

# Voruntersuchungen zur Robotersteuerung mithilfe von Motorströmen an dem Mantec R3 Roboter

Robert Lange

robert.lange@s1999.tu-chemnitz.de

18. November 2004

## Inhaltsverzeichnis

<b>1 Ziel</b>	<b>2</b>
<b>2 Hardwaremodifikation</b>	<b>3</b>
<b>3 Vorgehensweise</b>	<b>3</b>
3.1 Kraft-Momente-Sensor . . . . .	3
3.2 Statisches Verhalten . . . . .	4
3.3 Dynamisches Verhalten . . . . .	4
3.4 Kraftanregung . . . . .	5
<b>4 Ergebnisse</b>	<b>5</b>
4.1 Achse 1 . . . . .	5
4.2 Achse 2 . . . . .	6
4.3 Achse 3 . . . . .	7
4.4 Achse 4 . . . . .	8
4.5 Achse 5 . . . . .	9
4.6 Achse 6 . . . . .	10

## 1 Ziel

Heutige Roboter sollen mit ihrer Umgebung interagieren können. Eine Möglichkeit für die Festlegung von Umgebungszuständen ist der Einsatz eines Kraft-Momente-Sensors (KMS), um die Kräfte und Momente an der Werkzeugspitze festzustellen.

Ein Problem dabei sind die hohen Kosten und die Notwendigkeit eines zusätzlichen Sensors an dem Robotersystem, weshalb der KMS in der Praxis bisher nur sehr wenig eingesetzt wird.

Ein anderer Ansatzpunkt ist die Verwendung von schon vorhandenen Signalen des Roboters, um die Gelenkkräfte zu bestimmen, welche dann in die an der Werkzeugspitze wirkenden Kräfte und Momente umgerechnet werden können.

Dafür bieten sich die Motorströme an, welche idealisiert proportional zu den an den Gelenken anliegenden Momenten sind. Dabei müssen eine Vielzahl an Faktoren berücksichtigt werden, wobei voraussichtlich die Gewichtskraft und auftretende Reibungseffekte den grössten Anteil besitzen.

In dem hier vorliegenden Artikel wird eine prinzipielle Voruntersuchung der Tauglichkeit der Motorstromverwendung an dem Mantec R3 Roboter durchgeführt.

Dabei werden folgende Punkte für alle Achsen des Roboters untersucht:

- Motorsignale im statischen Fall
- Motorsignale im dynamischen Fall

- Anregung mit Kräften aus dem statischen Fall heraus

Die Ergebnisse werden zusammengestellt, und daraus eine prinzipielle Aussage abgeleitet. Diese wird jedoch nicht weiterverfolgt oder mit wissenschaftlichen Methoden analysiert, weshalb hier ausdrücklich auf die Unsicherheit der Schlussfolgerung hingewiesen werden soll.

## 2 Hardwaremodifikation

Um auf die Motorströme zugreifen zu können, musste ein Eingriff in die Hardware des Mantec R3 Roboters durchgeführt werden, da die Ströme nur auf den Leistungsplatten anliegen. Die Signale „current ref. value“ stellen eine dem Strom proportionale Spannung bereit, dessen Maximalwert von 8 V verschiedenen Strommaxima zugeordnet ist:

Achse	1, 2, 3	4, 5	6
$I_{max}$ in A	25	5	2,2

Um diese Signale der Steuerung zur Verfügung zu stellen, wurden auf den Leistungsplatten die Abgriffpunkte BR8 mit BR19A über ein gelötetes Kabel verbunden, welche auf das mit der Steuerung verbundene Kabel geleitet wird. Die Leitung diente ursprünglich der Weitergabe des Tacho-Signales, welches nur für die Originalsteuerung benötigt wurde.

Auf der selbsterstellten Verteilerplatine sind folgende Verbindungen wiederum mit Kabel hergestellt wurden, um die Signale entgeltig in die Steuerung zu leiten:

Achse	1	2	3	4	5	6
Zu Leistungsteil	X40.17	X40.18	X41.11	X41.19	X41.24	X41.20
Zu Steuerung (ANIGR)	3.6	3.8	3.10	4.6	4.8	4.10

## 3 Vorgehensweise

### 3.1 Kraft-Momente-Sensor

Der Mantec R3 ist mit einem KMS ausgestattet, um Kräfte und Momente an der Werkzeugspitze bestimmen zu können. Dies kann genutzt werden, um im Fall der Kraftanregung die wirkenden Momente bei geeigneter Roboterstellung bestimmen zu können.

Der KMS verwendet das in Bild 1 dargestellte Koordinatensystem.

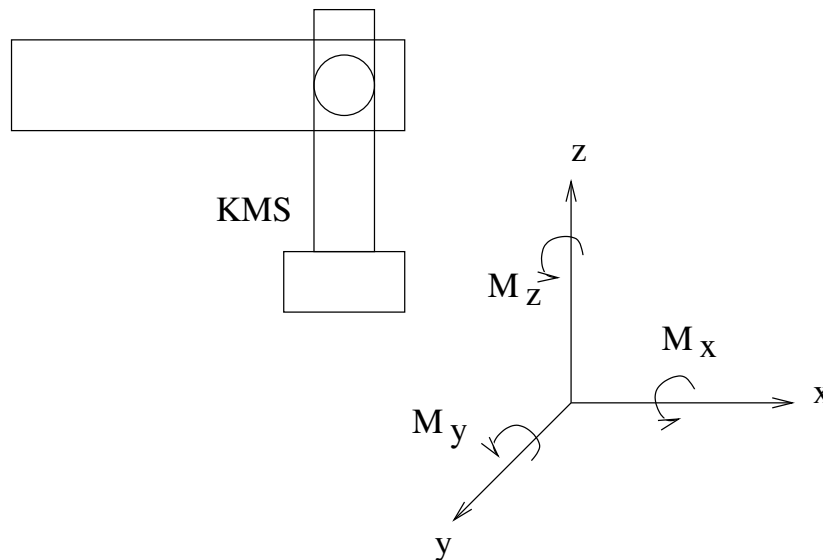


Bild 1: KMS Koordinatensystem

Es ist zu beachten, dass bei den durchgeführten Versuchen keine Kalibrierung des KMS durchgeführt wurde. Alle aufgenommenen Werte sind somit mit einem unbekanntem (aber konstanten) Offset versehen, der für jede Koordinate unterschiedlich ist.

### 3.2 Statisches Verhalten

Die Achse wird – soweit möglich – in einem von äusseren Momenten freien Zustand gebracht und der Motorstrom über die Zeit beobachtet. Dies wird an mehreren Positionen wiederholt und darauf aufbauend eine qualitative Aussage über das statische Verhalten der Motorströme getroffen.

Theoretisch wäre ein Motorstrom von Null zu erwarten, was sich aber auf Grund der Regelvorgänge in der Robotersteuerung und Offsets der Leistungsteile nicht einstellen wird. Es soll festgestellt werden, ob ein definierter Nullpegel der Motorströme bestimmbar ist.

Bei Achsen, die nicht in einen kräftefreien Zustand gebracht werden können, wird versucht eine Aussage unter Last (aber ohne Bewegung) zu treffen.

### 3.3 Dynamisches Verhalten

Die Achse wird in zwei verschiedenen Geschwindigkeiten über einen bestimmten Winkel bewegt. Die Messung wird dreimal wiederholt und dann die aufgenommenen Kurven überlagert. Das Ziel

der Untersuchung ist festzustellen, ob auftretende Schwankungen des Motorstromes nur von dem Winkel abhängen.

Die Bewegungen werden mit dem Programm „interpol.ddc“ durchgeführt. Dabei werden folgende Werte eingestellt:

	Beschleunigung	Geschwindigkeit
Langsam	10%	1%
Schnell	10%	30%

Wenn möglich wird eine Bewegungsbahn gewählt, auf der die einwirkenden äusseren Kräfte konstant sind.

Die Diagramme enthalten den überlagerten Verlauf des gefilterten Motorenstromes<sup>1</sup> (I) und ggf. die Ansteuerspannung (U) oder den Gelenkwinkel (Q).

### 3.4 Kraftanregung

Auf die Achse wird im ungewegten Fall ein definiertes Moment ausgeübt, das über den KMS bestimmt wird.

Es soll untersucht werden, ob die feststellbaren Motorstrome proportional zu dem einwirkenden Moment ist, wie unter Vernachlässigung von Reibung und ähnlichen Faktoren zu erwarten wäre:

$$I_{Achse} = \frac{M_{extern}}{K_{Motor} N_{Getriebe}}$$

In dem Fall der direkten Proportionalität müsste sich in den gezeichneten Diagrammen eine Gerade einstellen.

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Achse 1

#### Ausrichtung

In HOME-Position (so wie der Roboter immer abgestellt wird; siehe auch Programm „homepos.ddc“).

---

<sup>1</sup>siehe motorstromabfrage\_filter.ddc

### Statisches Verhalten

Schwankt stark, pendelt sich auf verschiedene Endwerte ein, auch abhängig von der Position

Kein definierter Pegel feststellbar.

### Dynamisches Verhalten

	Startposition	Endposition
Langsam	-90°	-70°
Schnell	30°	-90°

Siehe Bild 2 auf Seite 12

### Kraftanregung

Siehe Bild 8 auf Seite 18

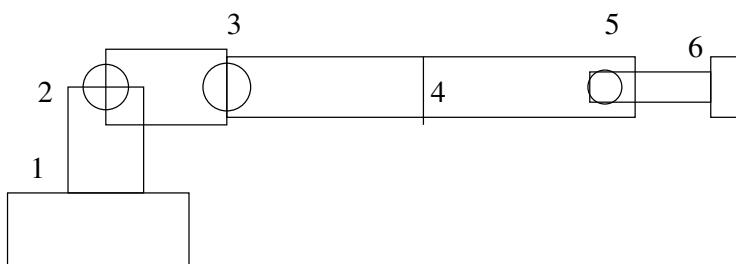
## 4.2 Achse 2

### Ausrichtung

In Home-Position für das statische Verhalten.

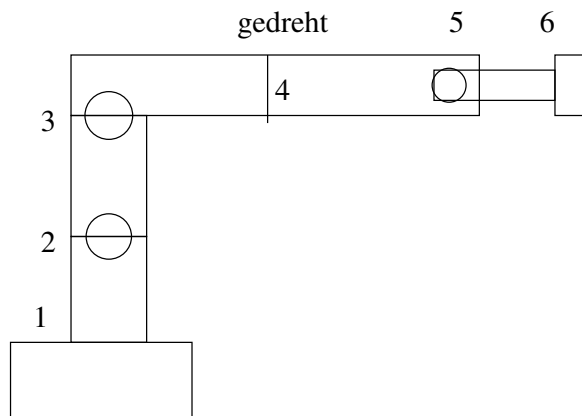
Für das dynamische Verhalten:

Achse	1	2	3	4	5	6
Gelenkwinkel	0°	90°	0°	0°	0°	0°



Für die Kraftanregung:

Achse	1	2	3	4	5	6
Gelenkwinkel	0°	0°	90°	90°	0°	0°



### Statisches Verhalten

Statisch unbelastet nicht realisierbar, deshalb im belasteten Fall untersucht.

Regelsprünge und Schwingen treten auf.

### Dynamisches Verhalten

	Startposition	Endposition
Langsam mit $v=2\%$	100°	80°
Schnell	-20°	100°

Siehe Bild 3 auf Seite 13

### Kraftanregung

Manuelle Aussteuerung über  $F_z$  führt zu keiner messbaren Änderung des Motorstromes.

## 4.3 Achse 3

### Ausrichtung

Wie für Achse 2

### Statisches Verhalten

Statisch unbelastet nicht realisierbar, deshalb im belasteten Fall untersucht.

Geringe Regelsprünge treten auf, sonst sehr stabil.

### Dynamisches Verhalten

	Startposition	Endposition
Langsam	25°	45°
Schnell	45°	-90°

Siehe Bild 4 auf Seite 14

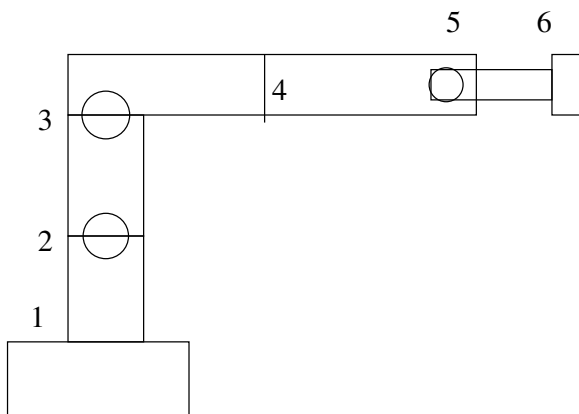
### Kraftanregung

Siehe Bild 8 auf Seite 18

## 4.4 Achse 4

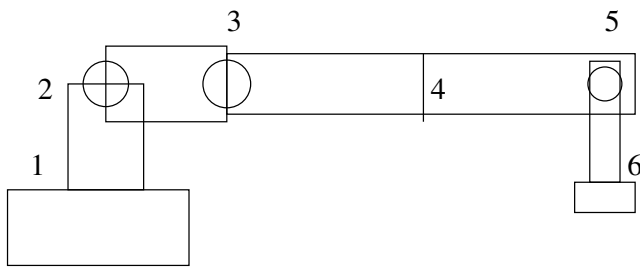
### Ausrichtung

Aus HOME-Position mit ausgestreckter Achse 5



Für die Kraftanregung:

Achse	1	2	3	4	5	6
Gelenkwinkel	0°	90°	0°	0°	90°	0°



### Statisches Verhalten

Beispielwerte

0°: sehr ruhige Nulllage

-60°, 30°: schwingen mit  $T=1,3$  s

45°: sehr stabiles Offset

Positionsabhängiges Offset, jedoch teilweise mit Schwingung, das Verhalten ist in den untersuchten Positionen stabil

### Dynamisches Verhalten

	Startposition	Endposition
Langsam	-90°	-70°
Schnell	30°	-90°

Siehe Bild 5 auf Seite 15

### Kraftanregung

Siehe Bild 8 auf Seite 18

## 4.5 Achse 5

### Ausrichtung

Home-Position

### Statisches Verhalten

Kippen wird kompensiert über gleichzeitiges Kippen der Achse 2

Motorstrom ist stabil Null in Ruhelage, welche  $0,2^\circ$  von der mathematischen Nulllage nach Koordinaten abweicht, d.h.  $q_5 = 89,8^\circ$ .

### Dynamisches Verhalten

	Startposition	Endposition
Langsam	$10^\circ$	$30^\circ$
Schnell	$30^\circ$	$-90^\circ$

Siehe Bild 6 auf Seite 16

### Kraftanregung

Siehe Bild 8 auf Seite 18

## 4.6 Achse 6

### Ausrichtung

Wie für Achse 4

### Statisches Verhalten

Kurz nach dem Einschalten Sprung von 35 mA auf 70 mA, dannach für länger Zeit stabil, springt jedoch ca. jede Minute zwischen 35 mA und 70 mA, selten treten Spitzen in dem sonst stabilen Pegel auf.

### Statisches Verhalten aus der Home-Position

Driftet in verschiedenen Stellungen (z. B.  $30^\circ$ ,  $70^\circ$ ), sonst stabile Nulllage (wie  $-70^\circ$ ,  $0^\circ$ )

### Dynamisches Verhalten

	Startposition	Endposition
Langsam	$-90^\circ$	$-70^\circ$
Schnell	$30^\circ$	$-90^\circ$

Siehe Bild 7 auf Seite 17

### **Kraftanregung**

Siehe Bild 8 auf Seite 18

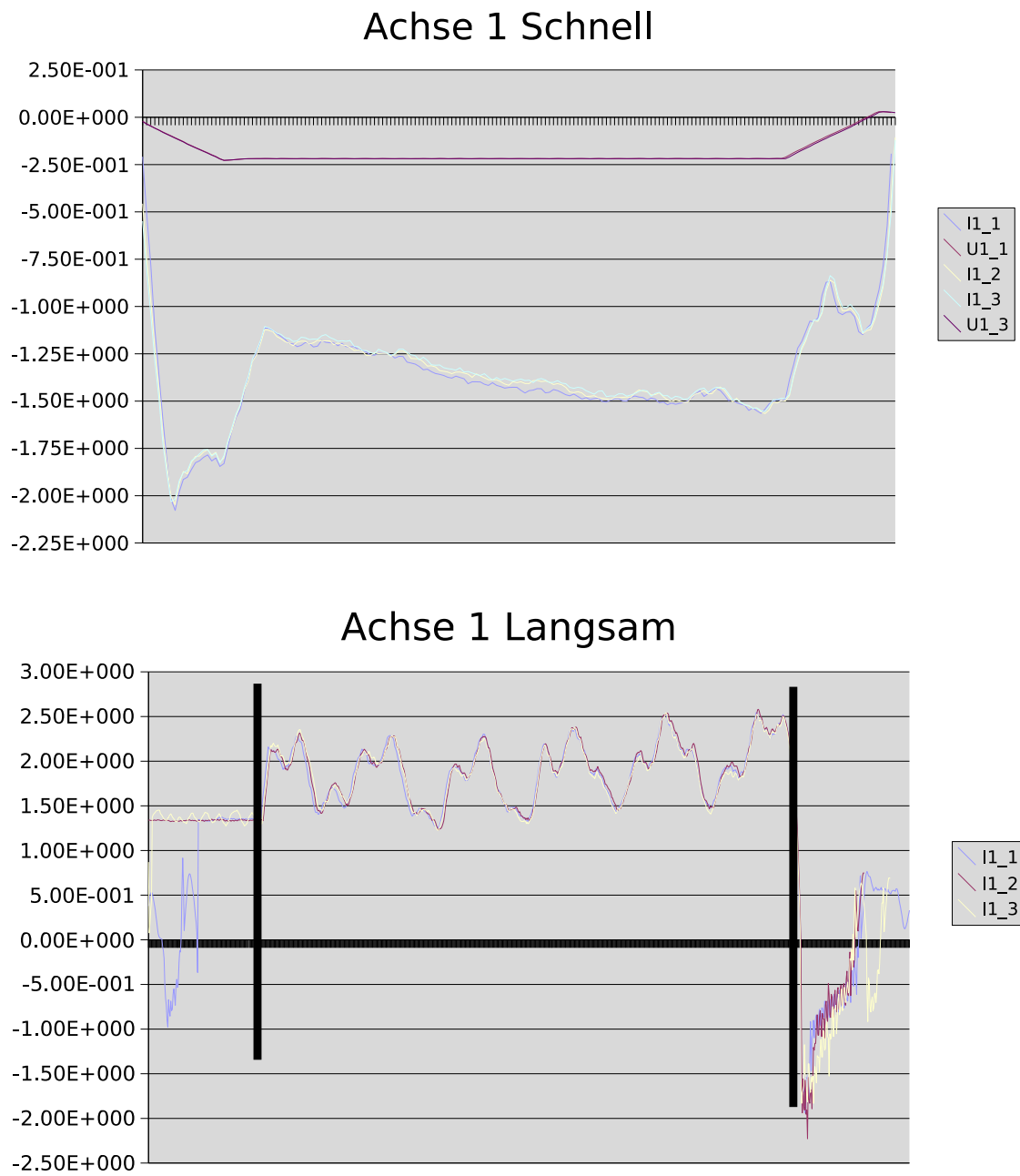


Bild 2: Dynamisches Verhalten für Achse 1

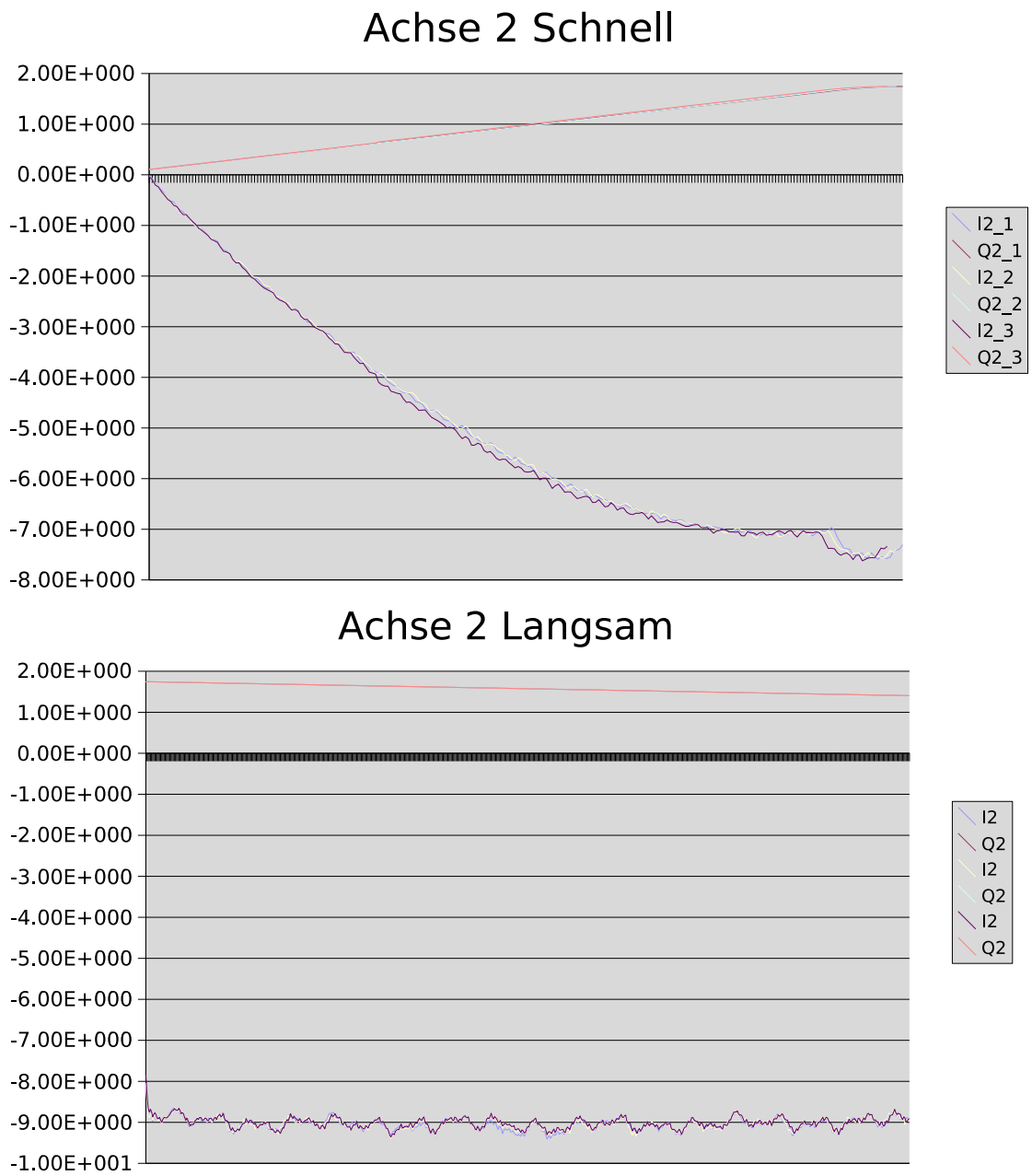


Bild 3: Dynamisches Verhalten für Achse 2

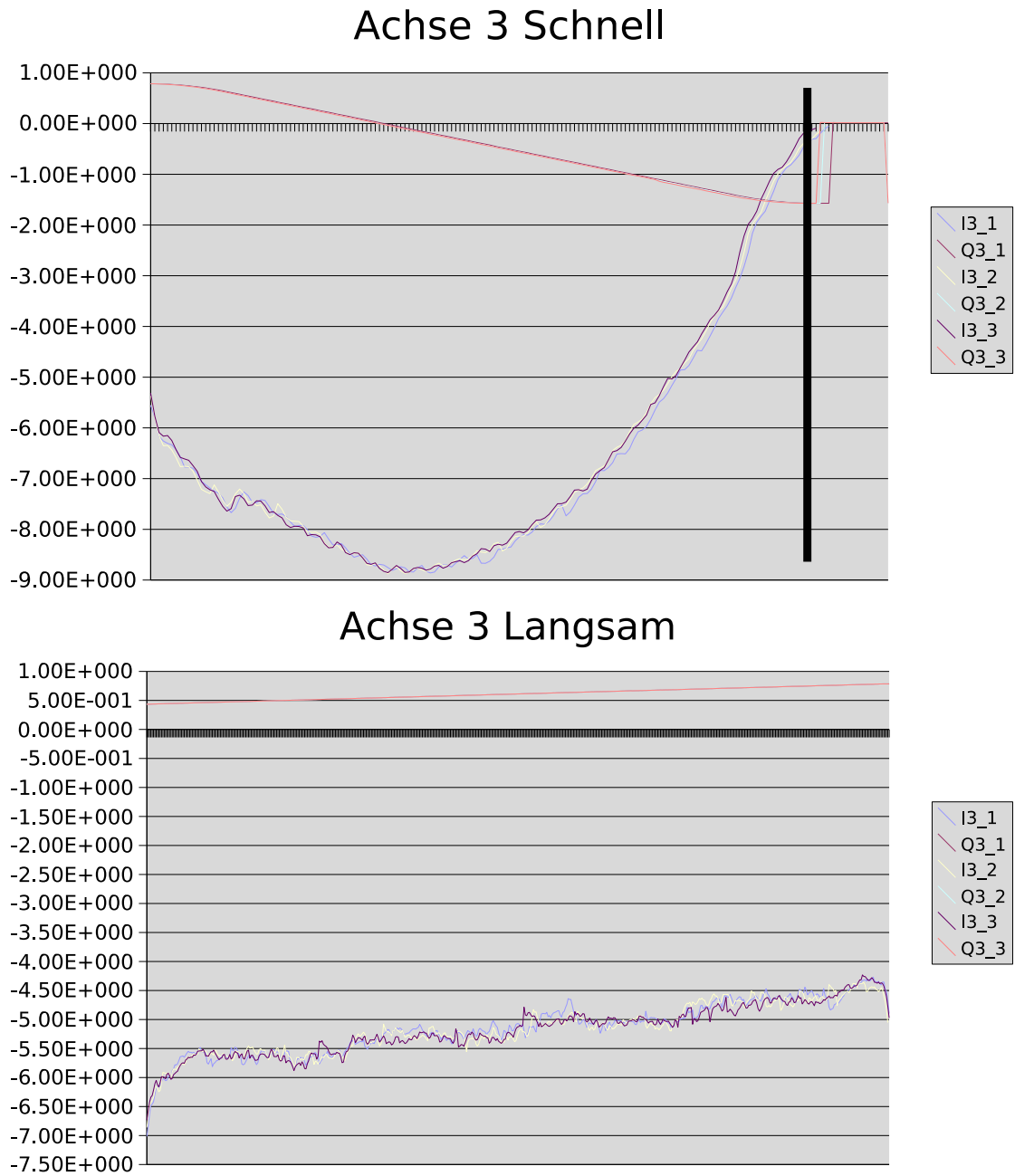


Bild 4: Dynamisches Verhalten für Achse 3

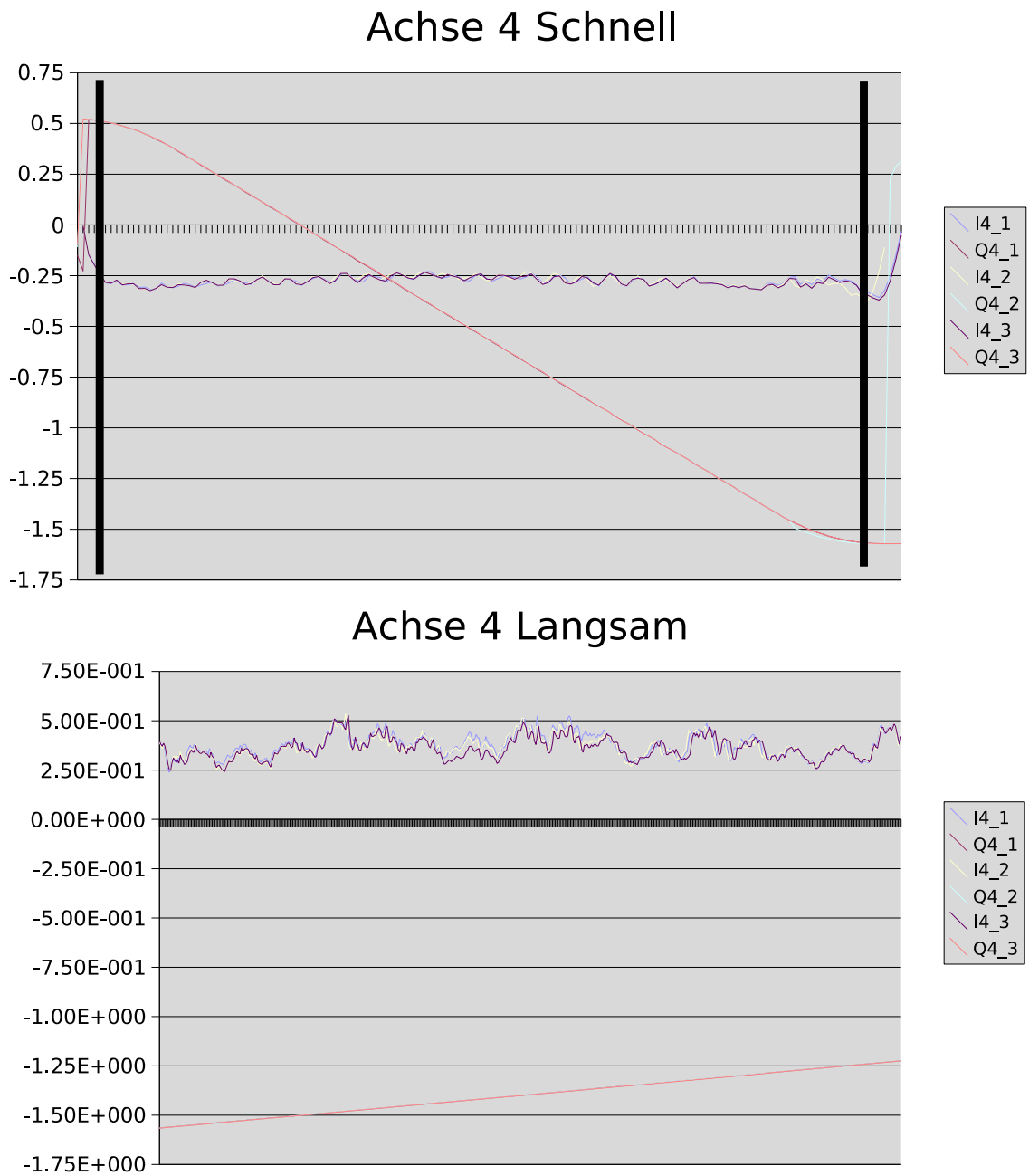


Bild 5: Dynamisches Verhalten für Achse 4

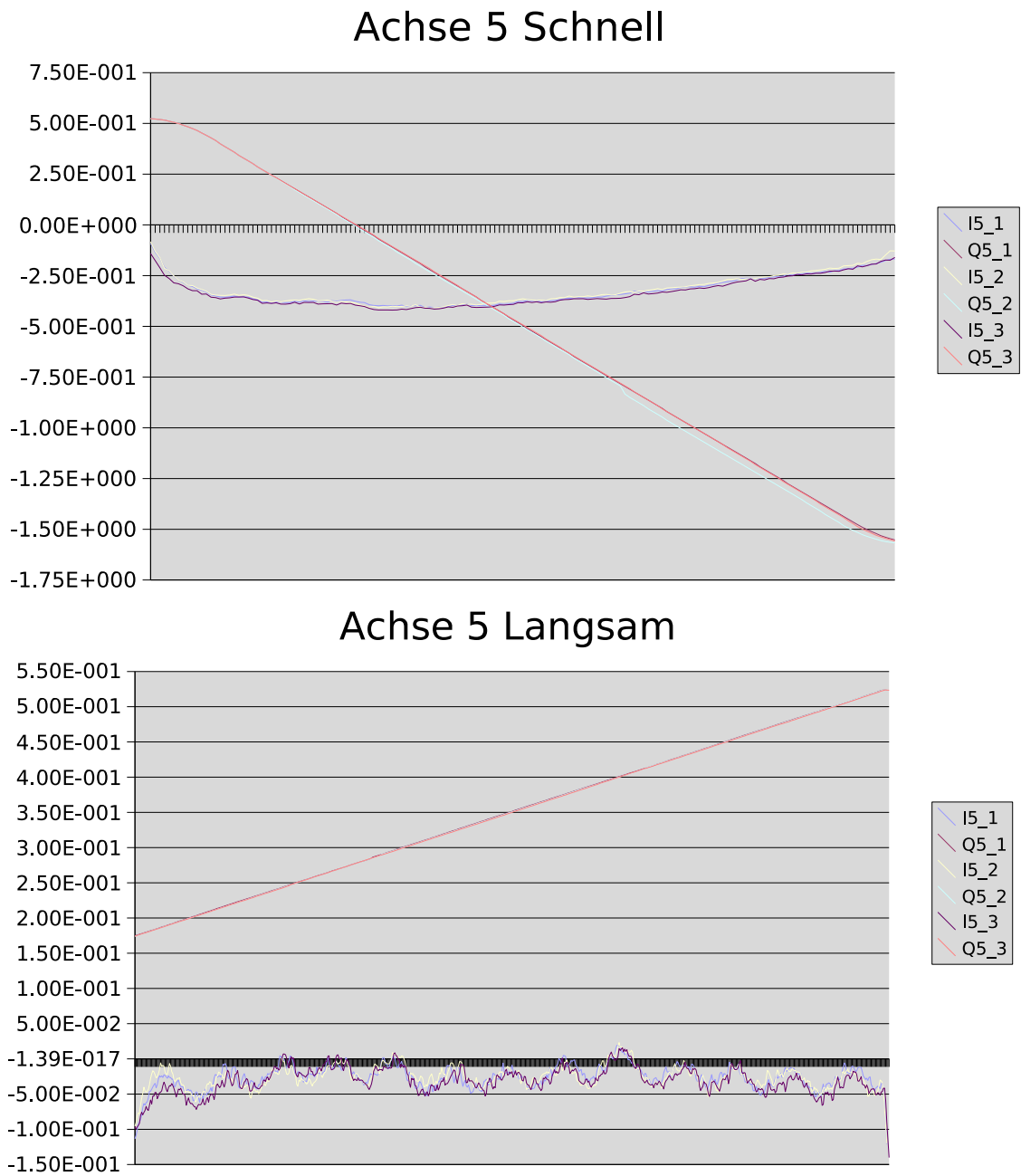


Bild 6: Dynamisches Verhalten für Achse 5

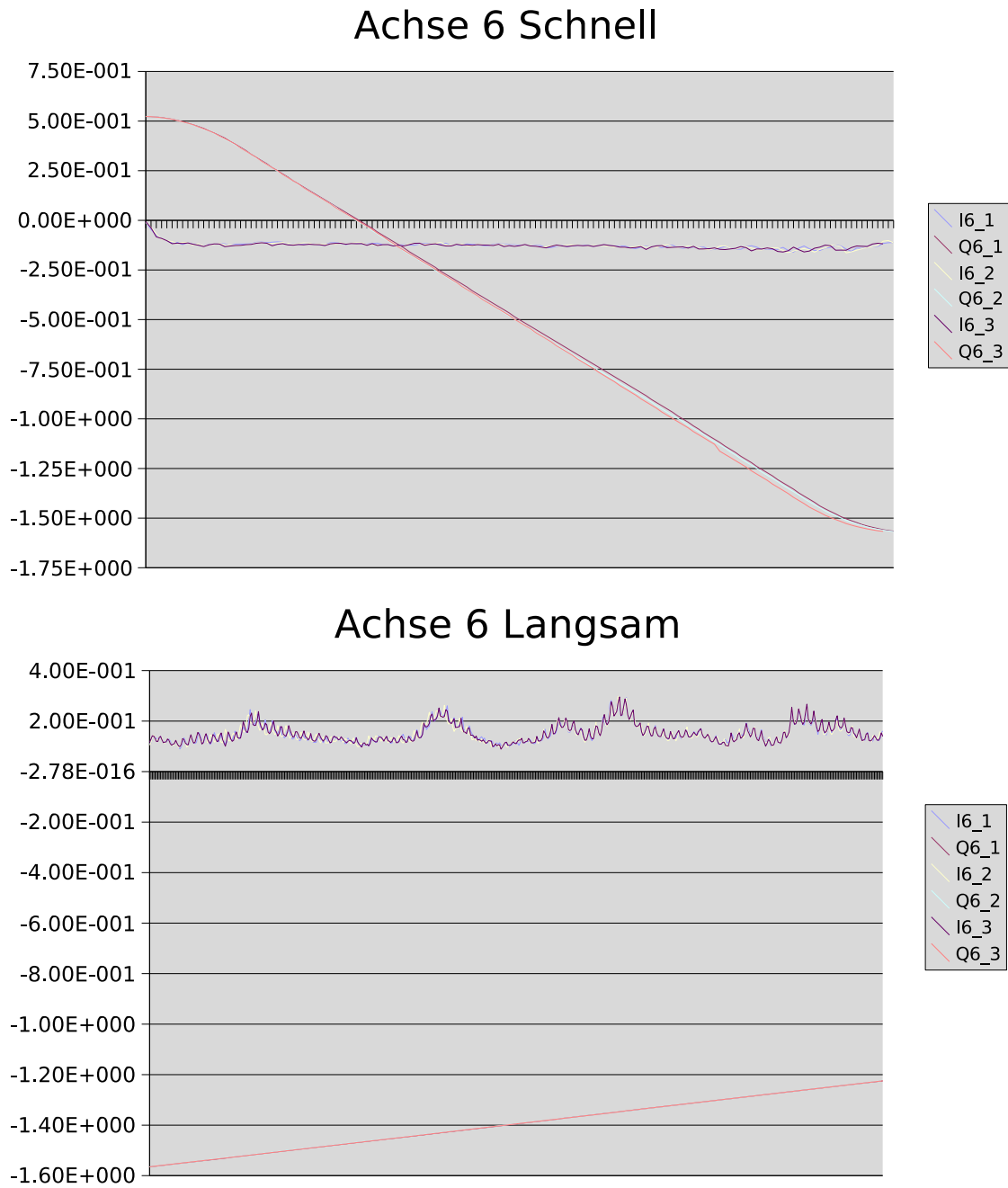


Bild 7: Dynamisches Verhalten für Achse 6

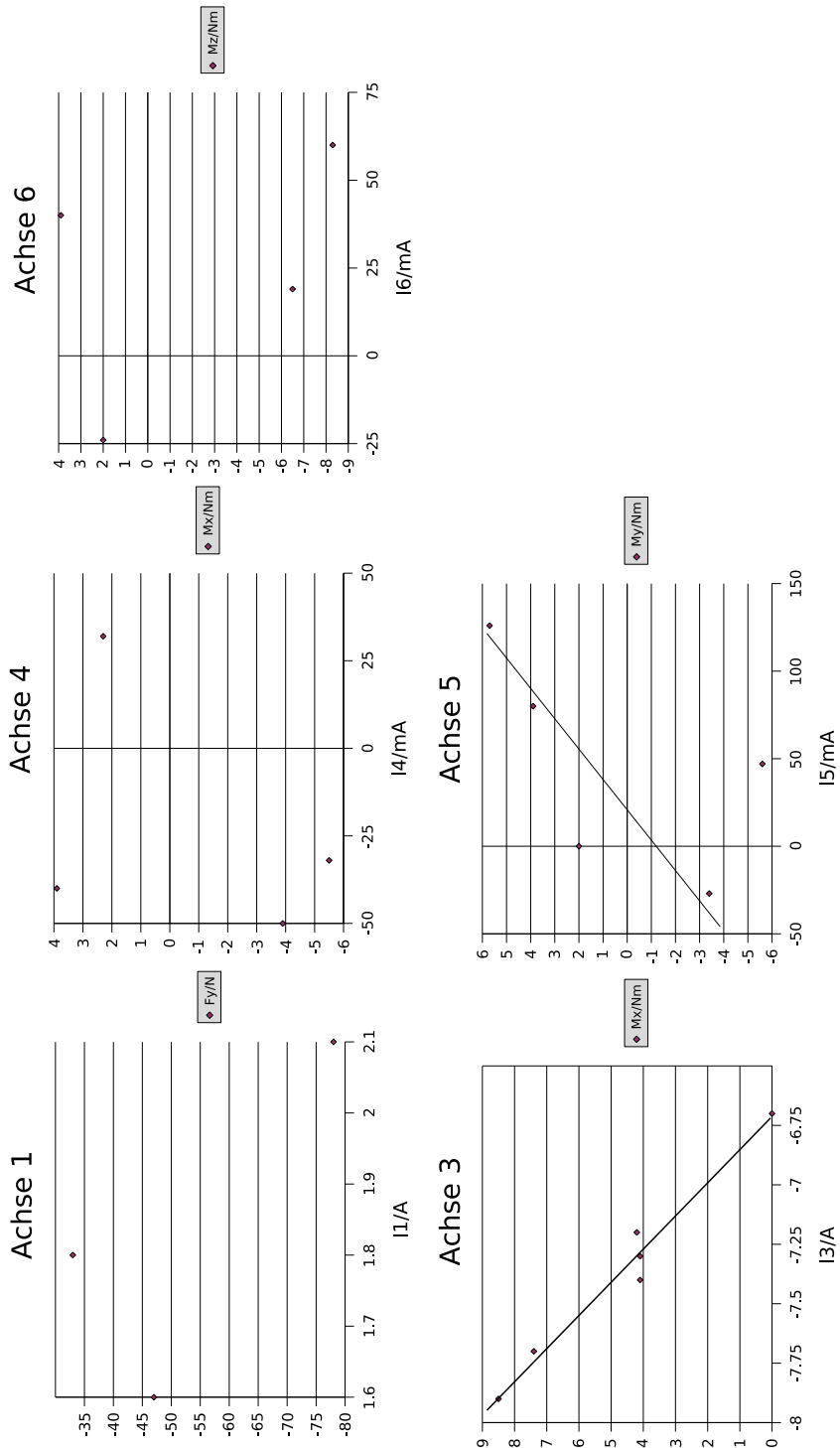


Bild 8: Kraftanregung mit Beispielwerten