

Prüfung von Dreifüßen unter dynamischer Belastung

Im geodätischen Instrumentenbau wird der Dreifuß als mechanische Verbindung zwischen Stativ und Meßinstrument genutzt. Dieses Bauteil hat zwei wesentliche Aufgaben: zum einen muß es die Grob- und Feinhorizontierung des Instrumentes ermöglichen (z.B.: durch Fußschrauben). Zum anderen muß es auch bei Drehung der Fußschrauben und unter Belastung durch das Instrument eine invariante Verbindung zum Stativ herstellen. Dabei ist insbesondere jede Verdrehung innerhalb des Dreifußes kritisch, da diese das Meßergebnis unmittelbar beeinflußt (Änderung der horizontalen Richtung). Untersucht werden fabrikneue Dreifüße der Firma XXX, YYY und MOM K365 s.

Abschätzung für die Stabilität eines Dreifußes

Für die weiteren Untersuchungen soll eine Einschränkung auf Dreifüße mit Horizontierung über Fußschrauben vorgenommen werden. Weiterhin wird ausschließlich das Zentriersystem nach WILD (Klauenzentrierung) betrachtet, obwohl die Überlegungen in gleicher Weise auch für den DIN-Steckzapfen gelten.

Solche Dreifüße besitzen regelmäßig zwei Ebenen: die Grundplatte, die auch die Gewindestangen der Fußschrauben trägt und zentriert und eine auf die Fußschrauben aufgesetzte Kopfplatte mit der Zentrierung und Verriegelung für das Vermessungsinstrument. Beide Ebenen sind nur über die drei Fußschrauben verbunden. Jede Bewegung einer Fußschrauben in Bezug auf eine andere führt zu einer Drehung der Kopfplatte, auf die das Instrument befestigt ist. Auch kleinste Bewegungen sind hier kritisch: bei einer angenommenen Distanz zwischen den Fußschrauben von 100mm würde eine relative Lageänderung von 0,002 mm zueinander bereits zu einer Drehung der Kopfplatte um 1 mgon führen. Dabei ist es gleichgültig, ob diese Lageänderung durch ein „Spiel“ in den Fußschraube oder durch eine Verbiegung unter Belastung zustande kommt. Um diesen Winkel ändert sich natürlich auch die Orientierung des aufgesetzten Vermessungsinstruments.

Da jede Veränderung der Fußschrauben kritisch ist, gehört es zu den Grundregeln der Meßtechnik, innerhalb eines Richtungssatzes die einmal gewählte Horizontierung des Meßinstrumentes beizubehalten, auch wenn sich zwischenzeitlich eine Änderung des Libellenstandes zeigt. Ein Drehen an den Fußschrauben führt zu Momenten zwischen Grundplatte und Kopfplatte, die zu einer Lageänderung und somit zu einer relativen Verdrehung führen kann. Die Folgen einer Veränderung an den Fußschrauben innerhalb eines Richtungssatzes werden in **Test 30** untersucht.

Weiterhin muß jede größere Krafteinwirkung auf die Kopfplatte vermieden werden, wie sie z.B. durch Drehen des Instrumentes mit angezogener Klemme auftreten kann. Das führt zu einem Drehmoment um die Stehachse, die die drei Fußschrauben einseitig belastet. Dies kann zu einer relativen Lageänderung der Schraubenköpfe führen, die auch nach einer Entlastung

nicht reversibel ist. Hierdurch ändert sich die Orientierung. Die Folgen eines Drehmomentes auf die Stehachse auf den Dreifuß werden in **Test 20** untersucht.

In den letzten Jahren werden vermehrt zielverfolgende Tachymeter für die Messungen eingesetzt. Die Nachführung des zu verfolgenden Prismas erfolgt über eine geräteeigene Steuerung und wird von Motoren ausgeführt, die im Instrument eingebaut sind. Das erforderliche Drehmoment muß die Stehachse aufnehmen und wird über die Klauenzentrierung unmittelbar an die Kopfplatte des Dreifußes weitergegeben. Üblicherweise erfolgt die Messung auf ein Prisma, das zum Zeitpunkt der Messung unbewegt auf dem aufzunehmenden Punkt steht (z.B. Katastervermessung). Kritisch wird der Fall dann, wenn die neuen Möglichkeiten dieser Instrumentenklasse ausgenutzt werden. Dazu gehört die Messung auf ein Prisma *während der Bewegung*. Im Zeitpunkt der Messung sind auch die Motoren in Bewegung und geben Drehmomente auf die Stehachse ab. Es ist nicht auszuschließen, daß –gerade bei schweren Instrumenten- bei kinematischen Messungen die Dynamik zu einer Verdrehung im Dreifuß und somit zu einer Verfälschung der gemessenen horizontalen Richtung führen kann. Die möglichen Folgen einer Messung während der Bewegung werden in **Test 10** untersucht.

Messung unter Bewegung – Test 10

Für die nachfolgenden Messungen wird die Winkeländerung der Kopfplatte über Autokollimation beobachtet. Hierfür steht ein elektronischer Autokollimator zur Verfügung, der im gesamten Meßbereich eine Präzision von besser als 0,3 mgon liefert (bei einer Auflösung von 0,003mgon). Da hier nur ein kleiner Teilbereich genutzt wird, kann von einer deutlich höheren Genauigkeit ausgegangen werden. Die Messungen erfolgen 25 mal pro Sekunde und werden unmittelbar an einen Rechner zur Speicherung und Weiterverarbeitung übergeben. Da sich mit dem Autokollimationsverfahren gleichzeitig zwei Achsen beobachten lassen, können hier die horizontalen und die vertikalen Richtungsänderungen aufgezeichnet werden.

Im Test 10 wird die Richtungsänderung während der motorischen Drehung des Instrumentes um 200 gon beobachtet. Diese mit maximaler Geschwindigkeit durchgeführte Bewegung dauert bei dem benutzten LEICA TCA 1800 etwa 5 Sekunden. Um systematische Effekte zu erkennen, erfolgt die Drehung abwechselnd erst im Uhrzeigersinn und dann im Gegenuhrzeigersinn.

Die Ergebnisse der Untersuchungen (Anlage 1) zeigen: Während der Drehbewegung des Oberbaus treten horizontale Richtungsänderungen auf. Diese liegen in der Größe von etwa 0,6 mgon und steigen nur in einzelnen Fällen bis 0,8 mgon an. Dieser Wert tritt praktisch bei allen Dreifußen unabhängig vom Fabrikat in der gleichen Größe auf. Eine von der Drehrichtung des Instrumentes abhängige Veränderung der Ausgangsstellung des Dreifußes ist nicht zu erkennen: in den Bewegungspausen ergibt sich für die horizontale Richtung im Bereich von 0,1 mgon immer wieder der gleiche Wert.

Gleichzeitig mit Drehen in die zweite Lage treten auch vertikale Kippungen des Dreifußes in der Größe bis etwa 0,6 mgon auf. Diese lassen sich bisher nur durch eine Gewichtsverlagerung erklären und müssen noch weiter untersucht werden. Für die Zenitwinkelmessung ist dieser Betrag unkritisch, da solche Neigungsänderungen des Dreifußes durch den Höhenindex (-kompensator) eliminiert werden.

Drehmoment 1 Nm auf die Stehachse – Test 20

Bei grundsätzlich gleicher Messungsanordnung wird für diese Untersuchung das Instrument gegen einen starren Zielzeichenträger ausgetauscht. Zentrisch auf dem Ende des Trägers wird ein 0,5m langer Hebelarm aufgesetzt. Durch entsprechende Gegengewichte ist eine symmetrische Gewichtsverteilung gewährleistet. Am Hebelarm greift über eine Federwaage eine Kraft von 2 N an, so daß auf die vertikale Achse des Dreifußes ein Drehmoment von etwa 1 Nm wirkt. Das Moment wird abwechselnd wieder in beide Drehrichtungen aufgebracht, wobei zwischenzeitlich eine Pause ohne Belastung eintritt. Im Idealfall nimmt die Kopfplatte des Dreifußes nach der Belastung immer wieder exakt die gleiche Position.

In Test 20 wird bei allen Dreifußen eine Verdrehung der Kopfplatte um etwa 4 mgon unter der Belastung von 1 Nm festgestellt. Diese Last ist offensichtlich erheblich größer als die, die unter praxisgerechten Bedingungen beim motorischen Drehen des Instrumentes (Test 10) auftritt. Entscheidender ist aber, ob die Kopfplatte nach Entlastung wieder in die Ursprungslage zurückkehrt. Von den getesteten Dreifußen nimmt nur der MOM K365 Dreifuß unabhängig von Richtung des Drehmomentes annähernd die gleiche Position ein (ca. 0,2 mgon). Die beiden anderen Prüflinge (XXX und YYY) weisen systematisch Richtungsunterschiede in der Größe von etwa 0,6 mgon bis 0,8 mgon auf.

Drehen an der Fußschraube – Test 30

Bei gleicher Messungsanordnung wird bei dieser Untersuchung die Stabilität des Dreifußes beim Drehen einer Fußschraube untersucht. Da die Kopfplatte nur auf den drei Schrauben gelagert ist, besteht bei jeglichem Drehen an einer der Schrauben die Gefahr, daß die Kopfplatte kleine Winkeländerungen ausführt, die unmittelbar das Meßergebnis belasten.

Im Versuch wird die dem Spiegel gegenüberliegende Fußschraube aus einer Ausgangslage verstellt. Dabei verlagert sich die horizontale Ausrichtung des Spiegels. Gleichzeitig ändert sich auch die vertikale Richtung, wobei diese Änderung etwa um den Faktor 7 größer ist. Über diese vertikale Ausrichtung läßt sich nun durch Drehen an der Fußschraube die Startposition der Fußschraube wiederfinden, wobei eine eventuelle Fehleinstellung nur mit dem Faktor 1/7 in die horizontale Richtung eingeht. Auch diese Untersuchung läßt sich mit unterschiedlichen Drehrichtungen der Fußschraube durchführen. Erwartet wird eine drehrichtungsunabhängige Nullage der Kopfplatte des Dreifußes.

Die durchgeführten Tests zeigen auch hier bei allen Kandidaten eine Abhängigkeit von der gewählten Drehrichtung an der Fußschraube. Allerdings sind die Größenordnungen deutlich unterschiedlich. Während beim YYY Dreifuß etwa 2 mgon Richtungsunterschied auftreten, liegt der XXX Prüfling mit etwa 1 mgon schon deutlich darunter. Auch in diesem Test schneidet der MOM Dreifuß mit etwa 0,6 mgon als Bester ab.

Resumee

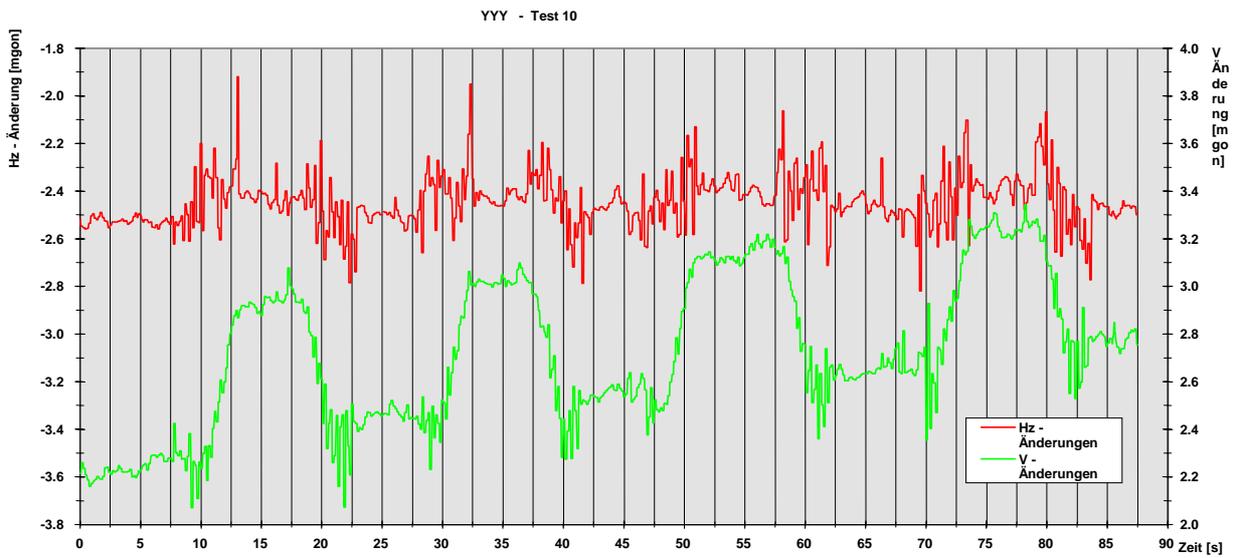
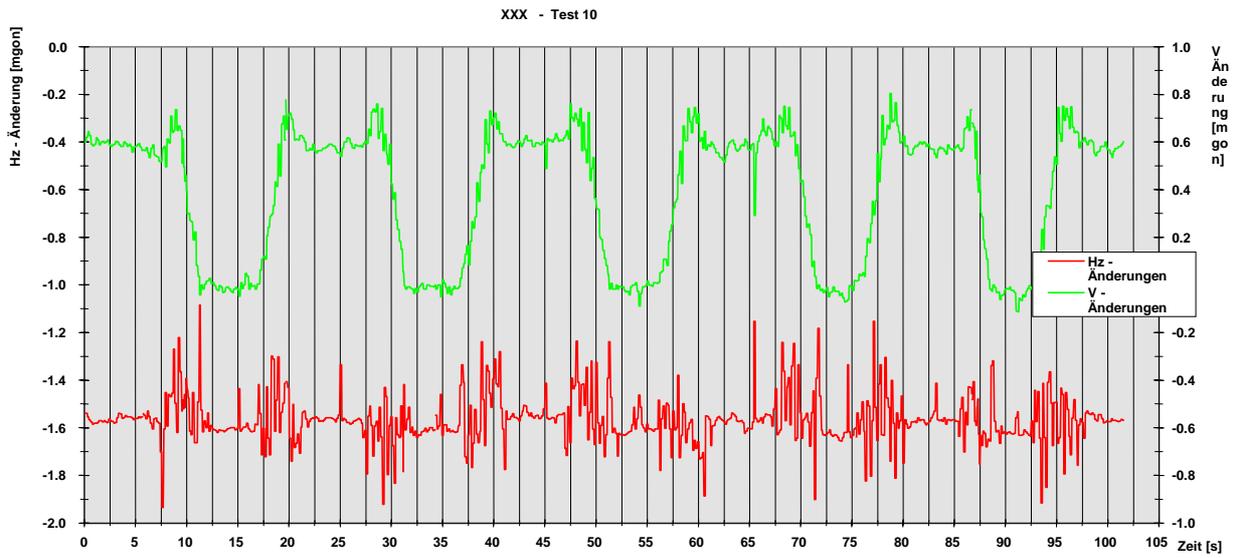
Für den Anwender ist es sehr schwierig, Gesichtspunkte für den Kauf eines bestimmten Dreifußes zu finden. Außer Äußerlichkeiten, wie Gewicht des Dreifußes oder das Gefühl beim Anfassen der Fußschrauben, die sicher auch wichtig sind, kann er kaum objektive Kriterien vergleichen.

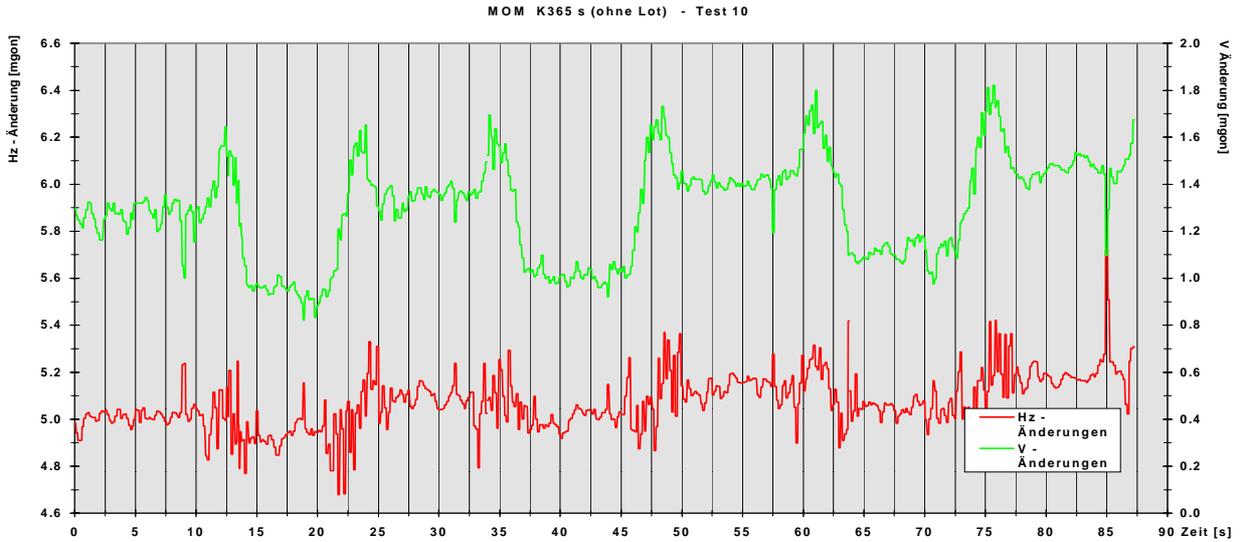
In drei Testreihen wurde deshalb die Drehstabilität von fabrikneuen Dreifußen untersucht. Die drei Belastungsversuche haben keine gravierenden Mängel aufgedeckt. Es ergeben sich aber Unterschiede, die unter Umständen die erzielbare Meßgenauigkeit belasten können. In den mit einem elektronischen Autokollimator durchgeführten Untersuchungen zeigte der Dreifuß MOM K365s die besten Resultate, gefolgt vom XXX. Dagegen fällt der Dreifuß YYY vor allem bei Test 30 ab.

Bochum, den 24. Februar 2000

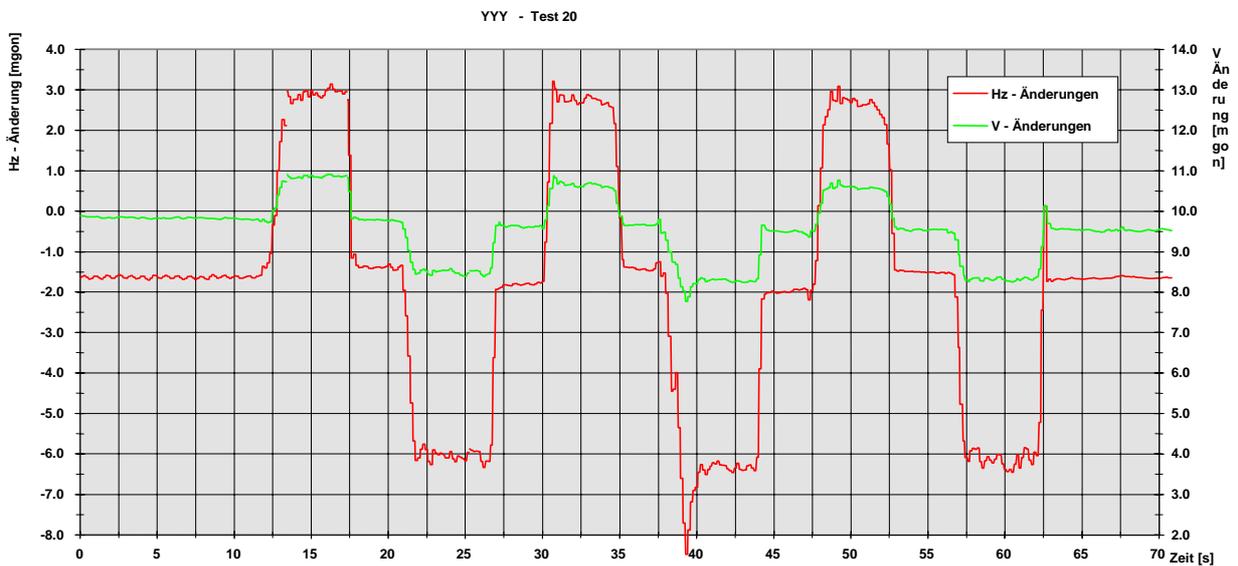
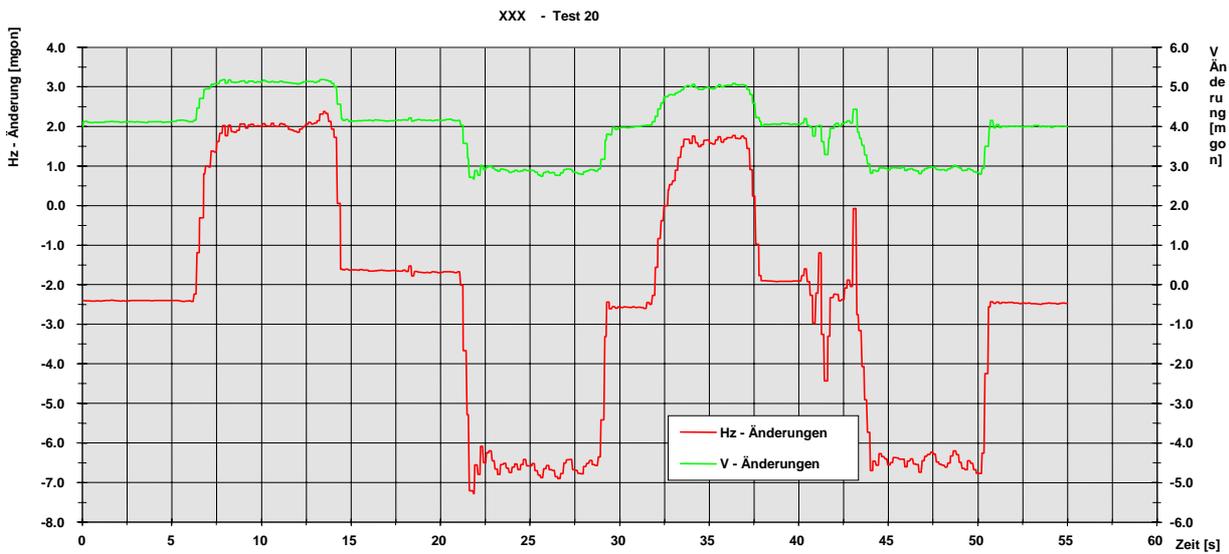
Prof. Dr. Fitzen

Anlage 1: Ergebnisse für Test 10 (Messung unter Bewegung)

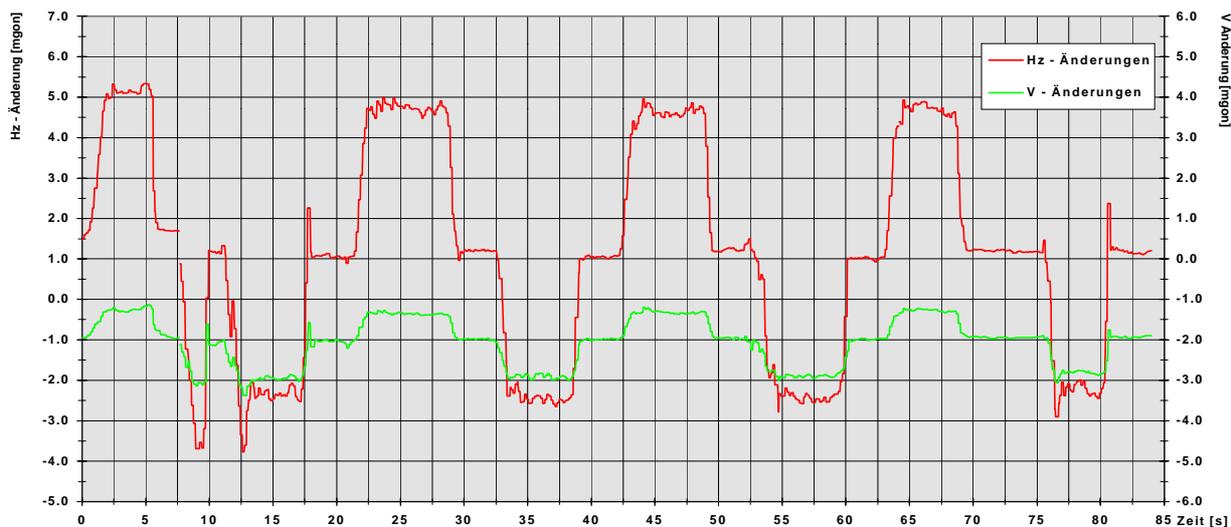




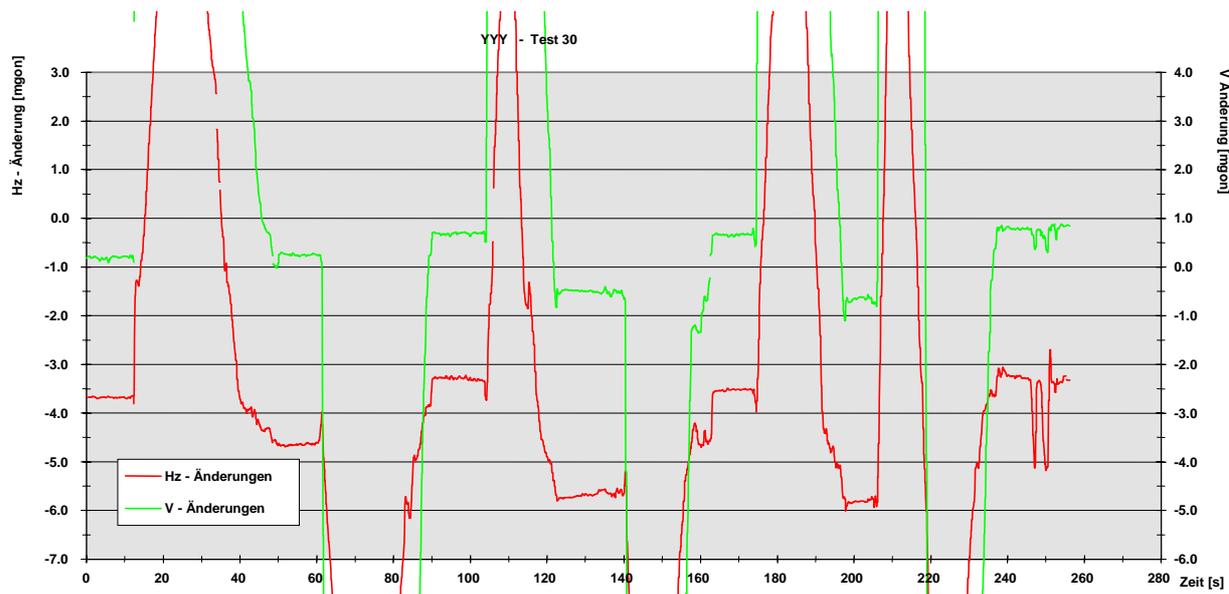
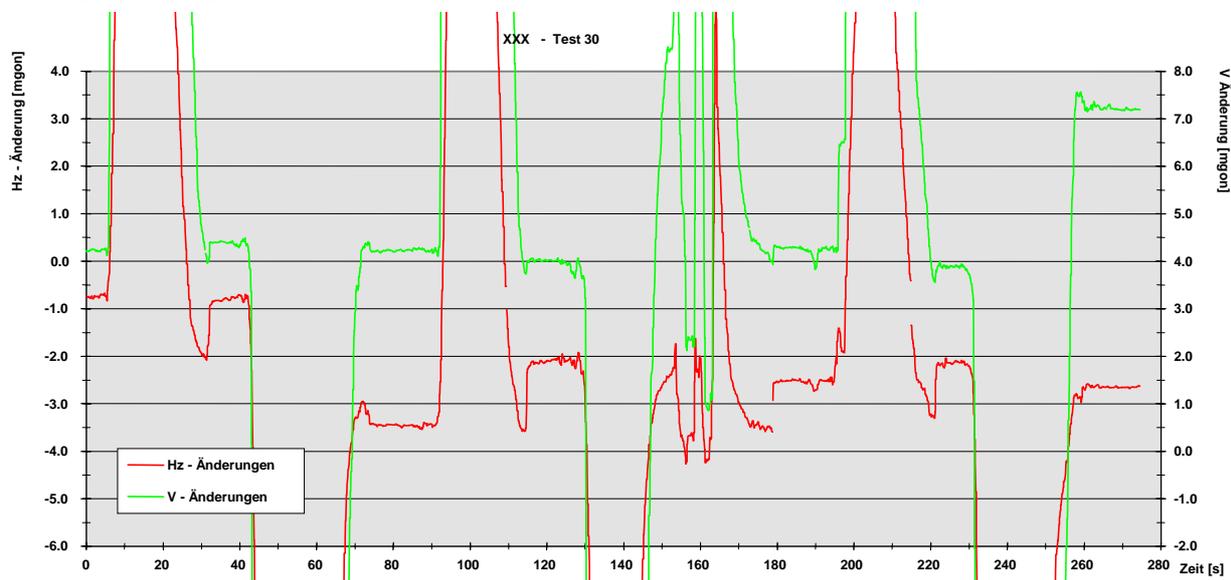
Anlage 2: Ergebnisse für Test 20 (Drehmoment 1Nm auf die Stehachse)



MOM K365 s (ohne Lot) - Test 20



Anlage 3: Ergebnisse für Test 30 (Drehen an der Fußschraube)



MOM K365 s (ohne Lot) - Test 30

