

Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf

Klinik und Poliklinik für Augenheilkunde

Direktor: Prof. Dr. G. Richard

EINFLUSS DER KÖRPERLAGE AUF DIE OKULÄRE ZYKLOPOSITION GESUNDER PERSONEN UND DIE MÖGLICHE BEDEUTUNG FÜR DAS ERGEBNIS EINER REFRAKTIVEN CHIRURGIE

D i s s e r t a t i o n

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnmedizin
an der Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg

vorgelegt von:

Soheila Vaseghi
aus Meshhed/ Iran

Hamburg 2006

Angenommen von der
Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg am: 29.01.2010

Veröffentlicht mit Genehmigung der
Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg

Prüfungsausschuss, der/die Vorsitzende: Prof. Dr. med. M. Klemm

Prüfungsausschuss, zweite/r Gutachter/in: Prof. Dr. med. H.D. Schworm

Prüfungsausschuss, dritte/r Gutachter/in: Prof. Dr. med. A. K. Engel

Inhaltsverzeichnis

Arbeitshypothese und Fragestellung	5
1 Einleitung	6
1.1 Anatomie der Hornhaut	6
1.2 Refraktion des Auges	7
1.3 Erfassung des internationalen wissenschaftlichen Umfeldes	7
1.4 Astigmatismus	8
1.4.1 Ursachen des Astigmatismus	10
1.4.2 Diagnose des Astigmatismus	11
1.4.3 Therapie des Astigmatismus	12
1.5 Photorefraktive Therapien	13
1.5.1 Photorefraktive Keratektomie (PRK)	13
1.5.2 Photo-Astigmatisch Refraktive Keratektomie (PARK)	14
1.5.3 Laser-In-Situ-Keratomileusis (LASIK)	15
1.6 Kontraindikationen und Komplikationen der refraktiven Chirurgie	16
1.7 Motilität der Augen	17
1.8 Anatomie der Iris	19
1.9 Dreidimensionale Videookulographie	20
1.10 Problemstellung	21
2 Material und Methoden	22
2.1 Probandenkollektiv	22
2.2 Auto-Refraktor Test	23
2.3 Visus	24
2.4 Langtest	25
2.5 Monokularer und alternierender Covertest	25
2.6 Bielschowsky-Kopfneigetest	26
2.7 Messung der Zykloduktion mit dem Maddoxzylinder	27
2.8 Dominantes Auge	29
2.9 Dreidimensionale Videookulographie	29
2.9.1 Versuchsaufbau	30
2.9.2 Kalibration	32
2.9.3 Bestimmung der Torsion	34
3 Ergebnisse	39
3.1 Bearbeitung der Okulographiedaten	41
3.1.1 Bereinigung der Kurven	41
3.1.2 Ausschlüsse von der statistischen Auswertung	45
3.2 Berechnung von Vergenzen und Versionen	46
3.3 Statistische Auswertung	53
3.4 Empirische Betrachtung	54
3.5 Nachweis einer Zyklofusion	59
3.6 Induktion einer Zyklorotation in Abhängigkeit vom dominanten Auge	61
4 Diskussion	63
4.1 Die Methodiken zur Bestimmung der Torsion	63
4.2 Methodologische Probleme	64
4.2.1 Erörterung erkannter Störfaktoren	65
4.2.2 Erörterung möglicher Maskenverschiebungen	65
4.2.3 Fehlende Kontrollen durch weitere Zyklorotationsmessungen	71
4.3 Auffällige Fallanalysen einzelner Probanden	72
4.4 Resultierende Operationstechnische Probleme der Astigmatismuskorrektur	74

4.5	Astigmatismusproblem der refraktiven Laserchirurgie der Hornhaut	75
4.6	Resümee und Ausblick	77
5	Zusammenfassung	80
6	Literaturverzeichnis	81
	Danksagung	83
	Lebenslauf	84
	Liste der verwendeten Abkürzungen	85
	Sachwortverzeichnis	85
	Anhang:	87
	Erklärung	203

Arbeitshypothese und Fragestellung

Die Arbeitshypothese zu dieser Dissertation lautet wie folgt:

„Einfluss der Körperlage auf die okuläre Zykloposition gesunder Personen“. Der Hintergrund dieser Überlegung war, ob die Zyklovergenz für das Ergebnis einer refraktiven Chirurgie von Bedeutung sein könnte.

Die wellenfront-gestützte refraktive Laserchirurgie zur Korrektur von Fehlsichtigkeiten beinhaltet eine akkurate Bestimmung der Brechkraft des Auges verteilt über die gesamte Fläche der Hornhaut. Trotz sehr zuverlässiger Mess- und Behandlungsmethoden kommt es gelegentlich zu Fehlkorrekturen unklarer Ursache.

Die folgende Arbeit befasst sich mit der Hypothese ob es möglicherweise zur Induktion eine Zyklorotation beim Wechsel von der sitzenden in die liegenden Position kommt.

Um diese Frage beantworten zu können, haben wir Messungen mittels einer drei dimensional Brille der Firma Senso Motoric Instruments GmbH in Teltow/Berlin (SMI) durchgeführt. Dieses dreidimensional messende Gerät dient zur Darstellung und Auswertung der horizontalen, vertikalen und torsionalen Augenbewegungen mittels Infrarot-Videookulographie. Wichtig dabei ist, dass die Augenbewegungen des rechten Auges im Vergleich zum linken unabhängig von einander aufgezeichnet bzw. registriert werden. Der Gerätekomplex beinhaltet eine hoch sensible Maske mit je einer eingebauten Infrarot Kamera für jedes Auge, die in der Lage ist, die Augenbewegungen nicht invasiv dreidimensional zu registrieren.

Diese Online Aufzeichnung ermöglicht es, eine dynamische Messung der Zykloposition mittels einer speziellen Software zwischen sitzender und liegender Position sowie während des Lagewechsels zu verzeichnen.

1 Einleitung

1.1 Anatomie der Hornhaut

Das menschliche Auge lässt sich in einen vorderen Augenabschnitt im Wesentlichen bestehend aus Hornhaut, Vorderkammer, Regenbogenhaut und Linse und in einen hinteren Augenabschnitt bestehend aus Glaskörper, Netzhaut, Pigmentepithel und Sehnerv unterteilen. Der vordere Augenabschnitt wird nach ventral durch die im gesunden Zustand glasklare Hornhaut, die sog. Kornea begrenzt. Die gekrümmte homogen aufgebaute Hornhaut bildet den vordersten Teil der optisch brechenden Medien des Auges.

Jede Veränderung ihrer Transparenz führt zu einer Verschlechterung des Sehvermögens.

Die Kornea besteht histologisch von außen nach innen aus 5 Schichten (vgl. Abb. 1):

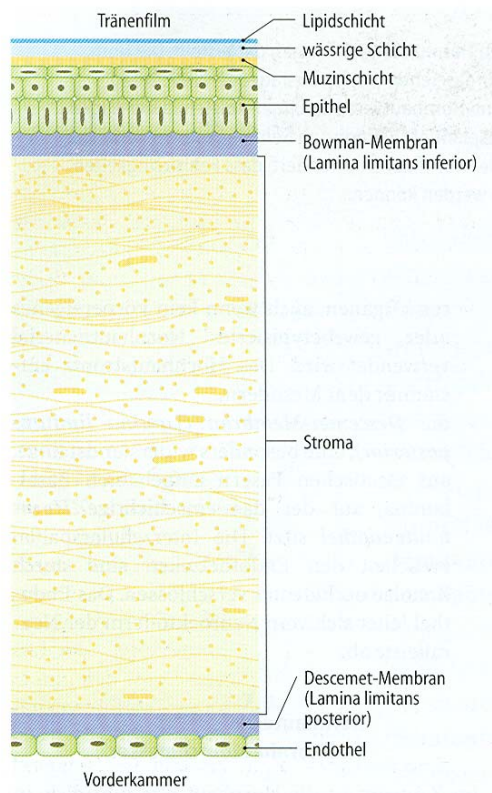


Abb. 1: Anatomie der Hornhaut (Grehn, 2003 Augenheilkunde)

1. Mehrschichtiges Epithel
2. Bowman Membran
3. Avaskuläres Stroma
4. Descemet-Membran
5. Einreihige Endothelschicht

Die Hornhaut ist ständig von einem Tränenfilm überzogen, durch den die Augenlider ungehindert über das Auge gleiten können. Die Innervation erfolgt sensibel durch den ersten Teil des Nervus Trigeminus = V. Hirnnerv (Grehn 2003).

1.2 Refraktion des Auges

In die Refraktion eines Auges fließt neben der Brechkraft der Linse und der Bulbuslänge insbesondere die Brechkraft der Kornea mit ein. Die Brechkraft der Hornhaut wird in zwei 90 Grad zueinander gelegenen Achsen gemessen und in der Einheit Dioptrie angegeben. Durchschnittlich beträgt der Wert einer normalen Hornhaut ca. 43 dpt. (Dioptrie). Abweichungen von der normalen Brechkraft eines Auges werden als sog. sphärischer Wert der Refraktion notiert. Sofern die Abweichung in beiden Achsen identisch ist, ergibt sich nur ein Wert in sphärischen dpt.. Besteht eine Differenz in der Messung zwischen den beiden Achsen, so wird diese Differenz als astigmatischer Wert, dem sog. Astigmatismus ebenfalls in dpt. angegeben und als zweiter Wert der Refraktion mit Zylinderachse in entsprechender Gradzahl notiert. Mit diesen beiden Messwerten werden die zwei Achsen der Brechkraft festgehalten.

1.3 Erfassung des internationalen wissenschaftlichen Umfeldes

Die Prä- bzw. postoperative Messung der astigmatischen Achse nach Hornhaut-Laserungen ergibt gelegentlich eine deutliche Messabweichung. Tjon-Fo-Sang et al. (2002) untersuchte

die Wirkung der Zyklotorsion als mögliche Ursache des postoperativen Astigmatismus in sitzenden und liegenden Körperpositionen. Er fand neben unkorrekten präoperativen Refraktionsmessungen falsche Positionierungen des Kopfes und / oder des Laserstrahls als Ursache. Ferner werden die Beweglichkeit der Augen während des Laserns sowie Achsenabweichungen als mögliche Faktoren für Therapiemisserfolge genannt. In der genannte Studie ergab die Untersuchung in zwei Fällen, dass durch den Wechsel der Körperlage bei monokularer Fixation, eine Exzyklotorsion > 15 Grad zu messen war, die im Falle einer Photo-Astigmatisch Refraktiven Keratektomie (PARK) eine Unterkorrektur als Folge hätte. Smith et al. (1995) stellten dagegen keinen Einfluss der Körperposition bezüglich der Torsion fest. Aufgrund dieses Widerspruches interessierte uns, ob in einen Kollektiv Normalsichtiger unter binokularer Kontrolle eine Zykloinduktion durch Wechsel der Körperlage zustande kommt.

1.4 Astigmatismus

Beim Astigmatismus (Stabsichtigkeit) handelt es sich um eine Krümmungsanomalie der Hornhaut oder Linse, bei der ein Objekt, stabförmig auf der Netzhaut abgebildet wird. Parallel einfallende Strahlen werden dabei nicht in einem Brennpunkt gebündelt, da die eine Ebene stärker bricht als die senkrecht dazu stehende Ebene (vgl. Abb. 2).

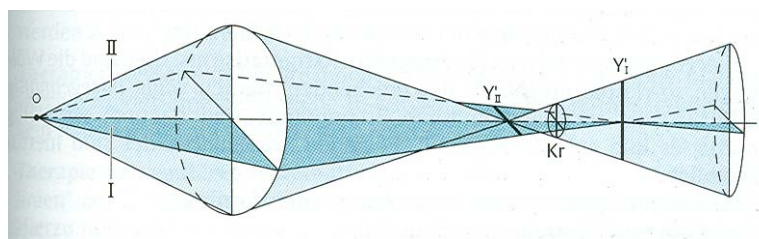


Abb. 2: Refraktionsverhältnisse bei astigmatischer Hornhaut (Lang, 1998)

I+II = Hauptmeridiane , O = Objekt, Y_I , Y_{II} = Brennpunkte der Hauptmeridiane

Kr = Kreis kleinste Verwirrung (Ort mit der geringsten Unschärfe der Abbildung)

In Bezug auf die Hornhaut unterscheidet man reguläre Astigmatismen, in denen die beiden Achsen genau 90° zueinander liegen, von irregulären Astigmatismen mit sehr unregelmäßiger Hornhautoberfläche. Beim häufigeren regulären Astigmatismus handelt es sich in der Regel um eine angeborene refraktive Anomalie des Auges. Die einzelnen Mediane der Hornhautoberfläche besitzen dabei eine gleichmäßige Wölbung mit jeweils definierter Brennlinie (vgl. Abb. 3a).

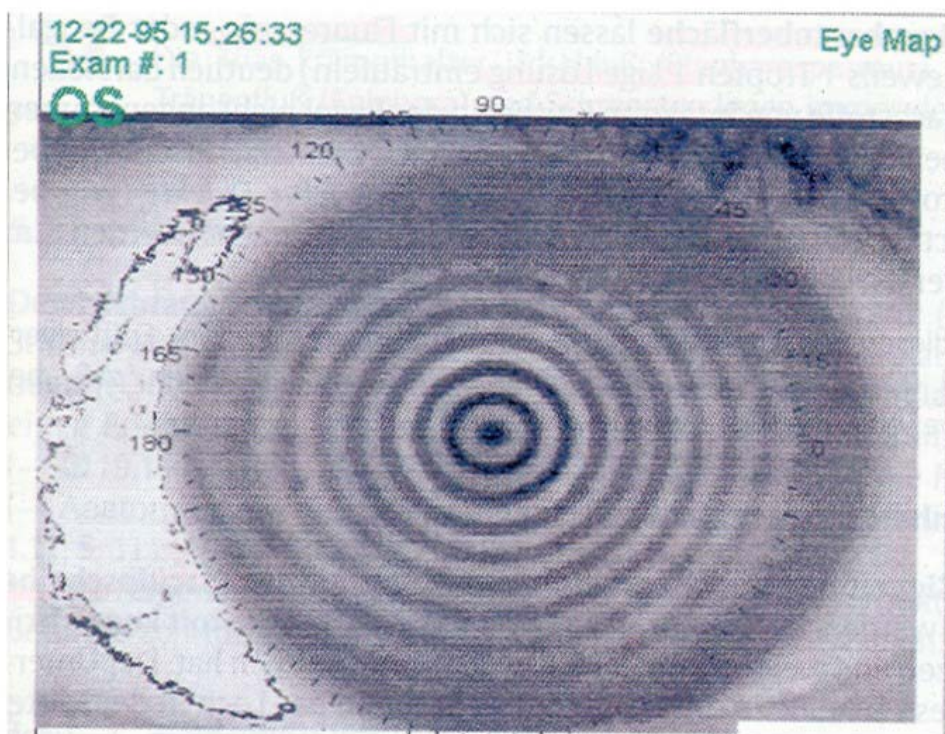


Abb. 3a: Regulärer Astigmatismus (Lang, 1998) Spiegelbild einer Placidoscheibe auf einer gleichmäßig gekrümmten Kornea



Abb. 3b: Irregulärer Astigmatismus bei Keratokonus (Lang, 1998)

Beim irregulären Astigmatismus hingegen gibt es keine gleichmäßige Wölbung der Hornhaut, so dass jeder einzelne Meridian keine eindeutig definierte Brennlinie besitzt (vgl. Abb. 3b).

1.4.1 Ursachen des Astigmatismus

Unterschiedliche Bulbuslängen, angeborene Verformungen aber auch Degenerationen, erworbene Hornhautnarben und abgelaufene Entzündungen können zu erheblichen regulären astigmatischen Veränderungen der Hornhaut führen aus denen zum Teil erhebliche Fehlsichtigkeiten resultieren. Die Ursachen des irregulären Astigmatismus sind häufig erworben. Neben Infiltrationen können Ulzerationen, Narbenbildungen sowie vorausgegangene Operationen oder angeborene Kollagenstörungen (z.B. Keratokonus) als Auslöser diese Erkrankung in Frage kommen (Lang 1998).

1.4.2 Diagnose des Astigmatismus

Mit Hilfe von Ophthalmometern wird die Diagnose des Astigmatismus durch Messung der Krümmungsradien (Abberometrie) ermöglicht. Moderne Autorefraktoren, die die Refraktion messen, werden hierzu heutzutage eingesetzt. Früher wurde mittels Placidoscheiben untersucht (vgl. Abb. 3a-b).

Die farbige Darstellung mittels Hornhauttopographiegeräten beruht auf Projektionen konzentrischer Ringe auf die Hornhaut (Lang 1998). Irreguläre Astigmatismen sowie die Gradienten regulärer Astigmatismen lassen sich hiermit besonders anschaulich vermitteln (vgl. Abb. 4a-b).

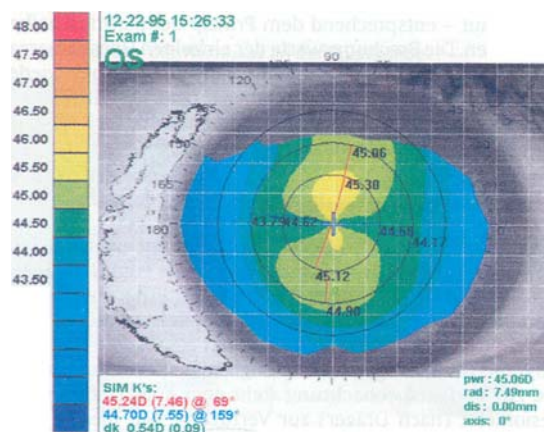


Abb. 4a: Regulärer Hornhautastigmatismus bei normaler Hornhaut (Lang, 1998)

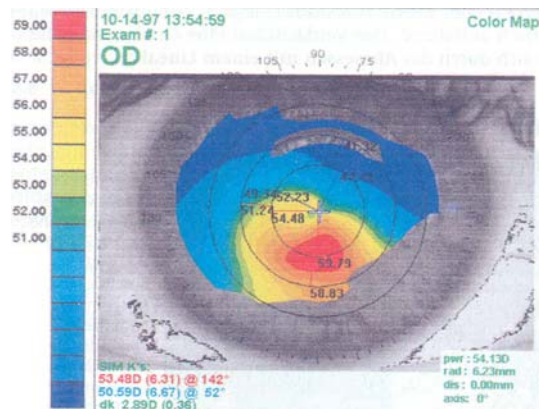


Abb. 4b: Irregulärer Hornhautastigmatismus bei Keratokonus (Lang, 1998)

1.4.3 Therapie des Astigmatismus

Bisher erfolgte die Therapie regulärer Astigmatismen mit zylindrisch geschliffenen Gläsern, die einen Stab in einen Punkt zurück überführen und in der 90° -Achse zum vorhandenen Astigmatismus verordnet werden. Außerdem können harte Kontaktlinsen durch den zwischen der Hornhaut und der Linsenrückfläche gelegenen Tränenfilm insbesondere irreguläre Astigmatismen ausgleichen (Lang 1998).

Neuere Entwicklungen ermöglichen es mit Hilfe von Wellenfront gestützten Lasern Refraktionsfehler wie z. B. Astigmatismen durch Abberationen der vorderen Hornhaut zu korrigieren. Diese Behandlungen werden mittels hochspezialisierter Laser am liegenden Patienten durchgeführt. Die für die jeweilige Behandlung notwendigen vorausgehenden Berechnungen des Astigmatismus und der Sphäre werden am sitzenden Patienten durchgeführt.

Bei der wellenfront-gestützten Lasertherapie werden Abberationen, das heißt Brechkraftfehler wie Astigmatismen, die im Auge zur Entstehung unscharfer Bilder führen, korrigiert:

Abweichungen (Abberationen), die einfallendes Licht vom idealen Weg im Auge ablenken, werden mittels eines Computerchips (Abberometer), für den Lasereinsatz berechnet, und in ein Abtragungsprofil (Ablationsprofil) umgerechnet. Mit Hilfe dieses Profils wird die Hornhaut anschließend mittels Scanning-Spot-Lasers gelasert, das heißt, oberflächliche Anteile abgetragen. Dadurch wird die Brechkraft gemindert, die Stabilität der Hornhaut wird jedoch nicht beeinflusst. Zum Einsatz kommen Excimerlaser mit einer Wellenlänge von 193 nm (Loewenstein et al. 2002). Hierbei handelt es sich um einen Gaslaser im ultravioletten Bereich mit sehr kurzen Pulszeiten und hohen Spitzenenergien, die sehr präzise arbeiten.

1.5 Photorefraktive Therapien

Mit zunehmender Weiterentwicklung dieser entsprechenden Methoden in den letzten 15 Jahren etablierten sich hierzu folgende Techniken:

1.5.1 Photorefraktive Keratektomie (PRK)

Hierbei wird mit einem Argon-Fluorid- Excimerlaser die Ametropie behandelt.

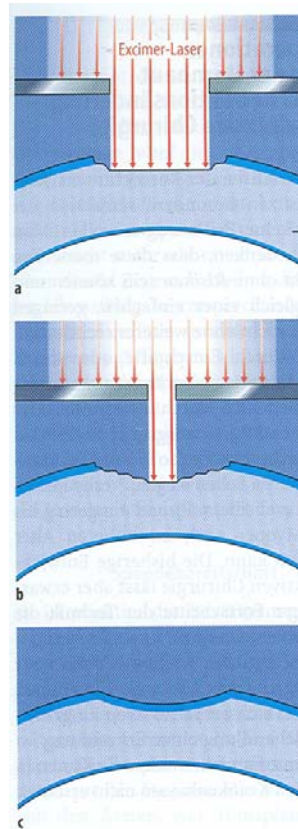


Abb. 5: Photorefraktive Keratektomie (PRK). (Grehn, 2003)

- a. Die oberflächliche Schicht der Hornhaut wird mittels Excimer-Laser-Pulsen schrittweise abgetragen
- b. Auf diese Weise wird eine neue Oberflächenwölbung aufgeschliffen, und die Brechkraft der Hornhaut abgeschwächt
- c. Die postoperative Darstellung der Hornhaut

Von Ametropien spricht man im Falle von Abweichungen der Refraktion von Null im Gegensatz zu sog. Emotropien bei denen Sphäre und Astigmatismus Null sind. Das zu operierende Auge wird mit einem Tropfen betäubt und unter dem Operationsmikroskop positioniert. Der Patient wird aufgefordert, ein blinkendes Ziellicht zu fixieren. Hierdurch kann die Therapiezone durch den Behandler festgelegt werden. Die Operation erfolgt anschließend in dieser Position mittels des Excimerlichtes. Bei der PRK wird im Gegensatz zur Lasik das Hornhautepithel geschliffen. Dabei wird der vordere Anteil des Hornhautstromas stufenweise abgetragen.

1.5.2 Photo-Astigmatisch Refraktive Keratektomie (PARK)

Das Prinzip der PARK liegt im Erreichen einer vergrößerten Steilheit der Hornhautperipherie, die durch eine laserchirurgische Abflachung des steileren Meridians im Hornhautzentrum erreicht wird (vgl. Abb.6). Postoperativ wird eine Heilung des Hornhautepithels (oberflächliche Schutzschicht) angestrebt. Diese Methode der Lasertherapie eignet sich gut zur Behandlung des myopen Astigmatismus. Es können Kurzsichtigkeiten von -1 bis -4 dpt. und Astigmatismen bis 3,0 dpt. korrigiert werden.

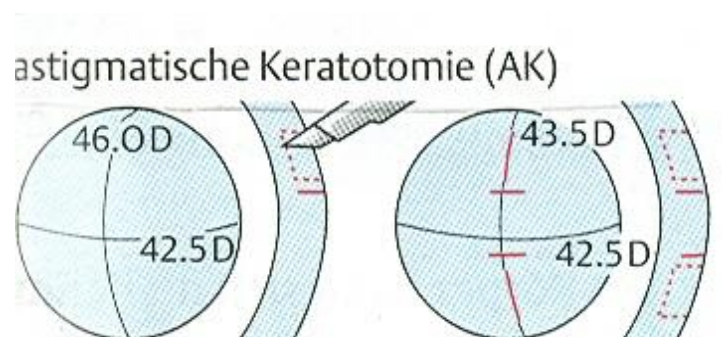


Abb. 6: Astigmatische Keratotomie (Lang, 1998)

1.5.3 Laser-In-Situ-Keratomileusis (LASIK)

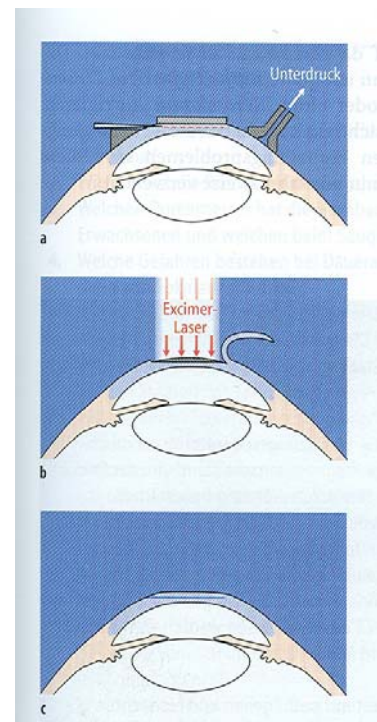
Die sog. LASIK (= schnitzen der Hornhaut) benötigt neben dem Excimerlaser, ein Mikrokeratom (Hobel) zur Ablösung der sog. Flaps (Hornhautscheibe). Bei dieser Methode wird nach der örtlichen Betäubung vom mittleren Anteil der Hornhaut (Hornhautstroma) Gewebe unter Vakuum (zur glatten Schnittführung) abgetragen. Zunächst wird eine hauchdünne Bowman-Lamelle der Hornhaut mit dem Mikrokeratom abgelöst und vorsichtig nach oben geklappt. Nachfolgend wird das Stroma der Hornhaut mittels Excimer-Laser durch Verdampfung abgetragen. Anschließend wird das Hornhautscheibchen wieder zurück geklappt und angedrückt. Es saugt sich von selbst fest. Eine Naht ist nicht erforderlich (vgl. Abb. 7). Erfahrungen zeigen dass die LASIK postoperativ deutlich bessere Ergebnisse (z.B. schnellere Genesung, Schmerzfreiheit) erzielt als die PRK (Seiler 2000). Die LASIK-Technik wird seit 1994 (Pallikaris und Siganos klinische Studie 1994) eingesetzt (Seiler 2000) und gilt als eine anerkannte Methode zur Korrektur von Astigmatismen bis drei Dioptrien, Kurzsichtigkeiten bis 10 Dioptrien und Weitsichtigkeiten bis vier Dioptrien.

Abb. 7a-c:

LASIK: Laser-In-Situ-Keratomileusis

(Grehn, 2003)

- a. Schnittführung der Hornhaut unter Vakuum
- b. Entfernung des intrastromalen Gewebe der Kornea mittels Excimer-Lasers
- c. Die oberflächliche Stromalamelle wird postoperativ zurück reponiert



1.6 Kontraindikationen und Komplikationen der refraktiven Chirurgie

Für alle oben genannten refraktiven Techniken gelten in der Regel folgende Kontraindikationen:

Glaukome, Katarakte, höhere Myopien ($> -10\text{dpt.}$), höhere Hyperopien ($> +4\text{dpt.}$), Astigmatismen über 3dpt. , dünne bzw. flache Korneae, systemische Erkrankungen, ferner Allergien, Schwangerschaften und Stillzeiten. Auch Boxer werden wegen postoperativ potentiell drohender Hornhautperforationen bei möglichen Faustschlägen als Kontraindikation betrachtet (Hori-Komai et al. 2002).

Trotz dieser vorhandenen Einschränkungen, haben refraktive Techniken auf Grund folgender Vorteile in der Therapie des regulären Astigmatismus an Bedeutung gewonnen:

1. Eine Brille wird zumindest bei einem Teil der behandelten Patienten überflüssig.
2. Es besteht eine schnelle Stabilisierung der Refraktion.
3. In der Regel treten nur geringe postoperative Wundschmerzen auf.

Nicht jeder Einsatz der Lasertherapie führt zum Erfolg. Berichtet wurden höhere Komplikationsrisiken aufgrund des Keratomschnittes wie Hornhautinfektionen, postoperativer irregulärer Astigmatismen durch Narbenbildung, Wundheilungsstörungen, keratombedingter Schnittfehler, Epitheleinwachsungen, erhöhte Blendempfindlichkeit oder Schnittkomplikationen mit Ablösungen der Flaps (Seiler 2000). Ferner wurde das Auftreten von Netzhautablösungen insbesondere bei Myopen berichtet. Eine mittel- bis kurzfristige Sehstörung (z.B. Diplopie) sowie eine Über- oder Unterkorrektur bis zur Verschlechterung der Sehleistung gehört zu den Risiken und Problemen dieser Operationsmethoden .

1.7 Motilität der Augen

Neben den zwei Achsen der Brechkraft des Auges gibt es drei Achsen der Beweglichkeit des Auges in der Augenhöhle, nämlich je eine horizontale, vertikale und rotatorische Achse, die zueinander in Relation stehen. Sie ermöglichen gemeinsam die kugelgelenkartige Beweglichkeit der Augen in ihrer Umgebung, das heißt in der Augenhöhle. Das menschliche Auge verfügt über 6 Augenmuskeln, die für die Augenbewegungen verantwortlich sind (vgl. Abb. 8a). Die einzelnen Funktionen der vier geraden und zwei schrägen Muskeln unterteilen sich wie folgt: M. Obliquus superior (Einwärtsrollung + Senkung+ Abduktion), M. Obliquus inferior (Auswärtsrollung + Hebung + Abduktion), M. rectus superior (Hebung + Adduktion + Einwärtsrollung), M. rectus inferior (Senkung + Adduktion + Auswärtsrollung), M. rectus lateralis (Abduktion), M. rectus medialis (Adduktion). Die muskuläre Innervation erfolgt über 3 Hirnnerven (Lang, 1998):

N. trochlearis (IV): M. obliquus superior

N. oculomotorius (III): M. rectus superior, inferior, medialis, und M. obliquus inferior

N. abducens (VI): M. rectus lateralis

Arteriell versorgt werden alle Muskeln über die A. ophthalmica. Bis auf den M. Obliquus inferior haben alle Augenmuskeln einen gemeinsamen Ursprungsort. Es ist ein ringförmiges Gebilde an der Spitze der Orbita. Dieser Ring ist uns als Anulus tendineus bekannt.

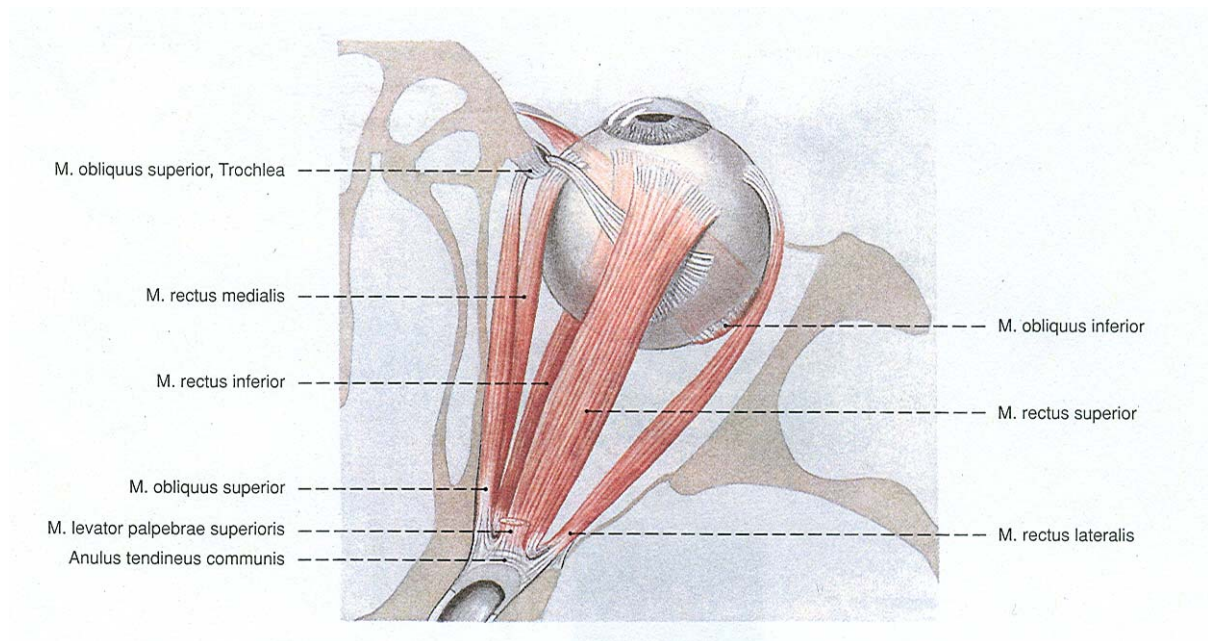


Abb. 8a: Äußere Augenmuskeln (Sobotta- Atlas 2000)

Durch diese speziellen anatomischen Gegebenheiten und das Zusammenspiel der extraokulären Muskeln ist es möglich, horizontale, vertikale und torsionale Bewegungen (vgl. Abb. 8b) auszuführen. In der Orbita können sich demzufolge die Augen einem Kugelgelenk gleich sehr variabel horizontal, vertikal sowie rotatorisch bewegen.

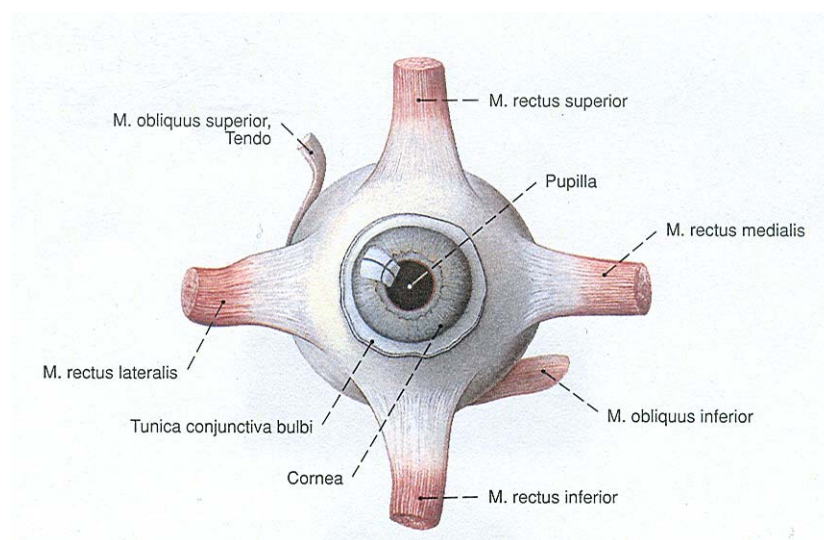


Abb. 8b: Äußere Augenmuskeln (Sobotta- Atlas 2000)

1.8 Anatomie der Iris

Die Iris unterteilt, das Augenninnere in zwei unterschiedlich große Augenkammern. Sie besteht aus zwei Schichten. Beide Schichten der Iris sind, sofern normal angelegt, tief pigmentiert, also in der Regel kontrastreich. Das Irisstroma, das aus Melanozyten und lockerem Bindegewebe besteht, wird durch die Iriskrause (Collarette) in einen inneren pupillaren und einen äußeren größeren peripheren Abschnitt mit Ziliarzone und Iriswurzel gegliedert, die charakteristischerweise ein sehr individuell gestaltetes Irismuster liefern. Diese Tatsache gewinnt derzeit im Rahmen von Security-Checks weltweit an Bedeutung.

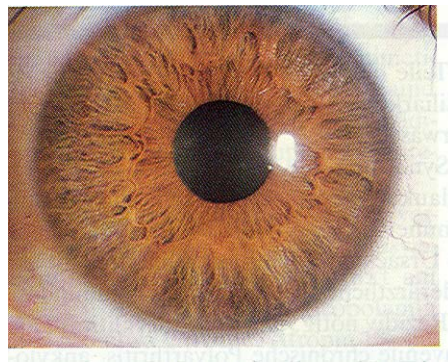


Abb. 9: Normale Oberfläche der Iris (Grehn, 2003)

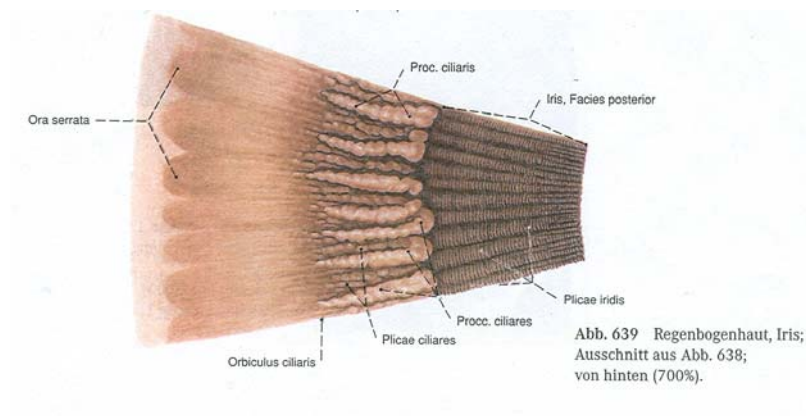


Abb. 10: Regenbogenhaut, Iris (Sobotta-Atlas 2000)

1.9 Dreidimensionale Videookulographie

Die Ermittlung der torsionalen Augenposition bei 3D- Videookulographie erfolgt über die natürlichen Helligkeitsunterschiede der Irispigmentierung. Die 3D- VOG macht sich diese individuell sehr unterschiedlichen Irismuster dahingehend zunutze, in dem sie, um die Torsion zu bestimmen, eine charakteristische möglichst radiär angeordnete Krypte („Landmarke“) des Irisstromas mit einem sektoriellen zirkulär etwa über 40° verlaufenden ringförmigen Markierung belegt (vgl. Abb. 18, Seite 31). Der ringförmige Analysebereich entlang der Pupille (Segment Area) unterteilt sich in maximal 20 Segmente. Jedes Segment wird durch die Helligkeitsunterschiede der Iris einmalig. Der Ring ist nicht geschlossen, da die oberen Augenlider die Messung beeinflussen können. Deshalb wird die untere Region der Iris bei der manuellen Ausrichtung der Segment Area bevorzugt. Mit Hilfe des Referenztestes wird ein Snapshot (Istzustand) der Irisstruktur jedes Auges aufgezeichnet. Nach dem Augen-Snapshot kann man den Bereich des zu analysierenden Irisbereiches im Auge manuell verändern, um eine stabilere torsionale Messung zu erreichen. Zusätzlich wird eine vertikale und horizontale Achse durch die Pupillenmitte gelegt (vgl. Abb. 11) und die sektorielle Verschiebung (dreidimensional) hierzu zu dem durch die Pupillenmitte laufenden Kreuz (zweidimensional) gemessen.

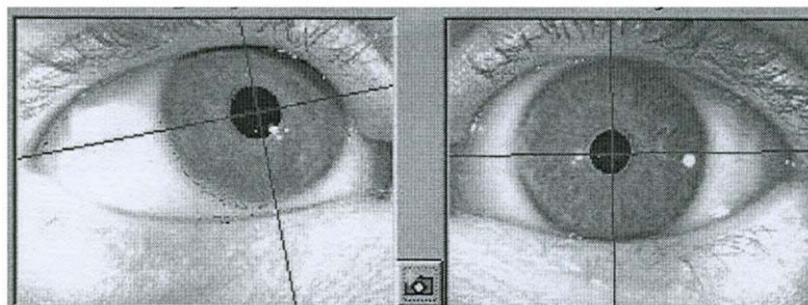


Abb. 11: 3 D VOG Video-Okulographie (Foto: Senso Motoric Instruments)

Dabei werden mittels zweier Infrarotkameras von beiden Augen unabhängig die Augenbewegungen registriert. Bei einer zu postulierenden rotatorischen Bewegung des Auges im freien Raum käme es, ausgelöst durch den vestibulo-okulären Reflex, zu einer Verschiebung des rotatorischen Files auf der Iris, die somit exakt messbar wäre. Abhängig ist die Qualität derartiger Aufzeichnungen von dem natürlichen Kontrast der Pigmentierung der jeweiligen Iris.

Die Änderung der torsionalen Augenposition, das heißt die Rotation der Augen im Vergleich zur horizontalen und vertikalen Achse ist somit ein Zeichen der Änderung der Position der Irisstrukturen. Bei der online Ermittlung der torsionalen Augenbewegung wird alle 20 ms ein Augenbild auf die relative Position des jeweiligen Segmentes durchgeführt. Um eine höhere Messgenauigkeit zu erhalten, versucht die Analysesoftware alle 20 Segmente zu finden und einen resultierenden Mittelwert der Torsion auszurechnen.

1.10 Problemstellung

Ziel dieser Arbeit war es, mit Hilfe der dreidimensionalen Videookulographie zu untersuchen, in wie weit es zwischen der sitzenden und liegenden Körperposition zu einer Verschiebung der Achslage der Hornhaut bei eventuell auftretenden Verrollungen der Augen kommen kann, die dann sekundär bei der Lasertherapie von hohen Astigmatismen zu Problemen im Sinne von verschobenen Achslagen führen könnten. Eine mögliche Änderung der Torsion bzw. Rotation eines Auges beim Wechsel von der sitzenden in die liegende Körperposition nachzuweisen, war Gegenstand der folgenden Untersuchung, da hierin eine mögliche Erklärung für Verschiebungen der Achslagen des Astigmatismus bei Excimer-gelaserten Patienten liegen könnte.

2 Material und Methoden

2.1 Probandenkollektiv

Ausgewählt wurden 100 augengesunde Probanden im Alter zwischen 17 - 49 Jahren. Der Medianwert lag bei 33 Jahren. Das Probandenkollektiv setzte sich aus 51 weiblichen und 49 männlichen Freiwilligen zusammen. Zum Ausschluss okulärer bzw. strabologischer Grunderkrankungen wurden vor Einbringen des jeweiligen Probanden in die Studie eine umfangreiche Anamnese und die im Bogen angegebenen Untersuchungen durchgeführt und entsprechend dokumentiert (vgl. Abb.12).

Date:		Subjectnumber:	
Name:		Projectname:	
Anamnese	Strabologische Vorerkrankungen:	☐	Autorefraktortest
	Laserbehandlung:	☐	
	OP's:	☐	
	Glaukom:	☐	
Visus	Rechts:	☐	
	Links:	☐	
Lang-Test	Pos.:	☐	
A Covertest	PP:	☐	
	Re. Bl.:	☐	
	Li. Bl.:	☐	
	Auf. Bl.:	☐	
	Ab. Bl.:	☐	
Bielschowsky	Re.-Neigung:	☐ EB	
	Li.-Neigung:	☐ EB	
			Zykloduktion in Grad

Abb. 12: Aufnahmebogen

Vor der Untersuchung wurden die Daten der Probanden (Datum, Vor- und Nachname, Alter, Geschlecht, Subjektnummer) registriert. Voraussetzung für die Aufnahme in diese Studie war ein intaktes Stereosehen, sowie ein unkorrigierter Visus von 0,5 oder entsprechend besser, um sicher zu stellen, dass die angebotenen Farbmarken problemlos

erkannt werden könnten. Ferner wurde ein Motilitätsstatus erhoben und die Zyklorotation gemessen.

Probanden mit strabologischen Vorerkrankungen, Zustand nach Laserbehandlungen, Augenoperationen und Glaukomen wurden ebenso wie Probanden mit unkorrigierten Visus < 0,5 von der Studienaufnahme ausgeschlossen. Um die Einschlusskriterien sicherzustellen wurden allen Probanden auf bisher unentdeckte Motilitätsstörungen bzw. Refraktionsfehler untersucht.

2.2 Auto-Refraktor Test

Zunächst wurde mittels eines Autorefraktors die Refraktion beider Augen ohne Zykloplegie gemessen. Das von uns benutzte Gerät war der AUTO-REF R-50 der Firma Schwind. Hiermit werden unterschiedliche Funktionen eruiert:

Messung des Scheitelabstandes (VD),

Messung der Sphärenstärke (SPH),

Messung der Zylinderstärke (CYL),

Messung der Achse (AX),

Messung des Pupillenabstandes (PD).

Vorraussetzung für eine verlässliche Messung mit diesem Gerät ist, dass der Patient das dargebotene Fixierobjekt anvisiert. Das Gerät verfügt über einen breiten Dioptrie-Messbereich (-30D bis +22D). Der Proband wird aufgefordert sein Kinn auf die Kinnauflagefläche zu legen und mit der Stirn die Stirnstütze zu berühren. Der Untersucher stellt durch entsprechende Tasten, die für das Absenken bzw. Anheben der Kinnauflage zuständig sind, das Auge des Probanden auf die Höheneinstellmarke der Stirnstütze ein. Zuerst wird das rechte Auge untersucht. Der Proband sieht eine grüne

Wiese, in dessen Mitte sich ein Haus mit weißen Mauern befindet. Der Proband wird gebeten, das rote Dach des Hauses in der Mitte des vorgeführten Bildes zu anvisieren.

Es wird solange mit dem Steuerhebel zentriert bis die Pupille konzentrisch mit der inneren Ausrichtung ist. Erst wenn das Auge sich nicht mehr bewegt wird auf die Messtaste gedrückt. Dieser Vorgang wird mindestens 3-mal pro Auge wiederholt. Nach beendeter Messung werden die gemessenen Werte automatisch gemittelt und ein Ausdruck der Refraktion beider Augen erstellt. Der Ausdruck enthält folgende Angaben über die Messung:

Datum, Uhrzeit, laufender Nummer, Pupillenabstand (PD), Scheitelabstand(VD), sowie Werte über Sphäre, Zylinder, Achse des jeweiligen Auges. Probanden, die bei dieser Messung einen Astigmatismus von >1.0 aufwiesen wurden aus unserer Studie ausgeschlossen.

2.3 Visus

Die Sehschärfe (Visus) der einzelnen Probanden wurde anhand der Visustafel – mit Decibelabstufung der Visusstufen – nach Prof. Dr. Haase und Dr. Hohmann bestimmt. Bei den Landoltringen handelt es sich um international standardisierte Normsehzeichen in Form von Tafeln zur Prüfung der Sehschärfe basierend auf logarithmischer Einteilung. Es müssen dabei kleiner werdende Lücken in einem Ring lokalisiert werden. Für die Fernvisusbestimmung wurde ein Abstand von 5 Meter zu den Tafeln definiert. Die Prüfung des Visus erfolgt getrennt für beide Augen. Patienten mit einem unkorrigierten Visus von weniger als 0,5 auf einem Auge wurden von der Studie ausgeschlossen.

2.4 Langtest

Der Stereotest 1 nach Prof. Joseph Lang basiert auf fusionierbaren Random-dot-Mustern von 3 verschiedenen Figuren, die auf einer Karte mit grauen, weißen und schwarzen Mustern verteilt sind. Diese Figuren sind Gegenstände des alltäglichen Lebens. Es handelt sich um ein Auto, eine Katze und ein Stern (vgl. Abb. 13).

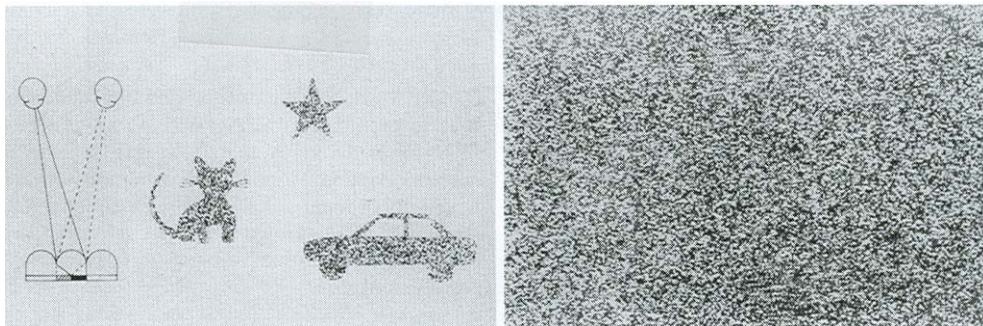


Abb. 13: Langtest 1 (Kaufmann, 2004)

Die Testkarte wird in 40 cm Abstand vor den Probanden gehalten. Der Proband wird aufgefordert seine binokular gewonnenen Eindrücke genau zu schildern. Der Stereotest nach Lang ist eine der gängigen Methoden um binokulares Tiefensehen, das heißt Stereopsis zu prüfen. Stereopsis bzw. das dabei geprüfte höherrangige, dreidimensionale Sehen ist nur bei Parallelstand beider Augen zu erzielen. Alle Probanden, die diesen Test nicht erkannten wurden von der Studie ausgeschlossen.

2.5 Monokularer und alternierender Covertest

Der monokulare Covertest dient zur Verifizierung eines manifesten Schielens. Dabei wird zunächst ein Auge abgedeckt und wieder freigegeben. Wenn hierbei weder beim Abdecken auf dem jeweiligen Partnerauge, noch beim wieder Freigeben des

abgedeckten Auges eine Einstellbewegung erfolgt, ist kein manifestes Schielen nachweisbar, sofern der Test bei Wiederholung am Partnerauge entsprechend ohne Einstellbewegung ausfällt.

Der alternierende Coverttest dient zur Prüfung auf latentes Schielen (Heterophorie). Hierbei werden beide Augen alternierend abgedeckt. Beobachtet werden auch hier Art und Größe der Einstellbewegung (EB) bei nunmehr unterbrochenem Binokularsehen. Zeigten sich hierbei geringfügige physiologische Nahexophorien (EB von außen) oder Nahesophorien (EB von innen) bei intakten Stereosehen, so erfolgte die Aufnahme in die Studie. Höhergradige Phorien wurden von der Studie ausgeschlossen.

Zum Ausschluss bisher unentdeckter Motilitätsstörungen haben wir den alternierenden Coverttest zusätzlich im Winkel-9-Blick durchgeführt. Hierbei zeigten sich bei keinem der Probanden Pathologien.

2.6 Bielschowsky-Kopfneigetest

Der Bielschowsky-Kopfneigetest dient dem sicheren Ausschluss bzw. der Verifizierung einer Störung der schrägen Augenmuskeln und damit der Zykloposition. In der Regel induziert die Neigung des Kopfes zur Schulter hin eine kompensatorische Gegenrollung beider Augen. Bei einer Lähmung des Musculus Obliquus Superior in Folge einer Schädigung des Nervus Trochlearis zum Beispiel weicht das Auge bei Kopfneigung zur betroffenen Seite nach oben innen ab (Pschyrembel 1994). Der Patient empfindet Doppelbilder. Bei der Neigung zur nicht betroffenen Seite besteht oft binokulares Einfachsehen mit fehlender Vertikaldifferenz, weshalb diese Haltung oft kompensatorisch eingenommen wird. Um eine versteckte Verrollungsstörung bei den Probanden auszuschließen wurde deshalb bei allen ein entsprechender Test zum

Ausschluss von Einstellbewegungen unter covern durchgeführt. Bei allen Probanden konnte eine entsprechende Verrollungsstörung ausgeschlossen werden (vgl. Abb. 14).



Abb. 14: Bielschowsky-Kopfneigetest mit Trochlearparese rechts (Lang, 1998)

2.7 Messung der Zykloduktion mit dem Maddoxzylinder

Zum ergänzenden Ausschluss einer Verrollungsstörung z.B. bedingt durch eine Obliquus-inferior Störung wurden mit Hilfe eines Skalen-Maddox-Zylinders die Probanden im Hinblick auf eine vorbestehende Ex-und Inzykloduktion geprüft (vgl. Abb. 15).



Abb. 15: Maddox-Zylinder (Kaufmann, 2004)

Die Methode der Zyklorotationsmessung mit dem Maddoxzylinder beruht auf der Einstellung der subjektiven Horizontale in einem Kreis von 360°. Dem Patienten wird die Möglichkeit gegeben, binokular bzw. monokular die subjektive Horizontale an einem MADDOX-Kreuz einzustellen (vgl. Abb. 16).

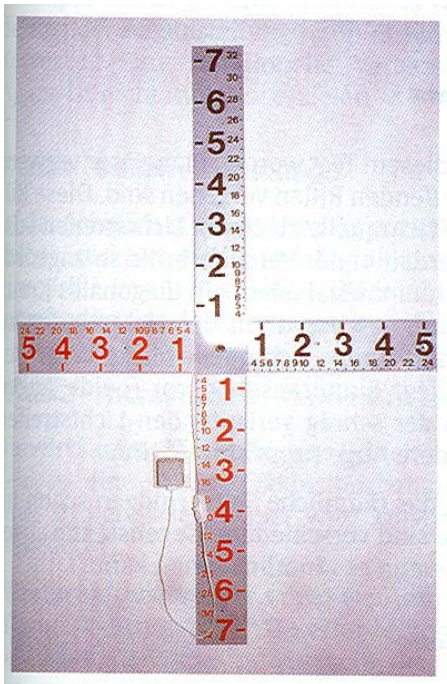


Abb. 16: Maddox-Kreuz (Lang, 1998)

Um sicher zustellen, dass der Kopf bei der Untersuchung exakt gerade gehalten wird, ist dabei darauf zu achten, dass die oben am Maddoxzylinder angebrachte Wasserwaage austariert ist. Die vom Probanden angegebene Linie kann an einer Skala abgelesen und mit der tatsächlichen Horizontalen am Maddox-Kreuz verglichen und so eine mögliche Zyklorotation bzw. Verrollungsstörung der Augen objektiviert werden (vgl. Abb. 16). Die Messung erfolgt in Grad und wird je nach Ausrichtung der Verrollung als Exzyklorotation oder als Inzyklorotation bezeichnet und angegeben. Der Untersucher stellt den Maddox-Zylinder so ein, dass der Proband auf der zu untersuchenden Seite eine schräg eingestellte Lichtlinie erkennt. Er wird aufgefordert, diese grade zustellen.

Wir haben bei allen Probanden die Zyklorotation gemessen und nur solche in die Studie aufgenommen, die max. eine Zyklorotation von 5° Exzyklorotation bis 2 ° Inzyklorotation angegeben haben. Diese Werte sind, unter Berücksichtigung der klinischen Erfahrung der Betreuer der Arbeit, als Normalschwankungen ohne pathologischen Wert anzusehen.

2.8 Dominantes Auge

Da nach Beginn der Messungen die Frage auftauchte, inwieweit eine eventuelle Dominanz eines Auges die Messungen beeinflussen könnte bzw. durch welche Ursachen eine gemessene Zyklodeviation in der Dominanz eines Auges begründet sein könnte, haben wir das dominante Auge ebenfalls ermittelt und registriert. Dies erfolgte mit dem so genannten „Lochtest“, bei dem der Proband aufgefordert wird, durch das Loch eines Blattes Papier zu blicken. Er sollte dabei mit beiden Händen spontan das Blatt vor ein Auge führen. Beobachtet wird dabei vor welches Auge das Blatt geführt wird, um hiermit das dominante Auge zu ermitteln.

Nach Abschluss der unter 2.1 - 2.8 durchgeführten Untersuchungen wurden die so ausgewählten Probanden einer Videookulographie-Messung im Sitzen und im Liegen wie folgt unterzogen.

2.9 Dreidimensionale Videookulographie

Ein Prototyp dieser non-invasiven dreidimensionalen Videookulographie wurde für Raumfahrt-Fragen entwickelt und für Hals-, Nasen-, Ohren-ärztliche Fragestellungen bereits in der Forschung verwendet. Seit 1991 versucht die Firma „Senso Motoric Instruments“ (SMI) die VOG Technik für andere klinische und wissenschaftliche Bereiche zugänglich zu machen. Bei der uns zur Verfügung gestellten Version handelt es

sich um die dritte Nachfolgeversion. Das VOG-System verwendet „infrarot emitting diodes“ (IR-LEDs) mit einer Wellenlänge von 880 bis 950 nm. IR-LEDs sind klein und liefern genügend Licht. Infrarotstrahlen werden von der Sklera bzw. Iris reflektiert und von der Pupille absorbiert.

2.9.1 Versuchsaufbau

Die binokulare dreidimensionale Videookulographie mit zwei eingebauten Infrarotkameras ermöglicht es, dynamisch die Augenbewegung beider Augen unabhängig voneinander aufzuzeichnen. Die hochsensiblen Kameras sind in eine Taucherbrillen-artige Maske seitlich integriert und werden mit Hilfe derer am Kopf der Probanden individuell fixiert (vgl. Abb. 17a-b).



Abb. 17a

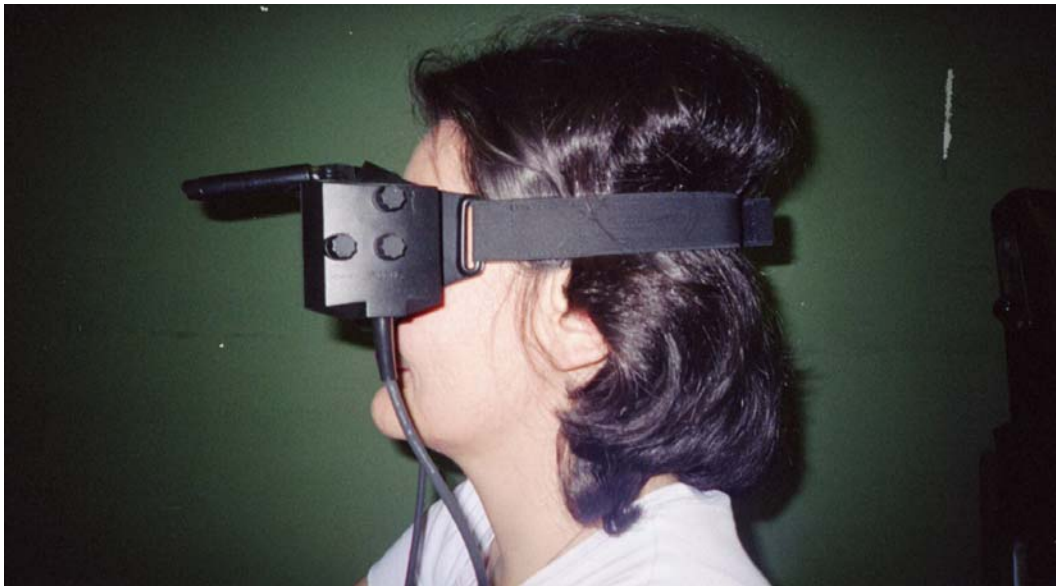


Abb. 17b

Dabei werden die Kameras so eingestellt, dass beide Augen zentriert sind. Anschließend wird die Pupille farblich markiert, und durch ein rotes Kreuz wird die horizontale und vertikale Position festgehalten (vgl. Abb. 18).

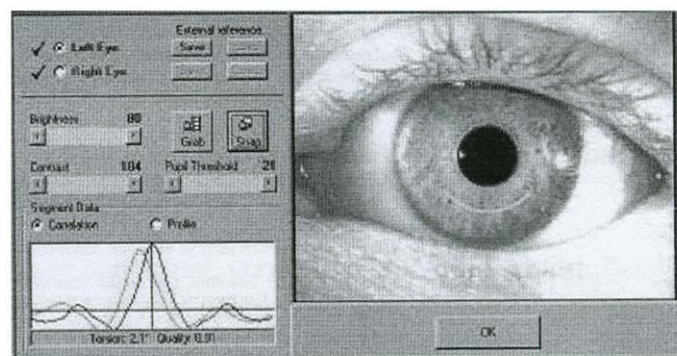


Abb. 18: Die farbige Markierung der Pupille erfolgt zur Messung der Torsion.

(Foto: Senso Motoric Instruments)

Für die Rotationsbestimmung wird ein geeigneter besonders kryptenreicher, charakteristischer Abschnitt der Iris ausgewählt und gelb markiert um sicher zu stellen,

dass man während des Versuchsablaufs dasselbe Irissegment gewählt hat. Da die Methodik auf den Kontrasten der Regenbogenhaut beruht, werden die weiblichen Probanden aufgefordert ihre Augenmaskara zu entfernen, um keine falsch positiven Signale bzw. Interferenzen zu den jeweiligen Irissegmenten zu erhalten. Dies kann bei der Messung der Torsion zu Fehlmessungen führen, da die Kameras die dunkle Maskara von der Pupille nicht unterscheiden können, was bei der Torsion zu Fehlmessungen führen kann. Zu Beginn der jeweiligen Messungen wurden zunächst die persönlichen Daten der Probanden, wie Name und Subjektnummer, gespeichert. Mittels der dazu gehörigen Software werden neben persönlichen Daten der Probanden, Pupillenbilder der Untersuchten in vertikaler und horizontaler Position, sowie die Positionsdaten der horizontalen, vertikalen, und rotatorischen Achsen in Abstände von 0,02 Sekunden gespeichert.

2.9.2 Kalibration

Nachdem die Augen auf dem Monitor einzeln zentriert wurden, wurde die Höhe beider Augen sowie die Fokussierung auf das Irisrelief individuell eingestellt (Scharfstellen). Dabei wurde versucht, ein radiäres möglichst maximal tiefes Relief der Iris zu treffen und zu markieren. Nachfolgend wurde die Testperson auf einen manuell höheneinstellbaren Stuhl gesetzt. Die Höhe der Nackenstütze zur Stabilisierung des Kopfes beim Hinlegen wurde individuell justiert.

Zur Bestimmung der Kalibrierung der horizontalen und vertikalen Position wurde der Proband aufgefordert, auf rote Markierungen (Punkte), die auf einer gegenüber stehenden Harmstafel horizontal und vertikal angebracht waren, zu schauen (vgl. Abb. 19).



Abb. 19: Bestimmung der Kalibration auf einer gegenüberstehenden Harmswand

Die abwechselnd zu fixierenden Punkte befanden sich zentral, bei 10° und 15° jeweils nach oben, unten, rechts und links verteilt. Der Abstand zwischen der Harmswand und dem Stuhl betrug 3 Meter. Auf Aufforderung sollte der Teilnehmer die ihm gezeigten Punkte mit den Augen ansehen, ohne dabei den Kopf zu bewegen. Während des systematischen Ablaufes der vorgegebenen Blicksprünge sollten anhand der Messmarken zunächst horizontal, dann vertikal die entsprechenden Marken anvisiert werden (vgl. Abb. 20).

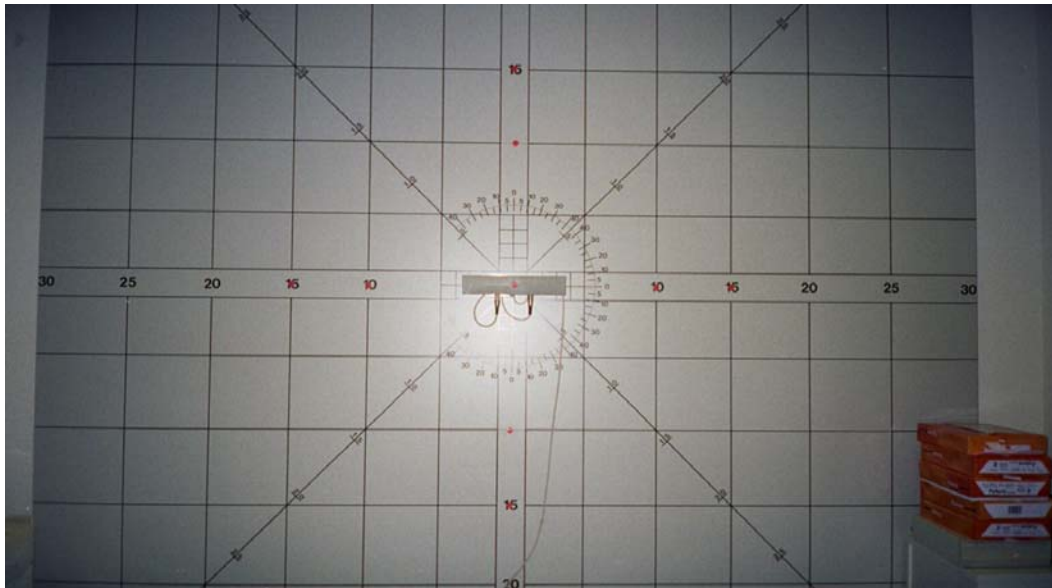


Abb. 20: Tangentenskala nach Harms (in der Klinik "Harmswand" genannt)

Hiermit wurde die Reproduzierbarkeit der vertikalen und horizontalen Achslage durch die Pupillenmitte ermittelt. Das Ergebnis der Reproduzierbarkeit wurde dann in Prozentzahlen angegeben.

2.9.3 Bestimmung der Torsion

Der Proband wurde nachfolgend auf dem Stuhl sitzend möglichst ohne Maskenbewegung um 90° nach rechts gedreht. Nunmehr erfolgte die Aufforderung mit Hilfe eines auf die Maske montierten Laserpointers einen roten Markierungspunkt auf der gegenüberliegende Tür zu fixieren (vgl. Abb. 21a).



Abb. 21a: Fixierung der roten Markierungspunkt an der Tür mit der Laserpointer

Der Stuhl wurde bei Bedarf in der Höhe automatisch so nachjustiert, dass ein Fixieren dieses Punktes im Geradeausblick, das heißt in Primärposition möglich war. Die nachfolgende 20 bis 30 sekundige starre Fixierung des Punktes wurde mittels Videookulographie aufgezeichnet. Der Proband wurde dabei gebeten, zur Vermeidung von Artefakten möglichst nicht zu blinzeln (vgl. Abb. 21b).



Abb. 21b: Die Fixierung aus einer anderen Blickperspektive

Auf Kommando wurde der Proband nach Ablauf der 30 Sekunden mit dem Stuhl in die liegende Position gebracht. Die Testperson wurde aufgefordert, die Maske seitlich mit den Händen beim Hinlegen zu fixieren, um so ein Verschieben der Maske zu vermeiden (vgl. Abb. 22).



Abb. 22: Anvisierung einer der Drei Punkte an der Decke

Sofort nach Erreichen der Ruhelage im Liegen sollte an der Decke ebenfalls einer von drei angebotenen roten Punkten angeschaut werden und zwar derjenige in der Reihe der ein entspanntes Schauen in Primärposition, das heißt im Geradeausblick, ermöglichte (vgl. Abb. 23).

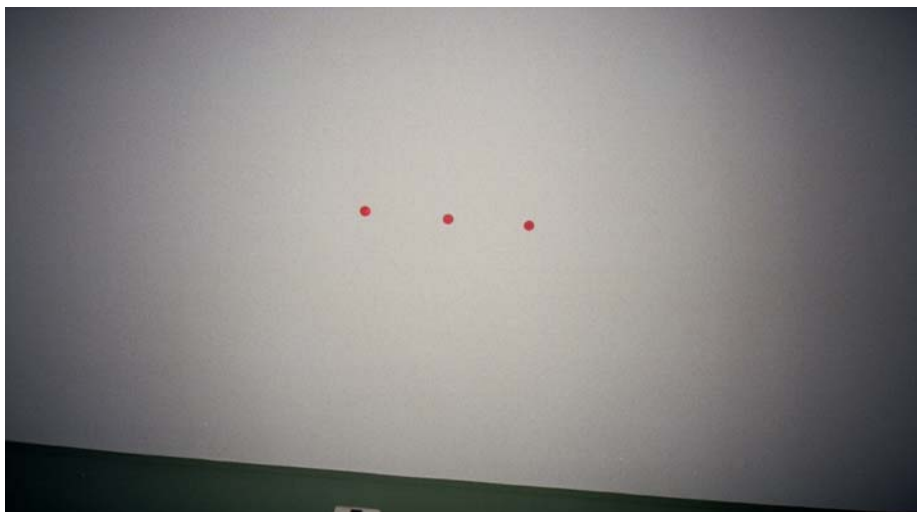


Abb. 23: Drei rote Markierungspunkte stehen zur Fixierung an der Decke zur Verfügung

Während des gesamten Manövers und im Anschluss daran weitere 30-60 Sekunden wurden mit den Kameras die Augenbewegungen online aufgezeichnet. Der Monitor zeigt vor, während und nach dem Lagewechsel des Körpers die vertikale, horizontale und torsionale Veränderung der Augenposition an. Die dabei erzielten Messdaten sind Gegenstand der im Ergebnissteil angeführten Daten (vgl. Abb. 24).

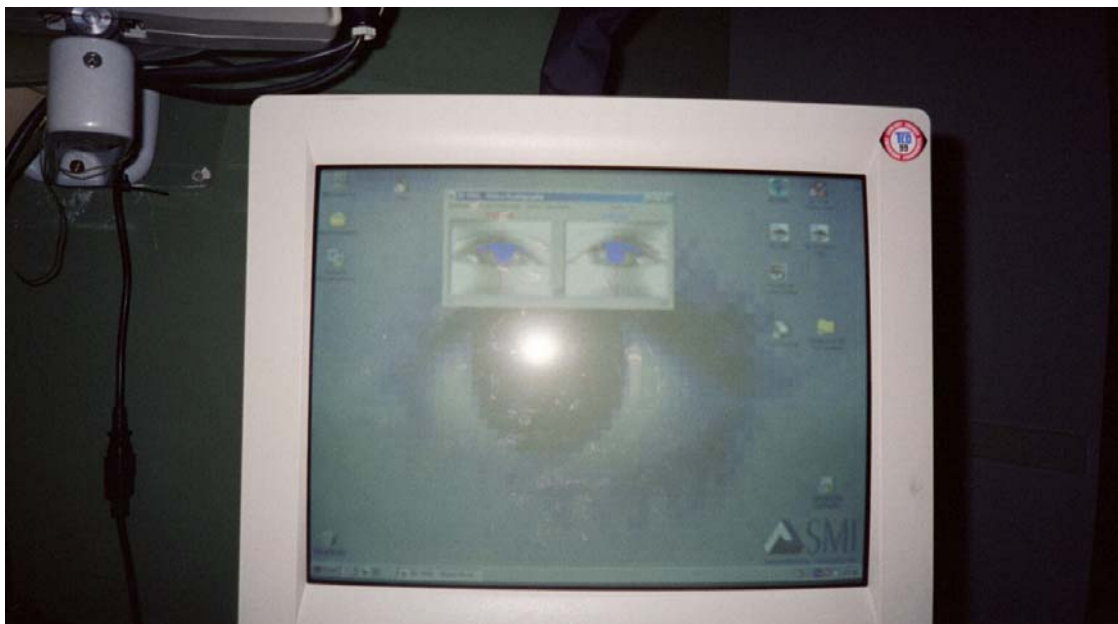


Abb. 24: 3D-VOG Monitor

3 Ergebnisse

In dieser Studie wurden die Daten von 100 gesunden Probanden zwischen dem 17. und 49 Lebensjahr ausgewertet. Der Medianwert lag bei 33 Jahre. Das Probandenkollektiv setzt sich aus 51 weiblichen und 49 männlichen Freiwilligen zusammen.

Mit dem Canon R-50 Autorefraktor wurde die sphärische Refraktion beider Augen jedes Probanden gemessen und in Tabelle 1 dargestellt. Überwiegend bei n=82 Augen (41 Probanden) lag der Refraktionswert zwischen 0 und + 0,5 sph.. Sphärische Refraktionen größer als + 1,0 sph. und unter – 1,5 sph. wurden nicht gemessen.

> +1 dpt.	> +0,5 bis +1 dpt.	> 0 bis +0,5 dpt.	0 dpt.	< 0 bis -1,5 dpt.
n=0	n=8 re=3 li=5	n=82 re=42 li=40	n=47 re=24 li=23	n=63 re=32 li=31

Tabelle 1. Sphärische Refraktion (rechts/links) in Dioptrien

Nur bei 139 Augen (70 Probanden) wurde eine zylindrische Refraktion gemessen. Diese verteilte sich wie in Tabelle 2 dargestellt und betrug maximal 1,0 dpt.

0 dpt.	-0,25 dpt.	-0,5 dpt.	-0,75 dpt.	-1 dpt.
n=61 re=27 li=34	n=48 re=24 li=24	n=65 re=36 li=29	n=19 re=10 li=9	n=7 re=3 li=4

Tabelle 2. Zylinder Refraktion (rechts/links)

Den unkorrigierten Visus, das heißt die Sehschärfe ohne Brille gibt Tabelle 3 wieder. Bei 90 der Probanden lag dieser Visus beidseits bei 1,0 und besser. Bei den Probanden mit schlechterem unkorrigierten Visus wurde darauf geachtet, dass die angebotenen Marken sicher und sofort ohne Zögern erkannt wurden. Um sicherzustellen, dass dies zutreffend war, wurden Probanden mit einem Visus von unter 0,5 ausgeschlossen.

Visus re / li	1,6/1,25	1,0/1,0	1,0/0,8	0,8/1,0	0,7/1,0	0,63/0,8	0,6/0,7	0,6/0,6	0,6/1,0
Anzahl = n	n=1	n=89	n=3	n=1	n=2	n=1	n=1	n=1	n=1

Tabelle 3. Unkorrigierter Visus

Bei allen Probanden (n= 100) bestand Stereopsis mit positivem Lang 1 Test.
Der alternierende Coverttest zeigte während der Aufblickposition in der Nähe in vielen Fällen (n=74) eine Spur Exophorie $<2^\circ$, was einem physiologischen Befund entspricht.

	Aufblick n=74	
Rechtsblick n=10	Primärposition n=37	Linksblick n=12
	Abblick n=3	

Tabelle 4. Patienten mit Exophorie in jeweiliger Blickrichtung

Der erhobene Motilitätsstatus war bei allen 100 Probanden unauffällig, das heißt, die Abduktion und Adduktion, sowohl wie die Senkung und Hebung waren frei.

Die mit dem Maddox-Zylinder gemessene Zyklorotation verteilte sich wie in Tabelle 5 dargestellt.

	R/L	R/L	R/L	R/L	R/L	R/L
Zykloduktion	1°ex/0	1°ex/1°in	1°ex/2°in	1°ex/1°ex	1°ex/2°ex	
Anzahl n	n=9	n=3	n=1	n=2	n=1	
Zykloduktion	2°ex/0	2°ex/1°in	2°ex/2°in	2°ex/2°ex	3°ex/0	
Anzahl n	n=2	n=1	n=1	n=4	n=1	
Zykloduktion	0°/0°	0°/1°in	0°/1°ex	0°/2°in	0°/2°ex	0°/3°ex
Anzahl n	n=59	n=6	n=1	n=1	n=3	N=3
Zykloduktion	1°in/1°ex	1°in/2°ex				
Anzahl n	n=1	n=1				

Tabelle 5. Darstellung der Zyklorotation beider Augen in Primärposition

Mit Hilfe des Bielschowsky-Kopfneigetests wurde sichergestellt, dass die gemessenen geringen Zyklorotationswerte nicht ursächlich durch eine zugrunde liegende Verrollungsstörung der Augen begründet waren.

3.1 Bearbeitung der Okulographiedaten

3.1.1 Bereinigung der Kurven

Die bei der Durchführung der 3D-Videookulographie erhobenen Daten wurden original in Access aufgezeichnet. Um dieses Datenmaterial aufarbeiten zu können, wurde es zunächst in Excel importiert. Tabelle 6a zeigt exemplarisch, dass im mittleren Abstand von 0,02 Sekunden eine Messreihe erstellt wurde.

Time [s]	left raw horiz. [pixel]	left raw vert. [pixel]	left horiz. [°]	left vert. [°]	left torsion [°]	left torsion quality	left pupil diam. [pixel]	right raw horiz. [pixel]	right raw vert. [pixel]	right horiz. [°]	right vert. [°]	right torsion [°]	right torsion quality
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
0	325,6	207,1	-2	2,1	2,5	0,68	136,8	324,9	176,9	-4,7	6,2	0,5	0,85
0,021	325,4	206,9	-2	2,1	2,3	0,63	137,1	324,9	177,3	-4,7	6,1	0,6	0,84
0,04	325,4	207,4	-2	2	2,5	0,69	137,1	324,9	177,1	-4,7	6,1	0,5	0,83
0,061	325,2	207,2	-2	2,1	2	0,65	137,1	324,8	177	-4,7	6,2	0,3	0,86
0,08	325	207,1	-2,1	2,1	1,8	0,6	137	324,7	176,8	-4,8	6,2	0,7	0,83
0,101	324,9	207,1	-2,1	2,1	1,9	0,61	137	324,5	177	-4,8	6,1	0,4	0,86
0,12	325	206,9	-2,1	2,1	2,3	0,68	137,2	324,5	176,9	-4,8	6,2	0,4	0,88
0,141	324,9	207	-2,1	2,1	2,2	0,65	137,2	324,4	177	-4,8	6,1	0,4	0,84
0,16	324,9	207	-2,1	2,1	2,5	0,58	136,9	324,4	176,8	-4,8	6,2	0,5	0,83
0,181	324,9	206,9	-2,1	2,1	2,3	0,67	136,9	324,1	177	-4,9	6,1	0,3	0,85
0,2	325	207,1	-2,1	2,1	2,4	0,72	136,7	324,3	176,9	-4,8	6,2	0,6	0,8
0,222	324,9	206,8	-2,1	2,2	2,4	0,62	136,5	324,2	176,8	-4,9	6,2	0,5	0,85
0,241	324,9	206,9	-2,1	2,1	1,9	0,7	136,1	324,3	176,6	-4,8	6,2	0,6	0,82
0,262	325	206,7	-2,1	2,2	2,3	0,56	136,3	324,1	176,9	-4,9	6,2	0,2	0,82
0,281	325	206,9	-2,1	2,1	2,6	0,72	135,8	324,2	177	-4,8	6,1	0,7	0,82
0,302	325,2	207	-2	2,1	2,5	0,57	135,7	324,2	177,3	-4,8	6,1	0,4	0,83
0,321	325,3	206,9	-2	2,1	2,2	0,64	135,5	324,2	177	-4,8	6,1	0,6	0,86
0,342	325,2	206,9	-2	2,1	2,5	0,64	135,5	324	177,2	-4,9	6,1	0,3	0,8
0,361	325,4	206,9	-2	2,1	2,6	0,62	135,5	324,1	177,2	-4,9	6,1	0,6	0,81
0,382	325,3	206,9	-2	2,1	2	0,68	135,4	324,1	177,1	-4,9	6,1	0,4	0,85
0,401	327,1	206,6	-1,7	2,1	2	0,6	135	326	176,9	-4,5	6,2	0,7	0,82
0,422	326,6	206,8	-1,8	2,1	1,7	0,58	135,3	325	177	-4,7	6,2	0,5	0,83
0,441	326,6	206,6	-1,8	2,2	1,8	0,61	134,8	325,2	177,2	-4,7	6,1	0,4	0,84
0,462	326,4	206,6	-1,8	2,2	1,6	0,68	135	325,5	176,8	-4,6	6,2	0,4	0,84
0,481	326,4	206,5	-1,8	2,2	2,1	0,64	134,7	325,3	177	-4,6	6,1	0,7	0,8
0,502	326,2	206,7	-1,8	2,1	■	0,45	134,9	325,3	177,1	-4,7	6,1	0,4	0,83
0,521	326,3	206,5	-1,8	2,2	1,7	0,67	134,6	325,2	177,2	-4,7	6,1	0,9	0,86
0,542	323	207,1	-2,5	2,1	2,2	0,56	133,6	322,1	177,3	-5,2	6	0,4	0,83

■ Entfernter Wert bei Qualität<0,5

Tabelle 6a. Datenerhebung in Access Proband 2

Als Qualitätsmerkmal für die Güte der Torsionsmessung finden sich in Spalte G und N („left Torsion Quality“ = Spalte G, „right Torsion Quality“ = Spalte N) Werte zwischen 0,01 und 1,0. Die Torsion Quality ist ein Wert zwischen 0 und 1. Er stellt ein Indikator dar, wie gut die gemessenen Werte sind, das heißt wie viele Segmente wieder gefunden

wurden und wie relevant ihre Werte sind (vgl. 1.9, Seite 20). Um sicherzustellen, dass Beurteilungen nur an Hand verlässlicher Messergebnisse erfolgen, wurde ein Qualitätswertbedingung von $\geq 0,5$ festgelegt.

Im Programm Excel wurden alle Rohdaten der Torsion für die eine Messqualität unter 0,5 (Spalte G und N) in den Spalten F = „left torsion“ und M = „right torsion“ vermerkt war, entfernt (vergleiche schwarz markierte Stellen in Abbildung 6a). Anschließend wurden sowohl die Spalten left/right horizontal (= Spalte D/K) als auch die Spalten left/right vertikal (= Spalte E/L) von allen Nullmesswerten $X = 0$ gereinigt, da diese erfahrungsgemäß Fehlmessungen entsprechen (vgl. schwarz markierte Stellen in Tabelle 6b bzw. entsprechende Stellen in der Abbildung Anhang S. 87).

Time [s]	left raw horiz. [pixel]	left raw vert. [pixel]	left horiz. [°]	left vert. [°]	left torsion [°]	left torsion quality	left pupil diam. [pixel]	right raw horiz. [pixel]	right raw vert. [pixel]	right horiz. [°]	right vert. [°]	right torsion [°]	right torsion quality
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
24,575	322,6	257,9	-3,6	-9,2	8,2	0,67	104,3	315,4	228,7	-5,8	-4,8	-1,6	0,85
24,597	322,7	258,4	-3,6	-9,3	7,4	0,65	104,6	315,9	227,6	-5,7	-4,6	-1,9	0,83
24,616	0	0	■	■		0	0	322,3	232,4	-4,5	-5,5		0,47
24,637	0	0	■	■		0	0	0	0	■	■		0
24,656	0	0	■	■		0	0	0	0	■	■		0
24,677	0	0	■	■		0	0	307	202,2	-7,6	0,6		0,4
24,696	329,9	248,1	-2	-7,2		0,4	75,9	321,6	195,4	-5,1	2,2	-1,7	0,55
24,717	327,9	235,3	-2,1	-4,2	6,2	0,68	100,6	323,9	196	-4,6	2,1	-1,6	0,89
24,736	326,6	235,3	-2,3	-4,2	5,7	0,69	108	323,5	203,1	-4,6	0,6	-0,7	0,79
24,757	326,2	239,5	-2,5	-5,1	5,9	0,62	108,9	323	207,2	-4,6	-0,2	-0,9	0,88
24,776	325,8	242,9	-2,6	-5,9	6,6	0,68	109,9	322,1	209,8	-4,8	-0,8	-0,9	0,85
24,797	325,1	245,3	-2,8	-6,4	6,8	0,71	110,3	321,4	212,7	-4,9	-1,4	-1	0,89
24,816	324,9	247,7	-2,9	-7	7,1	0,74	111,7	321,2	215,3	-4,9	-1,9	-0,9	0,81
24,837	324,4	249	-3	-7,2	6,5	0,68	111,7	321,1	216,5	-4,9	-2,2	-0,9	0,86
24,856	324,4	250,5	-3,1	-7,6	7,3	0,8	112,8	321,2	218,6	-4,8	-2,6	-1	0,81
24,877	0	0	■	■		0	0	321,8	259,8	-4,3	-11,3	13,9	0,56
24,896	0	0	■	■		0	0	0	0	■	■		0
24,917	0	0	■	■		0	0	0	0	■	■		0
24,936	0	0	■	■		0	0	0	0	■	■		0
24,957	0	0	■	■		0	0	0	0	■	■		0
24,976	0	0	■	■		0	0	0	0	■	■		0
24,997	331,3	307,8	-3	-21		0,34	52,4	307,1	266,3	-6,9	-13		0,43
25,016	326,4	294	-3,6	-17,6		0,48	79,6	310,8	248,1	-6,4	-9		0,46

■ Gelöschte Nullwerte

Tabelle 6b. Datenerhebung in Access Proband 2

Nachfolgend wurden jeweils die horizontalen, vertikalen und rotatorischen, das heißt torsionalen Messdaten aus den Spalten K, D, L, E, M und F jeweils für das rechte und

linke Auge getrennt in Diagrammen graphisch dargestellt (vgl. Rohdiagramm 2). Dabei wurden die Zeit = t auf der x- Achse und die Höhe in Grad auf der Y-Achse aufgetragen. Hieraus ergaben sich die sechs exemplarisch in Abbildung 25 dargestellten Kurven. Jede Kurve entspricht entweder der horizontalen, vertikalen oder rotatorischen Veränderung der Stellung des jeweiligen Auges während des Übergangs von vertikaler Sitzposition (linke Hälfte) zu horizontaler Liegeposition (rechte Hälfte). Die Torsion des rechten Auge ist dabei grundsätzlich braun abgebildet, die des linken Auges gelb.

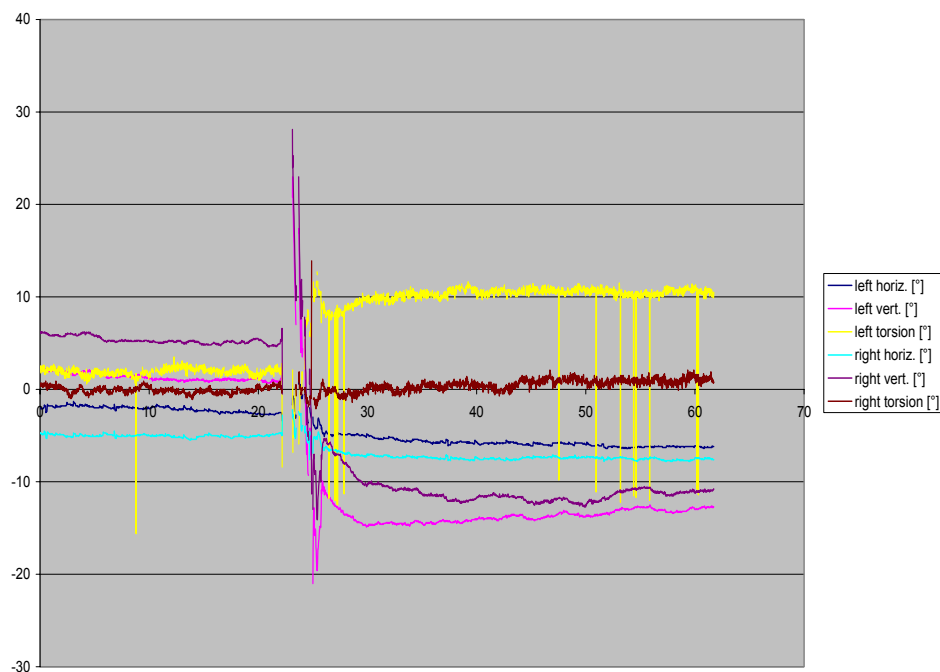


Abb. 25: Rohdiagramm Proband 2: Übergang von vertikaler Sitzposition (linke Hälfte) zu horizontaler Liegeposition (rechte Hälfte)

Betrachtet man das Rohdiagramm des Probanden 2 so fällt auf, dass z.B. die linke Torsionskurve einzelne artifizielle Ausreißer aufweist. Diese entstehen unter anderem durch Lidschläge und verfälschen die Messergebnisse. Um eine gute Qualität der

Kurven zu erhalten, wurden daher die Messwerte der artifiziellen Peaks herausgenommen. Insgesamt wurden also folgende Korrekturen vorgenommen:

1. Eliminierung der Torsionswerte unter einer Qualität von 0,5
2. Eliminierung aller artifiziellen 0-Werte der Horizontalen und Vertikalen
3. Betrachtung der Kurven und anschließende Herausnahme der artifiziellen Peaks

Ein hierdurch entstandenes Diagramm zeigt Abb. 26. Der Vergleich zu Abb. 25 zeigt, dass hierdurch keine Manipulation der relevanten Messdaten erfolgte, er erklärt jedoch punktuell entstandene Lücken in den braunen und gelben Kurven für die Darstellung der rechts- und linksseitigen Torsionskurven.

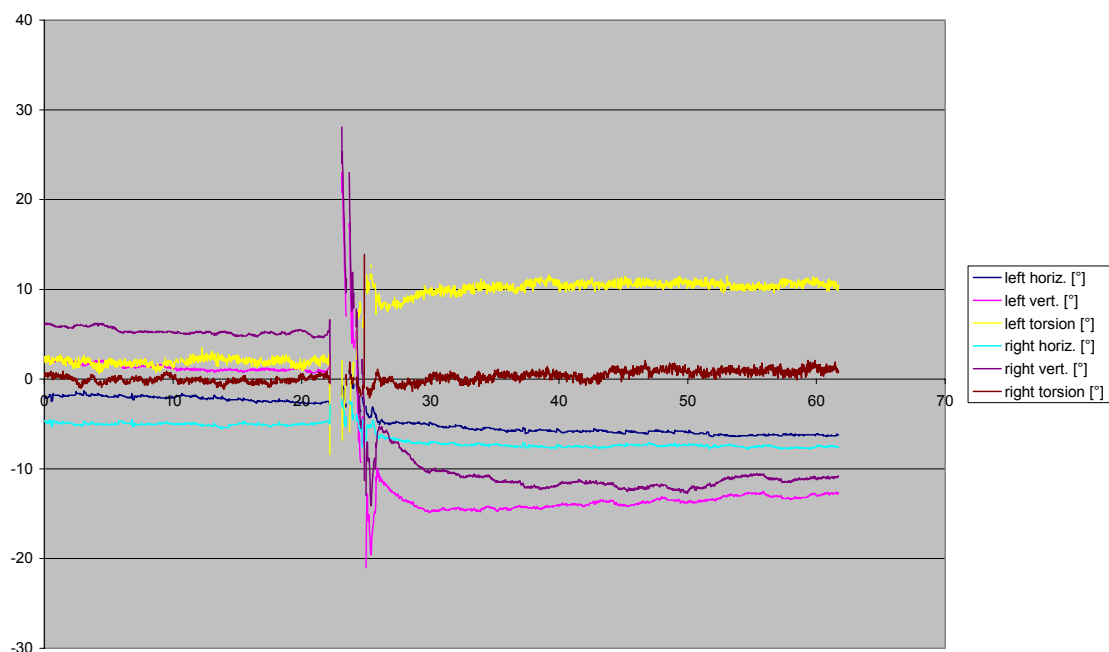


Abb. 26: korrigiertes Diagramm des Probanden 2

Nicht korrigiert wurden deutliche Basisoszillationen wie sie in Kurve 98 in Abb. 27 dargestellt wurden. Die hohen Peaks in allen Kurven nach etwa 25 bis 30 Sek. entstehen durch das Manöver beim Ändern der Körperposition zwischen sitzender und liegender

Stellung der Körperposition. Nicht bei allen Probanden gelang eine so artefaktarme Aufzeichnung der Messkurven beim Hinlegen wie bei dem hier aufgeführten Probanden.

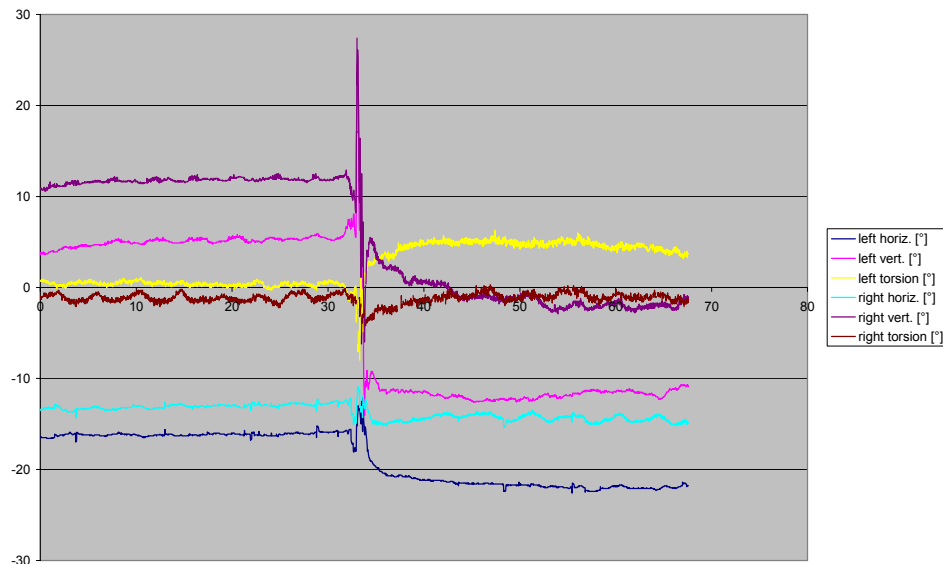


Abb. 27: Korrigierte Darstellung des Diagramms 98 mit Basisoszillationen

3.1.2 Ausschlüsse von der statistischen Auswertung

Der Vergleich aller aufgezeichneten Kurven vor und nach Bereinigung der Graphen ist im Anhang S. 87 dargestellt. Betrachtet man die dort abgebildeten Kurven kritisch so fällt schnell auf, dass viele der Kurven artefaktüberlagert sind bzw. die gewünschten Torsionskurven nicht im angestrebtem Umfang zu registrieren waren. Wegen fehlender exakter Messergebnisse mussten deshalb vor jeglicher statistischer Auswertung insgesamt 49 Kurven, also nahezu die Hälfte ausgeschlossen werden. Die Nummern der Probanden, um die es sich handelt, sind in Tabelle 7 aufgeführt.

Die wie beschrieben erhaltenen Messwerte und Kurven der übrigen Probanden wurden für die weiteren Berechnungen der Vergenzen und Versionen zugrunde gelegt. Die hierzu angestellten Überlegungen sind im Teil 4 diskutiert.

003	028	051	067	084
005	029	052	069	086
006	030	056	073	087
009	032	058	075	088
012	034	059	076	092
015	035	061	078	095
021	042	062	080	097
023	045	063	081	100
026	046	064	082	101
027	047	066	083	

Tabelle 7. Von der Statistik ausgeschlossene Probanden

3.2 Berechnung von Vergenzen und Versionen

Die Version zweier Augen zueinander ist als die Summe beider Augenbewegungen dividiert durch zwei definiert. Hieraus ergibt sich folgende Formel:

$$\text{Version} = (\text{RA} + \text{LA}) / 2$$

Aus dem in Tabelle 6b (Spalte L und E) ermittelten Werten für die Vertikalbewegungen des rechten und linken Auges ergeben sich daher folgende in Abbildung 28 exemplarisch für den Probanden Nr.98 dargestellte grüne Vertikalversionskurve.

Die Größe der Vergenz ist durch die Formel:

$$\text{Vergenz} = \text{LA} - \text{RA}$$

ermittelbar. Entsprechende Berechnungen für die vertikale Vergenz ergeben die blaue Kurve in Abbildung 28. Für die in Abbildung 28 wiedergegebenen schwarzen Kurven

der zyklorotatorischen Version und die rote Kurve der Zyklodivergenz wurden ebenfalls, die in Tabelle 6a angegebenen Werte zugrunde gelegt.

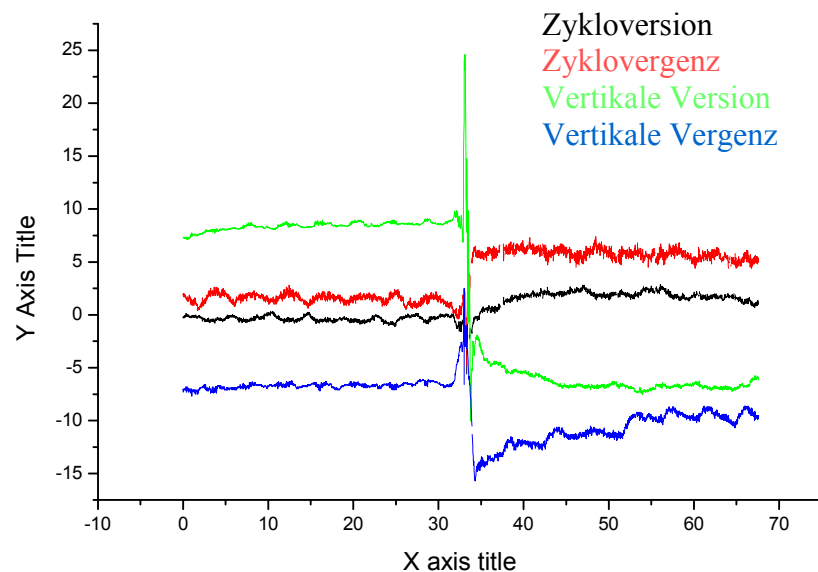


Abb. 28: Darstellung der Divergenzen und Versionen Proband 98 im Statistikprogramm Origin Lab (Ausrechnung der Werte für jeden einzelnen Punkt)

Da die Fragestellung der Arbeit lautete, inwieweit eine Änderung der Körperlage eine Veränderung bzw. Induktion einer Zyklorotation bewirkt, wurden anschließend für die statistische Auswertung 4 Messpositionen ausgewählt, je zwei im Sitzen und zwei im Liegen. Wie in Abbildung 29 anhand der senkrechten Balken dargestellt, wurden Messphasen von jeweils fünf Sekunden Dauer gewählt und im Hinblick auf das Auftreten einer Zyklodivergenz statistisch ausgewertet. Hierzu wurden die Torsionswerte der ersten Position 5 Sekunden nach Beginn der Messung und der zweiten unmittelbar vor dem Hinlegen berechnet und diese mit den Werten nach dem Hinlegen verglichen. Sobald eine Stabilität der Kurve nach dem Hinlegen nachweisbar war, wurde die Markierung weiterer 5 Sekunden (Position drei) durchgeführt und abschließend nach längerem Liegen (Position 4) diese nochmals verglichen (vgl. Abb. 29).

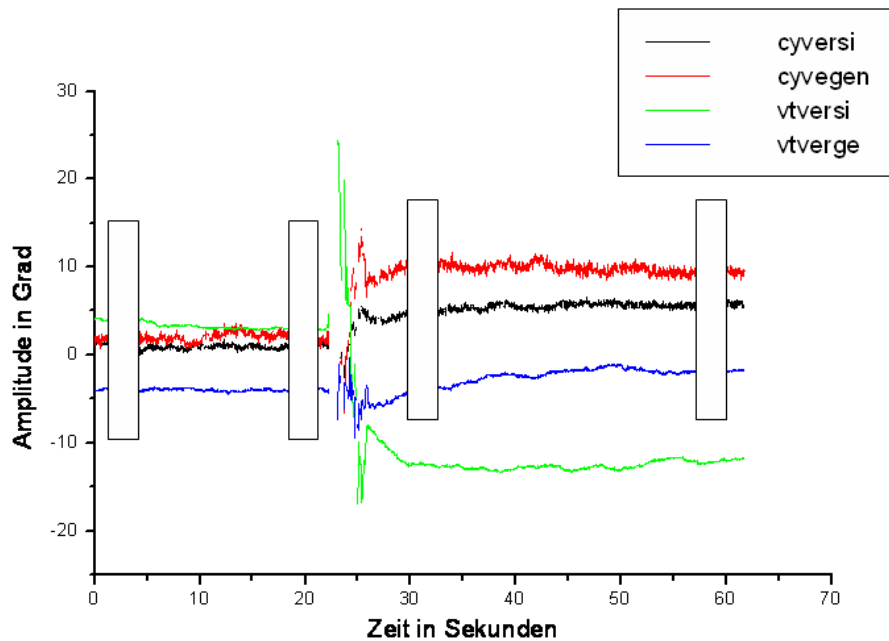


Abb. 29: Zeitmessungen der sitzenden und liegenden Körperposition (Proband 2)

Für die Statistik wurden die Daten der 33 Probanden, bei denen alle Positionen entsprechend auswertbar waren, mit dem Programm Origin Lab. weiterbearbeitet (vgl. Abb. 29). Die weiteren 18 Probanden bei denen die Position 2 bzw. 3 fehlte (untere Tabellenteile) wurden in eine erweiterte Statistik aufgenommen. Von den so ermittelten Werten wurden die in Tabelle 8 a-d wiedergegebenen Mittelwerte und Standardabweichungen ermittelt.

Tabelle 8a	Position1	Mean 1	Sd 1	Se 1	Sum 1	N1
002	Position 1	1,88903	0,41134	0,02672	447,7	237
007	Position 1	-11,45859	0,78372	0,0557	-2268,8	198
008	Position 1	1,21	0,43963	0,0278	302,5	250
010	Position 1	-0,6551	0,52879	0,03378	-160,5	245
011	Position 1	3,16171	0,64109	0,04846	553,3	175
013	Position 1	0,5144	0,37848	0,02394	128,6	250
014	Position 1	1,06578	0,46926	0,03128	239,8	225
016	Position 1	0,21184	0,39149	0,02501	51,9	245
017	Position 1	-7,084	0,46455	0,02938	-1771	250
019	Position 1	2,3172	0,41341	0,02615	579,3	250
022	Position 1	-1,29214	0,62452	0,04127	-295,9	229
024	Position 1	-1,60381	0,52723	0,03638	-336,8	210
025	Position 1	-0,46586	0,33093	0,02097	-116	249
033	Position 1	-0,69119	1,43145	0,11352	-109,9	159
036	Position 1	0,2504	0,345	0,02191	62,1	248
053	Position 1	1,32531	0,64058	0,04093	324,7	245
054	Position 1	0,45536	0,53259	0,03558	102	224
057	Position 1	2,6688	0,3436	0,02173	667,2	250
060	Position 1	0,0456	0,55689	0,03522	11,4	250
065	Position 1	0,77631	1,43115	0,0907	193,3	249
068	Position 1	0,50042	0,35553	0,02309	118,6	237
070	Position 1	-1,606	0,37642	0,02381	-401,5	250
072	Position 1	-4,242	0,50694	0,03206	-1060,5	250
077	Position 1	-1,4036	0,77689	0,04913	-350,9	250
079	Position 1	-5,088	0,49	0,03099	-1272	250
085	Position 1	6,98587	1,46299	0,10785	1285,4	184
090	Position 1	-2,82805	1,2397	0,08339	-625	221
091	Position 1	-0,31	0,55734	0,03525	-77,5	250
093	Position 1	-2,18693	0,7297	0,05899	-334,6	153
094	Position 1	0,08193	0,5448	0,03453	20,4	249
096	Position 1	-1,6036	0,49466	0,03128	-400,9	250
098	Position 1	1,5992	0,48891	0,03092	399,8	250
099	Position 1	-1,1888	0,38228	0,02418	-297,2	250
004	Position 1	-1,25755	0,56821	0,0363	-308,1	245
018	Position 1	0,36506	0,4651	0,02947	90,9	249
020	Position 1	0,1548	0,33902	0,02144	38,7	250
031	Position 1	3,8496	0,44309	0,02802	962,4	250
037	Position 1	-1,0464	0,63872	0,0404	-261,6	250
038	Position 1	0,04127	0,69539	0,06195	5,2	126
039	Position 1	-1,3668	0,47201	0,02985	-341,7	250
040	Position 1	4,74831	0,41618	0,04412	422,6	89
041	Position 1	1,6036	0,45569	0,02882	400,9	250
043	Position 1	0,0712	0,53018	0,03353	17,8	250
044	Position 1	-0,0024	0,29452	0,01863	-0,6	250
048	Position 1	-1,33609	0,76201	0,05025	-307,3	230
049	Position 1	1,90867	0,78419	0,05601	374,1	196
050	Position 1	-0,6152	0,51023	0,03227	-153,8	250
055	Position 1	-0,69471	0,48943	0,0356	-131,3	189
071	Position 1	-4,98009	1,03665	0,06821	-1150,4	231
074	Position 1	1,4868	0,50859	0,03217	371,7	250
089	Position 1	-1,77834	1,34103	0,09104	-385,9	217

Tabelle 8b	Position 2	Mean 2	Sd 2	Se 2	Sum 2	N2
002	Position 2	2,03965	0,46622	0,03094	463	227
007	Position 2	-11,27297	0,58997	0,04338	-2085,5	185
008	Position 2	0,549	0,56598	0,03587	136,7	249
010	Position 2	-0,67189	0,53665	0,03401	-167,3	249
011	Position 2	2,54179	1,106	0,07801	510,9	201
013	Position 2	0,36867	0,46297	0,02934	91,8	249
014	Position 2	0,99114	0,38085	0,02474	234,9	237
016	Position 2	0,6459	0,34787	0,02227	157,6	244
017	Position 2	-0,82595	0,9471	0,05571	-238,7	289
019	Position 2	1,82911	0,67939	0,04413	433,5	237
022	Position 2	-1,76123	0,40603	0,02695	-399,8	227
024	Position 2	-1,30055	0,52754	0,039	-238	183
025	Position 2	-0,3639	0,48681	0,03136	-87,7	241
033	Position 2	-1,66175	0,4692	0,03185	-360,6	217
036	Position 2	0,76386	0,38696	0,02452	190,2	249
053	Position 2	0,68489	0,93777	0,06252	154,1	225
054	Position 2	1,18857	0,38681	0,02471	291,2	245
057	Position 2	2,74262	0,4706	0,03013	669,2	244
060	Position 2	-0,22877	0,84248	0,05693	-50,1	219
065	Position 2	1,9684	0,48446	0,03064	492,1	250
068	Position 2	0,57344	0,45272	0,02916	138,2	241
070	Position 2	-1,23017	0,59112	0,038	-297,7	242
072	Position 2	-4,70517	0,61929	0,04066	-1091,6	232
077	Position 2	-2,32301	0,401	0,02667	-525	226
079	Position 2	-5,25944	0,43255	0,02741	-1309,6	249
085	Position 2	6,91844	0,83595	0,06248	1238,4	179
090	Position 2	-2,78659	1,10421	0,0704	-685,5	246
091	Position 2	-0,28715	0,41581	0,02635	-71,5	249
093	Position 2	-2,65517	0,87784	0,06161	-539	203
094	Position 2	0,0656	0,29002	0,01834	16,4	250
096	Position 2	-2,07389	1,49208	0,09925	-468,7	226
098	Position 2	1,2816	0,3552	0,02246	320,4	250
099	Position 2	-0,9388	0,44076	0,02788	-234,7	250
004	Position 2	-	-	-	-	-
018	Position 2	0,66318	0,51676	0,03343	158,5	239
020	Position 2	0,75663	0,42098	0,02668	188,4	249
031	Position 2	3,17831	0,47077	0,02983	791,4	249
037	Position 2	-1,37542	0,6222	0,04016	-330,1	240
038	Position 2	-0,06837	0,93475	0,06677	-13,4	196
039	Position 2	-1,96121	0,58336	0,0383	-455	232
040	Position 2	4,62267	0,44253	0,0511	346,7	75
041	Position 2	3,236	0,41058	0,02597	809	250
043	Position 2	0,11646	0,72975	0,04681	28,3	243
044	Position 2	0,0148	0,3403	0,02152	3,7	250
048	Position 2	-0,466	0,77002	0,0487	-116,5	250
049	Position 2	3,14631	0,6945	0,04446	767,7	244
050	Position 2	-0,53241	1,32193	0,08995	-115	216
055	Position 2	-0,6716	0,31894	0,02017	-167,9	250
071	Position 2	-2,90843	0,59335	0,0376	-724,2	249
074	Position 2	1,44979	0,43578	0,02819	346,5	239
089	Position 2	-0,4312	0,72498	0,04739	-100,9	234

Tabelle 8c	Position 3	Mean 3	Sd 3	Se 3	Sum 3	N 3
002	Position 3	9,74255	0,46792	0,03052	2289,5	235
007	Position 3	-8,38136	0,81843	0,05518	-1843,9	220
008	Position 3	-14,6	2,08588	0,31095	-657	45
010	Position 3	-1,61336	0,99728	0,06346	-398,5	247
011	Position 3	10,16	0,52865	0,04637	1320,8	130
013	Position 3	-1,517	0,52477	0,03711	-303,4	200
014	Position 3	-0,9252	0,46001	0,02909	-231,3	250
016	Position 3	2,80561	0,79255	0,05418	600,4	214
017	Position 3	-4,04709	0,72648	0,05539	-696,1	172
019	Position 3	1,6902	0,73397	0,07267	172,4	102
022	Position 3	-2,15261	0,65783	0,04169	-536	249
024	Position 3	-0,35825	0,49438	0,03549	-69,5	194
025	Position 3	2,87826	0,49062	0,03867	463,4	161
033	Position 3	-2,6274	1,38937	0,16261	-191,8	73
036	Position 3	-1,87791	0,56913	0,03607	-467,6	249
053	Position 3	-13,40213	0,70533	0,0594	-1889,7	141
054	Position 3	0,63778	0,53689	0,03579	143,5	225
057	Position 3	3,43668	0,4096	0,02707	787	229
060	Position 3	-13,64969	0,69125	0,05482	-2170,3	159
065	Position 3	19,49652	0,6148	0,04054	4484,2	230
068	Position 3	2,58523	0,48868	0,03174	612,7	237
070	Position 3	22,96506	1,0949	0,06939	5718,3	249
072	Position 3	12,36957	0,47798	0,03524	2276	184
077	Position 3	-3,07958	0,56713	0,03661	-739,1	240
079	Position 3	5,89476	1,20068	0,07624	1461,9	248
085	Position 3	6,19621	0,9812	0,06755	1307,4	211
090	Position 3	4,09756	1,40956	0,08987	1008	246
091	Position 3	-1,5037	0,54167	0,04256	-243,6	162
093	Position 3	1,7401	1,01698	0,07246	342,8	197
094	Position 3	9,13367	1,96536	0,14038	1790,2	196
096	Position 3	-2,99883	0,73485	0,0562	-512,8	171
098	Position 3	5,99602	0,38208	0,02542	1355,1	226
099	Position 3	1,28099	1,25479	0,08066	310	242
004	Position 3	-1,1866	1,53254	0,15561	-115,1	97
018	Position 3	--	--	--	--	--
020	Position 3	--	--	--	--	--
031	Position 3	--	--	--	--	--
037	Position 3	--	--	--	--	--
038	Position 3	--	--	--	--	--
039	Position 3	--	--	--	--	--
040	Position 3	--	--	--	--	--
041	Position 3	--	--	--	--	--
043	Position 3	--	--	--	--	--
044	Position 3	--	--	--	--	--
048	Position 3	--	--	--	--	--
049	Position 3	--	--	--	--	--
050	Position 3	--	--	--	--	--
055	Position 3	--	--	--	--	--
071	Position 3	--	--	--	--	--
074	Position 3	--	--	--	--	--
089	Position 3	--	--	--	--	--

Tabelle 8d	Position 4	Mean 4	Sd 4	Se 4	Sum 4	N 4
002	Position 4	9,575	0,4637	0,02993	2298	240
007	Position 4	-8,07939	0,64812	0,04292	-1842,1	228
008	Position 4	-10,50854	0,46534	0,02967	-2585,1	246
010	Position 4	-1,1418	0,48251	0,03089	-278,6	244
011	Position 4	10,40926	0,52492	0,03572	2248,4	216
013	Position 4	-1,61531	0,57173	0,05775	-158,3	98
014	Position 4	-2,40364	0,33023	0,02101	-593,7	247
016	Position 4	4,17647	0,4086	0,02649	994	238
017	Position 4	-10,27708	0,4229	0,03524	-1479,9	144
019	Position 4	1,90837	0,67919	0,04508	433,2	227
022	Position 4	-2,3204	0,29334	0,01855	-580,1	250
024	Position 4	-0,8099	0,68393	0,04812	-163,6	202
025	Position 4	1,60171	0,63639	0,04811	280,3	175
033	Position 4	-2,58219	0,46679	0,03154	-565,5	219
036	Position 4	-1,69343	0,48209	0,03303	-360,7	213
053	Position 4	-2,00161	0,88473	0,05618	-496,4	248
054	Position 4	-0,59242	0,51143	0,03521	-125	211
057	Position 4	3,11132	0,32005	0,02198	659,6	212
060	Position 4	-13,11257	0,89192	0,06454	-2504,5	191
065	Position 4	15,92736	0,69821	0,04925	3201,4	201
068	Position 4	2,3314	1,20463	0,07744	564,2	242
070	Position 4	24,77316	0,51564	0,03393	5722,6	231
072	Position 4	14,59383	0,55937	0,03588	3546,3	243
077	Position 4	-3,11807	0,41039	0,02601	-776,4	249
079	Position 4	11,89206	0,54771	0,03984	2247,6	189
085	Position 4	7,78744	0,54456	0,03785	1612	207
090	Position 4	1,54576	1,03551	0,06741	364,8	236
091	Position 4	-1,00042	0,38388	0,02499	-236,1	236
093	Position 4	2,23208	0,90846	0,05581	591,5	265
094	Position 4	10,39633	0,48741	0,03114	2547,1	245
096	Position 4	-2,59839	0,58302	0,03695	-647	249
098	Position 4	5,28312	0,4066	0,02675	1220,4	231
099	Position 4	1,8308	0,85436	0,05403	457,7	250
004	Position 4	-1,99362	0,72985	0,05323	-374,8	188
018	Position 4	-6,47393	0,90661	0,06241	-1366	211
020	Position 4	-2,34976	0,47643	0,0328	-495,8	211
031	Position 4	7,85103	0,45784	0,02937	1907,8	243
037	Position 4	-0,07711	0,42283	0,0268	-19,2	249
038	Position 4	3,86771	0,71807	0,04809	862,5	223
039	Position 4	0,69077	0,69566	0,06101	89,8	130
040	Position 4	3,73043	0,45655	0,03173	772,2	207
041	Position 4	3,69646	0,68925	0,04898	731,9	198
043	Position 4	13,56322	0,7647	0,05797	2360	174
044	Position 4	8,53034	0,46727	0,03055	1996,1	234
048	Position 4	-0,72513	0,71709	0,05083	-144,3	199
049	Position 4	5,18153	0,78416	0,04969	1290,2	249
050	Position 4	-3,48134	0,64203	0,04441	-727,6	209
055	Position 4	1,82317	0,35212	0,02245	448,5	246
071	Position 4	-9,21377	1,38902	0,10749	-1538,7	167
074	Position 4	-18,50164	0,59025	0,03779	-4514,4	244
089	Position 4	6,98389	0,70778	0,05798	1040,6	149

Tabelle 8 a-d. Darstellung der Mittelwerte und Standardabweichungen (Pos. 1-4).

Mean = Mittelwert.

Sd = ist ein Maß für die Abweichung vom Mittelwert (Standard Deviation).

Se = zeigt die Bandbreite des Fehlers für jeden beliebigen Punkt (Standard Error).

Sum = ist ein Maß für die Summe aller Messpunkte (Summe).

N = bezieht sich auf Anzahl der aufgenommenen Werte (Normal Verteilung).

Nach Umsetzung der zuvor angeführten Qualitätsstandards entsprachen die Mess-Ergebnissen und Kurven der 18 im jeweils unteren Teil der Tabellen aufgeführten Probanden (4, 18, 20, 31, 37, 38, 39, 40, 41, 43, 44, 48, 49, 50, 55, 71, 74, 89 vgl. Tabelle 8 b und c) wegen größerer Lücken und Artefakte nicht den qualitativen Erwartungen zur Positionierung der 4 Strecken und somit den Notwendigkeiten für eine aussagekräftige Berechnung der Vergenzen und Versionen bzw. für eine statistische Auswertung. Sie wurden deshalb zunächst nicht in die nachfolgende Bewertung mit einbezogen. Die entsprechenden erstellten Diagramme sind aber im Anhang vielfach exemplarisch aufgeführt.

3.3 Statistische Auswertung

Für die verbliebenen 33 Probanden wurde statistisch ausgewertet, ob sich zwischen Position 1 und 2 und Position 3 bzw. 4 signifikante Unterschiede im Hinblick auf eine Zyklolvergenz-Induktion ergaben. Diese Auswertung erfolgte nach dem ANOVA Test (Analysis Of Variance) für wiederholte Messungen und ergab keinerlei statistische Signifikanz, weder für den Vergleich Position 1 / Position 2 versus Position 3 noch für Position 1 / Position 2 versus Position 4. Auch die Hinzunahme der 18 Probanden mit unvollständigen Werten in Position 2 und 3 für die Auswertung von Position 1 versus 4 ergab keine statistischen Signifikanzen.

3.4 Empirische Betrachtung

Trotz der nicht signifikanten statistischen Auswertung lassen sich wichtige Ergebnisse aus den erhaltenen Zyklodivergenzkurven (vgl. Anhang S. 87) ableiten. Dies kann anhand der aufgezeichneten Kurve der Torsion verdeutlicht werden (vgl. Abb. 30-34, rote Graphen). Die Zyklodivergenzkurven zeigen, dass durch die Veränderung der Körperposition eine Ex- oder Inzykloduktion induziert werden kann, die unabhängig von einer möglichen Maskenverschiebung beim Hinlegen sein muss.

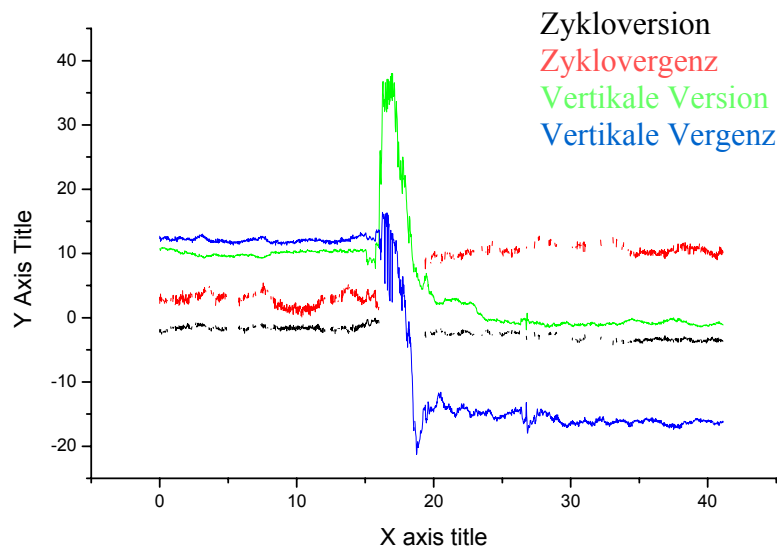


Abb. 30: Origin-Diagramm der Proband 011 mit 7,25° Zykloduktion / -vergenz

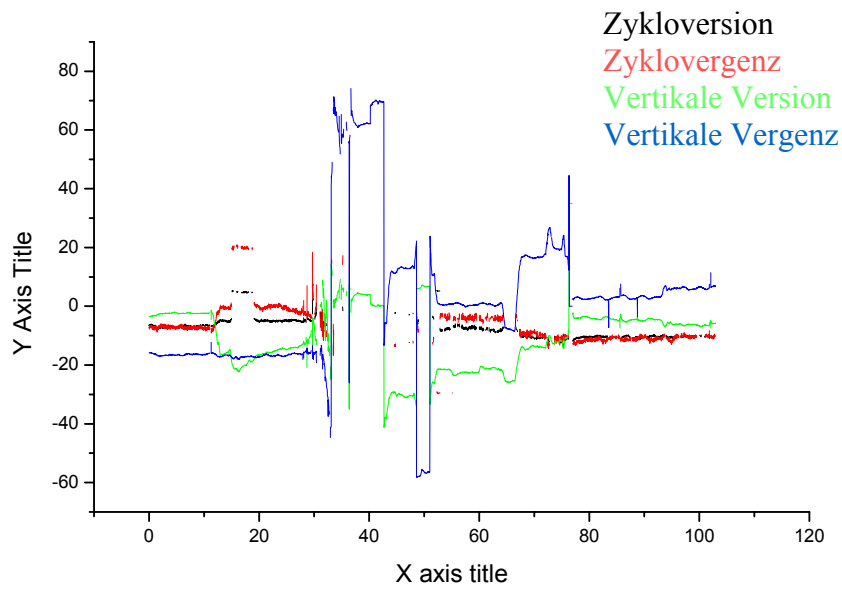


Abb. 31: Origindigramm der Proband 017 mit 3,19° Zykloduktion / -vergenz

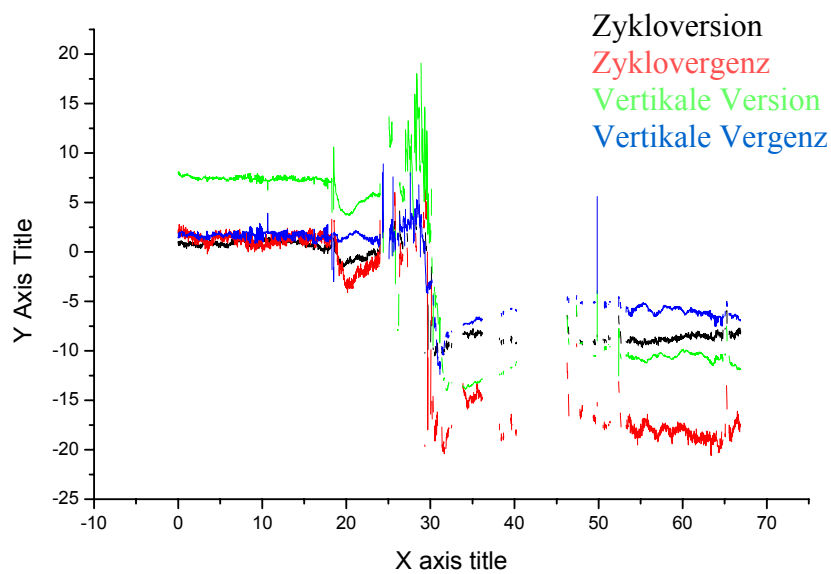


Abb. 32: Origindigramm der Proband 074 mit 19,9° Zykloduktion / -vergenz

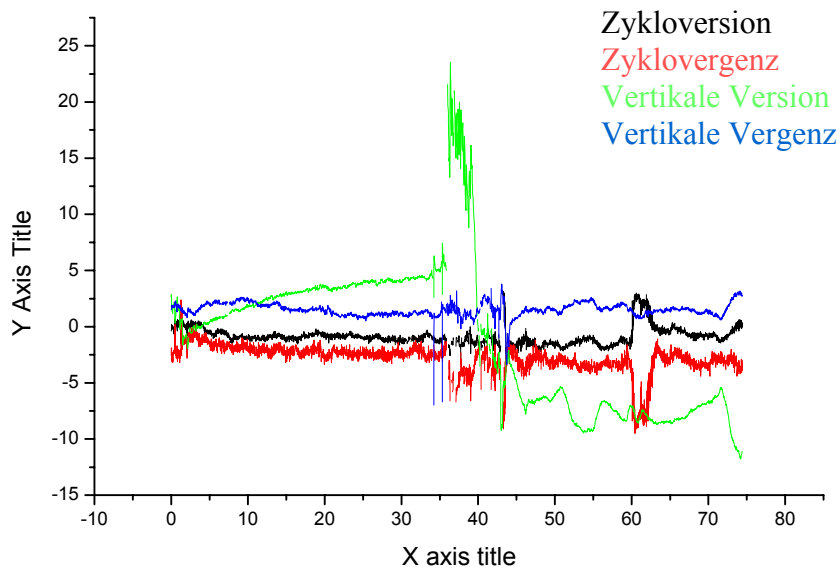


Abb. 33: Origindigramm der Proband 077 mit 1,7° Zykloduktion / -vergenz

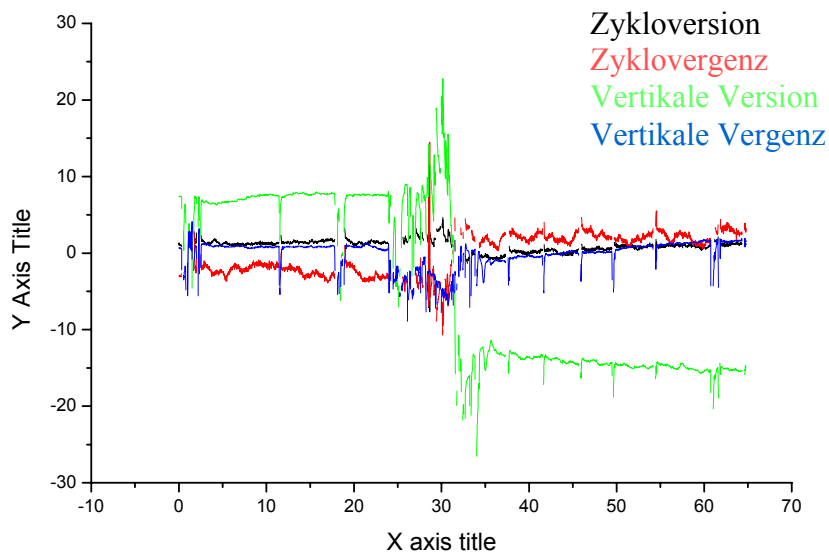


Abb. 34: Origindigramm der Proband 093 mit 4,4° Zykloduktion / -vergenz

Diese 51 Probanden sind mit der absolut induzierten Zykloduktion noch einmal in Tabelle 9 a-b aufgeführt:

Probanden	Grad der Torsion im Liegen (Pos4-Pos1)	Dominantes Auge r/l
002	7,69	r
007	3,38	r
008	11,72	r
010	0,49	r
011	7,25	l
013	2,13	l
014	3,47	r
016	3,97	r
017	3,19	l
019	0,41	r
022	1,03	l
024	0,79	l
025	2,07	r
033	1,89	r
036	1,95	r
053	3,33	r
054	1,05	r
057	0,44	l
060	13,07	r
065	15,15	r
068	1,83	r
070	26,38	r
072	18,84	r
077	1,72	r
079	16,98	r
085	0,80	r
090	4,37	r
091	0,69	r
093	4,42	r
094	10,32	l
096	1,00	l
098	3,68	l
099	3,02	l

Tabelle 9a. Darstellung der Zykloduktionswerte für die Probanden der Gruppe 1

Probanden	Grad der Torsion im Liegen (Pos4-Pos1)	Dominantes Auge r/l
004	0,74	r
018	6,84	l
020	2,51	r
031	4,00	r
037	0,97	r
038	3,83	r
039	2,06	l
040	1,02	r
041	2,09	r
043	13,49	l
044	8,53	l
048	0,61	l
049	3,27	l
050	2,87	r
055	2,52	l
071	4,23	r
074	19,99	l
089	8,76	l

Tabelle 9b. Darstellung der Zykloduktionswerte für die Probanden der Gruppe 2

Das unten dargestellte Diagramm (vgl. Abb. 35) gibt die gleichen Ergebnisse noch einmal absolut dargestellt wieder.

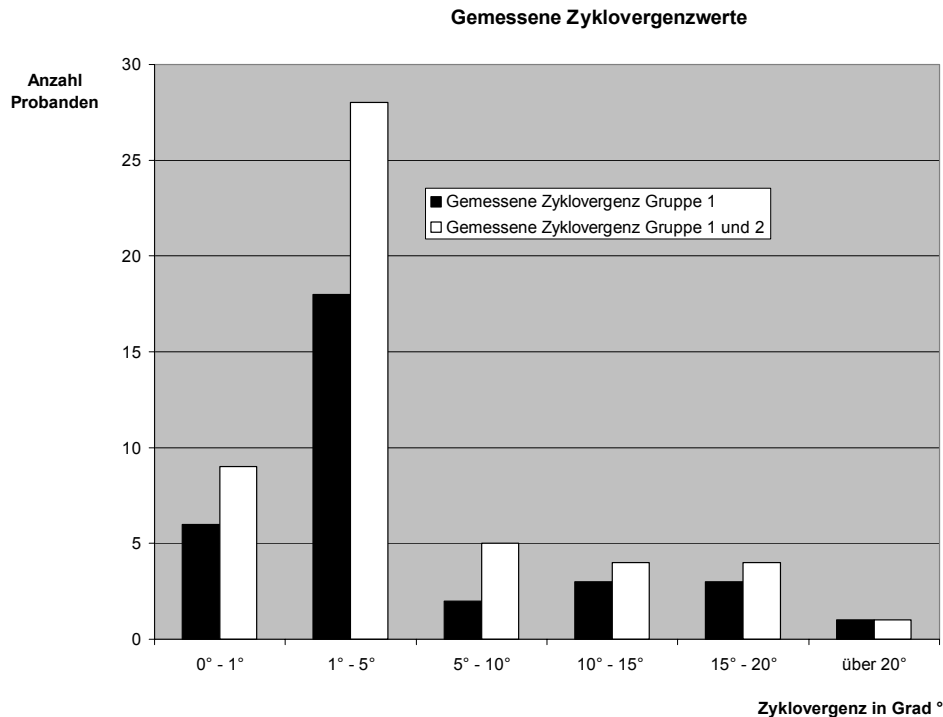


Abb. 35: Zyklolvergenz zwischen Position 1 und Position 4 , Gruppe 1 alle Positionen vorhanden (Tabelle 9a), Gruppe 2 überwiegend Position 3 nicht vorhanden (Tabelle 9b)

3.5 Nachweis einer Zyklolfusion

Ein immer wieder diskutierter Aspekt ist der des Auftretens einer Zyklolfusion und ihres Ausmaßes. Diesbezüglich verdient die Kurve des Probanden 053 besondere Aufmerksamkeit. Der Proband (vgl. Abb. 36) fiel besonders auf, da bei ihm unmittelbar nach dem Hinlegen zunächst eine deutliche Zykloduktion von ca. 10° zu messen war, die nach wenigen Sekunden fusioniert wurde (Verhältnis der braunen zur gelben Kurve). Hierbei ist zu beachten das an dieser Stelle die Qualität der Messung der Torsion gleich bleibend hoch war, diese Kurve wegen vieler Artefakte an anderer Stelle die Kriterien für die statistische Auswertung aber nicht erfüllte (vgl. Tabelle 10 grau unterlegte Kurve).

Tabelle 10. Darstellung der Messwerte der Fusion bei 053

A	B left raw horiz. [pixel]	C left raw vert. [pixel]	Q left horiz. [°]	M left vert. [°]	T left torsion [°]	G left torsion quality	H left pupil diam. [pixel]	I right raw horiz. [pixel]	C right raw vert. [pixel]	N right horiz. [°]	T right vert. [°]	M right torsion [°]	Z right torsion quality
62,14	255,9	137,9	-2,9	3,2	-13,7	0,93	122,3	283,6	197,9	-0,7	-8,1		0,45
62,161	256	138,4	-2,9	3,1	-14,2	0,93	121,9	283,9	197,9	-0,6	-8,1	1,6	0,51
62,18	255,7	139,5	-2,9	2,8	-14	0,93	122,9	283,7	198,4	-0,6	-8,2	1,9	0,52
62,201	255,7	139	-2,9	2,9	-14,5	0,91	122,9	284,3	197,5	-0,5	-8		0,45
62,22	256	139	-2,9	2,9	-14,2	0,91	122,9	284,1	198,3	-0,6	-8,1		0,49
62,241	256,4	138,7	-2,8	3	-14,4	0,92	122,4	284,9	196	-0,4	-7,7	1	0,5
62,26	256,6	139,4	-2,8	2,9	-14,4	0,92	123,4	285,1	197,4	-0,4	-8		0,45
62,282	257	139,1	-2,7	2,9	-14,8	0,92	123,2	285,6	197,1	-0,3	-7,9	1,4	0,53
62,301	257	139,7	-2,7	2,8	-14,7	0,92	123,4	285,7	197,8	-0,3	-8	1,9	0,5
62,322	257,3	139,6	-2,7	2,8	-15,1	0,93	123,9	285,9	197,5	-0,3	-8		0,46
62,341	256,9	140,9	-2,8	2,5	-15,1	0,93	124,3	285,8	197,4	-0,3	-7,9	2,2	0,57
62,362	256,4	139,8	-2,8	2,8	-15,6	0,93	124,3	285,6	197,4	-0,3	-7,9		0,48
62,381	256	140,2	-2,9	2,7	-14,6	0,92	123,7	284,7	198,2	-0,5	-8,1		0,46
62,402	255,5	139,5	-3	2,9	-14,4	0,91	124,9	284	198,5	-0,6	-8,2		0,38
62,421	254,9	139	-3,1	2,9	-13,8	0,94	123,8	283,3	198,2	-0,7	-8,1		0,46
62,442	255	135,5	-3	3,6	-13,2	0,92	122,9	283,5	197,6	-0,7	-8		0,49
62,461	254,4	132,1	-3,1	4,3	-11,7	0,94	123,6	283,8	195	-0,6	-7,5		0,44
62,482	254	128,9	-3,1	5	-10,9	0,94	123,7	283,9	193,5	-0,6	-7,2		0,41
62,501	253,8	126	-3,1	5,6	-9,7	0,92	124,2	283,8	191,9	-0,7	-6,8		0,48
62,522	253,9	122	-3	6,3	-8,9	0,91	123,9	284,3	189,9	-0,6	-6,4		0,4
62,541	254,3	117,7	-2,9	7,2	-7,6	0,92	124,3	285,3	187,1	-0,4	-5,9		0,49
62,562	254,4	114,1	-2,8	7,9	-6,8	0,91	123,4	286,2	185,7	-0,3	-5,6		0,49
62,581	254,7	110,3	-2,7	8,7	-6,1	0,93	123,6	286,8	183,9	-0,2	-5,2		0,41
62,602	255	106,6	-2,6	9,4	-5,5	0,92	124,4	287,8	180,8	-0,1	-4,6		0,48
62,621	255,4	104,2	-2,5	9,9	-4,2	0,92	124,5	288	180,3	-0,1	-4,4		0,39
62,642	255,7	101,6	-2,4	10,4	-4,4	0,91	124,4	288,6	179,2	0,1	-4,2	0,4	0,5
62,661	256	99,6	-2,3	10,8	-3,4	0,91	125,1	289	179,2	0,1	-4,2	1,3	0,53
62,682	256,3	97,7	-2,3	11,2	-3,6	0,9	124,7	289,4	178,3	0,2	-4	0,4	0,53
62,701	256,8	96,1	-2,1	11,5	-3,3	0,92	124,9	290	177	0,3	-3,8		0,47
62,723	257,3	94,6	-2	11,8	-3,1	0,91	124,8	290,6	176,8	0,4	-3,7		0,39
62,742	257,5	92,6	-2	12,2	-2	0,91	125,3	290,7	176,1	0,4	-3,6	1,1	0,56
62,763	257,7	91,6	-1,9	12,4	-2,5	0,94	125,1	290,8	175,9	0,4	-3,6	0,7	0,57
62,782	257,4	91,7	-2	12,4	-2	0,94	123,8	291,4	174,7	0,5	-3,3	0,8	0,5
62,803	257,4	91,3	-2	12,5	-2,2	0,94	123,8	291,4	174,4	0,5	-3,2		0,45
62,822	257,6	90,5	-1,9	12,6	-1,3	0,91	124	291,8	173,8	0,6	-3,1		0,48
62,843	257,6	90,1	-1,9	12,7	-1,6	0,92	122,7	291,9	172,3	0,6	-2,8		0,49
62,862	258	89,5	-1,9	12,8	-1,3	0,95	122,7	291,9	173,2	0,6	-3		0,49
62,883	258,1	88,9	-1,8	12,9	-1,3	0,94	121,7	291,7	173,6	0,5	-3,1		0,49
62,902	258,5	88,7	-1,7	13	-1	0,94	121,3	292	173,4	0,6	-3	1,1	0,65
62,923	258,7	88,9	-1,7	12,9	-1,2	0,94	120,4	292,1	172,7	0,6	-2,9	0,2	0,52
62,942	259	88,5	-1,6	13	-1,6	0,97	119,5	292,3	172,6	0,6	-2,9	0,9	0,57

Bei der Fusion verschmelzen die auf korrespondierenden Netzhautstellen der beiden Augen entstehen Bilder zu einem einzigen Bild. Die schwarzen Pfeile in Abbildung 36 markieren diesen Moment der erfolgten Zyklofusion.

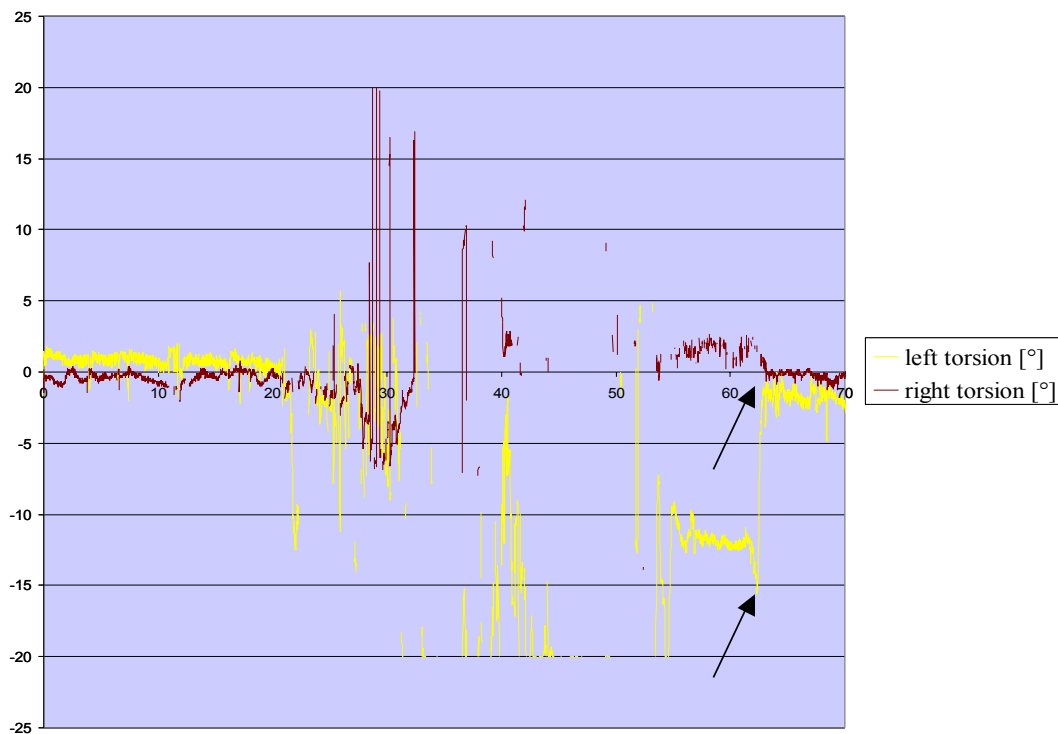


Abb. 36: Zyklofusion beim Probanden 053 bei 62.421 Sekunden (Pfeil)

3.6 Induktion einer Zyklorotation in Abhängigkeit vom dominanten Auge

Zur Darstellung der induzierten Zyklorotation in Abhängigkeit von der Dominanz der Augen, wurde bei den 33 ausgewählten Probanden im Origin-Lab Programm die Differenz der Messwerte in Position 4 und Position 1 im Hinblick darauf geprüft, inwieweit bei dominantem rechten oder linken Auge, eine inzyklorotatorische bzw. exzyklorotatorische Veränderungen oder keine Zyklorotation im Liegen induziert wurde (vgl. Tabelle 11).

Die Untersuchung der 33 Probanden ergab darüber Aufschluss, dass das dominante Auge, keine niedrigere Zykloduktion als das andere Auge aufweist und somit keinen wesentlichen Einfluss auf das Verhalten der Zykloduktion des anderen Auge hat (vgl. Tabelle 11).

Zyklorotation	Keine Torsionsinduktion	Torsionsinduktion	Im Liegen
	Im Liegen <1,5°	Exzyklorotation > 1,5°	Inzyklorotation >1,5°
Domin. Re.Auge	n = 5 (= 15,15%)	n = 12 (= 36,37%)	n = 6 (= 18,18%)
Domin. Li.Auge	n = 4 (= 12,12%)	n = 4 (= 12,12%)	n = 2 (= 6,06%)

Tabelle 11. Darstellung der Torsion bezüglich der Dominanz der Augen

4 Diskussion

4.1 Die Methodiken zur Bestimmung der Torsion

Die Objektivität der heute möglichen Verfahren zur Messung der Zykloduktion wird unterschiedlich beurteilt. Die Bestimmung der Torsion mit Hilfe des Maddoxzylinder (vgl. 2.7, Abb. 15) ist die häufigste, da am einfachsten durchzuführende Meßmethode. Sie wird im klinischen Alltag am häufigsten angewendet. Da der Patient aber das subjektive Empfinden seiner Raumwahrnehmung im Hinblick auf eine Zyklorotation wiedergibt, handelt es sich hierbei um keine objektive Meßmethode. Eine mögliche statische objektive Bestimmung von Zyklorotationen bzw. –duktionen ist das einfache Fundusphoto. Hierbei kann anhand einer auf dem Fundusphoto imaginär durch die Papille gelegten horizontalen Linie und einer durch Papille und Foveola gelegten zweiten Linie der Winkel zwischen beiden Linien als Ausmaß der Zyklorotation in Grad gemessen werden.

Die so genannte Search Coil Technik dient der relativen Messung der Zyklorotation bei gleichzeitiger Messung aller drei Freiheitsrichtungen (Fetter 1998) und ist damit ebenfalls deutlich objektiver. Die Search Coil Technik wurde von Robinson (1963) entwickelt und von anderen (Collewijn, Van der Steen, Ferman und Jansen (1985)) technisch verfeinert (Halswanter 1995). Es handelt sich hierbei aber um eine apparatetechnisch aufwendige Methode, die eine gute Mitarbeit erforderlich macht, da die Elektroden in den Bindhautsack eingelegt werden müssen. Das Erfordernis des exakt eingestellten Magnetfeldes erlaubt keine Körperlagewechsel während der Untersuchung. Dies gilt auch für die Messung der Zykloduktion mit den normalerweise zur Schielwinkelmessung benutzten Methoden am Synoptometer und an der

Harmswand. Beide Meßmethoden erlauben eine Messung der Zyklorotation in sitzender Körperposition.

Das Scanning Laser Ophthalmoskop (SLO) eignet sich gut zur Darstellung der Zykloposition unter binokularem Sehen. Das SLO tastet durch einen semitransparenten Spiegel (Pupille) den Fundus ab und erstellt somit ein digitales Bild der Netzhaut auf einem Monitor dar (Ehrt, Schworm et al. 2001). Anhand der Papille- Makula-Achse kann so die Zyklorotation objektiv im Bild dargestellt werden. Die Messung ist wie bei der Search-Coil-Technik aber nur in sitzender Position durchzuführen und erlaubt keine dynamische Untersuchung.

Der entscheidende Vorteil der dreidimensionalen Videookulographie (3D-VOG) im Vergleich zu den statischen Methoden liegt also in der Möglichkeit der dynamischen Aufzeichnung und damit des Nachweises von Zykloduktionsveränderungen bzw. -bewegungen und unter Umständen auftretenden Zyklofusionen zum Beispiel auch nach Körperlagewechseln. Erst mittels der 3D Infrarot-Videookulographie wurde außerdem die Aufzeichnung der torsionalen, Augenbewegungen bei simultaner Registrierung der vertikalen und horizontalen ermöglicht. Es handelt sich zudem um eine Non-touch Methode (im Vergleich zur Search-coil Methode). Ferner ist es jeder Zeit möglich, die auf Video registrierten Daten im Anschluss an die Untersuchung zu analysieren und gegebenenfalls zu bearbeiten, sie zugriffbereit aufzubewahren und unter Umständen zum Datenaustausch mit Kollegen zu verwenden.

4.2 Methodologische Probleme

Methodologische Mängel des von uns gewählten Messverfahrens sollten trotzdem kritisch analysiert werden. Primär muss konstatiert werden, dass nicht für alle Probanden eine verlässliche Kurve erzielbar war. Auch bei gesunden motivierten

Probanden ließen sich nur zum Teil ausreichend artefaktfreie Kurven erhalten, die die angeführten Qualitätskriterien erfüllt haben.

4.2.1 Erörterung erkannter Störfaktoren

Im Verlauf der Probandensuche kristallisierten sich folgende Störfaktoren als negativ heraus. Die Kontrastempfindlichkeit bzw. Kontrasterkennung der integrierten Kameras des Gerätes war bei starken Pigmentierungen sowohl der Augen als auch der Wimpern reduziert. Sehr dunkel pigmentierte Iris mit wenigen Krypten ließen faktisch keine artefaktfreien Messungen zu. Sehr dunkle Wimpern oder aufgetragene Maskara führten ebenfalls zu einer Irritation der hochsensiblen Infrarotkameras, die diese artifiziellen Farbpigmente als Irismuster deuteten und sie dem entsprechend markierten. Dadurch entstehen Interferenzprobleme, da der Zielstrahl auf das Schwarz der Pupille als Mittelpunkt der Kalibrierung „geeicht“ wird (vgl. hierzu 2.9.1 und 2.9.2.) und bei „konkurrierenden“ dunklen oder schwarzen Objekten die Justierung quasi auf die Wimpernreihe überspringen kann. Da dies bei der Online-Aufzeichnung, die bei der Untersuchung immer simultan genau beobachtet wurde, deutlich sichtbar wird, konnten solche Messungen jeweils abgebrochen werden. Die Gefahr für diese artifizielle Messung war beim Wechsel der Körperposition hin zum Liegen bedingt durch eine mögliche Blickverschiebung nach kranial beim Hinlegen besonders groß. Einige willige, aber pigmentreiche Probanden waren aus diesen genannten Gründen nicht untersuchbar.

4.2.2 Erörterung möglicher Maskenverschiebungen

Bei der Betrachtung der erhaltenen Diagramme (vgl. im Anhang S. 87-186) derjenigen Probanden, deren Messergebnisse die angeführten Qualitätskontrollen bzw.

Messstandards erfüllt haben, fällt auf, dass bei der Änderung der Körperposition hin zum Liegen bei einzelnen Probanden erhebliche Differenzen der horizontalen und vertikalen, aber auch der torsionalen Lage der Augen zueinander zu beobachten waren. Es wurde deshalb ausführlich das Problem einer möglichen auftretenden Masken- und damit Kameraverschiebung beim Hinlegen diskutiert. Folgende Gedanken wurden dabei verfolgt:

Nach Listing liegen die beiden Achsen X (Vertikale) und Z (Horizontale) in einer definierten Ebene, um die sich die Augen bewegen. Eine dritte Achse, die Koordinate Y (Zykloduktion), bildet ein Lot auf dieser Ebene (vgl. Abb. 37).

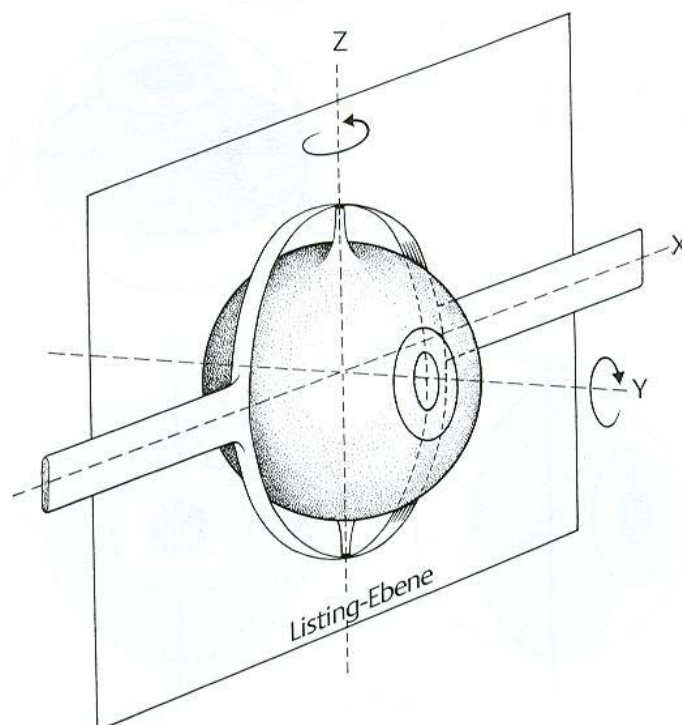


Abb. 37: Ebene von Listing mit X-, Y- und Z-Achse (Kaufmann, 2004)

Schematische Darstellung der Bulbusaufhängung innerhalb des Ringbands und der horizontalen Haltebänder

Auf der Grundlage dieser Ebenen können die Augen konjugiert, das heißt beide in die gleiche Richtung oder diskonjugiert, das bedeutet in zueinander gegenläufigen Richtungen bewegt werden. Bei den konjugierten Bewegungen spricht man auch von Versionen oder Blickwendungen in eine bestimmte Richtung. Die diskonjugierten Bewegungen, auch Vergenzen genannt, werden in konvergente und divergente Reaktionen unterschieden (vgl. Abb. 38).

Konjugierte und diskonjugierte Blickbewegungen

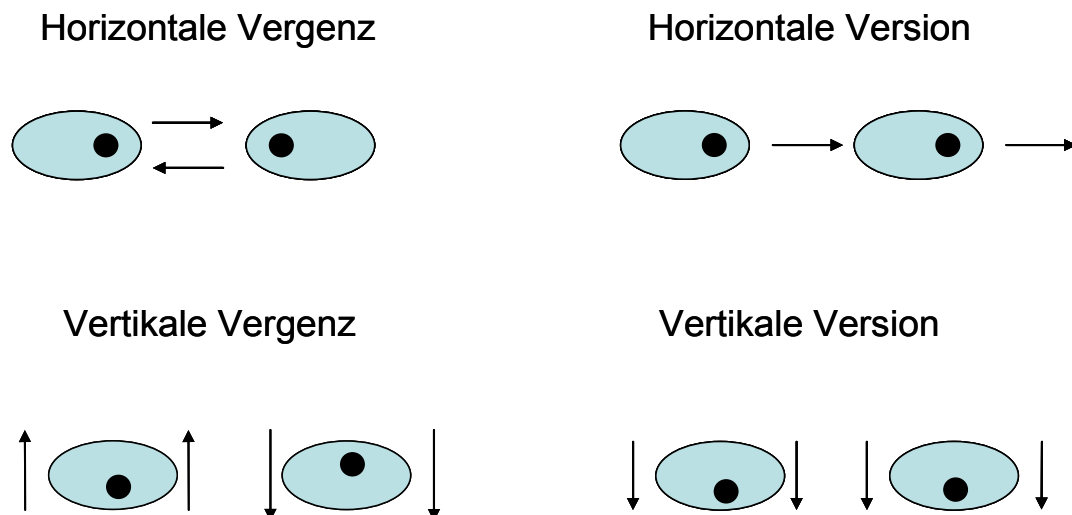


Abb. 38: Horizontale und vertikale Vergenzen und Versionen

Bei der Konvergenz, die einer Augenbewegung aus dem Parallelstand bei Objektannäherung entspricht, kommt es zu einer Annäherung der horizontalen Sehachsen und somit zur Schneidung der Gesichtslinien vor den Augen, bei der Divergenz hingegen befindet sich der Schnittpunkt der Gesichtslinien hinter den Augen. Dabei weichen die Sehachsen in Unendlich immer weiter auseinander (Heide 1998).

Eine Gesichtslinie wird definiert als eine Gerade, die das fixierte Objekt mit der Stelle des schärfsten Sehens, der so genannten Foveola verbindet.

Versionen können sowohl zur raschen als auch langsamen Augenbewegungen führen. Neben horizontalen und vertikalen Versions- und Vergenzbewegungen ist auch das Auftreten so genannter Zykloversionen und -vergenzen (Heide 1998) beschrieben.

Die Zykloversion entspricht einer konjugierten Augenbewegung, eine diskonjugierte Augenbewegung wird als Zyklovergenz definiert (vgl. Abb. 39).

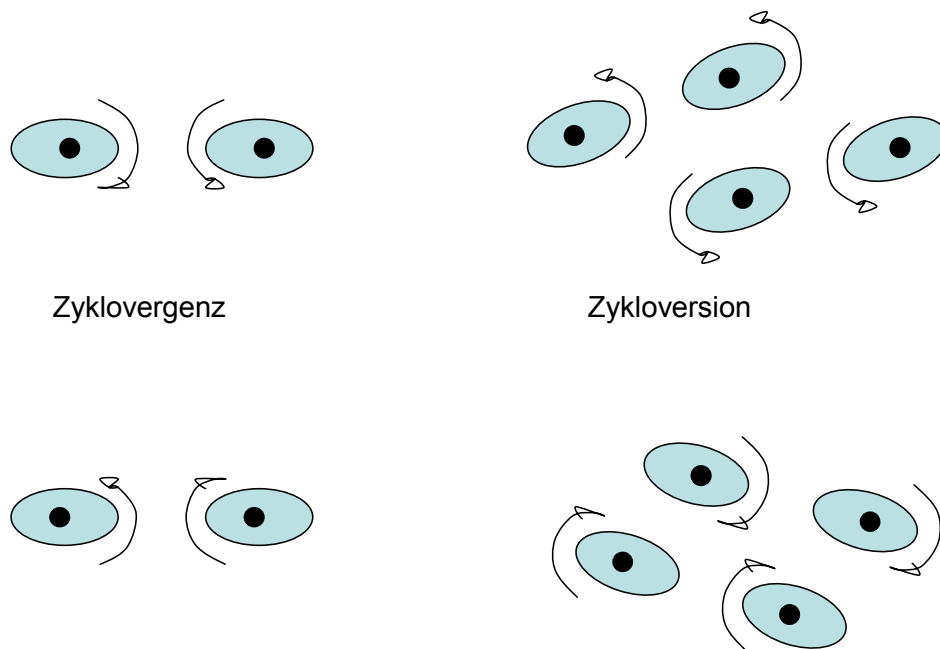


Abb. 39: Torsionale Vergenzen und Versionen

Da eine Maskenbeweglichkeit während des Hinlegens nicht eindeutig ausgeschlossen werden konnte, stellte sich die Frage, inwieweit eine eventuelle Maskenverschiebung die Messergebnisse falsch positiv bzw. falsch negativ beeinflussen könnte.

Folgende Formen der Maskenverschiebung mit den möglichen dadurch induzierten Augenbewegungen sind denkbar:

1. horizontale Maskenverschiebung nach rechts oder links → Auslösung einer horizontalen Version (vgl. Abb. 38 obere Hälfte)
2. vertikale Maskenverschiebung nach oben oder unten → Auslösung entweder einer Vergenz oder Version (vgl. Abb. 38 untere Hälfte und Abb. 40)
3. vertikale Maskenverschiebung mit torsionaler Verschiebung durch Rotation der Maske → Auslösung einer vertikalen Vergenz und Zykloverversion (vgl. Abb. 39)

Eine ergebnisrelevante horizontale artifizielle Vergenz schlossen wir auf Grund der Fixationspunkte in mindestens 2,5 m (Abstand Decke) bis 3 m (Abstand des Fixierpunktes im Sitzen) aus.

Bei der vertikalen Maskenverschiebung ohne Rotation wird die Maske mit der ganzen Fläche vertikal nach oben bzw. nach unten gezogen. Dadurch ist zu erwarten, dass durch eine dem entgegen gesetzte Blickfolge dies ausgeglichen würde.

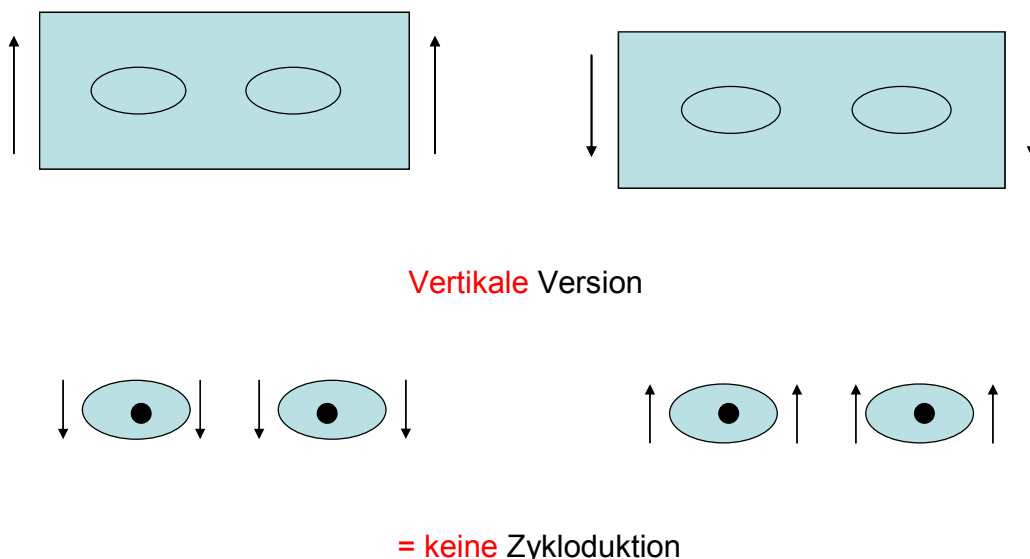


Abb. 40: Version als Konsequenz einer vertikalen Maskenverschiebung

Bei der vertikalen Höhenverschiebung nach oben bzw. unten mit rotatorischer Maskenverschiebung ist eine diskonjugierte Drehbewegung beider Augen denkbar, die

sich entweder als eine Supra- oder eine Infraduktion mit vertikaler Verschiebung bemerkbar machen könnte. Diese Maskenverschiebung erzeugt eine entgegengesetzte Vergenz um die waagerechte X-Achse. Gleichzeitig kommt es zu einer Zyklversion beider Augen nach rechts unten bzw. nach links unten, mit anderen Worten einer Drehbewegung beider Augen um die Y-Achse (vgl. Abb. 41).

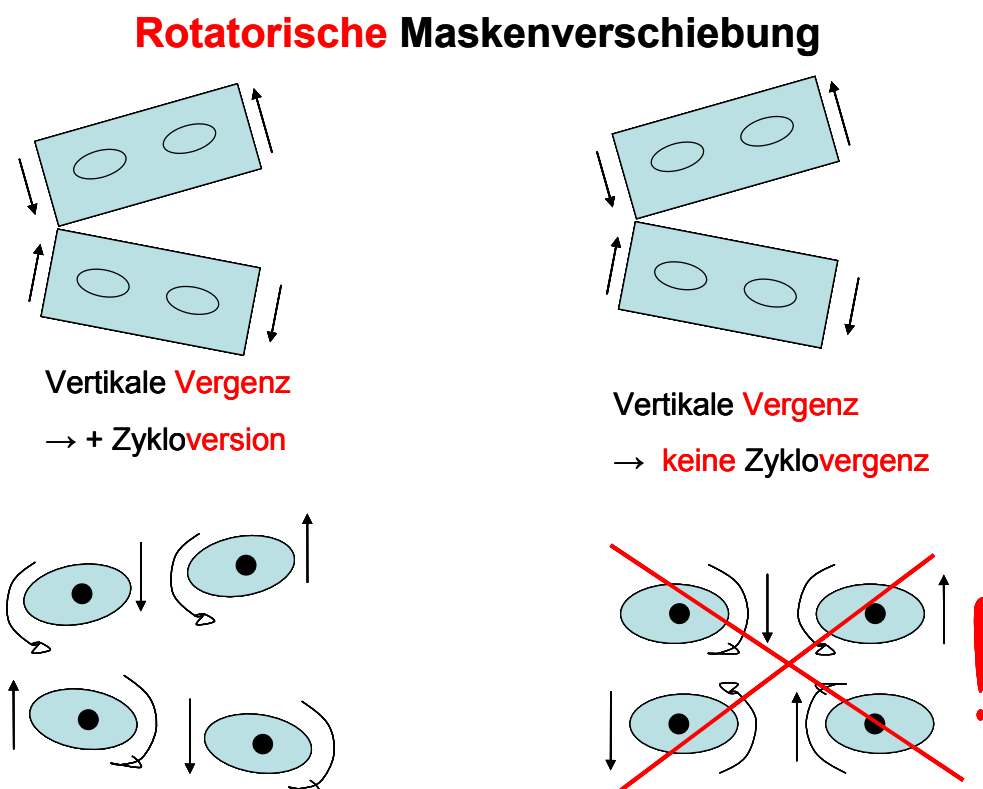


Abb. 41: Zyklversion und vertikale Vergenz als Konsequenz einer rotatorischen Maskenverschiebung.

Die Auslösung einer Zyklovergenz hierbei erscheint nicht möglich zu sein, da es sich um entgegengesetzte Drehrichtungen handelt (vgl. Abb. 40). Für die statistische Auswertung der Befunde wurde daher die Zyklovergenz jeweils vor und nach dem Hinlegen für die einzelnen Probanden berechnet und ausgewertet. Zur Mitbeurteilung

wurden zusätzlich die Zyklversionen sowie die vertikalen Versionen und Vergenzen mit ausgewertet. Diese sind mit den Farben schwarz (= Zyklversion), grün (= vertikale Version) und blau (= vertikale Vergenz) in den jeweiligen Kurven in den Abbildungen 28-34 und im Anhang neben den roten Zyklvergenzkurven mit abgebildet.

4.2.3 Fehlende Kontrollen durch weitere Zyklorotationsmessungen

Analysiert man die zur Verfügung stehenden technischen Möglichkeiten der Messung der Zyklorotation bzw. Zykloduktion kritisch so stellt sich die Frage nach einer Kontrolle der mit dem 3D-VOG gewonnenen Messergebnisse. Hierzu hätten sich retrospektiv zwei verschiedene intraindividuelle Messmethoden angeboten. Zum einen wäre es möglich gewesen, an der Decke ein Maddoxkreuz anzubringen und in der liegenden Position nach Abschluss der 3D-VOG-Messung noch eine subjektive Messung der Zyklorotation mit dem Maddoxzylinder durchzuführen. Zyklufusionsbewegungen wären mit dieser Methode allein aber nicht nachweisbar gewesen.

Zweitens hätte es sich angeboten, bei den einzelnen Probanden jeweils drei Messungen in Folge durchzuführen und anschließend die Ergebnisse zu mitteln. Dies hätte einen erheblich gesteigerten Zeitaufwand für die Probanden bedeutet und die Rekrutierung derselben erschwert (Kalibrierung jedes Mal erforderlich etc.). Auch dies würde aber im Hinblick auf das Auftreten von plötzlichen Refusionsbewegungen keine weitere Erkenntnis erbracht haben. Der nicht gelungene Nachweis einer statistischen Signifikanz könnte hiermit und mit größeren Probandenzahlen aber unter Umständen gestützt werden.

4.3 Auffällige Fallanalysen einzelner Probanden

In der Orbita können sich die Augen in drei Hauptrichtungen bewegen: Horizontal, vertikal und torsional. Erstmals wurde das Phänomen der Gegenrollung bei reiner Kopfeigung 1786 von J. Hunter beschrieben (Nelson et al. 1971). Durch reine Rumpfeigungen können ebenfalls Torsion der Augen induziert werden. Das Gehirn versucht ständig die so aufgenommenen Bilder der Netzhaut beider Augen als ein einheitliches Bild darzustellen. Dieser als Fusion bezeichneter Vorgang ist für vertikale und horizontale Kompensation von Winkeln gut bekannt. Für vertikale und horizontale fusionale Leistungen kann man mittels Prismen die so genannte vertikale und / oder horizontale Fusionsbreite messen. Man spricht von einer vertikalen oder horizontalen Phorie, wenn im alternierenden Prismenabdecktest horizontale oder vertikale Winkel gemessen werden können. Wir haben indirekt diese Fähigkeit zu einer analogen Zyklofusion mit untersucht, in dem wir durch den Wechsel der Körperpositionen (sitzen / liegen) durch eine Verrollung der Augen (Torsion) eine diesbezügliche Dekompensationen offenbar induziert haben.

Dies lässt sich an dem besonderen Fall der Torsionskurve des Probanden 053 belegen: Die Kurve (Abb. 36, S. 61) zeigt anfänglich eine Torsionsinduktion vor allem des linken Auges, ausgelöst durch den plötzlichen Wechsel der Körperlage. Bedingt durch plötzlich auftretende Rückenprobleme des Probanden ist die Phase des Hinlegens bei diesem Patienten verlängert, was aber für die Frage der Zyklofusion keine Rolle spielen sollte. Nach ca. 55 Sekunden ist die liegende Position erreicht. Die ausgelöste Zyklorotation beträgt fast 14° . Nach ca. 62 Sekunden kommt es zu einer plötzlichen Verkleinerung der Zyklovergenz, offensichtlich bedingt durch eine Fusion der Zyklorotation auf nunmehr wieder einen kleinen Wert von $2,1^\circ$ gemessener torsionaler

Verschiebung zwischen den beiden Augen. (vgl. Abb. 36 und Tabelle 10, Seite 60-61). Die entstandene Zyklofusion ist dadurch zu erklären, dass beim binokularen Sehen ständig eine einheitliche Objektwahrnehmung und Objektlokalisierung angestrebt wird. Normalerweise wird durch Bewegung des Objekts in der Raumtiefe versucht, ein einheitliches Bild der einzelnen Objektabbildungen durch binokulare Fusion der beiden Netzhautabbilder darzustellen (Heide 1998). Das von uns drei statische und damit nur zweidimensionale rote Punkte an der Decke angeboten wurden, erklärt möglicherweise, die lange Latenz bis zum Einsetzen der Fusionsbewegung.

Die unbewusste, aber vom Gehirn gezielt herbeigeführte fusionale Bewegung lässt sich in 2 verschiedene Bewegungskomponenten unterteilen:

In der ersten Sekunden nach dem sich der Proband hingelegt hat, findet eine langsame Bewegung der Augen statt. Eine offensichtlich vorhandene Zyklophorie wird durch das Hinlegemanöver zur Dekompensation gebracht. Um die herbeigeführte Veränderung der Achsenlage zu kompensieren, erfolgt nach wenigen Sekunden (ca. 7. Sekunden) schlagartig eine zielorientierte Rückstellbewegung zur Anpassung der neu angenommenen Liegeposition. Zum Auftreten von Doppelbildern (Diplopie) kam es dabei nicht, bzw. es wurden vom Probanden keine angegeben. Wegen der bestehenden Rückenprobleme des Probanden konnten wir die Untersuchung nicht wiederholen um die Reproduzierbarkeit dieses Befundes zu überprüfen. Wichtig ist aber die Feststellung, dass auch dieser Proband die vorausgegangenen orthoptischen Tests ohne Hinweise auf eine vorhandene rotatorische Störung bestanden hatte.

Dieser Fall ist besonders wichtig, weil hier deutlich wird, wie das Gehirn in der Lage ist, die durch die Torsion entstandene Achsenabweichung der Augen so zu regulieren, dass dadurch keine Einschränkung der Sehfähigkeit beziehungsweise Diplopie resultiert. Es gibt in der Literatur keinerlei Daten darüber nach welchem zeitlichen

Intervall zyklofusionale Vorgänge einsetzen, das heißt, wie lange das Gehirn braucht, um zyklofusionale Vorgänge auszulösen. Ob es auch Fusionen von Teilwinkeln gibt, ist ebenfalls nicht bekannt. Weiter unklar ist die Frage, wie vorhandene Zyklophorien verlässlich diagnostiziert werden können, damit ihr Auftreten zum Beispiel bei der Durchführung einer photorefraktiven Laseroperation berücksichtigt werden kann.

Die Kurve der Torsion bei Proband 99 ist insofern von Bedeutung, weil es vor und während der Liegeposition zur Annäherung und Überschneidung der beiden Torsionskurven kommt. Auffälligkeiten gibt es ebenfalls bezüglich der Torsionskurve 094: In der Zeit zwischen ca. 60-63 Sekunde nach dem der Proband sich in der liegenden Position befindet, führt das linke Auge plötzlich eine Torsionsbewegung bis zu ca. 8° durch. Dementsprechend wird in der Zyklodivergenzkurve (vgl. Abb. S.201) in der 60. Sekunde eine Abweichung der roten Kurve bis zu -10° sichtbar. Zusätzlich weisen die beiden vertikalen Kurven der Augen ebenfalls Unregelmäßigkeiten in ihren Verlauf auf.

Nicht zuletzt wurde der Graph 042 aufgrund einer Initial existierenden, klinisch nicht nachgewiesenen Zyklorotation und ihrem unregelmäßigen Verlauf der vertikalen Divergenzkurve mit hohen Peaks als auffällig eingestuft.

4.4 Resultierende Operationstechnische Probleme der Astigmatismuskorrektur

Eine mögliche Erklärung für postoperativ auftretende unerwünschte und unvorhergesehene astigmatische Ergebnisse nach photorefraktiven Eingriffen an der Hornhaut bieten die oben angeführten Ergebnisse und Überlegungen. Eine plötzliche rotatorische Dynamik einer zyklorotatorischen Fusionsbewegung der Augen wäre ein Hindernis für eine photorefraktive Astigmatismus-Korrektur. Je höher der

Astigmatismus ist, desto größer ist die Gefahr, dass bei einer nur geringen Achsenverschiebung, ein wirksamer Fehler auftritt.

Becker et al. (2004) erkennen einen Zusammenhang zwischen Zykloduktion und Körperposition an und weisen darauf hin, dass eine Änderung der Körperposition, eine In- bzw. Exzykloduktion hervorrufen könne, lehnen aber die Notwendigkeit, dies präoperativ bei der Ermittlung der Achsenlage zu berücksichtigen, entschlossen ab. Weisen wir in unserer Studie einen Anteil von 27% hohen Zykloduktionen nach, so konnten diese Ergebnisse von der Arbeitsgruppe um Krzizok und Becker mit ähnlichen Versuchsaufbau nicht bestätigt werden. Mögliche Fehlerquellen wurden oben diskutiert, der grundsätzliche Nachweis von induzierten Zyklorotationen nach Körperlagewechsels aber von uns verifiziert.

Wegen immer wieder auftretender Fehlrefraktionen nach photorefraktiven Eingriffen grenzen Hori- Komai et al. (2002) die Indikationen der Anwendung ein und fordern einen strengen bzw. gezielten Einsatz der Verfahren. Als Kontraindikation geben sie Keratokonus, Schwangerschaft, Katarakt und. höhergradige Myopien (größer als -12.0 Dioptrien) und Astigmatismen an, ohne dabei die Ursachen der Fehlrefraktionen genauer zu analysieren. Auch die Hornhautdicke sollte nicht weniger als 250µm betragen.

4.5 Astigmatismusproblem der refraktiven Laserchirurgie der Hornhaut

Yang et al. 2002 berichten in ihrer Arbeit über vier Hornhauteingriffsmethoden die zur Therapie der Myopie sowie des myopen Astigmatismus mittels der refraktiven Excimer Laser Chirurgie in den USA angewandt werden. Neben der photorefraktiven Keratektomie (PRK) werden astigmatische photorefraktive Keratektomie (PARK)

sowie Laser in situ Keratomileusis (LASIK) und astigmatische Lasik (A-Lasik) genannt. An Hand des von ihnen postoperativ durchgeführten Vergleiches dieser vier Operationsverfahren erzielten sie mehr Erfolg bei der PARK sowie A-LASIK im Vergleich zu den beiden anderen Operationstechniken, vorausgesetzt die Operation erfolgt entlang der präoperativ fest gelegten astigmatischen Achse. Die alleinige PRK verursacht hingegen postoperativ einen refraktiven Astigmatismus. Sämtliche Studien belegen dieses Phänomen: Seiler et al. (1994/1995), Tabin et al. (1996). Bereits Onclinx et al. (1999) fanden heraus, dass eine Rotation des Patientenstuhls um 90 Grad ebenfalls eine 90 Grad Veränderung der Achse des induzierten Astigmatismus hervorruft. Dieser Hypothese bekräftigt die bereits angesprochene Vermutung, dass die Veränderung der astigmatischen Sehachse eine der möglichen Ursachen der Misserfolge bei der Laser Chirurgie darstellen kann.

Shen et al. (2002) sind trotz bewiesener chirurgisch induzierter Astigmatismen Befürworter der PRK sowie PARK als eine sichere und effektive Methode der Korrektur von Myopie und astigmatischer Myopie. Dabei nehmen sie Bezug auf ihre Ergebnisse, die bis zu 90% eine Verbesserung des Sehvermögens ohne Brille darstellen. Sie fordern aber, dass bei der chirurgischen Planung sowohl die präoperativ refraktiven, als auch die topographischen Astigmatismen berücksichtigt werden, um somit die Entstehung eines postoperativen Astigmatismus zu verhindern.

Ein weiteres beobachtetes Phänomen ist, dass sich die astigmatische Achse postoperativ nach einem chirurgischen Eingriff der Hornhaut verändern kann (Tehrani et al. 2001). Ebenso kann ein postoperativ nach perforierender Keratoplastik entstandener Astigmatismus mit Hilfe einer Brille bzw. Kontaktlinsen oder aber chirurgisch mittels photorefraktiver Keratektomie (PRK), Laser-in-situ-Keratomileusis (LASIK) oder T-Inzisionen korrigiert werden Tehrani et al. (2001). Dem Phänomen, inwieweit

Verrollungsstörungen der Augen einen ungewollten Astigmatismus bei der PRK, PARK und den LASIK-Formen induzieren können, ist bisher wenig Beachtung geschenkt worden. Schworm et al. (2002) haben dazu erste Pilotstudien durchgeführt und gezeigt, dass es einzelne Patienten mit höheren zyklorotatorischen Phänomenen bei Körperlagewechseln gibt. Bereits im Jahr 2000 hat auch Wassill et al. hierzu seine Ergebnisse publiziert. In der von uns untersuchten und statistisch ausgewerteten Gruppe (vgl. Tabelle 9a-b) fanden sich bei 28 keine nennenswerten Zyklodivergenzen ($\leq 5^\circ$). Immerhin bei 9 Probanden wurden Werte von über 10° Zyklodivergenz und damit für einen photorefraktiven Eingriff sicherlich relevante Werte nachgewiesen. Von den 33 Probanden hatten 7 Probanden (21%) eine Zykloduktion $>10^\circ$ und insgesamt 9 Probanden (27%) eine Zykloduktion $>5^\circ$. Bei diesem hohen Prozentsatz ist man eigentlich gezwungen ca. ein Drittel der Probanden nicht zu lasern. Behandelt man sie trotzdem, ist es möglich, dass ein falscher Astigmatismus erzeugt wird, bzw. ein falscher Astigmatismus weg gelasert wird. Daher wird eine präoperative Untersuchung in der zu operierende Lage empfohlen.

Die von uns eingesetzte Methode stellt somit nicht die optimale Meßmethode dar, da von 100 Probanden, 33 für die Statistik verwertbare und 67 (also 2/3) nicht verwertbare Daten lieferten.

4.6 Resümee und Ausblick

Trotz der noch nicht ausreichend ausgefeilten Messmethodik kann an Hand der Messergebnisse dieser Arbeit gezeigt werden, dass ein Lagewechsel des Körpers eine Zyklodivergenz auf dem Boden einer Torsion der Augen sowie hierdurch eine Veränderung der astigmatischen Achse hervorrufen kann. Im Gegensatz zu Becker et al. (2004) scheint es - basierend auf unseren Ergebnissen - überzeugend, dass insbesondere

bei geplanten laserchirurgischen Astigmatismus-Korrekturen präoperative Messungen der Zyklorotation routinemäßig mindestens mit einer subjektiven Methode (z.B. Maddoxzylinder) sinnvoll sind, da es bisher keine prognostischen Faktoren gibt, welche der ansonsten orthoptisch gesunden Patienten / Probanden betroffen sind. Besser wären sowohl eine subjektive als auch eine noch zu verbessernde objektive Messung. Die Tatsache nachgewiesener, zum Teil erheblicher induzierter Zykloduktionen führt außerdem zu der Konsequenz, dass die Messung der Zyklorotation in der beim Lasern eingenommenen Position sinnvoll ist. Bei hohen Astigmatismen empfiehlt es sich, ein entsprechendes Zeitintervall zum Beispiel von zwei Minuten mit besonderer Sorgfalt einzuhalten, um eine mögliche Zyklofusion möglich zu machen.

Auf Grund aller in Punkt 4.2 angeführten methodologischen Probleme erscheint der angewandte Untersuchungsaufbau und –ablauf für Routineuntersuchungen bei zu lasernden Patienten noch nicht geeignet zu sein.

Ob sich diese Methode zur Torsionsbestimmung durchsetzen kann, ist nach wie vor umstritten: Pansell et al. (2003) haben ebenfalls in ihren Experimenten die (3D-VOG) Technik bei der Bestimmung der torsionaler und vertikalen Augenbewegungen während des Bielschowsky Kopfneigetestes mit Erfolg eingesetzt. Wassill et al. (2000) bemängeln jedoch die (3D-VOG) Technik, da das Gerät nur die Zykloduktion bei Blick geradeaus messen kann, d.h. bei einem eventuell vorhandenen Strabismus, der ja einen photorefraktiven Eingriff nicht ausschließt, wird trotzdem eine Orthotropie angezeigt, die wiederum eine Fehlinterpretation der Ergebnisse bedeuten könnte. Auffällige Ergebnisse diesbezüglich wurden bei der Datenaufnahme dieser Studie unseres Wissens nach nicht festgestellt.

Mit der vorliegenden Arbeit ist es gelungen, die in der Literatur publizierten, jedoch meist unter erheblichen methodischen Defiziten erstellten Ergebnisse einer durch die

Änderung der Körperposition induzierten Zyklofusion und deren Folge im Hinblick auf Operationsmisserfolge bei der Laserchirurgie in Abhängigkeit von der Änderung der Achsenlage der Augen zu bestätigen.

In Anbetracht der Folgen einer misslungener Operation aufgrund eines induzierten unerwünschten Astigmatismus verwundert es, dass Studien, die sich empirisch mit Erfolg oder Misserfolg und den zugrunde liegenden Ursachen beschäftigen, bislang kaum vorliegen. Es ist anzunehmen, dass nur eine derartigen Studie mit einer prä- und postoperativen Datenerfassung der Torsion ein Ergebnis hervorbringen kann, welches den Ansprüchen einer definitiven Beweisführung im Hinblick auf die Persistenz der Torsion der Augen während der Änderung der Körperposition gerecht werden kann.

Der eigentliche klinische Hintergrund dieser Studie befasste sich mit der Frage nach dem Einfluss der Körperlage auf die okuläre Zykloposition gesunder Personen sowie die mögliche Bedeutung einer Zyklovergenz für das Ergebnis einer refraktiven Chirurgie. Das erzielte Ergebnis unterstützt somit die Kritik an der refraktiven Chirurgie zur Beseitigung der Refraktionsanomalie aufgrund erheblicher Verrollungen in der liegenden Operationslage gegenüber der sitzenden Untersuchungslage. Hinzu kommen auch medizinisch nicht relevante Faktoren, die bei der refraktiven Chirurgie als Indikation berücksichtigt werden:

Zu erwähnen sind unter anderem psychologische oder kosmetische Wünsche der Patienten sowie auch Modetrends. Dabei rücken die mögliche Komplikationen einer Operation in den Hintergrund, da die Patienten selbst keinen Zugang zu dokumentierten Berichte über Erfolgs- bzw. Misserfolgsrate bereits durchgeführten Operationen haben. Eine umfangreiche Aufklärung über möglichen Risiken wird daher vorrangig.

5 Zusammenfassung

Das von uns verfolgte Ziel war, die Frage zu klären, inwieweit es bei Lagewechsels vom Sitzen (Untersuchungsposition) zum Liegen (Behandlungsposition) bei Augengesunden Personen zur Induktion einer Zykloduktion kommen kann. Es wurden 100 Probanden mit einem unkorrigierten Visus $\geq 0,5$ auf ein intaktes Stereosehen sowie einen regelrechten orthoptischen Status überprüft. Eine orthoptische Untersuchung einschließlich des Bielschowsky Kopfneigetestes diente dem sicheren Ausschluss einer Störung der schrägen Augenmuskeln und einer präexistenten Zyklorotation. Probanden mit einem relevanten Astigmatismus wurden von der Studie ausgeschlossen. Die Messung der Zykloduktion sowie der horizontalen und vertikalen Augenbewegungen erfolgte mittels Infrarot-Videookulographie (Gerät: „3D-VOG“, Fa. SMI, Teltow). Zur Einhaltung eines Qualitätsstandards wurden von den hiermit gemessenen Werten nur Torsionsmessungen mit einem Wert von $\geq 0,5$ „quality of torsion“ für die weitere statistische Auswertung berücksichtigt. Diese harten Kriterien ließen nur 51 Personen hierzu zu. Eine Gruppe (n=28) zeigten eine geringe Zykloduktion bis zu 5° . Diese blieb nach mehr als 30 Sekunden Liegezeit bestehen. 9 Probanden wiesen nach dem Wechsel vom Sitzen zum Liegen eine starke Abweichung von 10° bis über 20° auf. Bei einer dritten Gruppe (n=5) fand sich nach 10 bis 30 Sekunden Liegezeit eine Rotation zwischen 5 bis 10° . Eine vierte Gruppe (n=9) wies keine Zykloduktion zwischen sitzender und liegender Position auf. Die verschiedenen Reaktionsweisen zeigten keine Korrelation mit Refraktion, Alter, und Geschlecht. Die aufgezeichneten dreidimensionalen Augenbewegungen wurden in Diagrammen dargestellt. Der nachgewiesene Fall einer Zyklofusion wird diskutiert. Die Studie zeigt, dass ein nicht vorhersehbarer Prozentsatz an Probanden eine Zykloduktion durch den Lagewechsel erfahren hat, so dass hierin eine Erklärung für unerwartete postoperativ auftretende Astigmatismen nach photorefraktiven Eingriffen zu sehen ist.

6 Literaturverzeichnis

- Becker R, Krzizok TH, Wassill H (2004) Use of preoperative assessment of positionally induced cyclotorsion: a video – oculographic study. *Br J Ophthalmol* 88:417-421
- Collewijn H, Van der Steen J, Ferman L, Jansen TC (1985) Human Ocular counter roll: assessment of static and dynamic properties from electromagnetic scleral coil recordings. *Exp Brain Res* 59:185-196
- Ehrt O, Schworm HD, Boergen KP (2001) Scanning laser ophthalmoskope fundus cyclometry in near-natural viewing conditions. *Graefe's Arch Clin Exp Ophthalmol* 239:678-682
- Fetter M (1998) Organisation von Augenbewegungen im Raum. In: Huber A, Kompf D (Hrsg.) *Klinische Neuroophthalmologie*. Thieme Stuttgart.
- Gordes RS, Vaseghi S, Pansell T, et al. (2002) Influence of the body position to cyclorotation in healthy probands. *Ophthalmologie* 99 (suppl 1):142
- Grehn F (2003) *Augenheilkunde*. Springer, Berlin Heidelberg New York Hongkong London Mailand Paris Tokio (Handbuch der Augenheilkunde, 28, völlig neu bearb. Auflage).
- Halswanter T (1995) Mathematics of Three-dimensional Eye Rotations. *Vision Res* 35:1727-1739
- Heide W (1998) Vergenz. In: Huber A, Kompf D (Hrsg.) *Klinische Neuroophthalmologie*. Thieme, Stuttgart.
- Hori-Komai Y, Toda I, Asano-Kato N, Tsubota K (2002) Reasons for not performing refractive surgery. *J Cataract Refract Surg* 28/5: 795-797
- Kaufmann H (2004) *Strabismus*. Georg Thieme Verlag, Stuttgart New York (3., grundlegend überarbeitete & erweiterte Auflage).
- Lang GK (1998) *Augenheilkunde Verstehen- Lernen- Anwenden*. Thieme, Stuttgart New York (Handbuch der Augenheilkunde, 1, Auflage).
- Loewenstein A, Goldstein M, Lazar M (2002) Retinal Pathology Occurring after Excimer Laser Surgery or Phakic Intraocular Lens Implantation: Evaluation of Possible Relationship. *Survey of ophthalmology* 47/2:125-135
- Nelson JR, Cope D (1971) The Otoliths and the Ocular Countertorsion Reflex. *Arch Otolaryng* 94/7:40-50
- Onclinx T, Smith RJ, Maloney RK (1999) Induced astigmatism after photorefractive Keratectomy. *J Cataract Refract Surg* 25:183-287
- Pallikaris I, Siganos D (1994) Excimerlaser in Situ Keratomileusis & photorefractive Keratektomy. *J Refract Corneal Surg* 10:498-510.
- Pansell T, Schworm HD, Ygge J (2003) Torsional and Vertical Eye Movements during Head Tilt Dynamic Characteristics. *Investigative Ophthalmology & Visual Science* 44:2986-2990
- Pschyrembel W (1994) *Pschyrembel 1894-1994*. Walter de Gruyter, Berlin New York (klinisches Wörterbuch, 257, Aufl.).
- Schworm HD, Ygge J, Pansell T, Lennerstrand G (2002) Assesment of ocular counterroll during head tilt using binocular video oculography. *Investigative Ophthalmology & Visual Science* 43/3:662-667
- Seiler T (2000) *Lasik. Refraktive Chirurgie der Hornhaut*. Enke im George Thieme.
- Seiler T, Holschbach A, Derse M, et al. (1994) Complications of myopic photorefractive keratectomy with the excimer laser. *Ophthalmology* 101:153-160
- Seiler T, Mc Donnell PJ (1995) Excimer Laser photorefractive keratectomy. *Surv Ophthalmol* 40:89-118

- Shen EP, Yang CN, Hu FR (2002) Corneal astigmatic change after phptorefractive keratectomy and photoastigmatic refractive keratectomy. *Journal of Cataract and Refractive Surgery* 28/3:491-498
- Smith EM Jr, Talamo JH (1995) Cyclotorsion in the seated and supine Patient. *J Cataract Refract Surg* 21:402-403
- Sobotta J (2000) Sobotta-Atlas. Urban & Fischer, Stuttgart (Anatomie des Menschen, 21 Auflage., Bd 1, Kopf, Hals, obere Extremitäten.
- Tabin GC, Alpins N, Aldred GF, et al (1996) Astigmatic change 1 year after excimer laser treatment of myopia and myopic astigmatism; the Melbourne Excimer Laser Group. *J Cataract Refract Surg* 22:924-930
- Tehrani M, Schwenn O, Dick H B (2001) Torische Intraokularlinse zur Korrektur eines höhergradigen Astigmatismus nach Keratoplastik bei Pseudophakie – eine Kasuistik. *Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde* 218:795-799
- Tjon-Fo-Sang MJ, de Faber JTHN, Kingma C, Beekhuis WH (2002) Cyclotorsion: A possible cause of residual astigmatism in refractive surgery. *J Cataract Refract Surg* 28/4:599-602
- Wassil KH, Kaufmann H (2000) Binokulare dreidimensionale Videookulographie. *Ophthalmologie* 97:629-632
- Yang SH, Van-Gelder RN, Pepose JS (2002) Astigmatic changes after excimer laser. refractive surgery. *J Cataract Refract Surg* 28/3: 477-484

Danksagung

Ich danke Herrn Professor Dr. med. HD. Schworm für die Idee zu dieser Arbeit und für die Überlassung des Themas.

Ein besonderes Wort des Dankes möchte ich an Frau Professor Dr. med. M. Klemm richten.

Frau Dr. med. R.-S. Gordes, die mir jederzeit freundlich mit Rat und Geduld zur Seite stand, bin ich für wichtige Tipps und Unterstützung zur tiefsten Dank verpflichtet.

Herrn Prof. Dr. med. Wolfgang Haase danke ich herzlichst für die wertvollen und freundlichen Gespräche sowie für die entscheidende Unterstützung bei der Realisierung der Dissertation, ohne die die Entstehung dieser Arbeit nicht möglich gewesen wäre.

Herrn Professor R. Bolzani, von der Universität Bologna in Italien danke ich ganz besonders für die Durchführung des ANOVA Tests zur statistischen Prüfung der Ergebnisse.

Ferner danke ich Herrn Professor J. Ygge und Herrn T. Pansell, PhD, vom Karolinska-Institut in Stockholm für ihre indirekten wertvollen Diskussionen zum Thema der Zyklolvergenz.

Insbesondere danke ich der Firma Senso Motoric Instruments GmbH in Teltow/Berlin (SMI) für die Überlassung des 3 D-Videookulographiegerätes und der dazu gehörigen Ausstattung.

Mein besonderer Dank gilt den Mitarbeiterinnen der Abteilung für Ple- und Orthoptik des Universitätsklinikums Hamburg-Eppendorf, insbesondere allen Orthoptistinnen, den Augenärzten und ihren Mitarbeitern sowie den zahlreichen Probanden, die sich freiwillig untersuchen ließen.

Nicht zuletzt danke ich meiner Familie, insbesondere meinem Mann, für seine unermüdliche Unterstützung.

Lebenslauf

Soheila Vaseghi

11. März 1971 geboren in Meschhed

Schulbildung:

1976-1985 Grundschohle im Iran

1988-1989 Realschohle Grellkamp, Hamburg

1989-1992 Emil-Krause Gymnasium, Hamburg (Allgemeine Hochschulreife)

Berufsausbildung:

1995-1998 Ausbildung zur Zahnarzthelferin

Studium:

1998 Immatrikulation an der Universität Hamburg (Studienfach Zahnmedizin)

2004 Staatsexamen der Zahnheilkunde

Promotion:

2002-06 Die Untersuchungen zur meiner Promotionsarbeit habe ich in der Abteilung für Ple-und Orthoptik der Augenklinik des Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf vorgenommen.

Liste der verwendeten Abkürzungen

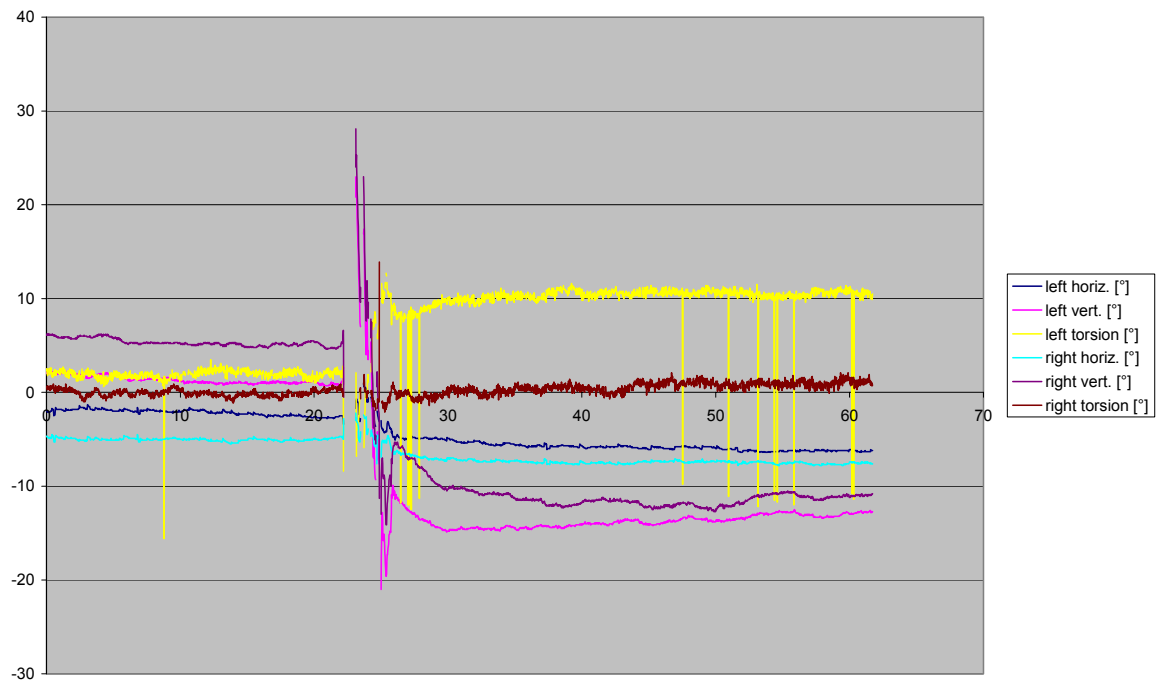
ANOVA	Analysis Of Variance
3 D VOG	Dreidimensionale Videookulographie
Dpt	Dioptrie
EB	Einstellbewegung
LASIK	Laser-In Situ-Keratomileusis
PARK	Photo-Astigmatisch Refraktive Keratektomie
PRK	Photorefraktive Keratektomie
RA / LA	Rechtes Auge / Linkes Auge
SMI	Senso Motoric Instruments GmbH in Teltow/Berlin

Sachwortverzeichnis

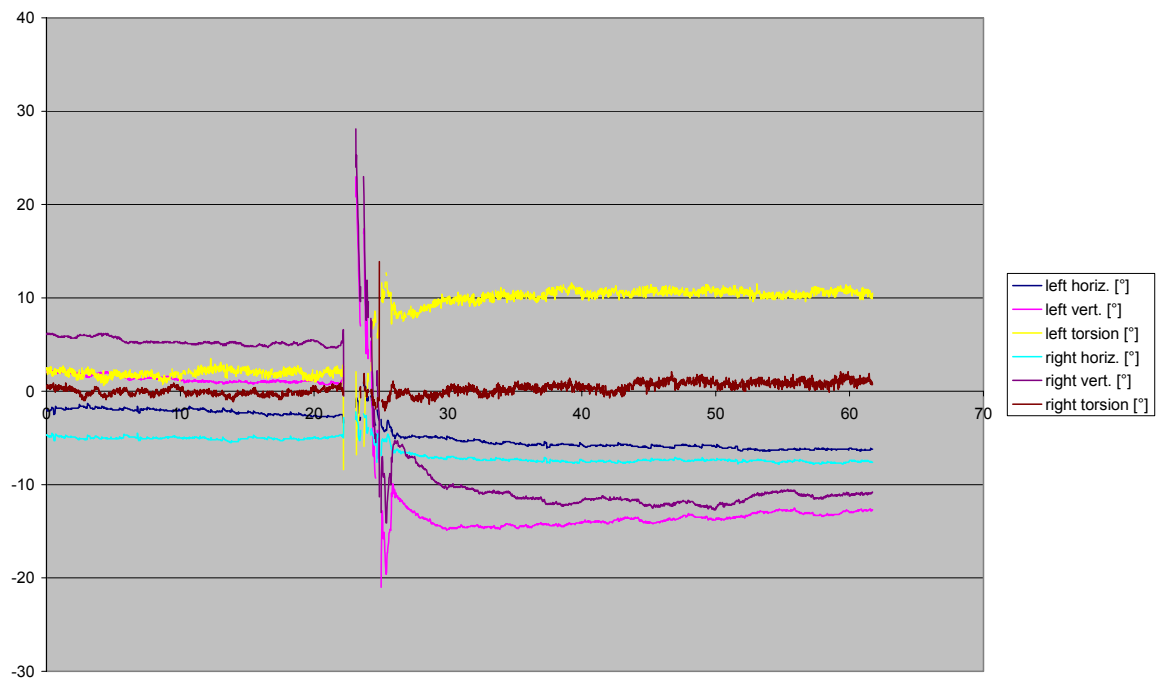
Abberation	Abweichung, optischer Abbildungsfehler
Abduktion	Rotation der Augen zur Schläfe hin
Adduktion	Rotation der Augen zur Nase hin
Anisometropie	unterschiedliche Brechkraft beider Augen
Astigmatismus	Stabsichtigkeit, Krümmungsanomalie des optischen Apparates
Dioptrie	Brechkräfteinheit, reziproker Wert der Brennweite einer Linse
Diplopie	Doppelbildwahrnehmung
Divergenz	Das Auseinanderstreben beider Augen nach auswärts
Emetropie	Rechtsichtigkeit
Exophorie	Divergenz der Sehachsen
Exotropie	Auswärtsschielen
Exzyklophorie	Verrollung zur V-Stellung
Fixierlinie	Verbindungsgerade zwischen dem zentral abgebildeten Objektpunkt und dem Mittelpunkt der Eintrittspupille des Auges
Fusion	binokulare Verschmelzung der Seheindrücke beider Augen zu einem Bild
Glaukom	grüner Star, Augeninnendrucksteigerung
Heterophorie	latentes Schielen
Inzyklophorie	Verrollung der vertikalmeridiane im Sinne einer A-Stellung
Iris	Regenbogenhaut
Keratokonius	Kegelförmige Vorwölbung der Hornhaut, Vork. sporadisch od. häufiger bei Down-Syndrom und atopischen Ekzem
Keratomileusis	Hornhautschleifung, mechanisches Abschleifen von Hornhautanteilen zur Brechkraftänderung
Keratoplastik	Hornhauttransplantation. Ersatz einer erkrankten Hornhaut durch eine Spenderhaut
Keratotomie	Einschneiden der Hornhaut
Konvergenz	gleichsinnige Wendung beider Augen nach einwärts
Kornea	Hornhaut
Myopie	Kurzsichtigkeit
Ophthalmoskopie	Funduskopie, Betrachtung des Augenhintergrundes
Pupillenabstand	PD ist der Abstand der beiden Pupillenmitten bei parallelen Fixierlinien

Refraktion	Brechkraft, Lichtbrechung: beim menschl. Auge d. Beziehung des Gesamtbrechungs-Zustandes aller opt. Medien zur Achsenlänge des Auges
Refraktions-Bestimmung	Subjektiv durch Brillengläser, objektiv durch Skiaskopie oder Refraktometer
Stereopsis	Tiefenwahrnehmung, stereoskopisches Sehen
Stereoskopie	räumliches Sehen, bedingt durch die Stellungsparallaxe beider Augen
Torsion	Augenbewegung um die anterior-posterior Achse
Vergenz	Vergenz ist die gegensinnige Bewegung der Fixierlinien beider Augen
Version	Konjugierte Drehbewegungen beider Augen in gleicher Richtung
Videokeratoskopie	Hornhauttopographie. Computertechnische Bestimmung der Hornhautbrechkraft, mit einer Farbskala, an der die Höhe der Brechkraft in verschiedenen Hornhautmeridianen abgelesen werden kann
Visus	Sehschärfe
Zykloduktion	Ein- oder Auswärtsrollung des Auges um die a.-p. Achse (Intorsion, Extorsion)
Zyklophorie	Die gegensinnige Rollung der Vertikalmeridiane beider Augen um Achsen, die etwa mit den Fixierlinien zusammenfallen
Zykloplegie	Lähmung des Ziliarkörpers durch Medikamente

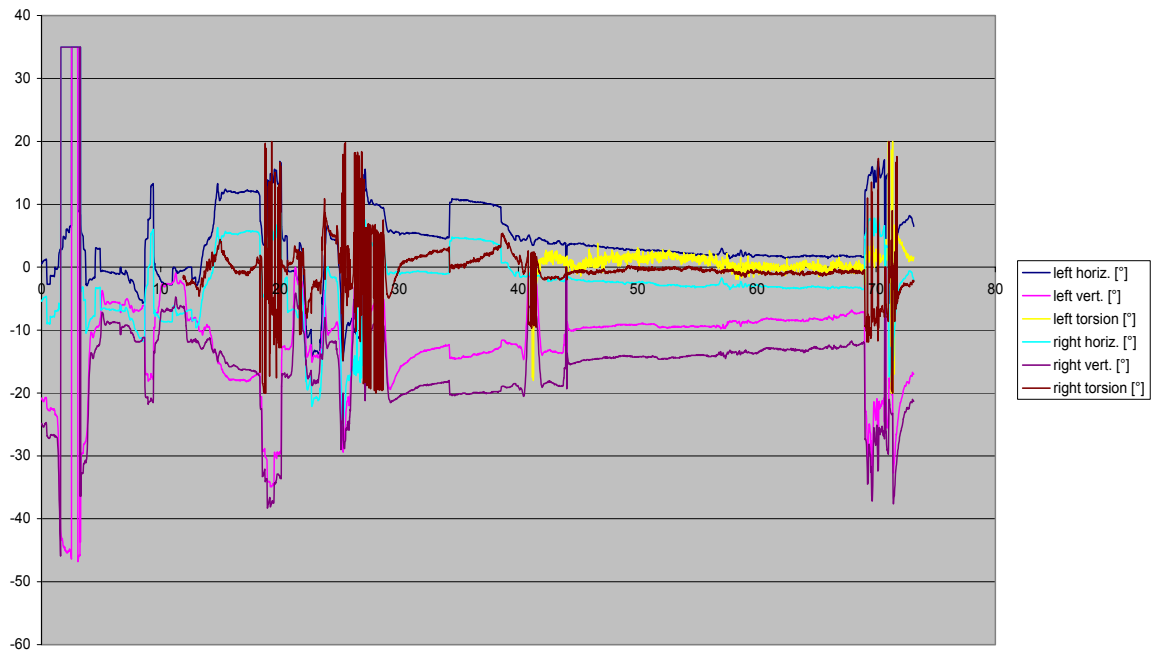
Anhang:



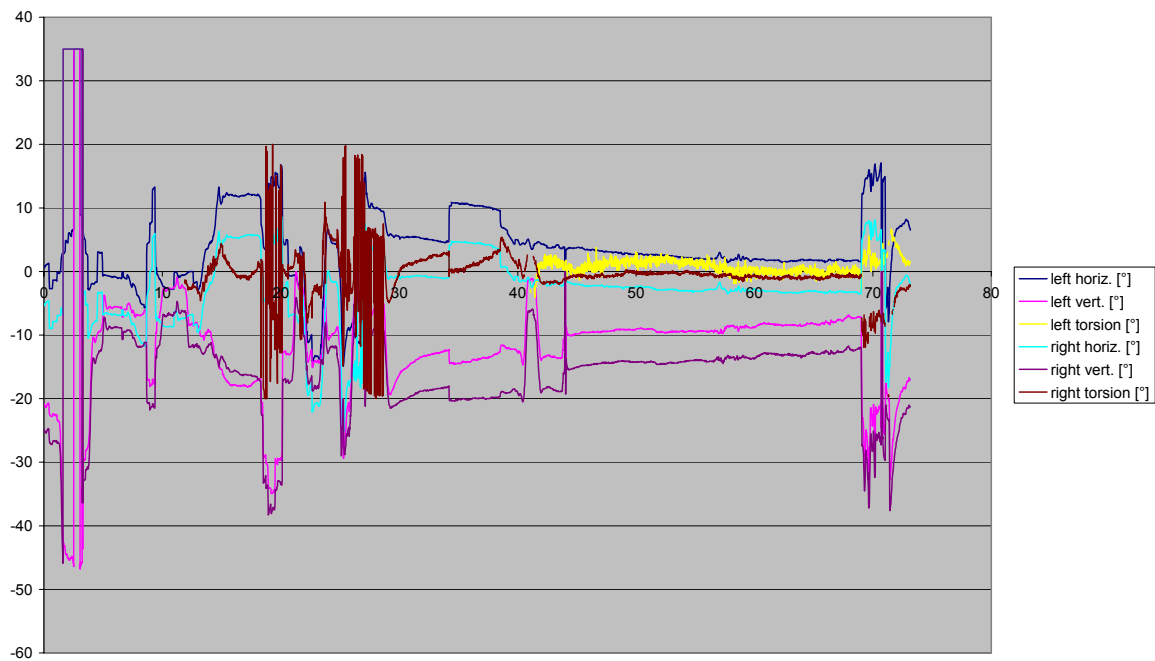
002-1-hvt-0,5



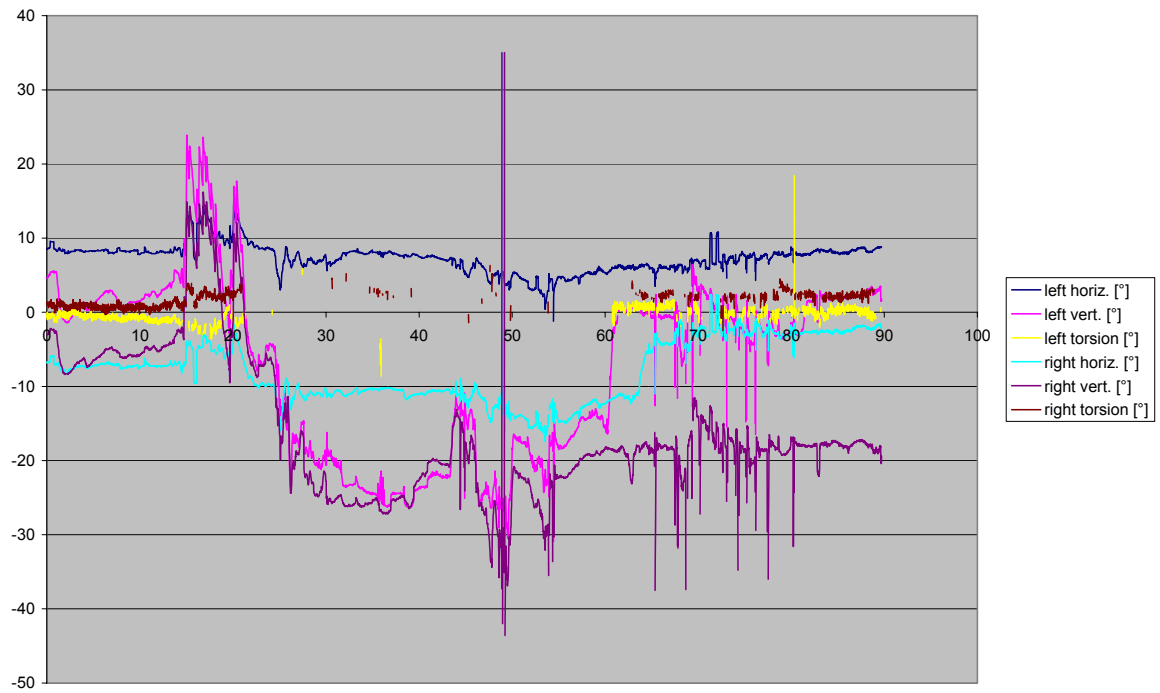
Proband 002-a1-



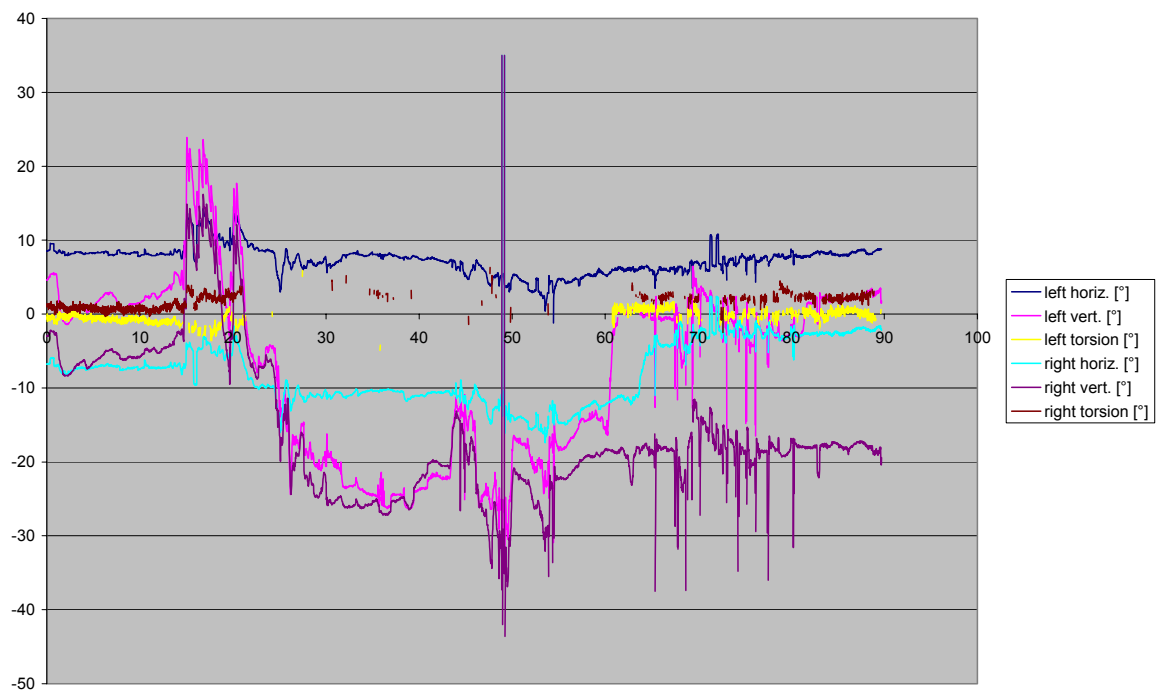
003-1-hvt-0,5



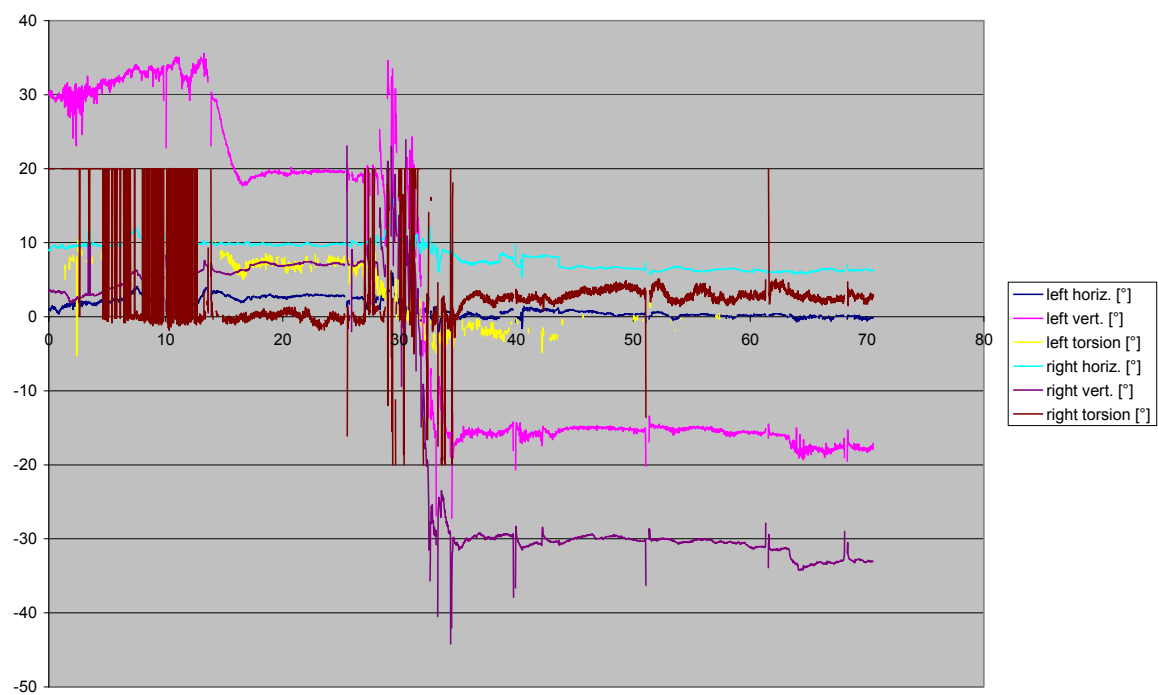
Proband 003-a1-1



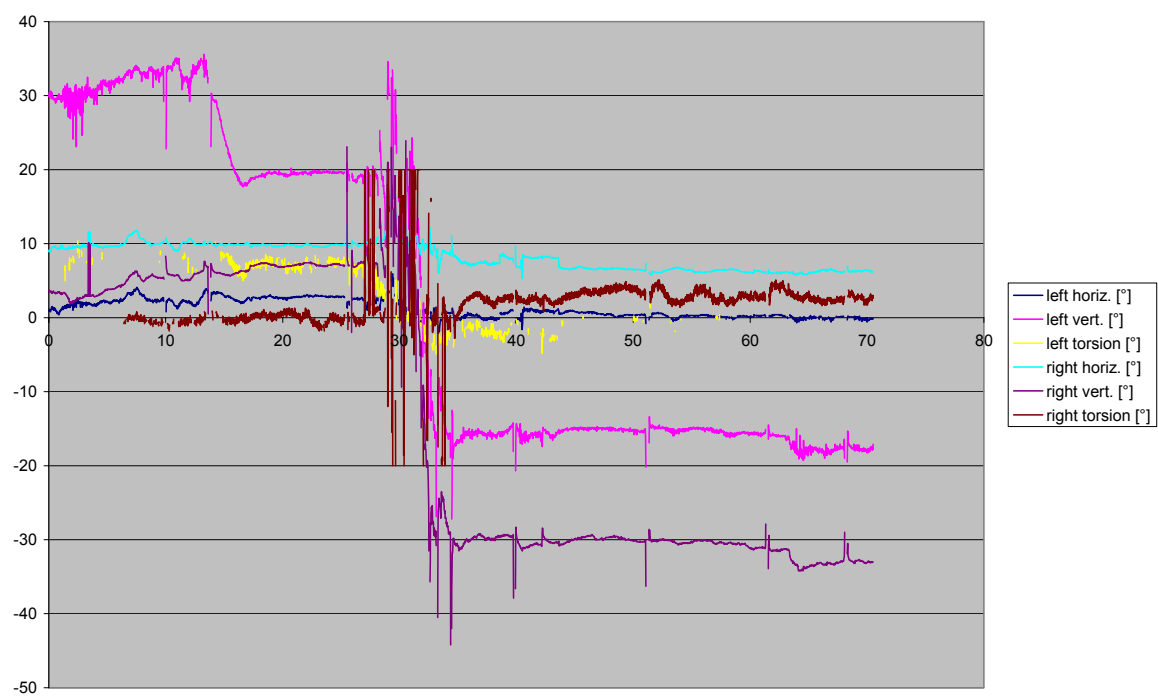
004-1-hvt-0,5



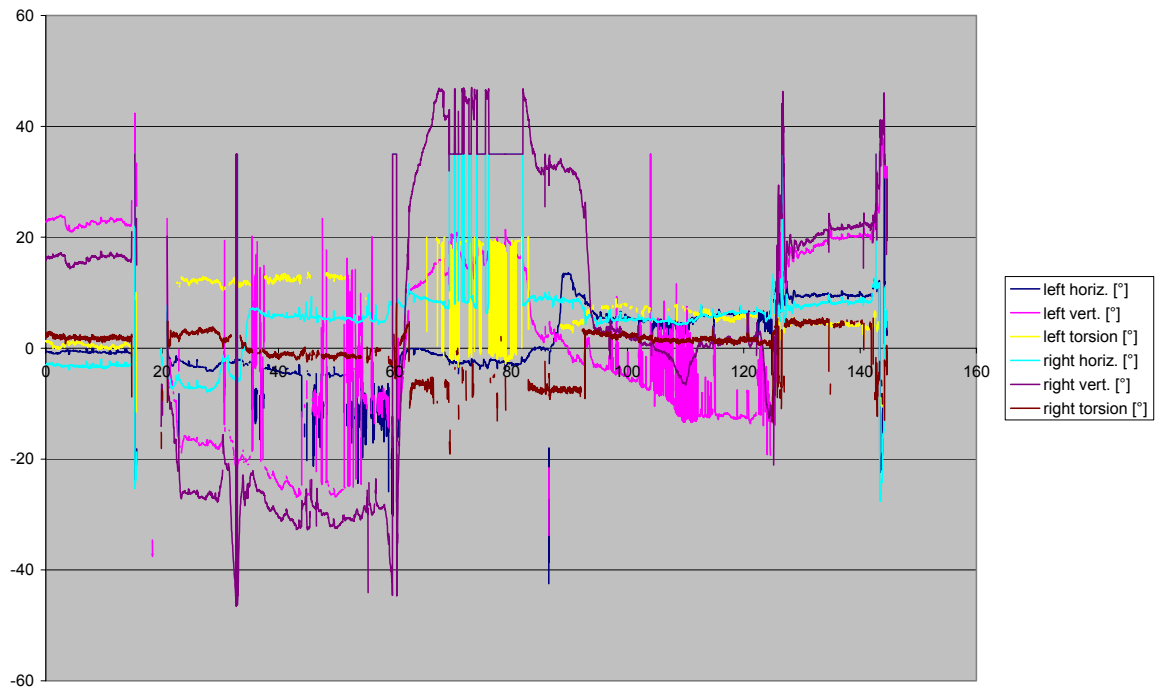
Proband 004-a1-1



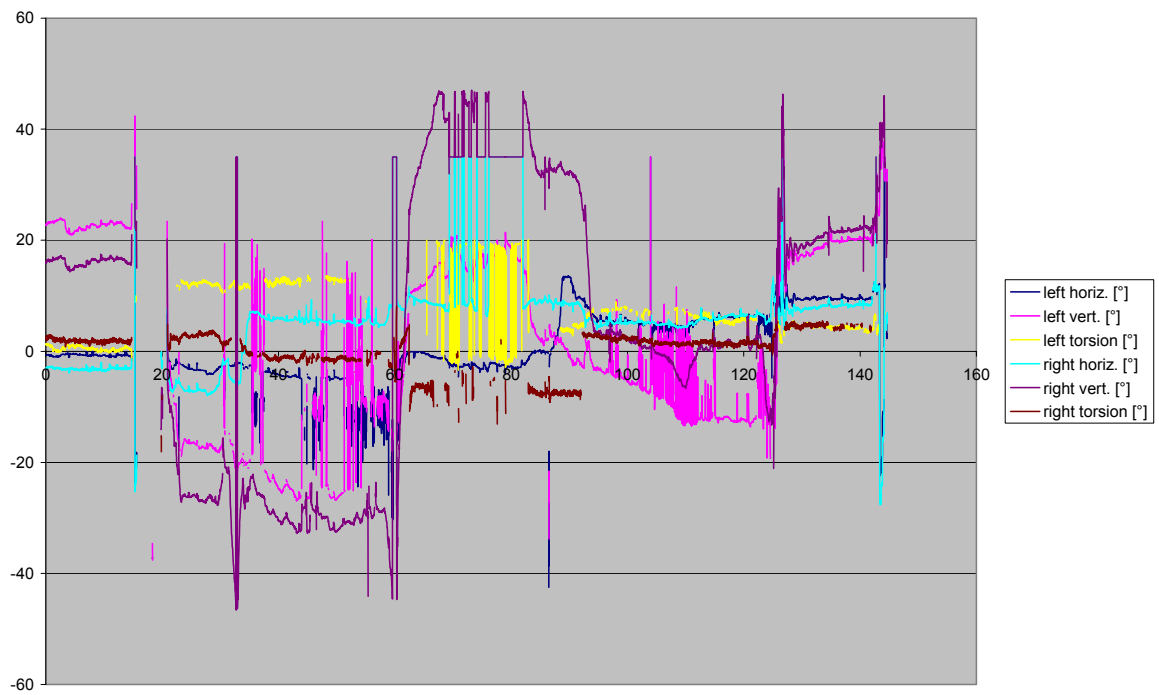
005-1-hvt-0,5



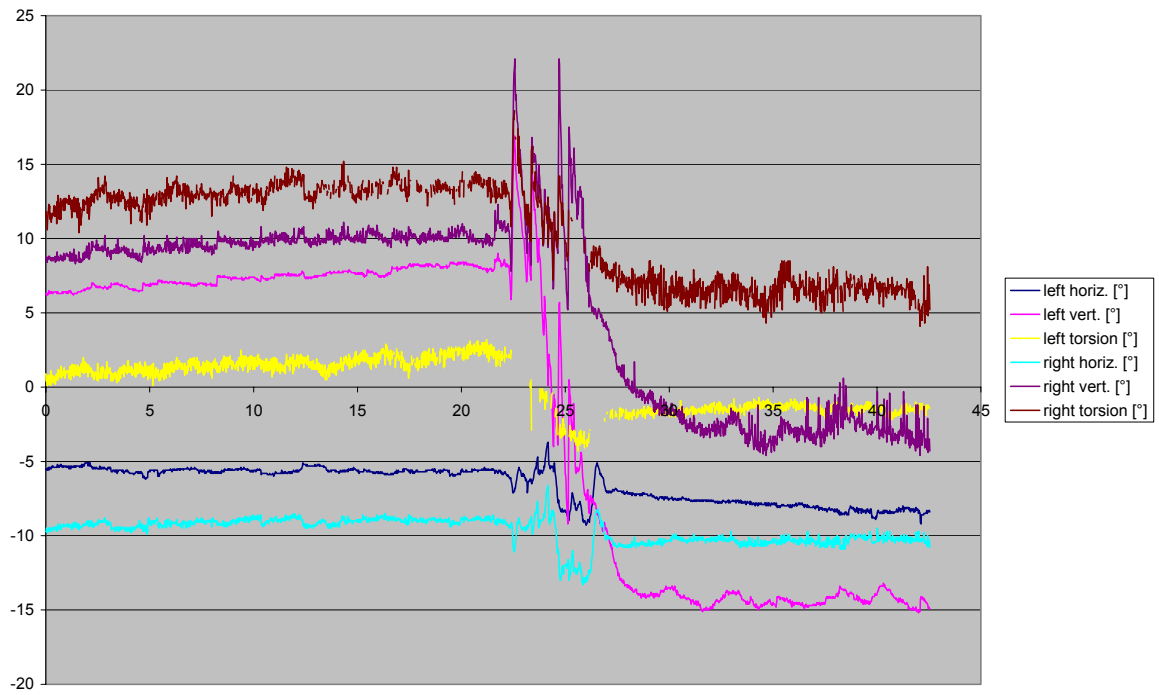
Proband 005-a1-1



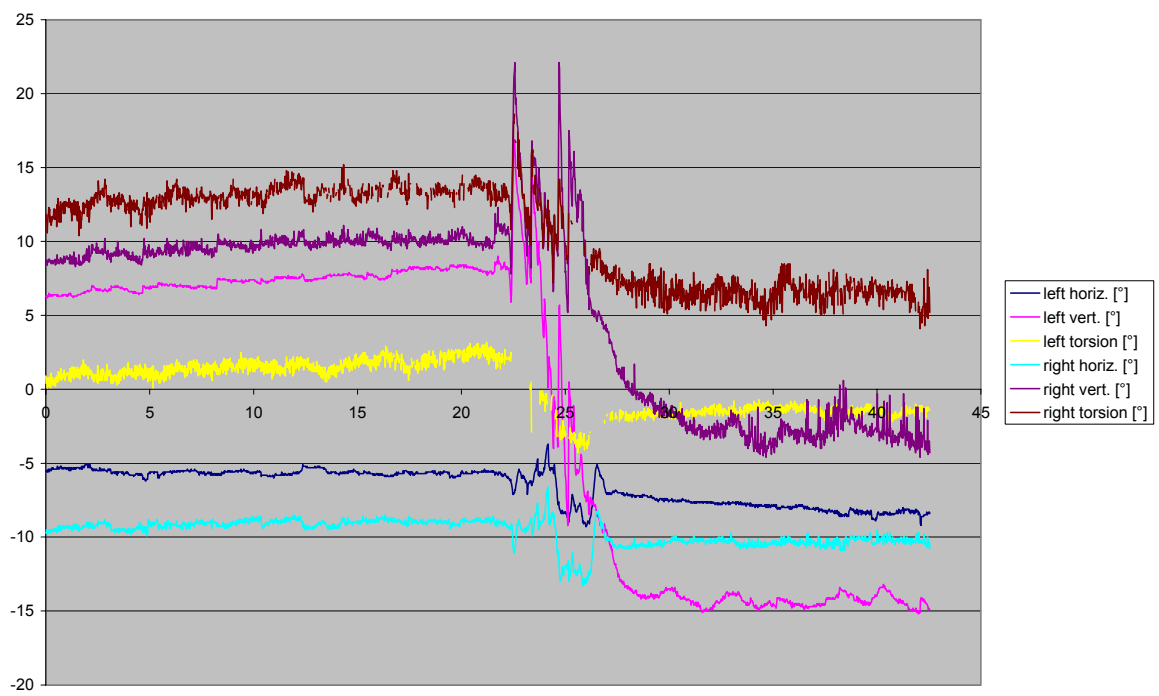
006-1-hvt-0,5



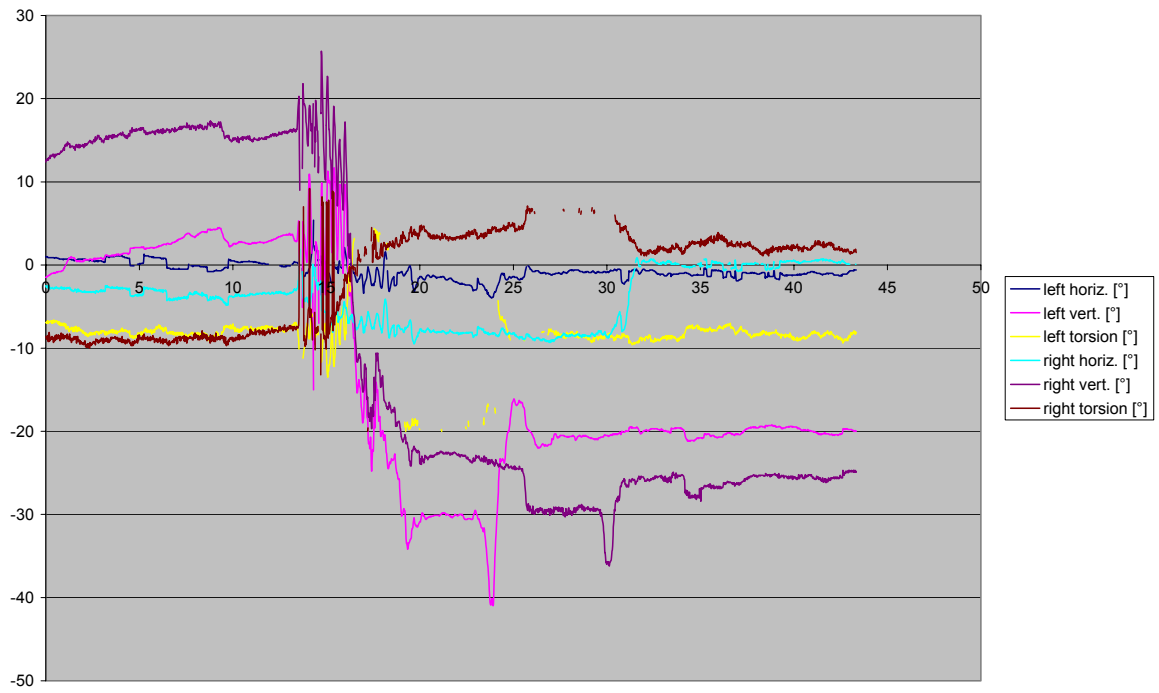
Proband 006-a1-1



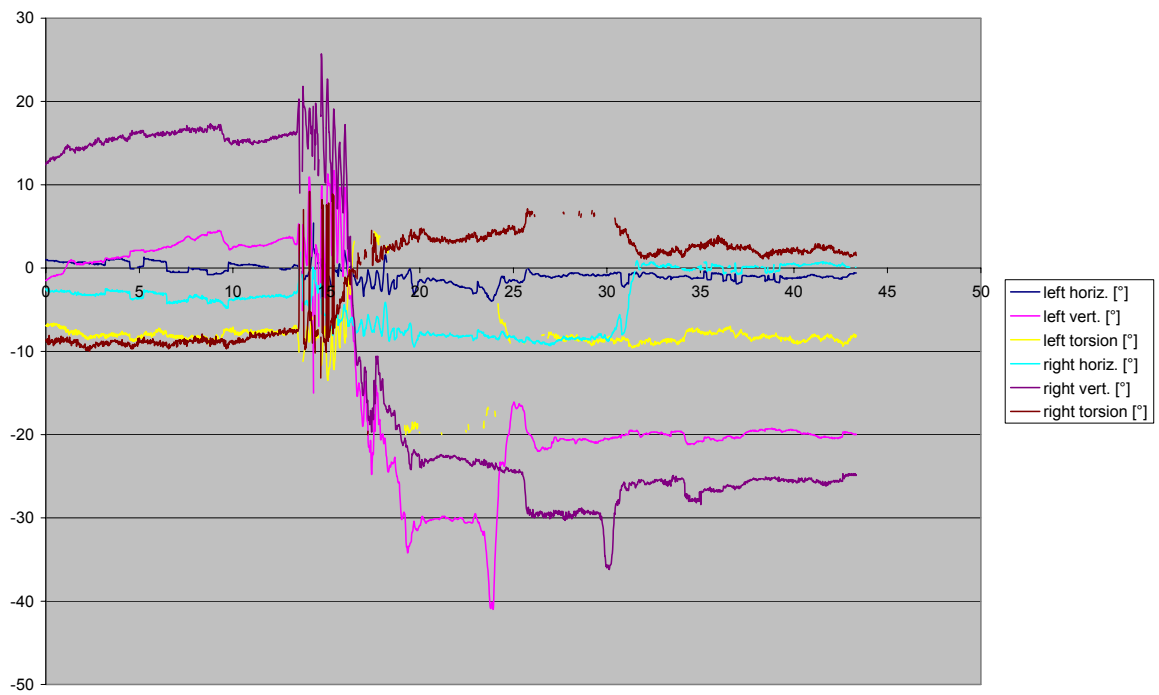
007-1-hvt-0,5



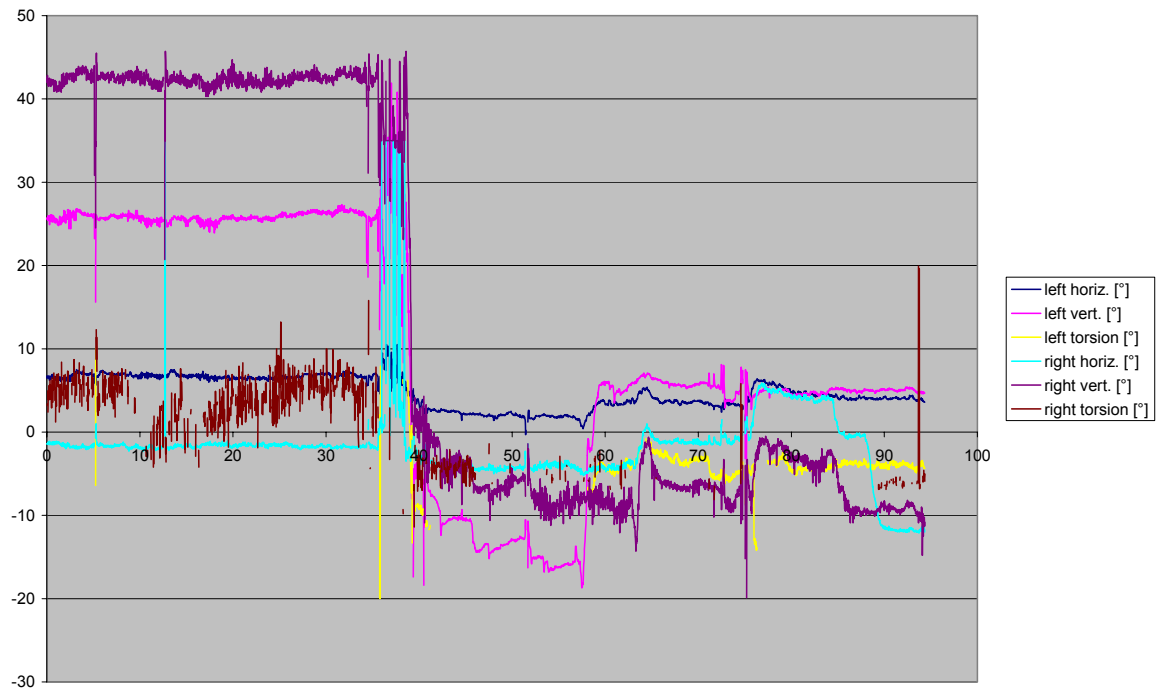
Proband 007-a1-1



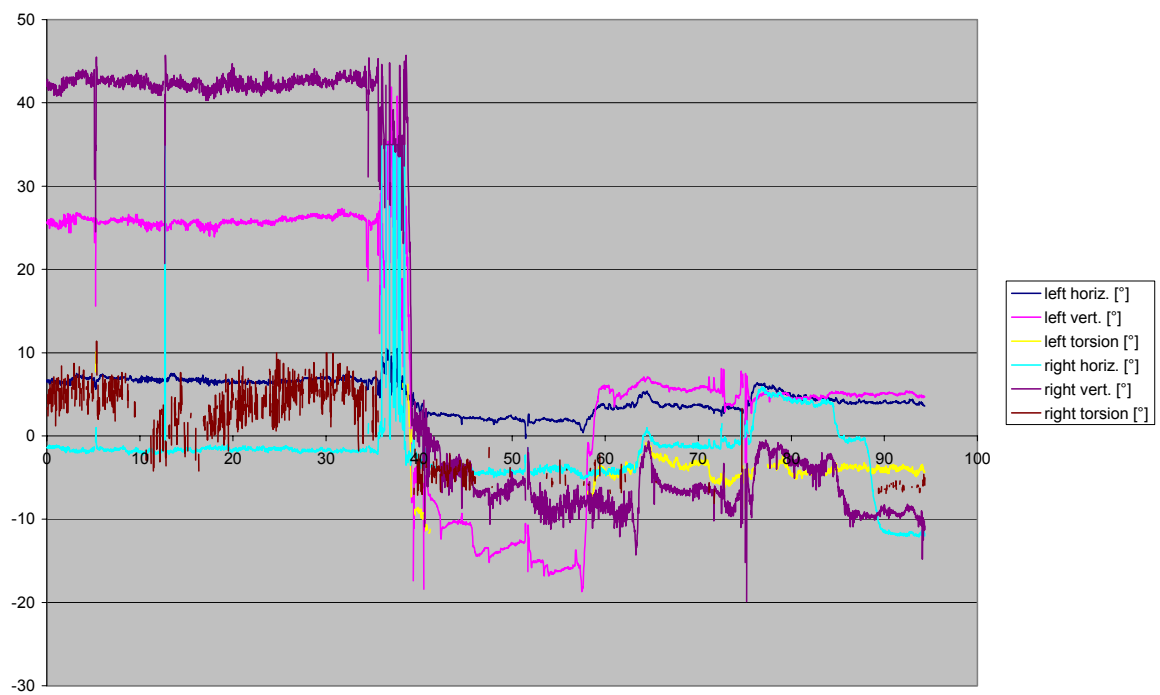
008-1-hvt-0,5



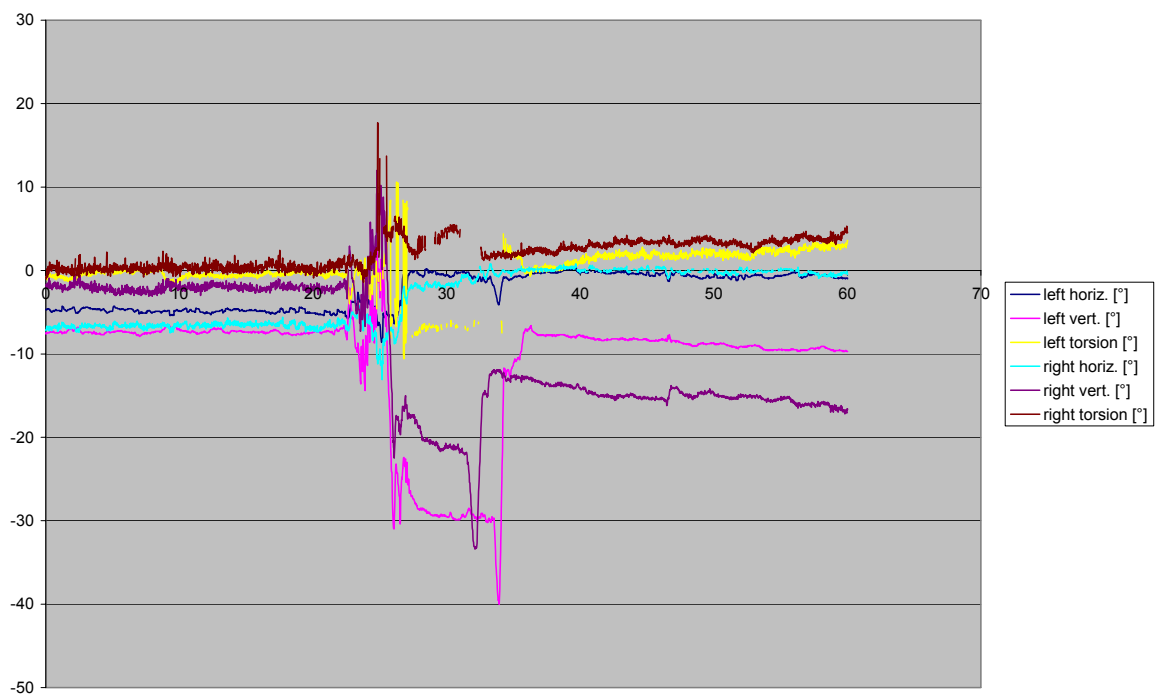
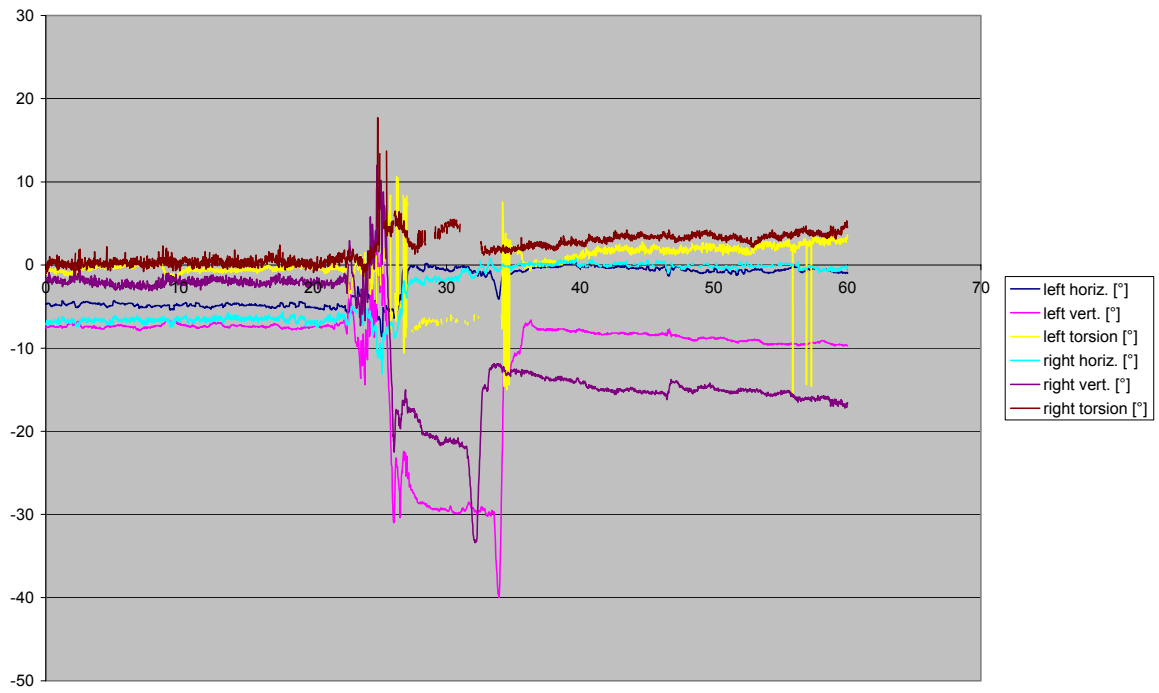
Proband 008-a1-1



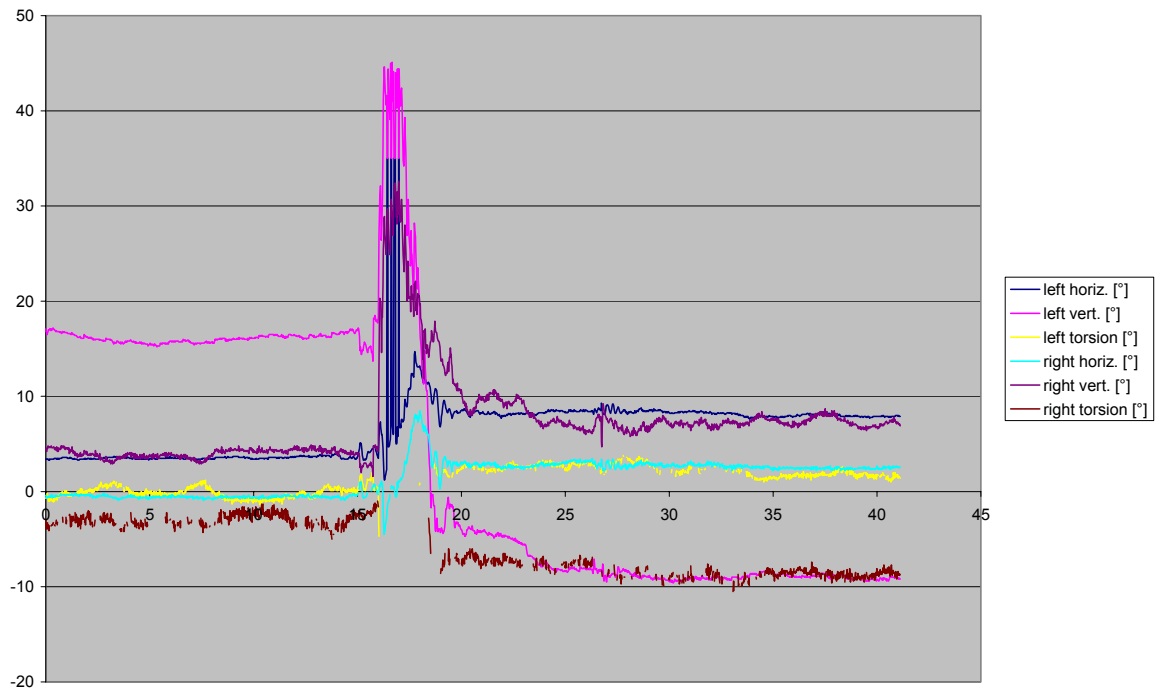
009-1-hvt-0,5



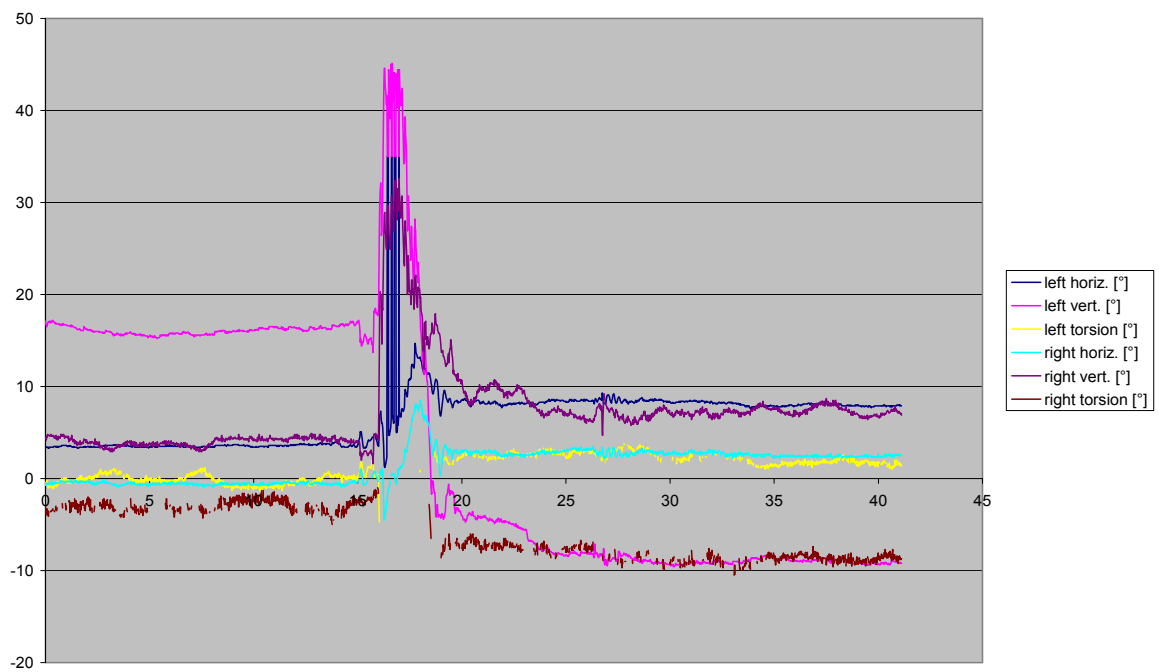
Proband 009-a1-1



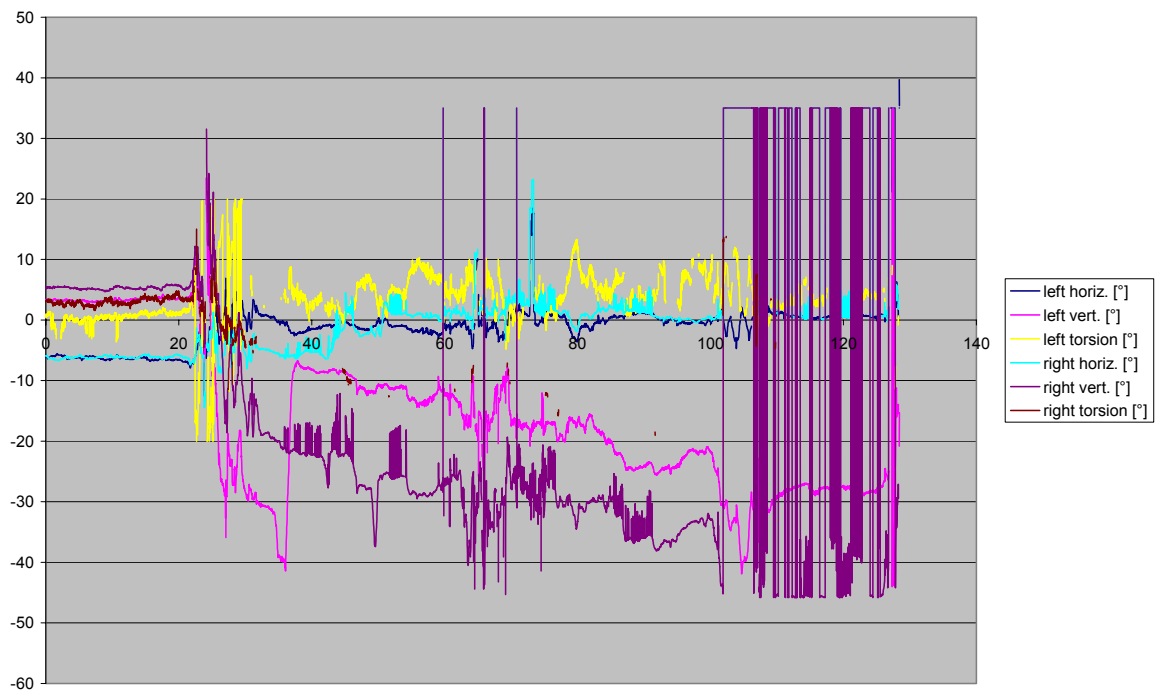
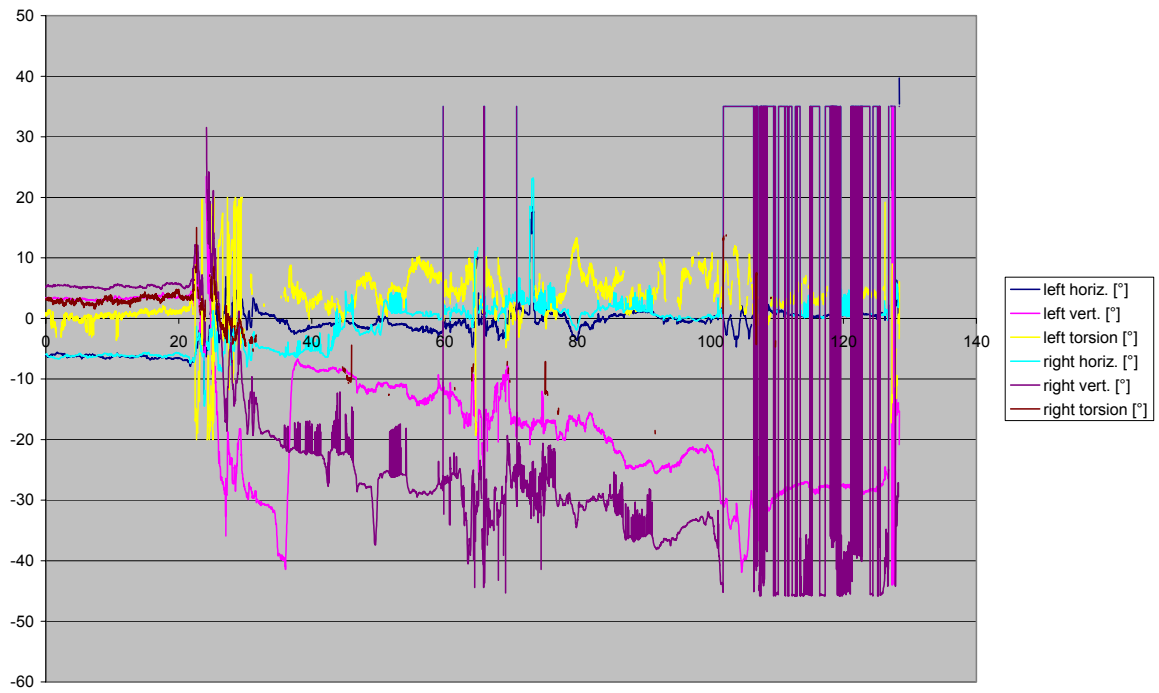
Proband 010-a1-1



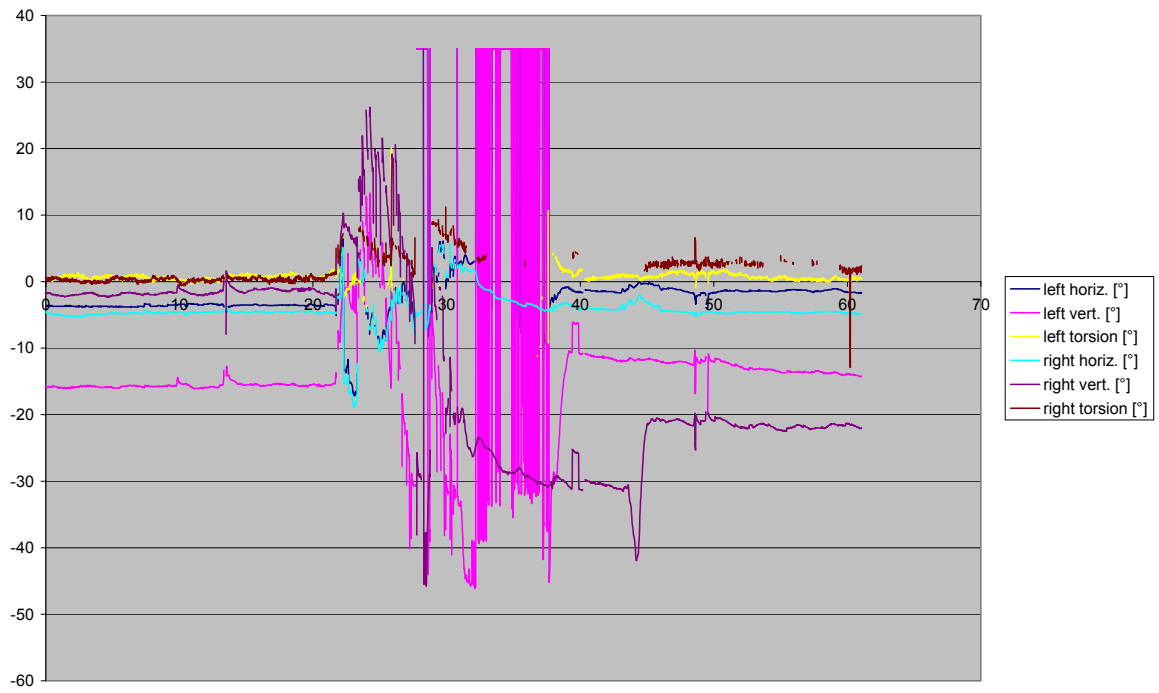
011-1-hvt-0,5



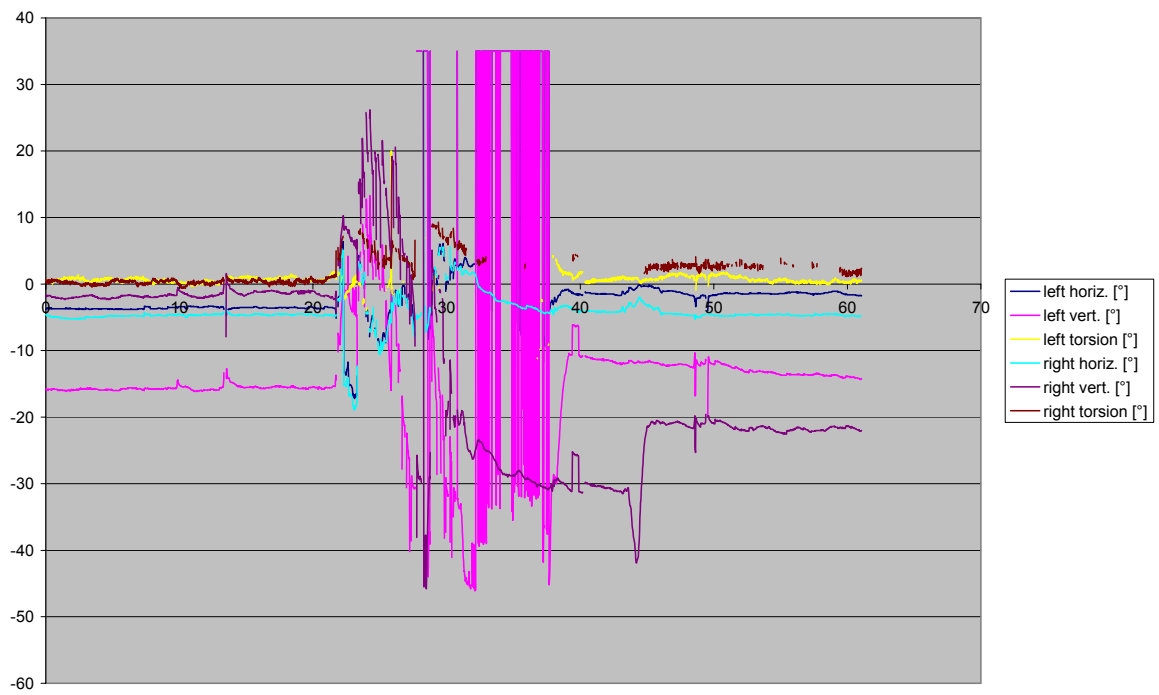
Proband 011-a1-1



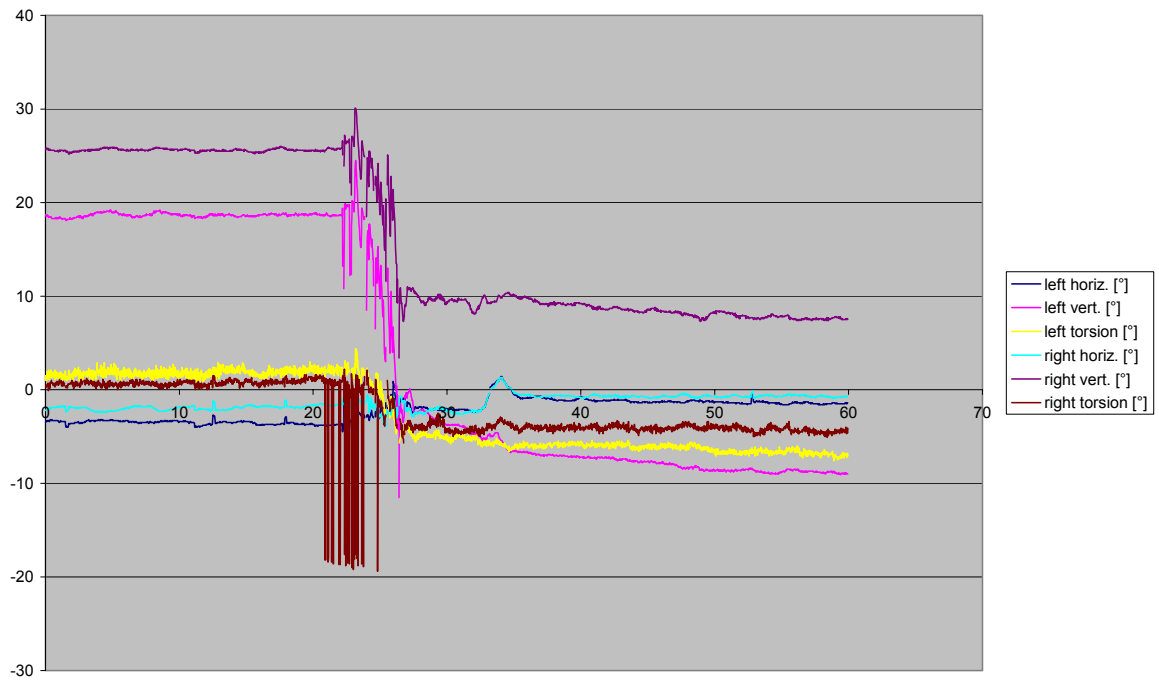
Proband 012-a1-1



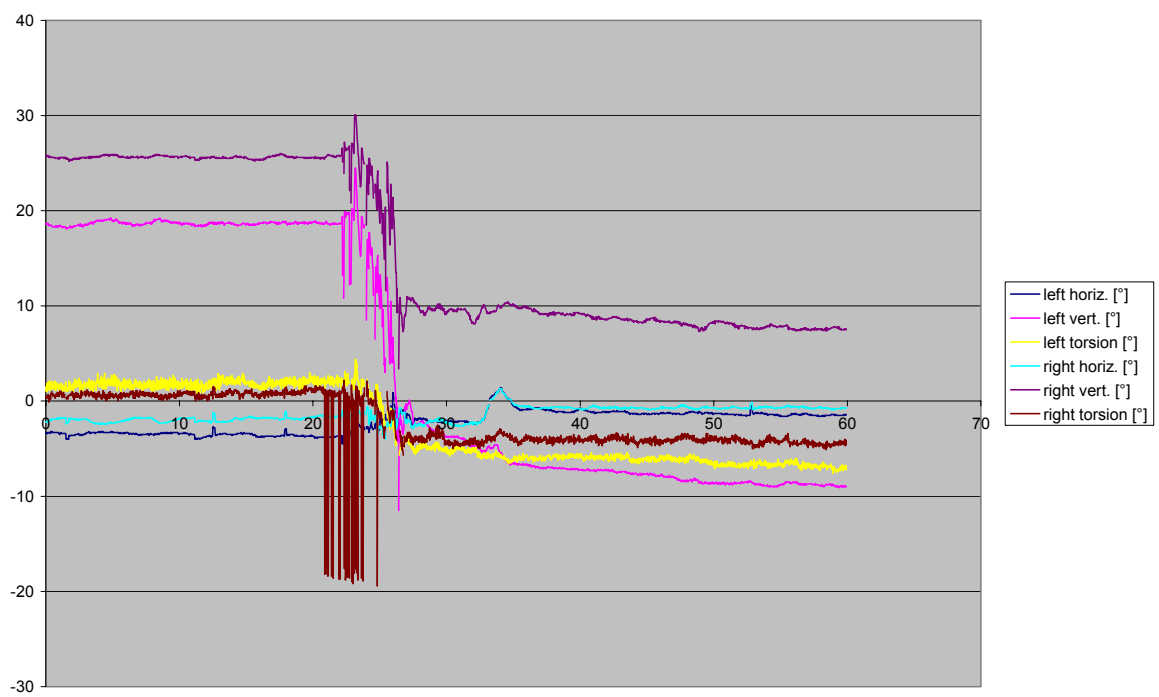
013-1-hvt-0,5



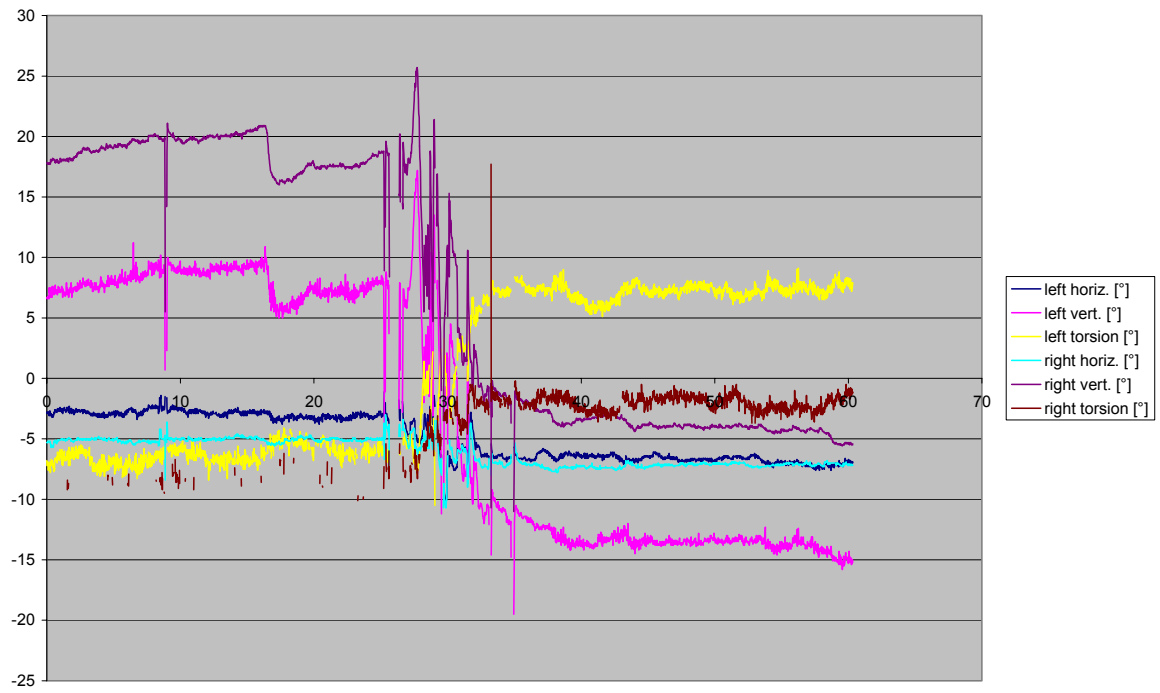
Proband 013-a1-1



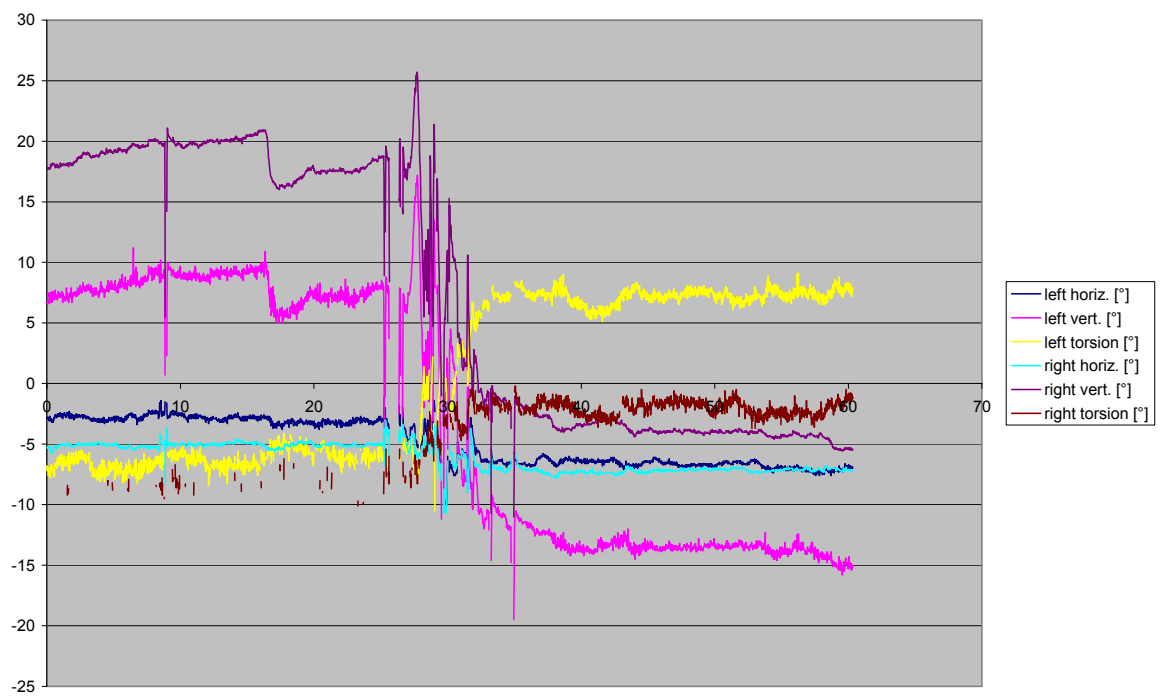
014-1-hvt-0,5



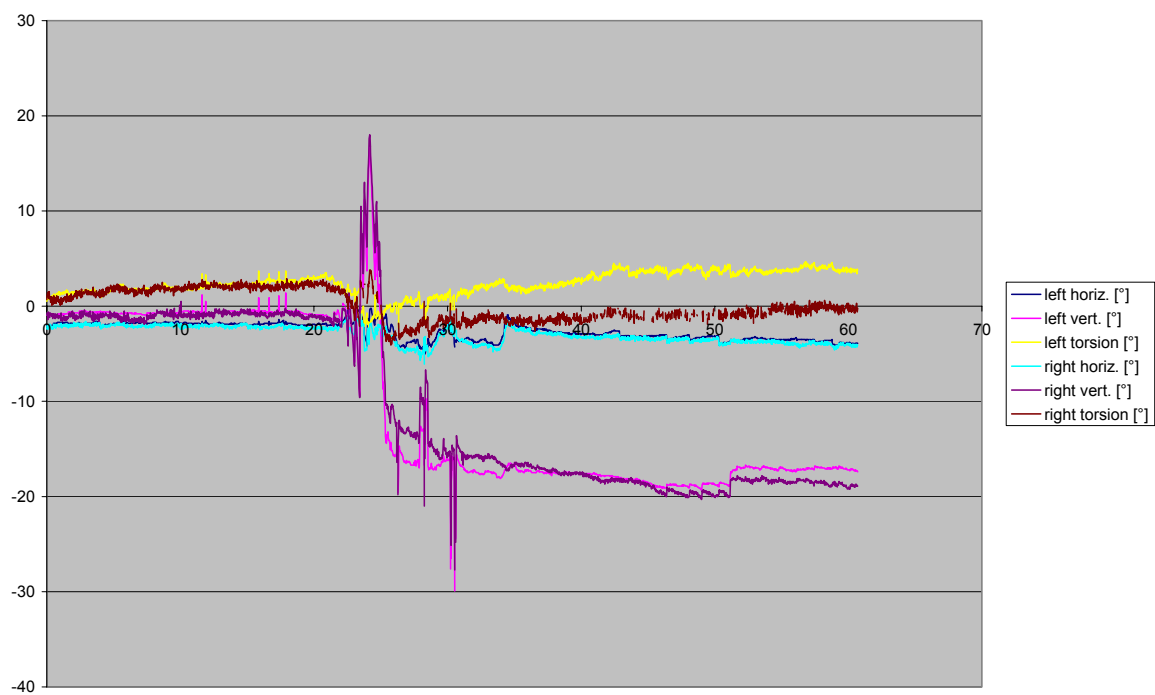
Proband 014-a1-1



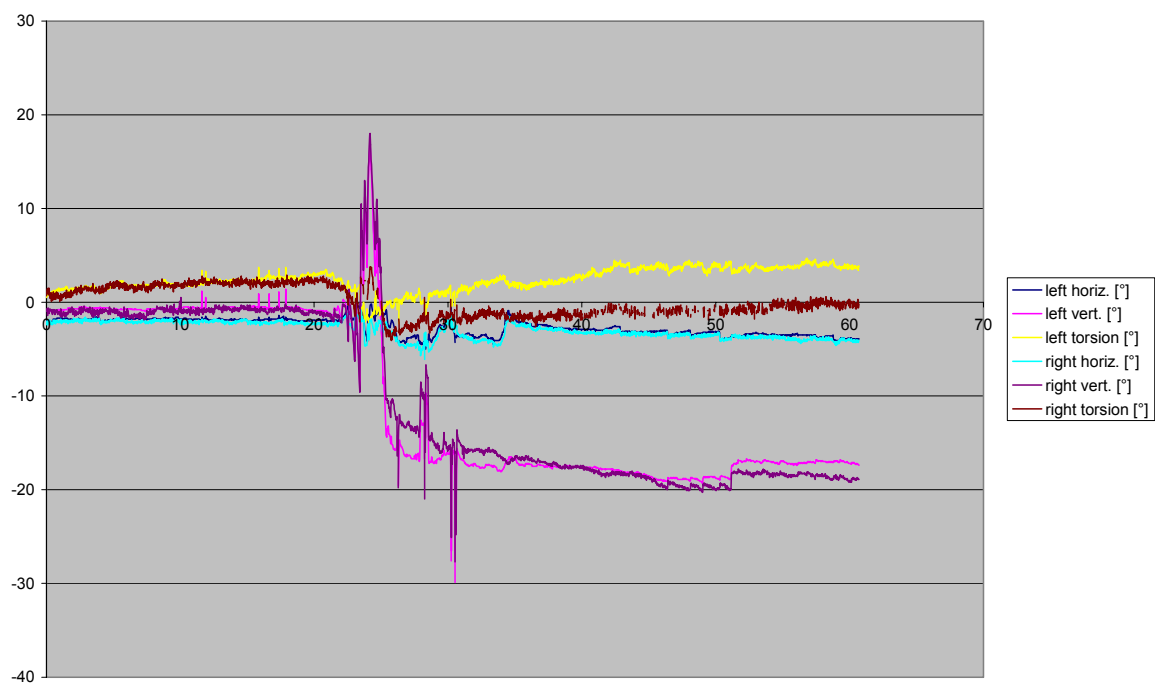
015-1-hvt-0,5



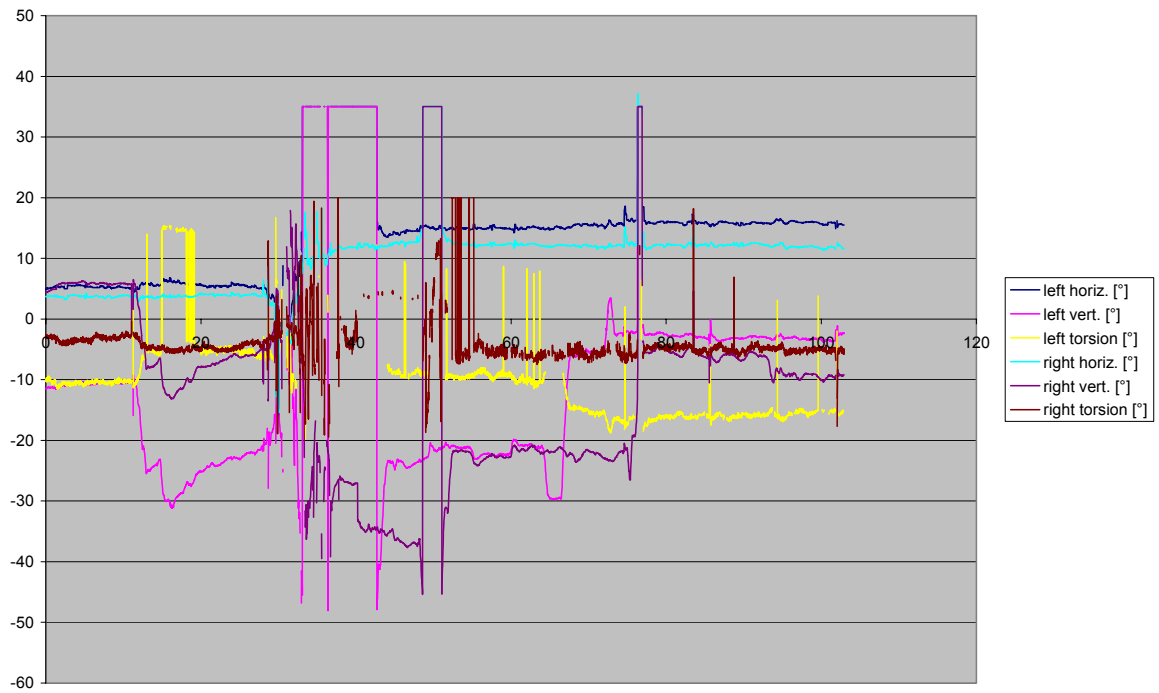
Proband 015-a1-1



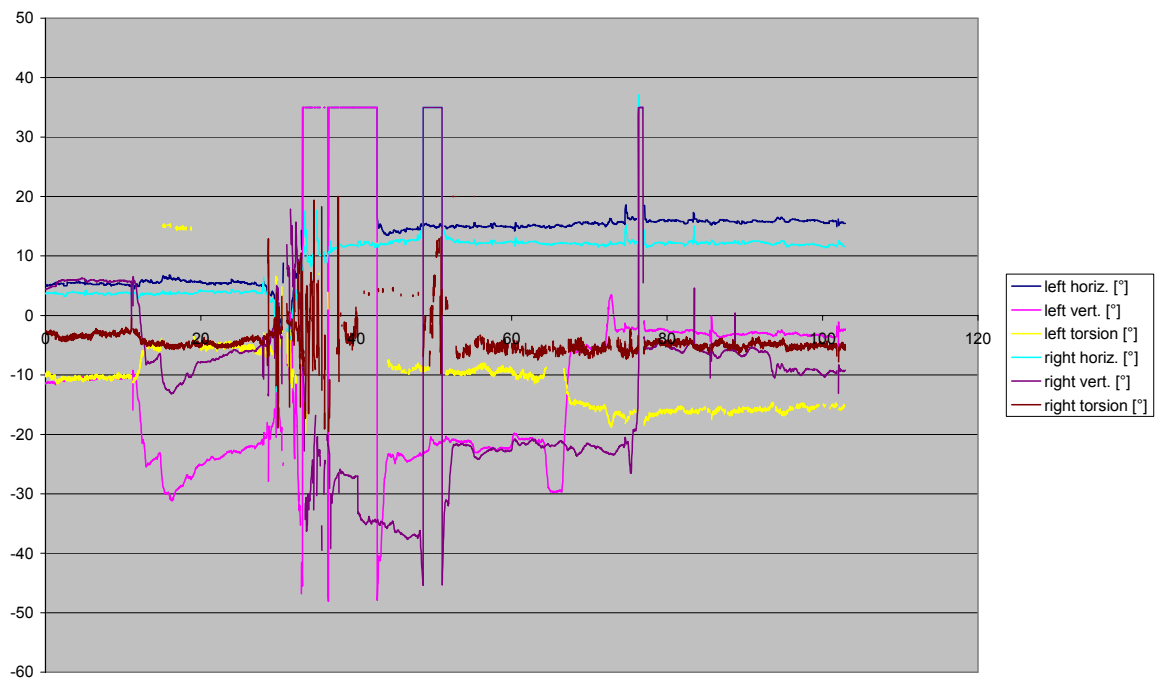
016-1-hvt-0,5



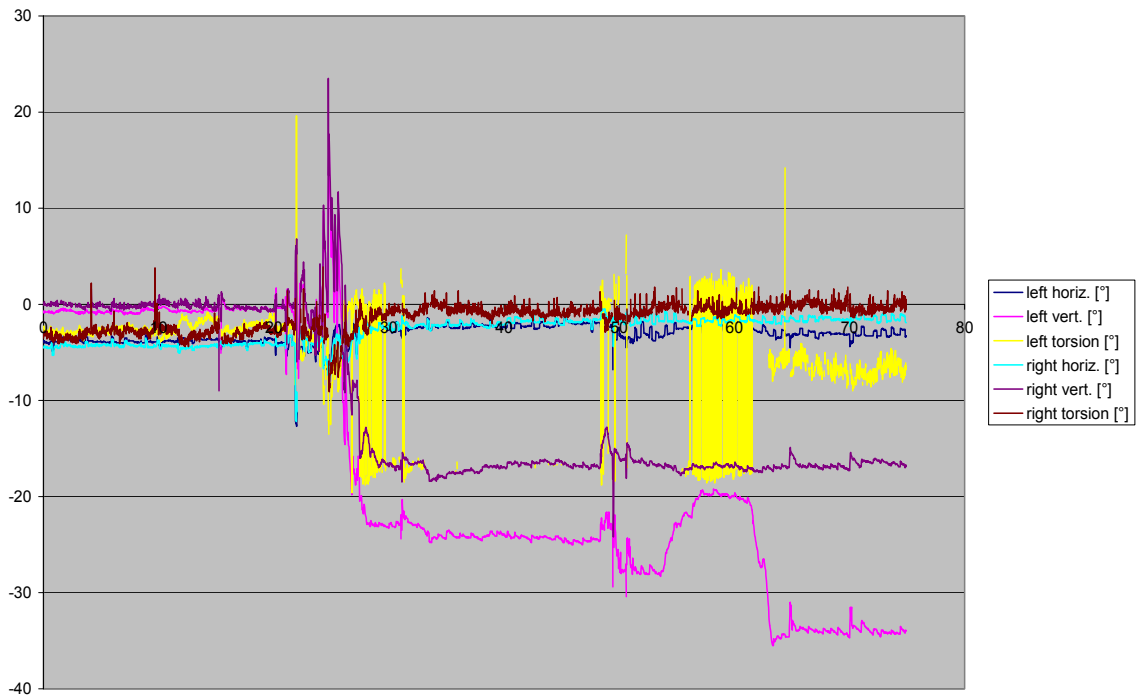
Proband 016-a1-1



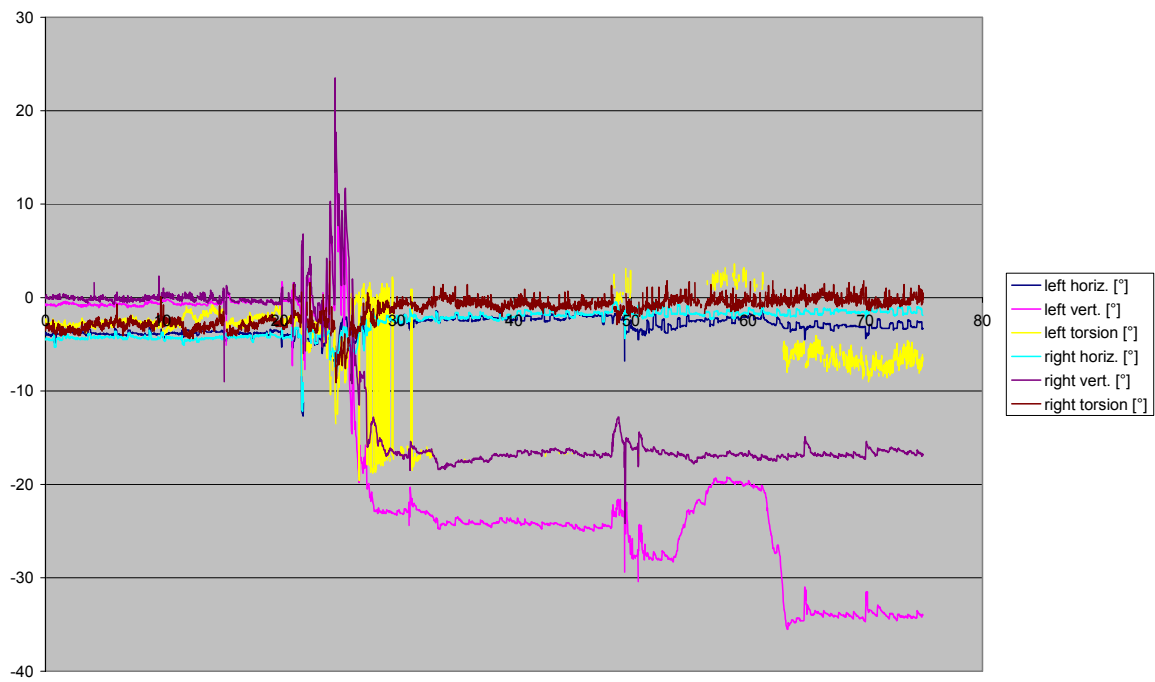
017-1-hvt-0,5



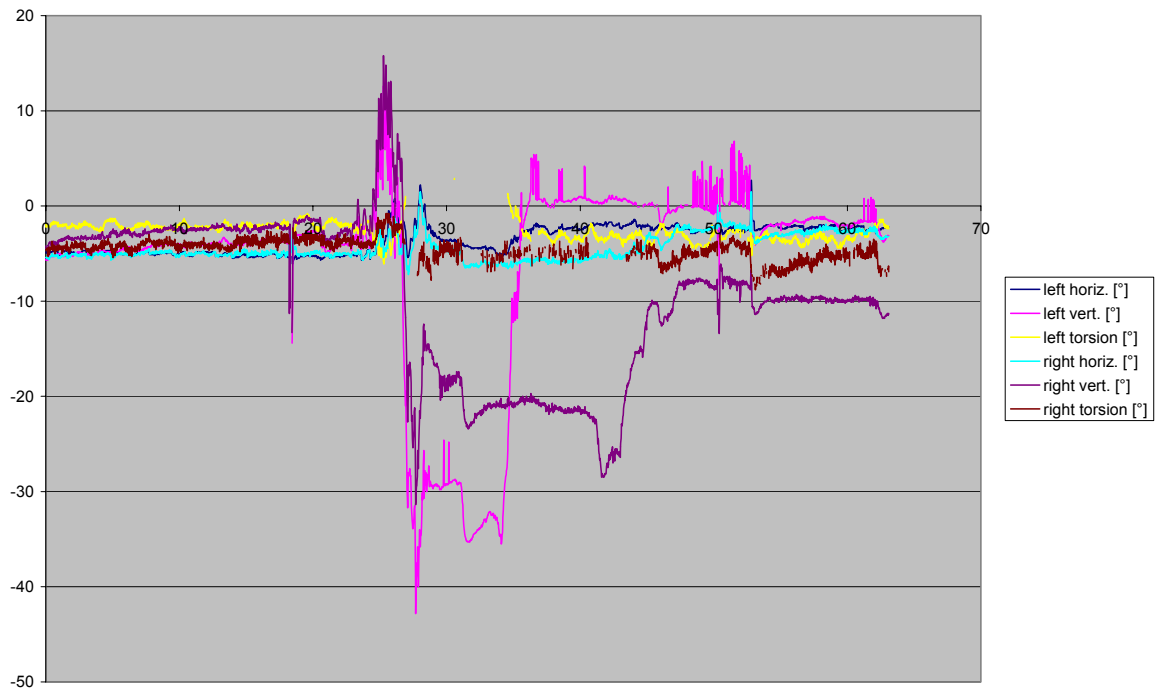
Proband 017-a1-1



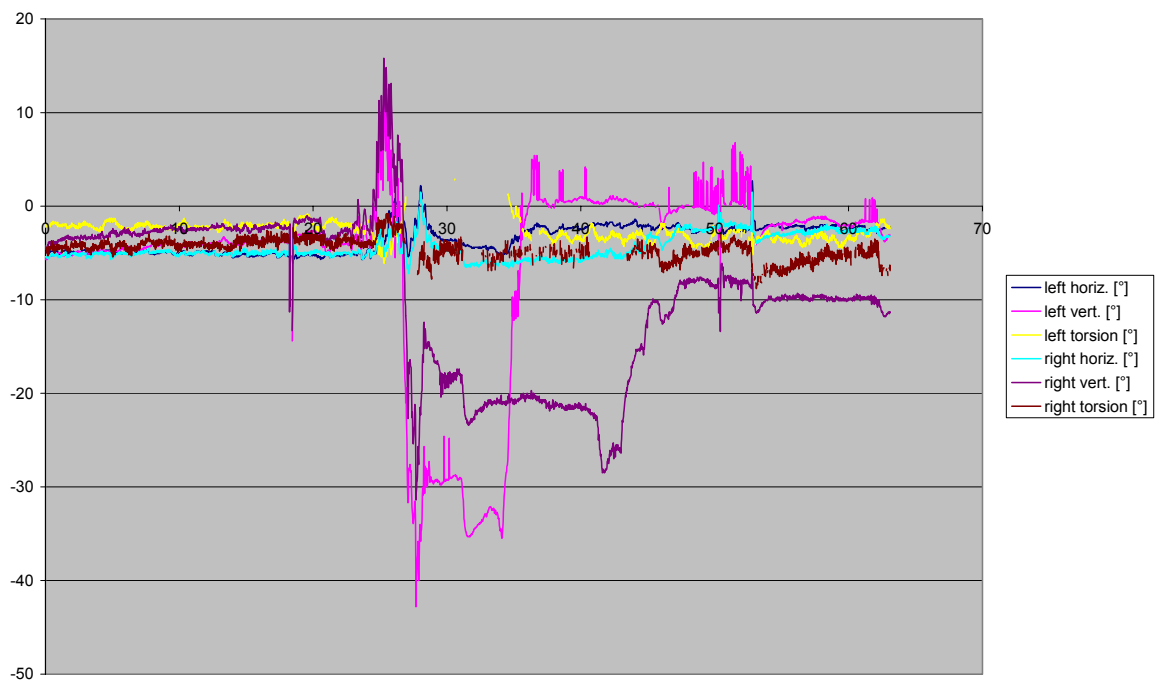
018-1-hvt-0,5



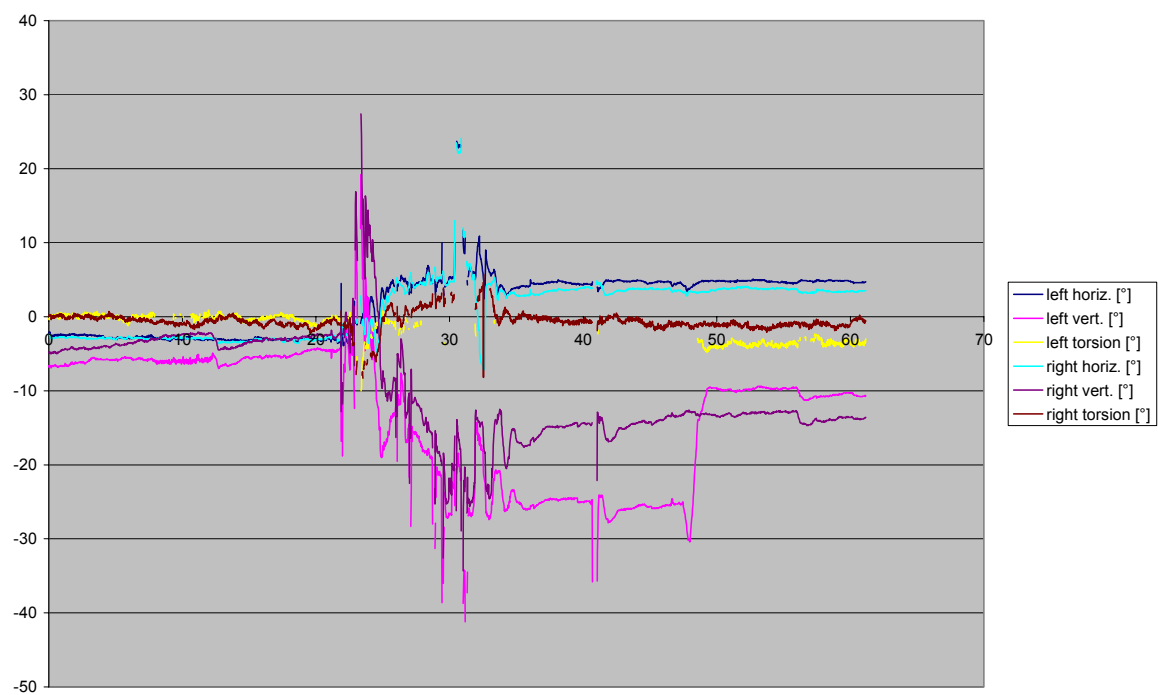
Proband 018-a1-1



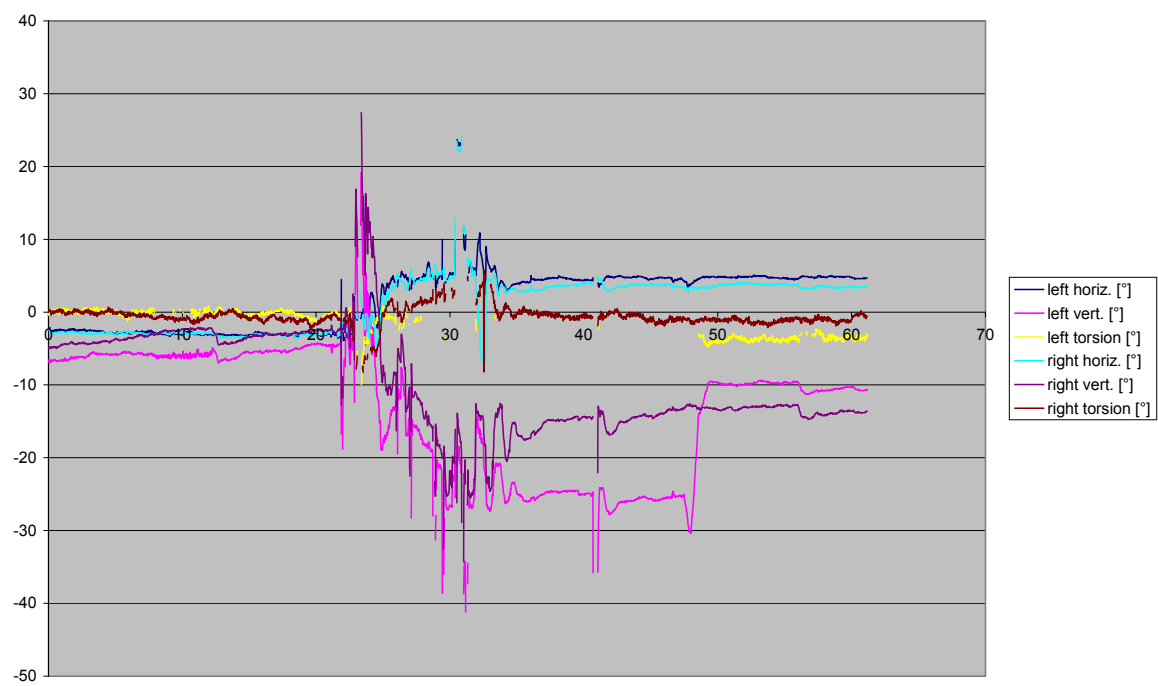
019-1-hvt-0,5



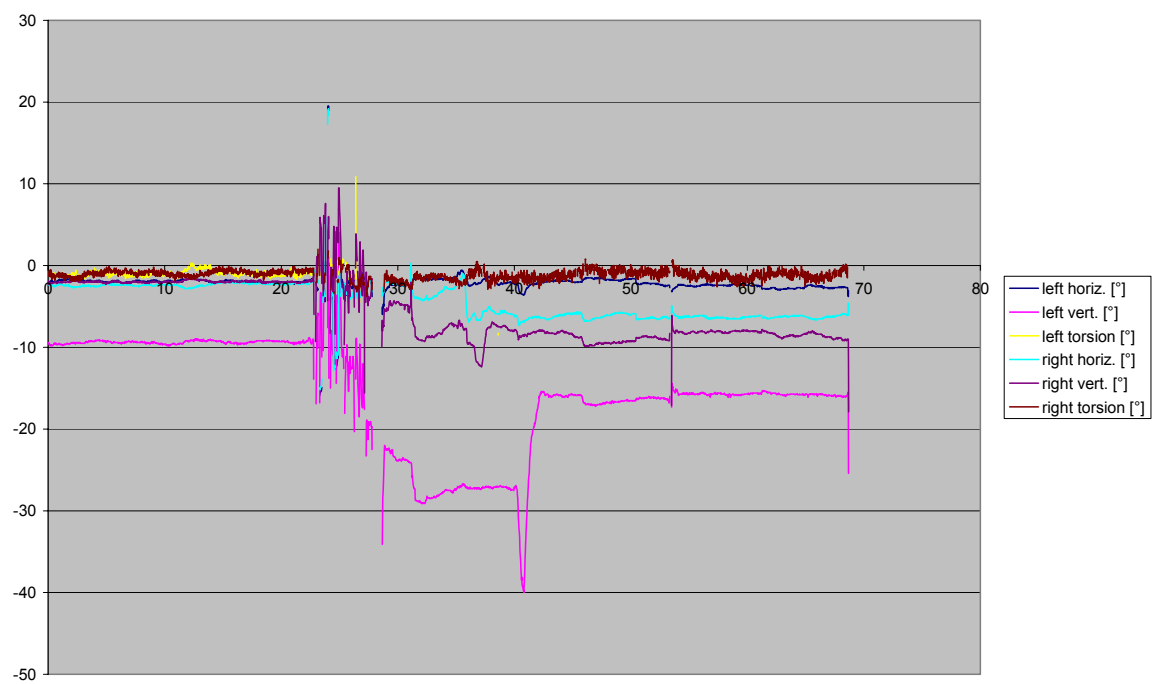
Proband 019-a1-1



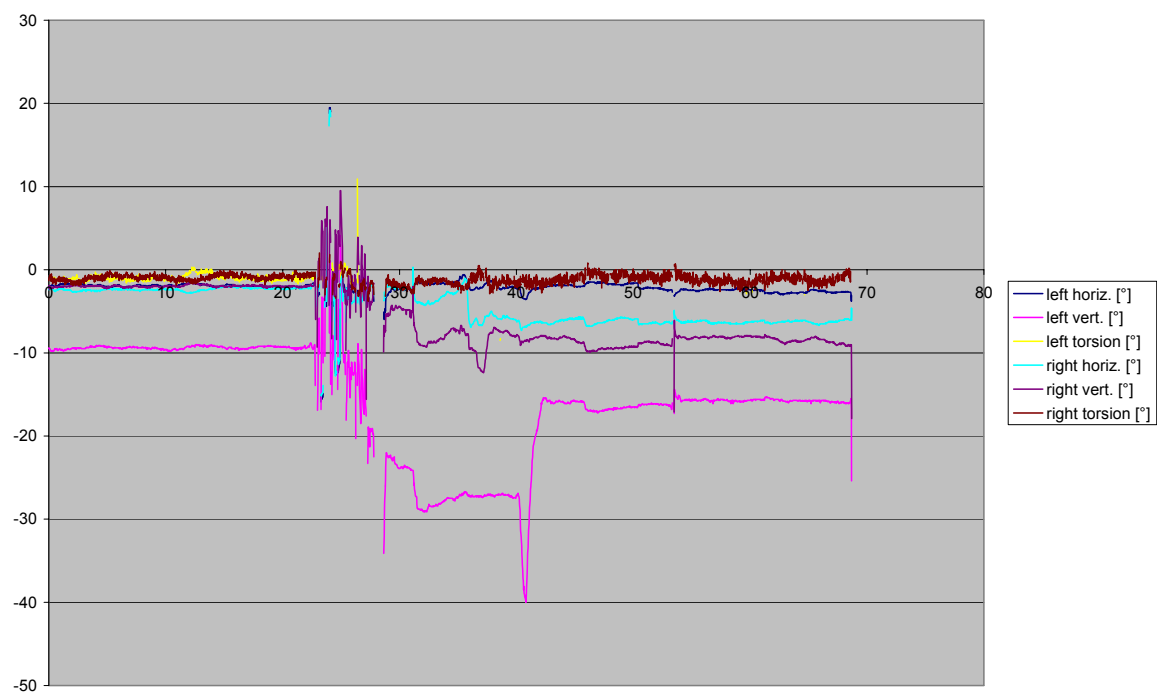
020-1-hvt-0,5



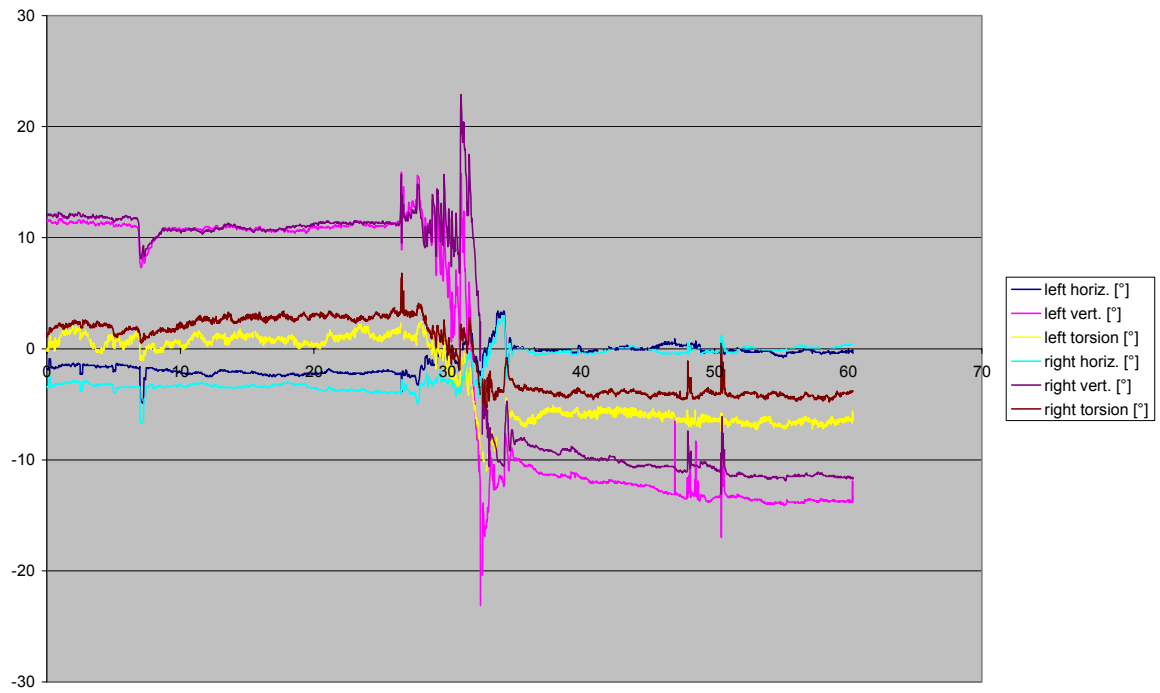
Proband 020-a1-1



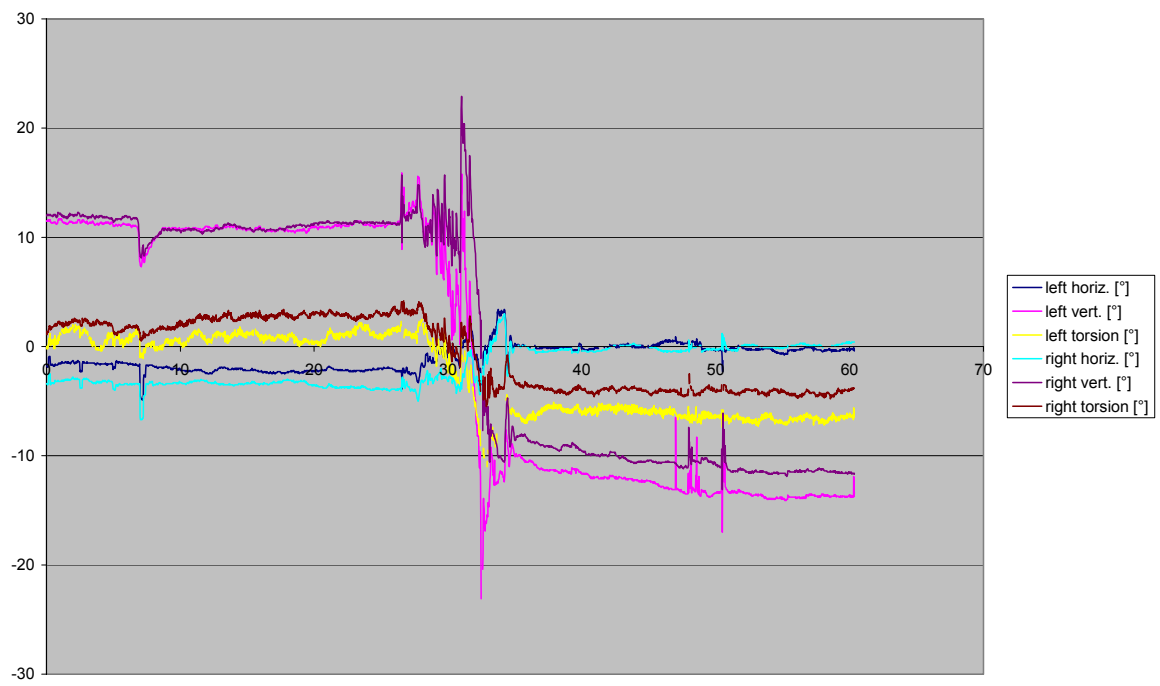
021-1-hvt-0,5



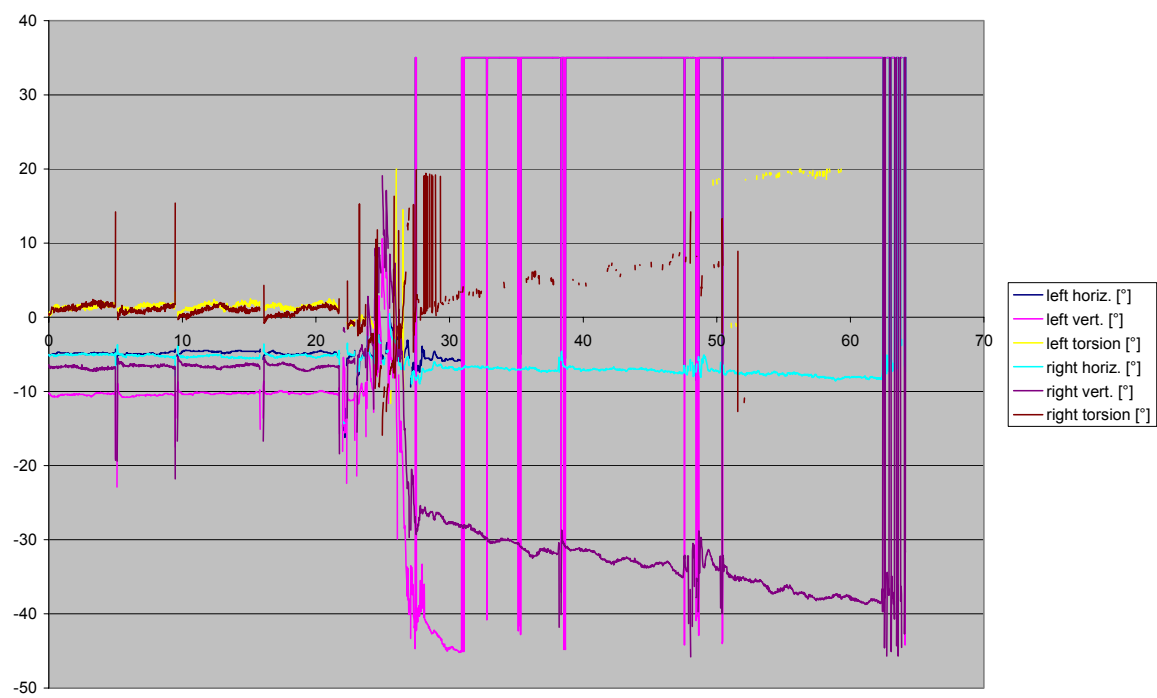
Proband 021-a1-1



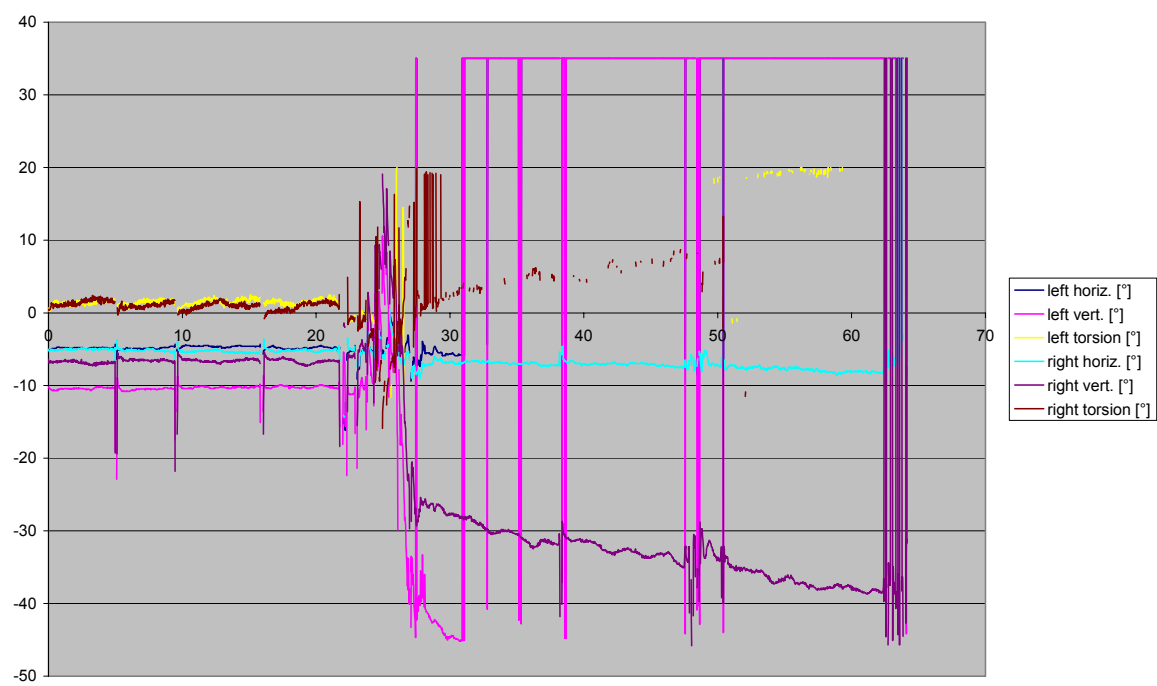
022-1-hvt-0,5



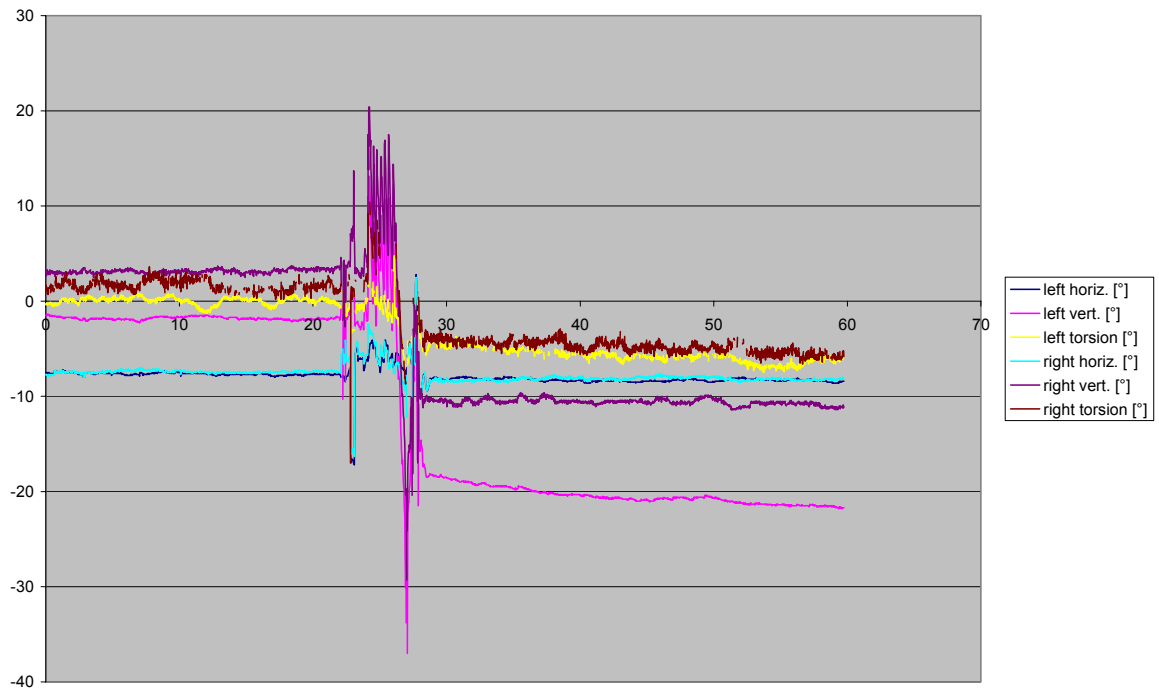
Proband 022-a1-1



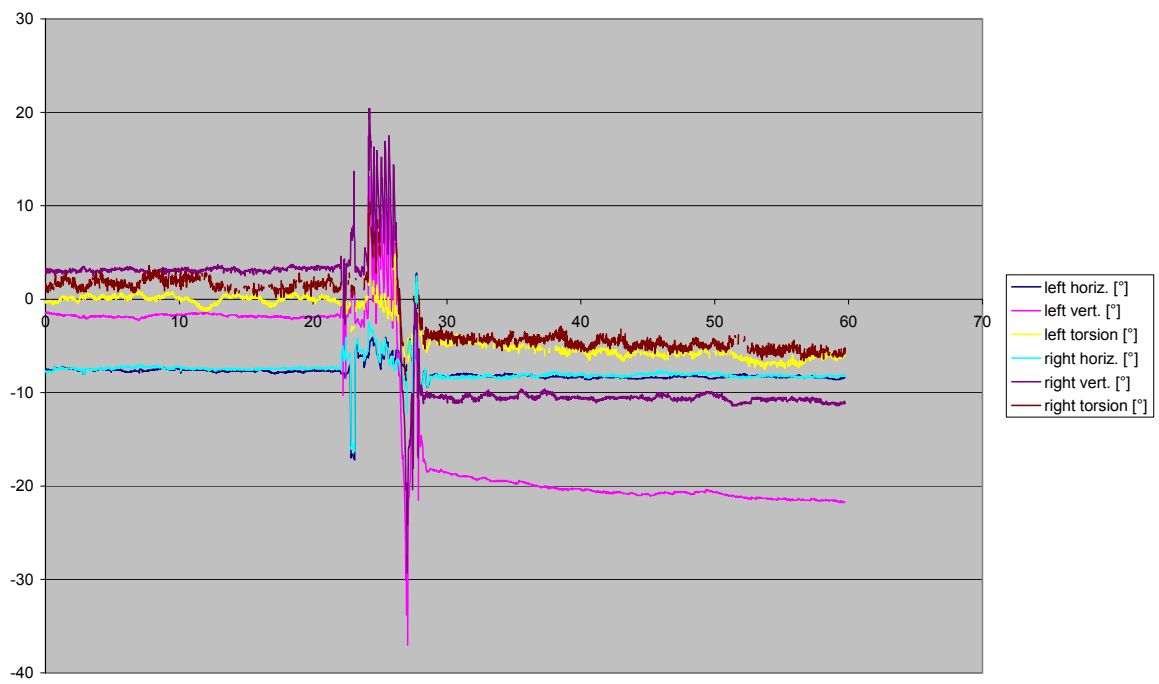
023-1-hvt-0,5



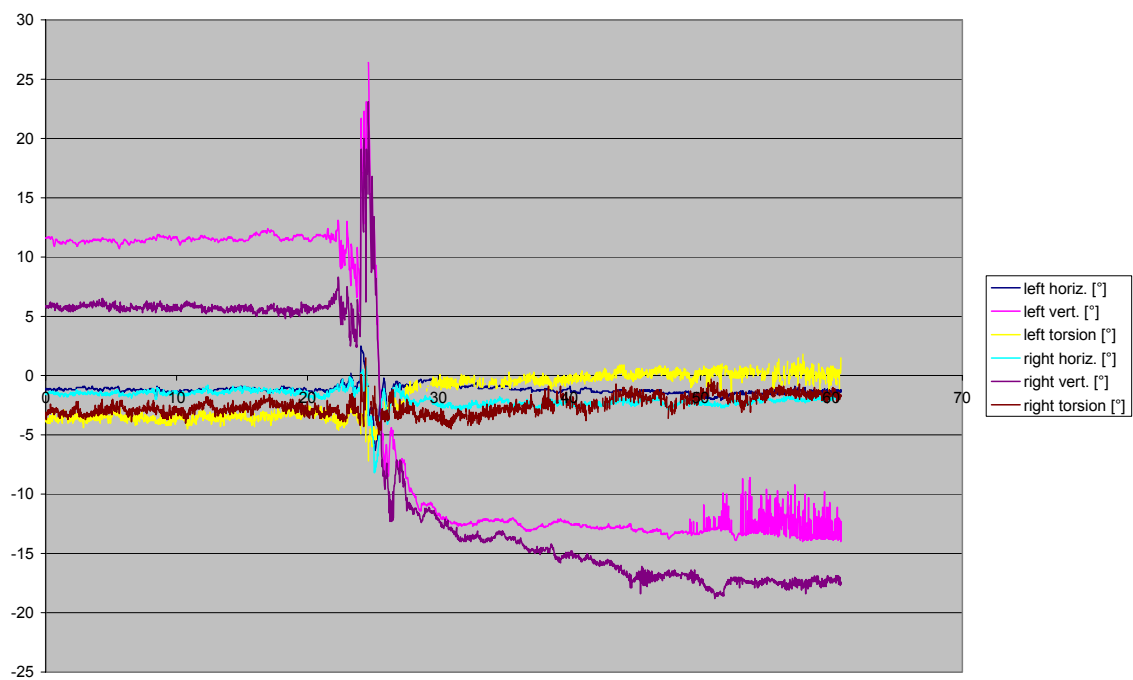
Proband 023-a1-1



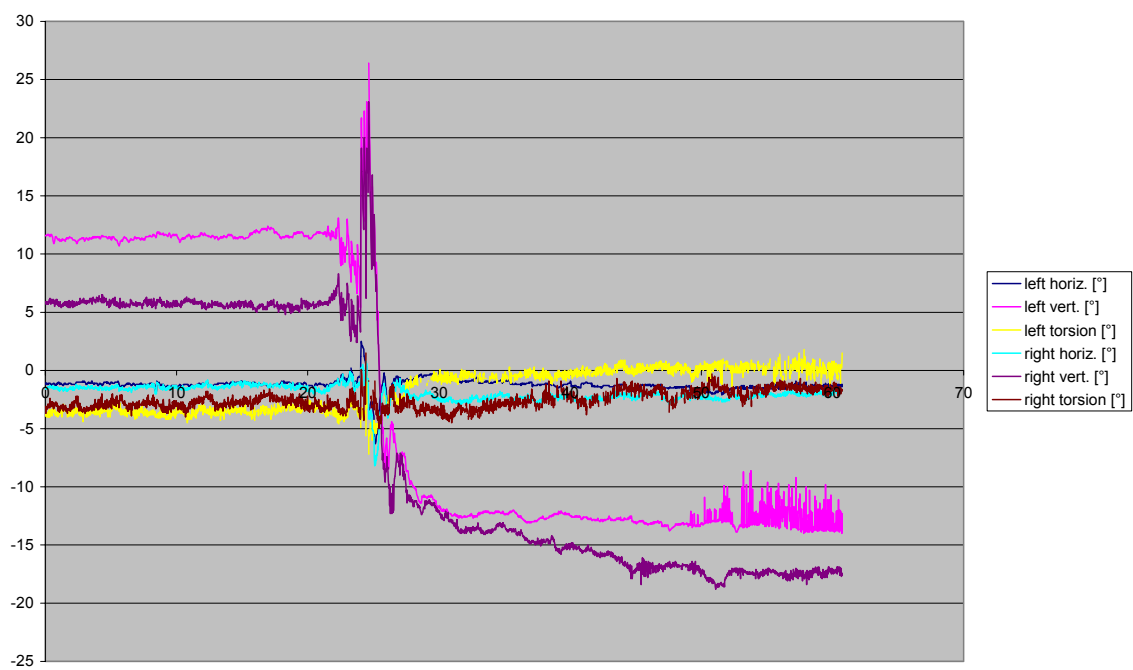
024-1-hvt-0,5



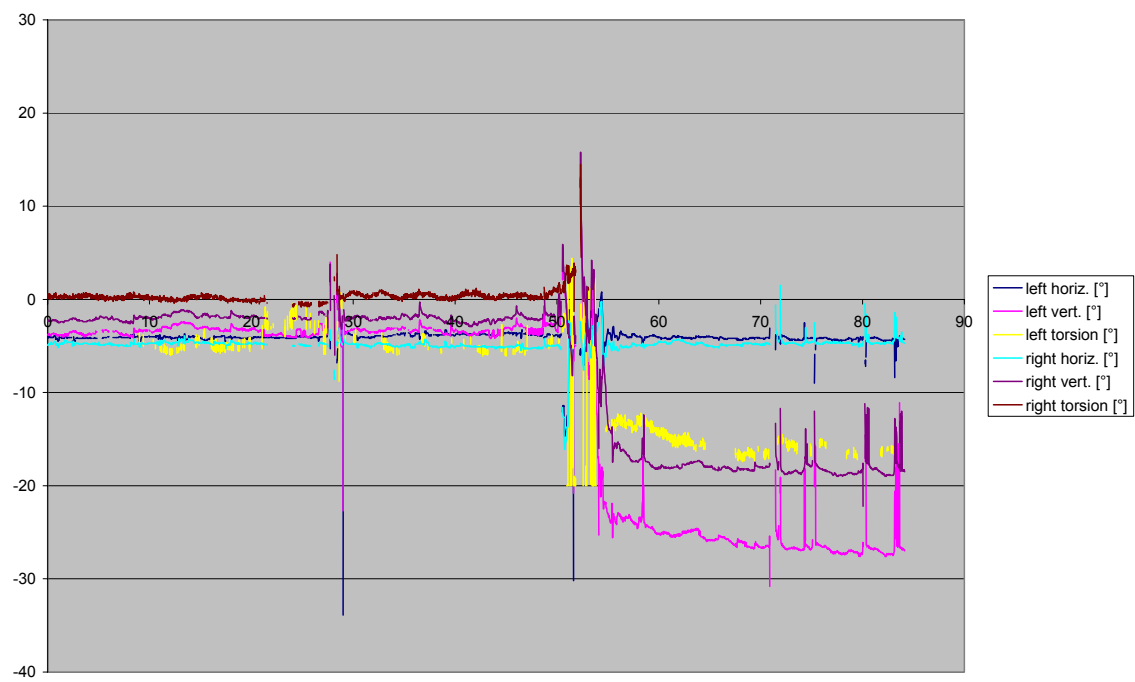
Proband 024-a1-1



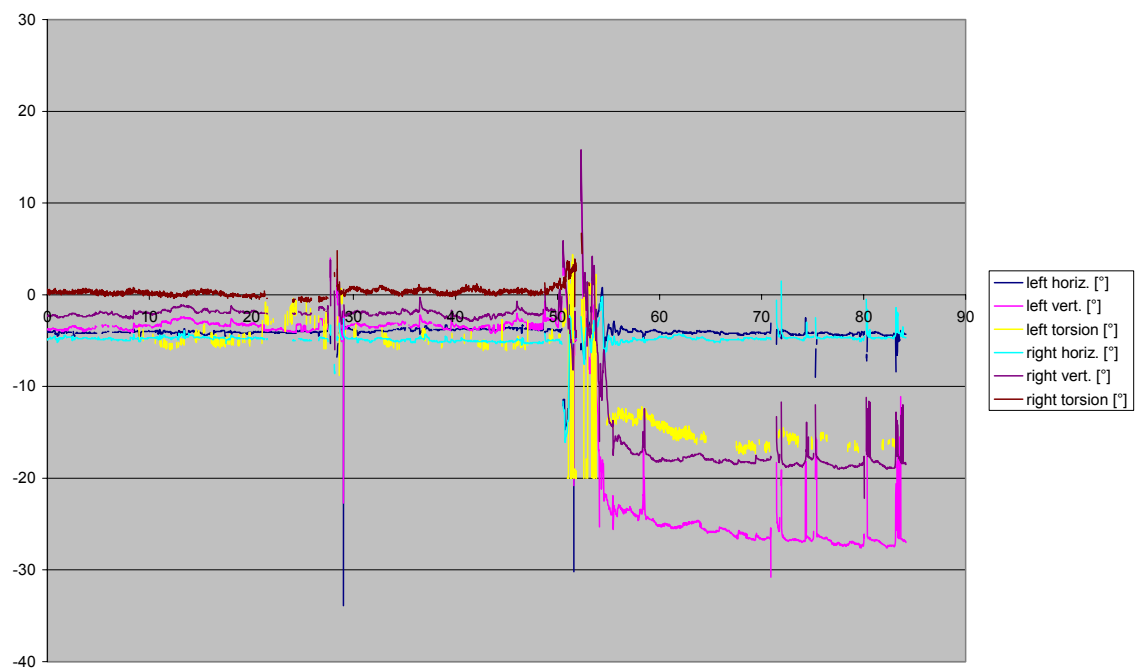
025-1-hvt-0,5



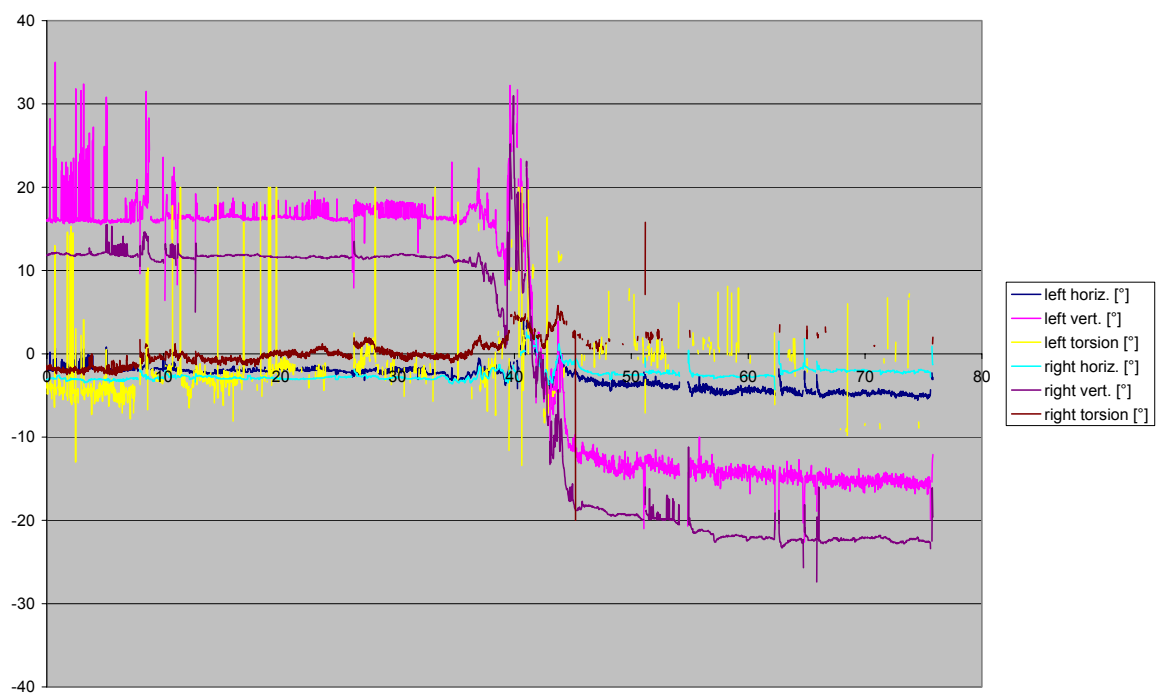
Proband 025-a1-1



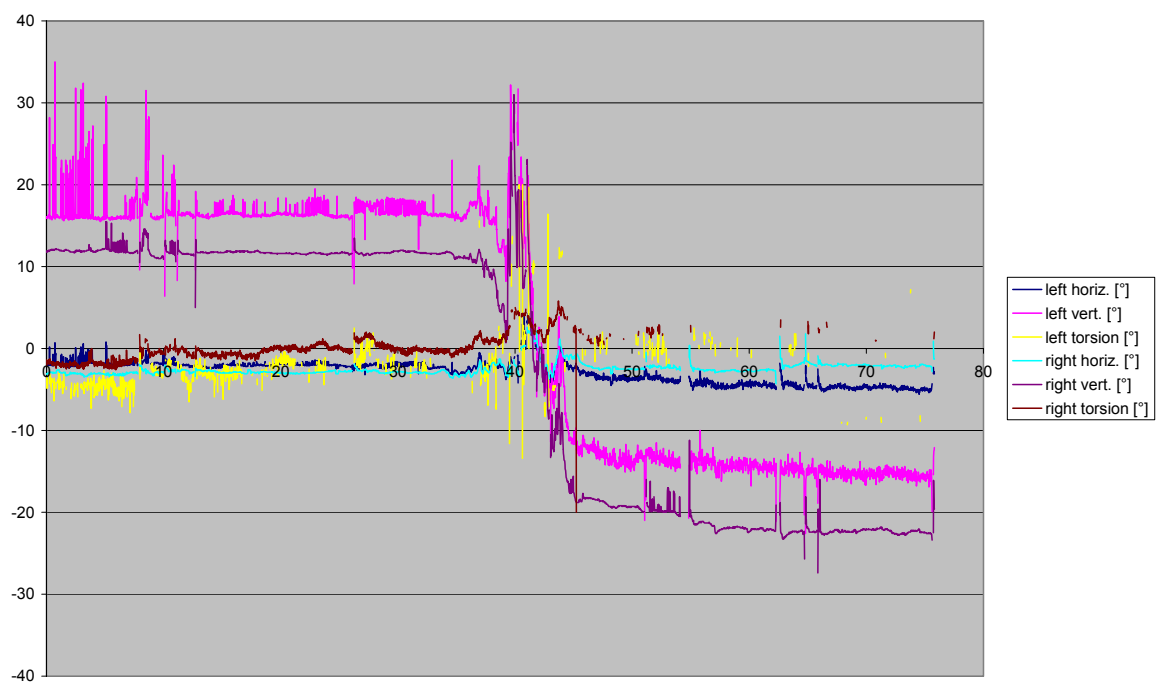
026-1-hvt-0,5



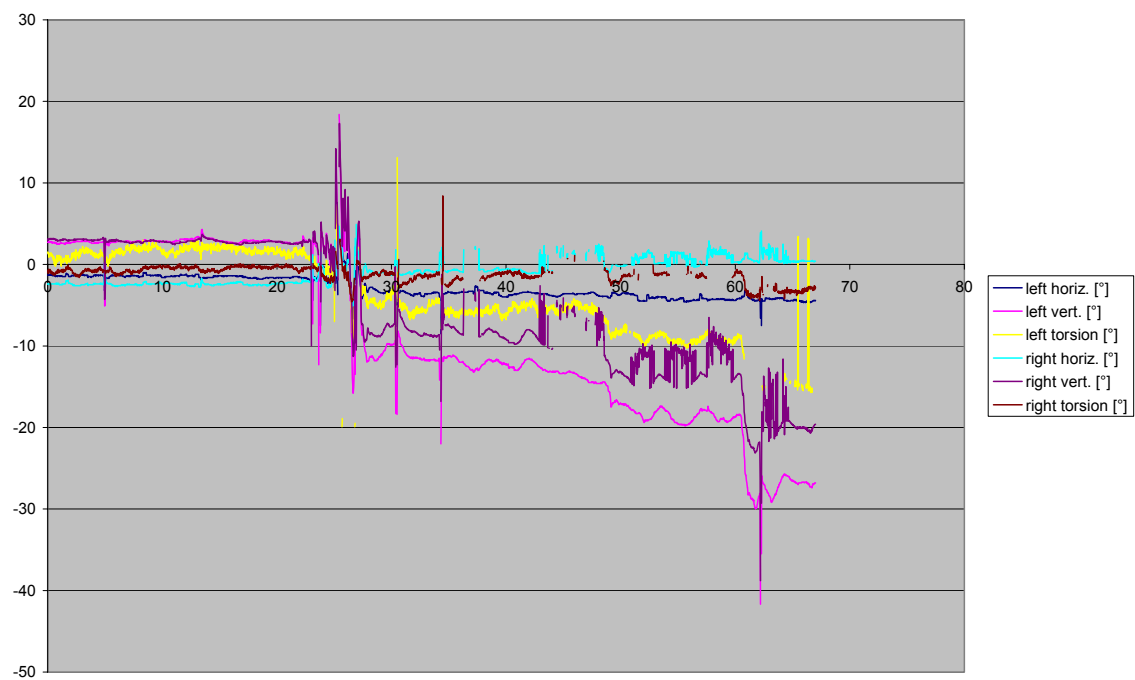
Proband 026-a1-1



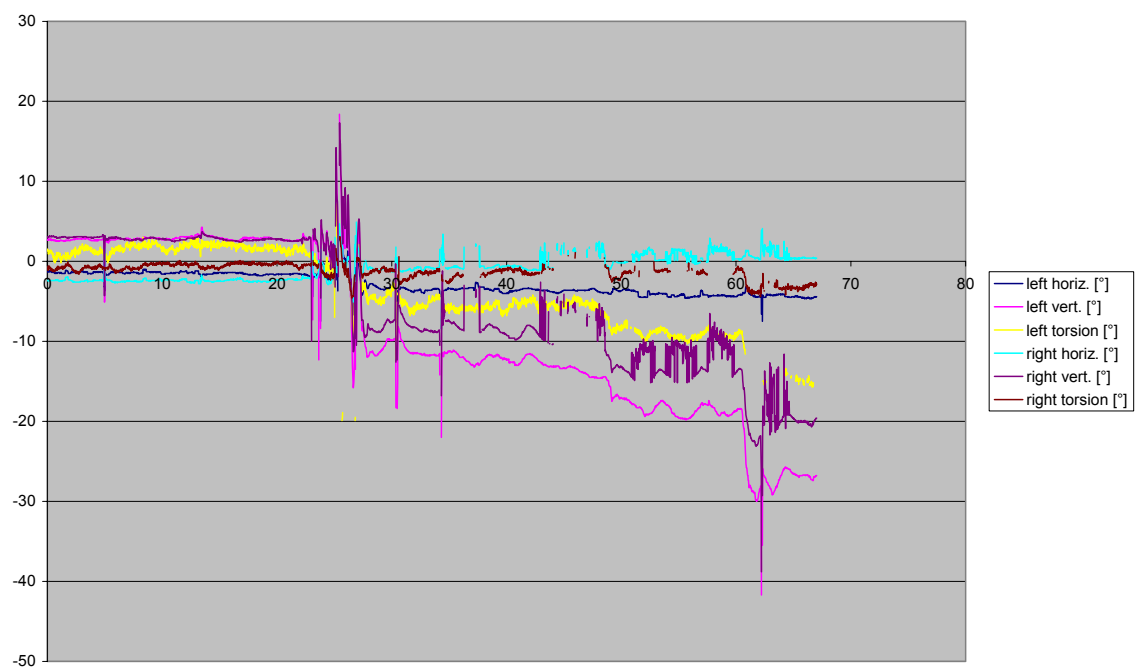
027-1-hvt-0,5



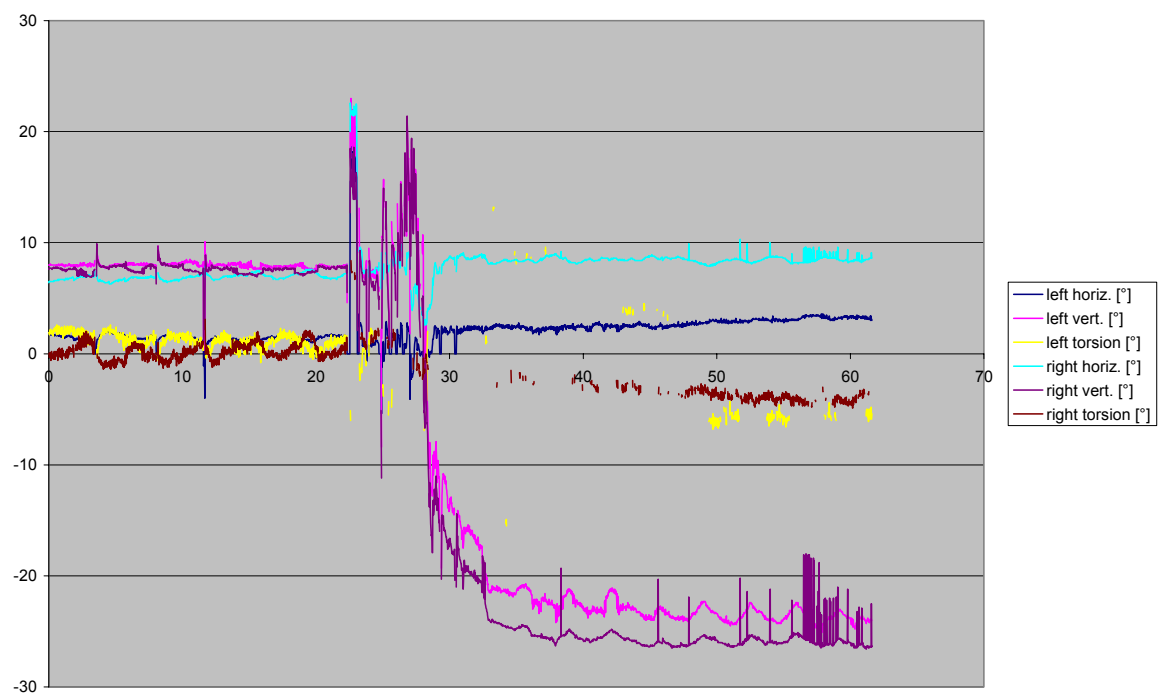
Proband 027-a1-1



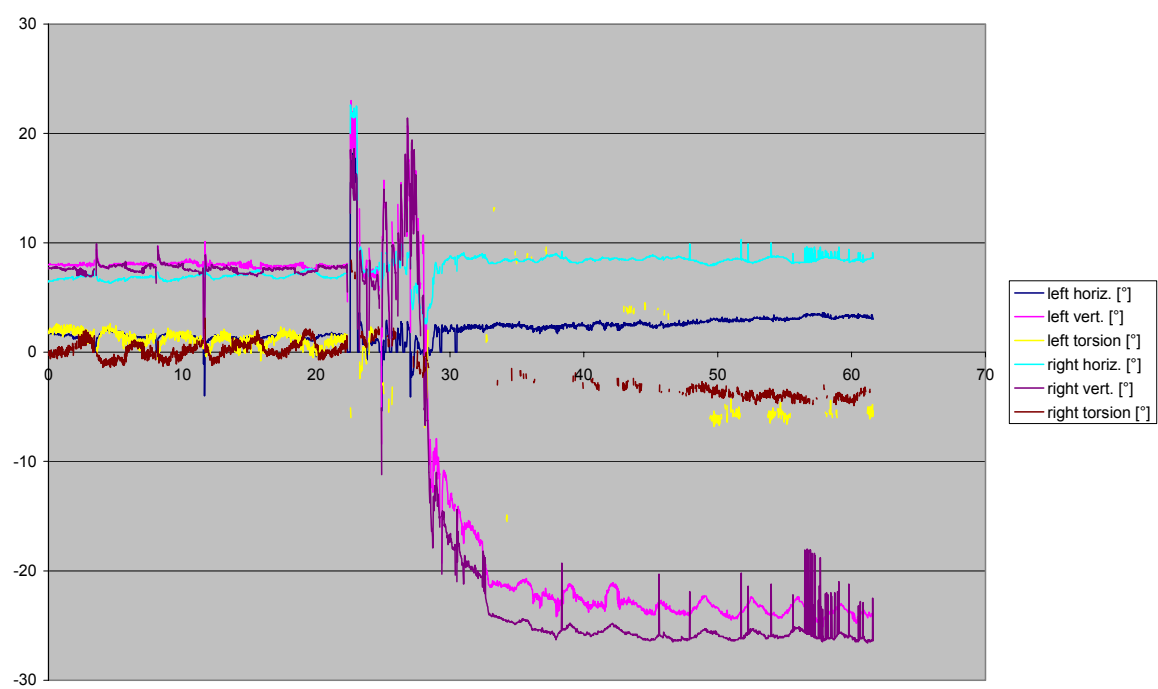
028-1-hvt-0,5



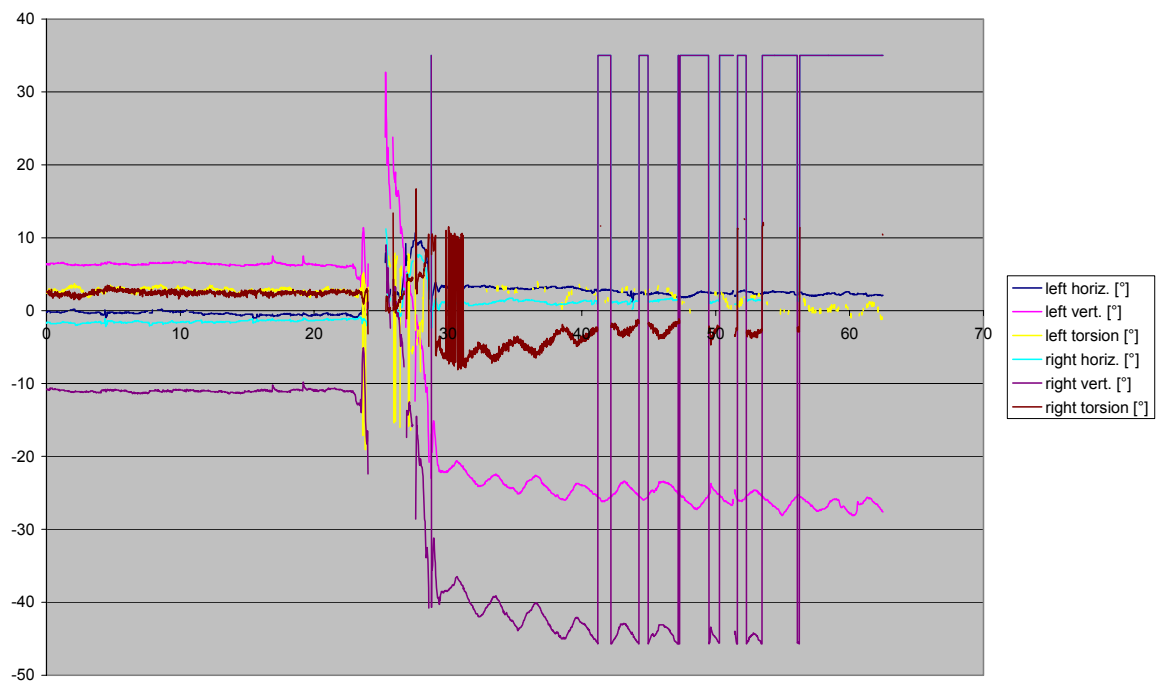
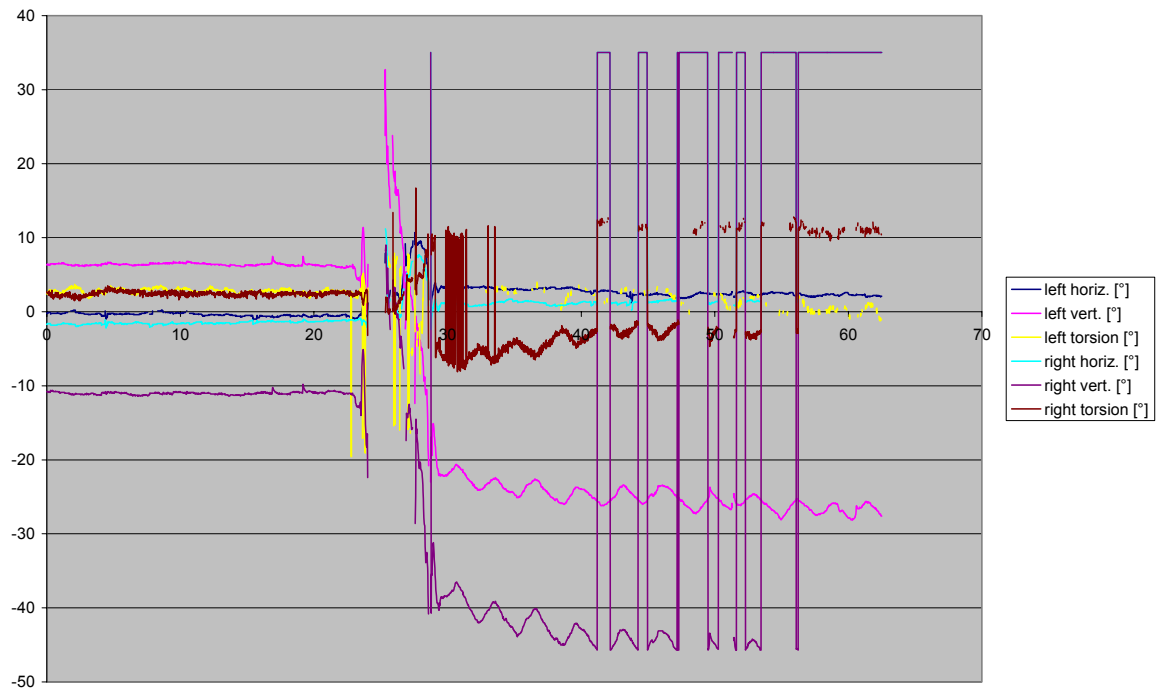
Proband 028-a1-1

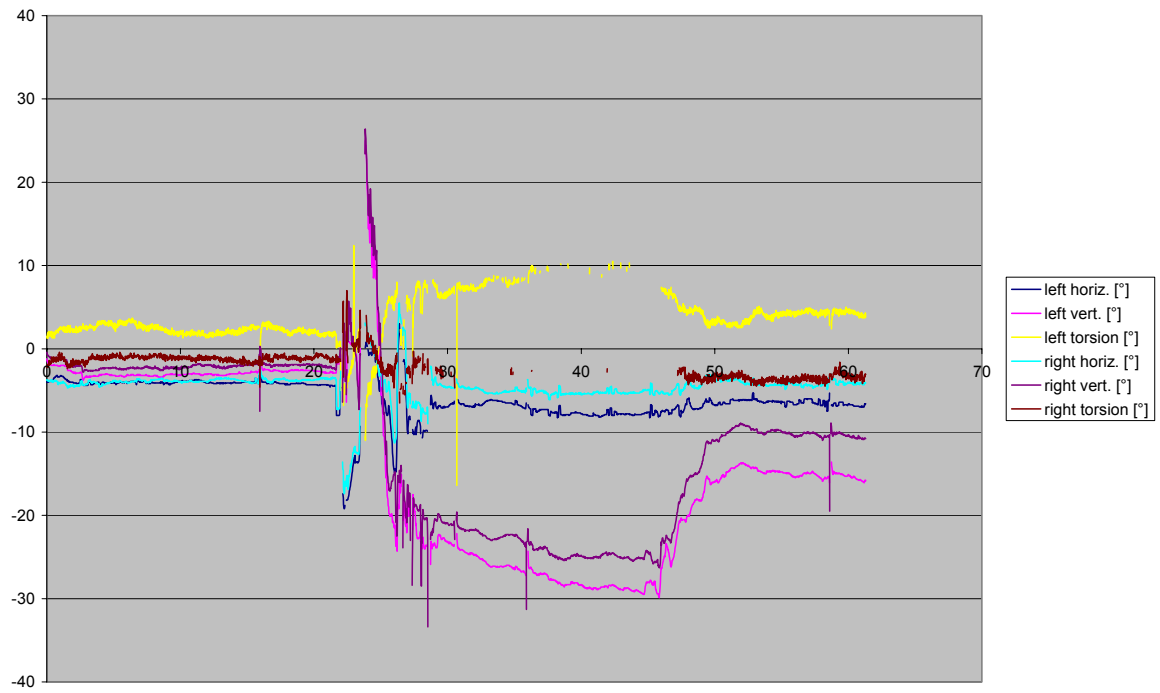


029-1-hvt-0,5

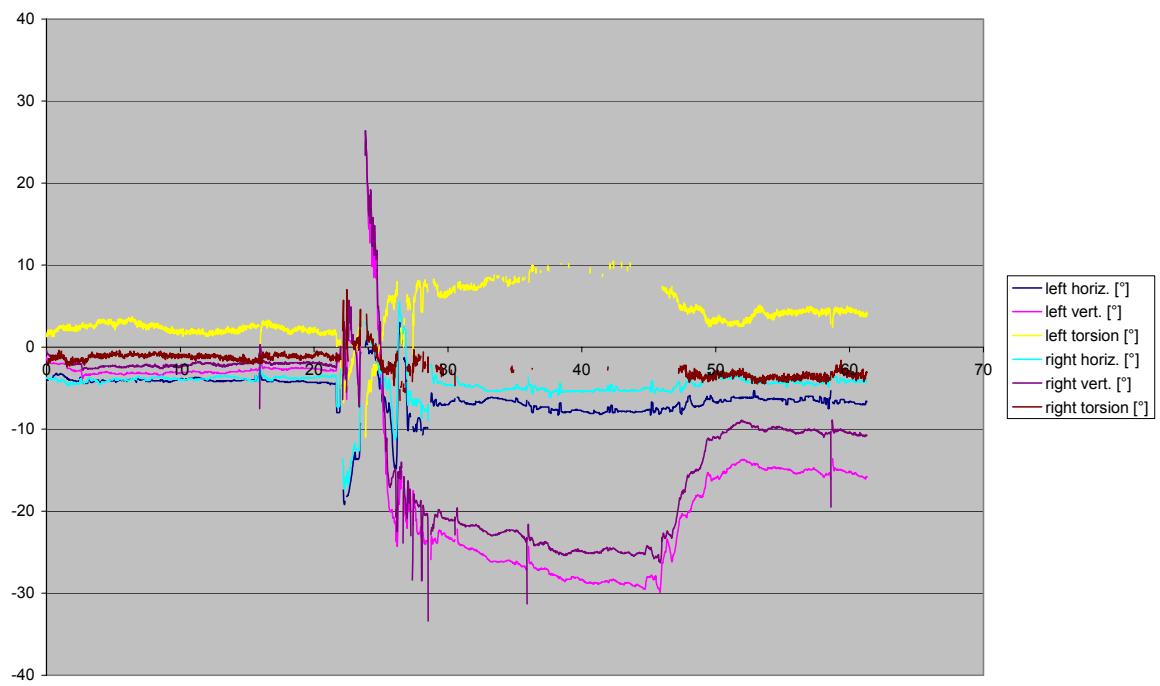


Proband 029-a1-1

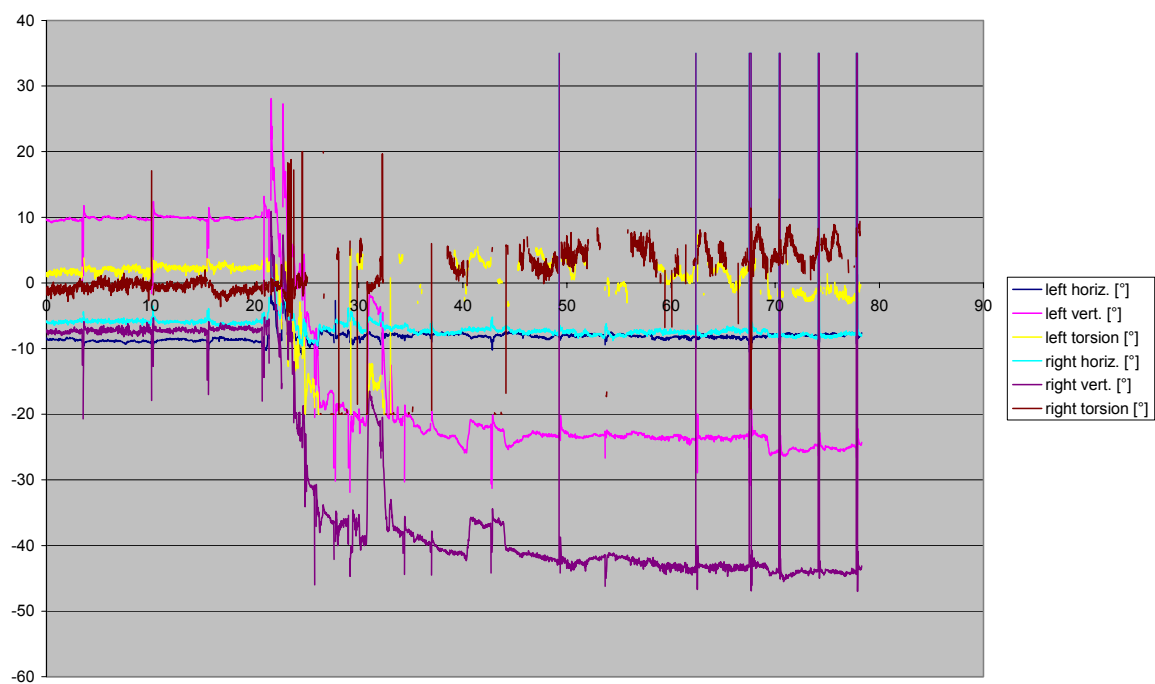




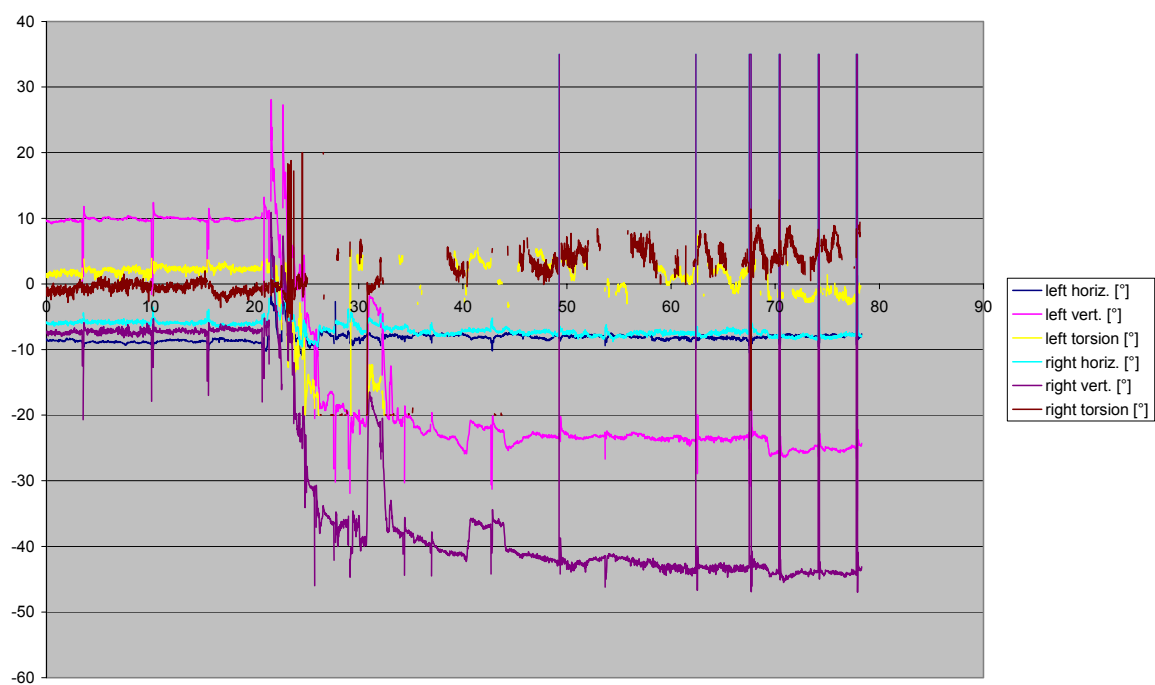
031-1-hvt-0,5



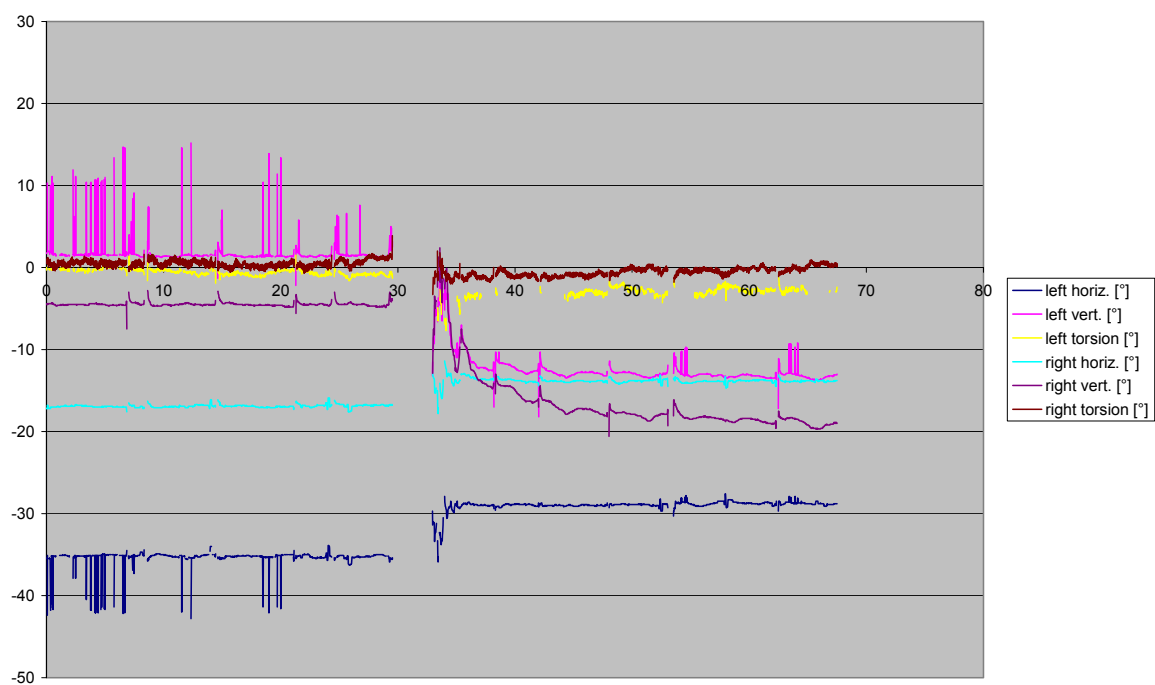
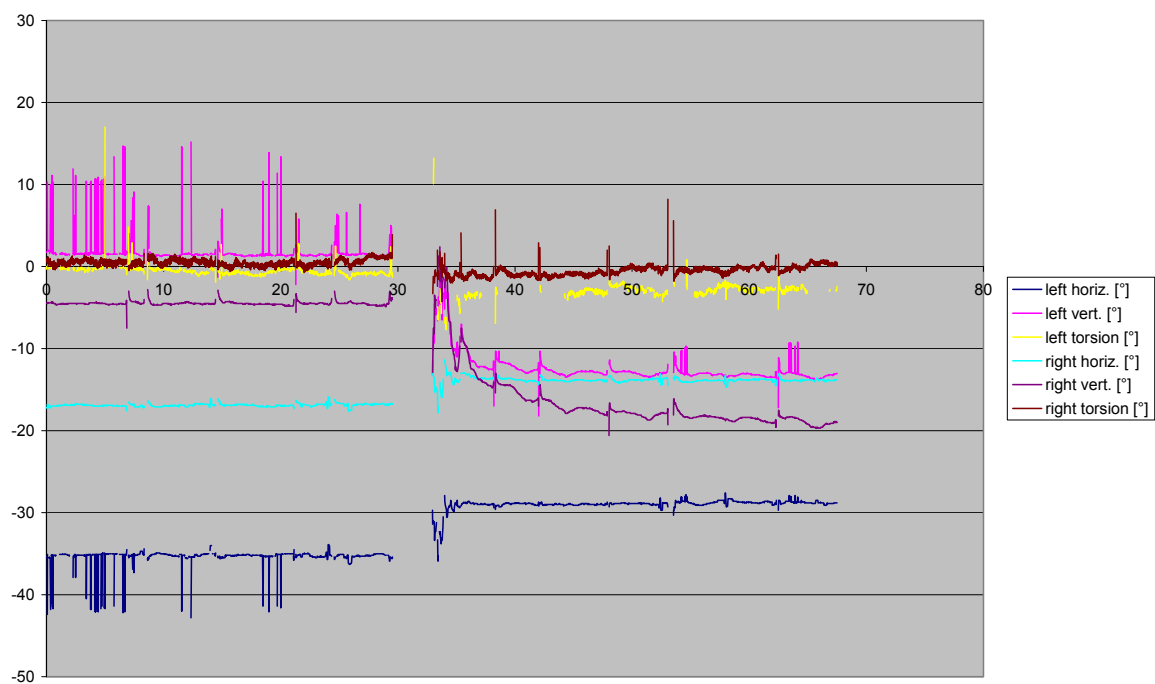
Proband 031-a1-1

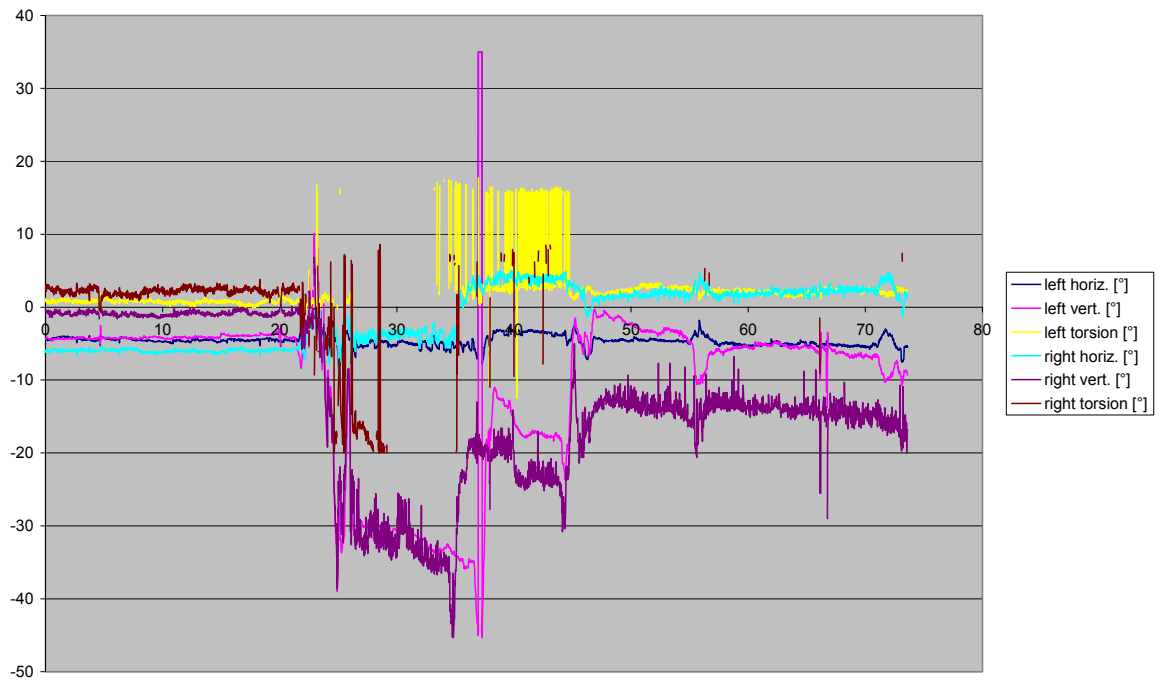


032-1-hvt-0,5

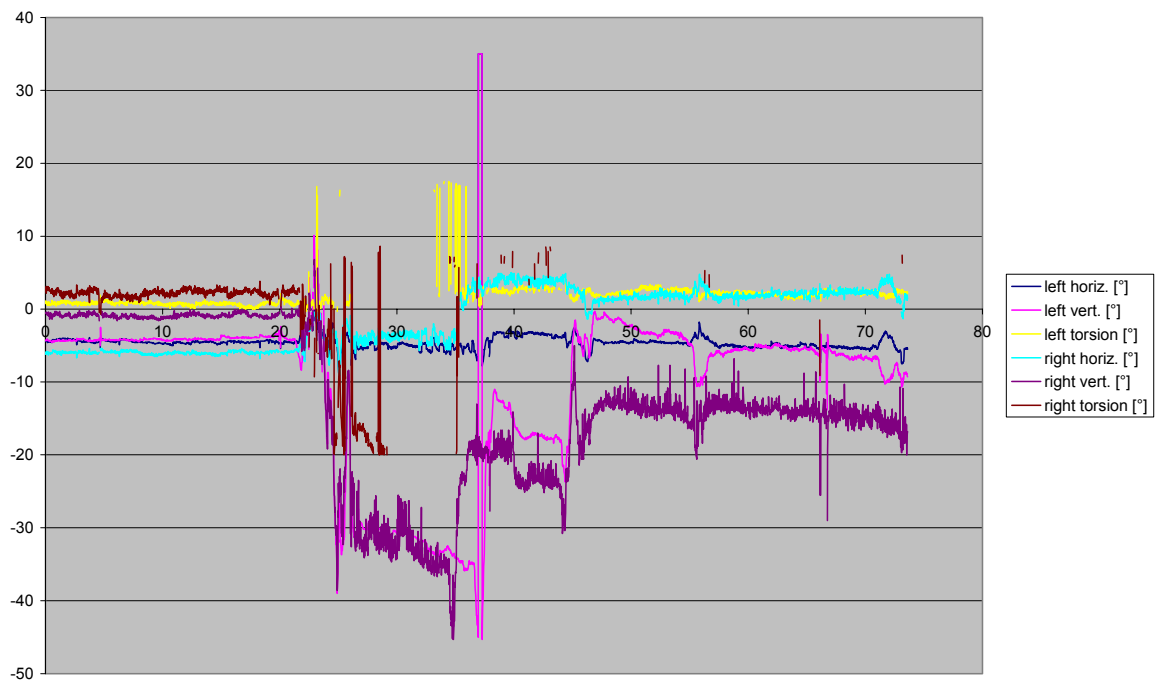


Proband 032-a1-1

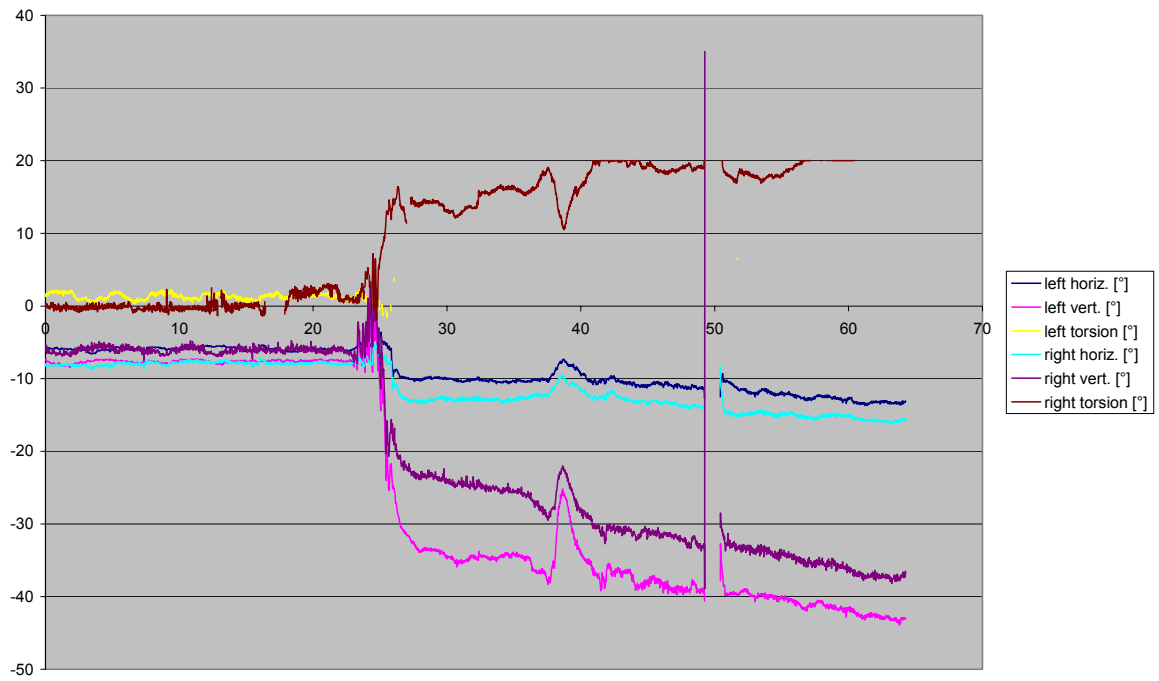




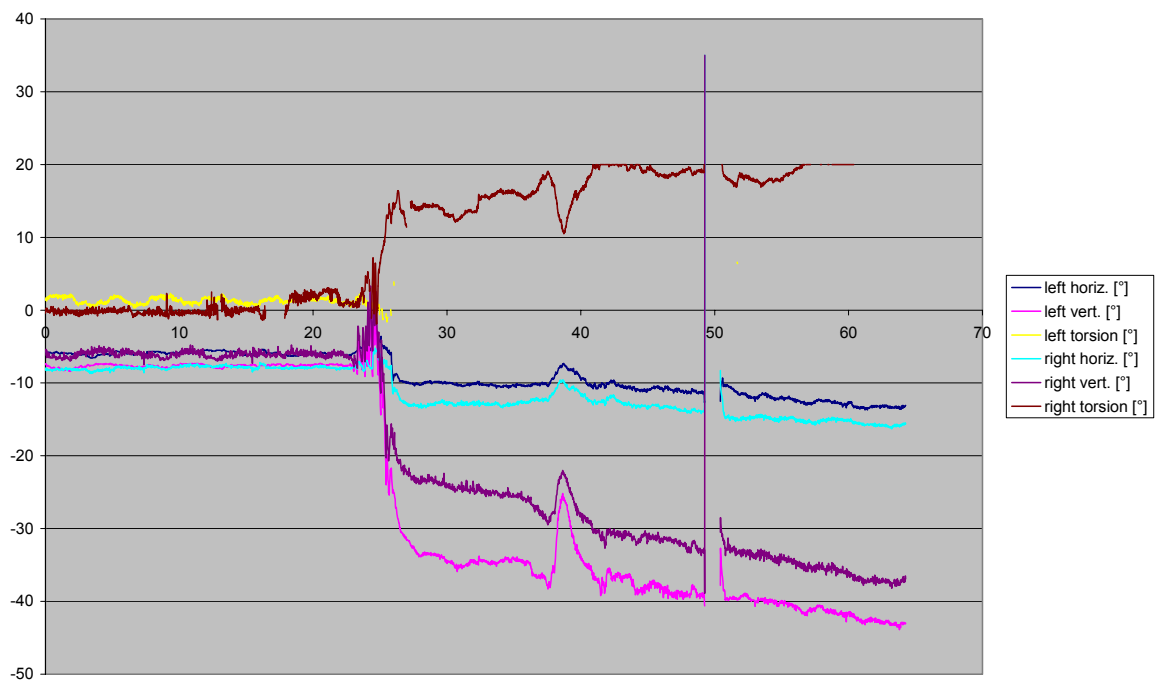
034-1-hvt-0,5



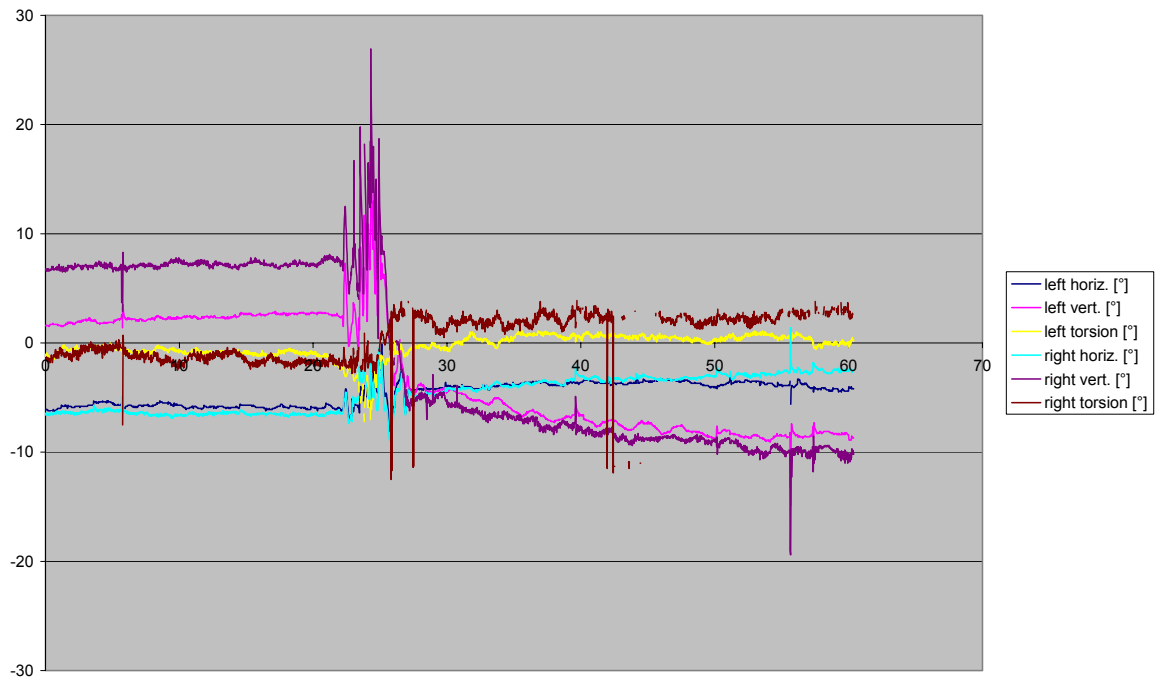
Proband 034-a1-1



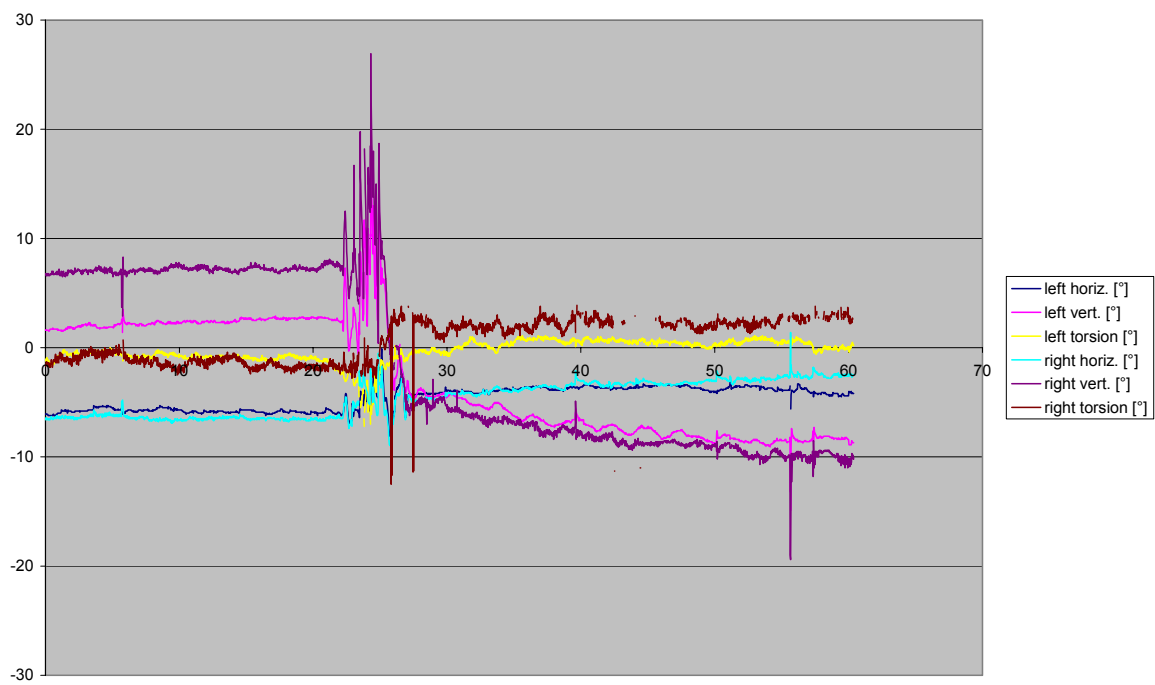
035-1-hvt-0,5



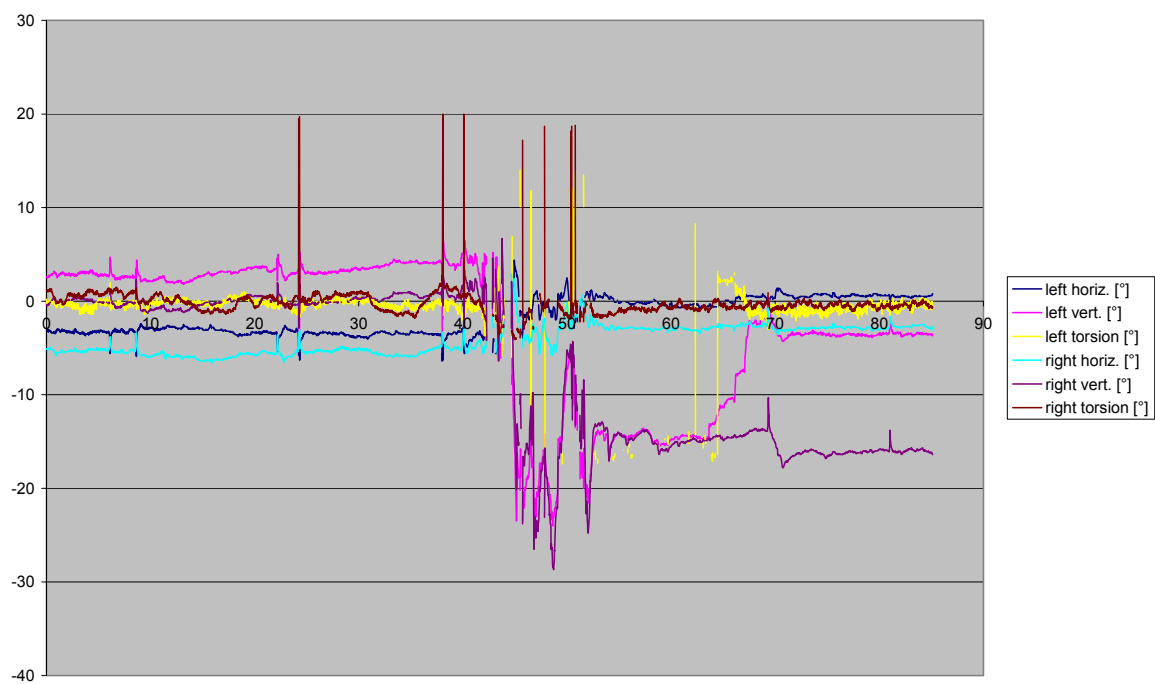
Proband 035-a1-1



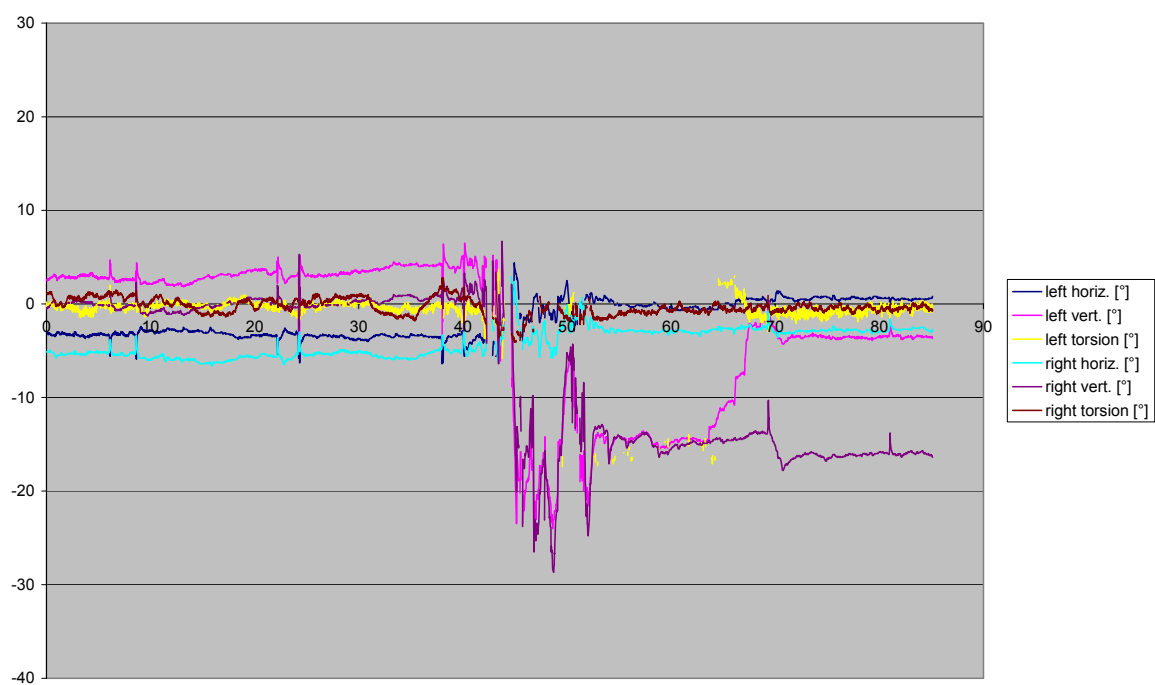
036-1-hvt-0,5



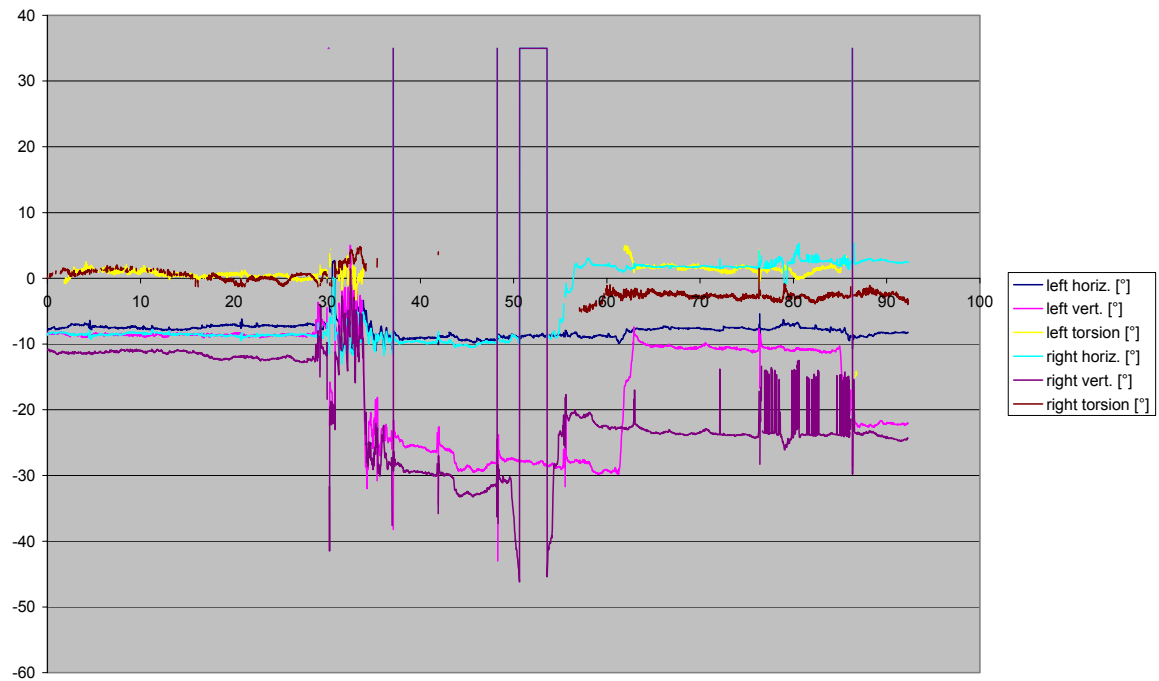
Proband 036-a1-1



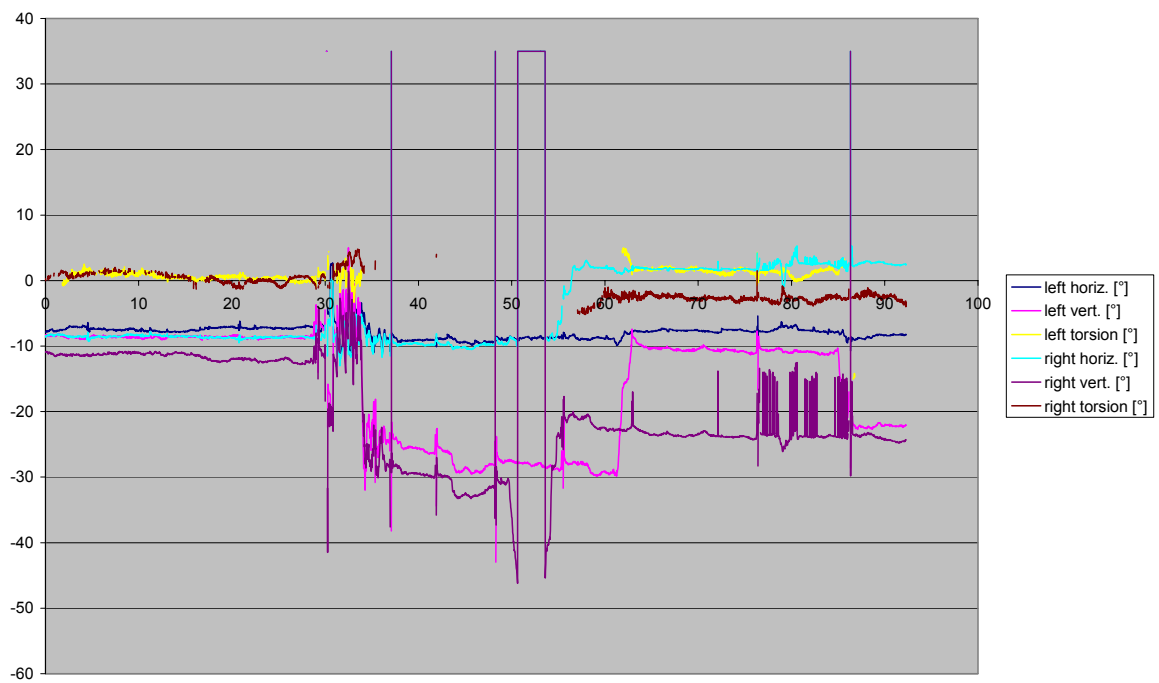
037-1-hvt-0,5



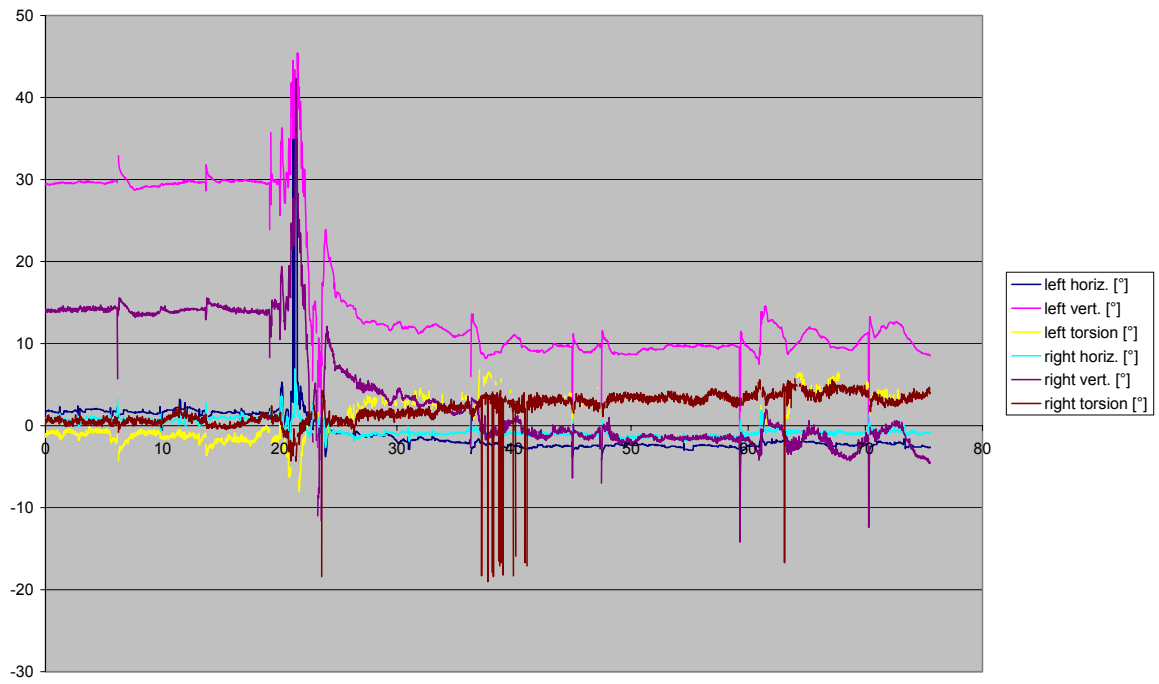
Proband 037-a1-1



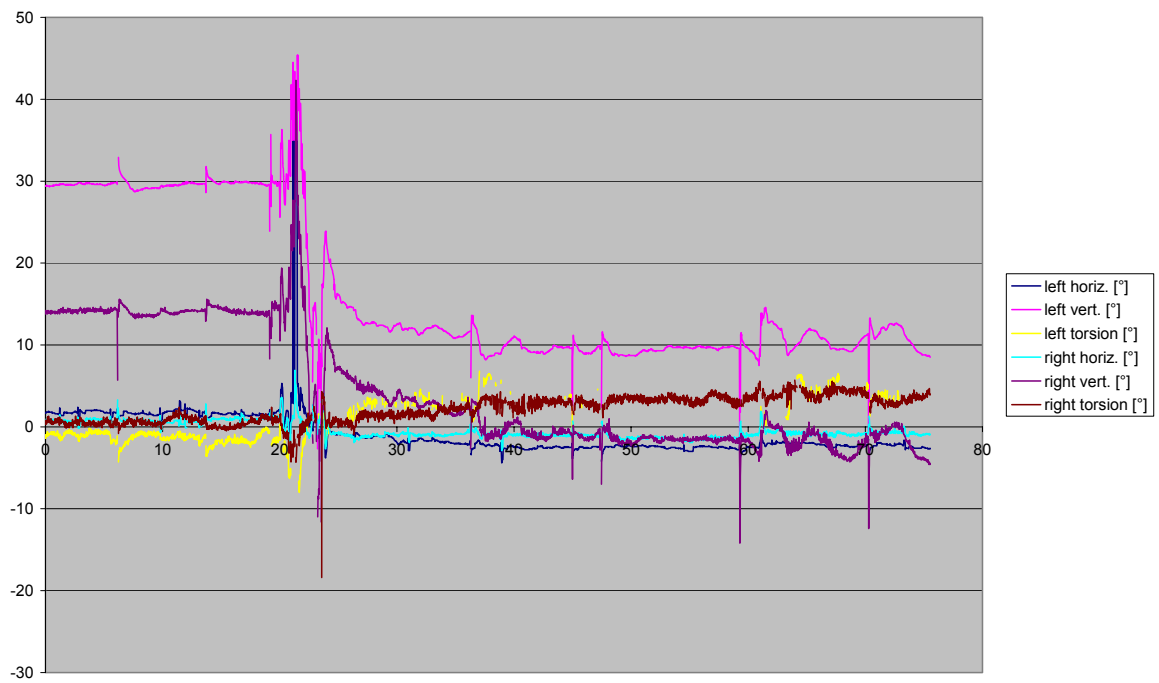
038-1-hvt-0,5



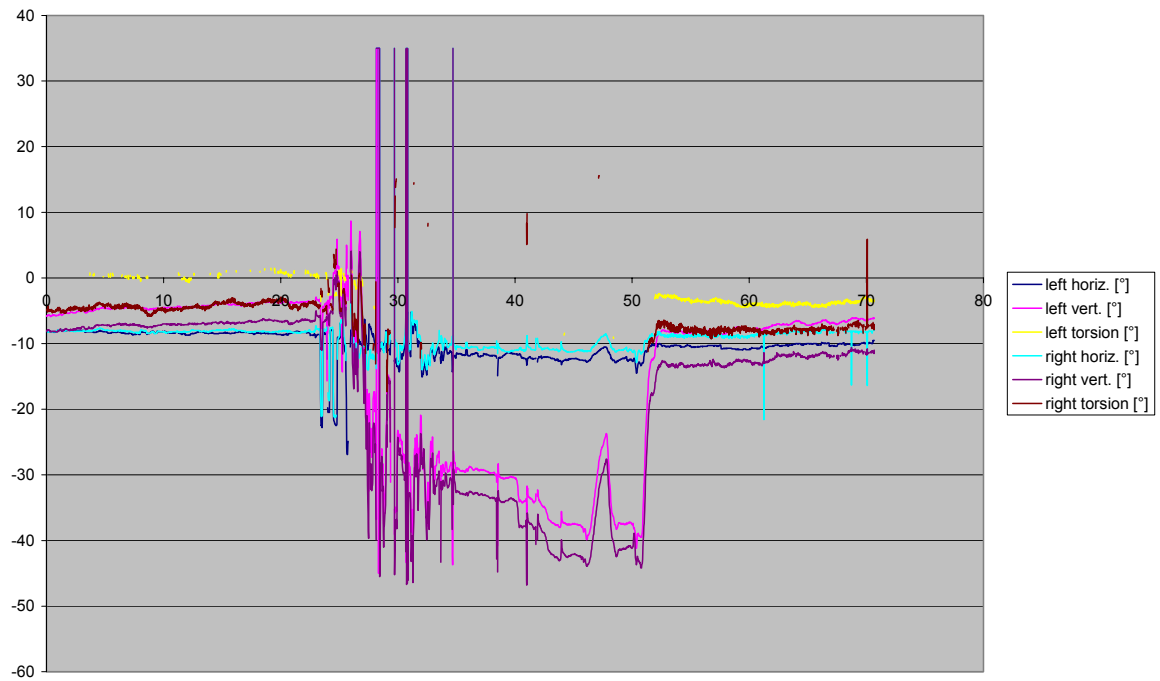
Proband 038-a1-1



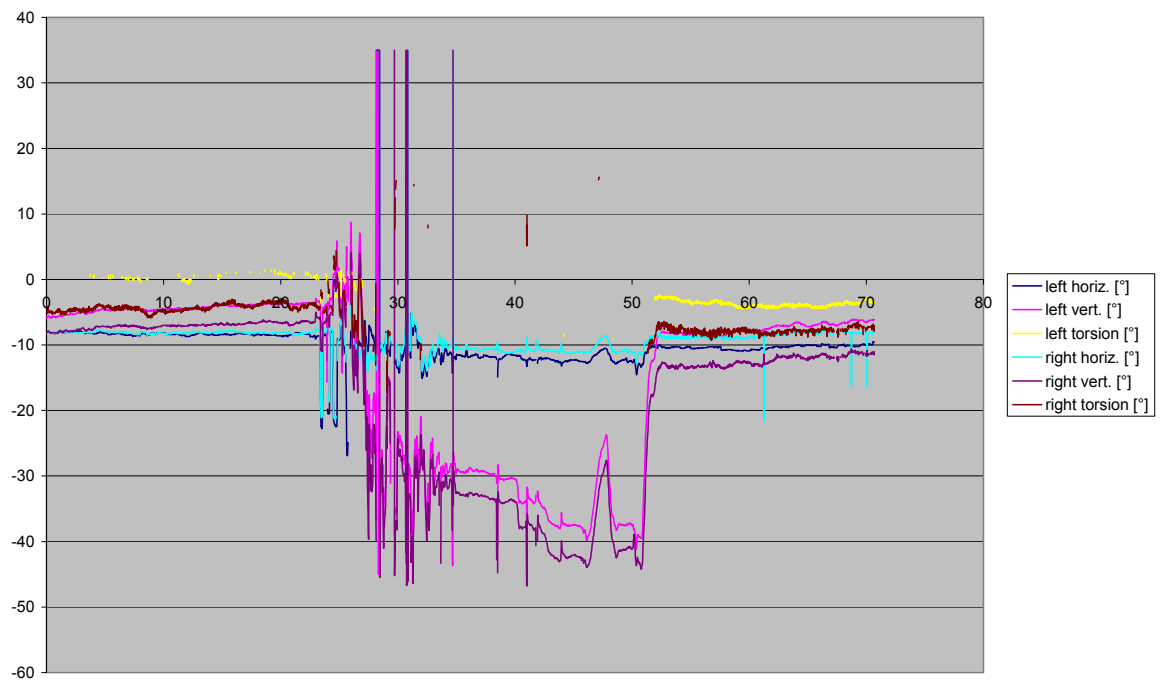
039-1-hvt-0,5



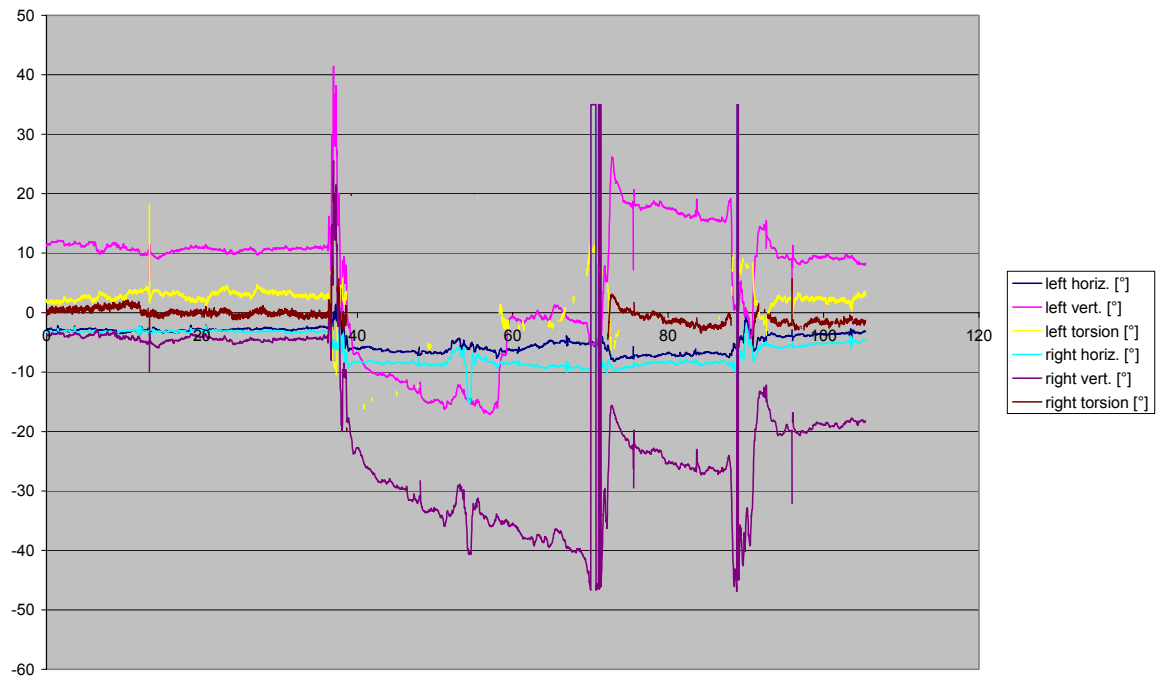
Proband 039-a1-1



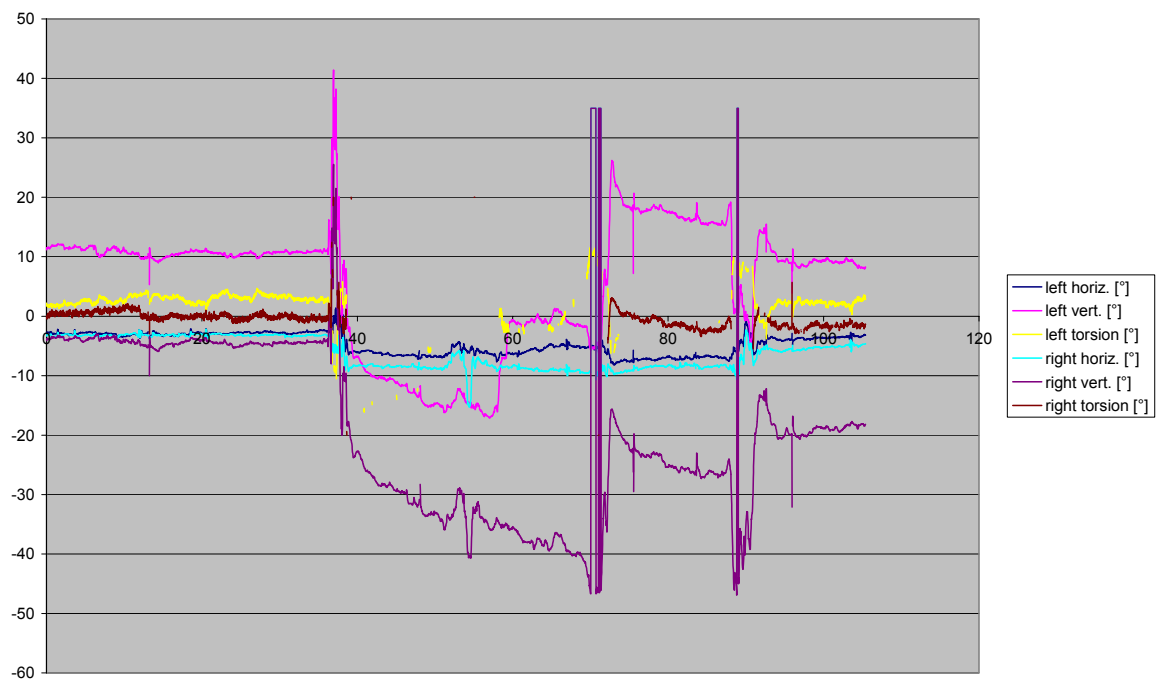
040-1-hvt-0,5



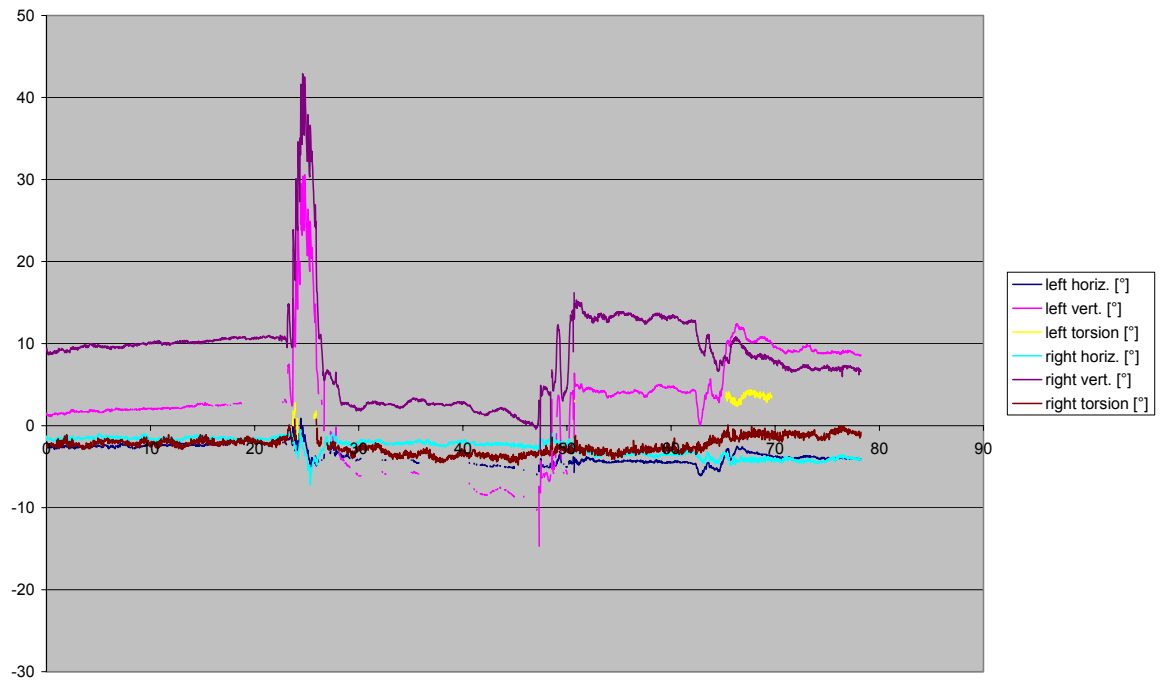
Proband 040-a1-1



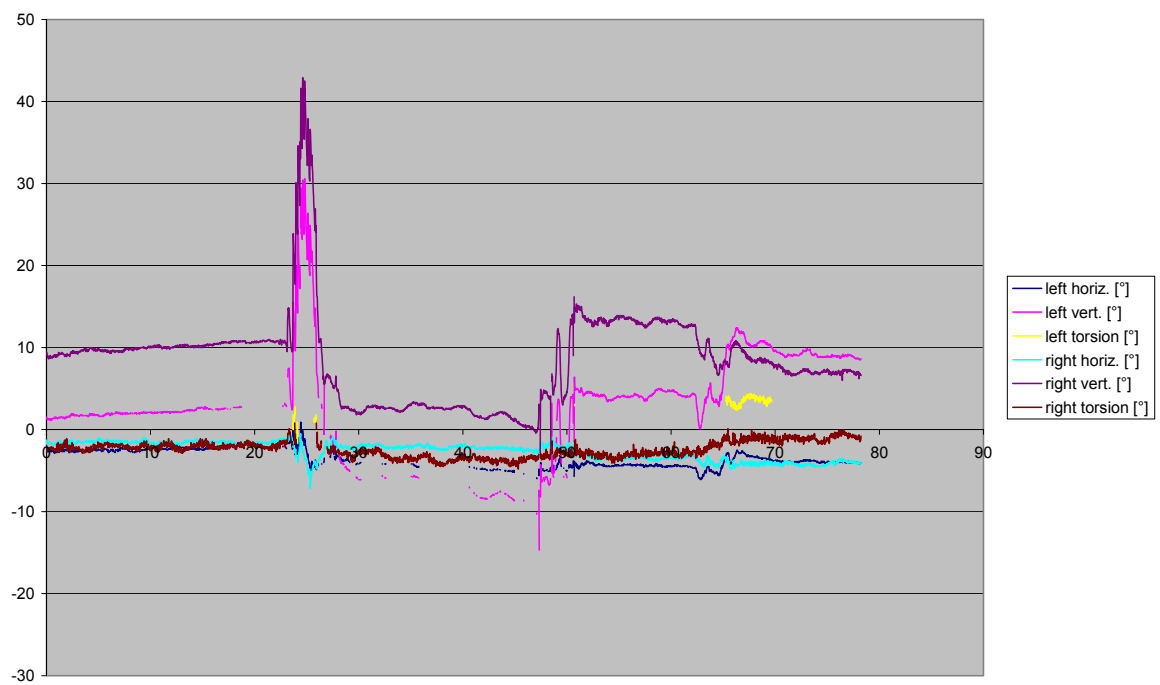
041-1-hvt-0,5



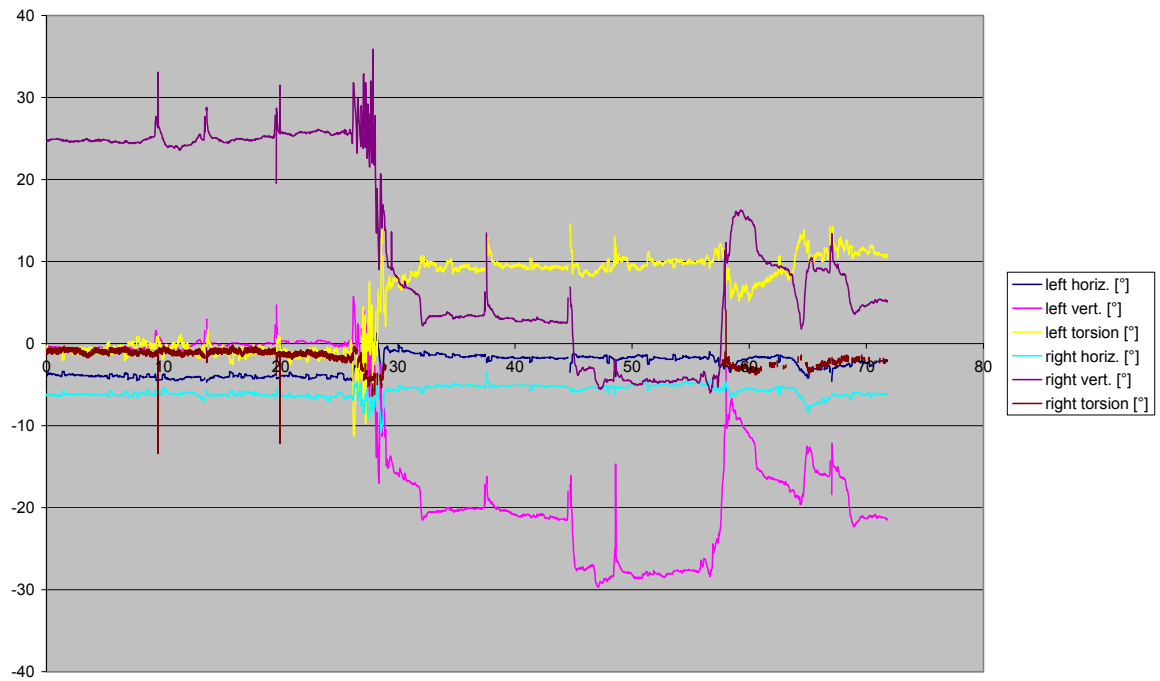
Proband 041-a1-1



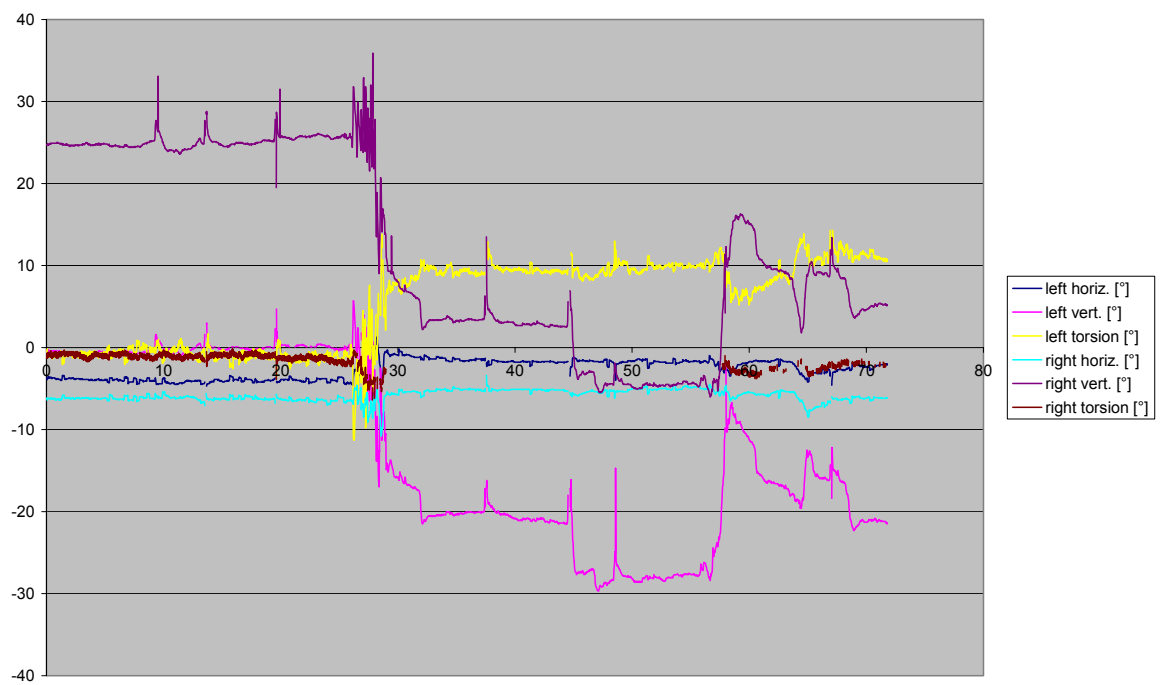
042-1-hvt-0,5



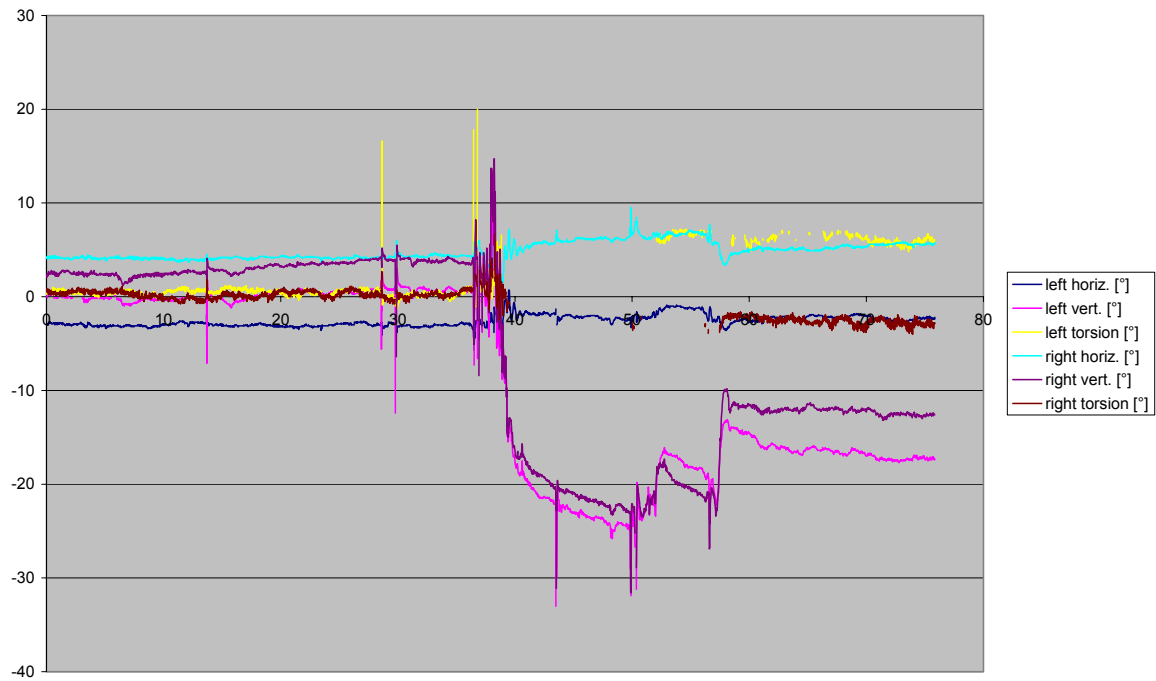
Proband 042-a1-1



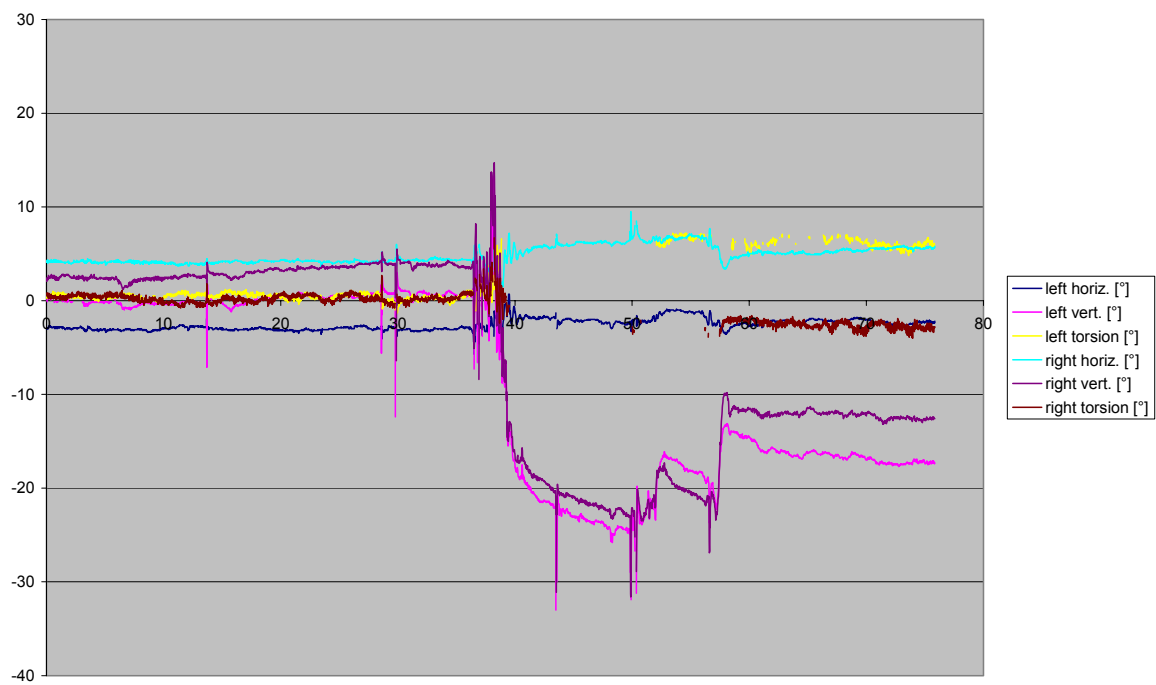
043-1-hvt-0,5



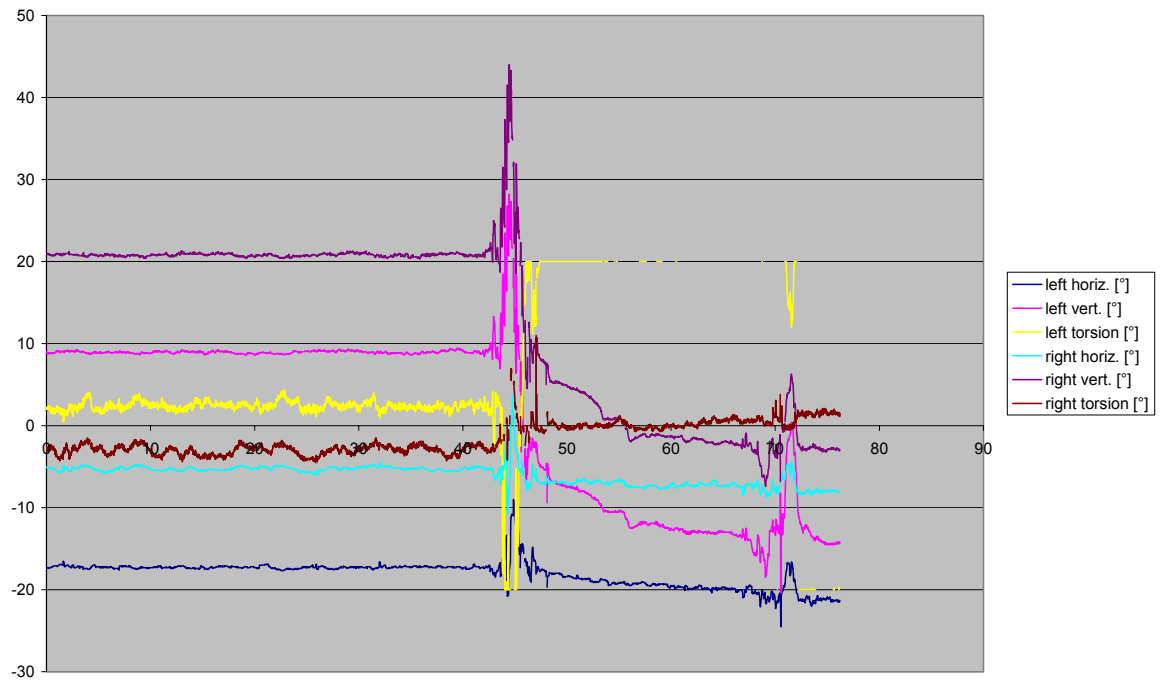
Proband 043-a1-1



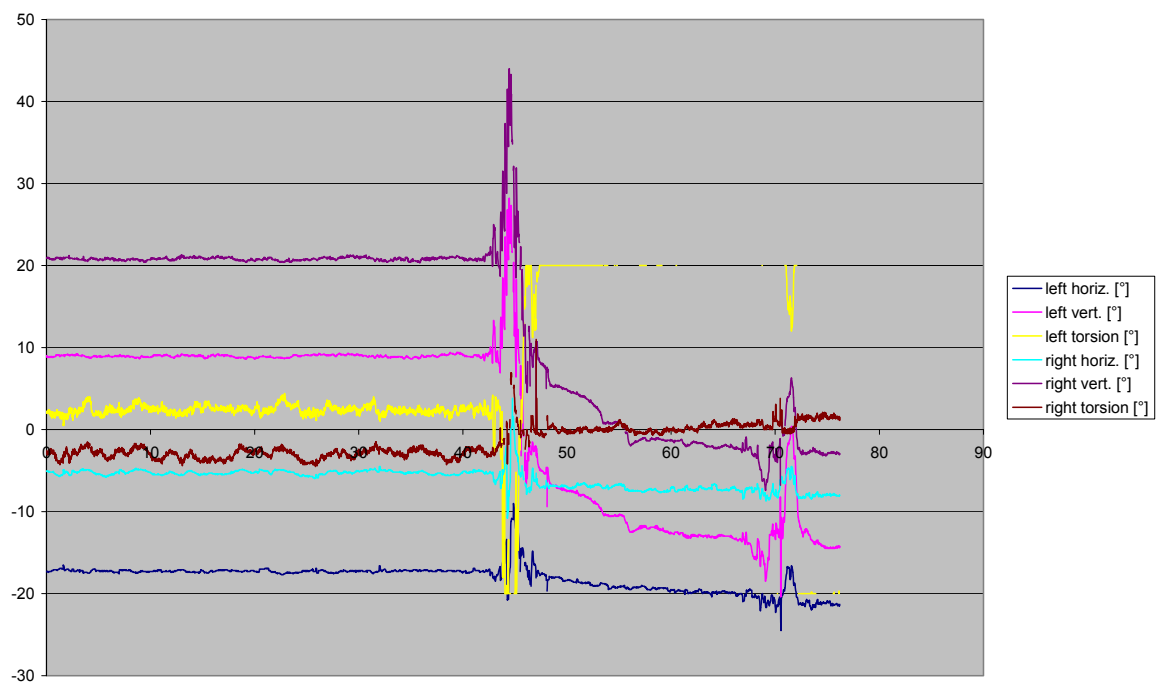
044-1-hvt-0,5



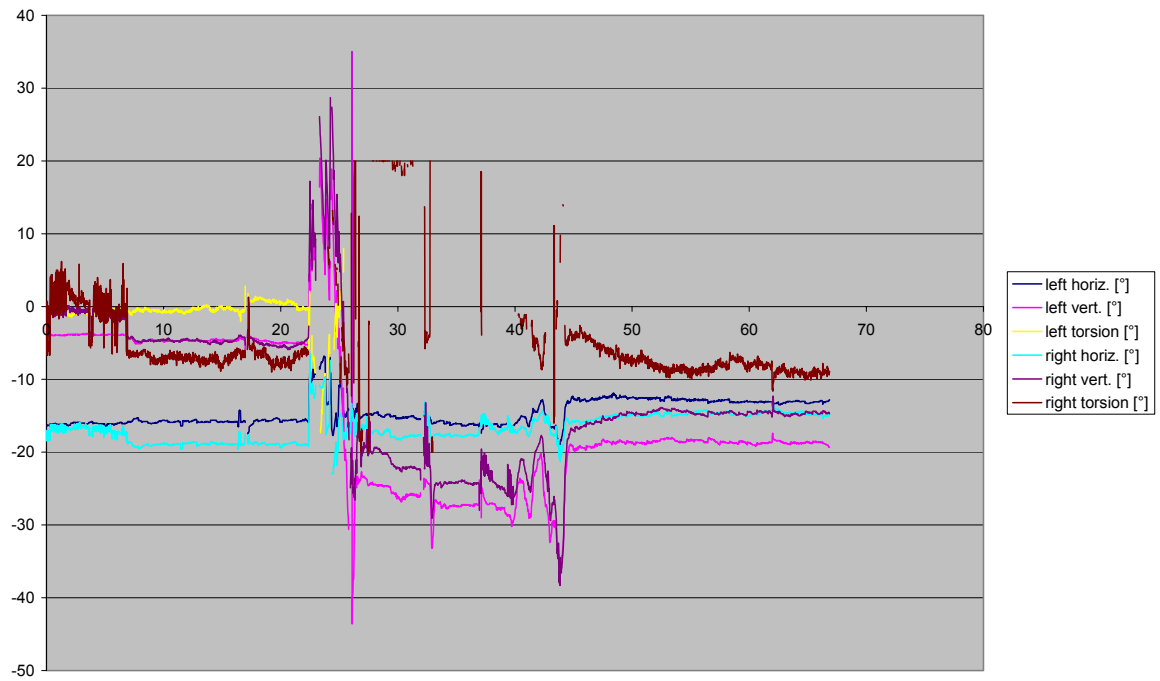
Proband 044-a1-1



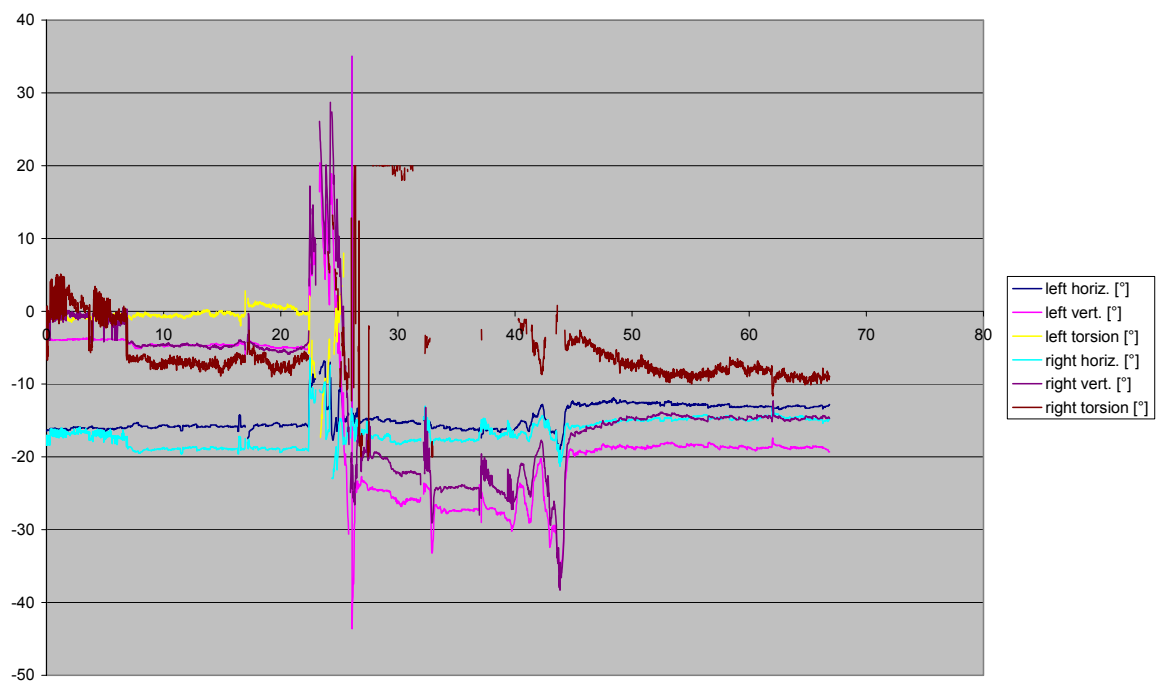
045-1-hvt-0,5



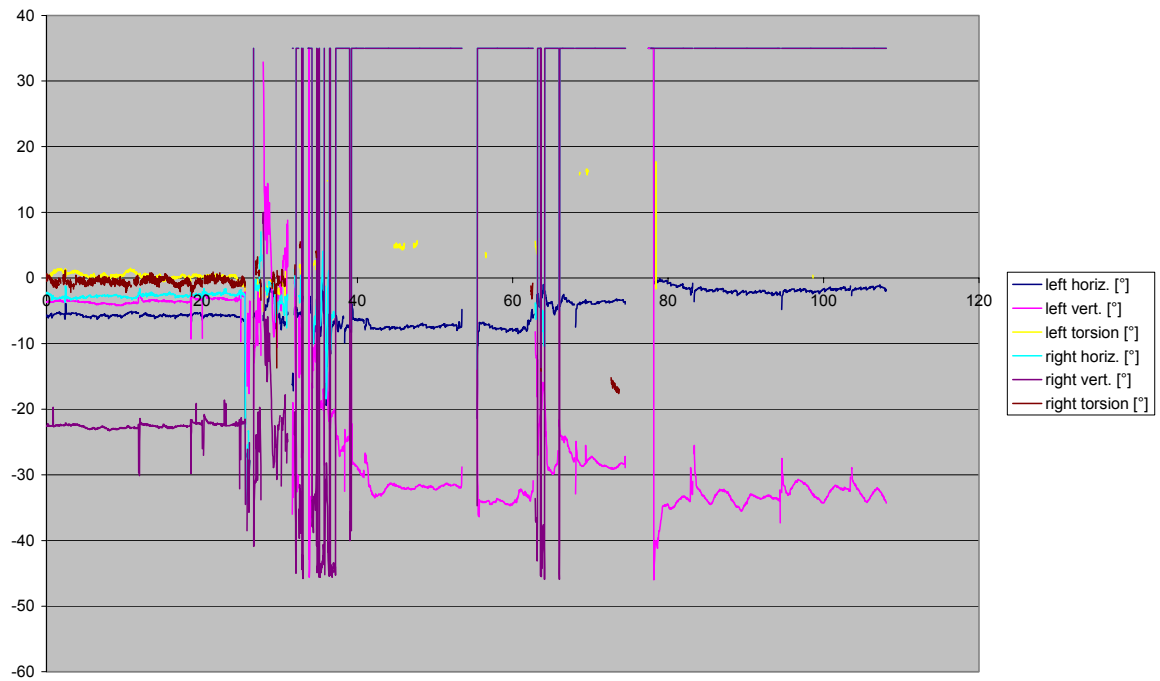
Proband 045-a1-1



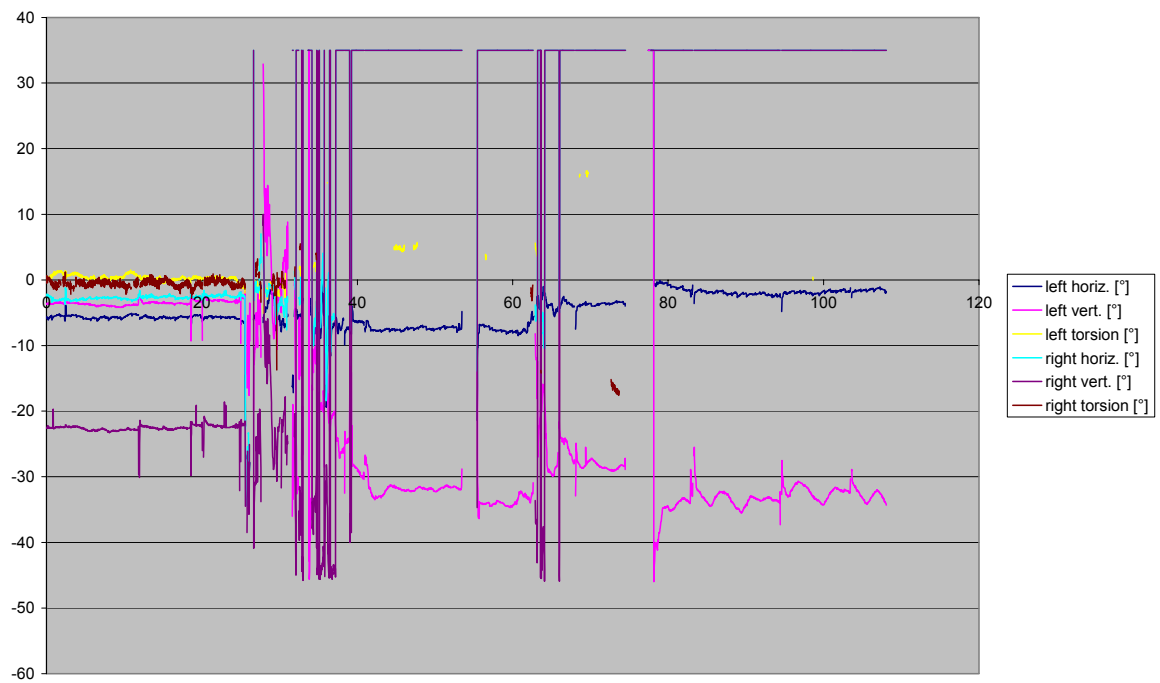
046-1-hvt-0,5



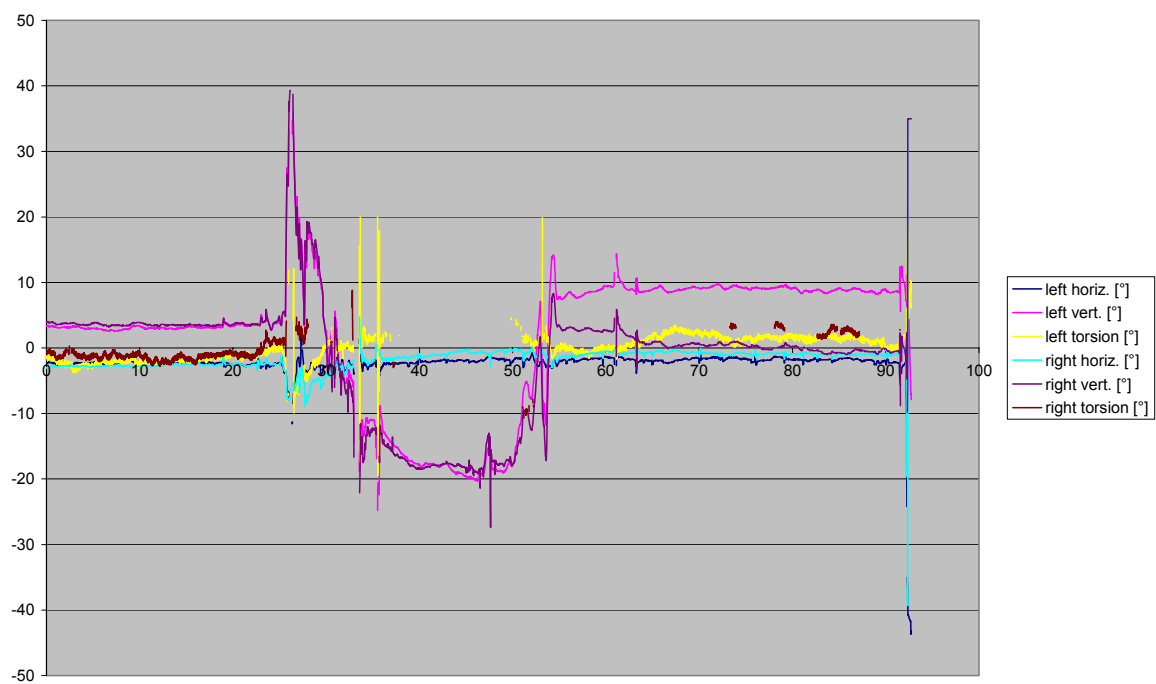
Proband 046-a1-1



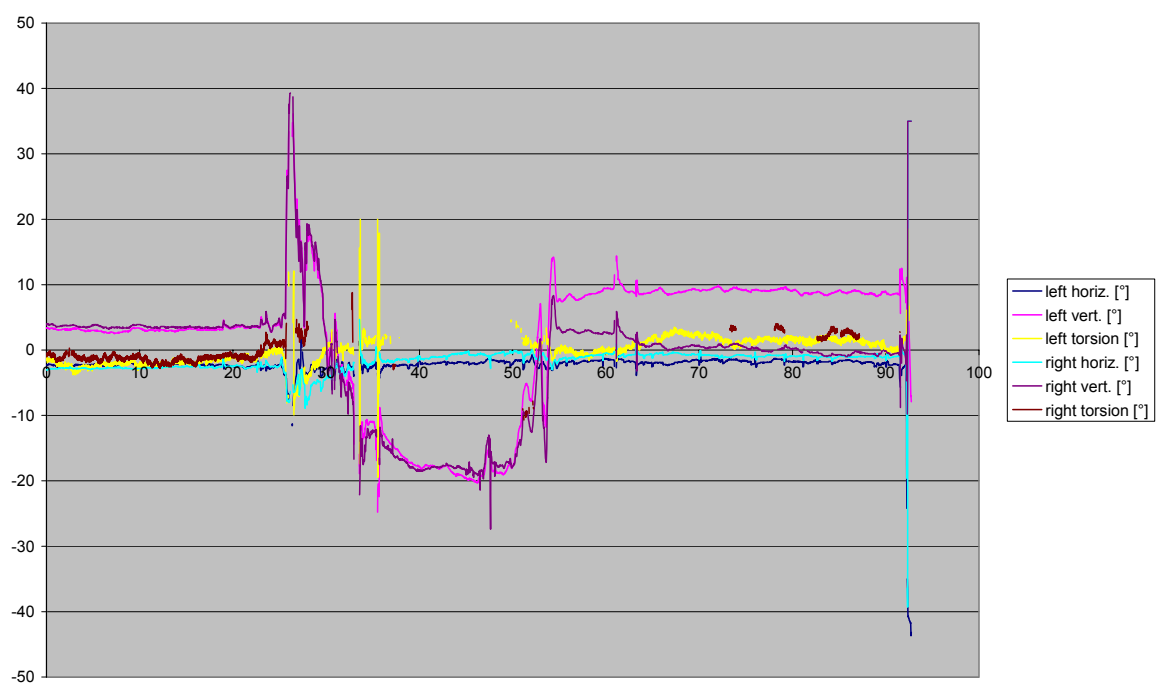
047-1-hvt-0,5



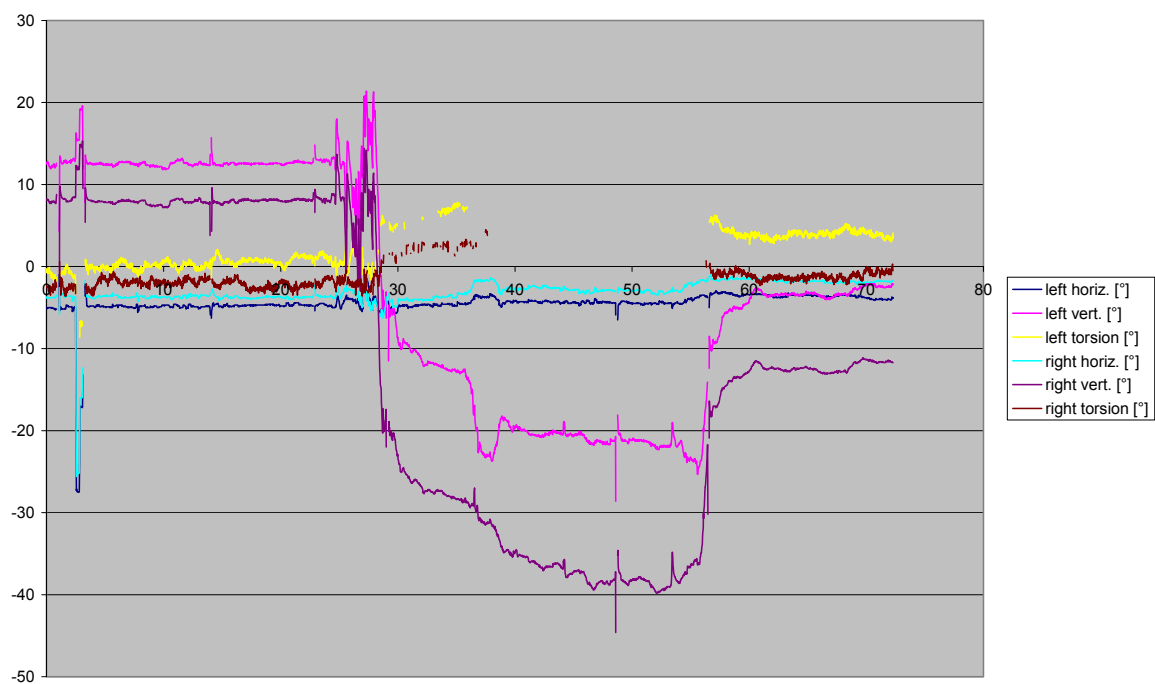
Proband 047-a1-1



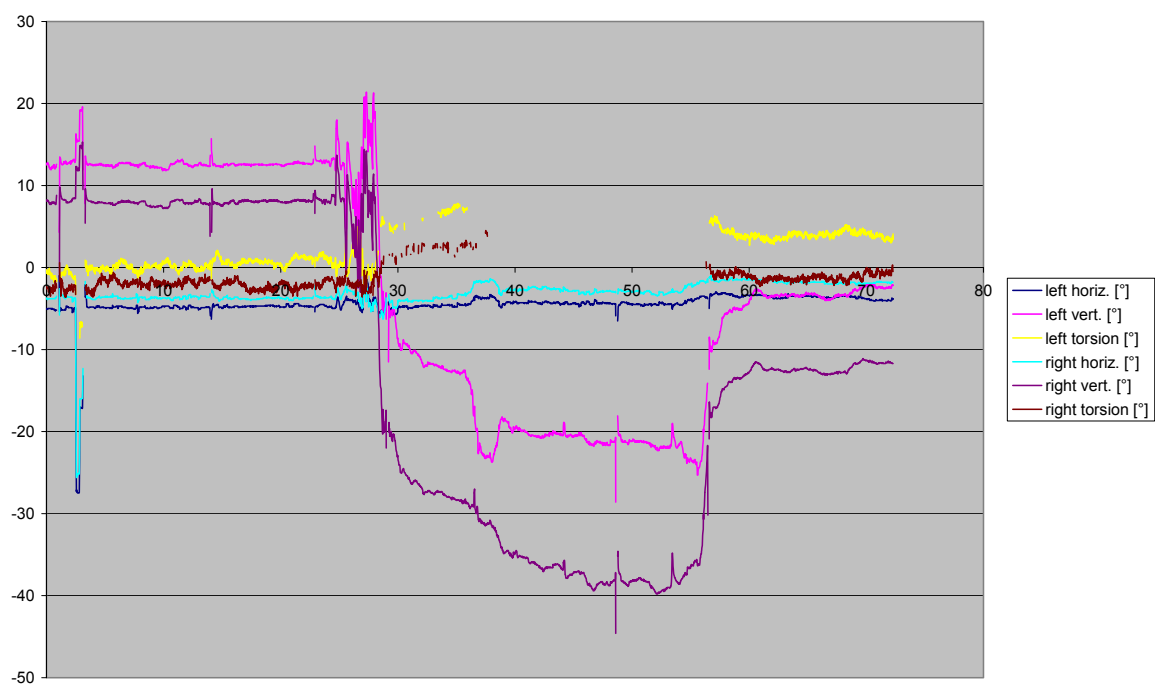
048-1-hvt-0,5



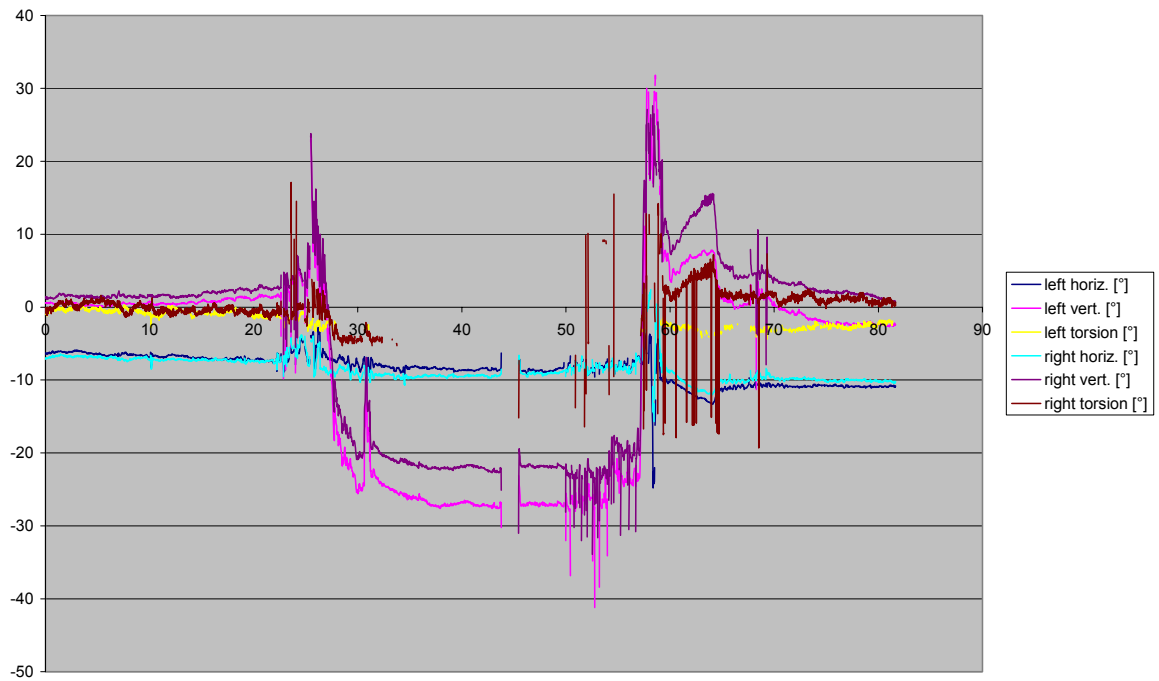
Proband 048-a1-1



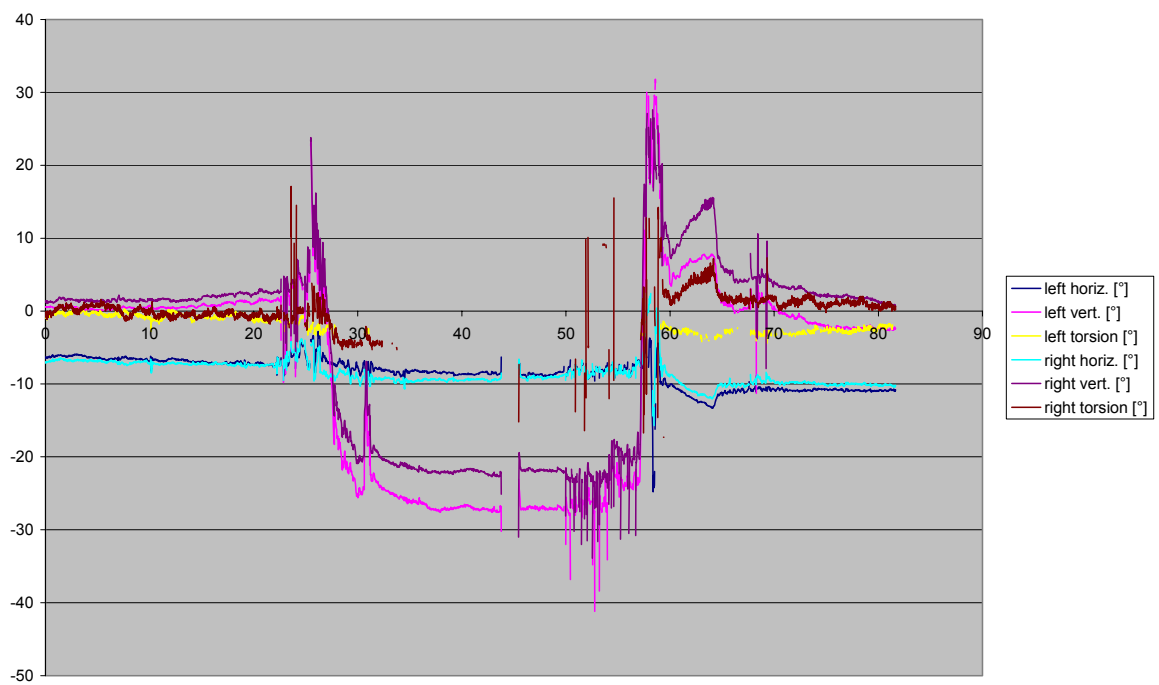
049-1-hvt-0,5



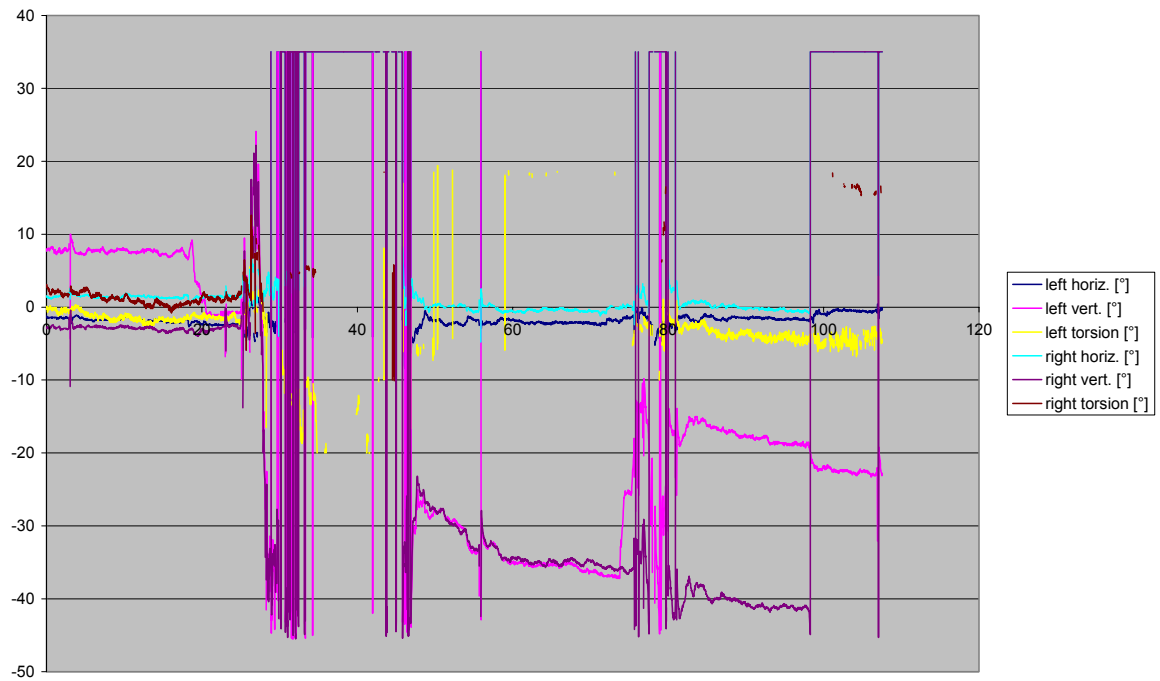
Proband 049-a1-1



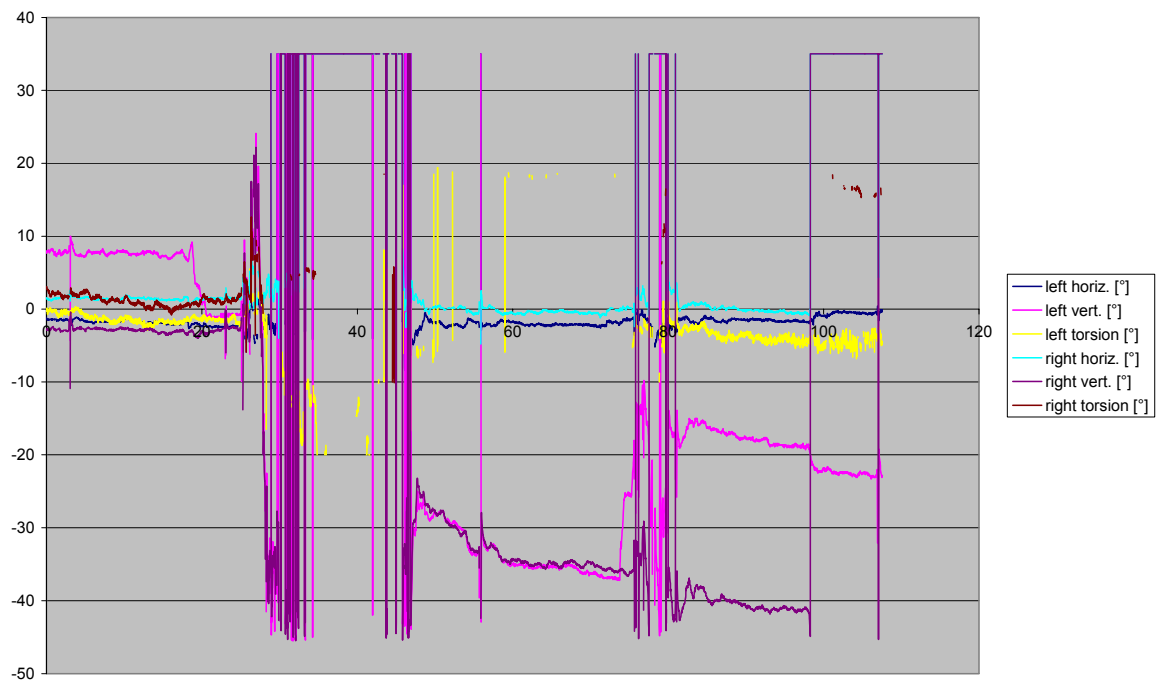
050-1-hvt-0,5



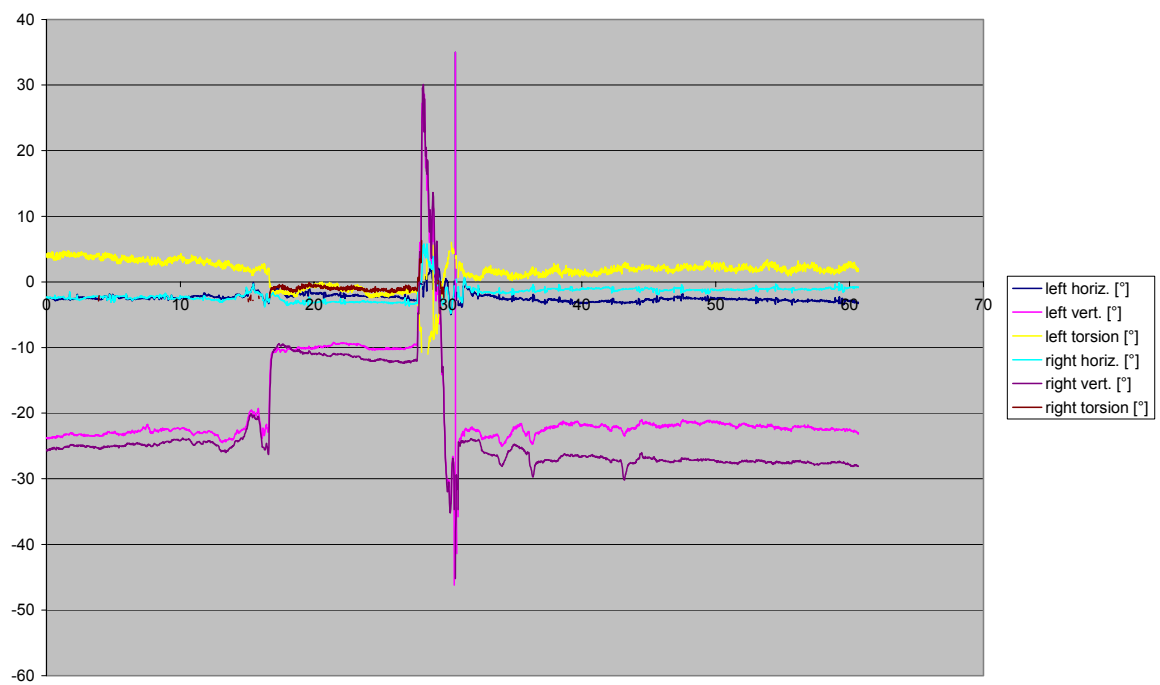
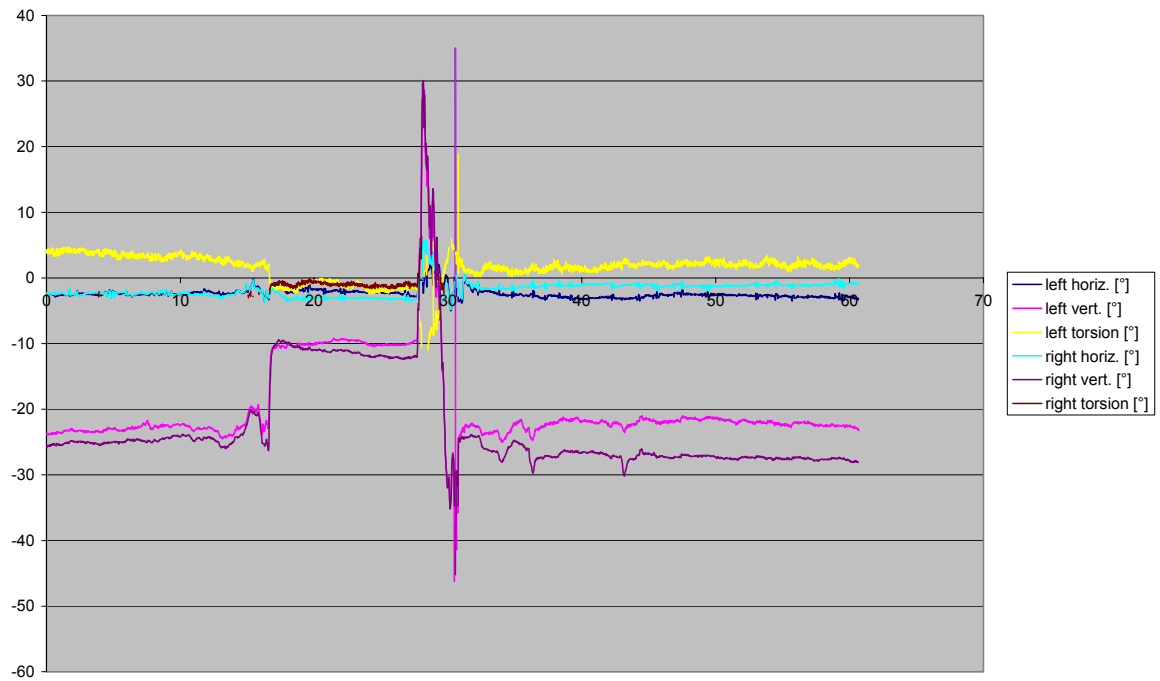
Proband 050-a1-1

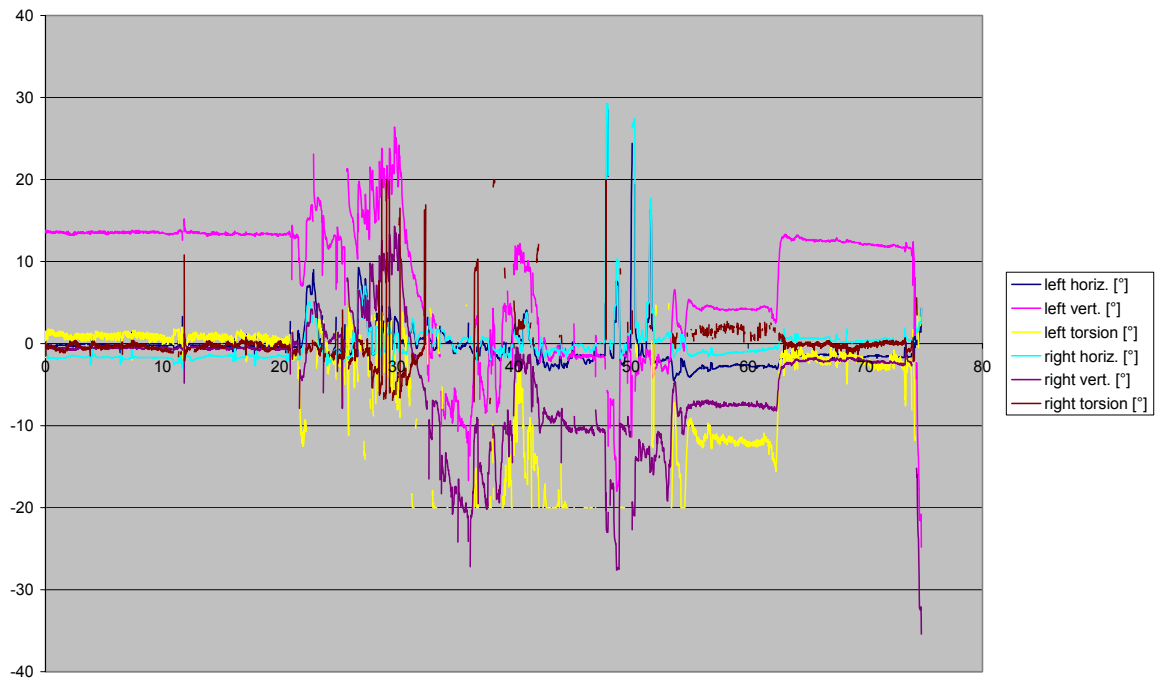


051-1-hvt-0,5

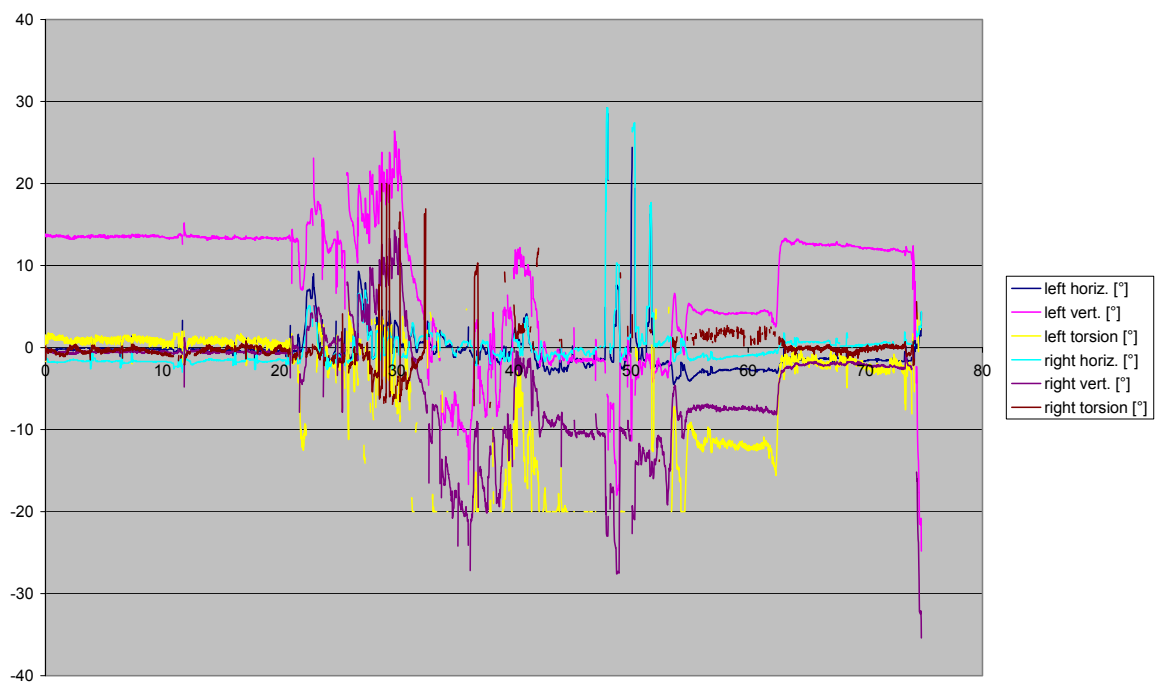


Proband 051-a1-1

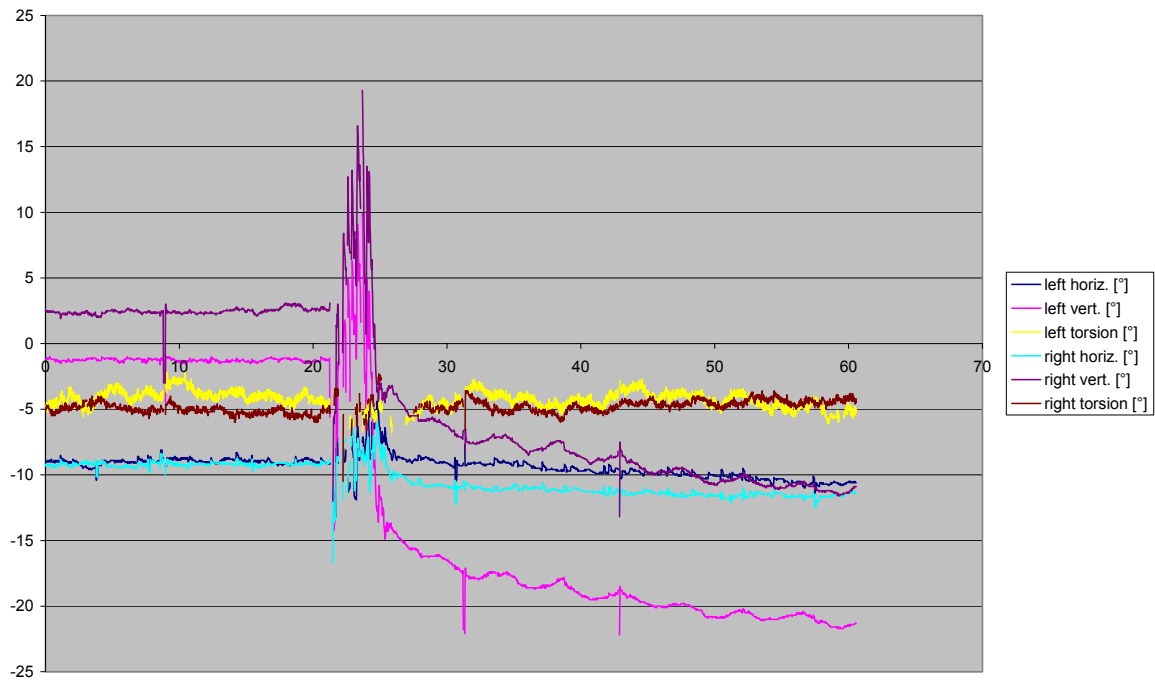




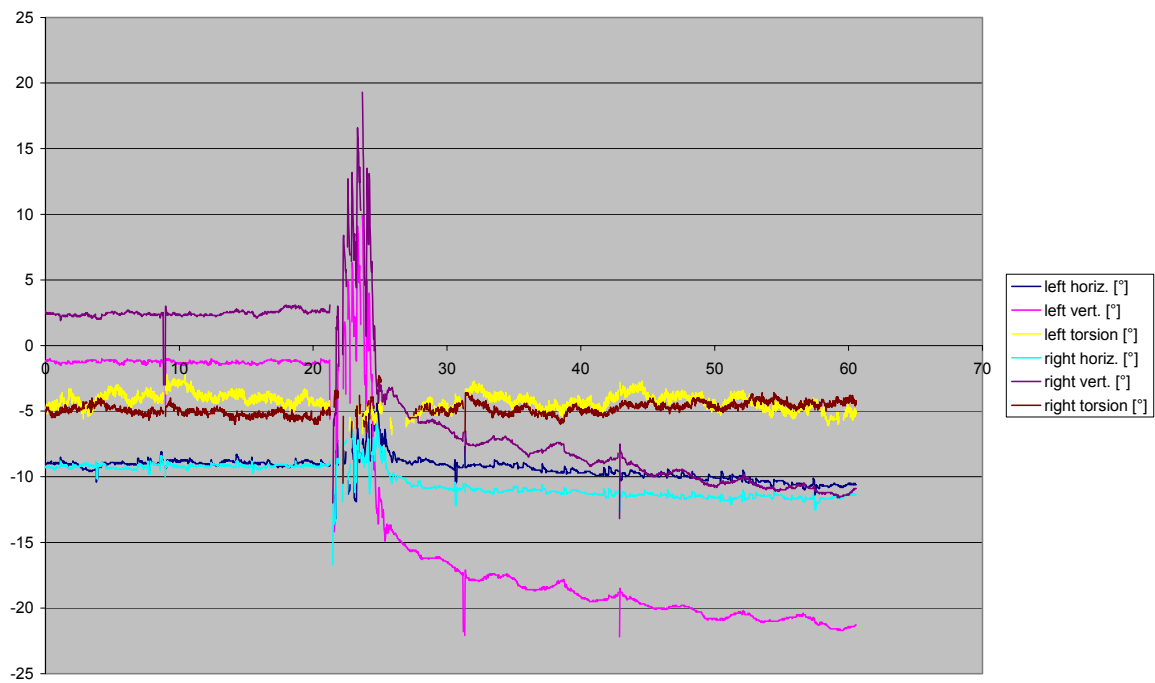
053-1-hvt-0,5



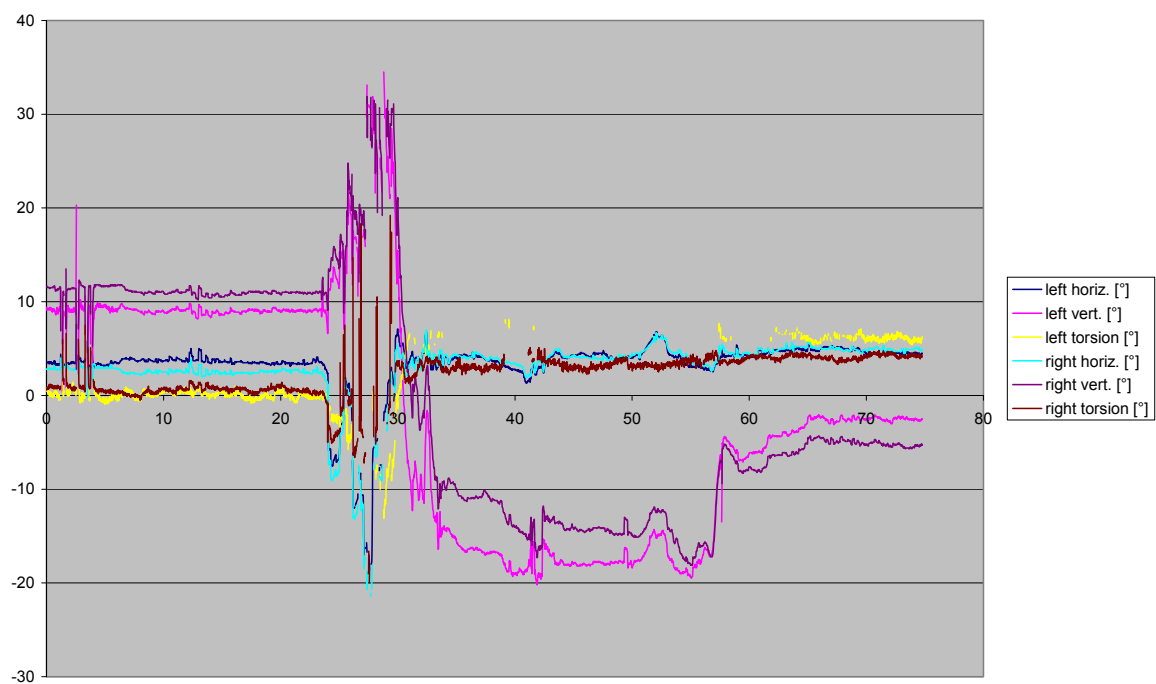
Proband 053-a1-1



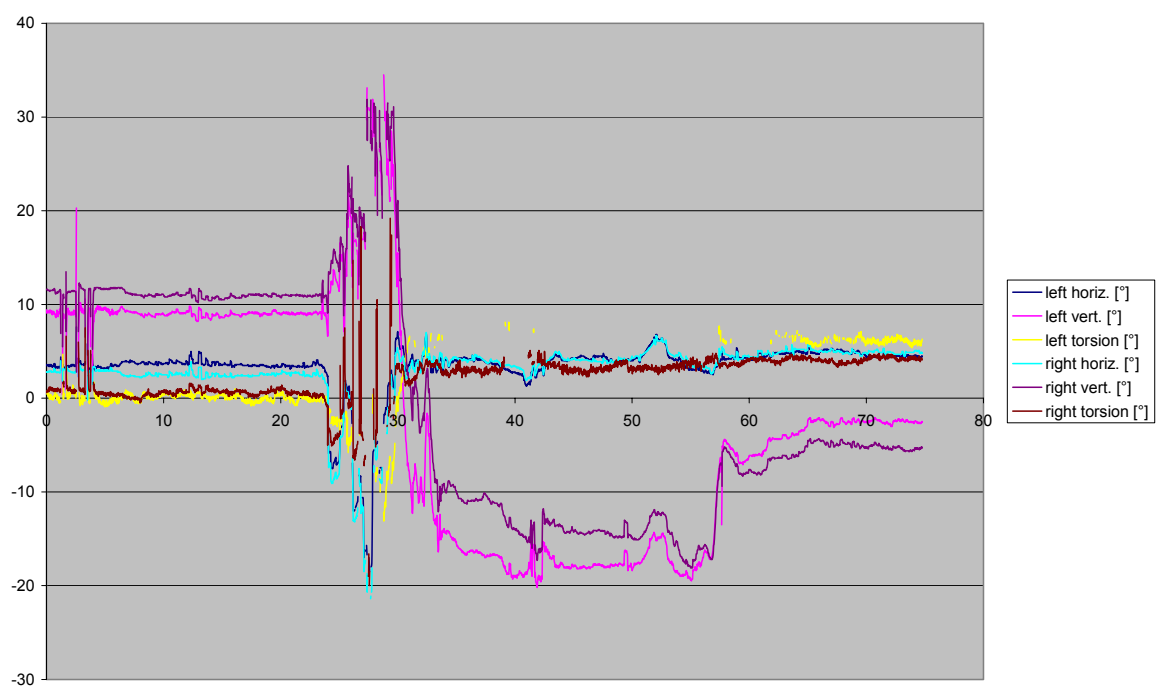
054-1-hvt-0,5



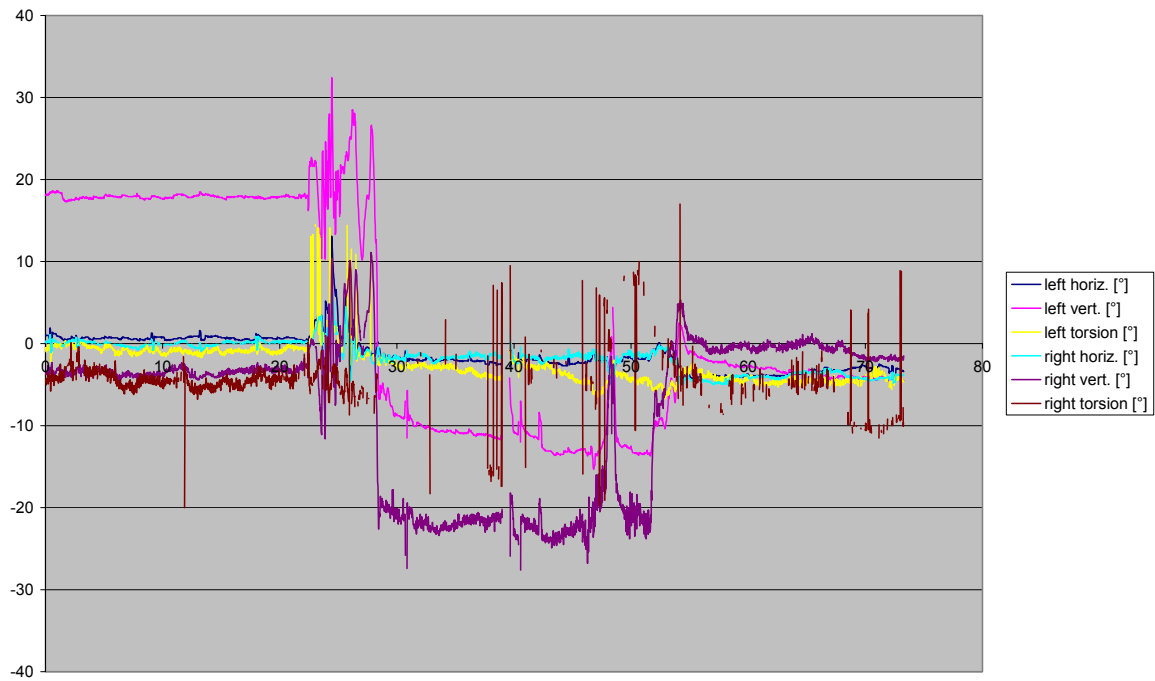
Proband 054-a1-1



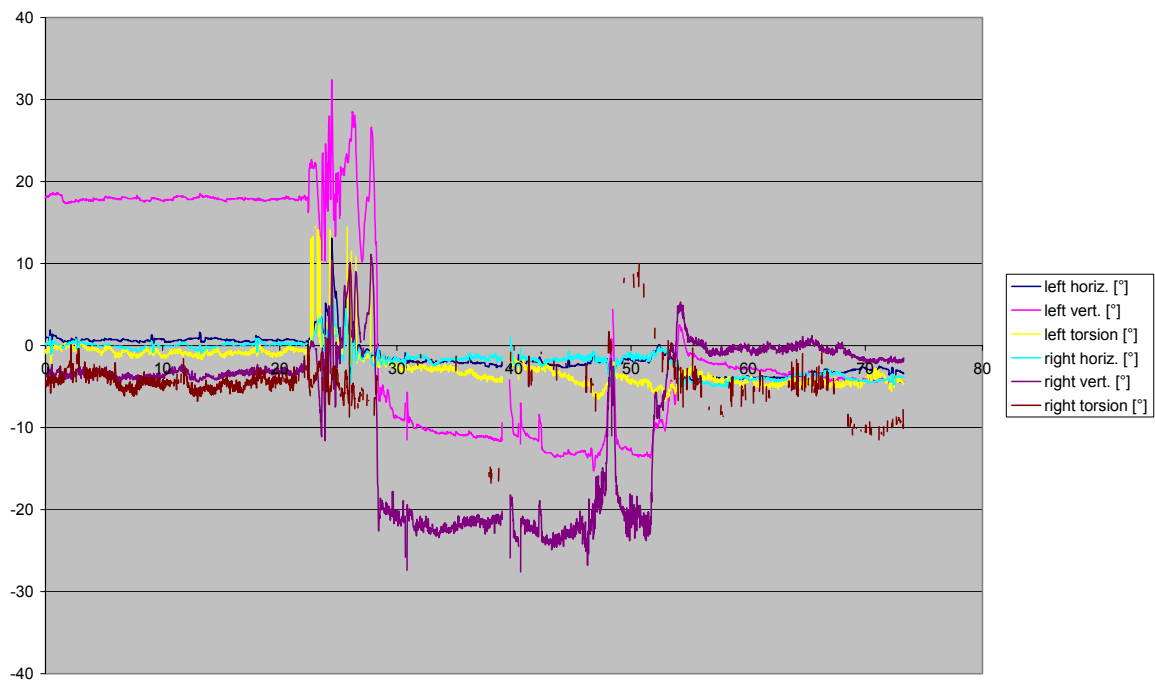
055-1-hvt-0,5



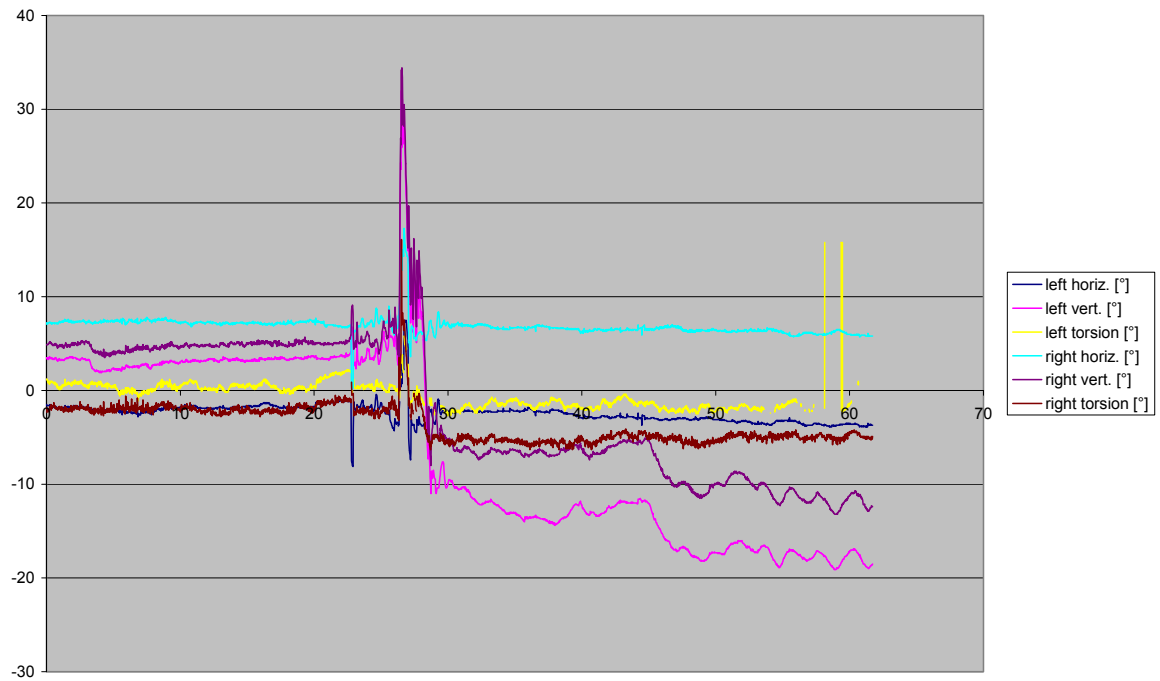
Proband 055-a1-1



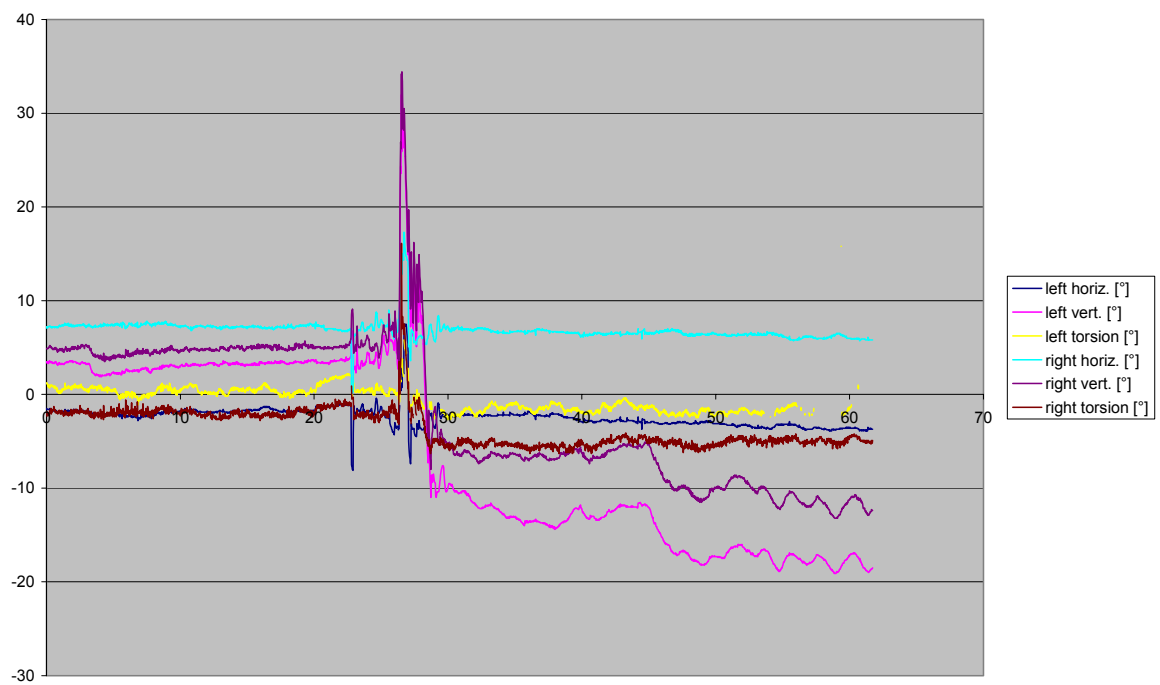
056-1-hvt-0,5



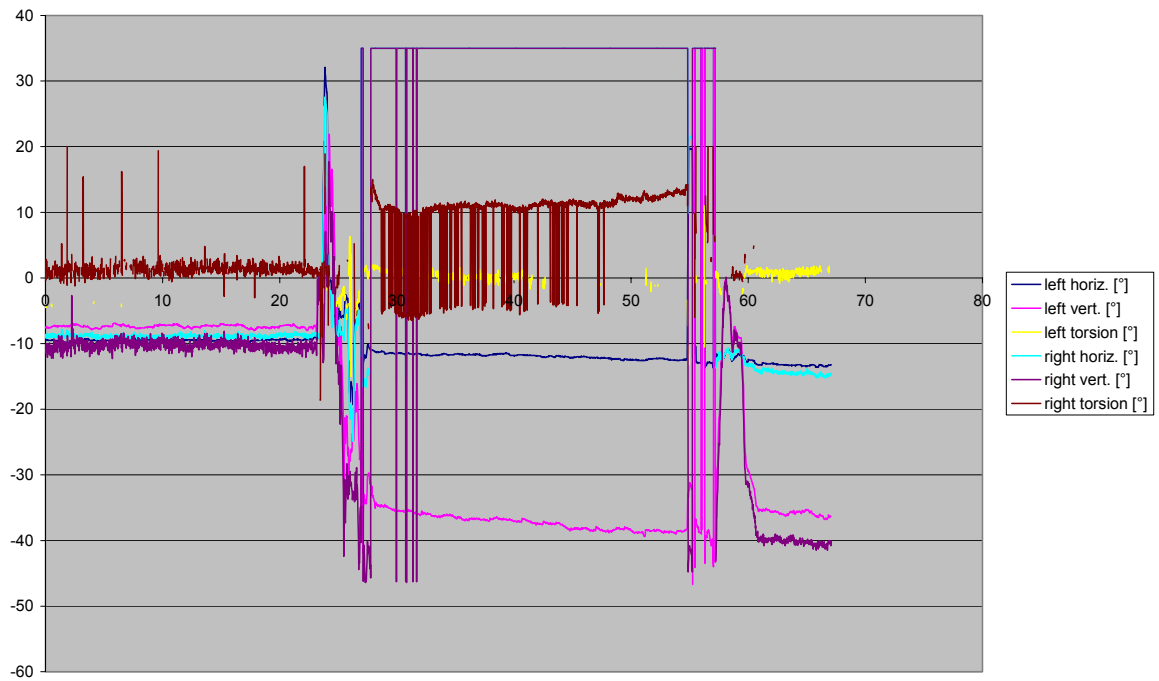
Proband 056-a1-1



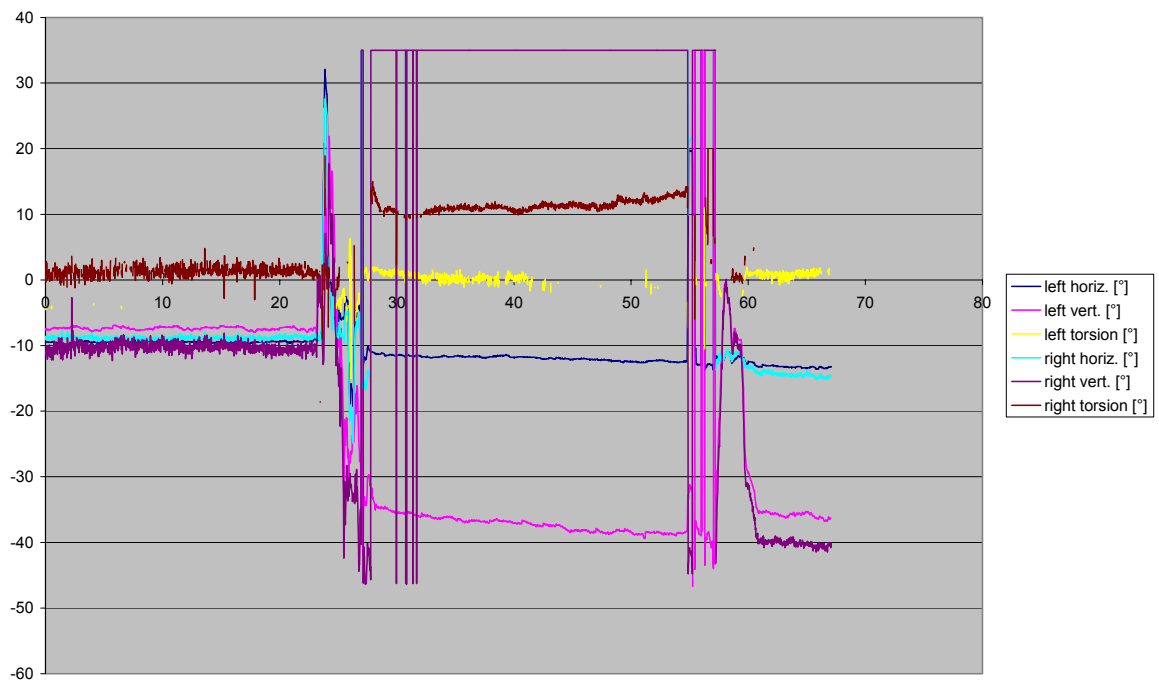
057-1-hvt-0,5



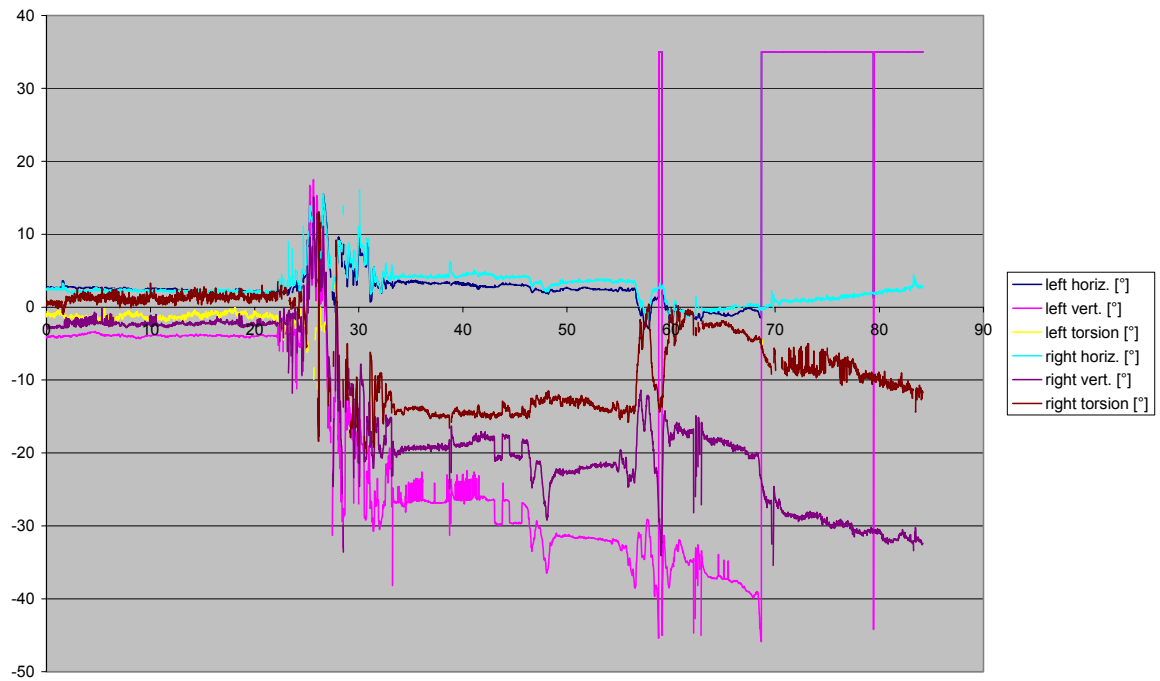
Proband 057-a1-1



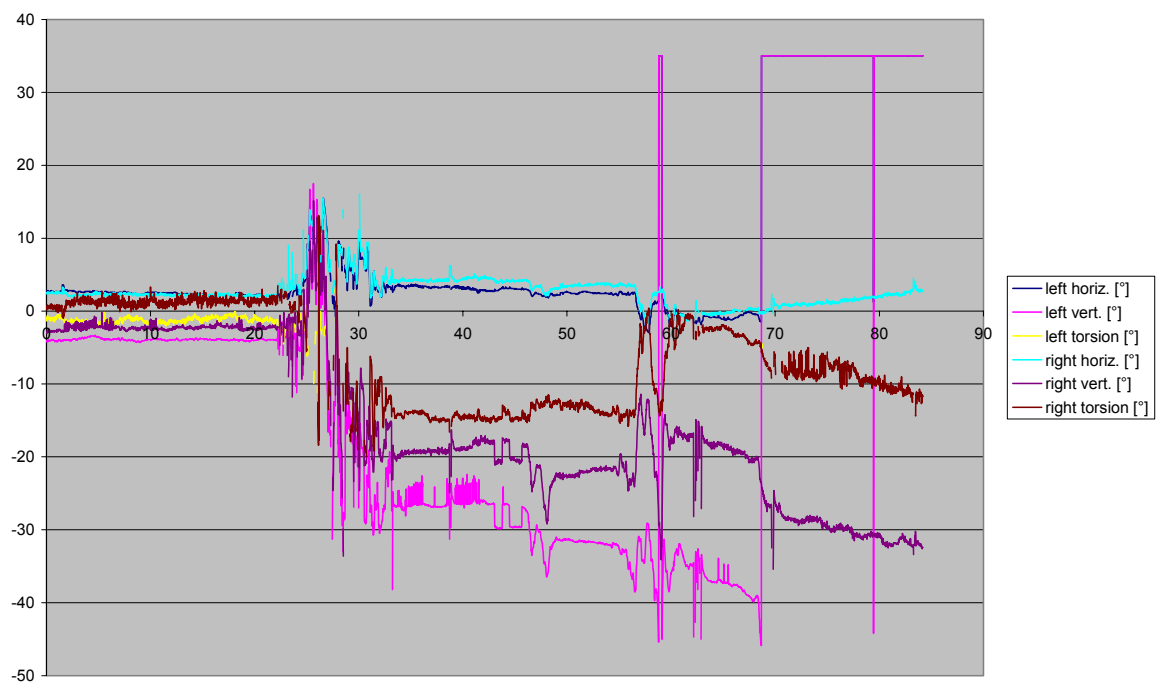
058-1-hvt-0,5



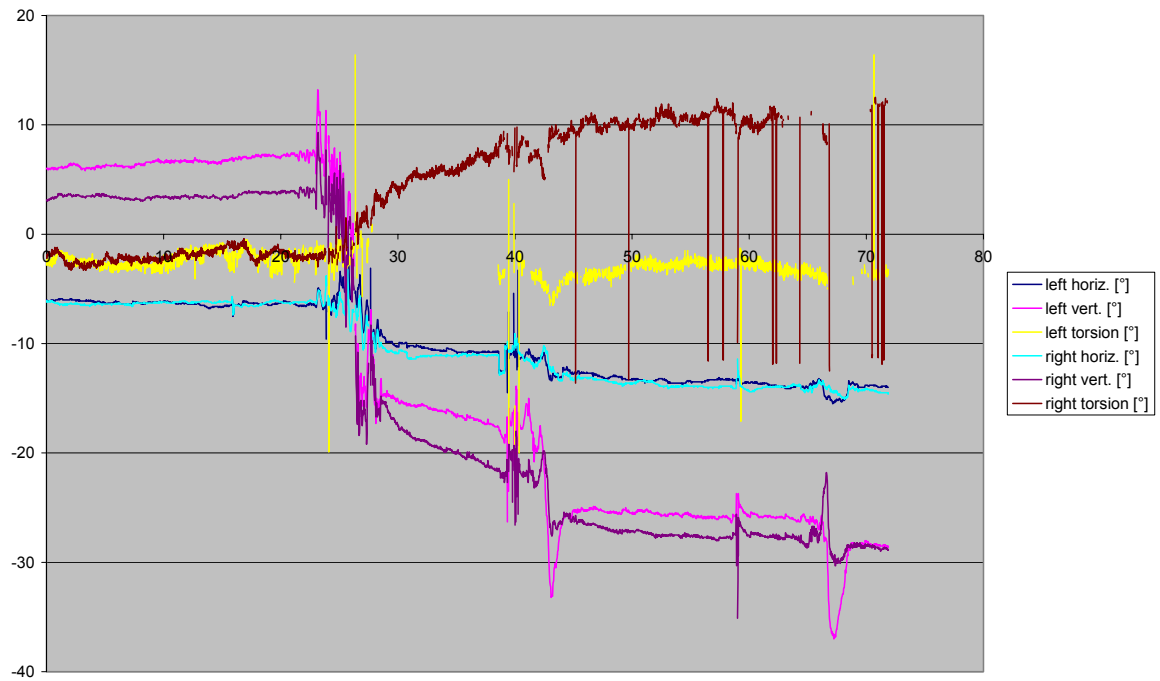
Proband 058-a1-1



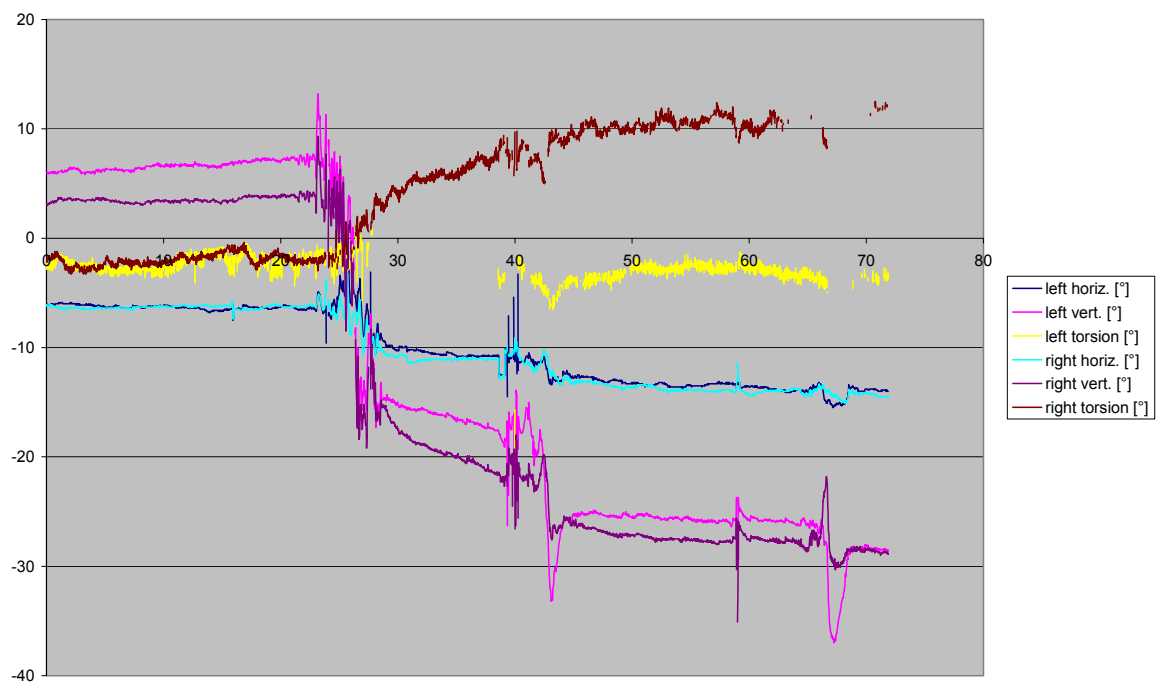
059-1-hvt-0,5



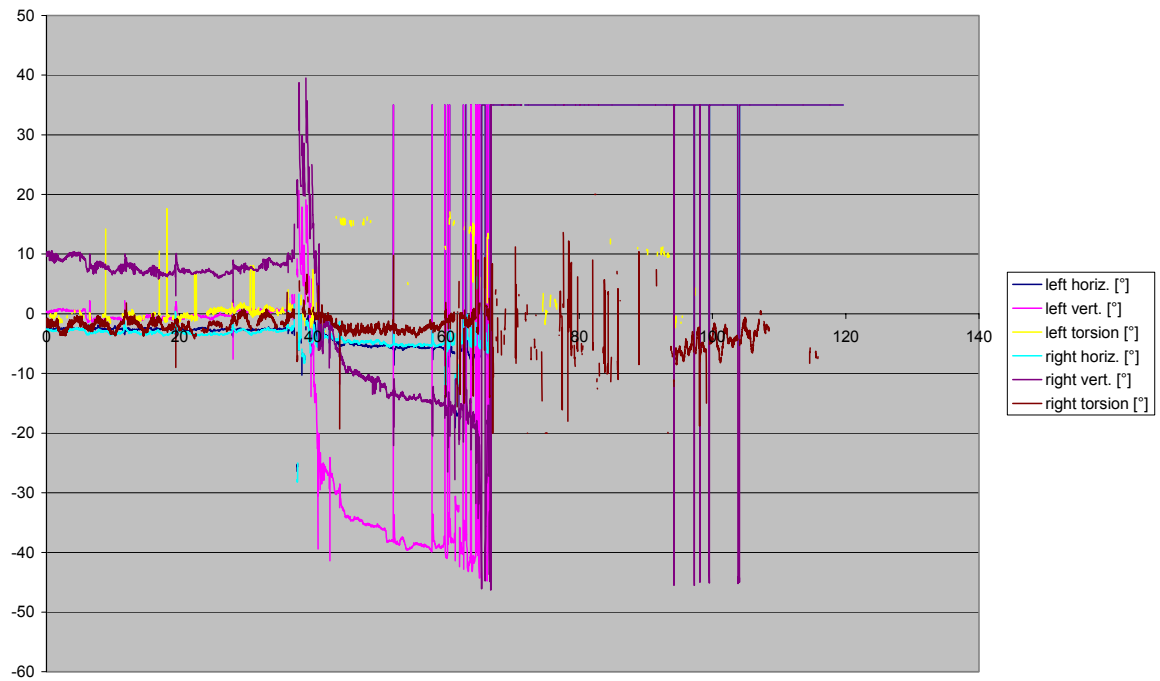
Proband 059-a1-1



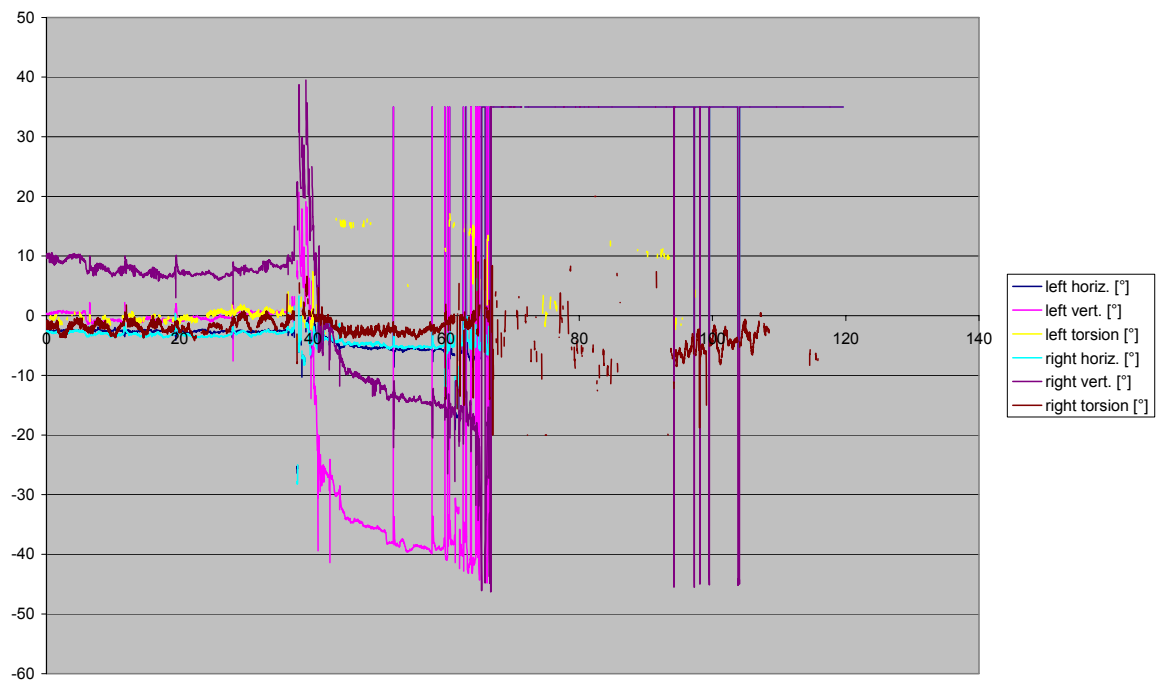
060-1-hvt-0,5



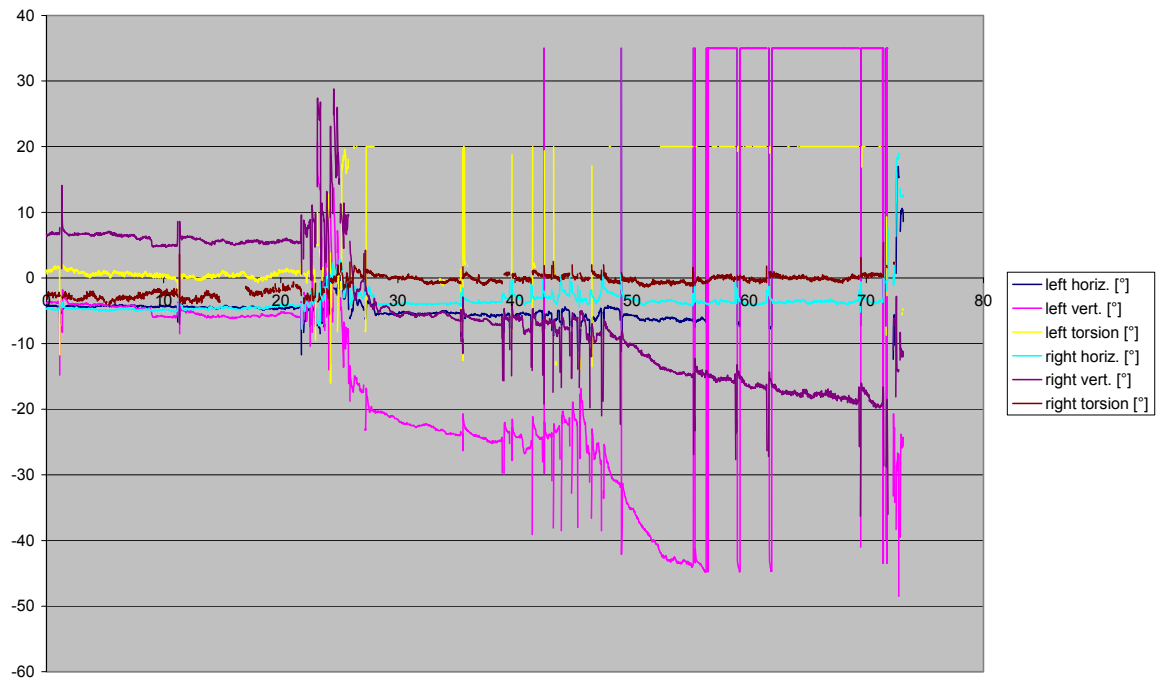
Proband 060-a1-1



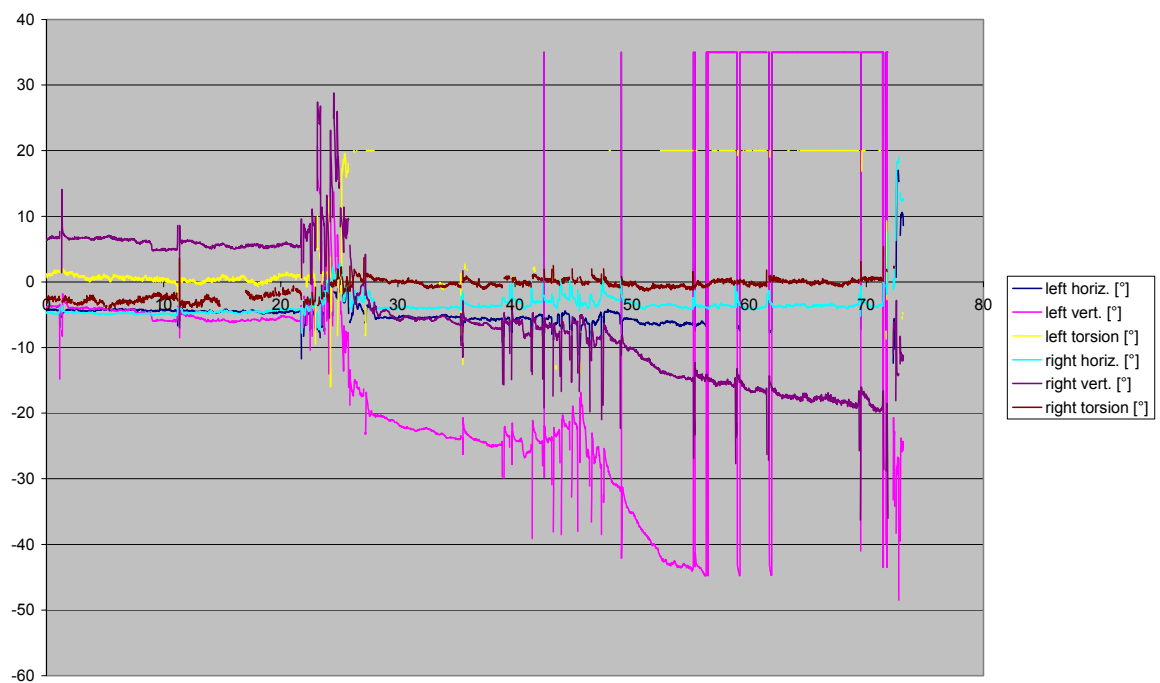
061-1-hvt-0,5



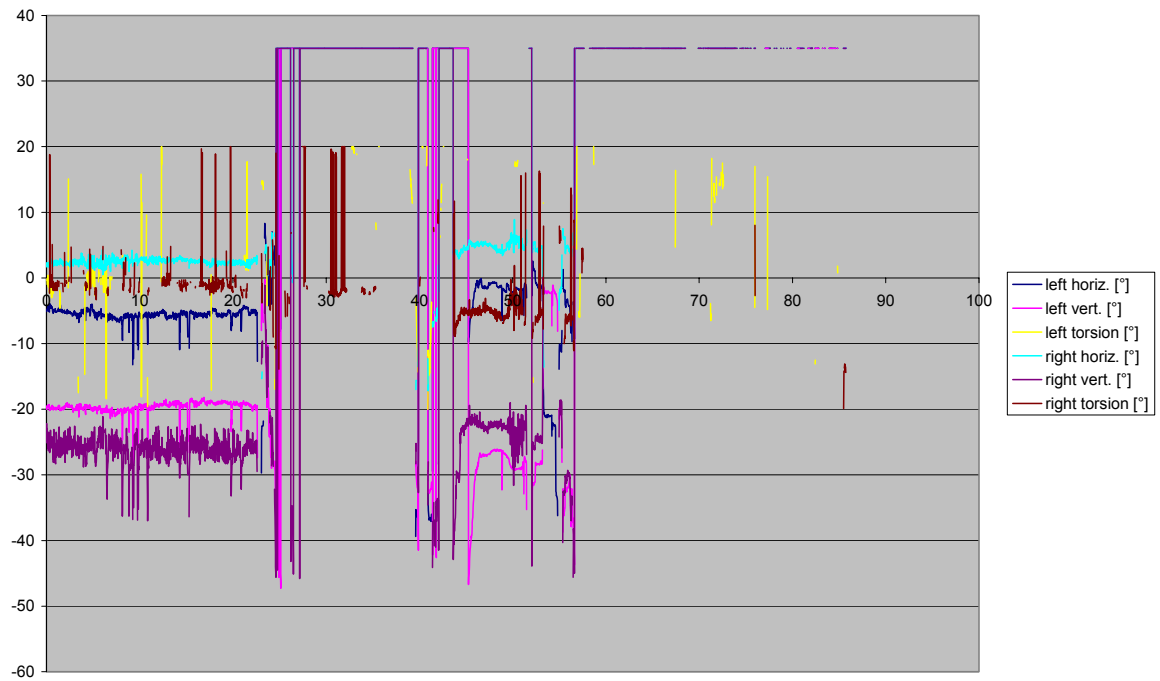
Proband 061-a1-1



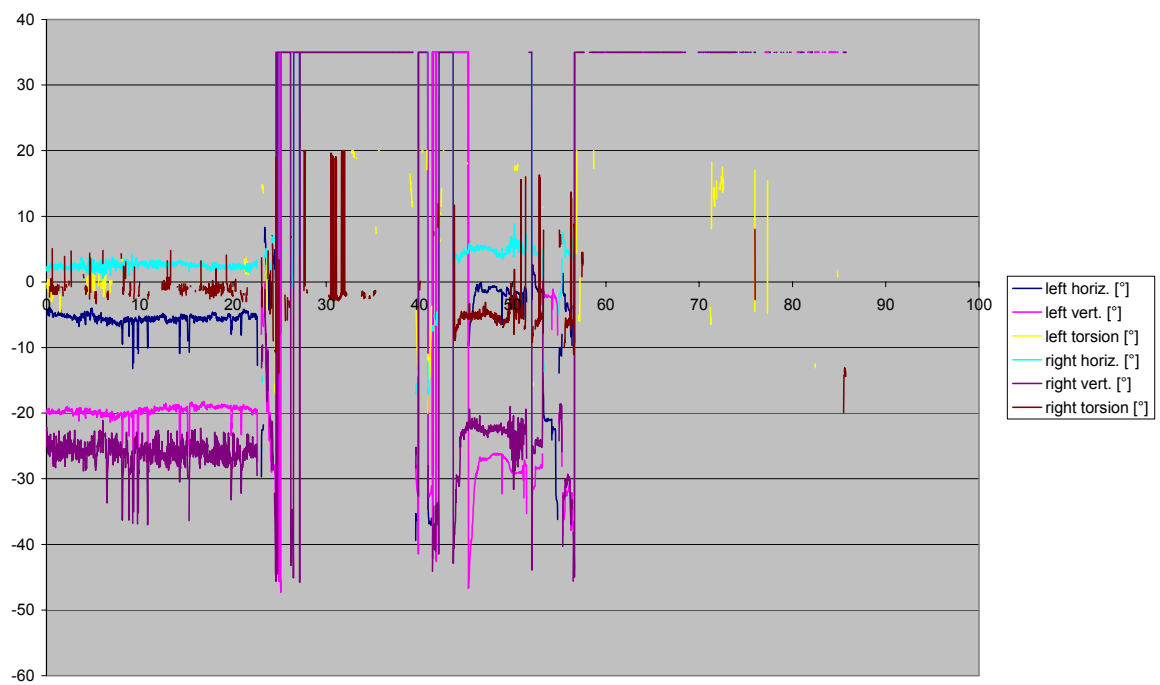
062-1-hvt-0,5



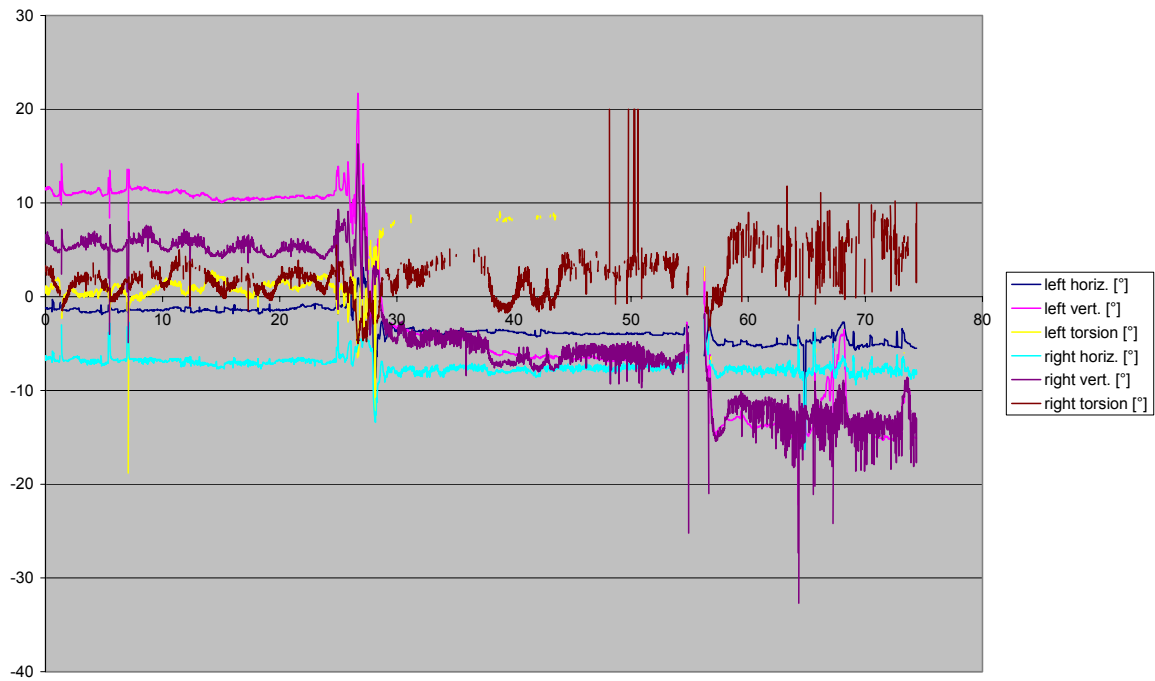
Proband 062-a1-1



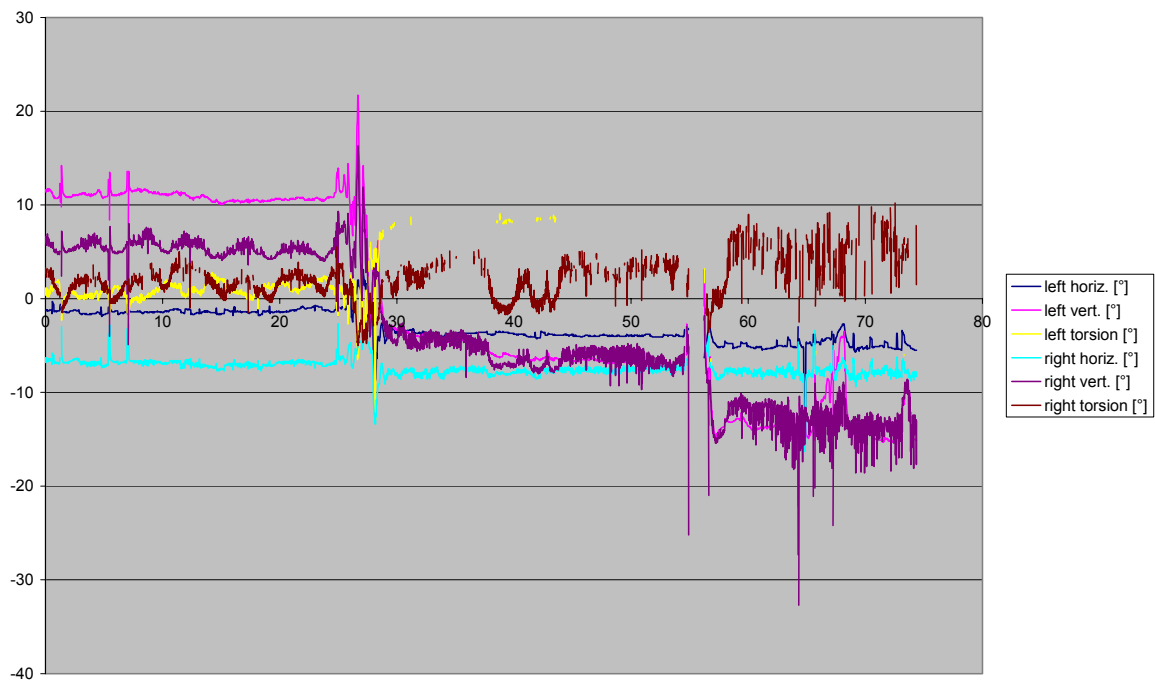
063-1-hvt-0,5



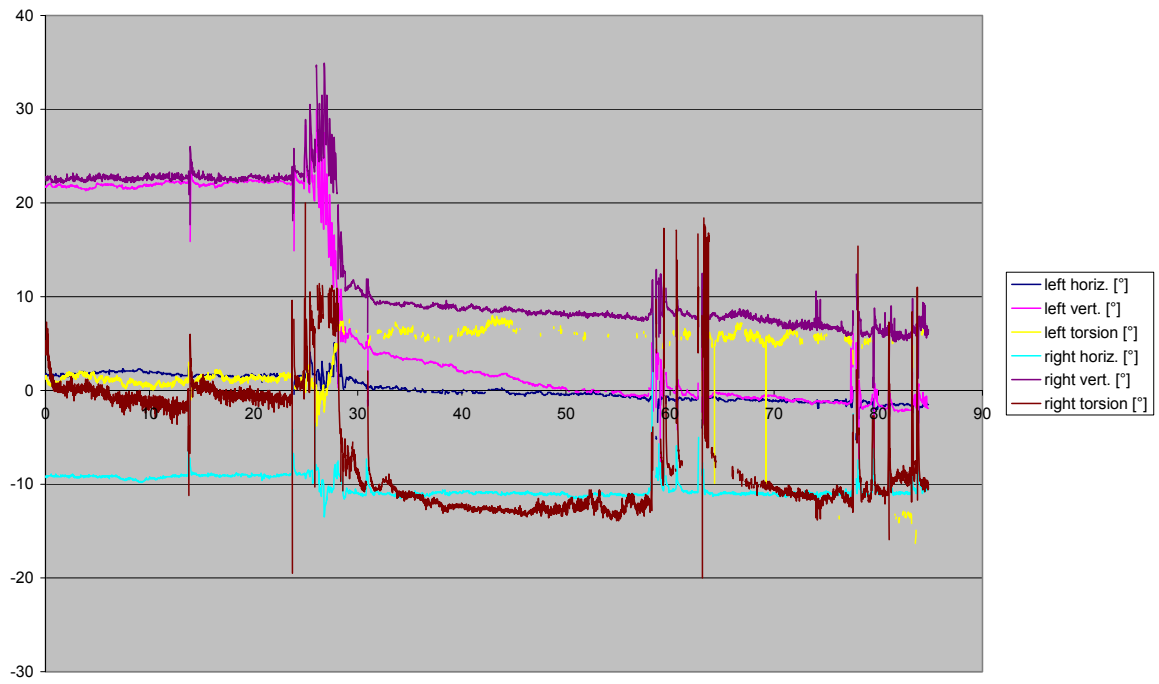
Proband 063-a1-1



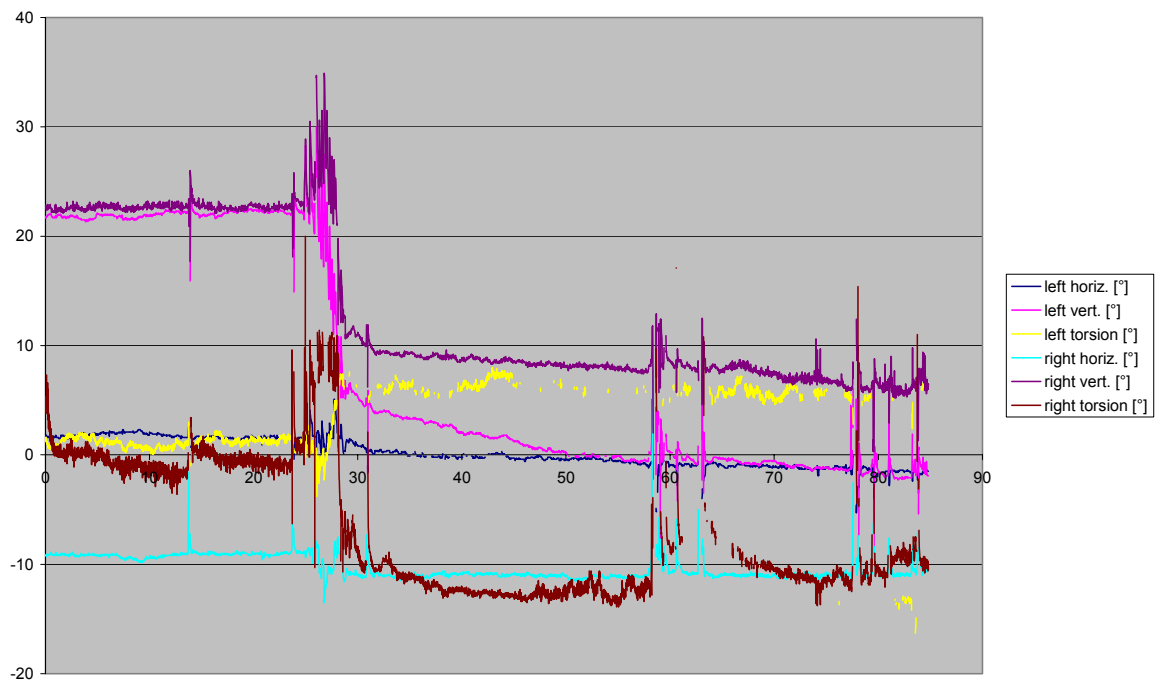
064-1-hvt-0,5



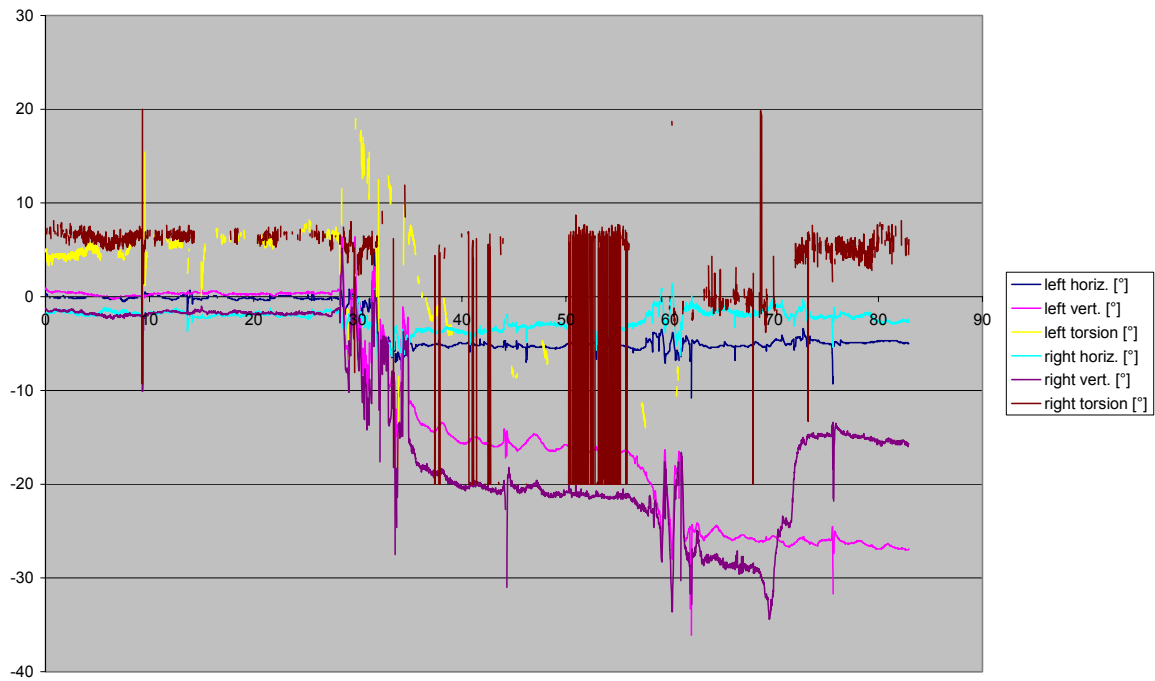
Proband 064-a1-1



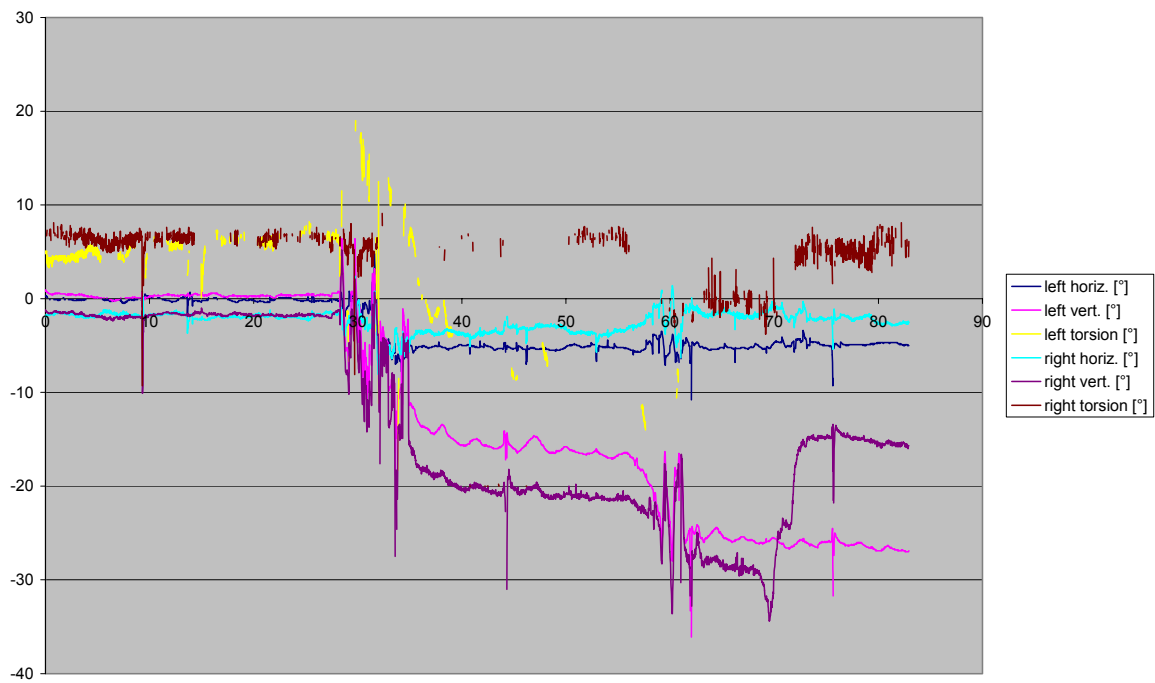
065-1-hvt-0,5



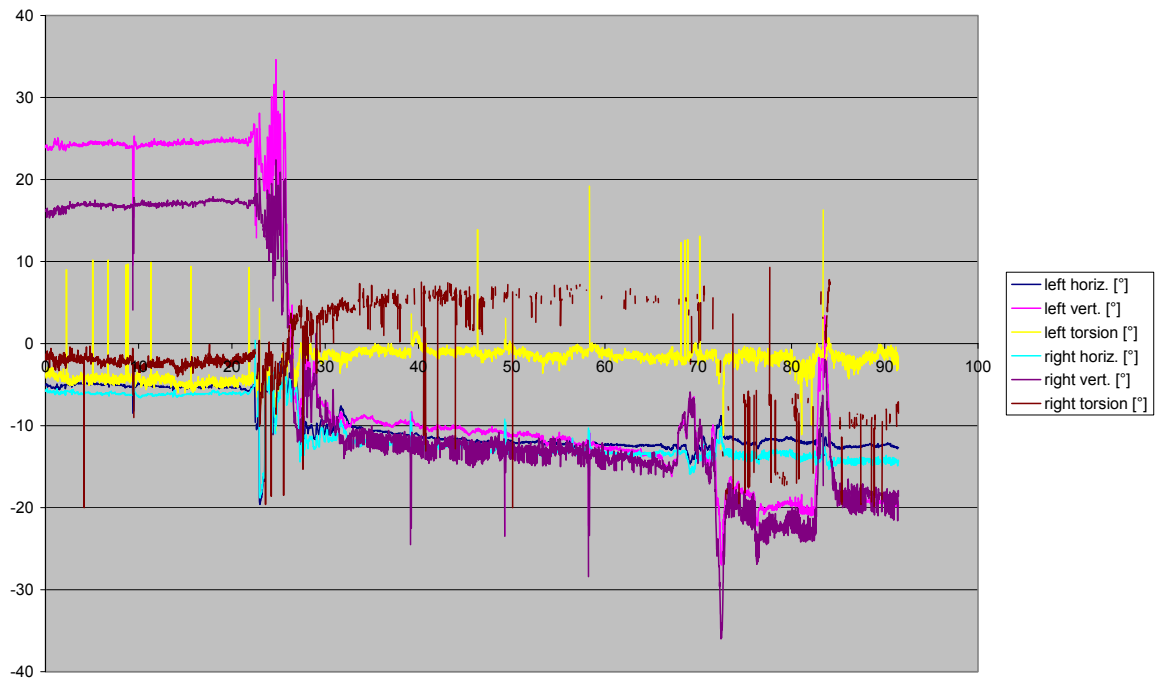
Proband 065-a1-1



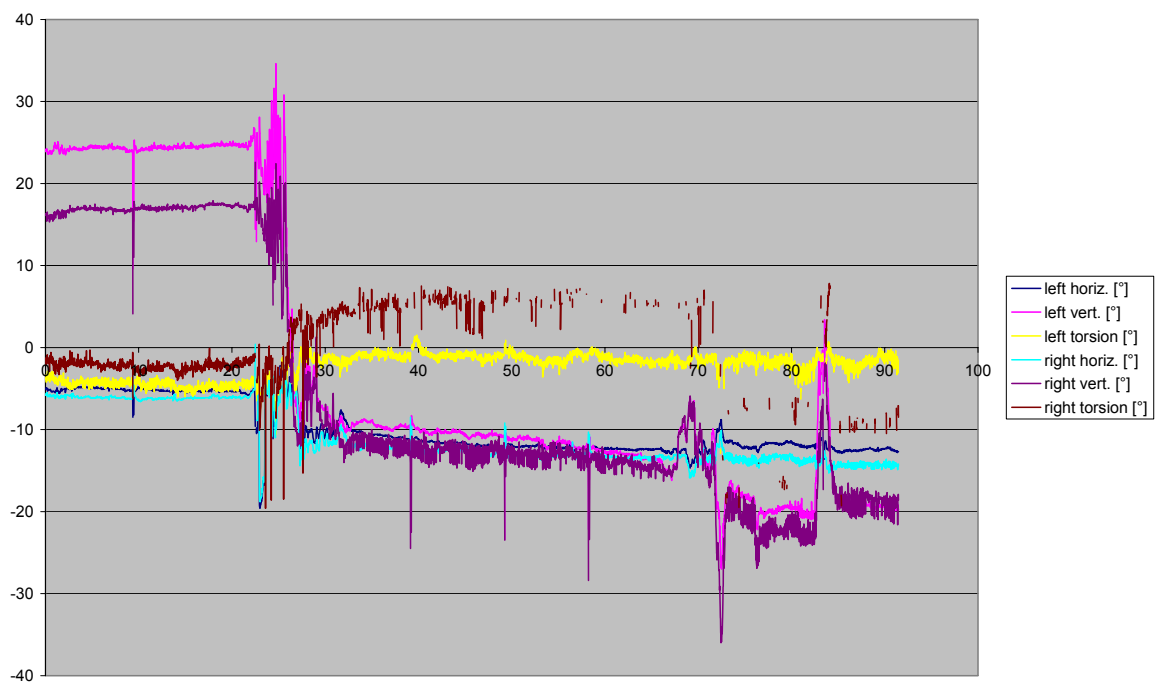
066-1-hvt-0,5



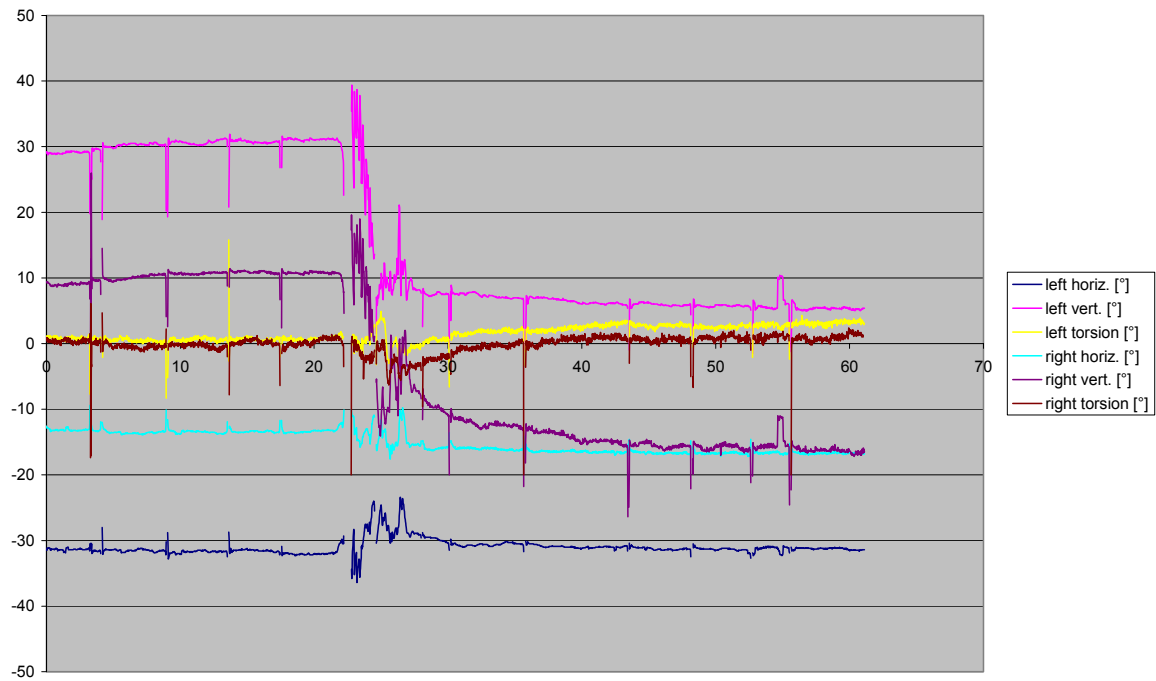
Proband 066-a1-1



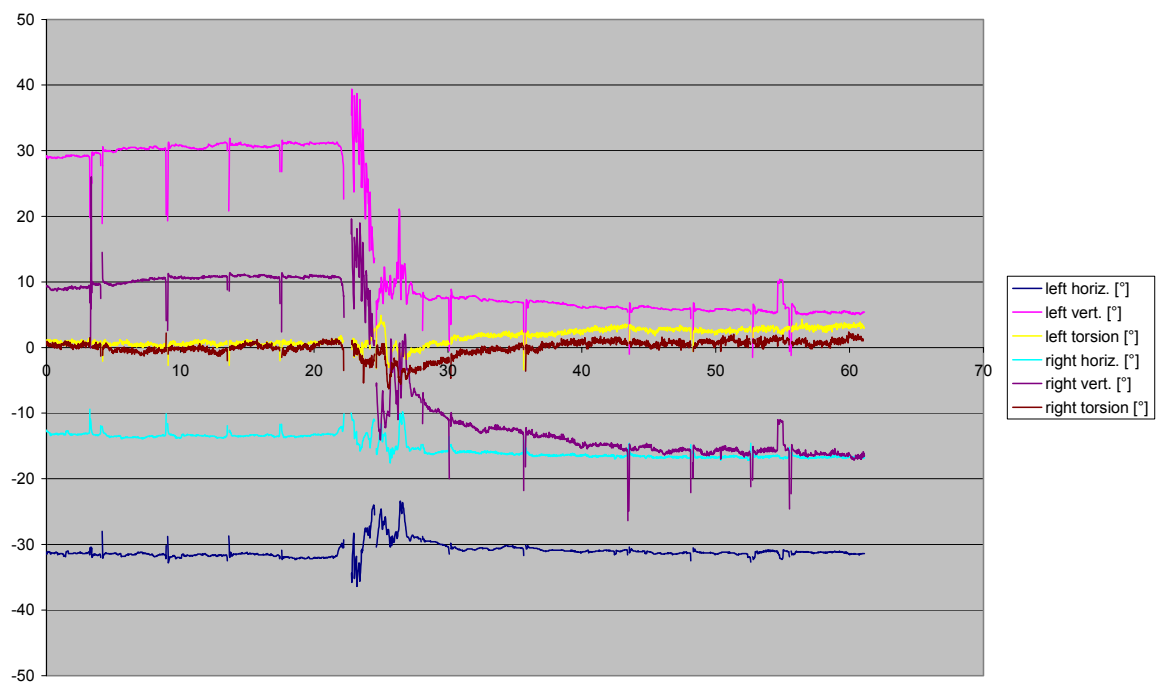
067-1-hvt-0,5



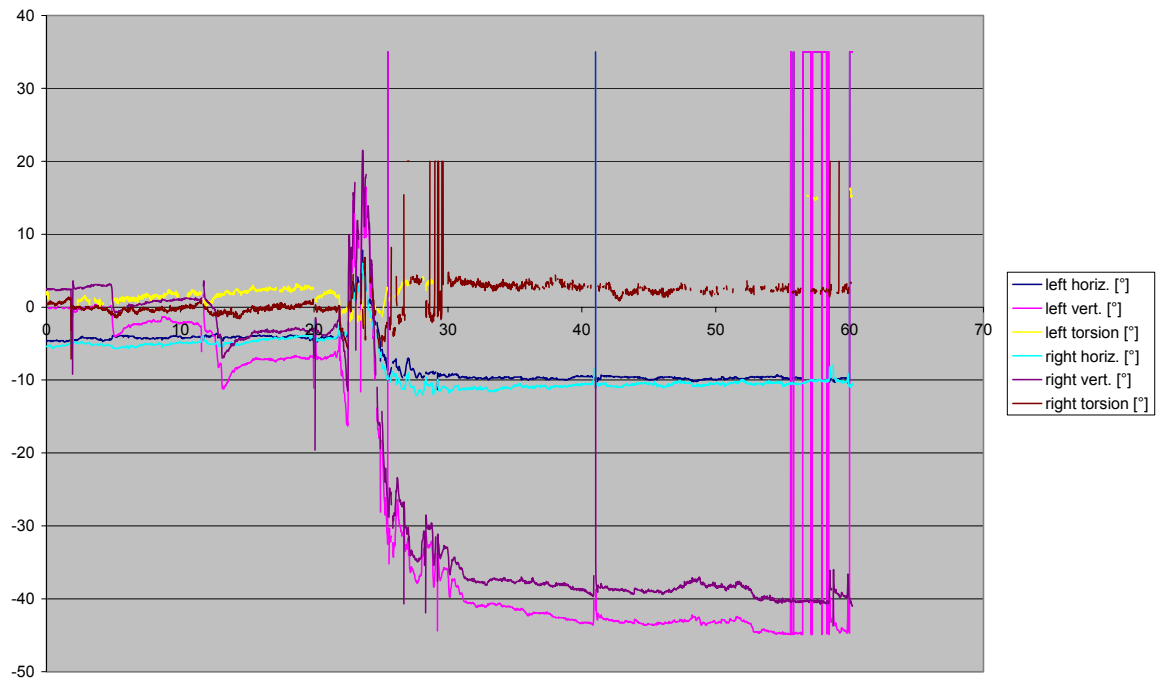
Proband 067-a1-1



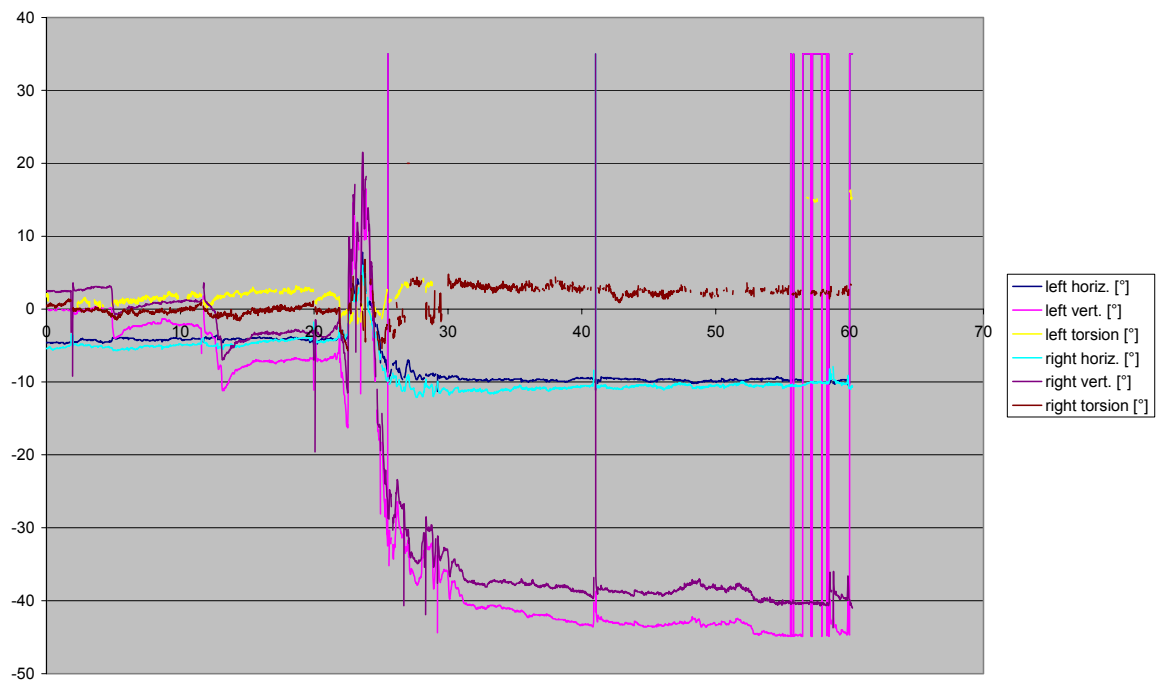
068-1-hvt-0,5



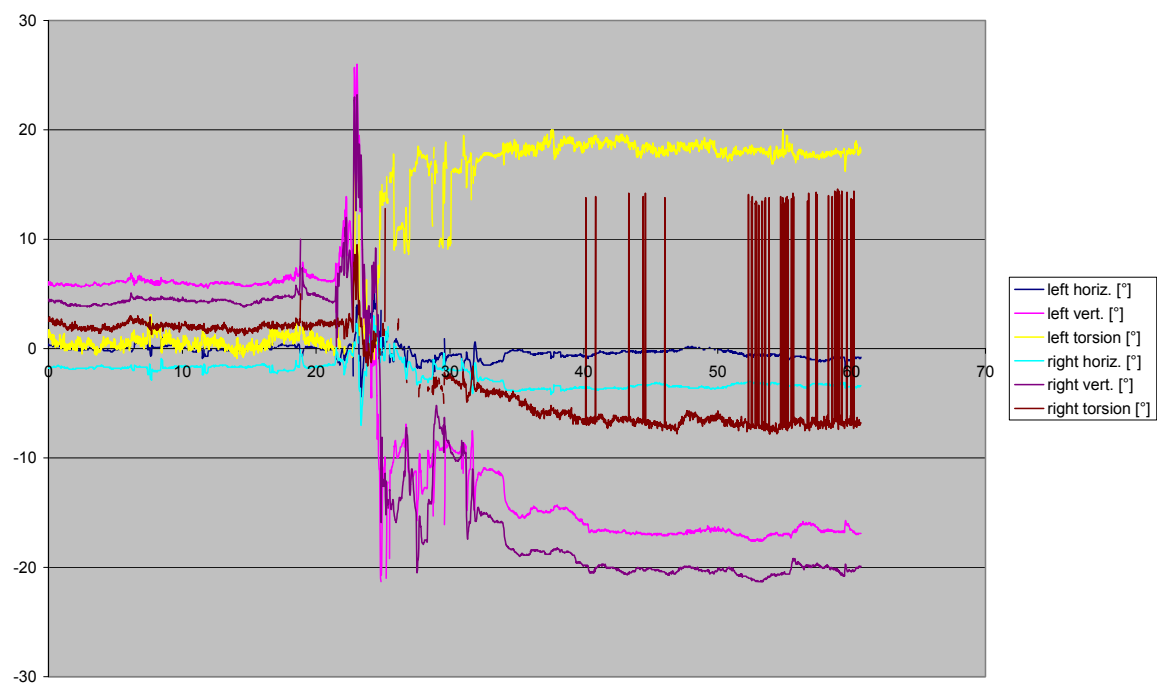
Proband 068-a1-1



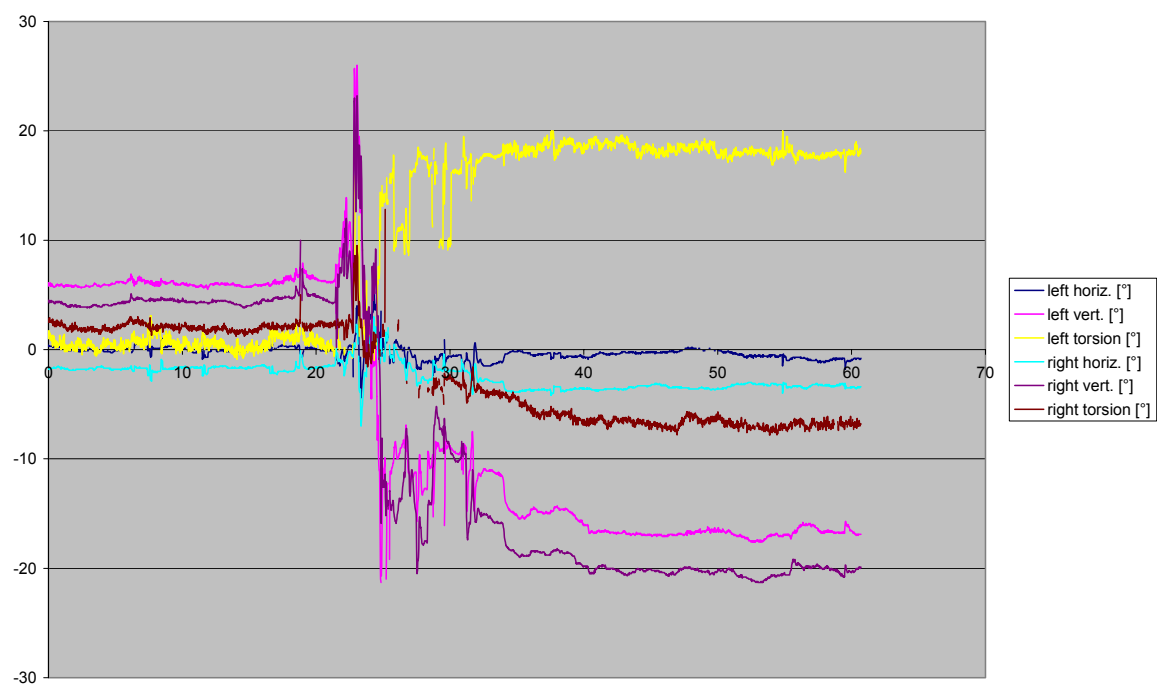
069-1-hvt-0,5



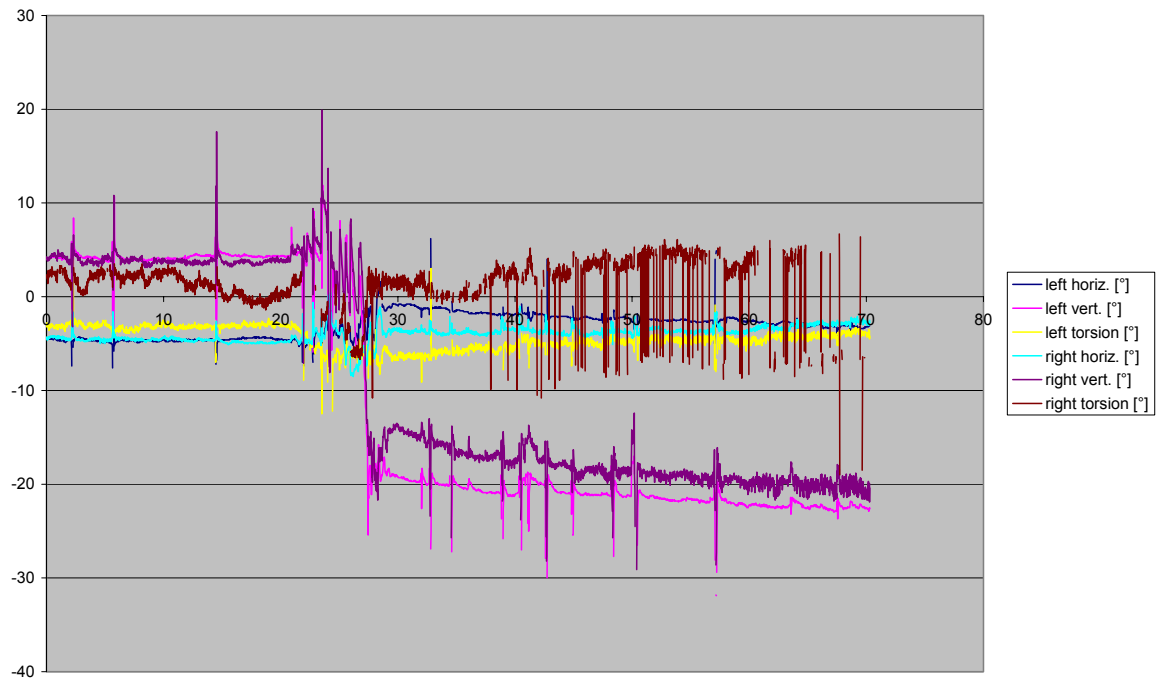
Proband 069-a1-1



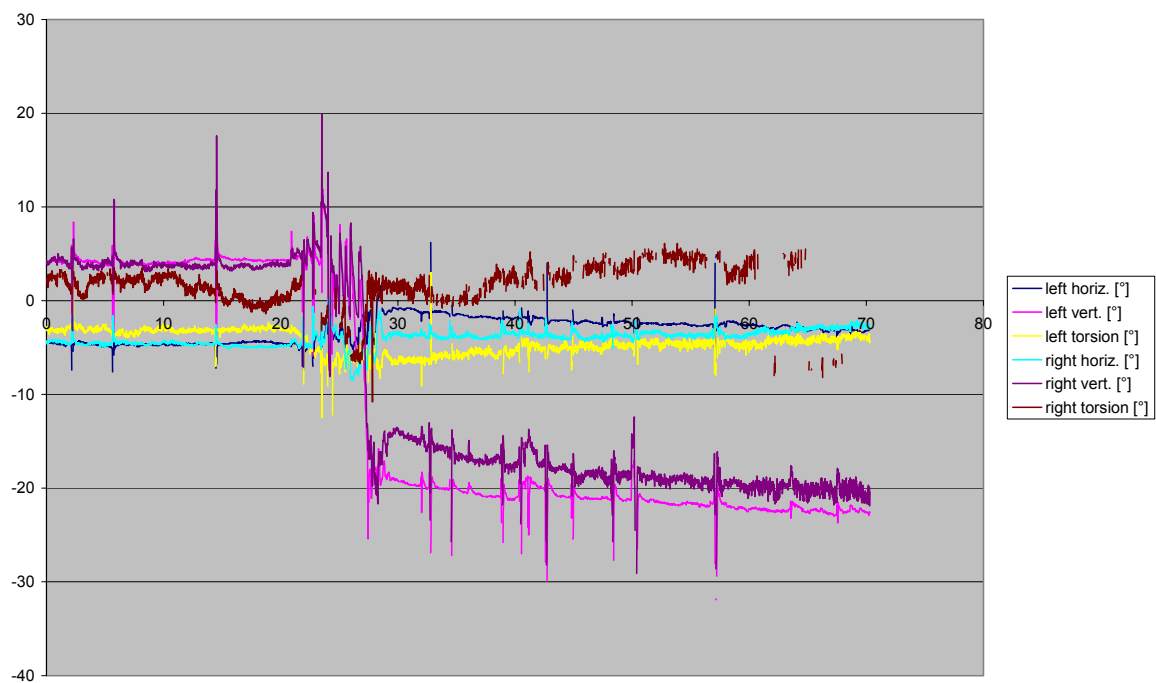
070-1-hvt-0,5



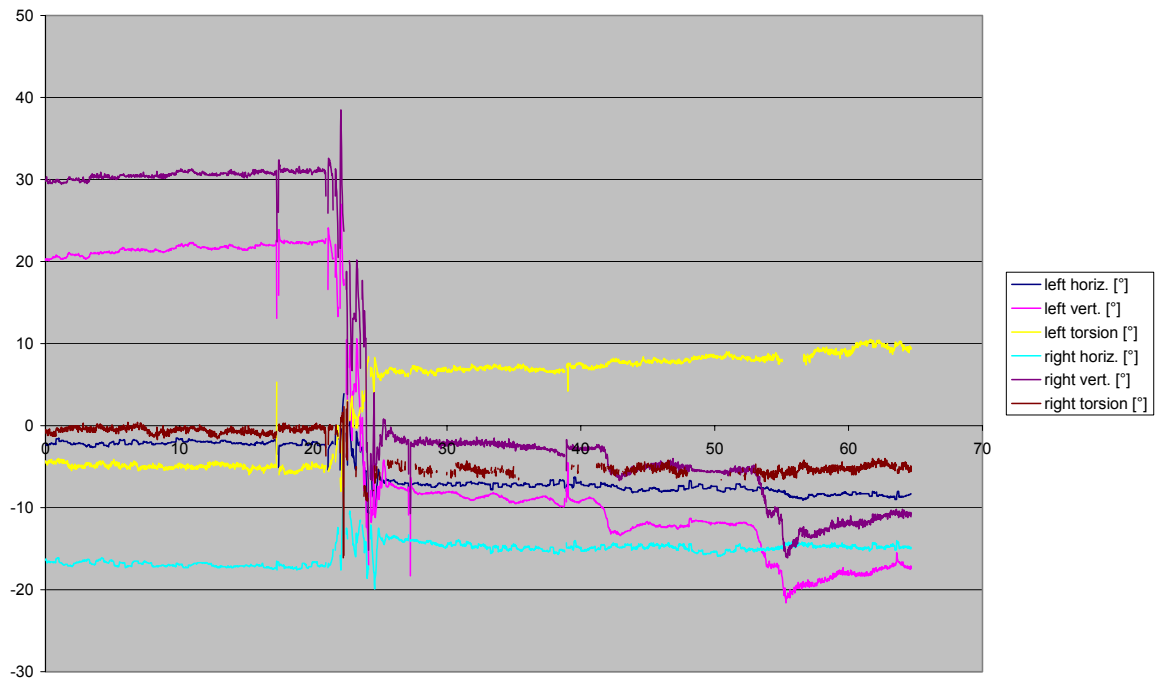
Proband 070-a1-1



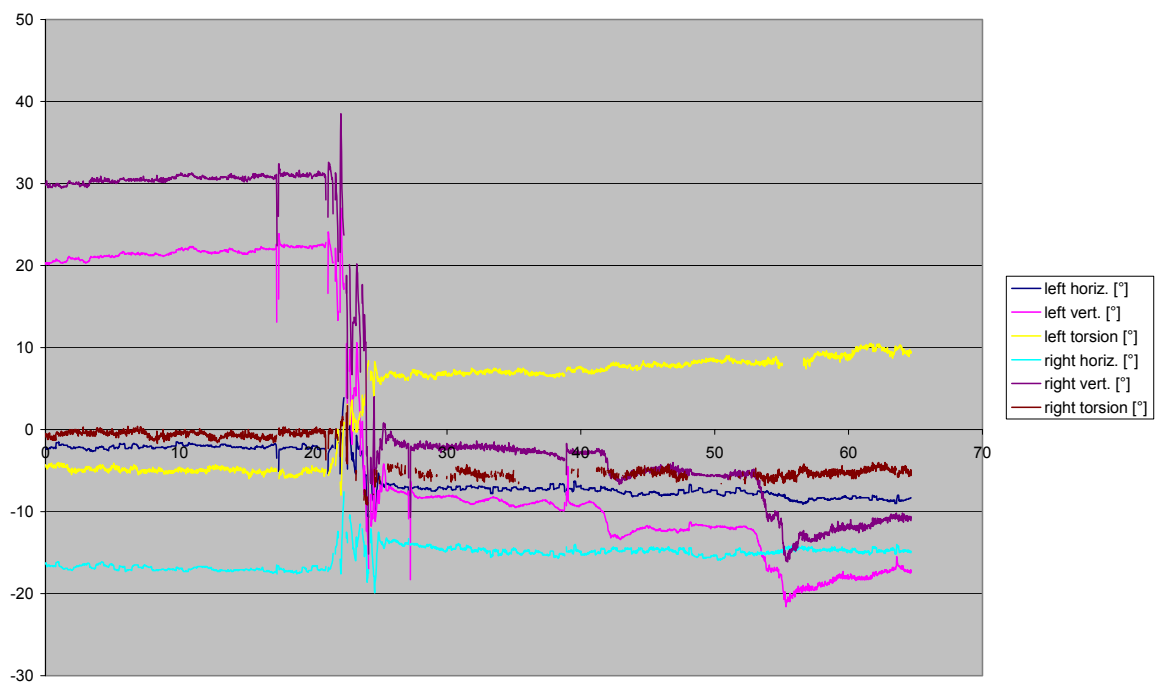
071-1-hvt-1



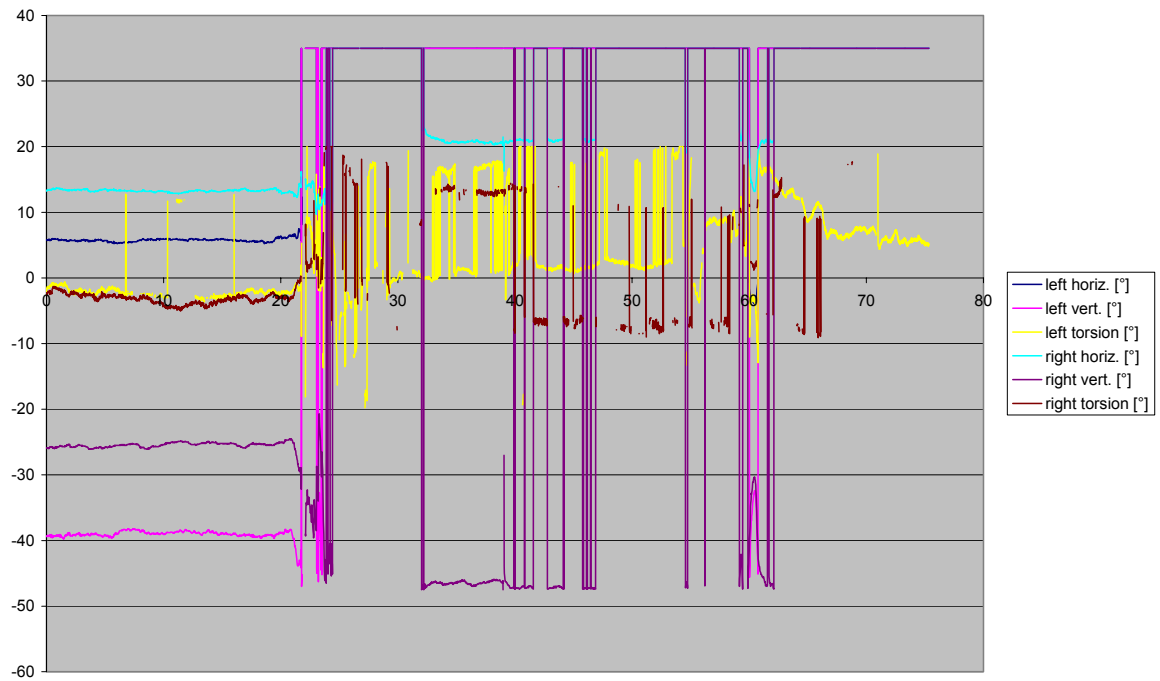
Proband 071-a1-1



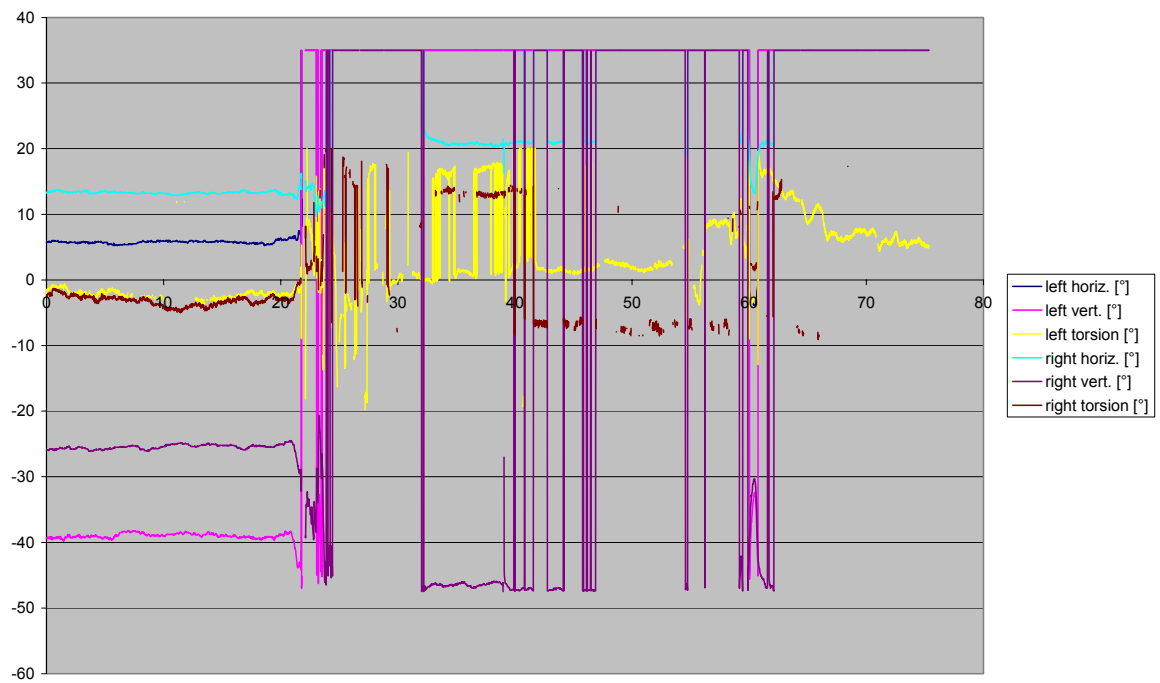
072-1-hvt-0,5



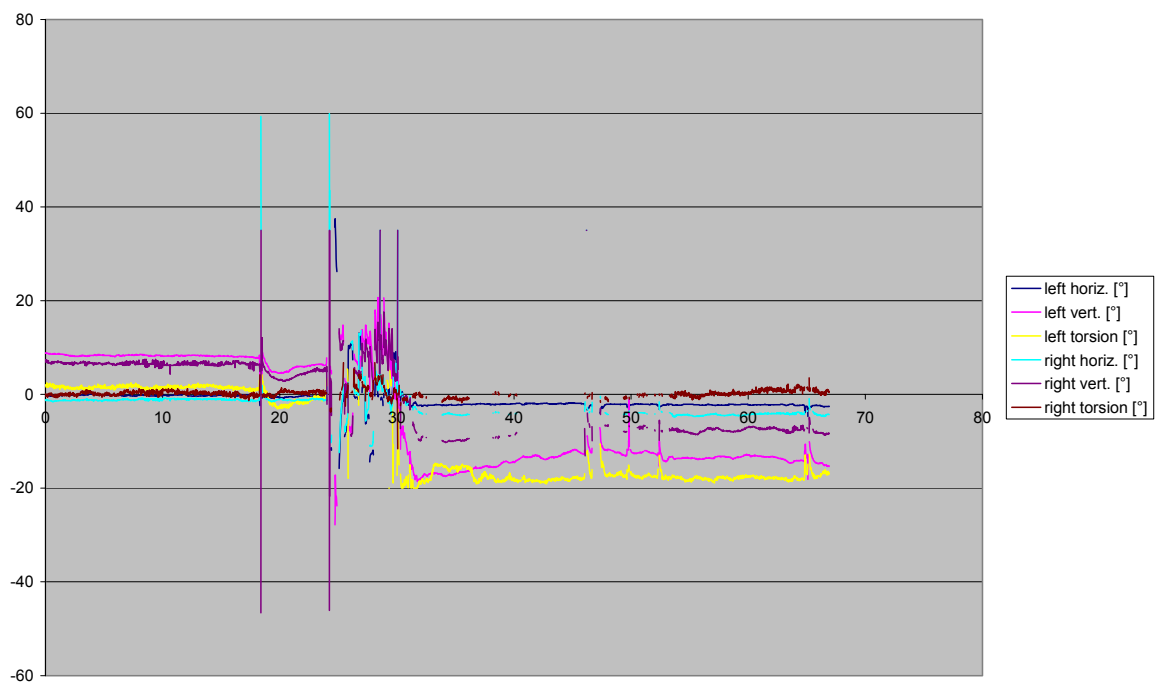
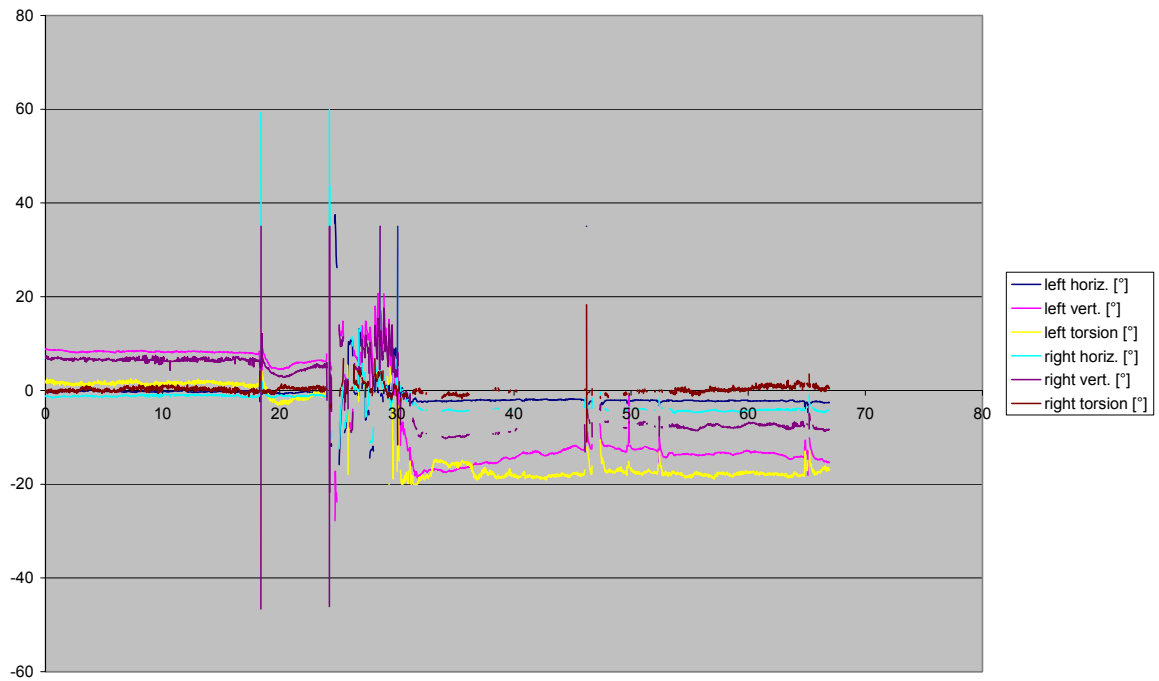
Proband 072-a1-1

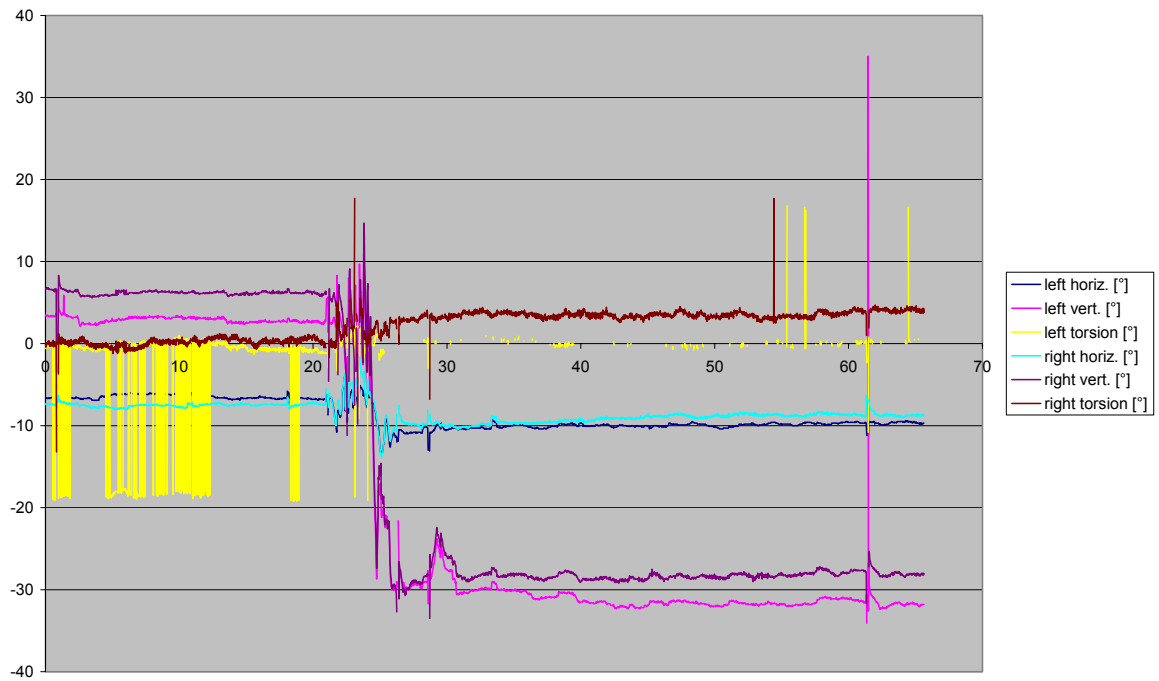


073-1-hvt-0,5

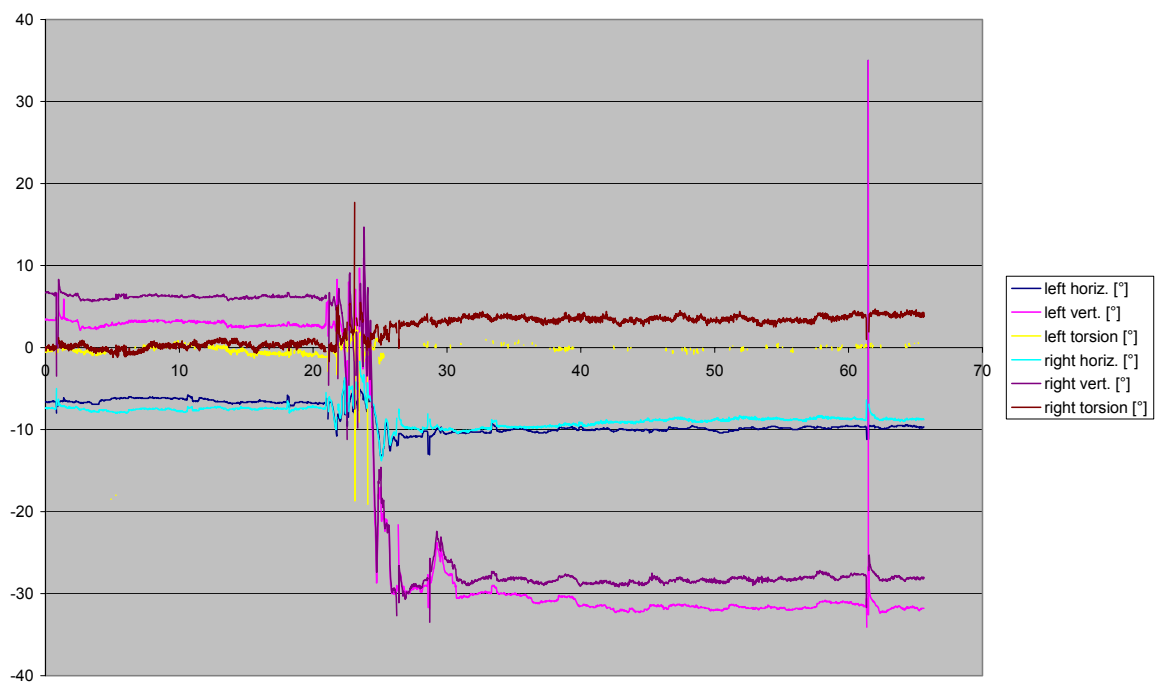


Proband 073-a1-1

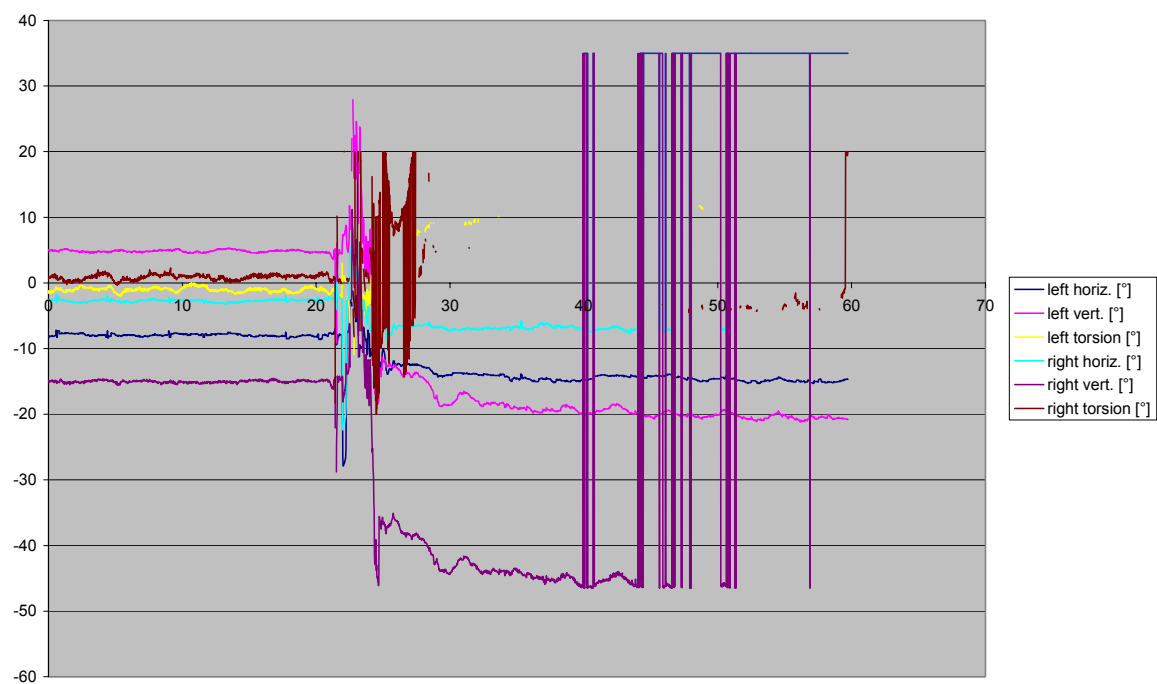




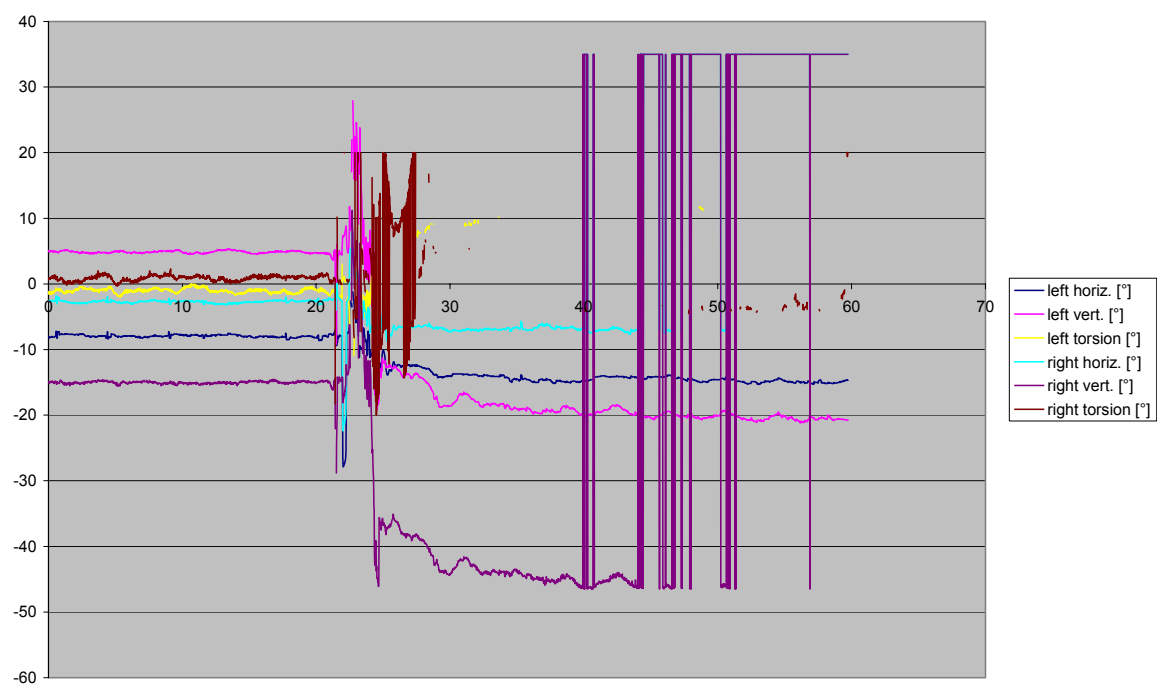
075-1-hvt-0,5



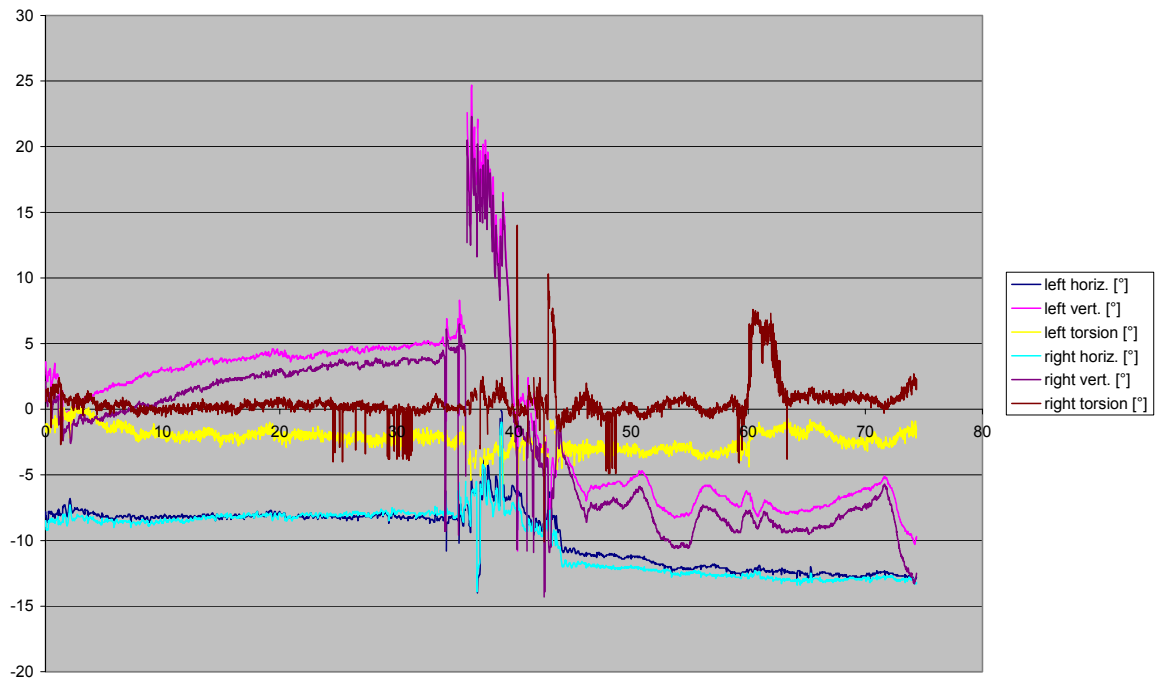
Proband 075-a1-1



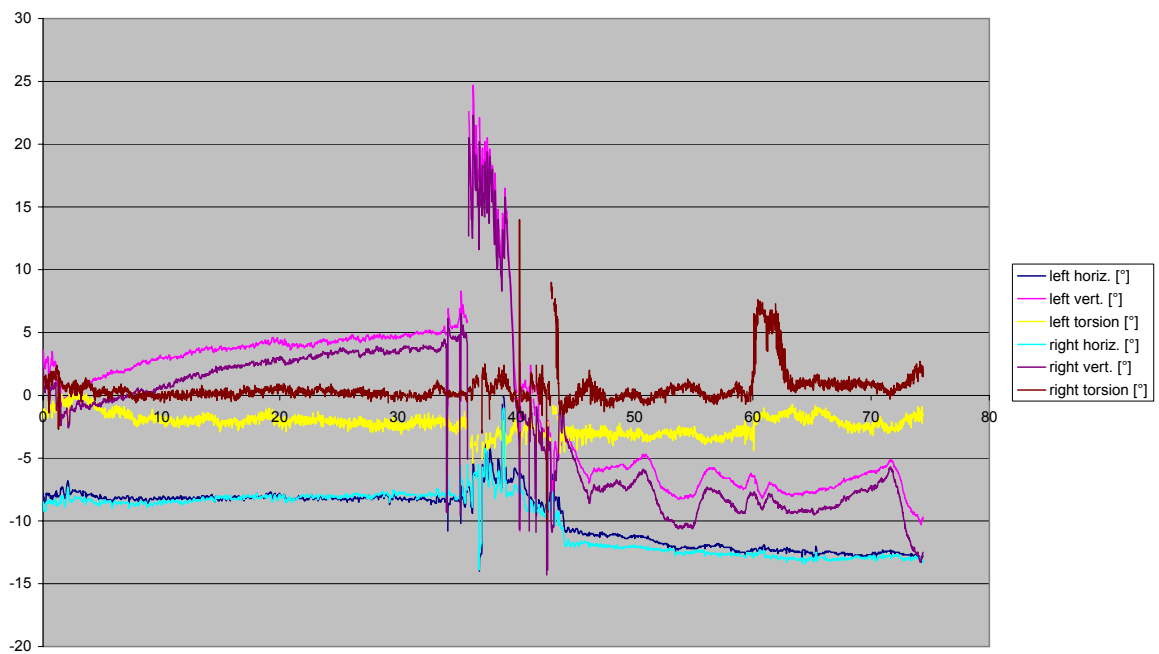
076-1-hvt-0,5



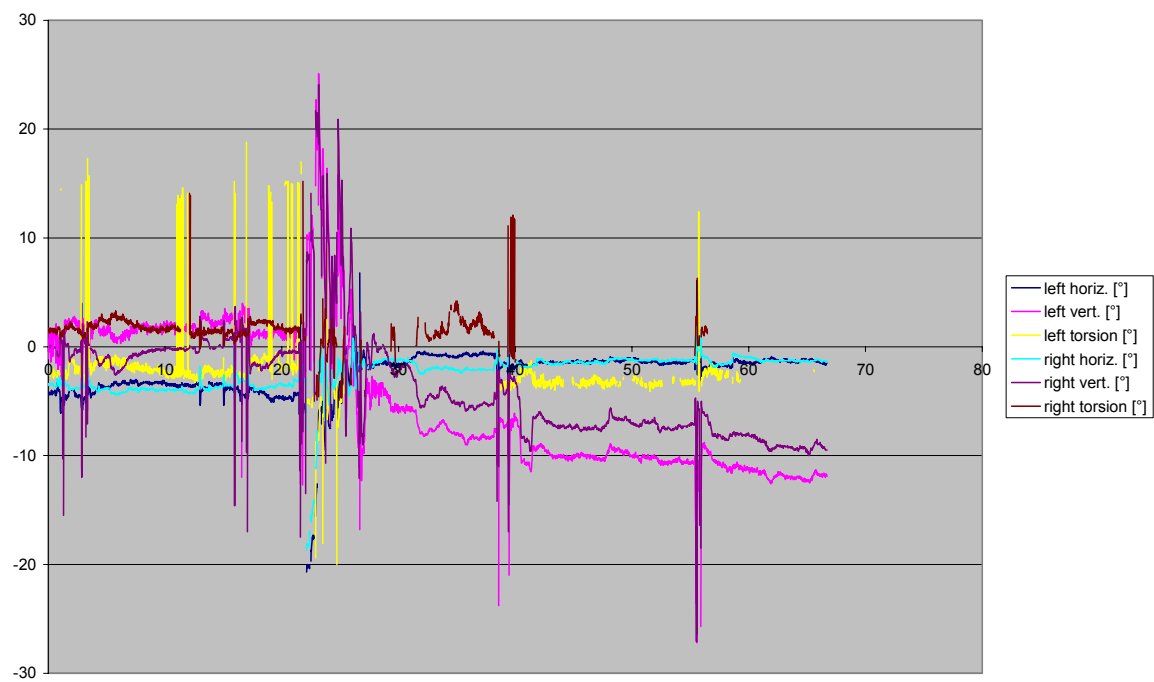
Proband 076-a1-1



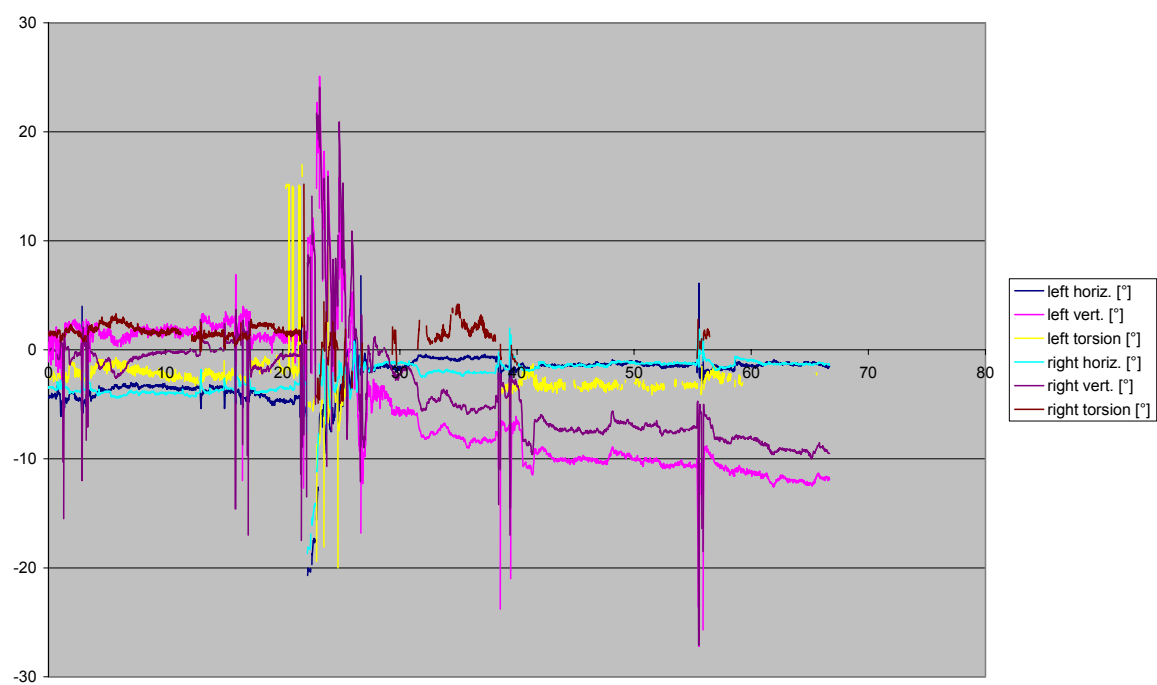
077-1-hvt-0,5



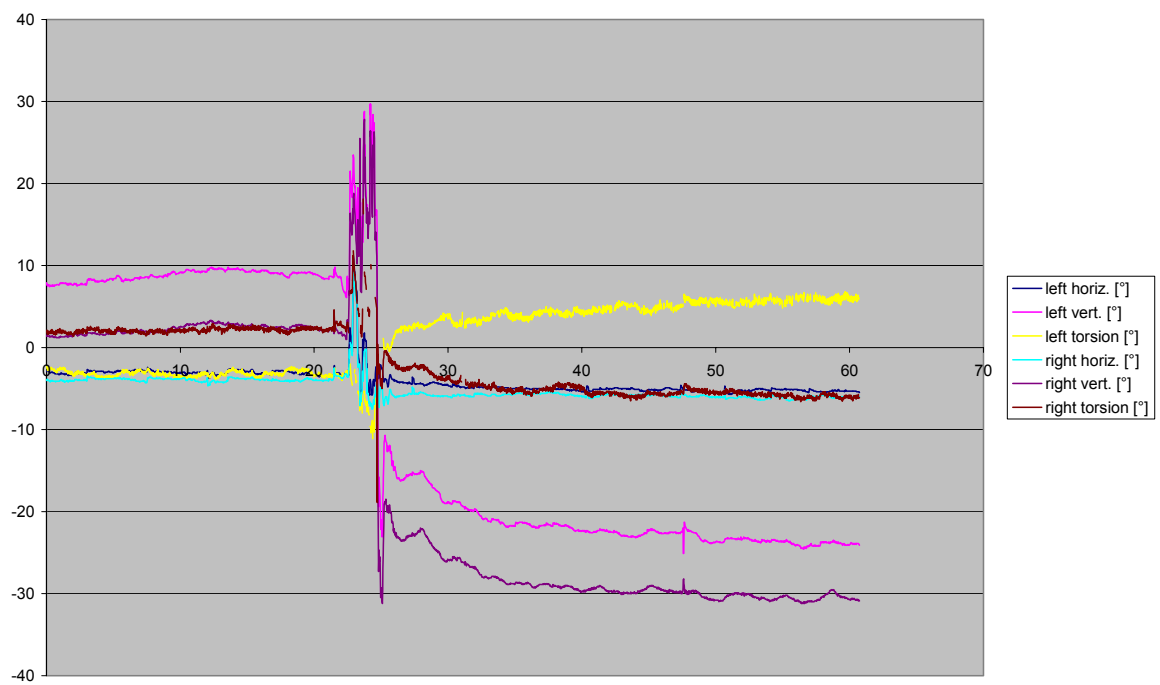
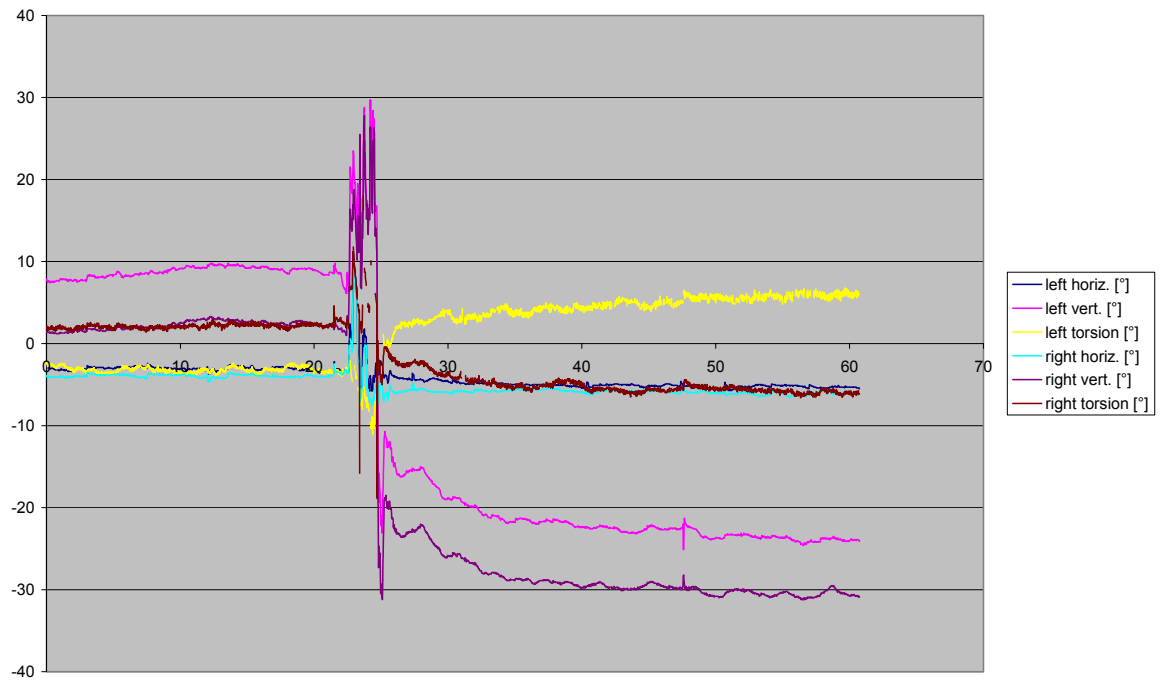
Proband 077-a1-1

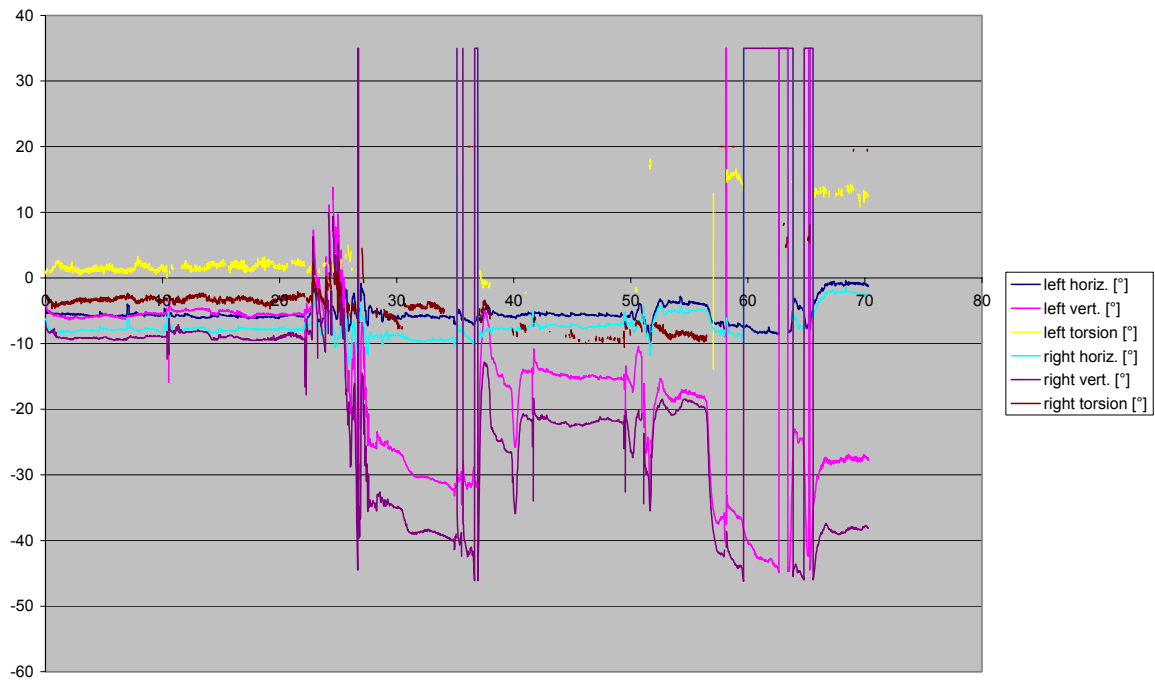


078-1-hvt-0,5

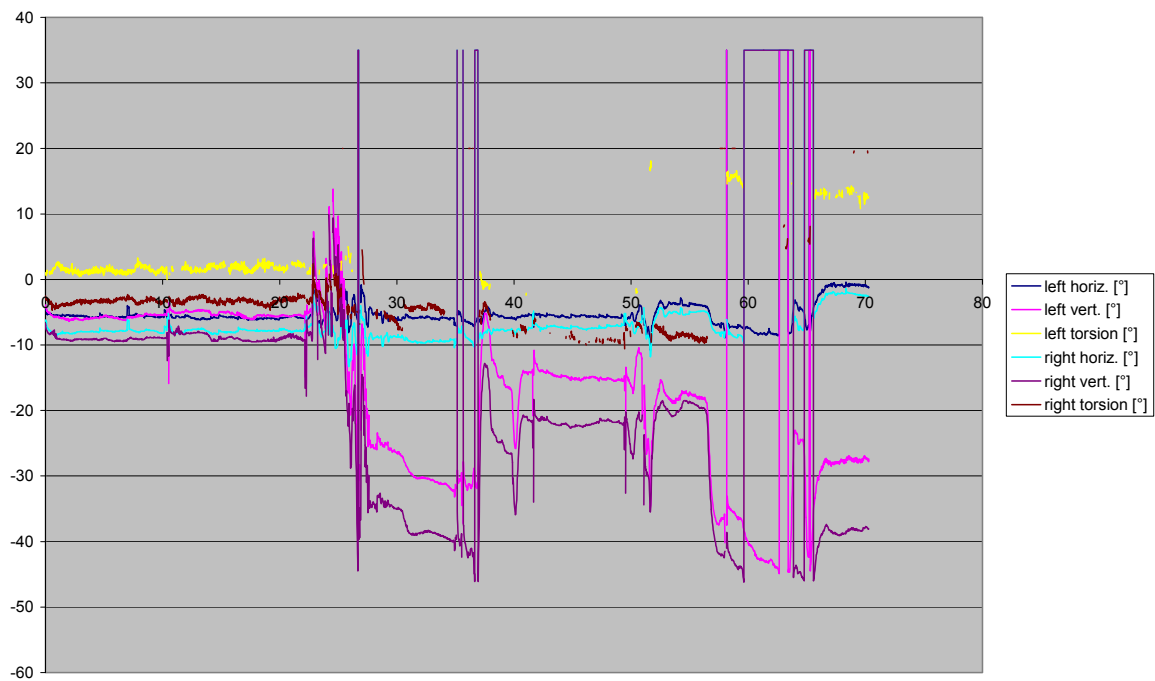


Proband 078-a1-1

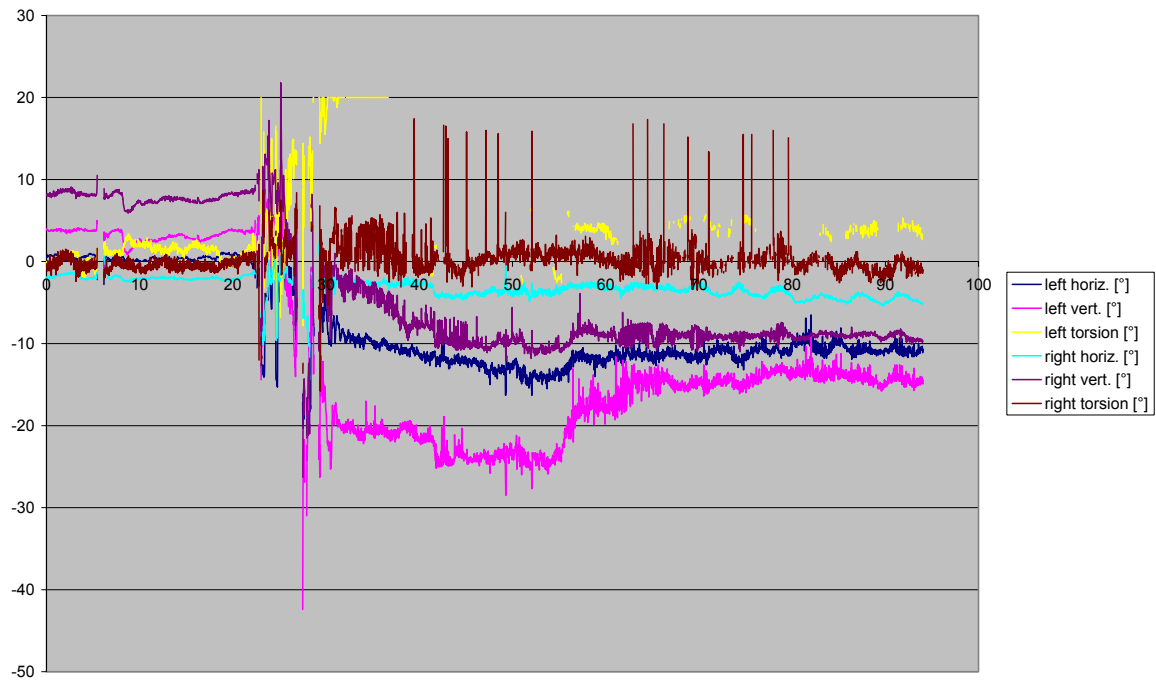




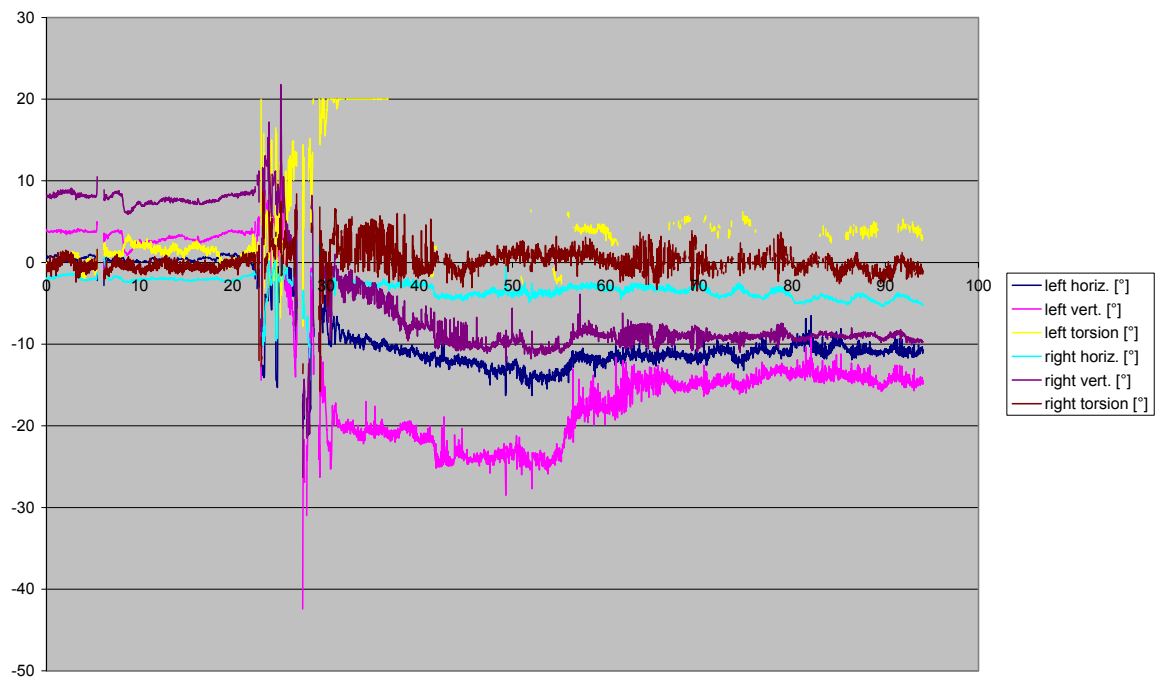
080-1-hvt-0,5



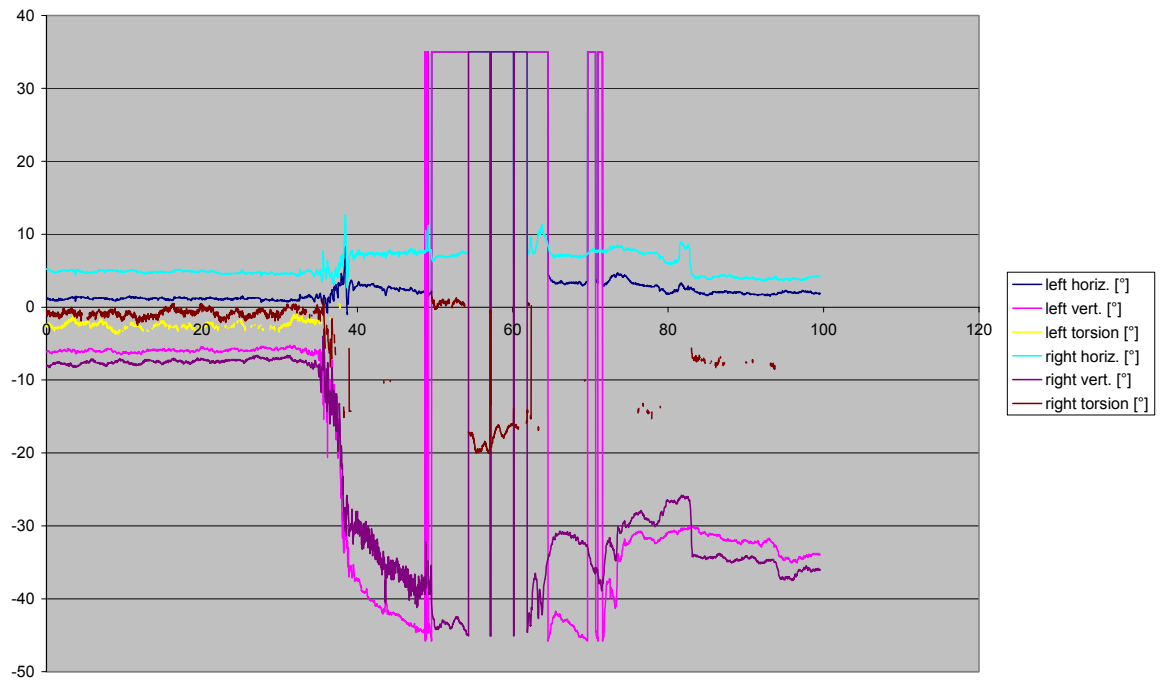
Proband 080-a1-1



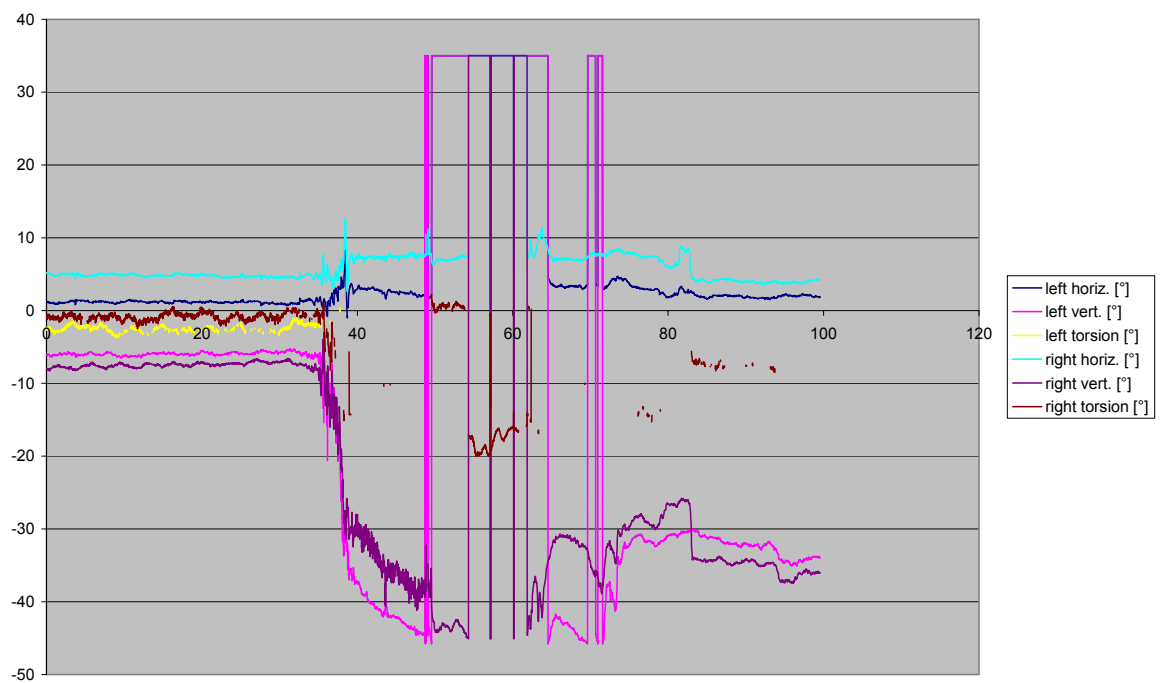
081-1-hvt-0,5



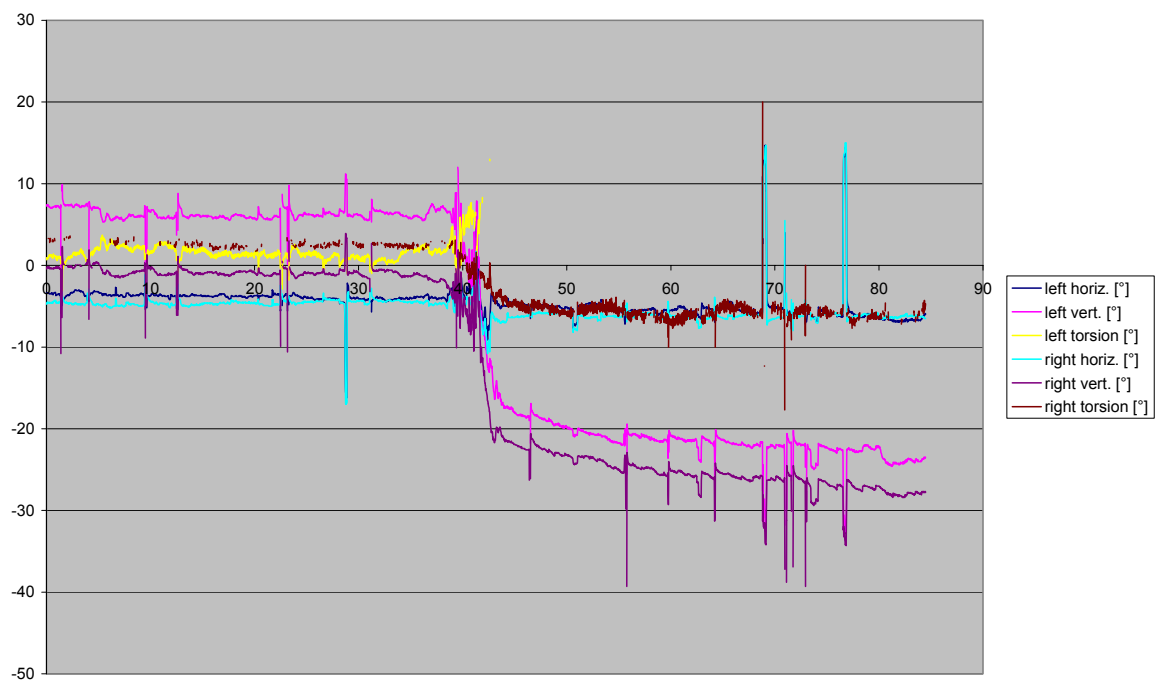
Proband 081-a1-1



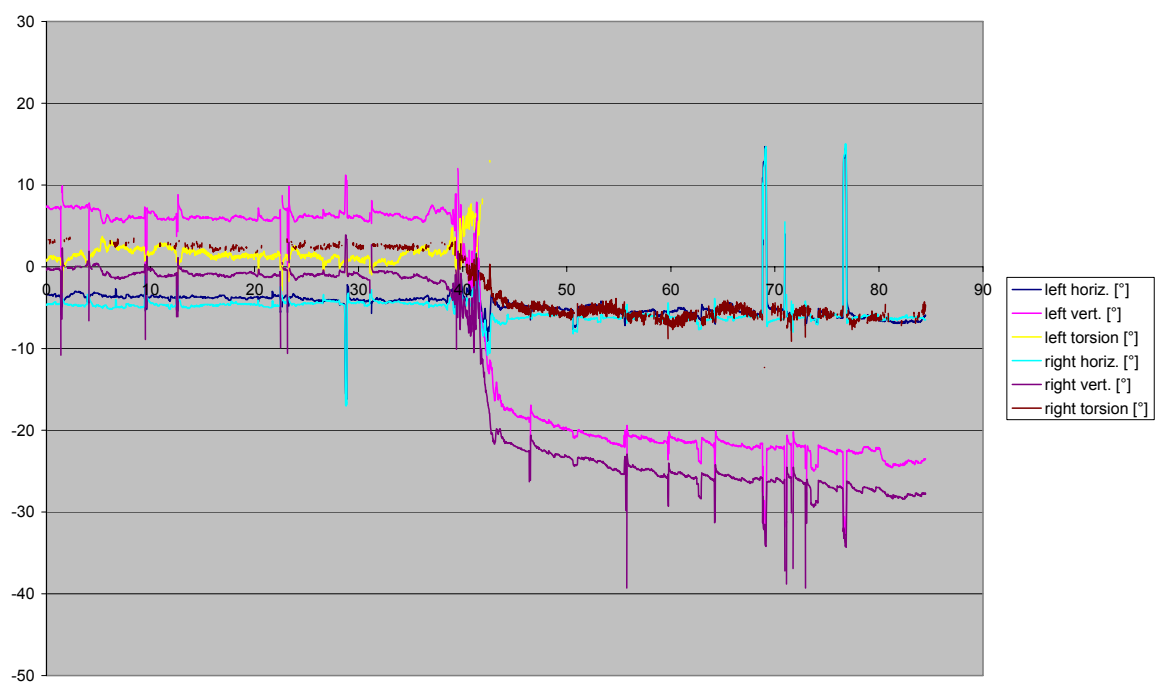
082-1-hvt-0,5



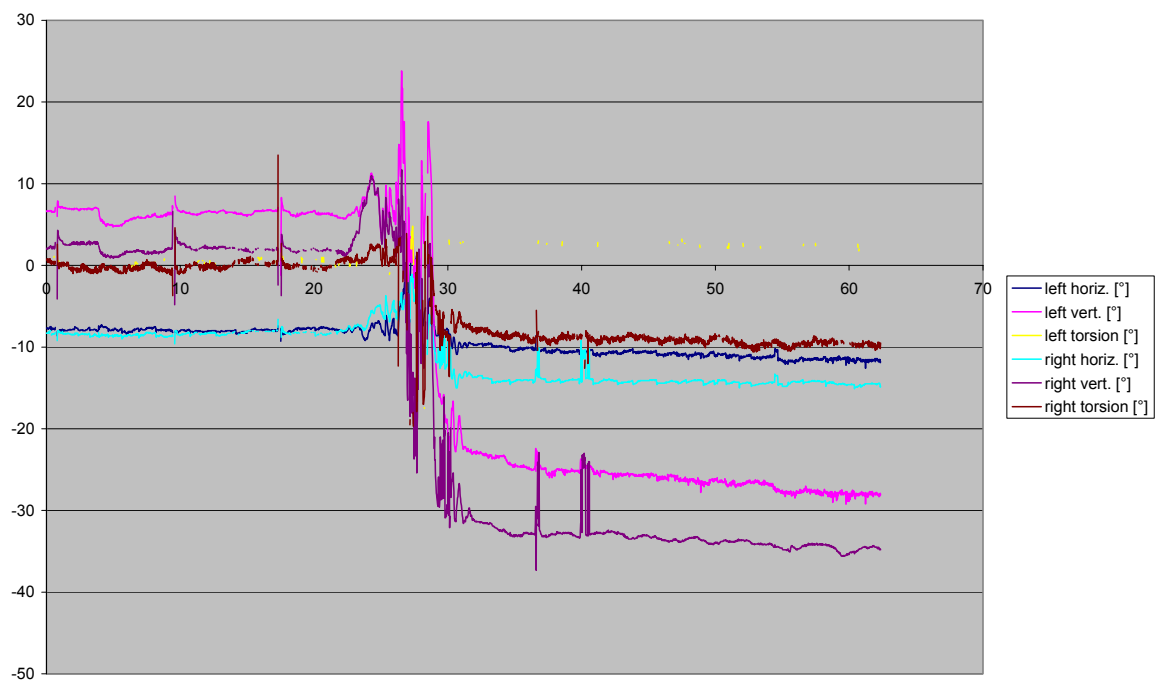
Proband 082-a1-1



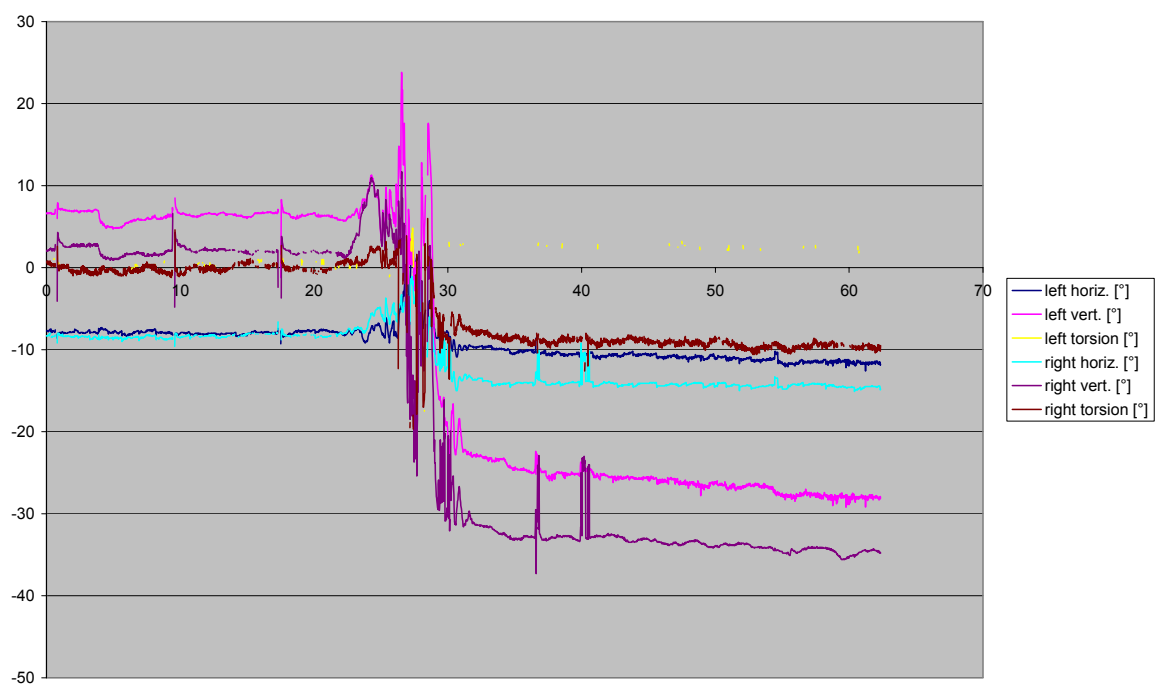
083-1-hvt-0,5



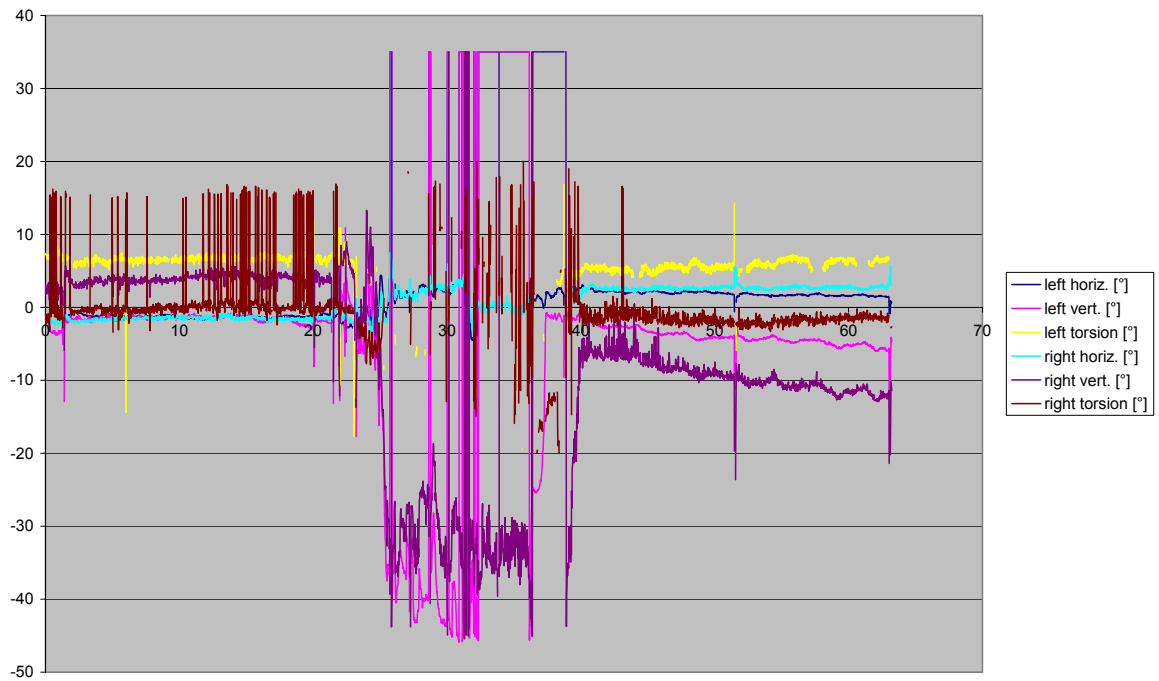
Proband 083-a1-1



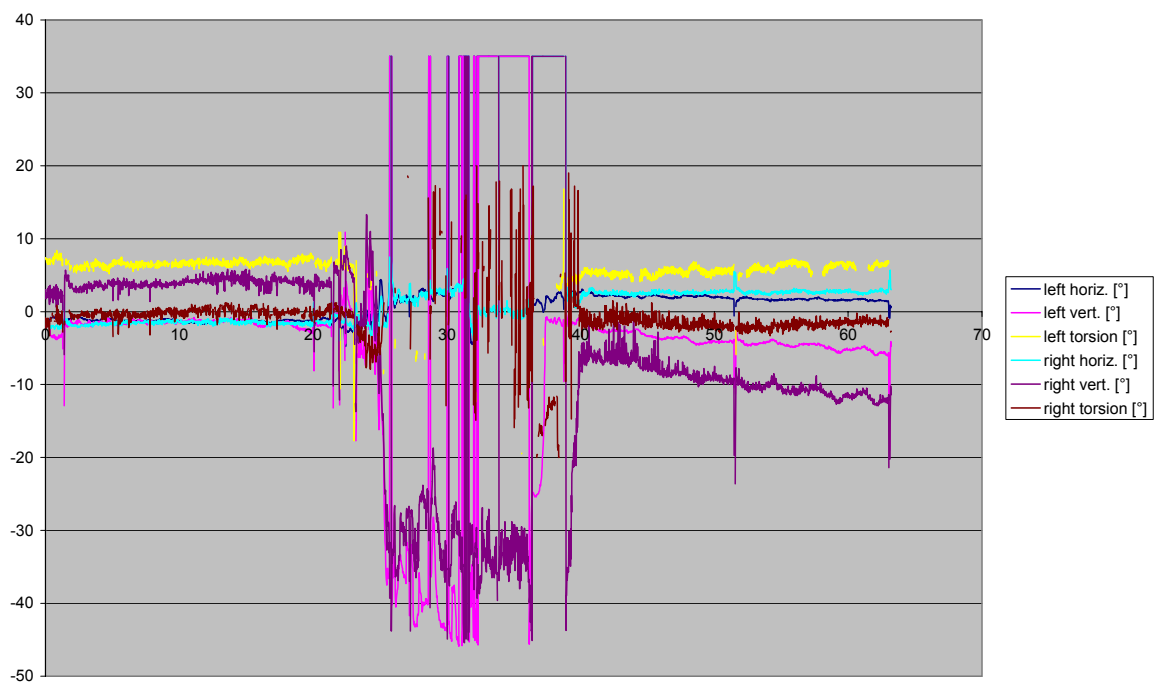
084-1-hvt-0,5



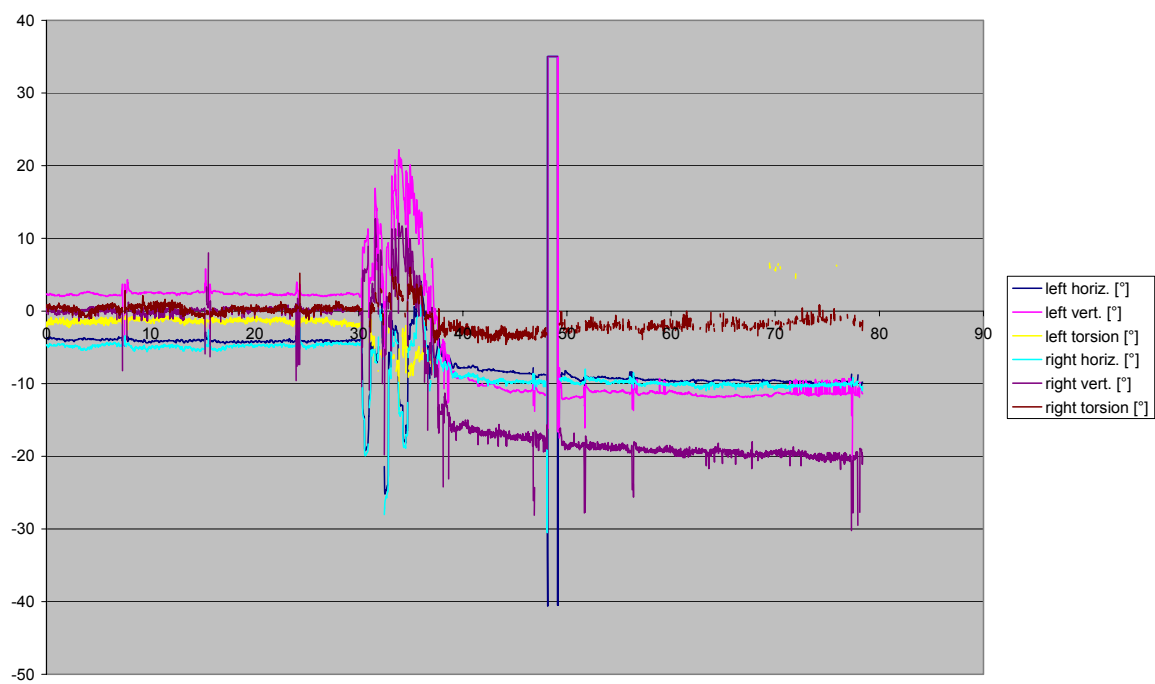
Proband 084-a1-1



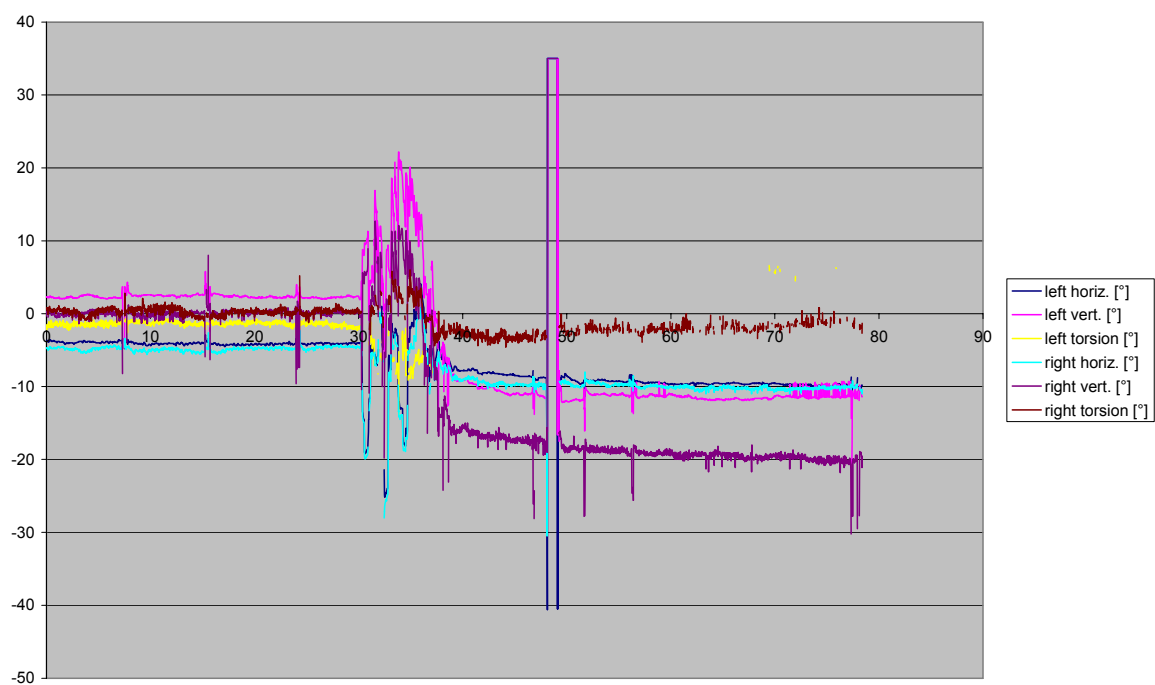
085-1-hvt-0,5



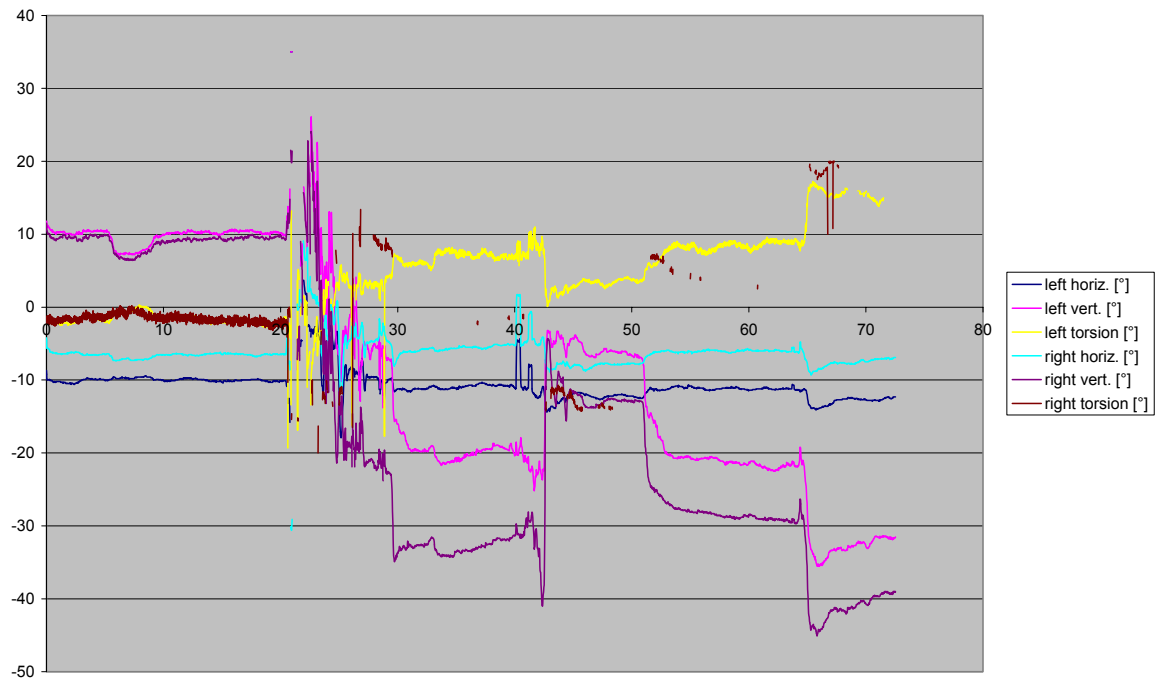
Proband 085-a1-1



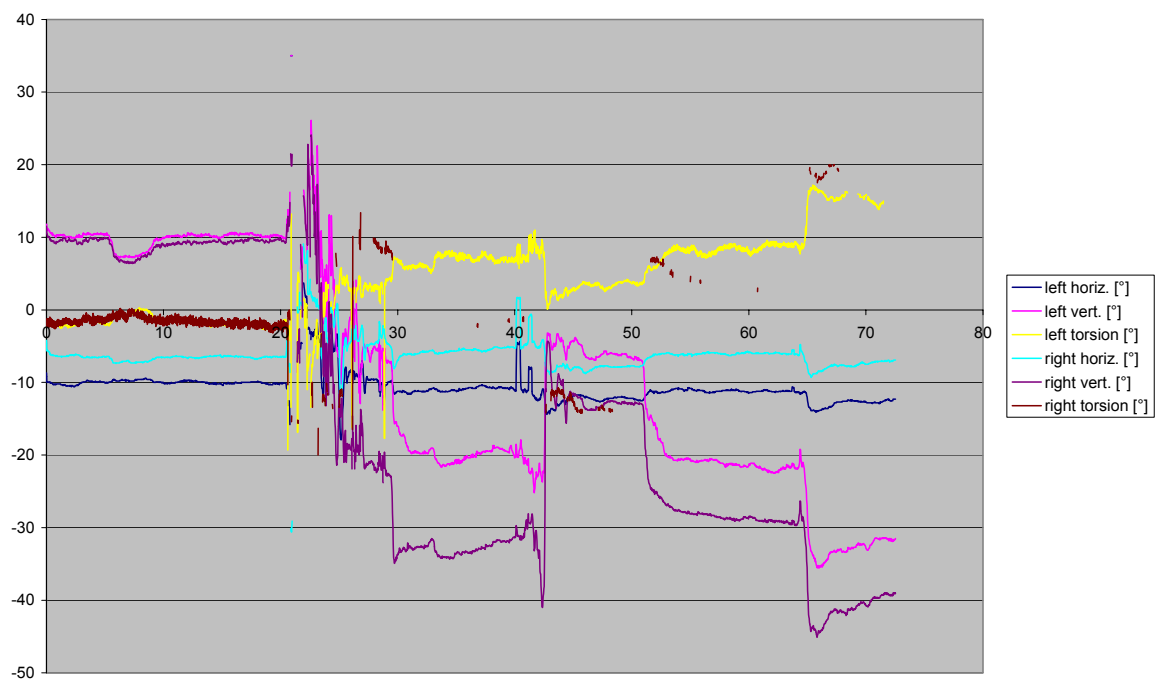
086-1-hvt-0,5



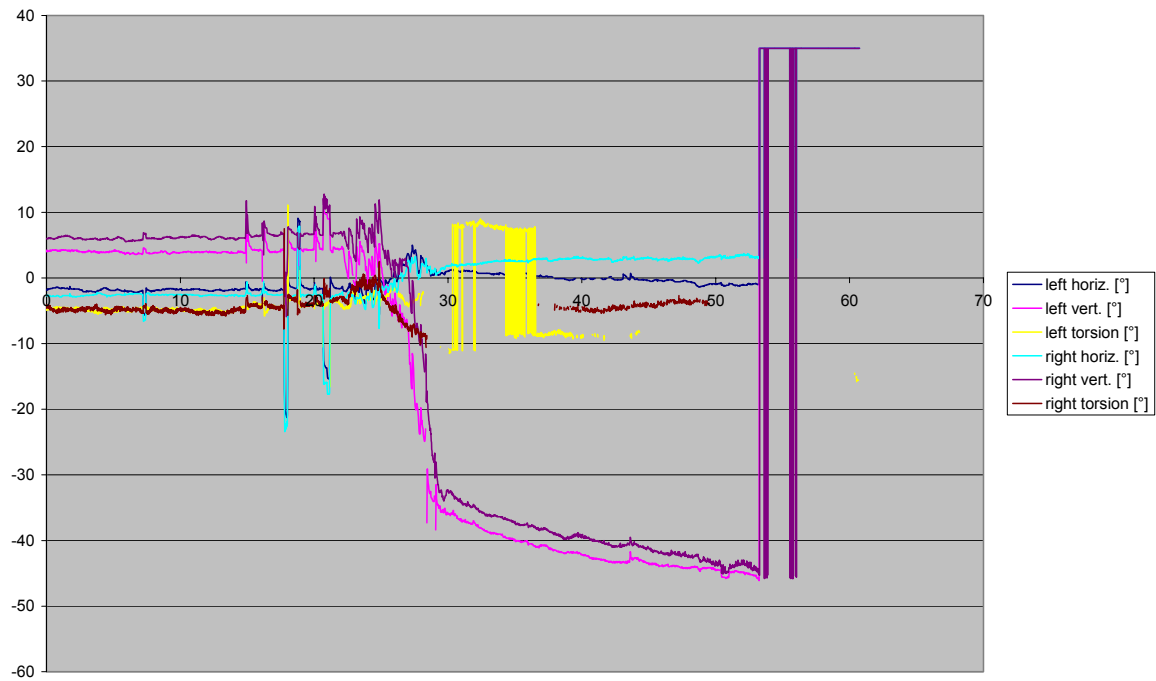
Proband 086-a1-1



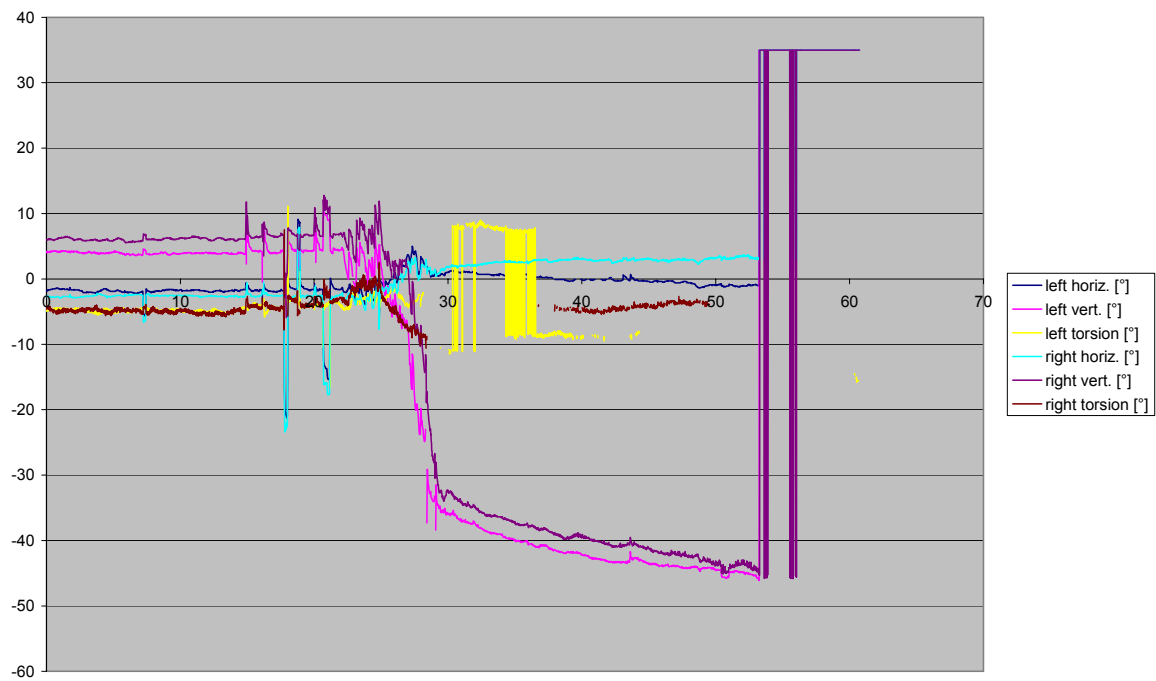
087-1-hvt-0,5



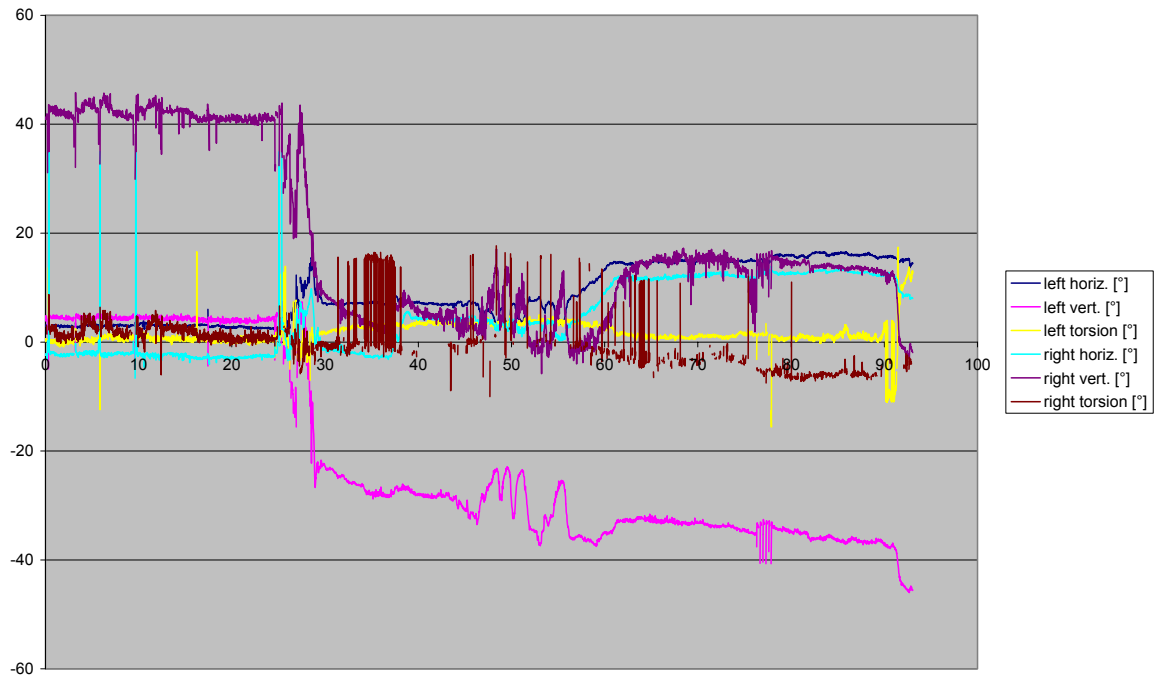
Proband 087-a1-1



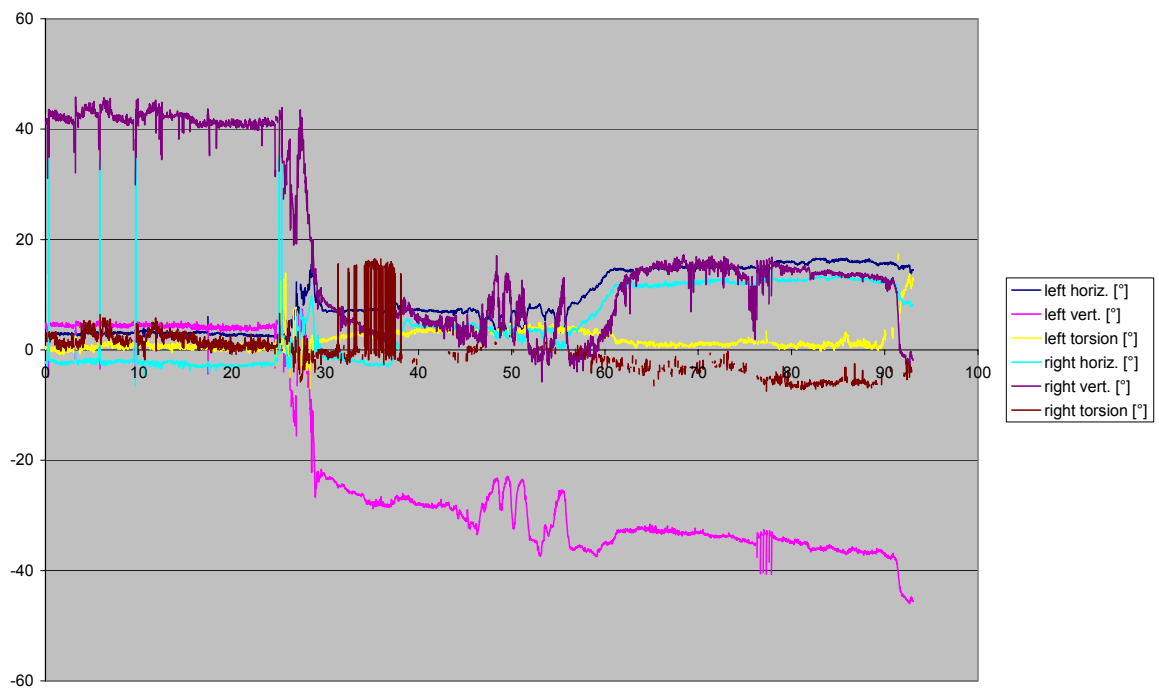
088-1-hvt-0,5



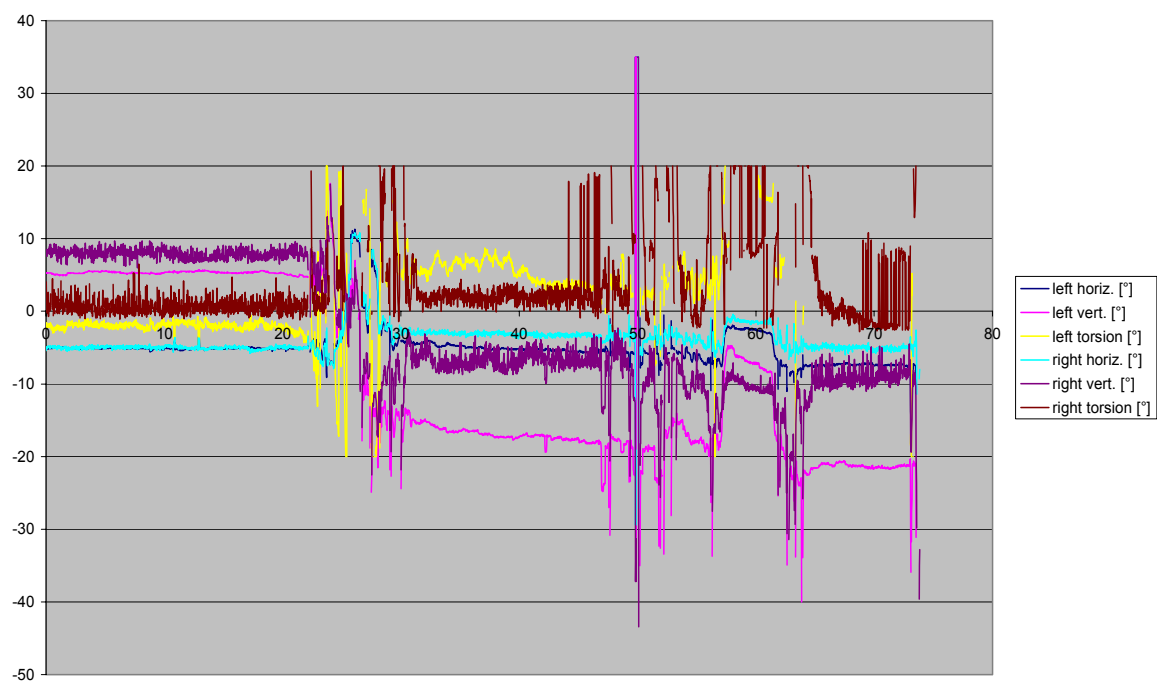
Proband 088-a1-1



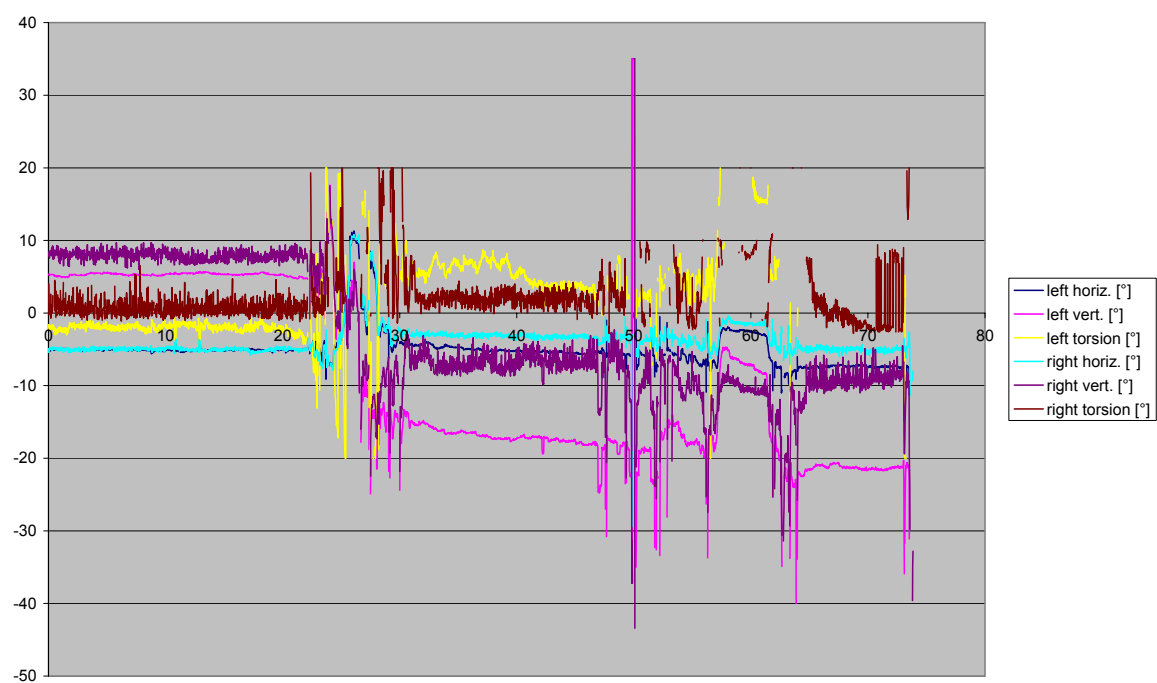
089-1-hvt-0,5



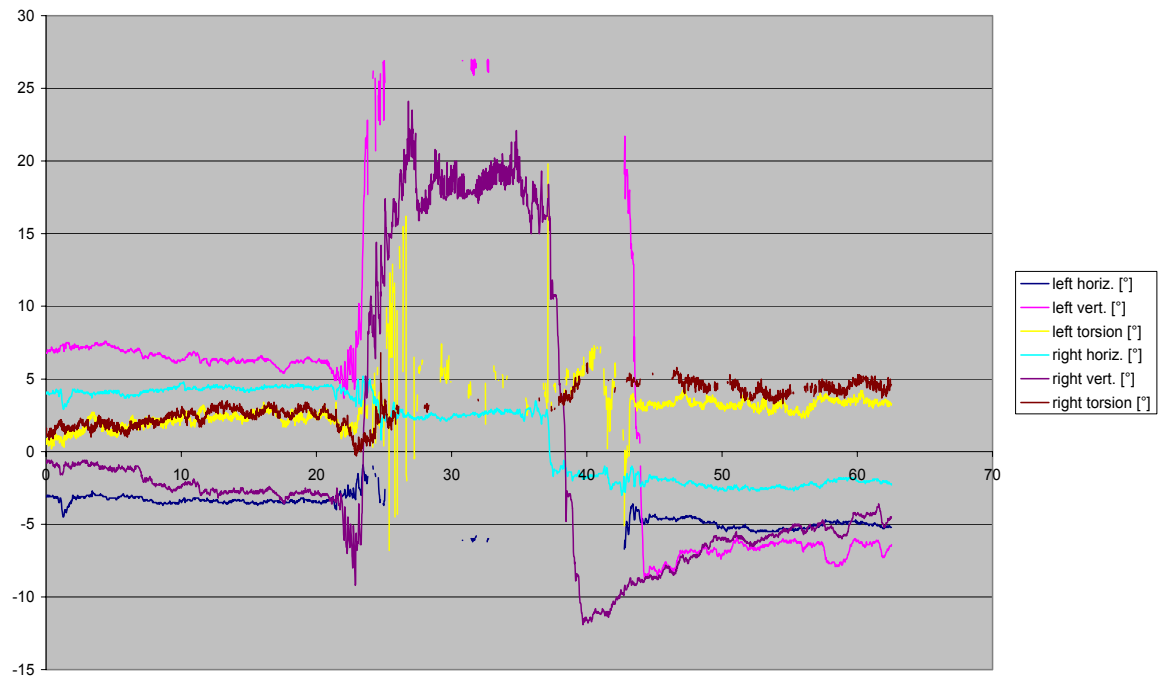
Proband 089-a1-1



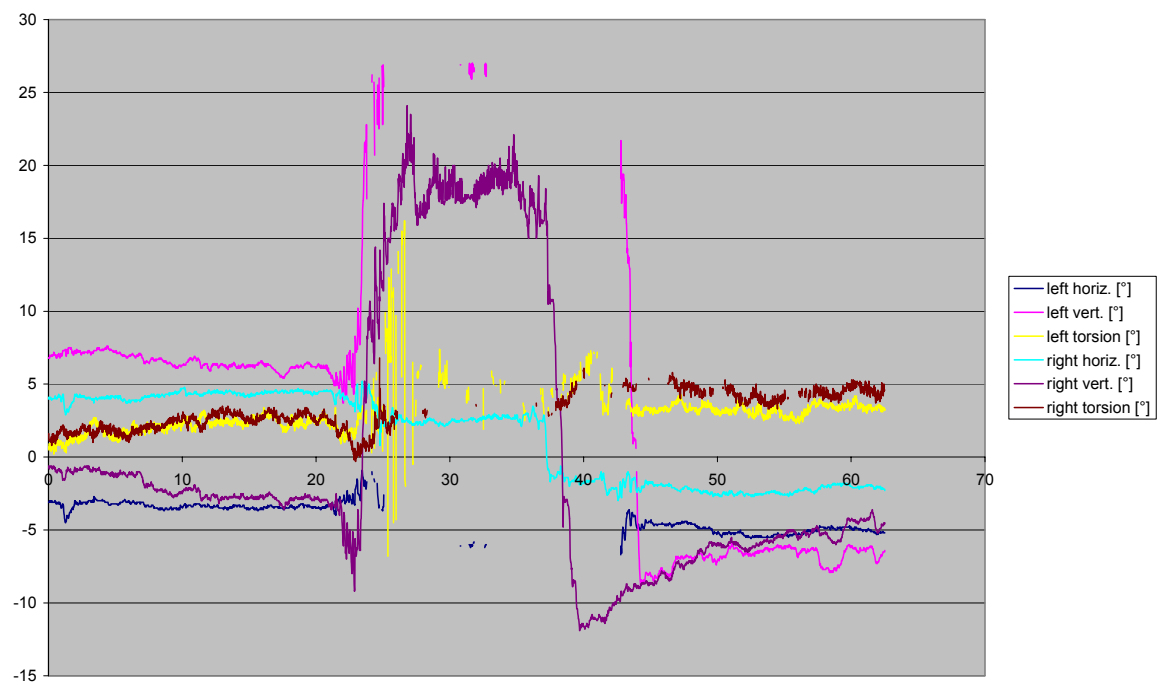
090-1-hvt-0,5



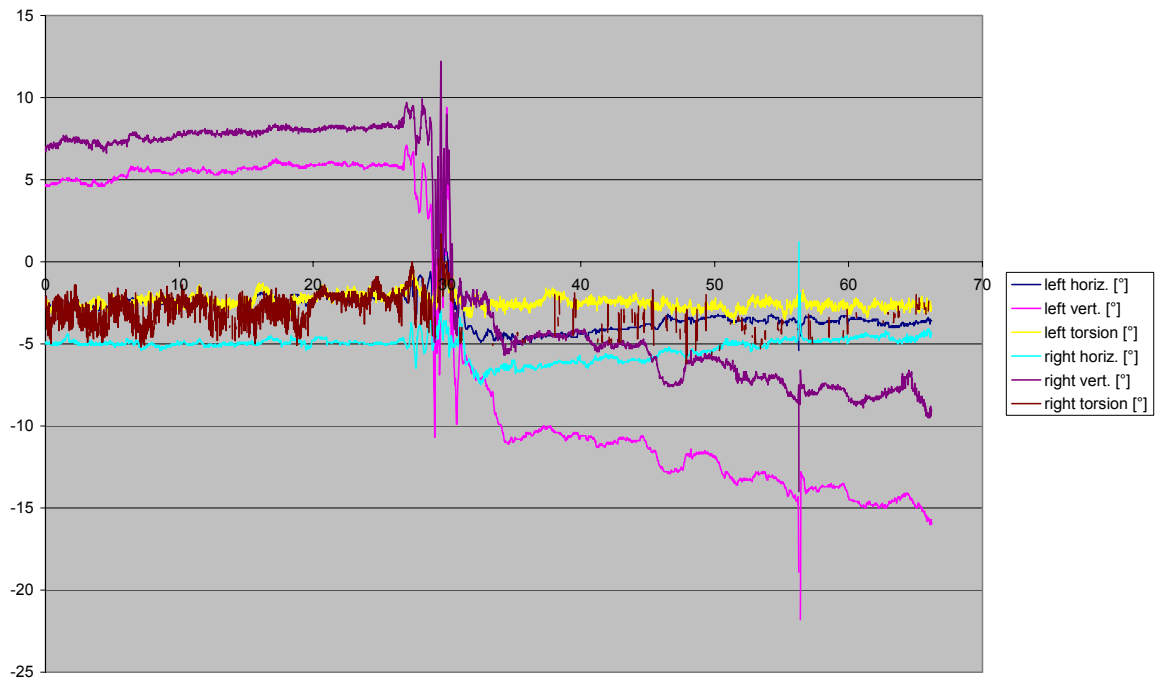
Proband 090-a1-1



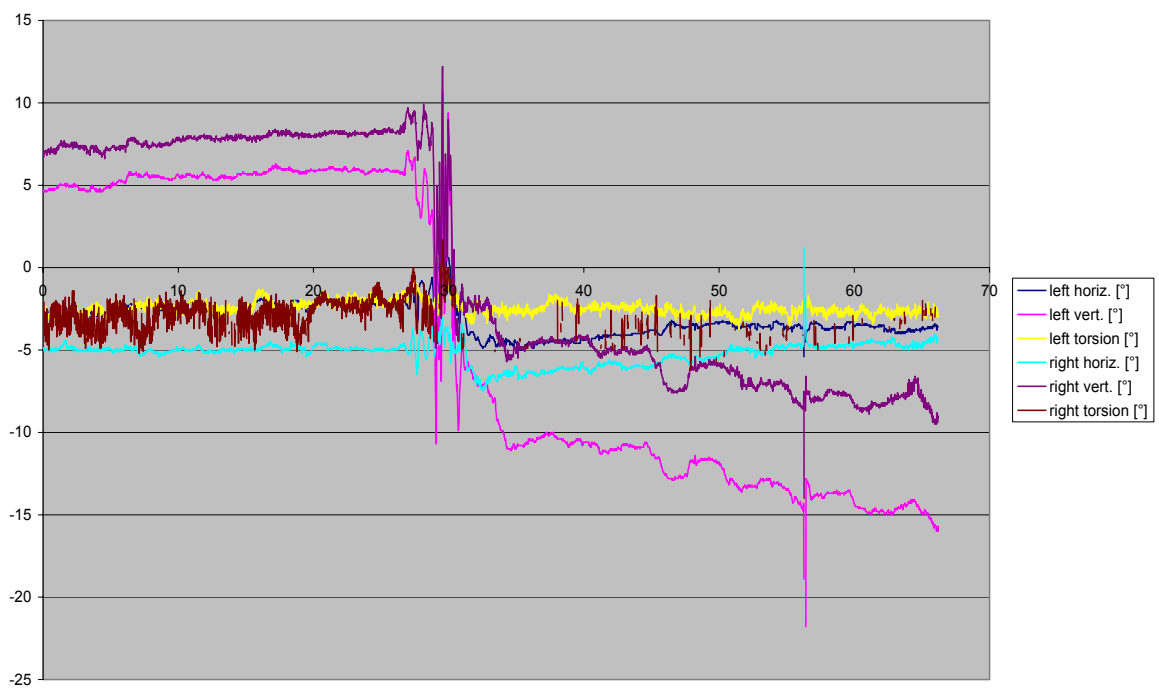
091-1-hvt-0,5



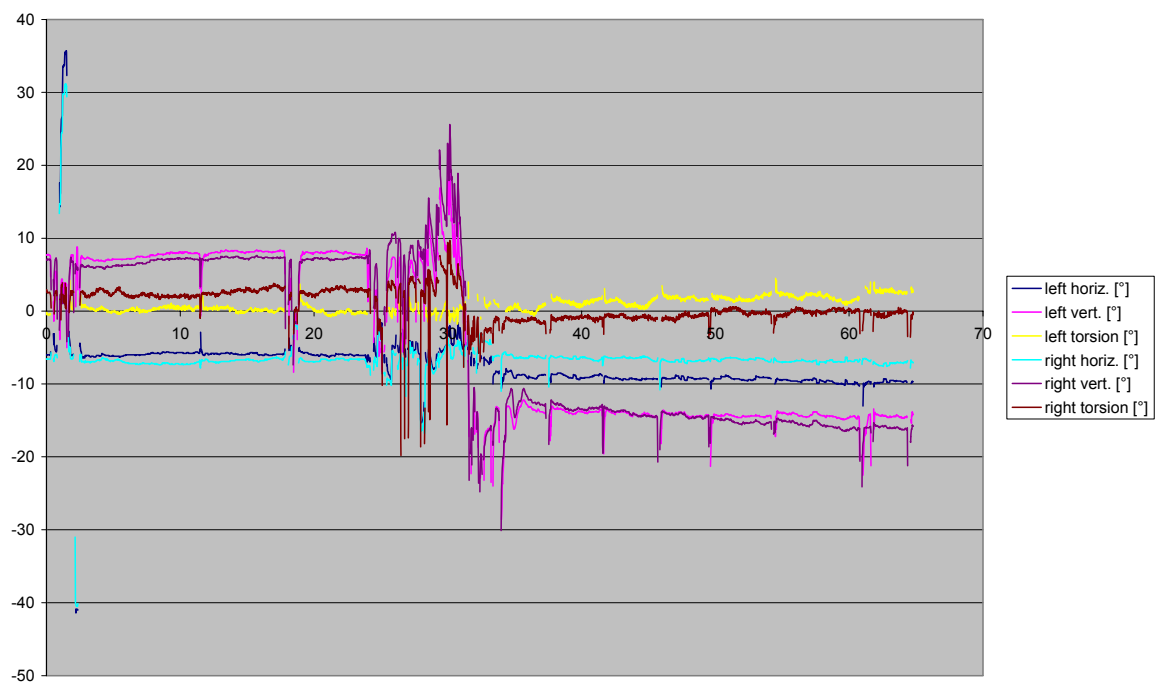
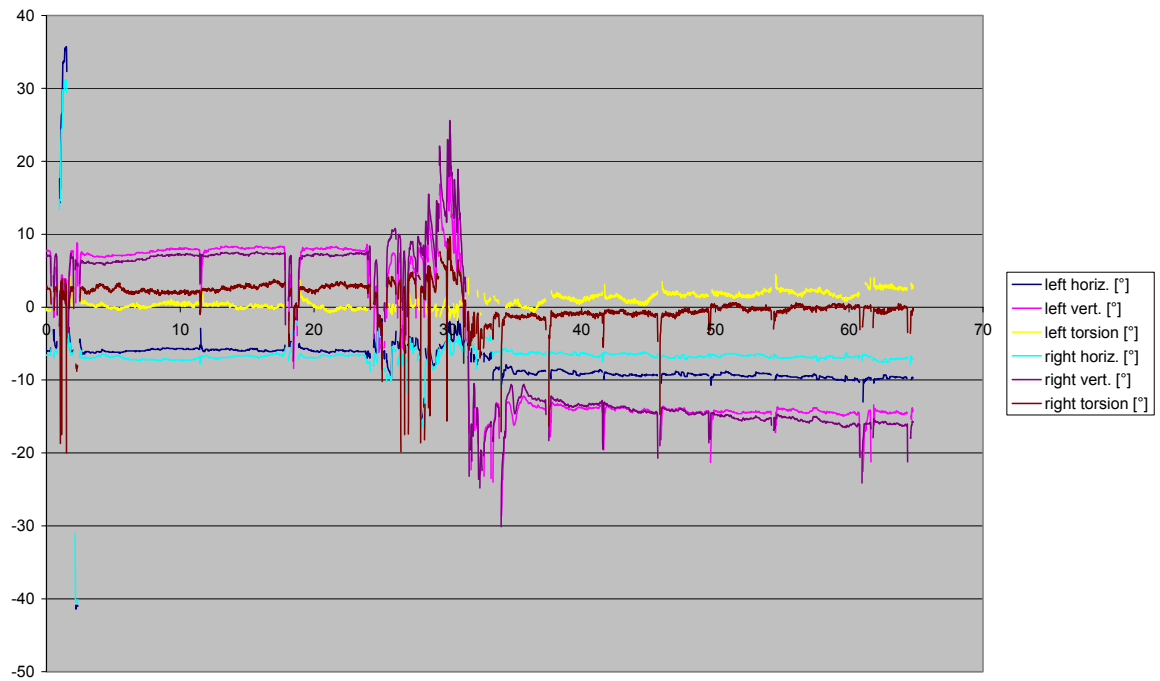
Proband 091-a1-1

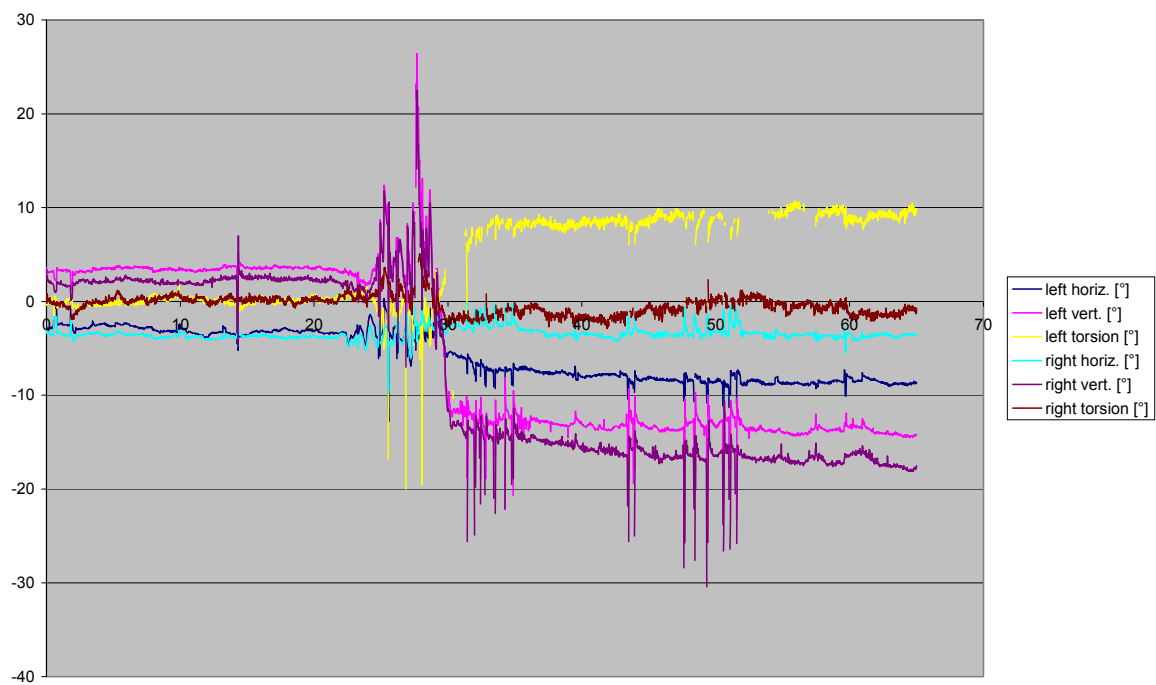
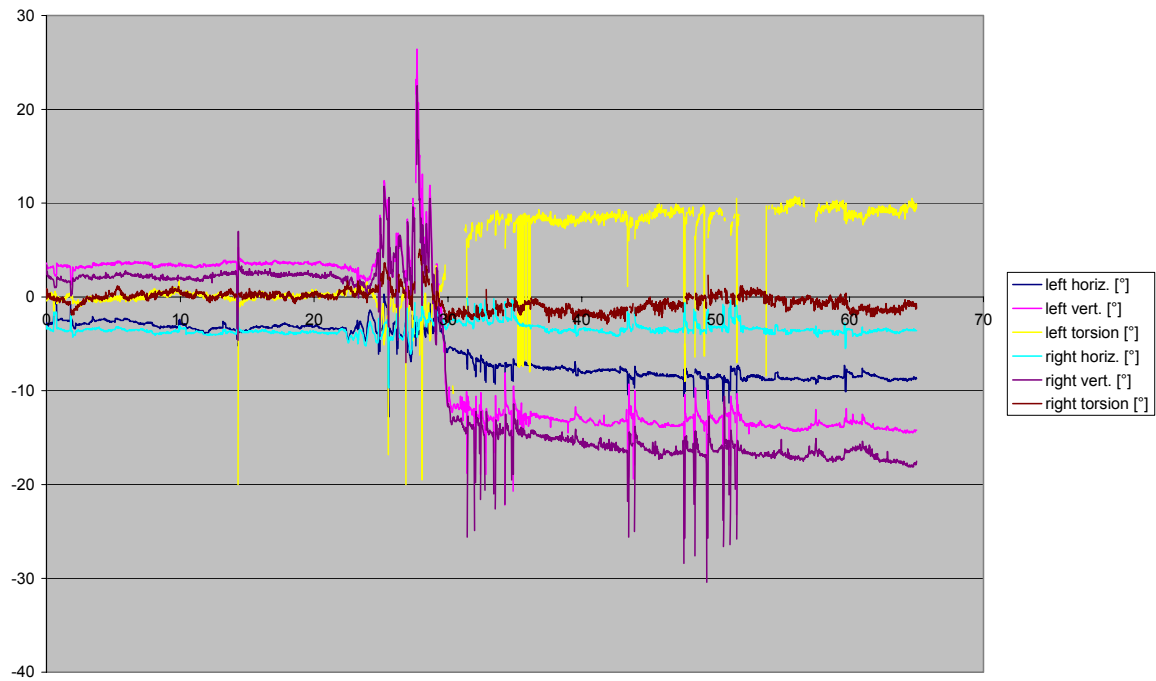


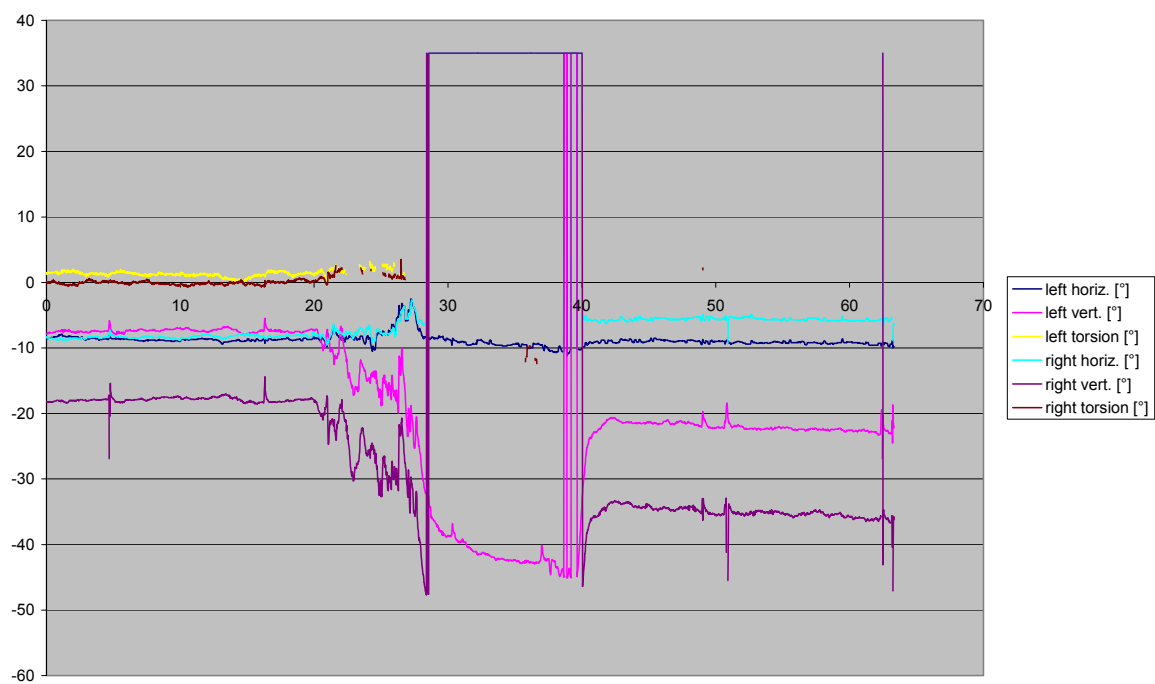
092-1-hvt-0,5



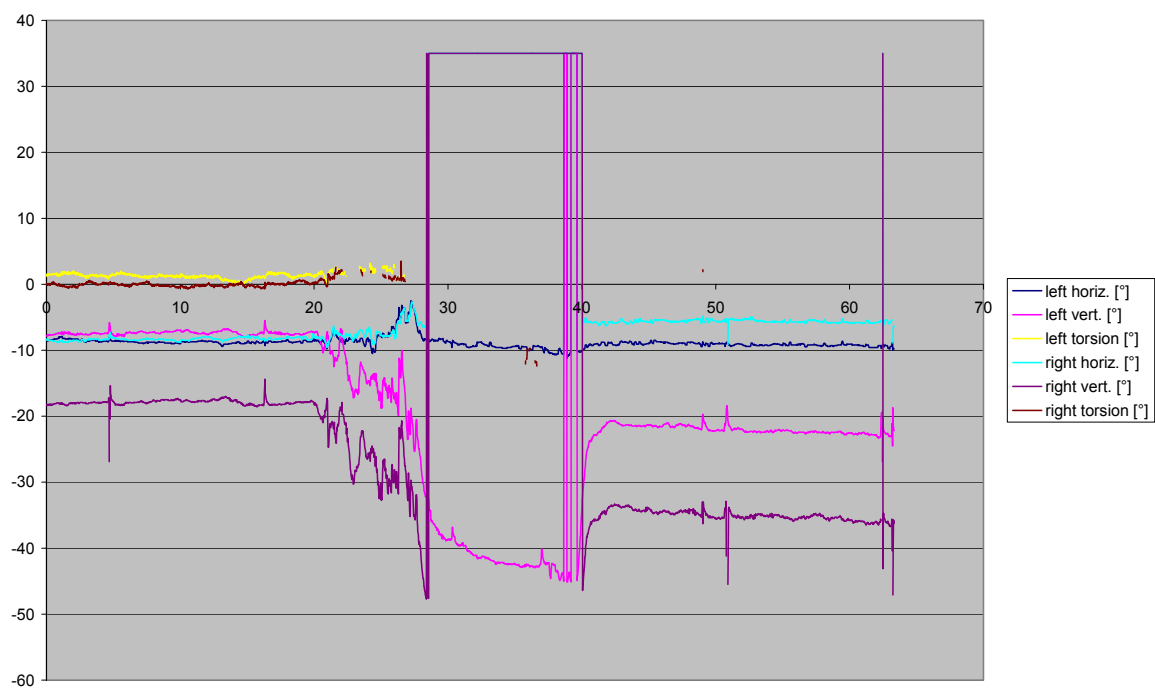
Proband 092-a1-1



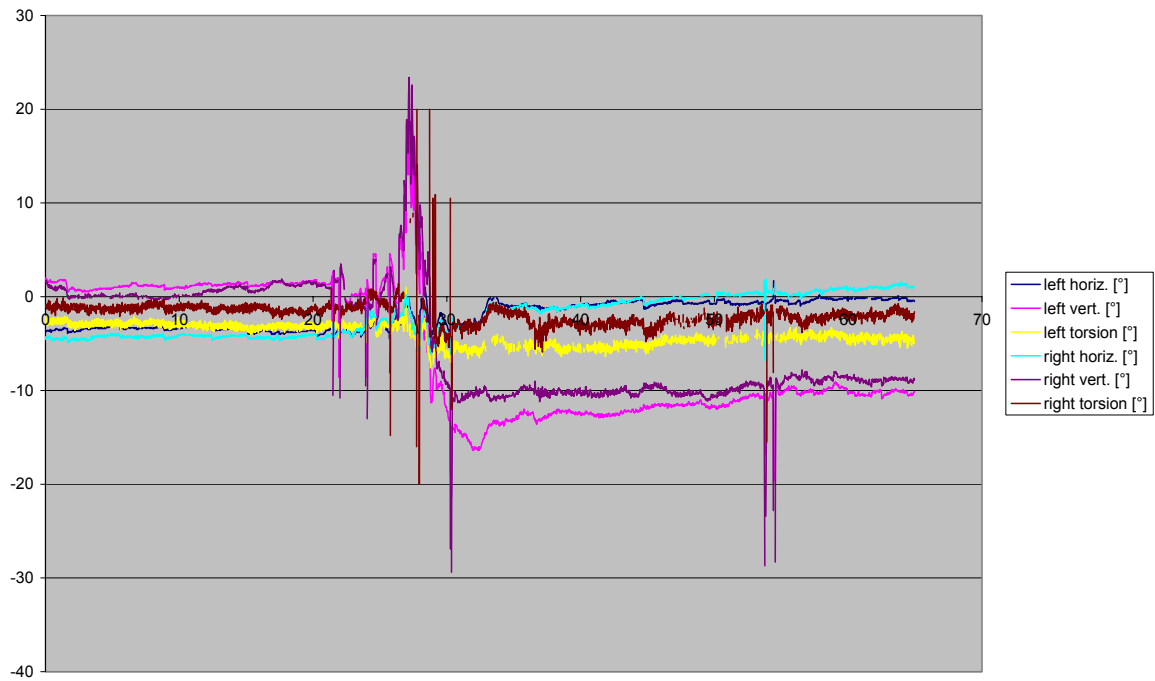




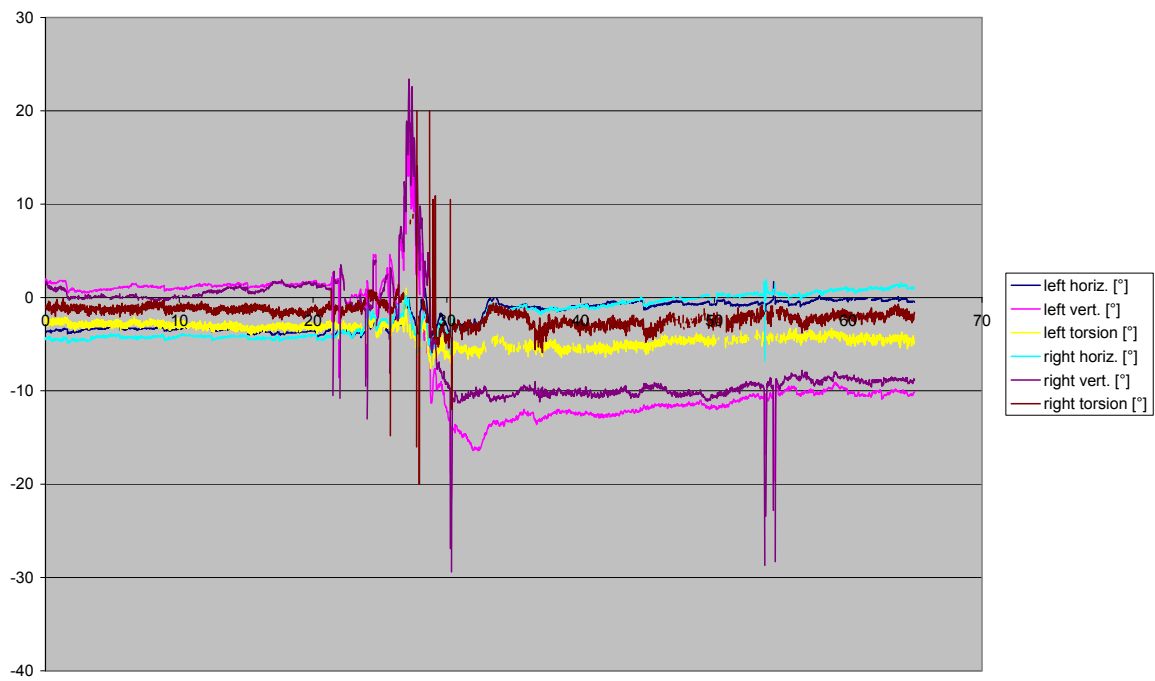
095-1-hvt-0,5



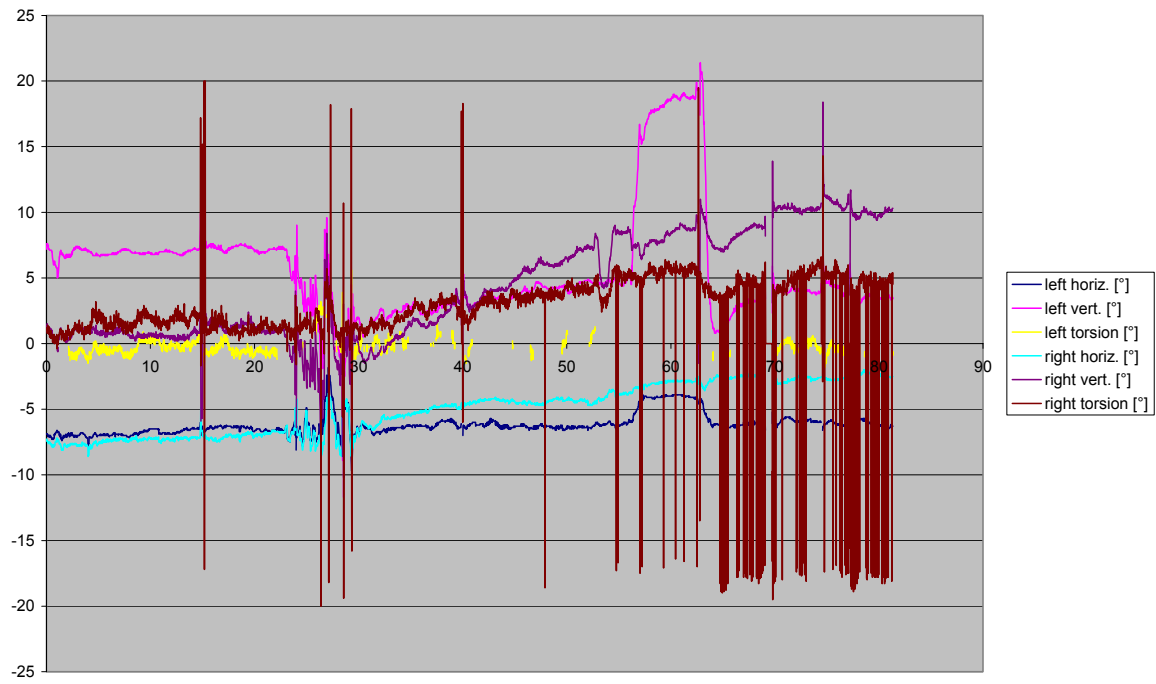
Proband 095-a1-1



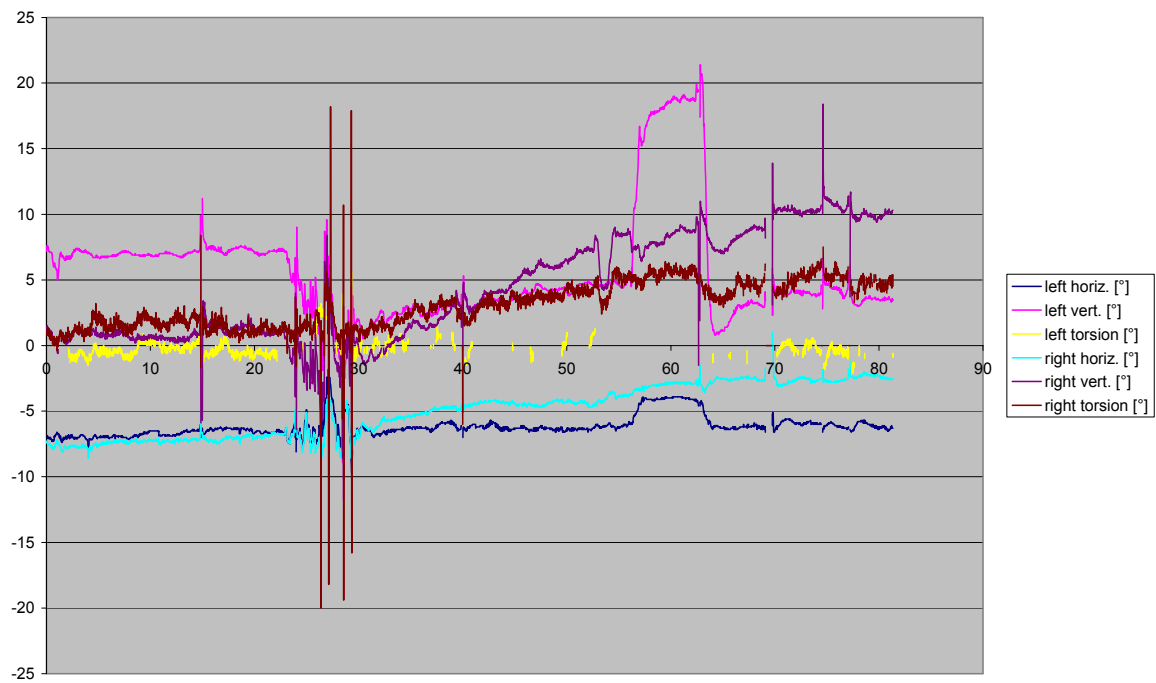
096-1-hvt-0,5



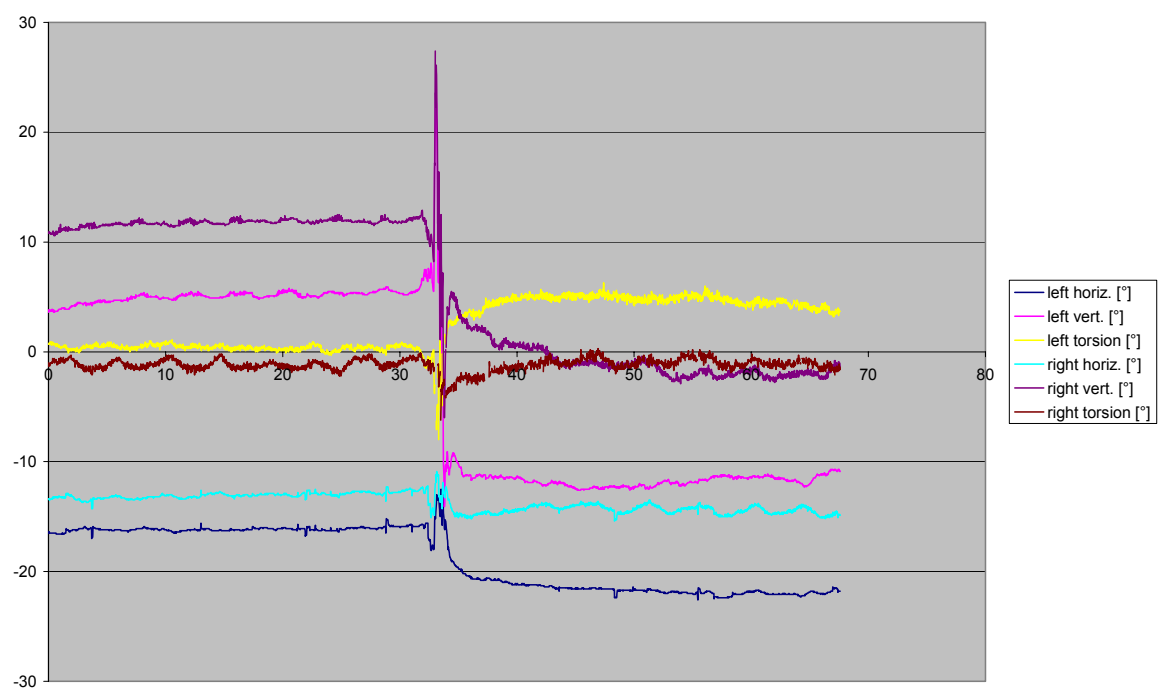
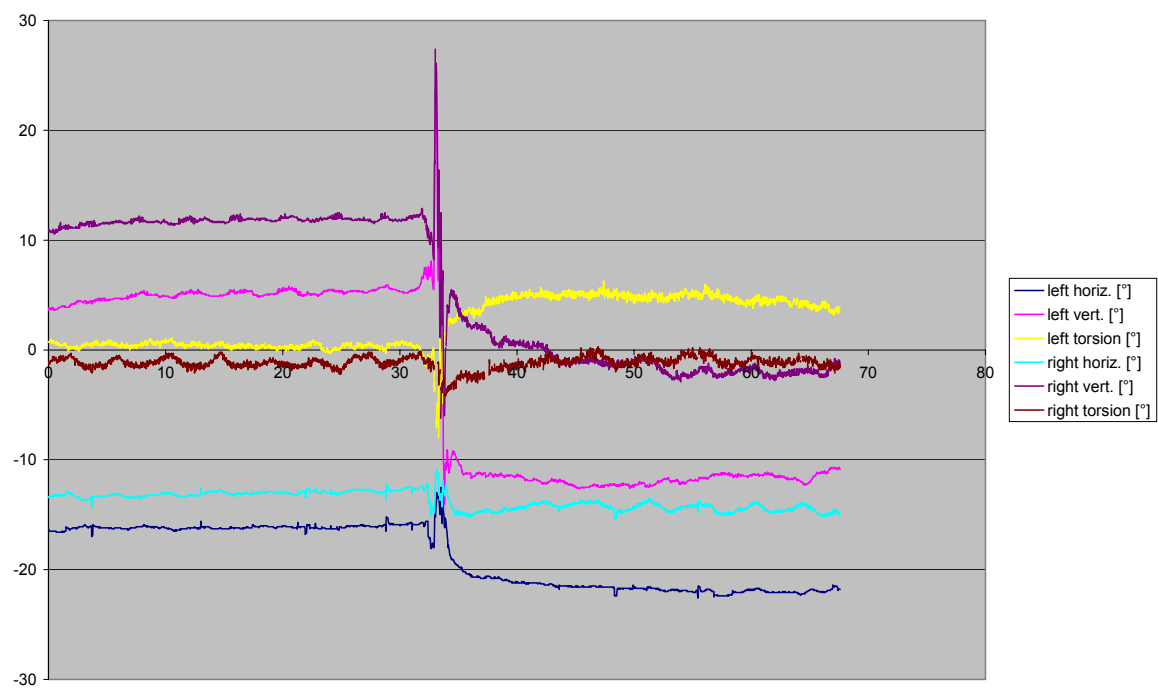
Proband 096-a1-1

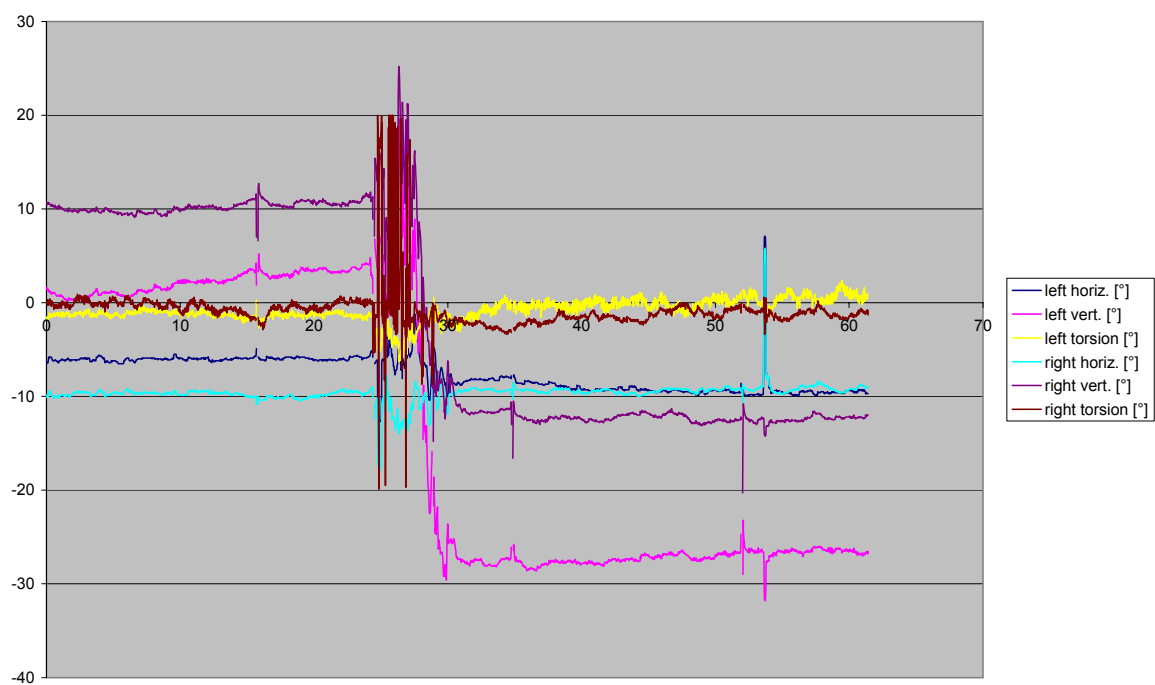
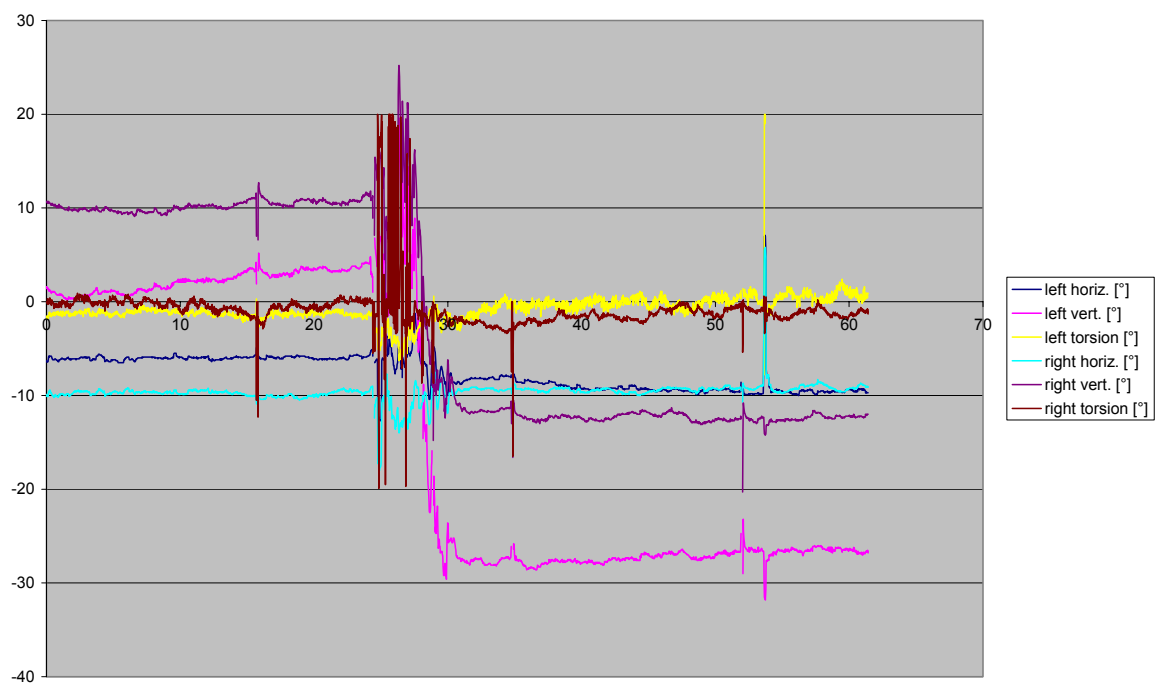


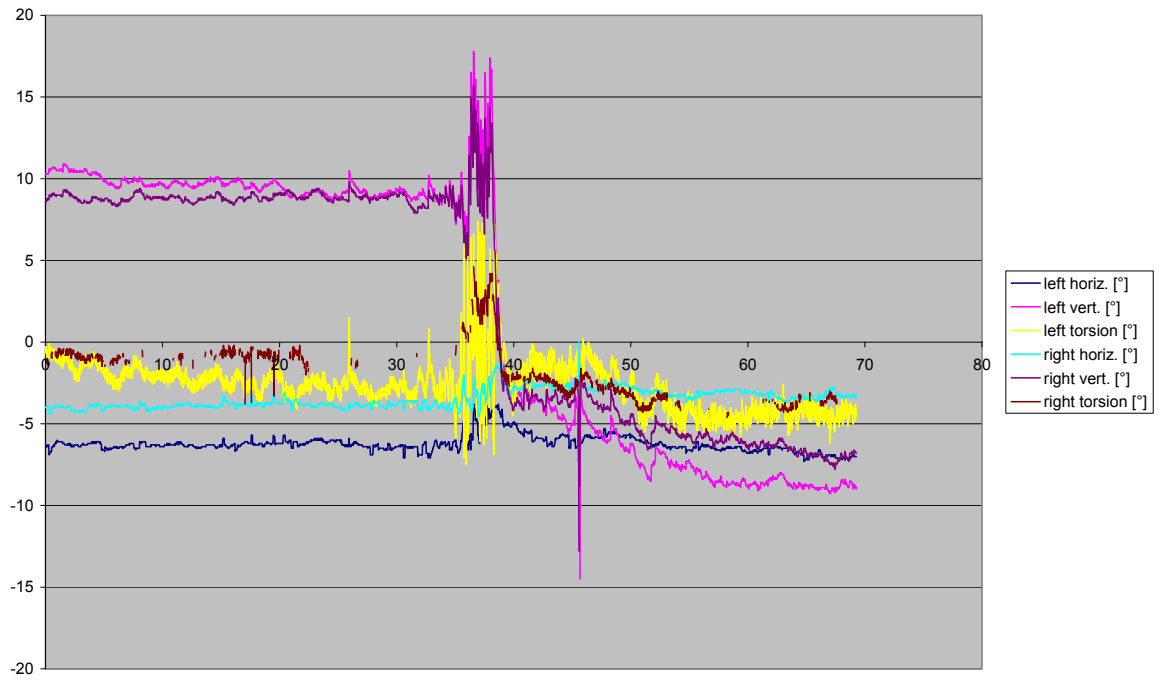
097-1-hvt-0,5



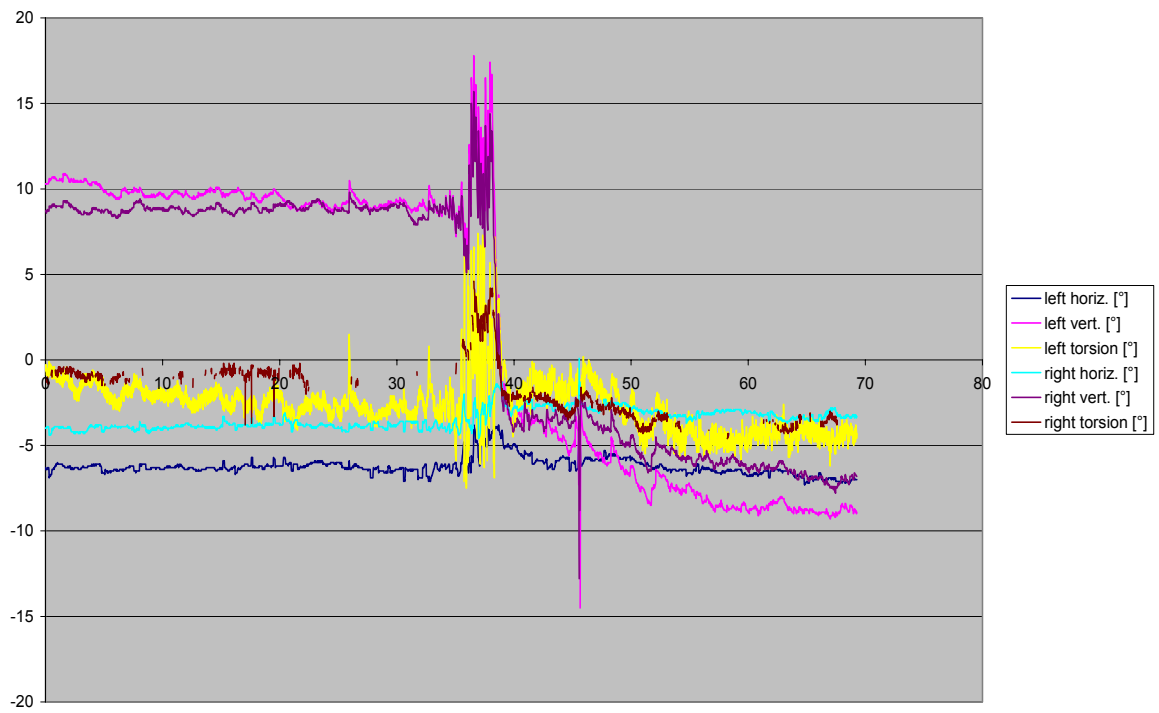
Proband 097-a1-1



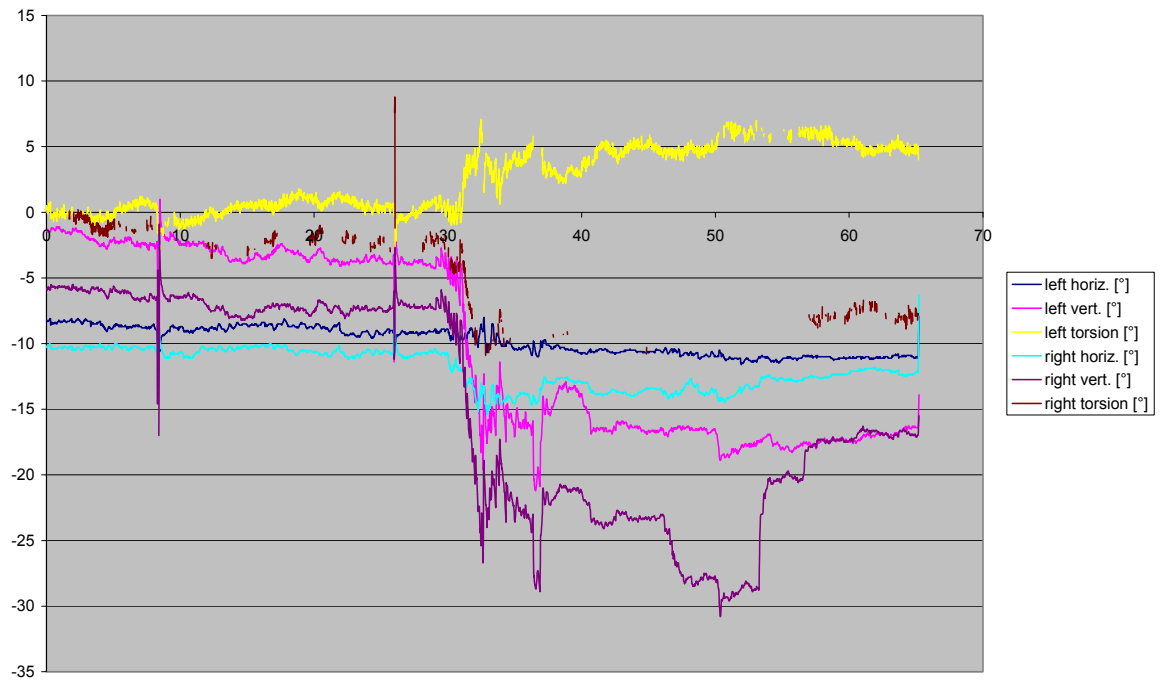




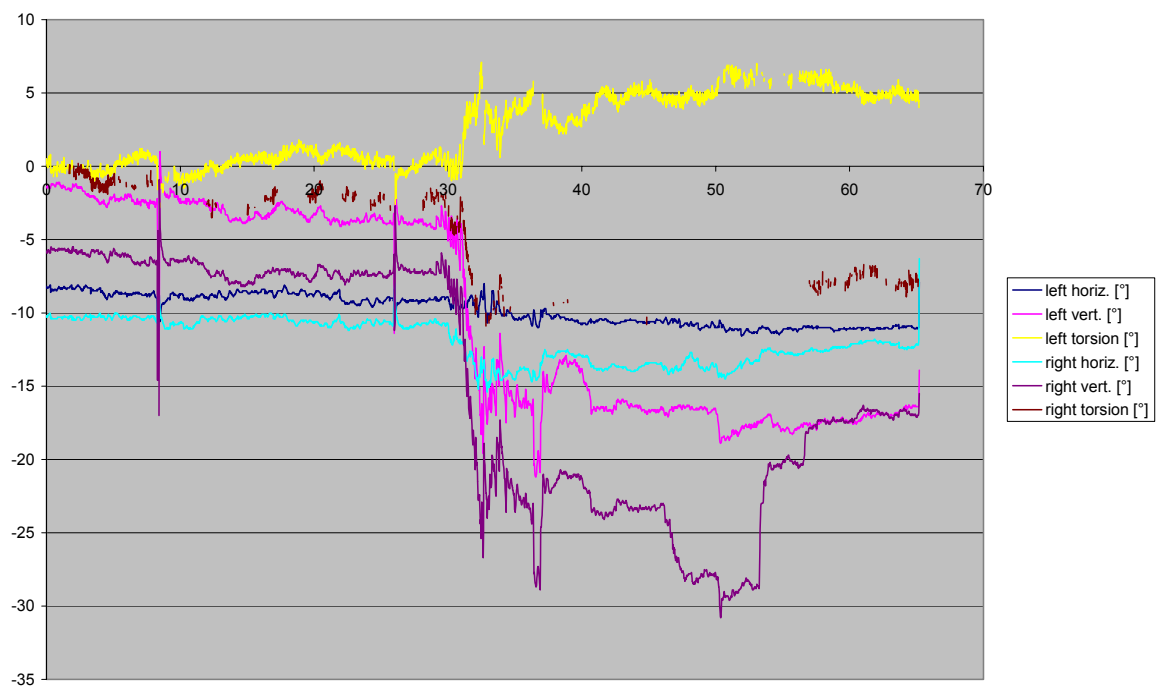
100-1-hvt-0,5



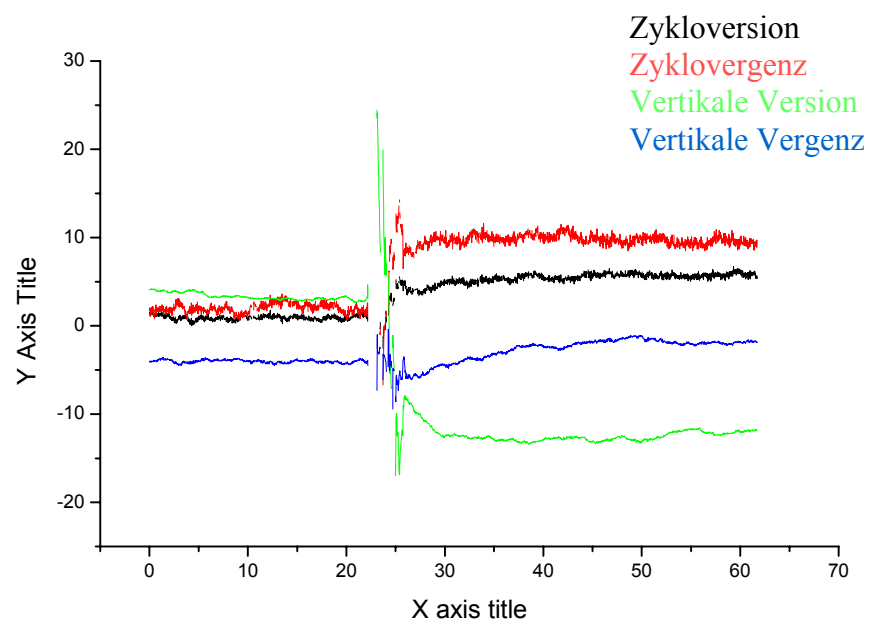
Proband 100-a1-1



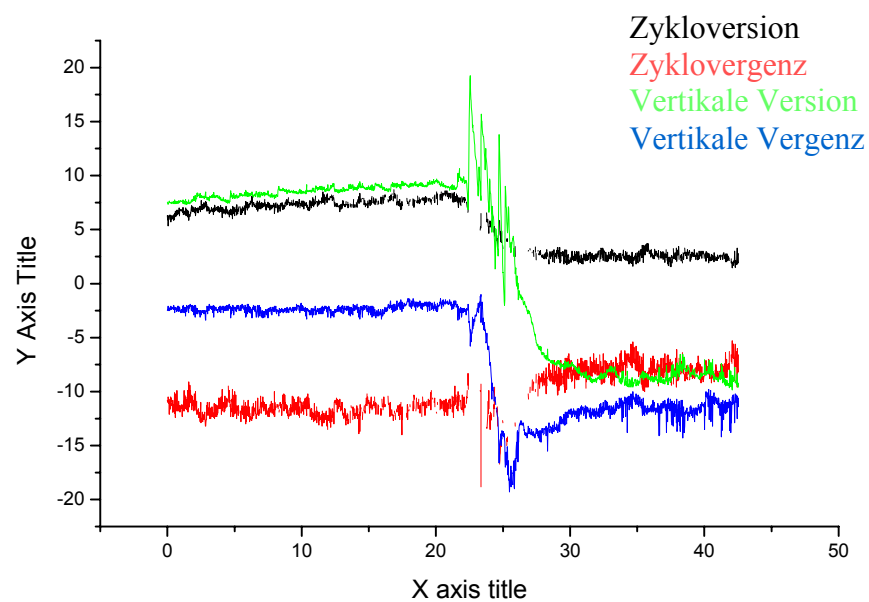
101-1-hvt-0,5



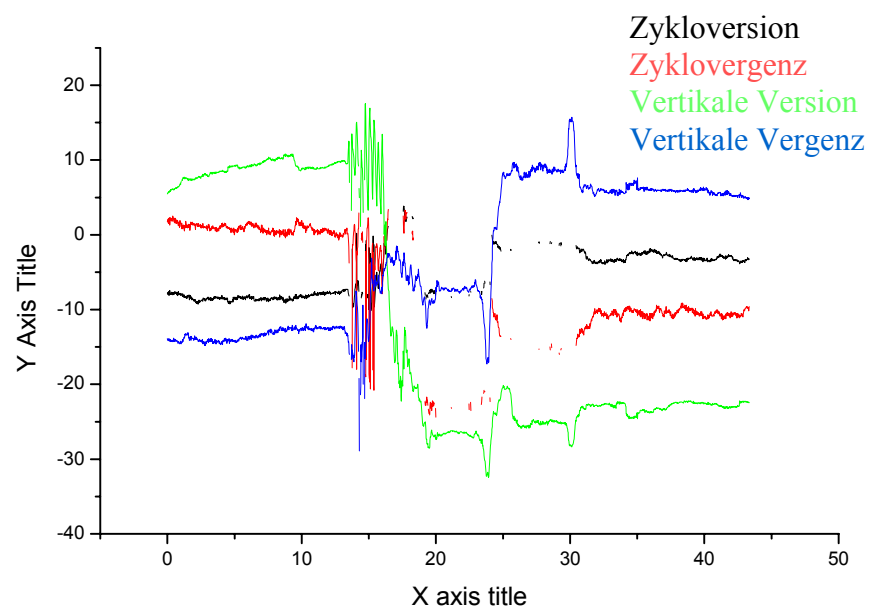
Proband 101-a1-1



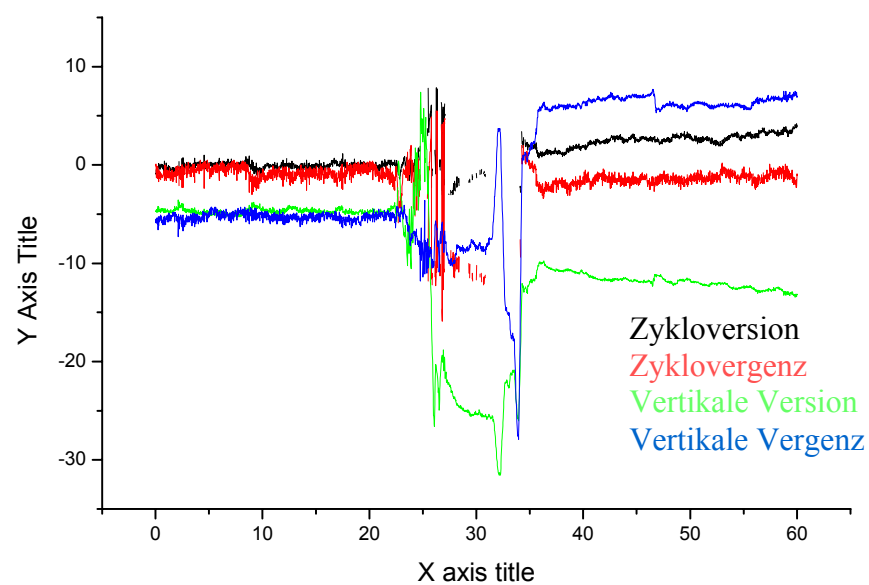
Zyklersion Proband 002 -Origin



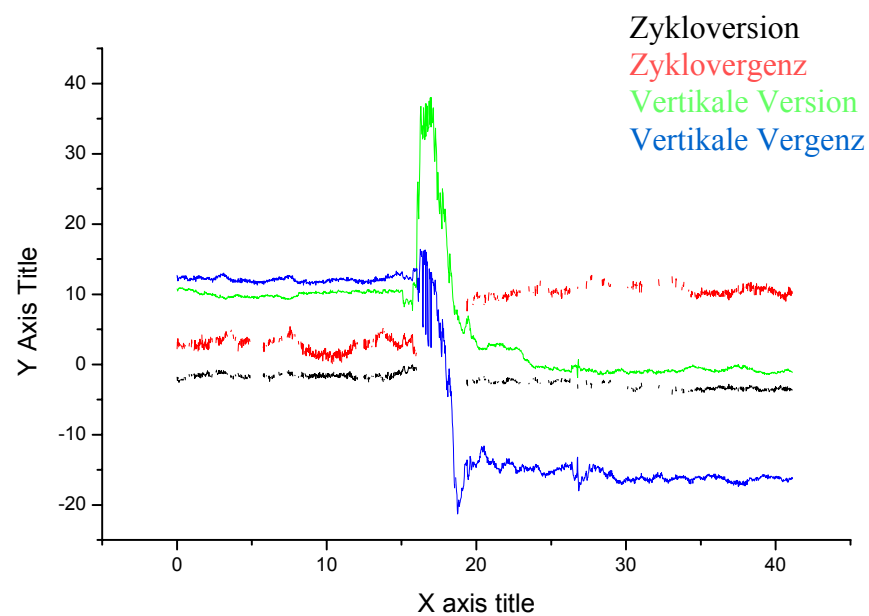
Zyklersion Proband 007 -Origin



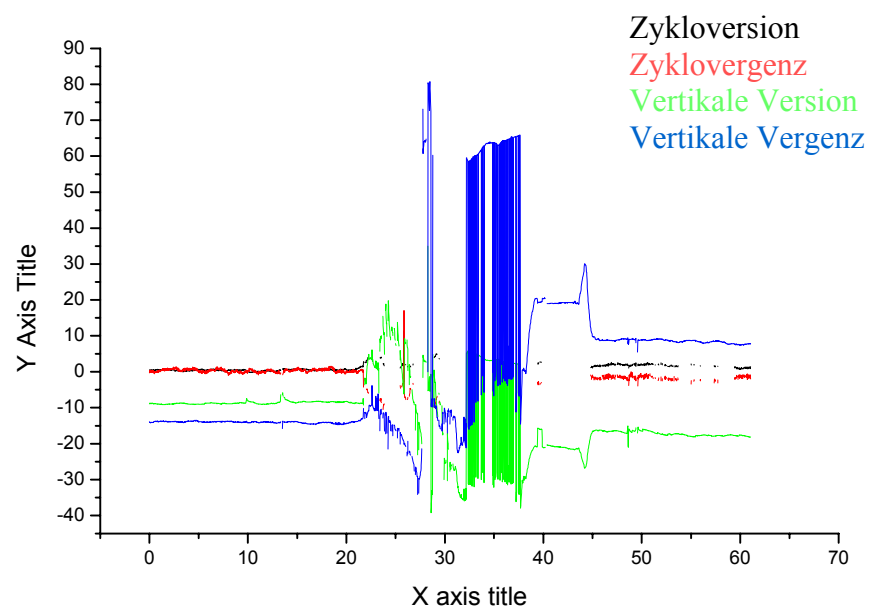
Zyklersion Proband 008 -Origin



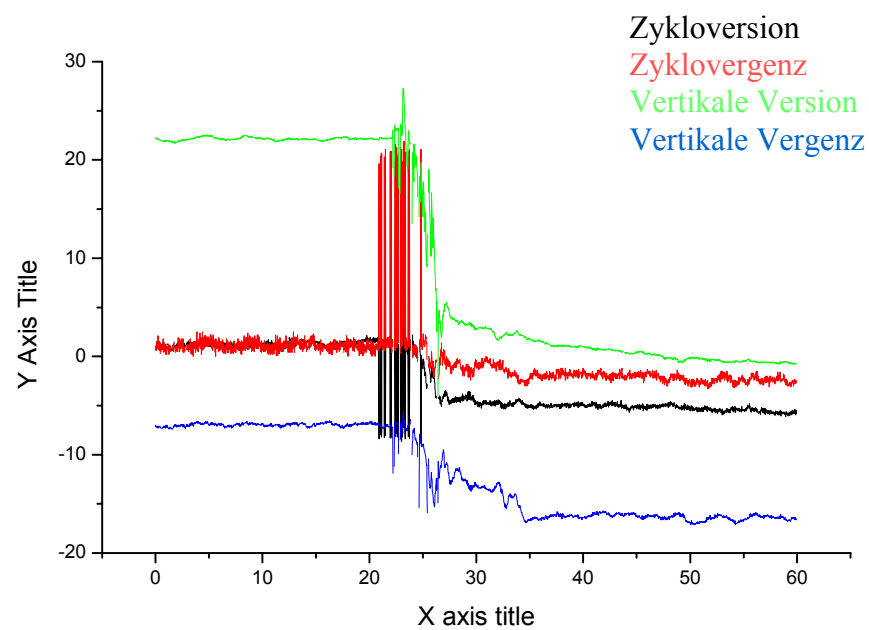
Zyklersion Proband 010-Origin



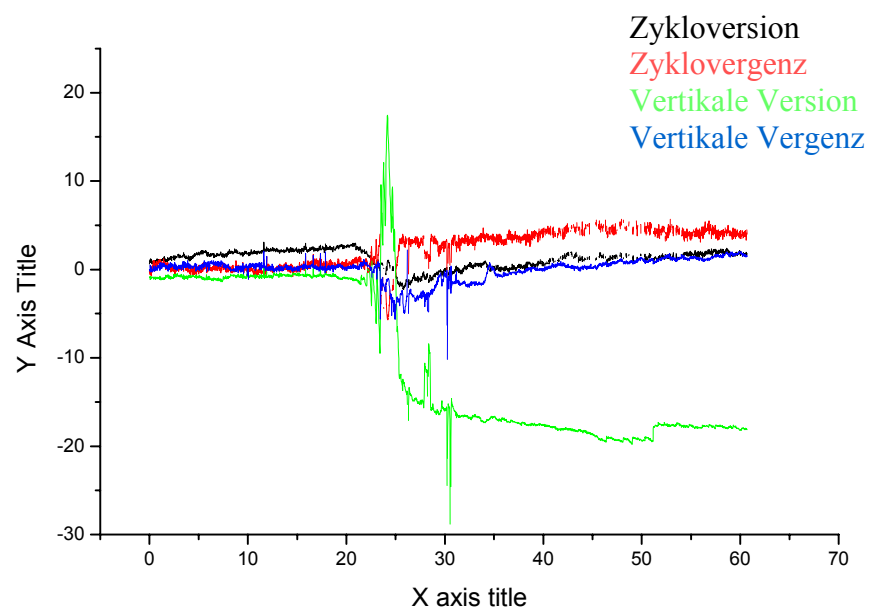
Zyklvergenz Proband 011 -Origin



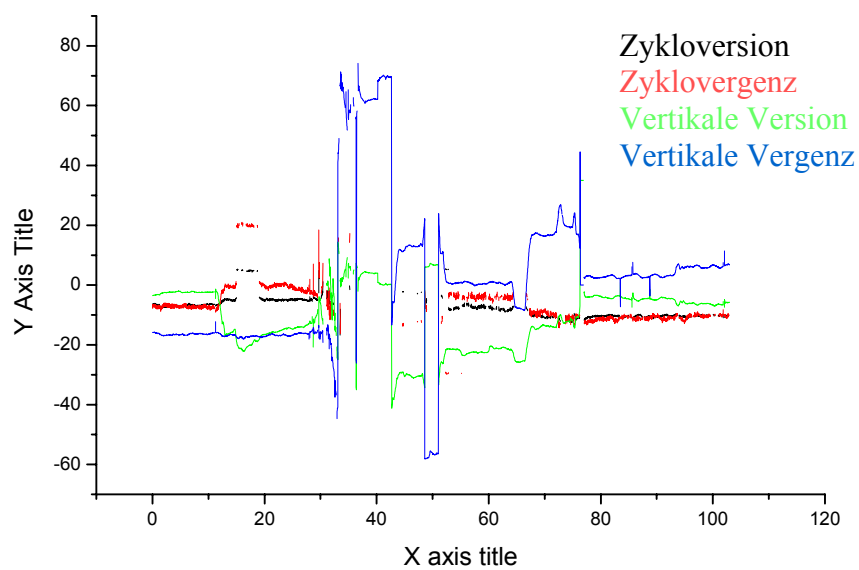
Zyklvergenz Proband 013 -Origin



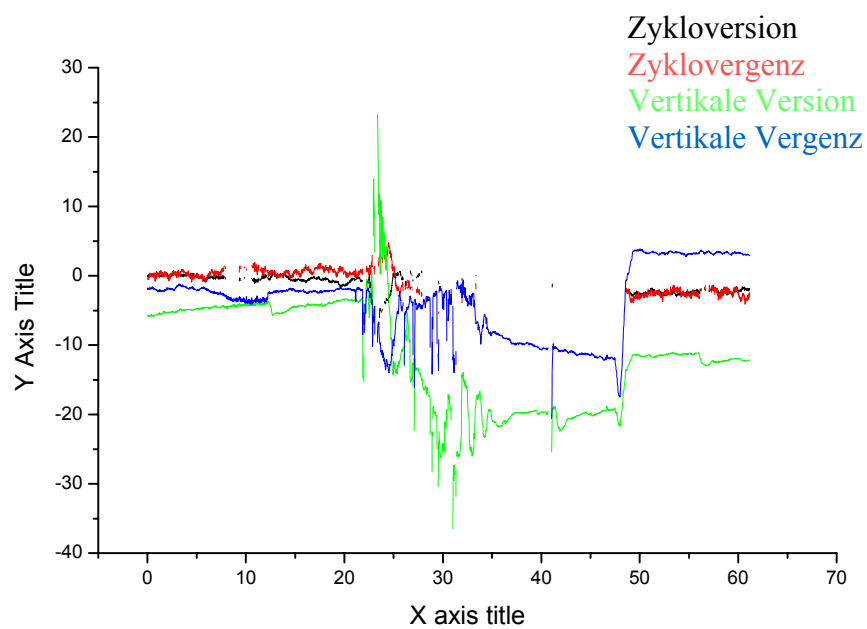
Zyklersion Proband 014 -Origin



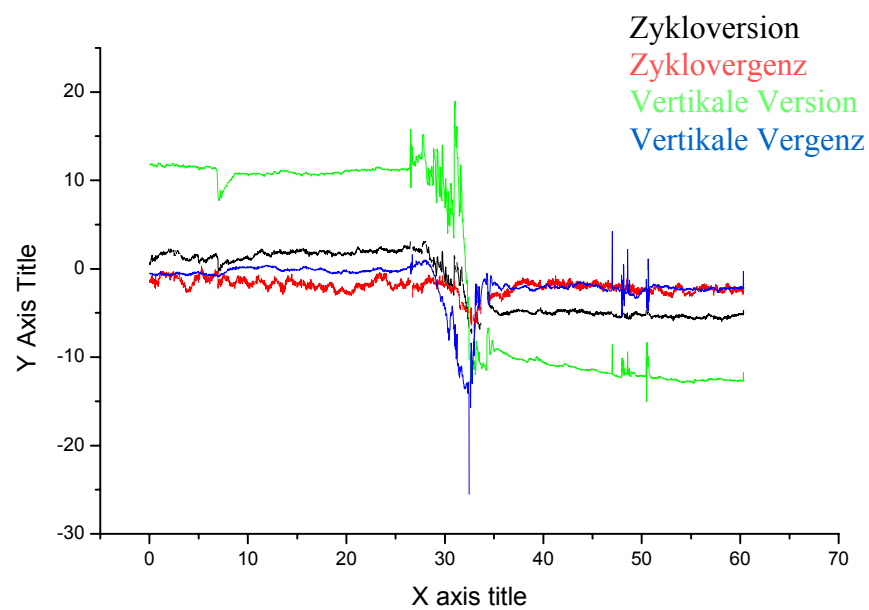
Zyklersion Proband 016 -Origin



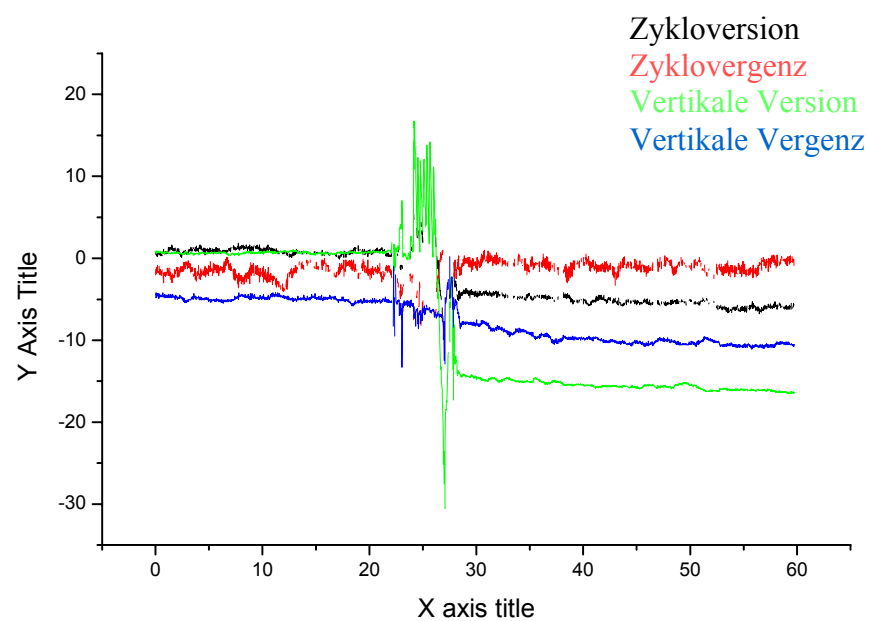
Zyklvergenz Proband 017 -Origin



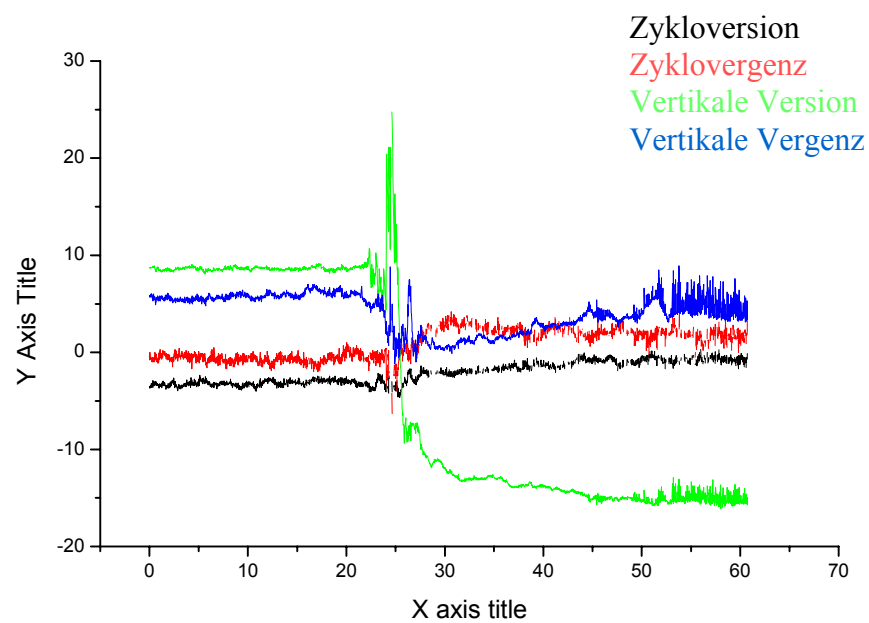
Zyklvergenz Proband 020 -Origin



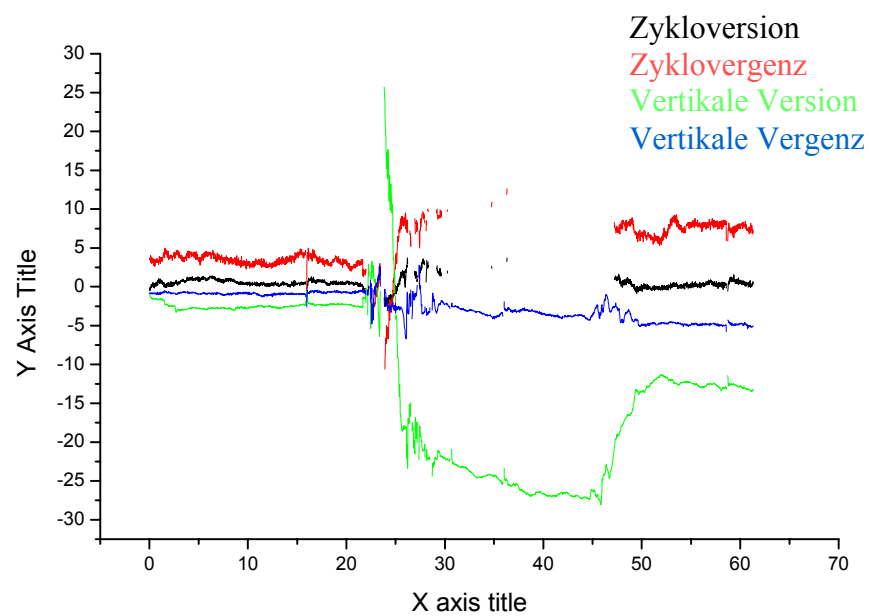
Zyklvergenz Proband 022 -Origin



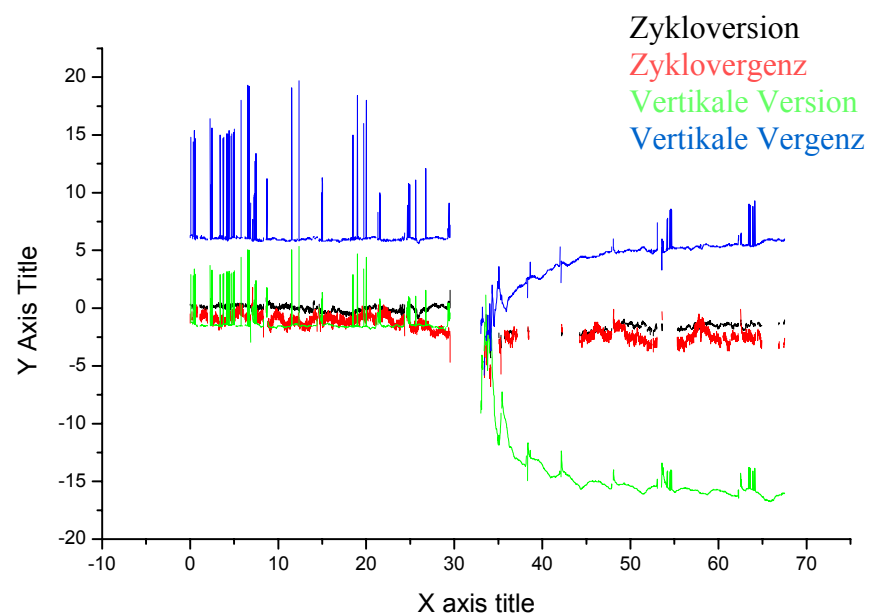
Zyklvergenz Proband 024 -Origin



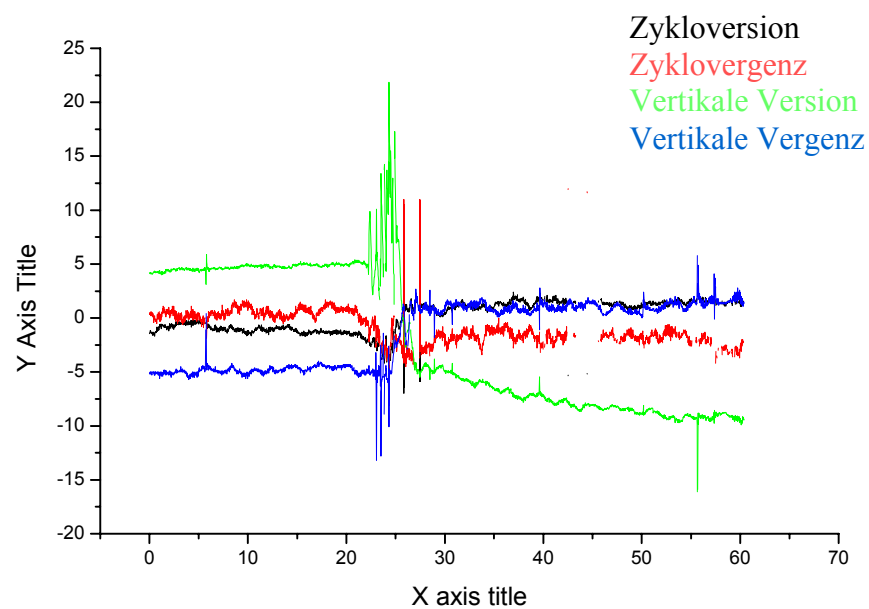
Zyklersion Proband 025 -Origin



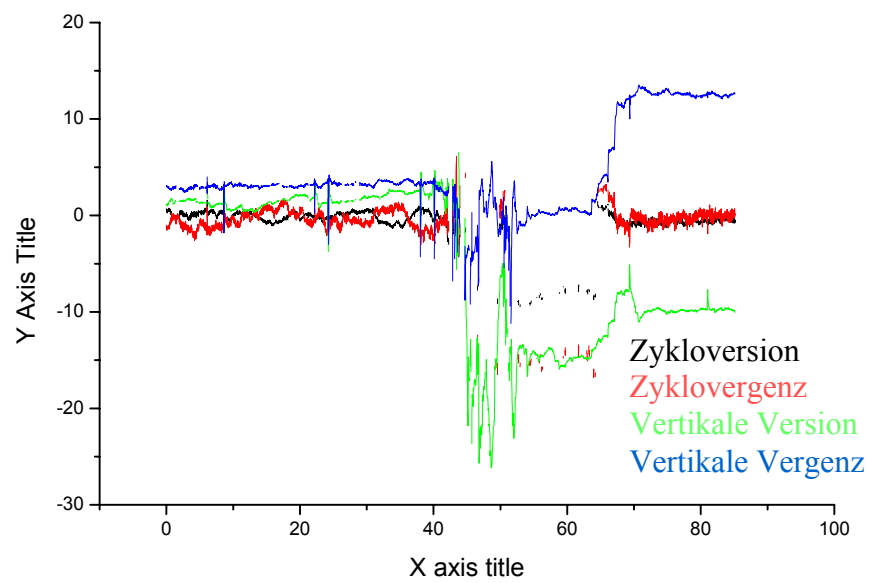
Zyklersion Proband 031 -Origin



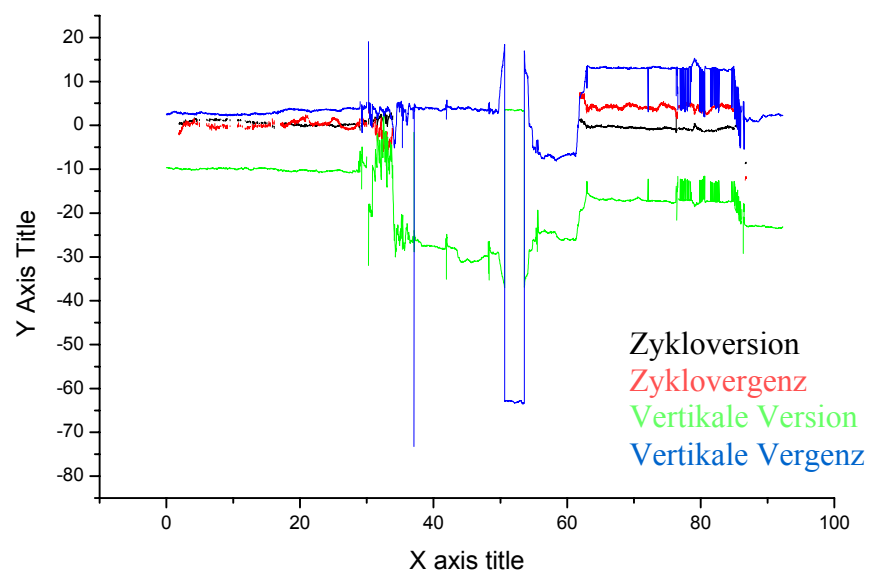
Zyklvergenz Proband 033 -Origin



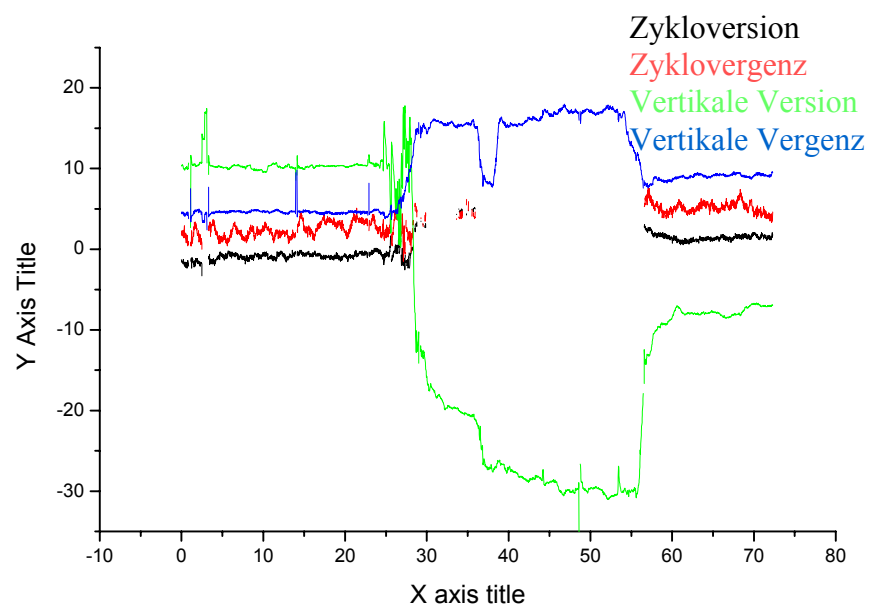
Zyklvergenz Proband 036 -Origin



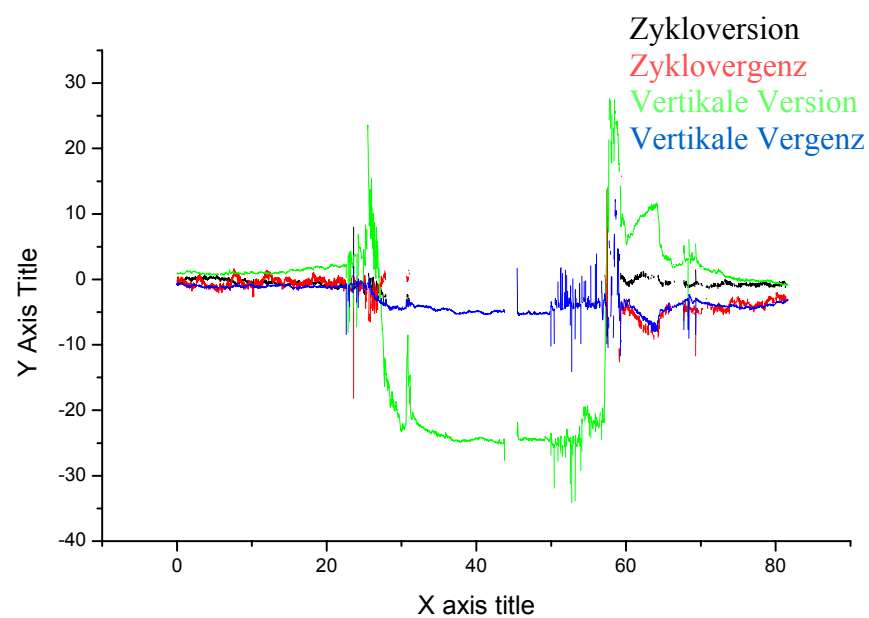
Zyklersiongenz Proband 037 -Origin



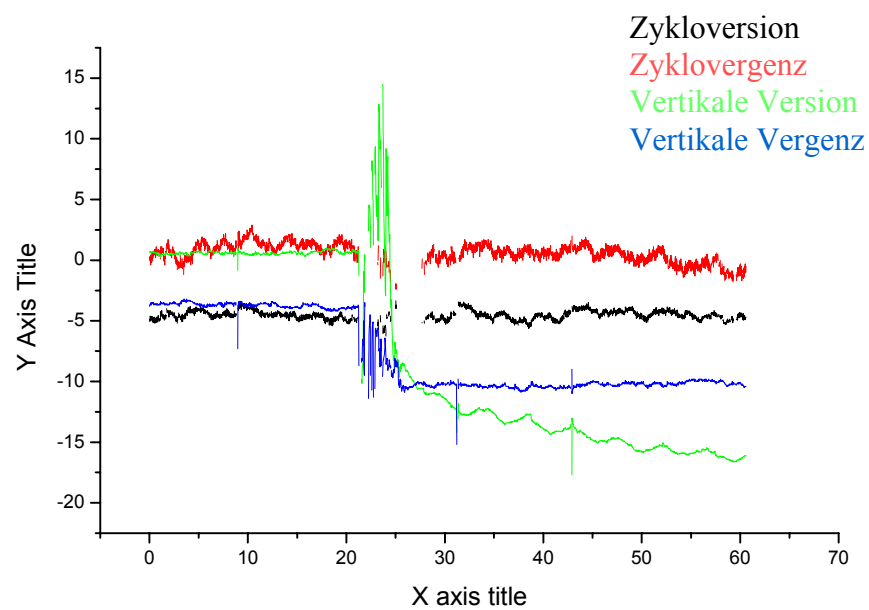
Zyklersiongenz Proband 038 -Origin



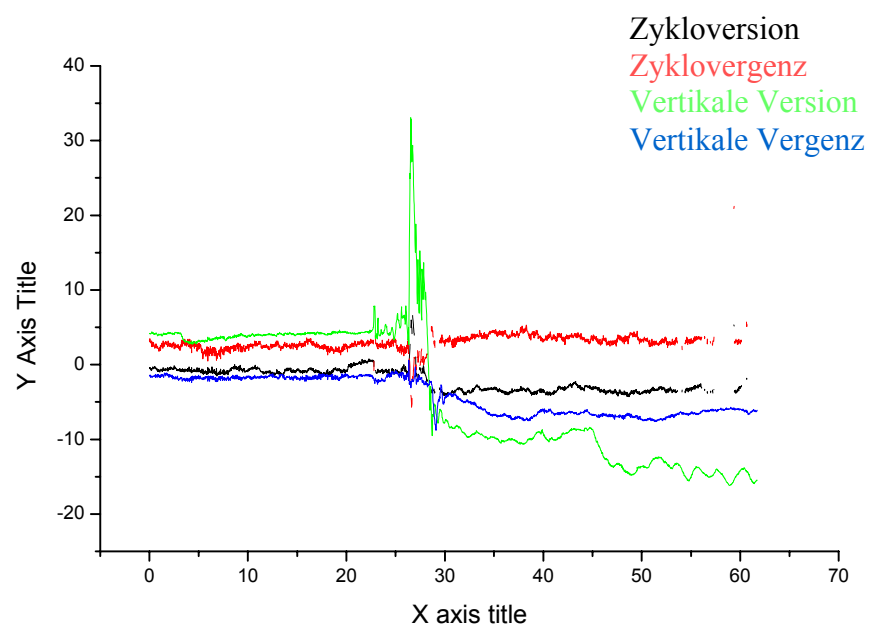
Zyklersion Proband 049 -Origin



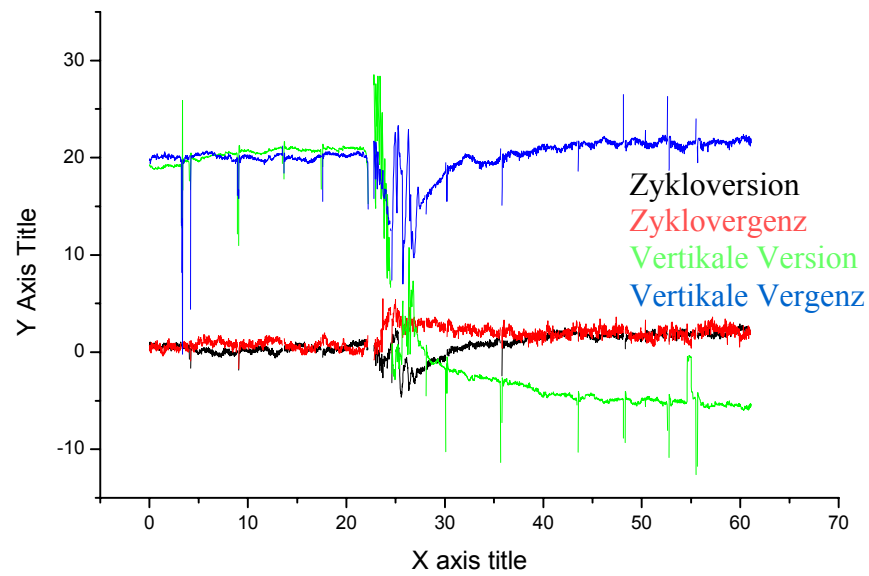
Zyklersion Proband 050 -Origin



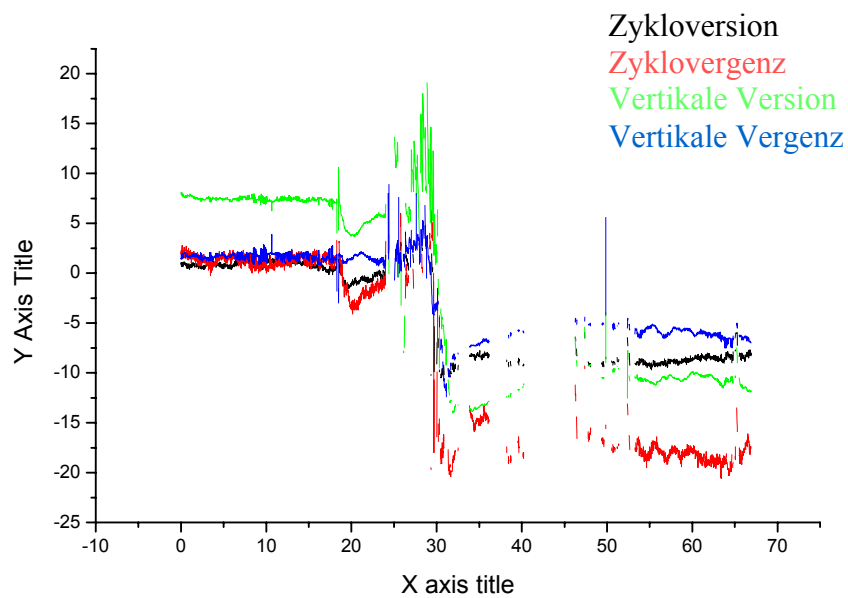
Zyklvergenz Proband 054 -Origin



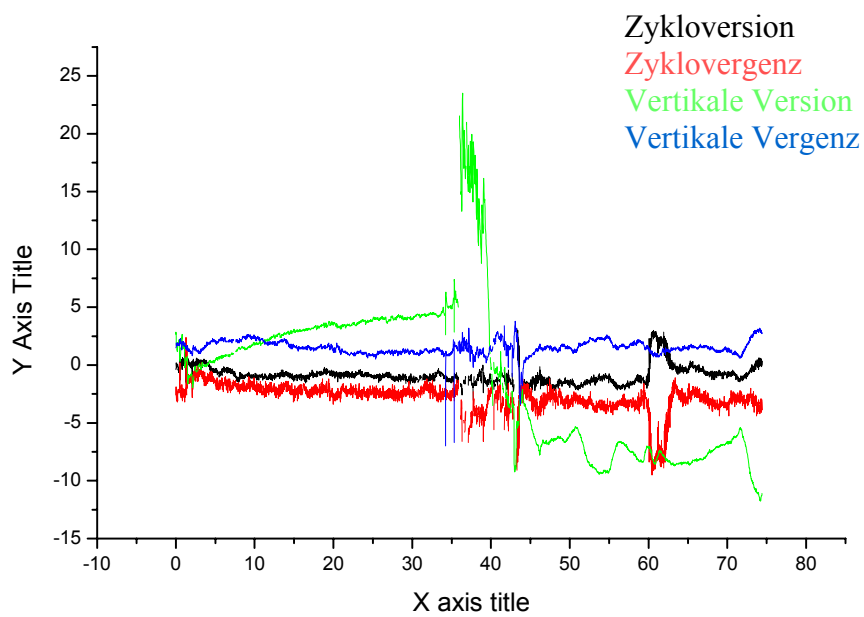
Zyklvergenz Proband 057 -Origin



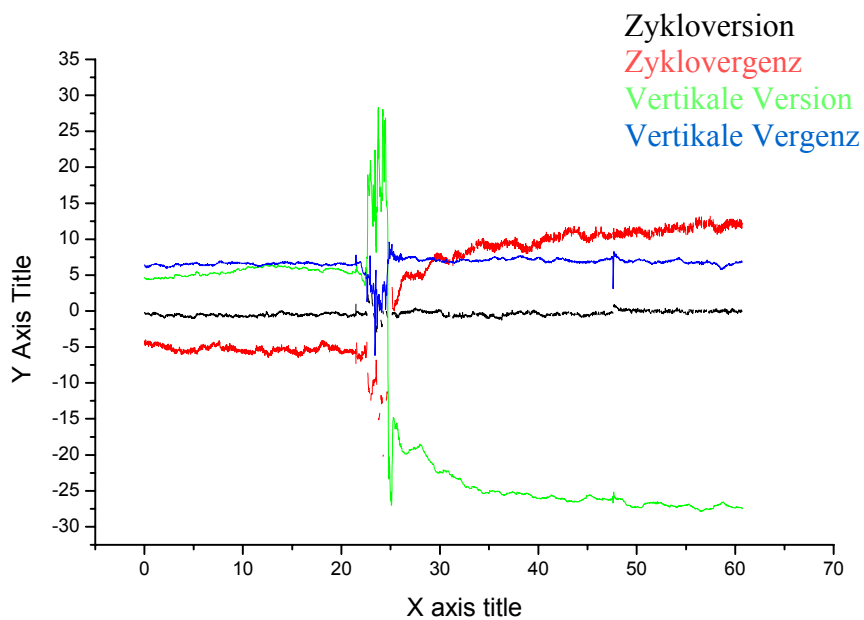
Zyklvergenz Proband 068 -Origin



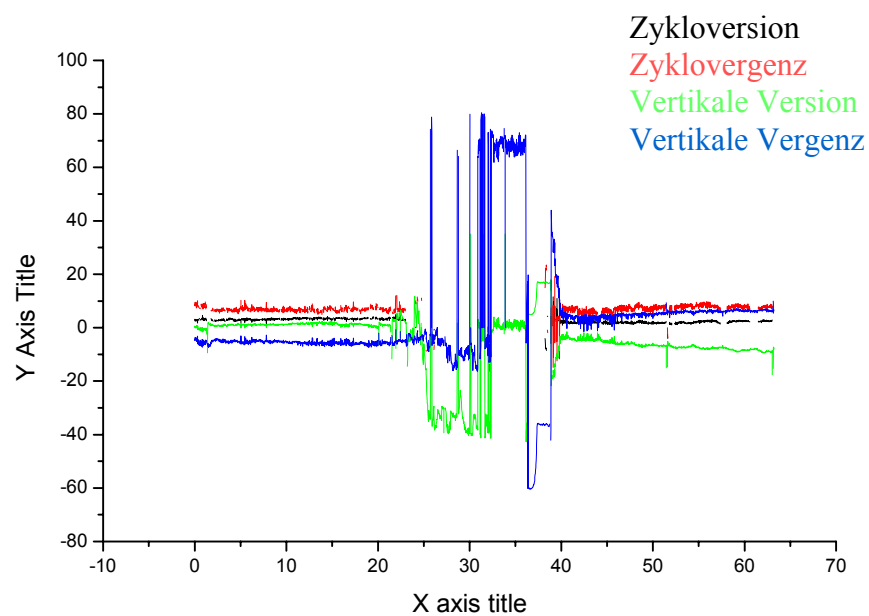
Zyklvergenz Proband 074 -Origin



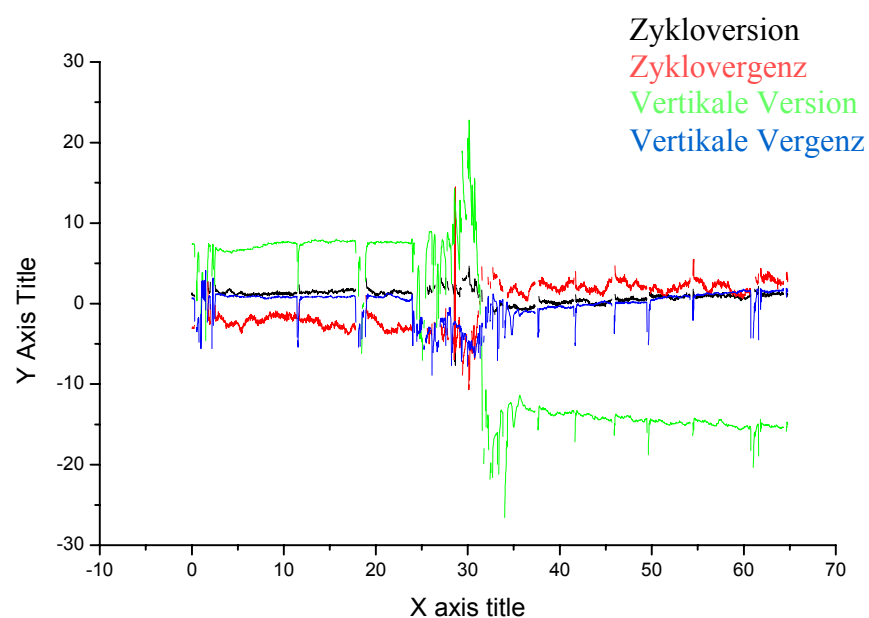
Zyklersion Proband 077 -Origin



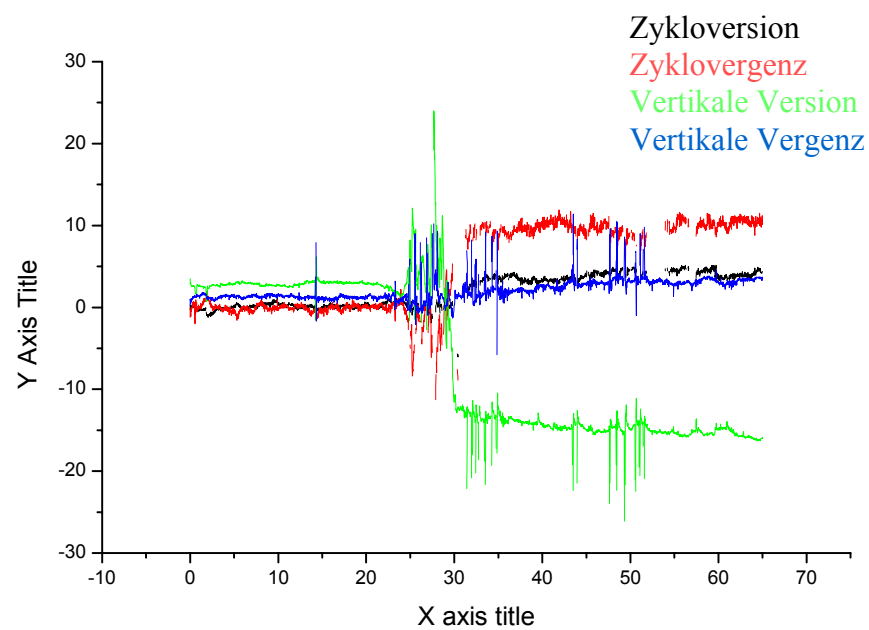
Zyklersion Proband 079 -Origin



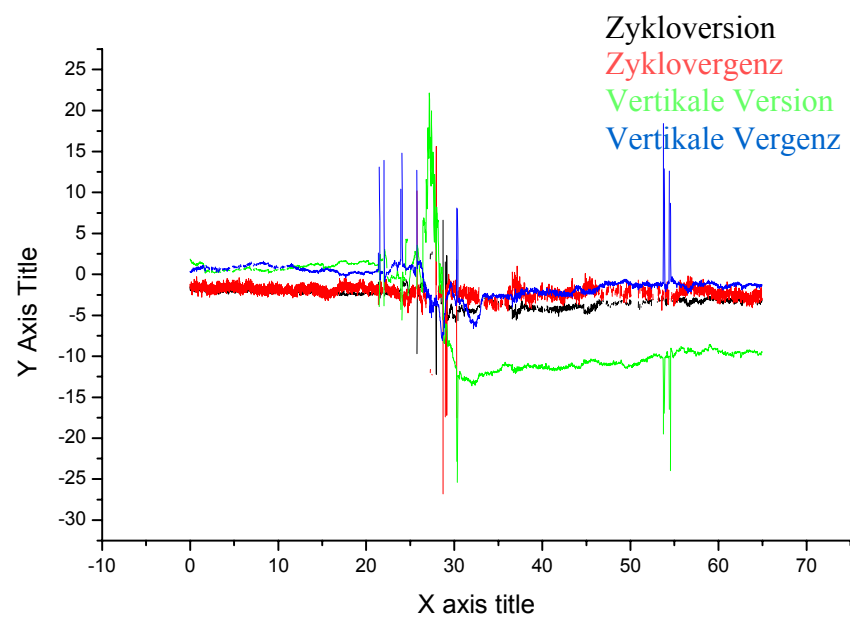
Zyklvergenz Proband 085 -Origin



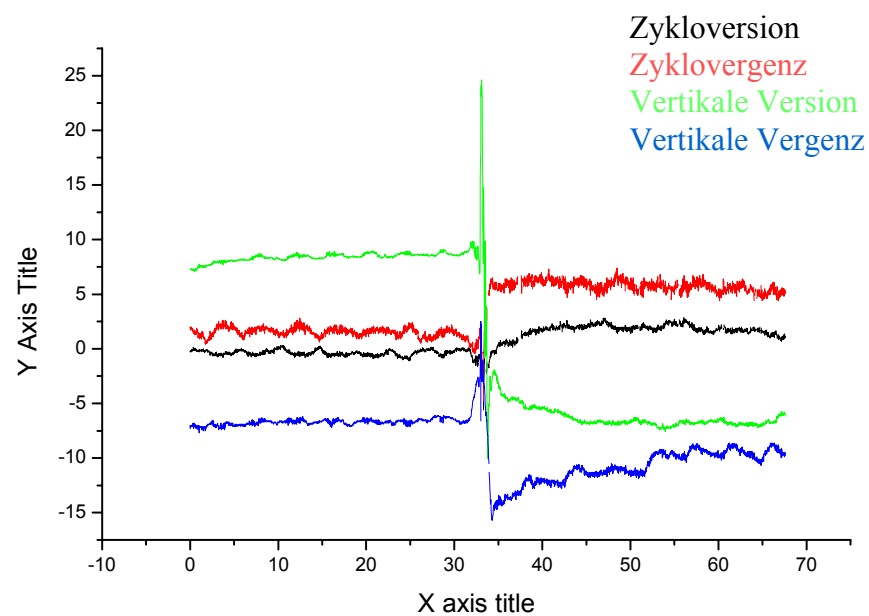
Zyklvergenz Proband 093 -Origin



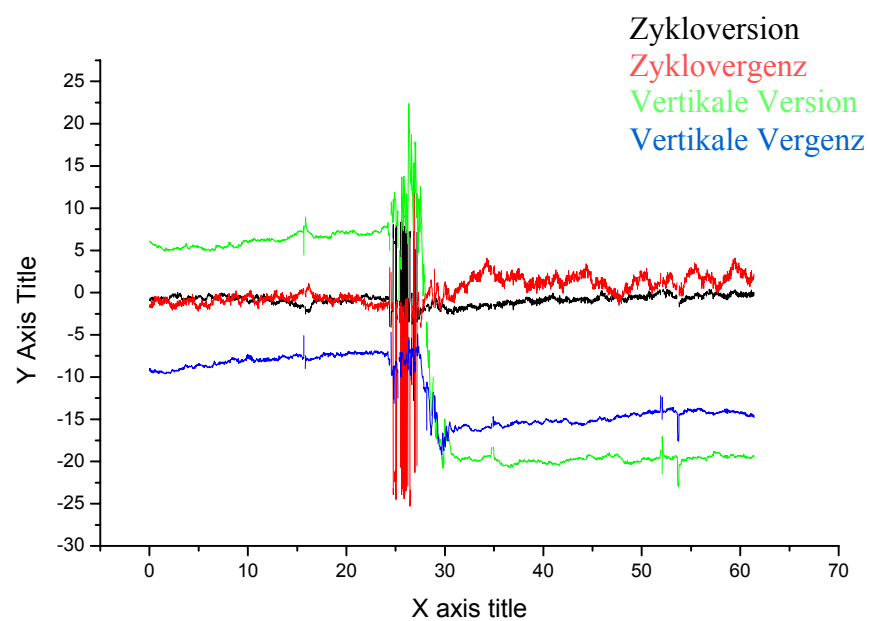
Zyklvergenz Proband 094 -Origin



Zyklvergenz Proband 096 -Origin



Zyklersion Proband 098 -Origin



Zyklersion Proband 099-Origin

Erklärung

Ich versichere ausdrücklich, dass ich die Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die aus den benutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen einzeln nach Ausgabe (Auflage und Jahr des Erscheinens), Band und Seite des benutzten Werkes kenntlich gemacht habe. Ferner versichere ich, dass ich die Dissertation bisher nicht einem Fachvertreter an einer anderen Hochschule zur Überprüfung vorgelegt oder mich anderweitig um Zulassung zur Promotion beworben habe.

Unterschrift:

Soheila Vaseghi