

# Adaptive Stellmomente und deren Einflussgrößen auf den Komfort- und Qualitätseindruck bei multifunktionalen Drehstellern

**Thomas Hampel und Thomas Maier**

*Schlüsselwörter: Aktives Stellteil, adaptive Stellmomente, Komfortbereiche, Unterschiedsschwelle*

## Zusammenfassung

Eine aktive Anbindung und die damit verbundenen adaptiven Drehmomente eines Multifunktionsstellers sind für eine Bedienung eines komplexen Ein- und Ausgabesystems notwendig. Eine Anpassung der Drehmomente, um z.B. Unterschiede wahrnehmbar zu machen, darf die als angenehm empfundenen Drehmomentbereiche jedoch nicht überschreiten. Eine durchgeführte Probandenbefragung zeigt, dass sich bei einem flachen, sägezahnförmigen Verlauf die als angenehm empfundenen Drehmomente im Bereich zwischen 0,07-0,1 Nm befinden. Dieser Bereich ist als ausreichend groß für adaptive Drehmomente anzusehen, da Unterschiede bereits ab ca. 12,7% vom Ausgangswert sicher erkannt werden können.

Dass dieser Bereich jedoch nicht für jeden Drehmomentverlauf gilt, zeigte sich in einer Folgeuntersuchung mit einem steilen sägezahnförmigen Verlauf. Die zuvor beschriebenen, maximalen Drehmomentamplituden wurden bei sonst gleichen Versuchsbedingungen als etwas zu niedrig empfunden.

## Summary

Active components and the associated adaptive torque are essential for the manipulation of a complex system with a multifunctional operating element. An adaptation of the torque, e.g. to get noticeable differences, must not exceed the comfortable torque ranges. A subject survey showed that a torque range between 0,07 Nm and 0,1 Nm of a flat saw-tooth like torque path is considered as comfortable for the subjects. This range is large enough for adaptive torques as differences can definitely be perceived already from about 12,7% from the initial value.

This range is nontransferable to other torque paths. When testing a sharp saw-tooth like torque path, in a subsequent survey the previously described maximum torque amplitudes were perceived as a little bit too low.

## Einleitung

Die Mensch-Maschine-Schnittstelle eines komplexen Ein- und Ausgabesystems besteht häufig aus einer hohen Anzahl an Stellteilen, mit denen unterschiedliche Funktionen bedient werden können. Um die Bedienung solcher Systeme zu erleichtern, kann anstelle vieler einzelner Stellteile ein zentrales, multifunktionales Stellteil verwendet werden. Dieses wird oft als Dreh-Drück-Steller ausgeführt. Die Drehbewegung dient dabei zur Auswahl oder zum Einstellen eines bestimmten Wertes, durch die Drückbewegung wird dieser Wert bestätigt.

Die Kopplung dieses Multifunktionsstellers mit den dazugehörigen Wirkelementen erfolgt elektronisch. Eine direkte Rückmeldung an den Benutzer, hervorgerufen durch eine Änderung des Wirkelements, ist somit nicht mehr gegeben, sondern muss künstlich erzeugt werden. Durch eine solche künstliche Rückmeldung und den Einsatz adaptiver Momente kann die Bedienung erleichtert werden. Das Stellteil dient dabei als haptischer Anzeiger und vermindert die Belastung auf den visuellen Wahrnehmungskanal. Gleichzeitig bringt der Einsatz adaptiver Drehmomente weitere Vorteile mit sich (Hampel, 2009). Neben der Reduzierung von Fehlbetä-

tigungen lassen sich damit Charaktereigenschaften eines Produktes verstärken oder Momente an den jeweiligen Nutzer anpassen, um die Kundenzufriedenheit und den Qualitätseindruck, den eine Bedienschnittstelle beim Benutzer hinterlässt, zu erhöhen.

Drehmomente lassen sich adaptiv gestalten, indem man den Drehsteller mit einem Aktor und einer dazugehörigen Regelung koppelt. Der Aktor – meist ein Elektromotor – erzeugt ein positives oder negatives Drehmoment in Abhängigkeit zur aktuellen Stellteilposition. Hiermit lassen sich die drei Eingabearten „kontinuierlich“, „diskret“ und „monostabil“ bei einer Drehbewegung auf das Stellteil applizieren. Von diesen Eingabearten bietet vor allem die diskrete Eingabeart weitere Variationsmöglichkeiten des Drehmomentverlaufs (vgl. Abb. 1). Neben dem Verlaufstyp lassen sich die Verlaufparameter anpassen, um die zuvor genannten Eigenschaften zu beeinflussen.

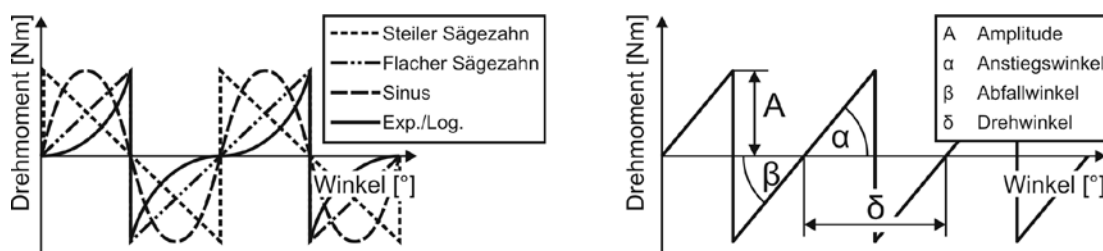


Abb. 1: Unterschiedliche Verlaufstypen des Drehmoments (links) und variable Parameter am Beispiel eines flachen Sägezahnverlaufs (rechts)

Um zwei Funktionen mit demselben Verlaufstyp von den Benutzern unterscheidbar zu machen, muss einer der Verlaufparameter, vorzugsweise die Amplitude, verändert werden. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass sich das maximal aufzubringende Drehmoment in einem weder als zu groß noch zu klein empfundenen Bereich befindet. Empfehlungen zu diesen Bereichen gibt es zwar – z.B. (Neudörfer, 1981), (Schmidtke, 1989) – diese sind aber nicht ausreichend beschrieben. Aus diesem Grund fanden Probandenuntersuchungen am IKTD statt, durch deren Ergebnis diese Bereiche in Abhängigkeit vom Verlaufstyp und den Verlaufsparemtern näher beschrieben werden (Farr, 2009).

### Probandenuntersuchung

In einer ersten Versuchsreihe wurden insgesamt 12 Personen befragt. Diese sollten sitzend ein Stellteil mit diskreter Eingabeart (flacher Sägezahn  $\alpha=20^\circ$ ) bei unterschiedlichen Drehmomentamplituden  $A$  drehen. Als Stellteil wurde ein Drehknopf aus Kunststoff mit einem Durchmesser  $d=42$  mm verwendet, der von den Probanden mit zwei oder drei Fingern gegriffen wurde.

Nach jeder Stellbewegung mussten die Probanden angeben, wie Sie das Stellen des Drehknopfes empfanden. Dabei konnten Sie Werte einer fünfstufigen Skala auswählen (vgl. Abb. 2), die von „zu schwer“ bis „zu leicht“ reicht. Die Mitte dieser Skala stellt dabei das Optimum dar.

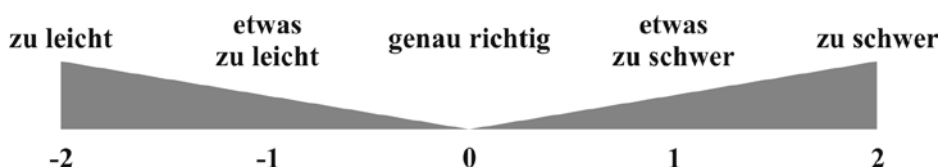


Abb. 2: Skala der Antwortmöglichkeiten bei der Befragung

Die Drehmomentamplituden dieser Vorversuche orientierten sich an dem empfohlenen Drehmomentbereich für Drehknöpfe nach (Neudörfer, 1981). Die Mittelwerte der Nennungen

dieser Untersuchung sind Abb. 3 zu entnehmen. Es zeigt sich, dass bereits Drehmomentwerte ab einem Wert größer als 0,13 Nm als „etwas zu schwer“ empfunden werden. Bei Drehmomenten, die größer als 0,25 Nm sind tendieren die Aussagen bereits gegen „zu schwer“ wobei hier die Standardabweichung  $\sigma$  der Antworten sehr klein wird. Die meisten Nennungen „genau richtig“ werden bei den beiden kleinsten Drehmomenten 0,07 Nm und 0,1 Nm gemacht.

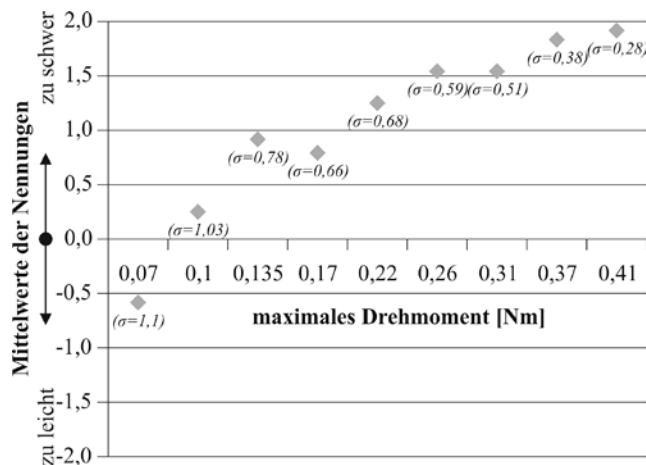


Abb. 3: Mittelwerte der Nennungen in Abhängigkeit zur Drehmomentamplitude sowie dazugehörige Standardabweichungen, Versuchsreihe 1

Aufgrund dieser Ergebnisse wurde eine zweite Versuchsreihe mit einem größeren Probandenkollektiv von insgesamt 31 Personen durchgeführt. Dabei wurden die beiden bereits untersuchten Drehmomentamplituden von 0,07 Nm und 0,1 Nm um die erwartete, optimale Drehmomentamplitude von 0,09 Nm ergänzt. Die Ergebnisse der Befragung (vgl. Abb. 4) zeigen, dass bei einer Amplitude von 0,09 Nm sich der Mittelwert der genannten Antworten tatsächlich sehr nah im Bereich „genau richtig“ befindet. Dabei ist jedoch zu beachten, dass die Mittelwerte der Antworten bei 0,09 Nm bei einer Drehung im und gegen den Uhrzeigersinn von diesem Optimum etwas in entgegengesetzte Richtung verschoben sind. Diese erweiterte Untersuchung zeigt aber auch, dass sich die Mittelwerte der Nennungen der beiden anderen Drehmomentamplituden bei größerer Probandenanzahl ebenfalls dem Optimum nähern. Die Standardabweichungen der Nennungen bleiben dabei gleich oder werden im Falle von 0,07 Nm sogar kleiner als in der ersten Versuchsreihe.

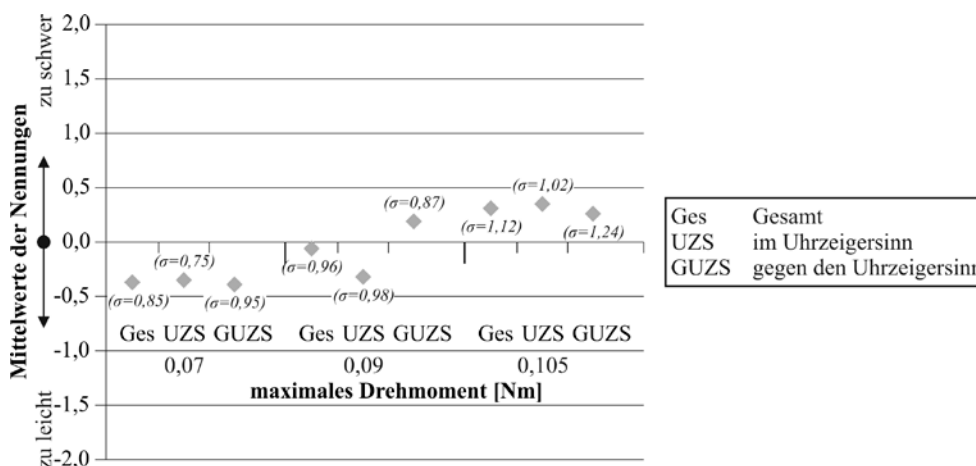


Abb. 4: Mittelwerte der Nennungen in Abhängigkeit zur Drehmomentamplitude und der Drehrichtung sowie dazugehörige Standardabweichungen, Versuchsreihe 2

Somit kann der in diesen beiden Versuchsreihen identifizierte Bereich der Drehmomentamplitude zwischen 0,07 Nm-0,1 Nm für einen flachen Sägezahnverlauf als optimal angesehen werden.

In einer dritten Versuchsreihe wurde mit 17 Probanden überprüft, inwieweit sich dieser Bereich auf andere Drehmomentverläufe übertragen lässt (vgl. Abb. 5). Dazu wurde anstelle eines flachen ein steiler sägezahnförmiger Drehmomentverlauf auf das Stellteil aufgebracht. Die restlichen Untersuchungsbedingungen wurden gleich gehalten. Es zeigt sich, dass alle getesteten Drehmomente als leichter empfunden werden als die Momente der zuvor untersuchten flachen, sägezahnförmigen Verläufe. Alle Ergebnisse dieser Versuchsreihe liegen aber auch hier sehr nah beieinander. Somit kann davon ausgegangen werden, dass bei einer leichten Erhöhung der Amplitude mit diesem Drehmomentverlaufstyp ein als optimal komfortabel empfundener Bereich gefunden werden kann.

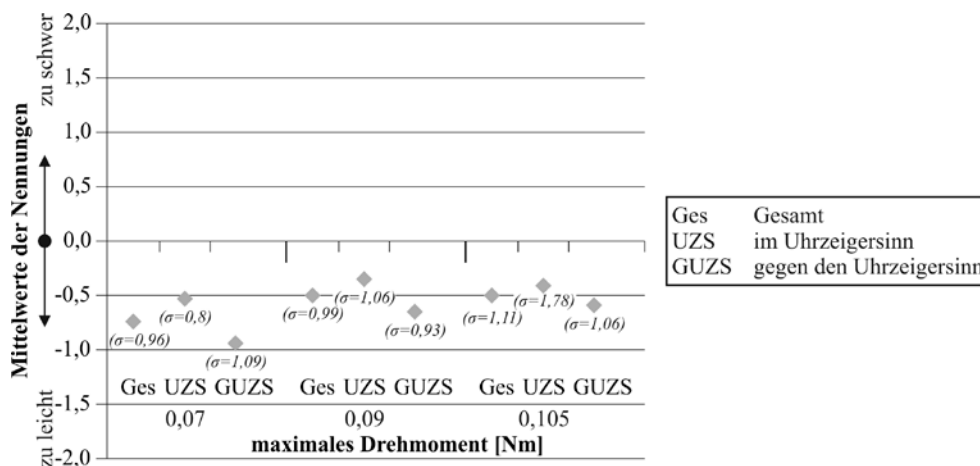


Abb. 5: Mittelwerte der Nennungen in Abhängigkeit zur Drehmomentamplitude und der Drehrichtung sowie dazugehörige Standardabweichungen, Versuchsreihe 3

Wie bereits erwähnt muss für einen sinnvollen Einsatz adaptiver Drehmomente der nutzbare Bereich groß genug sein, um zwei Funktionen mit gleichem Drehmomentverlaufstyp durch verschiedene Drehmomentamplituden unterscheidbar zu machen. Nach (Jandura, 1994) beträgt die Unterschiedsschwelle von Drehmomente 12,7%. Danach ließen sich im Bereich zwischen 0,07-0,1 Nm bereits vier Funktionen allein durch unterschiedliche Drehmomentamplituden erkennen. Für die Unterscheidung von deutlich mehr als vier Funktionen muss hingegen auf eine Änderung anderer Parameter oder auf einen anderen Verlaufstyp zurückgegriffen werden.

## Literatur

- Hampel, T. & Maier, T. (2009). Innovation by using adaptive operation forces – purpose, control location and realization. In ATZlive (Hrsg.), *9th Stuttgart International Symposium – Automotive and Engine Technology* (Vol. 2). Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag.
- Neudörfer, A. (1981). *Anzeiger und Bedienteile, Gesetzmäßigkeiten und systematische Lösungssammlungen*. Düsseldorf: VDI-Verlag GmbH.
- Schmidtke, H.; Rühmann, H. (1989). Körperkräfte. In H. Schmidtke (Hrsg.), *Handbuch der Ergonomie* (Kap. B-4). Koblenz: Bundesamt für Wehrtechnik und Beschaffung.
- Farr, S. (2009). *Experimentelle Untersuchung zum als komfortabel empfundenen Drehmoment bei Drehschaltern*. Studienarbeit, IKTD, Universität Stuttgart.
- Jandura, S. (1994). Experiments on human performance in torque discrimination and control. In ASME (Hrsg.), *Dynamic systems and control, Proceedings of the ASME Winter Annual Meeting* (S. 369-375). ASME, U.S..