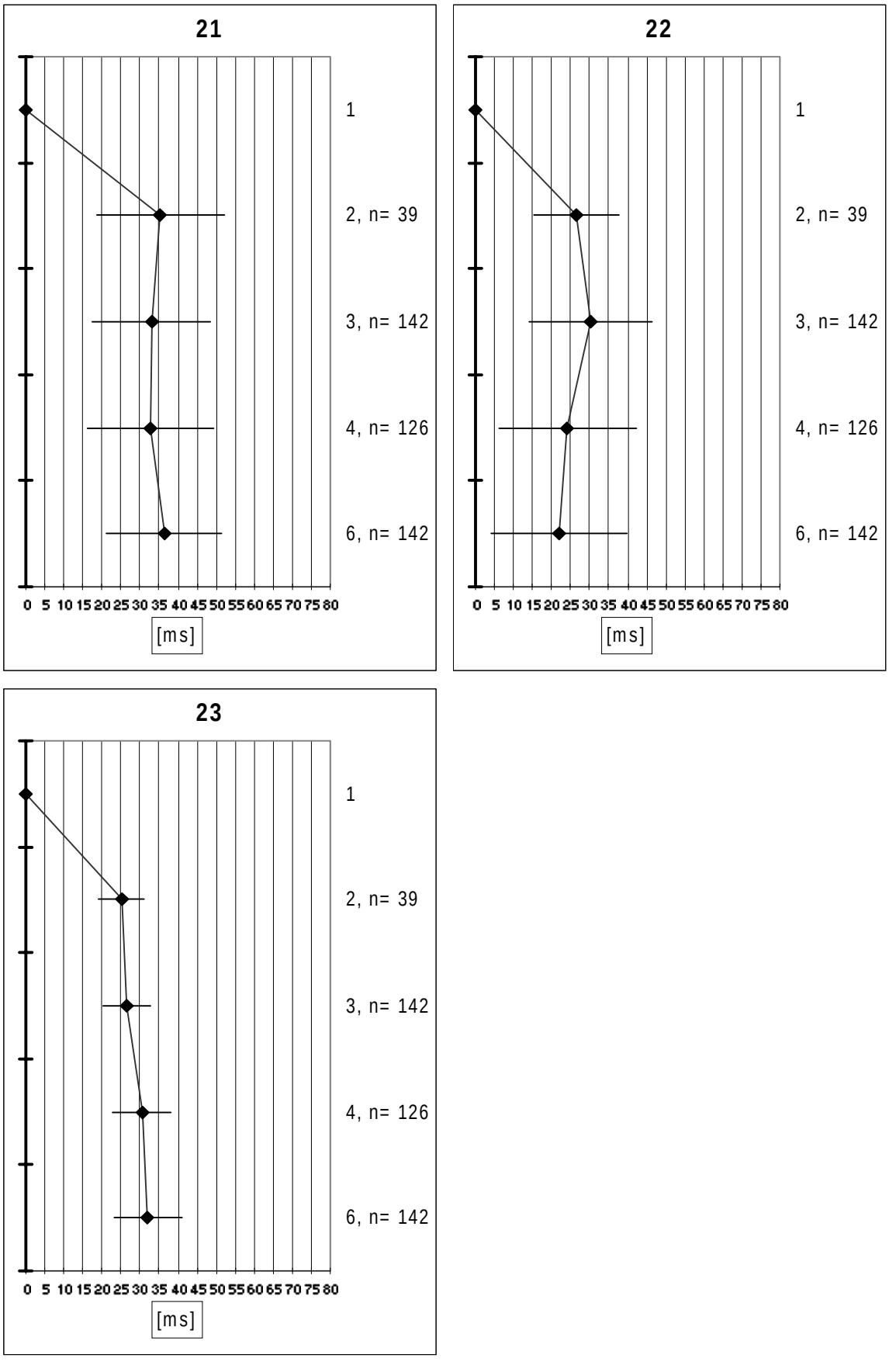
Durchschnittliche Akkordprofile. ***Ballade 13–16***



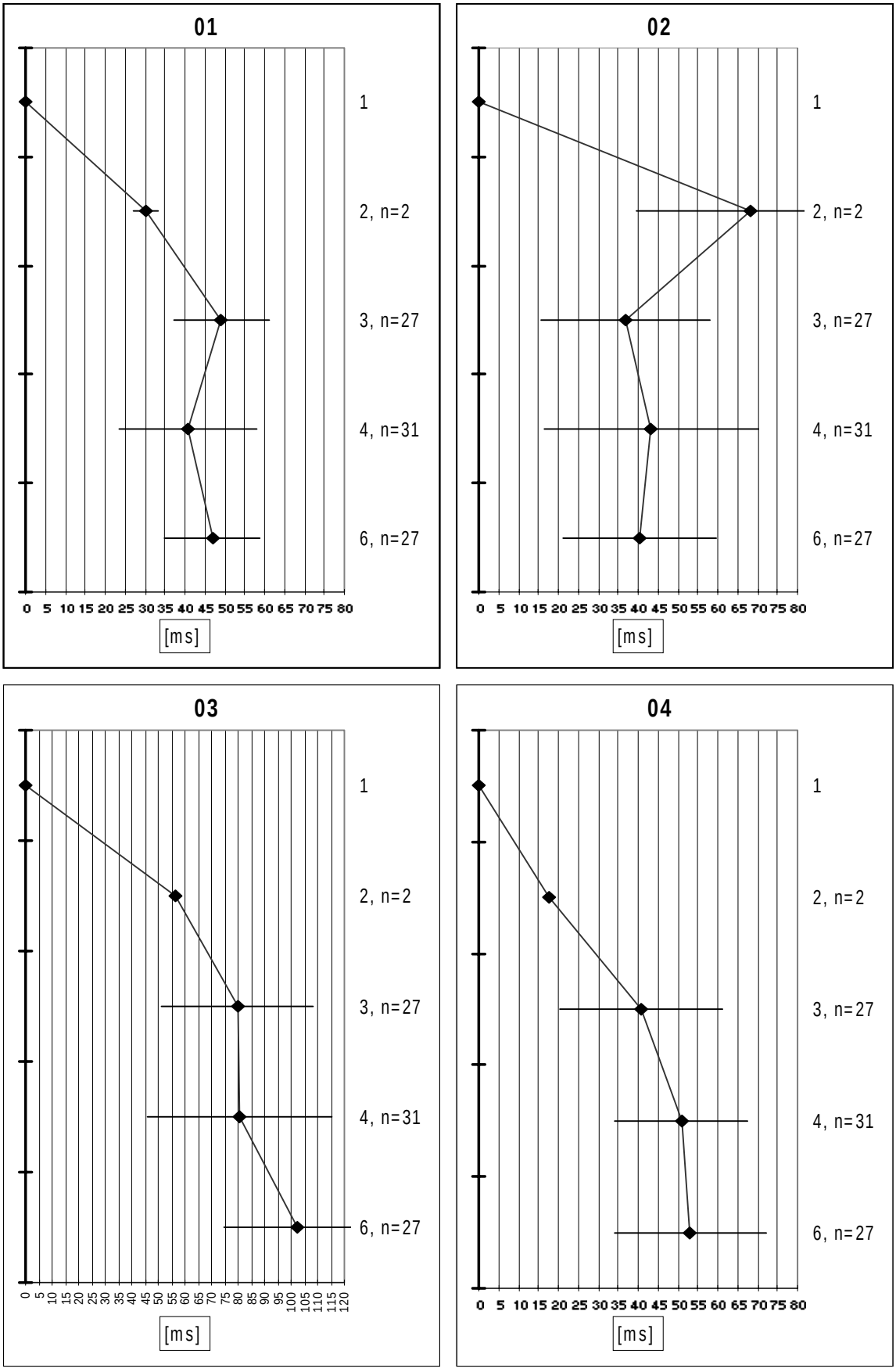
Durchschnittliche Akkordprofile. ***Ballade 17–20***



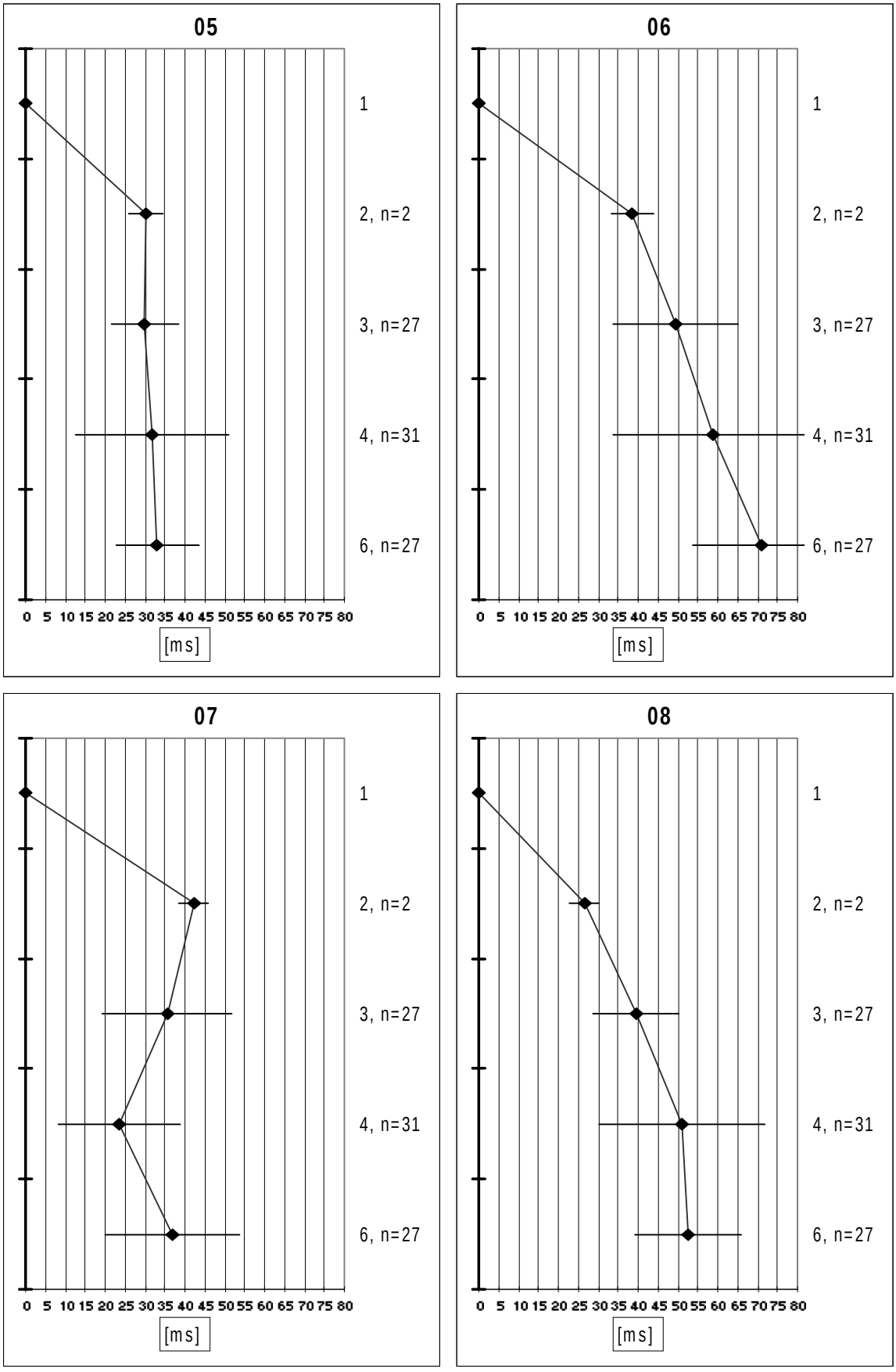
Durchschnittliche Akkordprofile. ***Ballade 21–23***



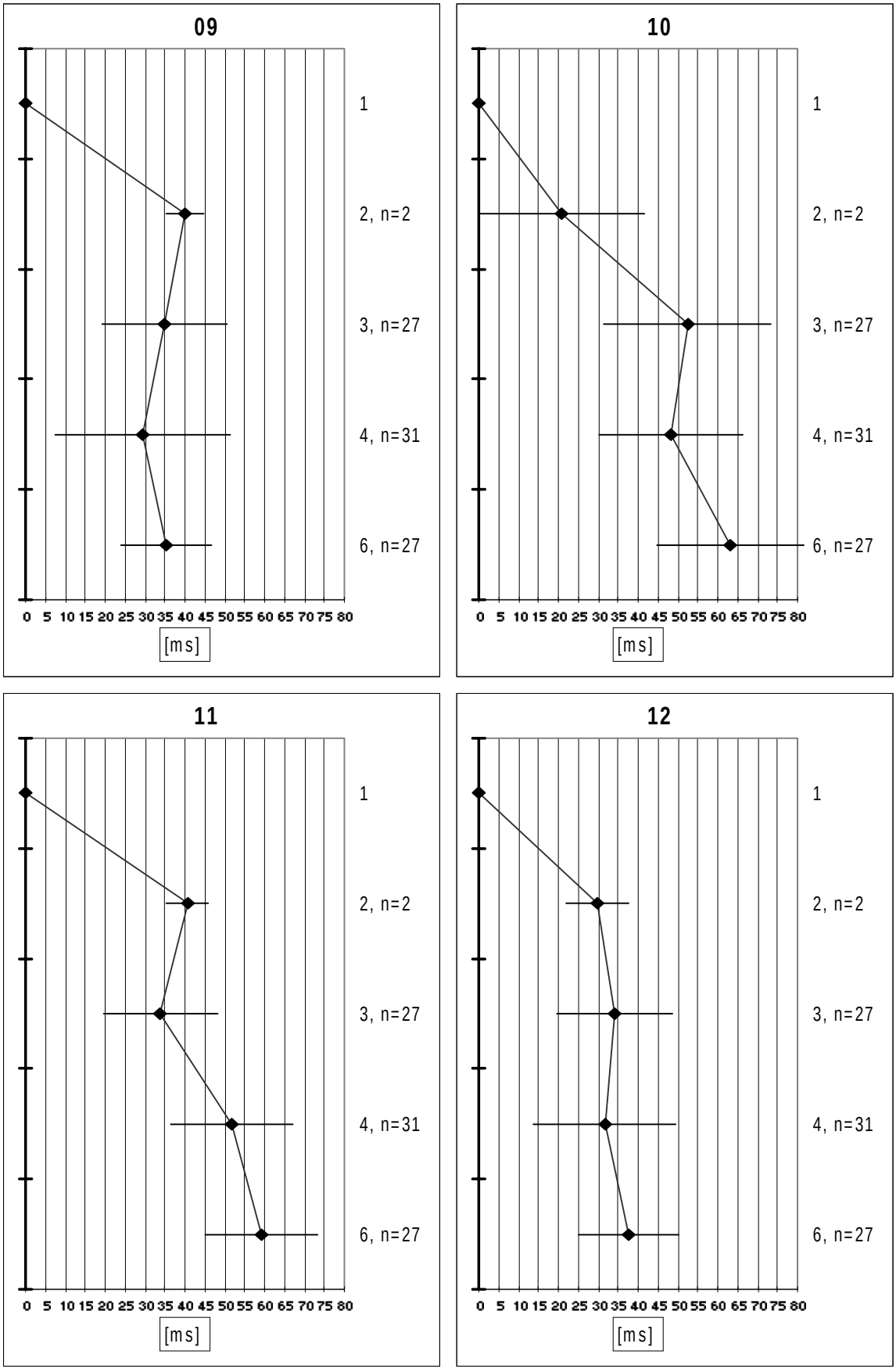
Durchschnittliche Akkordprofile. **Ausschnitt Ballade:** *melodiebetonte Version 1–4*



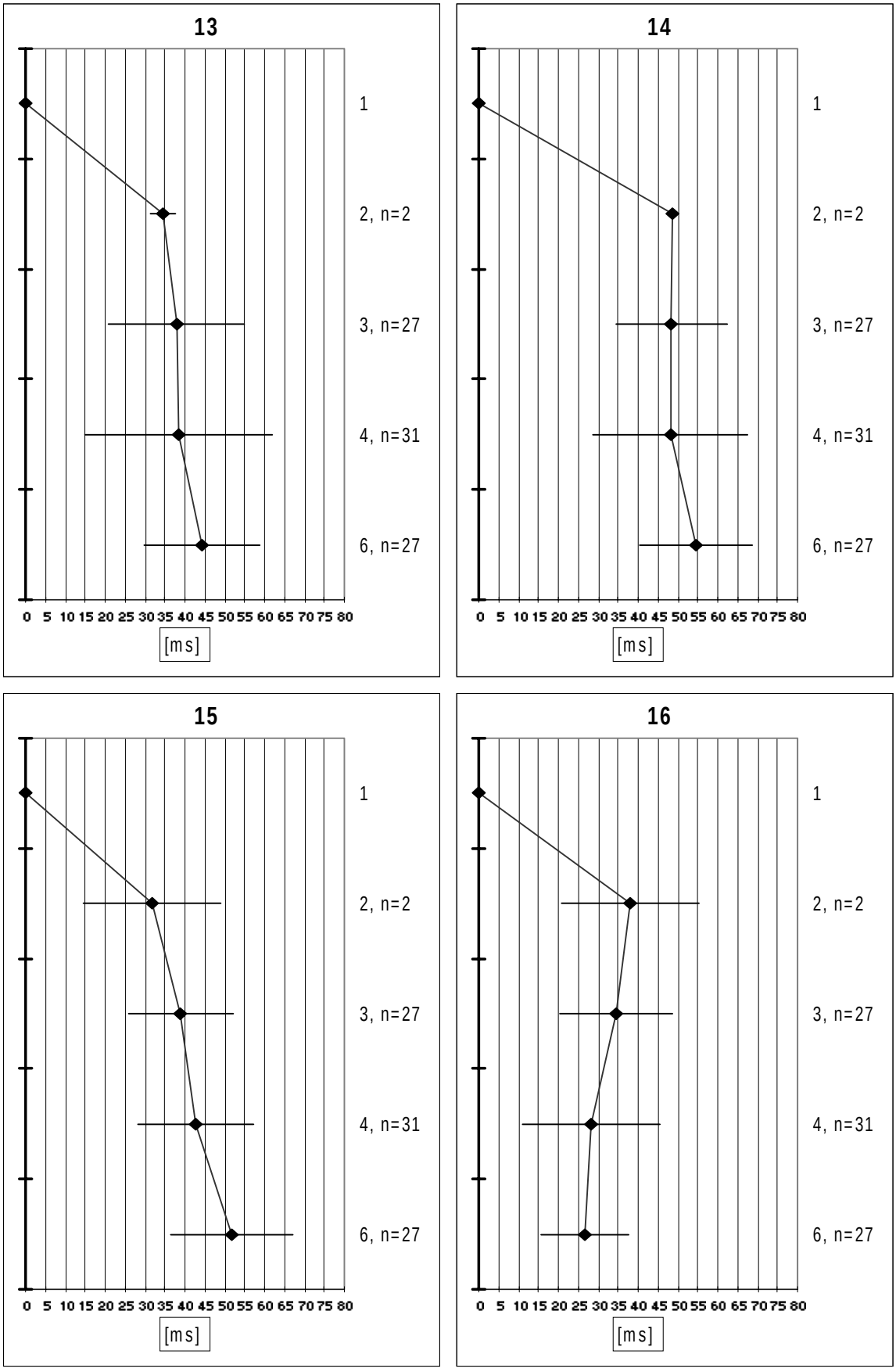
Durchschnittliche Akkordprofile. **Ausschnitt Ballade:** *melodiebetonte Version 5–8*



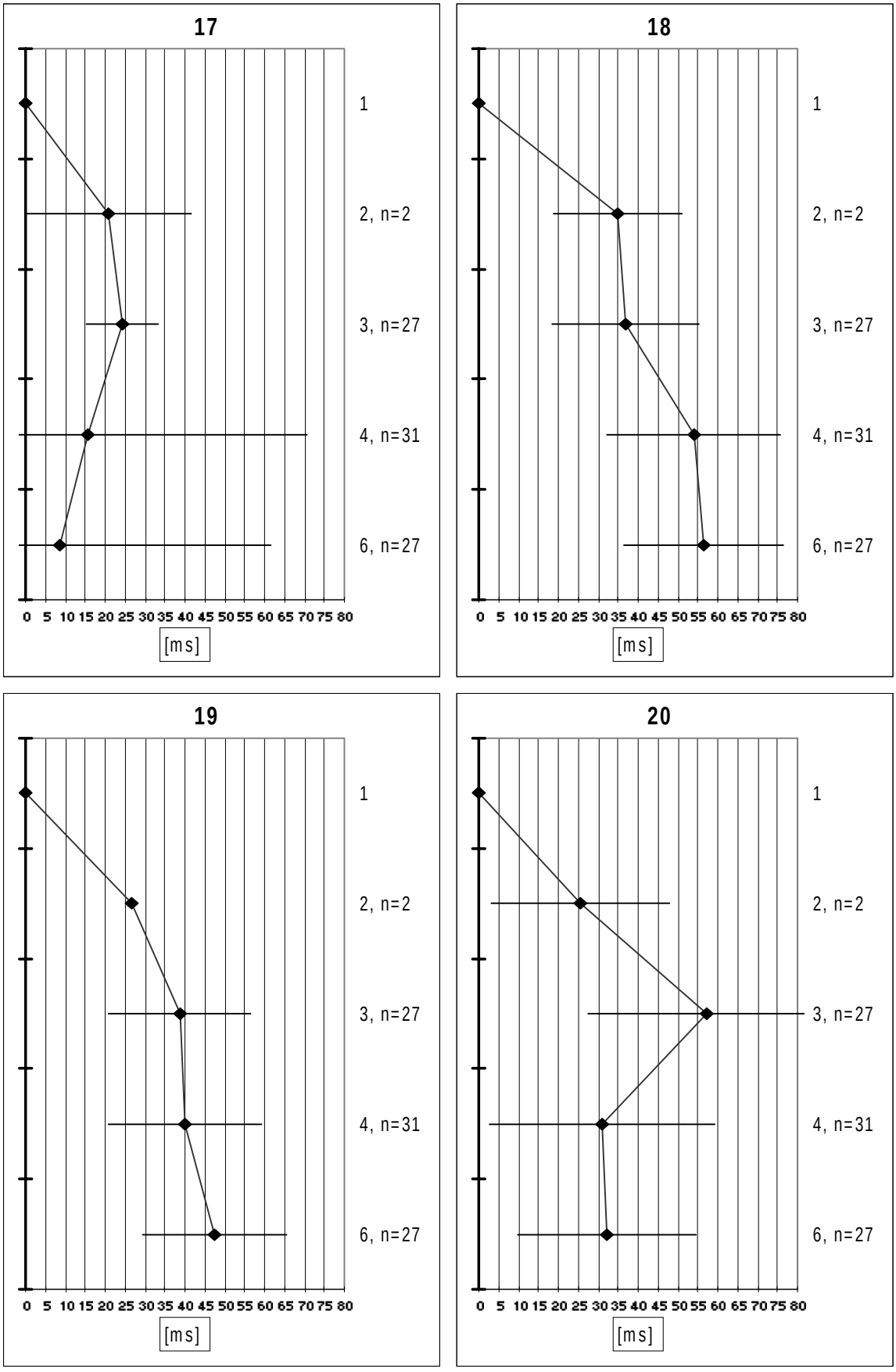
Durchschnittliche Akkordprofile. **Ausschnitt Ballade:** *melodiebetonte Version 9–12*



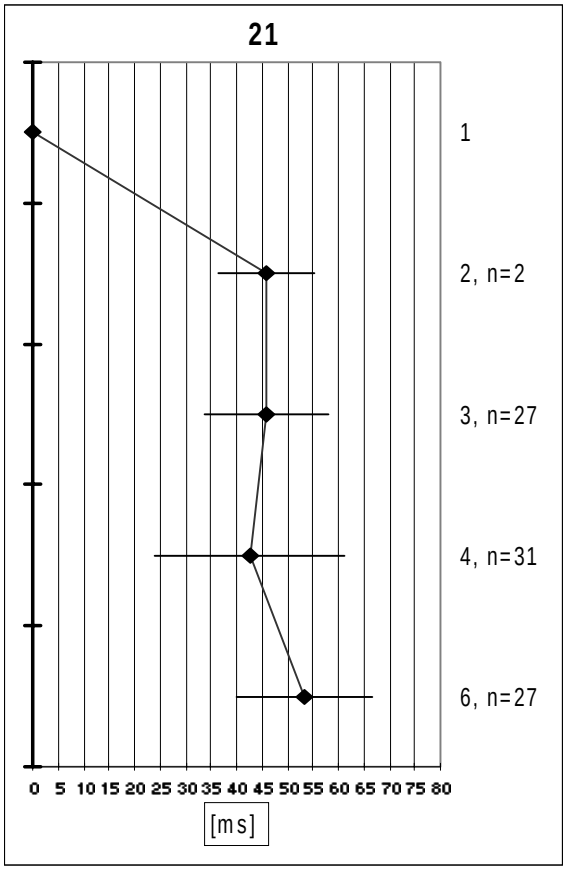
Durchschnittliche Akkordprofile. **Ausschnitt Ballade:** *melodiebetonte Version 13–16*

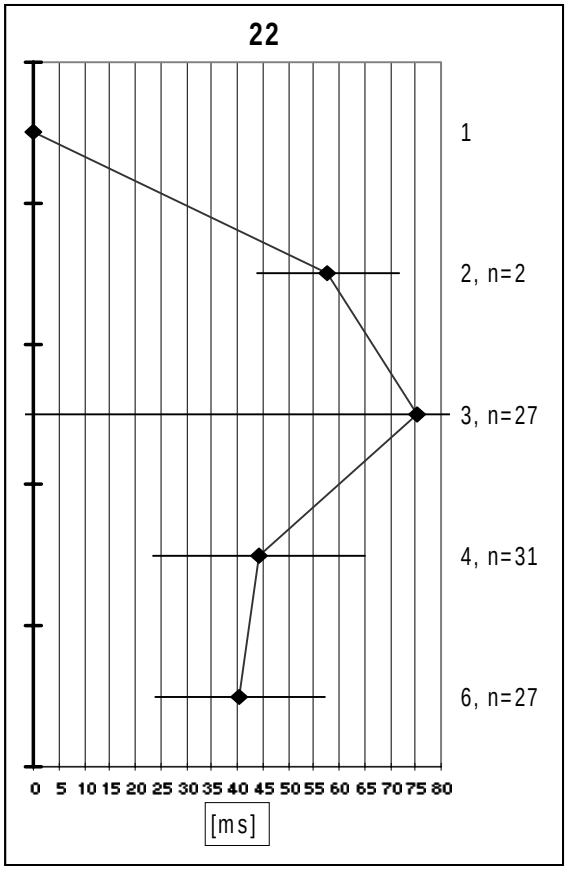


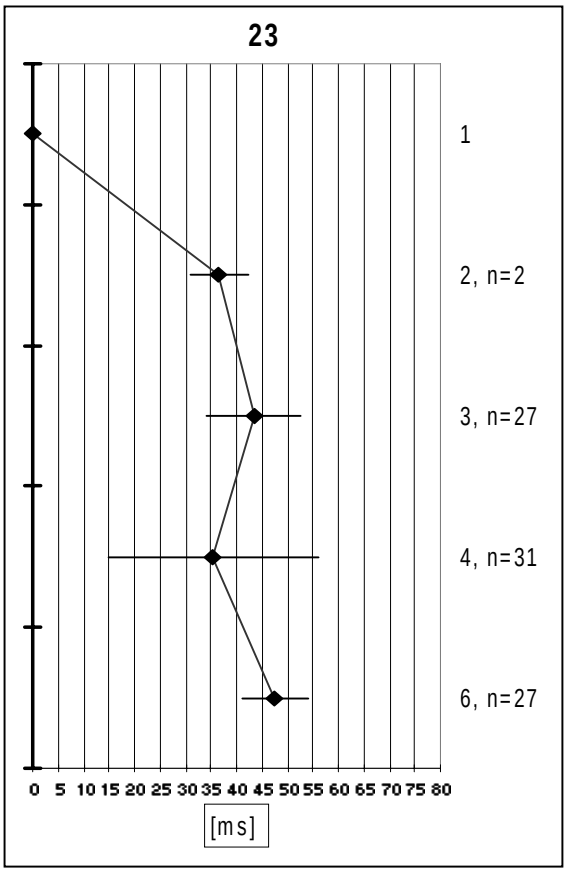
Durchschnittliche Akkordprofile. **Ausschnitt Ballade:** *melodiebetonte Version 17–20*



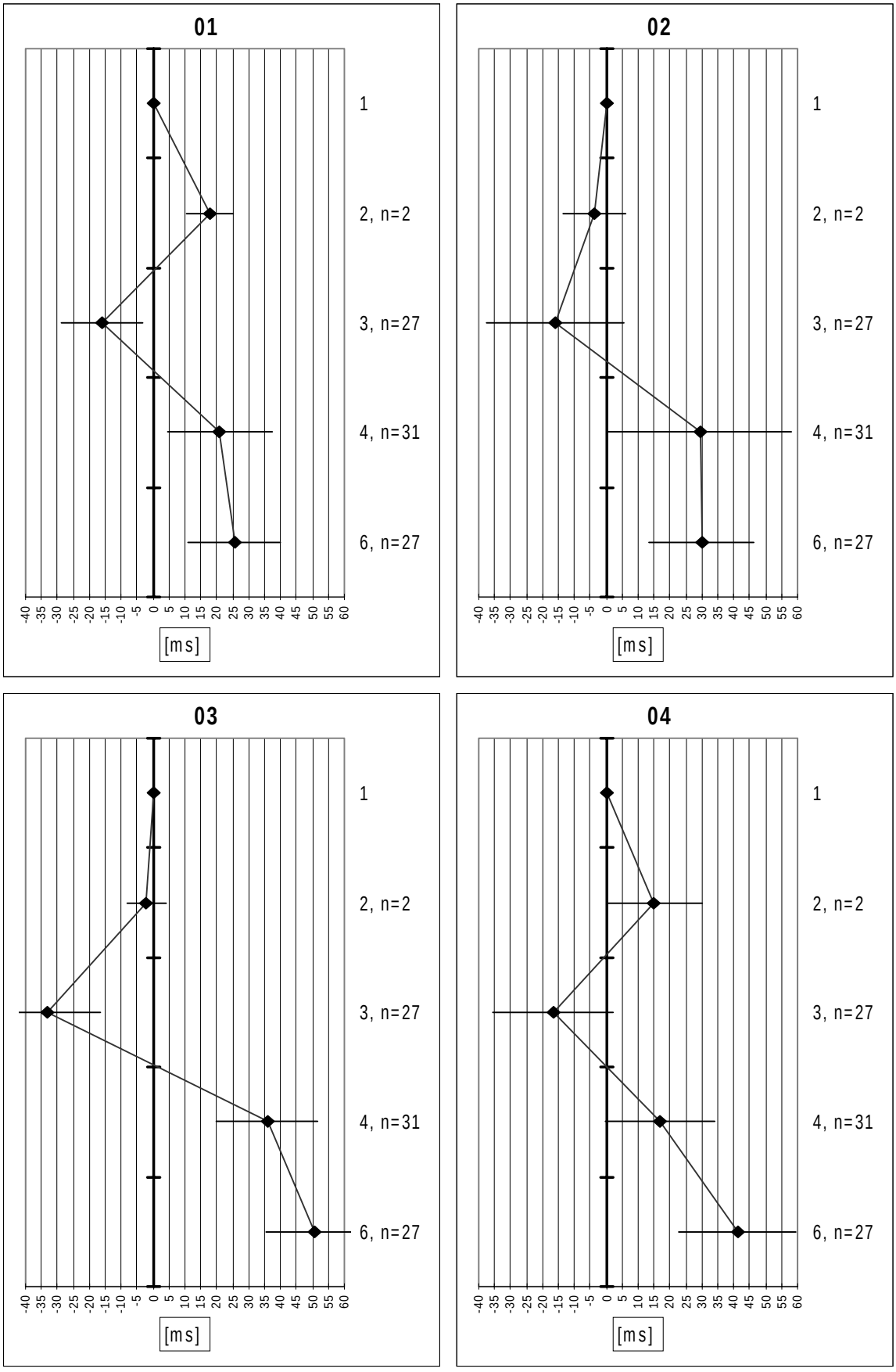
Durchschnittliche Akkordprofile. **Ausschnitt Ballade:** *melodiebetonte Version 21–23*



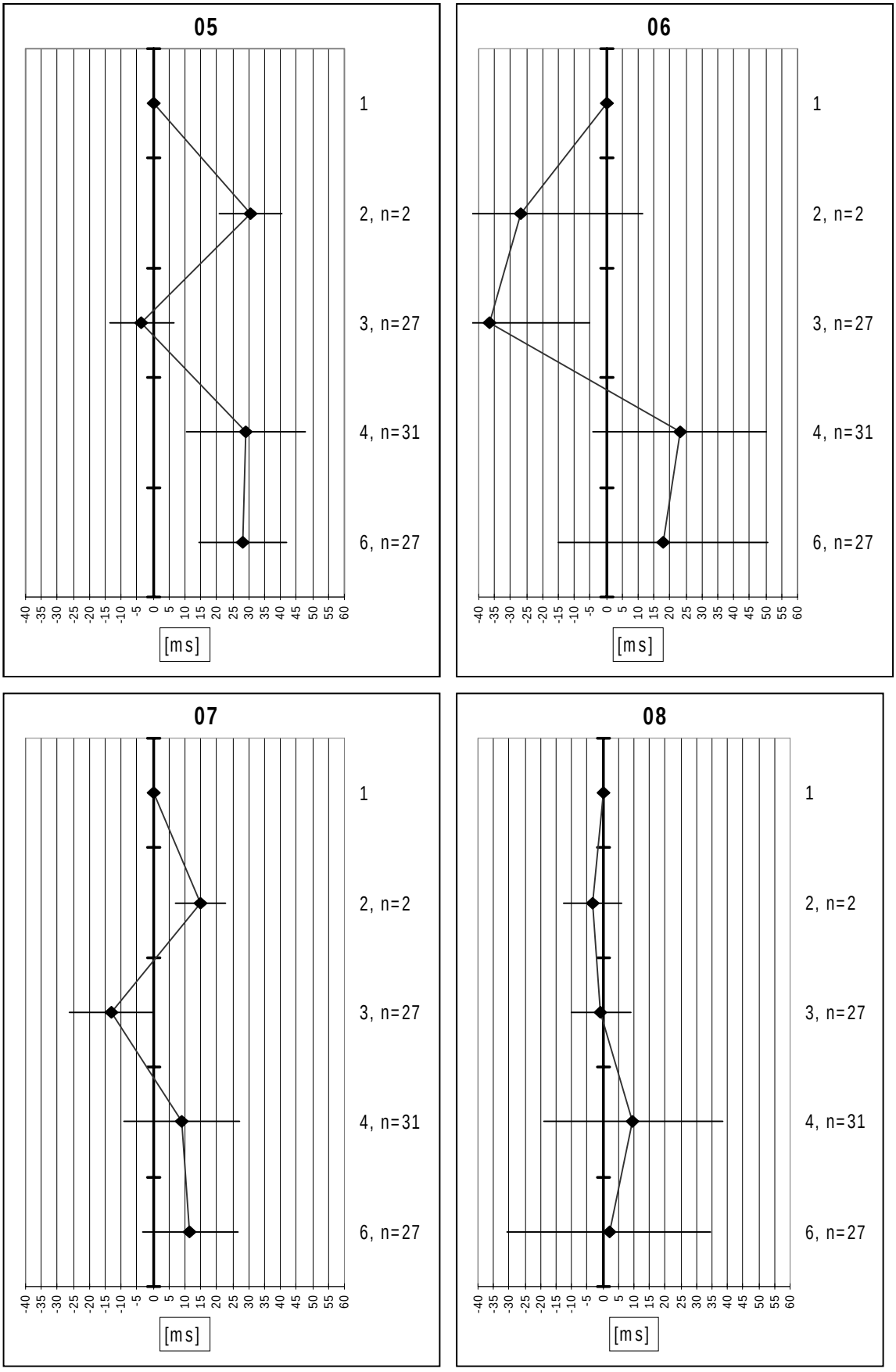




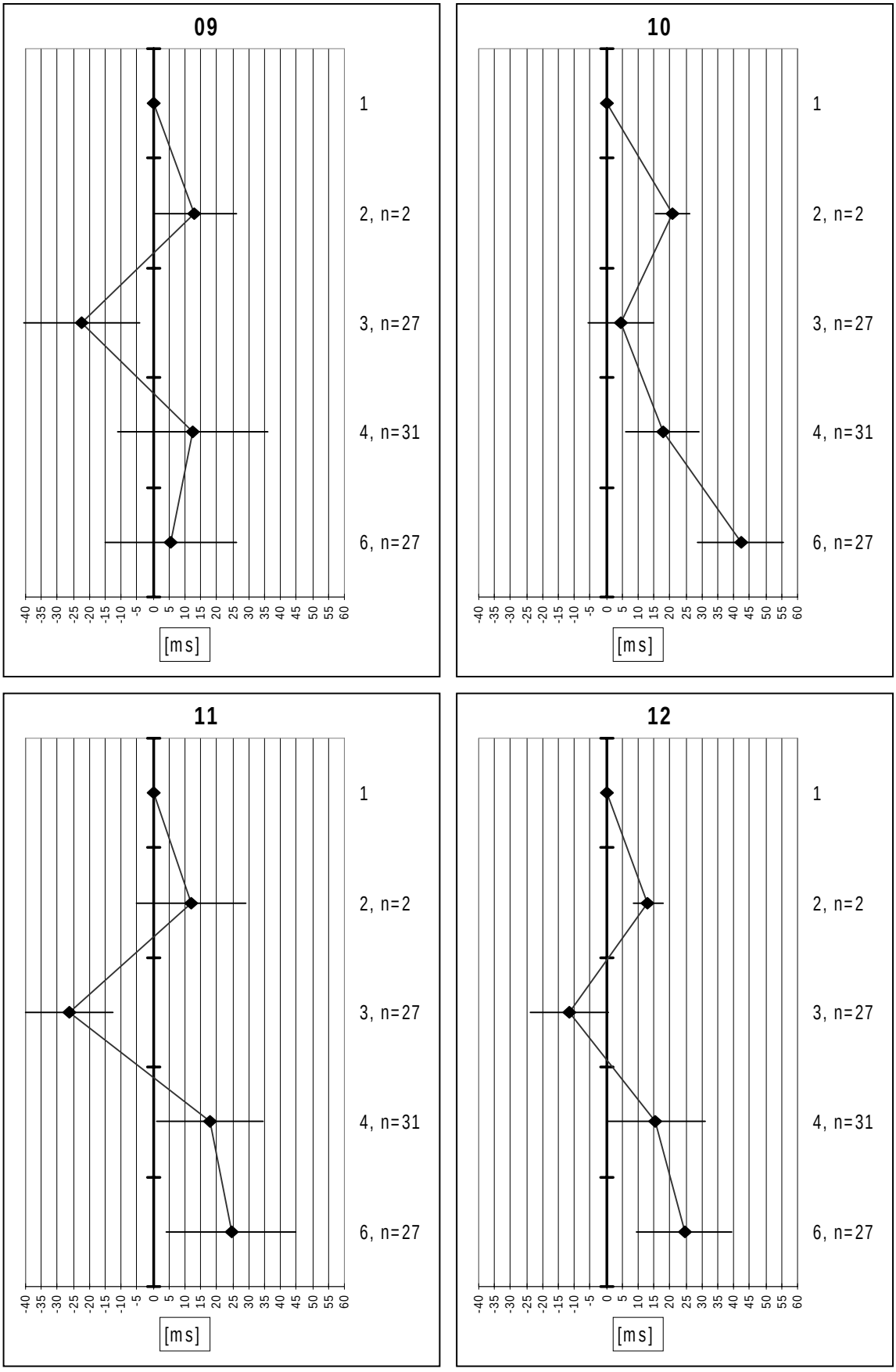
Durchschnittliche Akkordprofile. **Ausschnitt Ballade:** *unterstimmenbetonte Version 1–4*



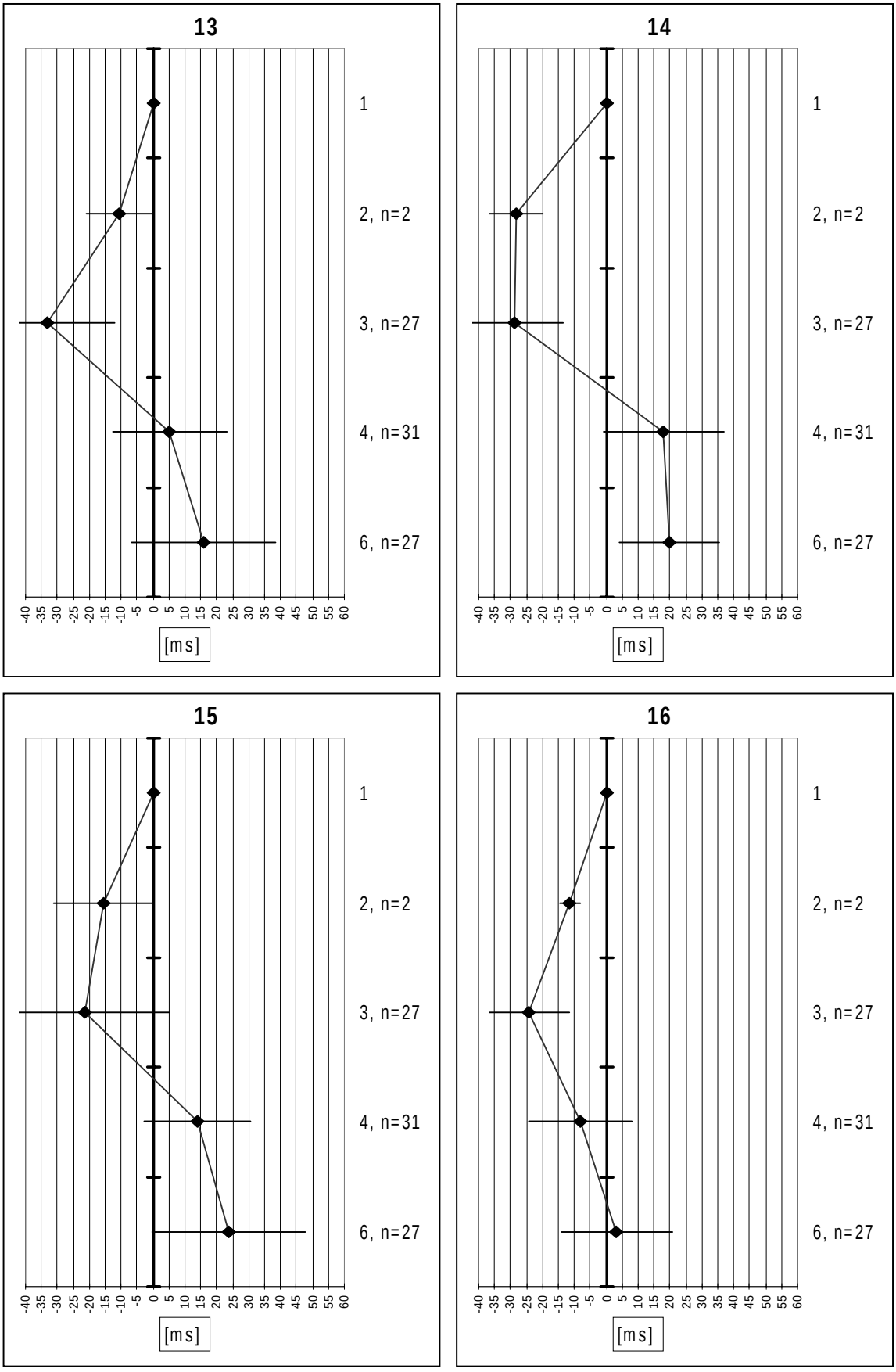
Durchschnittliche Akkordprofile. **Ausschnitt Ballade:** *unterstimmenbetonte Version 5–8*



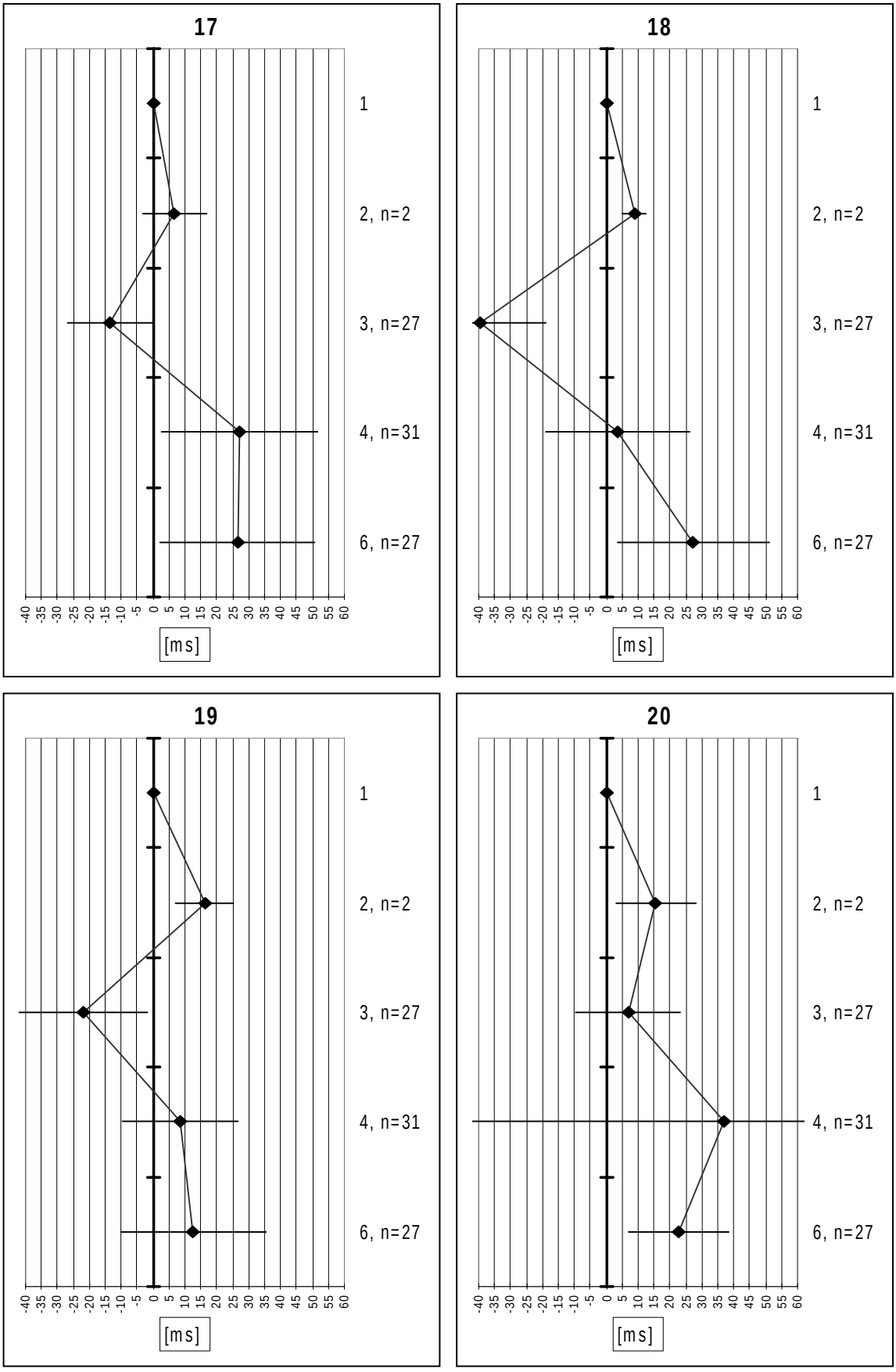
Durchschnittliche Akkordprofile. **Ausschnitt Ballade:** *unterstimmenbetonte Version 9–12*



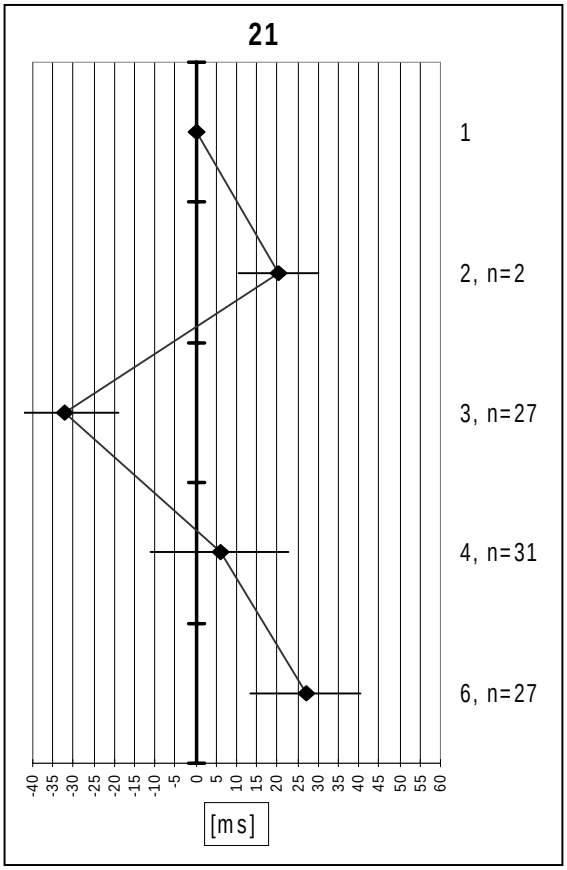
Durchschnittliche Akkordprofile. **Ausschnitt Ballade:** *unterstimmenbetonte Version 13–16*

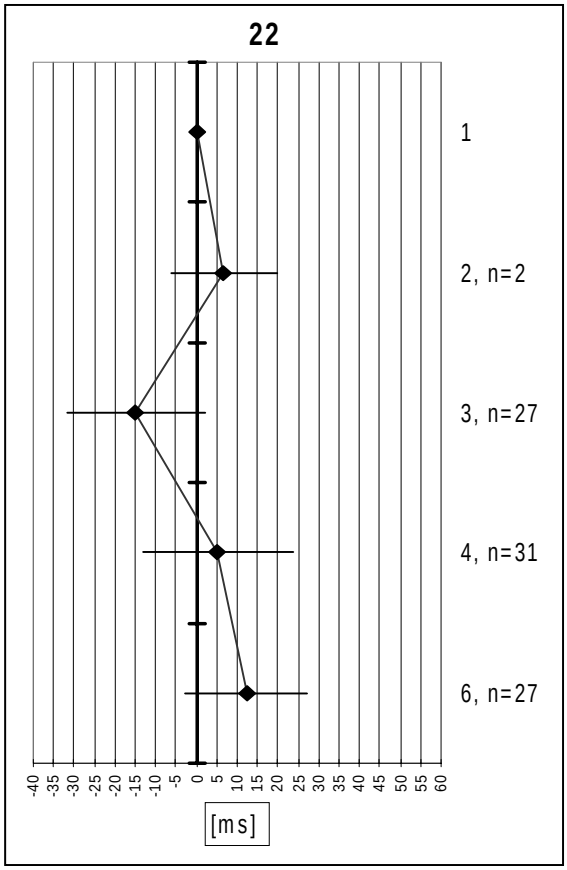


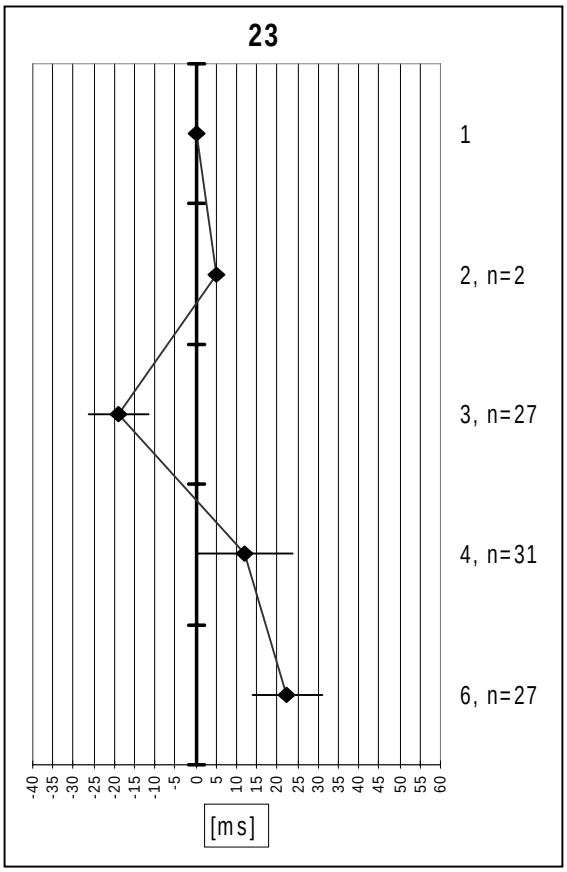
Durchschnittliche Akkordprofile. **Ausschnitt Ballade:** *unterstimmenbetonte Version 17–20*



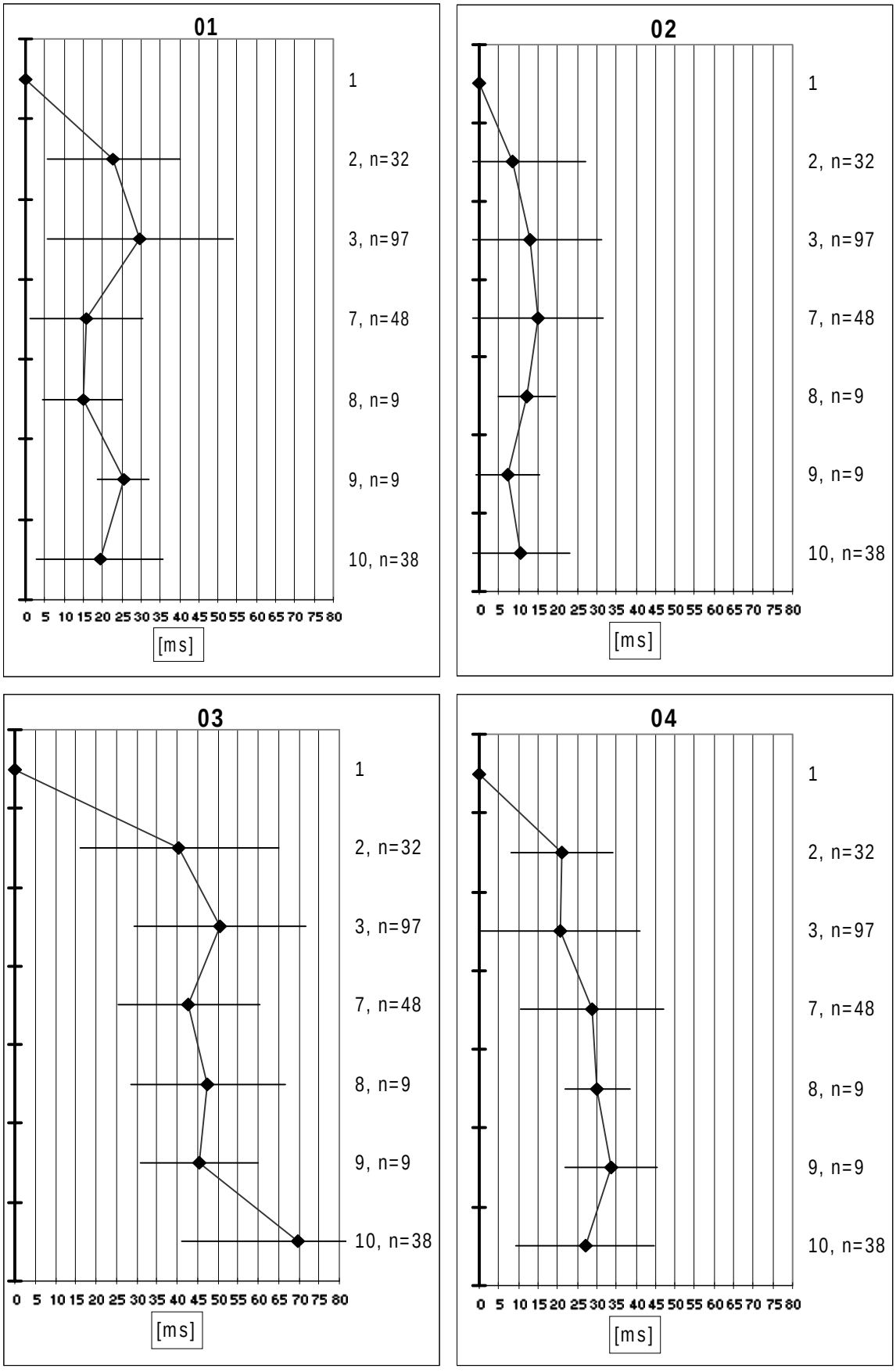
Durchschnittliche Akkordprofile. **Ausschnitt Ballade:** *unterstimmenbetonte Version 21–23*



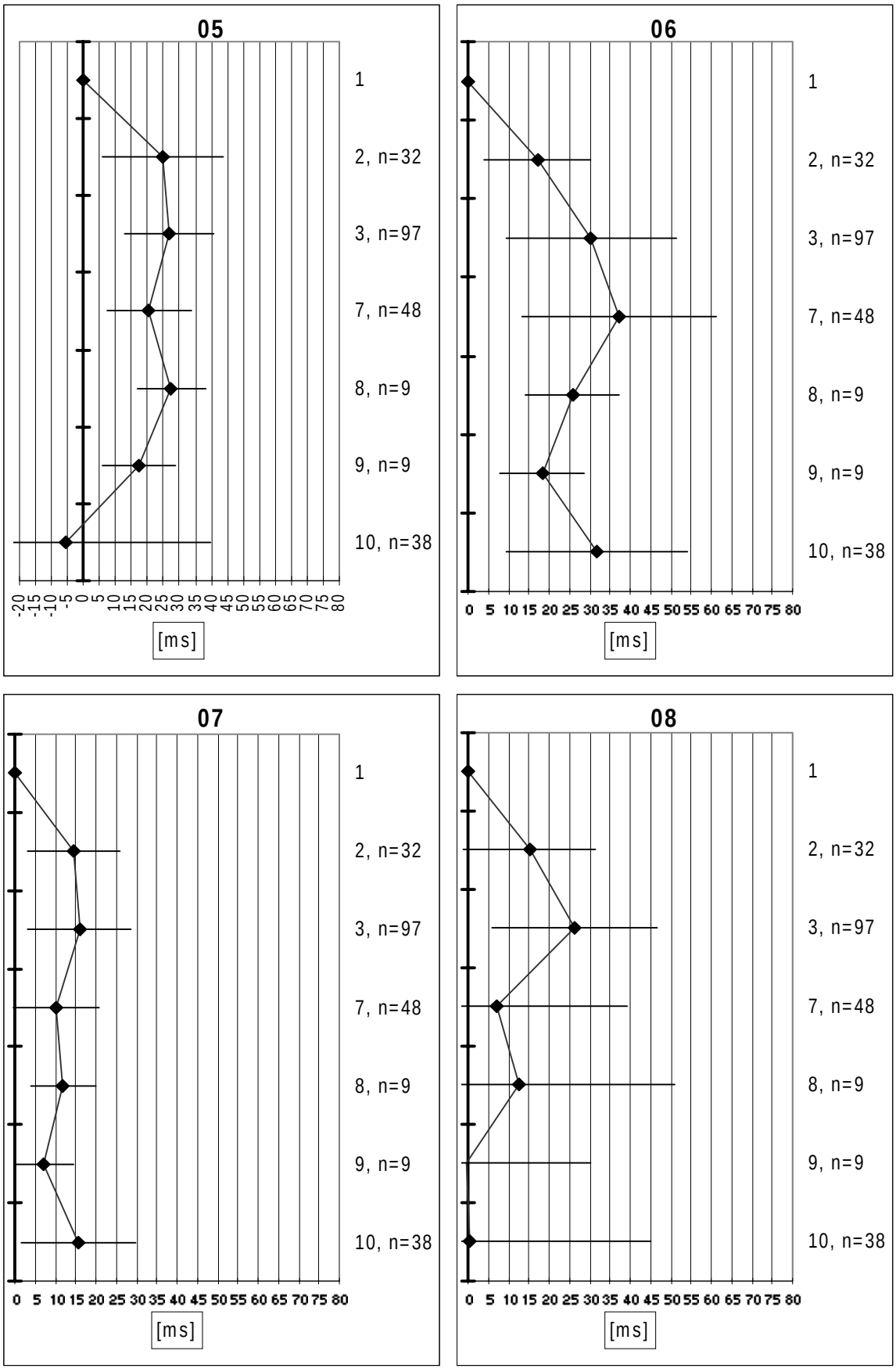




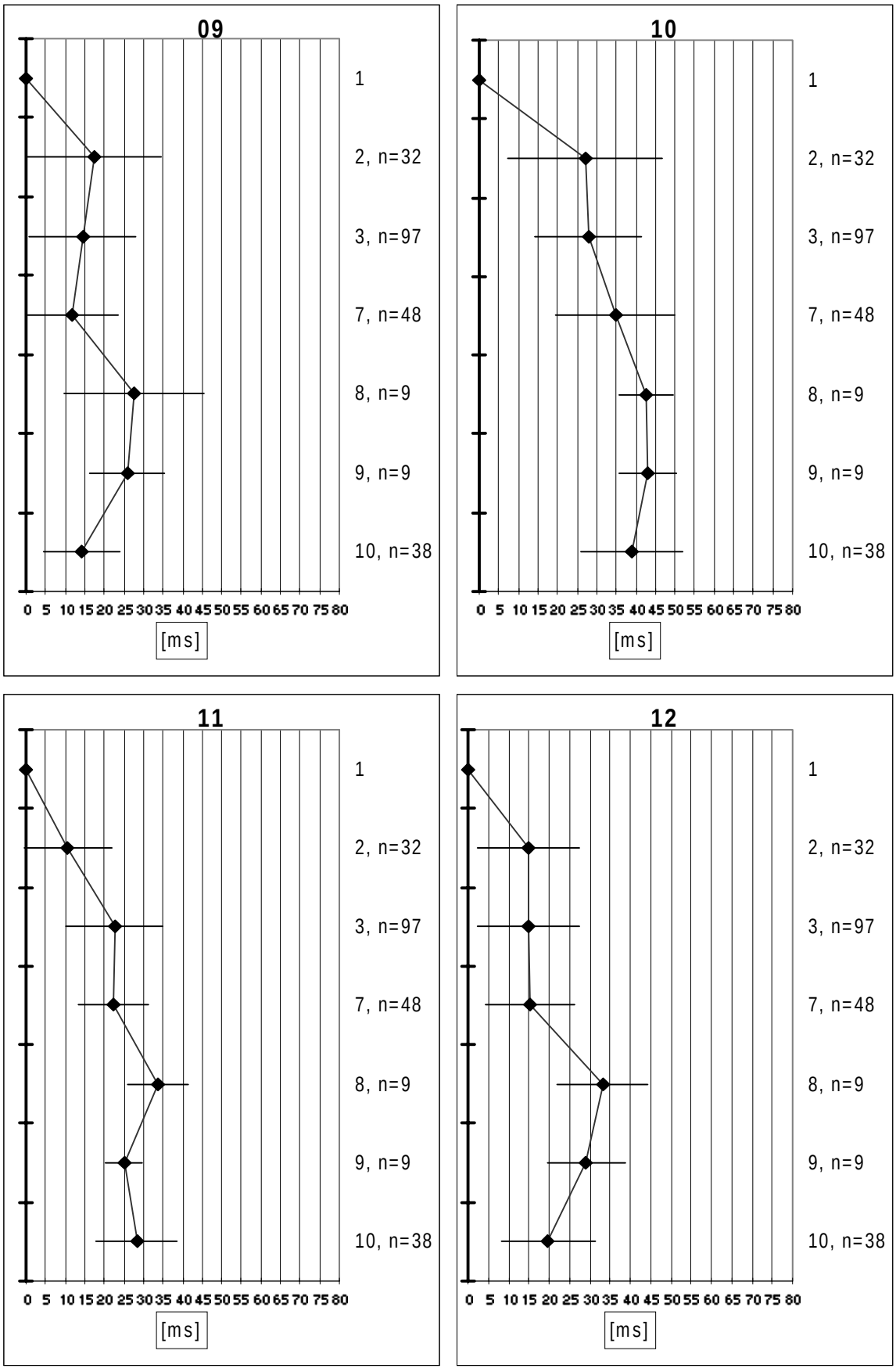
Durchschnittliche Akkordprofile. ***Etüde 1–4***



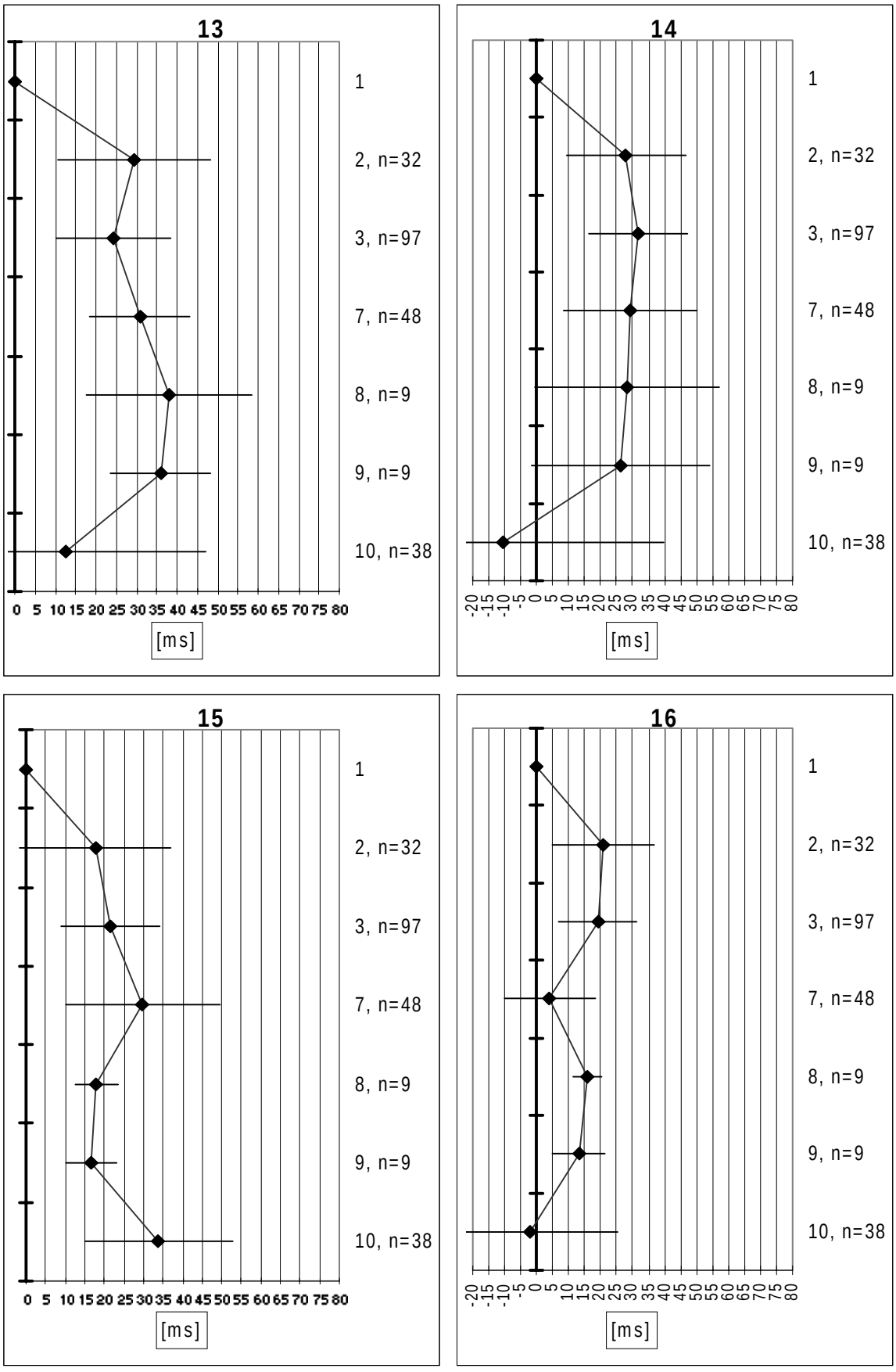
Durchschnittliche Akkordprofile. ***Etüde 5–8***



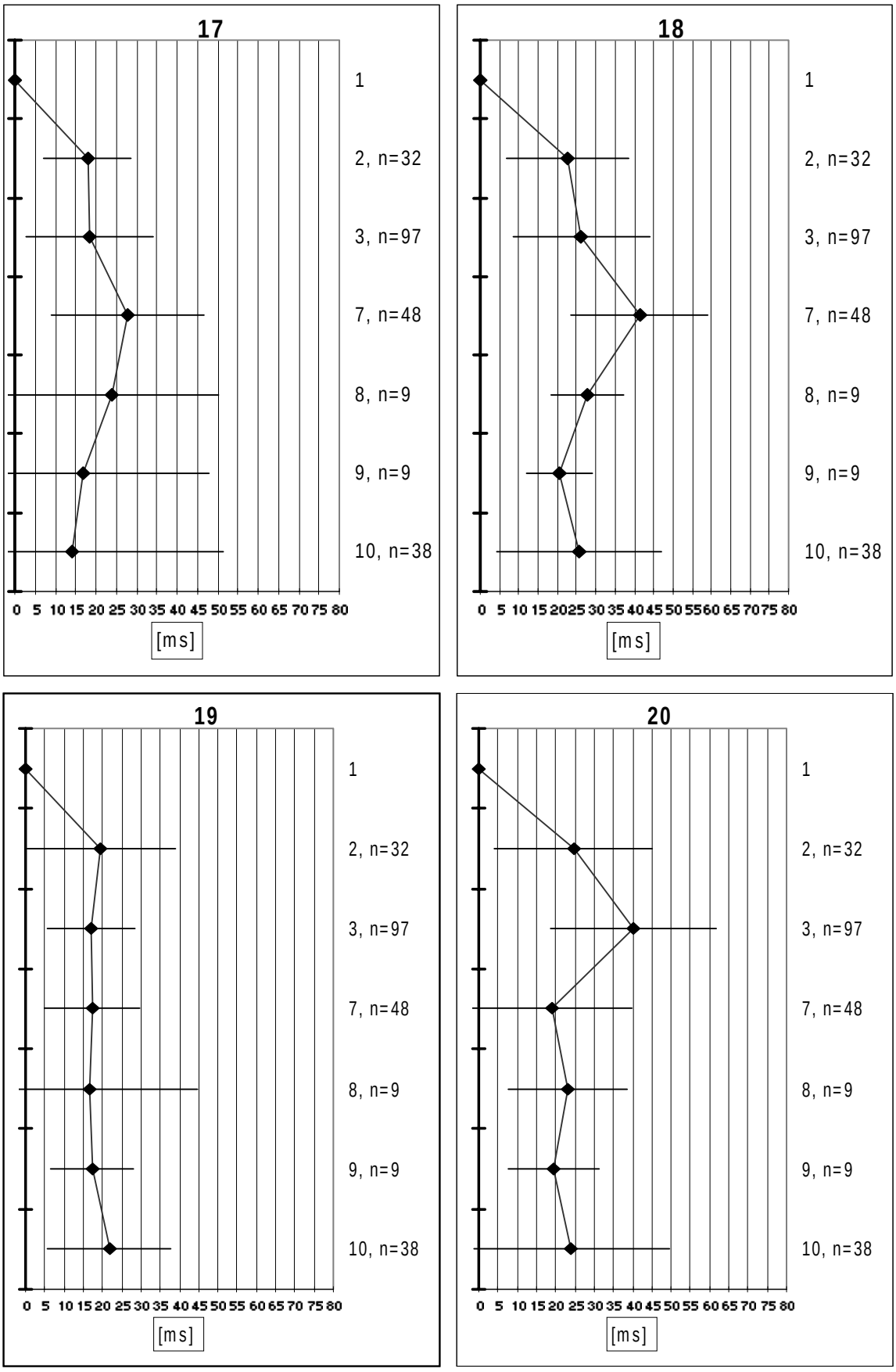
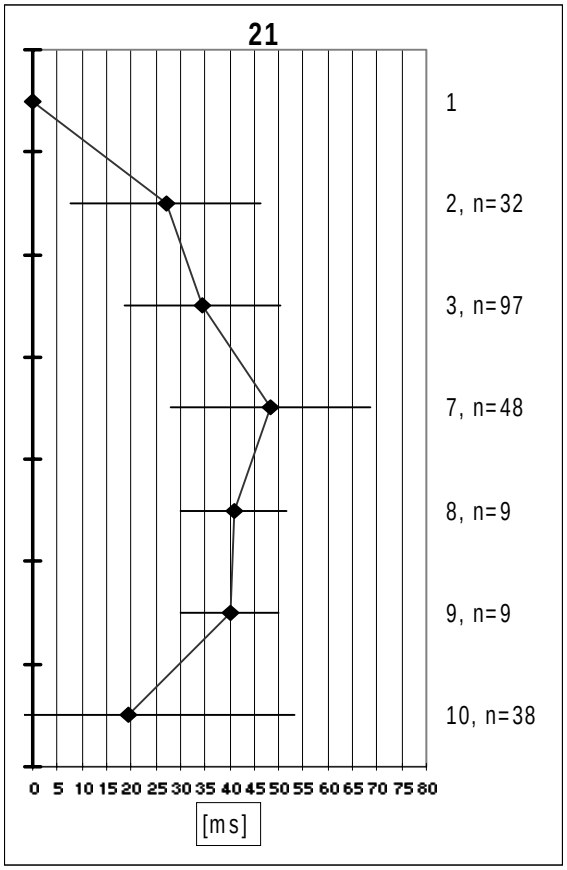
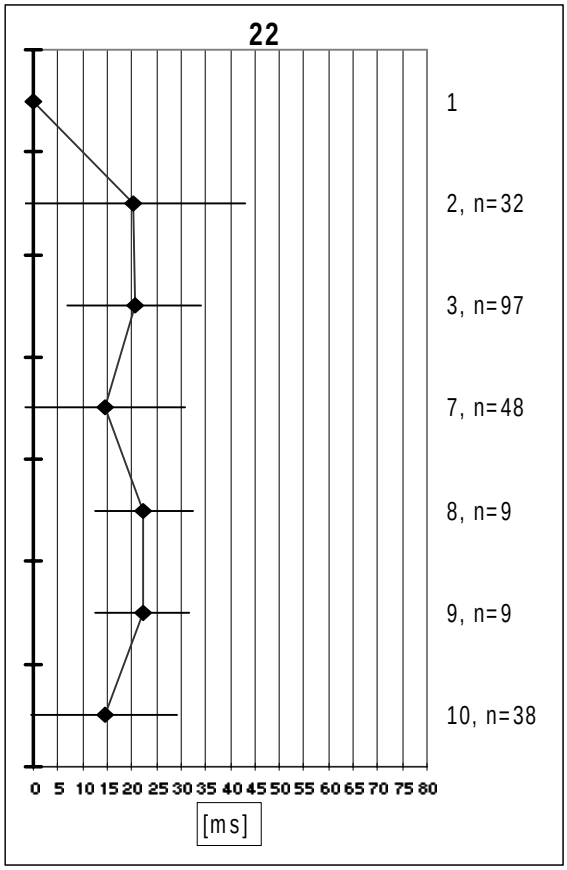
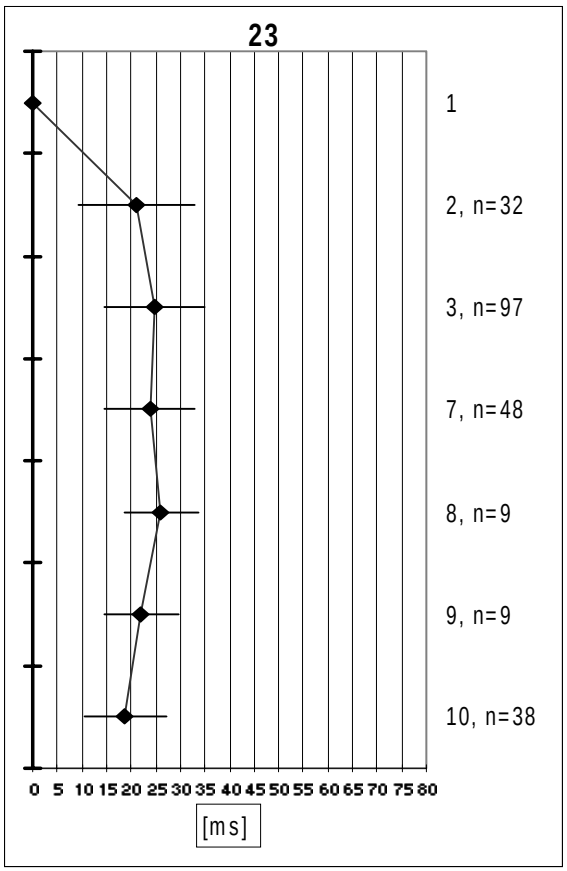
Durchschnittliche Akkordprofile. ***Etüde 9–12***



Durchschnittliche Akkordprofile. ***Etüde 13–16***



Durchschnittliche Akkordprofile. ***Etüde 17–20***



Durchschnittliche Akkordprofile. ***Etüde 21–23***