



**Ostfalia**  
Hochschule für angewandte  
Wissenschaften

# ENERGIEEFFIZIENTER ROBOTERBETRIEB

Leitfaden für Planer/innen und Betreiber/innen



Ein Projekt  
des Instituts für  
Produktionstechnik in  
Kooperation mit der  
Volkswagen AG

# MAX. 7 SCHRITTE

## ZUR ENERGIEEFFIZIENTEN ROBOTERPROGRAMMIERUNG

### VORGEHENSWEISE FÜR ...

#### DIE ANLAGENPLANUNG 4

RoboterAuslegung	5
Roboterpositionierung	6
Roboterbahn	7
Bewegungsart	8
Homeposition	9
Geschwindigkeit und Beschleunigung	10
Bremseinfallzeit	11

Die Darstellung der Einflussparameter soll in erster Linie ein Bewusstsein für die unterschiedlichen Einflüsse auf den Energieverbrauch eines Industrieroboters schaffen.

#### 12 DIE INSTANDHALTUNG/ NACHTRÄGLICHE OPTIMIERUNG

- 13 Auswahl bestehender Anlagen
- 14 Mit Simulationsunterstützung,  
Ohne Simulationsunterstützung
- 15 Homeposition
- 16 Bahnpunkte



Dieser Leitfaden stellt Anlagenplaner/innen oder Mitarbeiter/innen der Instandhaltung eine definierte Vorgehensweise für die Anlagenplanung sowie zur Optimierung von bestehenden Anlagen bereit.

**Sparen Sie Energie beim Einsatz von Robotern.** Das Institut für Produktionstechnik (IPT) der Ostfalia Hochschule führte in Kooperation mit der Volkswagen AG Untersuchungen durch, um den Einfluss verschiedener Parameter auf den Energieverbrauch von Industrierobotern aufzuzeigen und diesen mit energieeffizienten Maßnahmen gezielt zu beeinflussen.

Lernen Sie die wichtigsten Parameter kennen und steuern. Schaffen Sie ganz nebenbei einen Mehrwert – für sich, Ihre Kunden und für die Umwelt.

**Fangen Sie gleich an!**

**ROBOTER-  
EINSATZ?  
WENN, DANN  
RICHTIG!**

Die Daten stammen aus Untersuchungen (2016 – 2019) mit Robotern des Instituts für Produktionstechnik sowie mit Roboterzellen im Anlagen- und Karosseriebau der Volkswagen AG und in der Volkswagen Akademie und berücksichtigten die Parameter Robotergröße, Roboterposition, Massenträgheitsmoment, Werkzeuggewicht, Bahnkurve, Stand-By-Modus, Beschleunigung, Geschwindigkeit, Homeposition, Energiespeicher und Position der Gewichtsverteilung am Werkzeug (Symmetrie).

# ANLAGENPLANUNG IN 7 SCHRITTEN

## Möglichkeiten der Optimierung in der Planungsphase für Anlagenplaner/innen und Roboterprogrammierer/innen

Dieser Leitfaden hilft Ihnen, den Aspekt der Energieeffizienz in **sieben Schritten**, von der Auswahl des Roboters über die Positionierung bis hin zur Programmierung, strukturiert zu berücksichtigen.



### 1. RoboterAuslegung

Die Größe hat einen erheblichen Einfluss auf den Energieverbrauch. Der Roboter sollte nach Möglichkeit nicht zu groß (überdimensioniert für seine Aufgabe) gewählt werden.



### 2. Roboterpositionierung

Dieser Schritt in der Planungsphase unterliegt den räumlichen Restriktionen. Positionieren Sie den Roboter weder zu weit entfernt von noch zu nah an seinem Arbeitsbereich.



### 3. Roboterbahn

Legen Sie die notwendigen Bahnpunkte auf eine möglichst kurze Roboterbahn. Vermeiden Sie bei der Erstellung unnötige Zwischenpunkte sowie unnötige Drehungen des Werkzeugs am Endeffektor.



### 4. Bewegungsart

Je nach Roboter stehen Ihnen verschiedene Bewegungsarten, die einen Einfluss auf den Energieverbrauch haben, zur Gestaltung der Bahn zur Auswahl.



### 5. Homeposition

Obwohl nicht notwendig, wird dieser Bahnpunkt meist weit abseits des Arbeitsbereichs gesetzt und gesondert betrachtet.



### 6. Geschwindigkeit und Beschleunigung

Nicht alle Roboter in der Produktion benötigen die volle Taktzeit zur Verrichtung ihrer Tätigkeit.



### 7. Bremsenfallzeit

Ein Roboter mit eingefallenen Bremsen verbraucht bis zu 80 % weniger Energie als einer, der durch Motoren in Position gehalten wird.

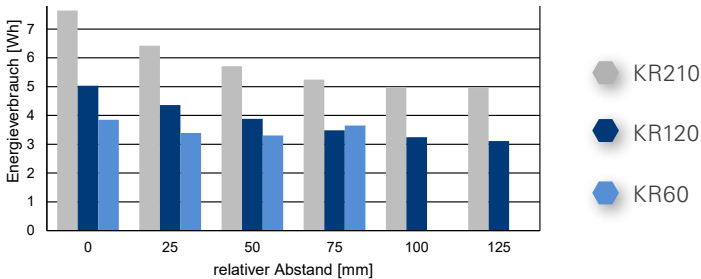


# 1. ROBOTERAUSLEGUNG

Die Auswahl eines Roboters ist in Bezug auf die zu erledigende Aufgabe bzw. den Prozess zu sehen. Achten Sie darauf, dass der Roboter für seine Aufgabe nicht überdimensioniert ist.

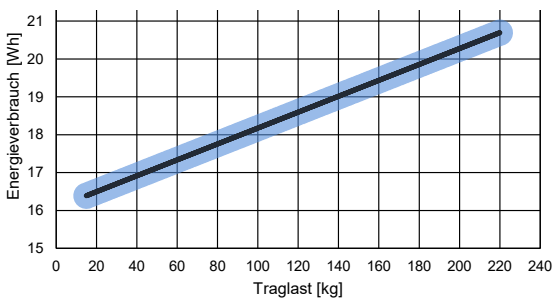
## Vergleich der Robotergröße

In der folgenden Grafik wird der Einfluss der Robotergröße bei verschiedenen Abständen dargestellt. Die Traglast betrug immer 50 kg.



## Einfluss der Traglast auf den Energieverbrauch

Das Gewicht, das der Roboter zu tragen hat, geht linear in den Energieverbrauch ein. Berücksichtigen Sie dies auch bei der Auswahl und Auslegung von Werkzeugen.



### TIPP:

Wählen Sie einen Roboter, dessen max. Traglast der zu bewegendenden Traglast entspricht.

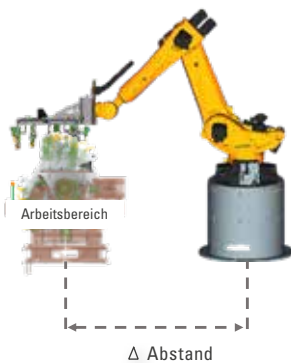
## 2. ROBOTERPOSITIONIERUNG

Die Positionierung des Roboters hat einen starken Einfluss auf den Energieverbrauch. Setzen Sie, wenn möglich, Softwaretools zur Optimierung der Position ein.

### Abstand

Der Roboter sollte weder zu weit entfernt von, noch zu nah an seinem Arbeitsbereich stehen. Der Energieverbrauch ist im gestreckten Zustand auf Grund der größeren Hebelwirkung und beim nahen Arbeiten auf Grund der schlechten Erreichbarkeit erhöht.

### Optimaler Abstand



### Höhe

Lassen Sie den Roboter möglichst nicht gebückt arbeiten, da eine erhöhte Belastung, vor allem auf die Schwinge bzw. den Antrieb der Schwinge, den Energieverbrauch erhöht. Verändern Sie gegebenenfalls die Roboterhöhe z.B. durch ein Podest.

### Optimale Höhe





### 3. ROBOTERBAHN

Erzeugen Sie bei der Erstellung der Bahn einen möglichst kurzen Verfahrweg ohne überflüssige Zwischenpunkte. Beachten Sie beim Anlegen der Punkte auch die Werkzeugorientierung und vermeiden Sie neben unnötigen Zwischenpunkten auch unnötige Drehungen der Werkzeuge. Berücksichtigen Sie diese Maßnahmen, erhalten Sie einen kurzen und somit energieeffizienten Verfahrweg mit reduzierten Brems- und Beschleunigungsmomenten.

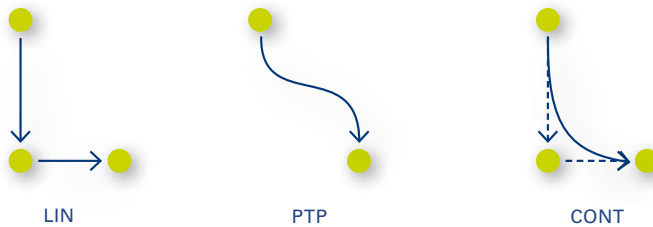
#### TIPP:

Vermeiden Sie unnötige Zwischenpunkte und unnötige Drehungen der Werkzeuge.

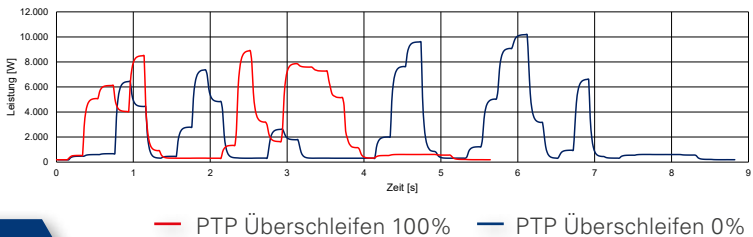


## 4. BEWEGUNGSART

Für die Bewegungsart stehen Ihnen verschiedene Einstellmöglichkeiten zur Verfügung\*. Die klassischen und grundlegenden Bewegungsarten sind die Point-to-Point- (PTP) und die Linear- (LIN) Bewegung. Darüber hinaus haben Sie die Möglichkeit einzelne Bahnpunkte zu überschleifen. Durch diese kontinuierliche Verfahrweise wird ein Punkt nicht exakt angefahren und der Bewegungsablauf flüssiger.



Als energieeffizienteste Bewegungsart erwies sich die Point-to-Point-Bewegung (PTP) mit einem Überschleifen der Punkte.



### HINWEIS:

Überprüfen Sie im Anschluss die Bahn und die prozessrelevanten Punkte.

Beachten Sie, dass sich durch die Veränderung der Verfahrarten der Bahnverlauf ändert und überprüfen Sie im Anschluss die Bahn auf Kollision sowie darauf, dass keine prozessrelevanten Punkte verändert wurden.

\* Je nach Roboterhersteller und Steuerung kann die Bezeichnung ggf. abweichen.



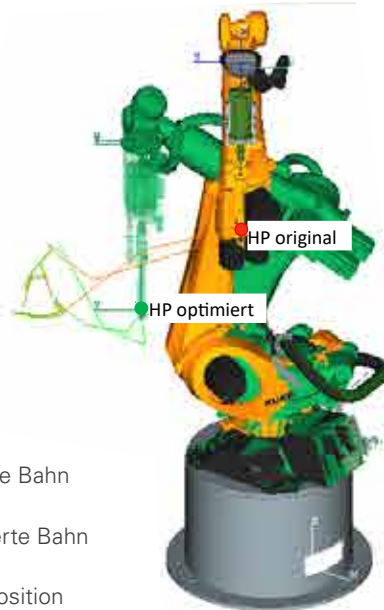
## 5. HOMEPOSITION

Die Homeposition markiert den Anfangs- und Endpunkt der Roboterbahn. Meist wird diese Position aus Sicherheitsgründen weit außerhalb des Arbeitsbereichs gesetzt – unabhängig von der Notwendigkeit.

Durch die Positionierung der Homeposition nahe des Arbeitsbereichs verkürzen Sie die gesamte Bahn und sparen neben Energie auch Zeit ein, die für das Anfahren an den Arbeitsbereich benötigt wird. Prüfen Sie die veränderte Bahn abschließend auf Kollision.

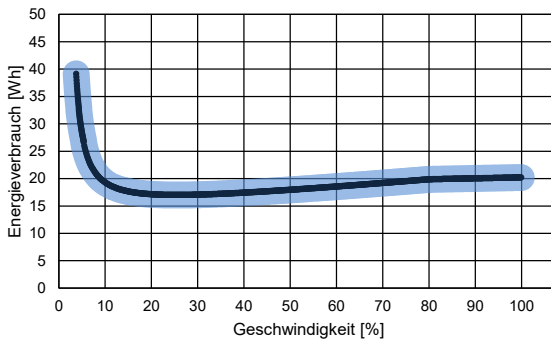
### TIPP:

Ermitteln Sie eine effizientere Homeposition und verkürzen Sie die gesamte Roboterbahn.



## 6. GESCHWINDIGKEIT UND BESCHLEUNIGUNG

Sowohl die Geschwindigkeit als auch die Beschleunigung haben einen erheblichen Einfluss auf den Energieverbrauch und die Zykluszeit. Je geringer die Geschwindigkeit/Beschleunigung eingestellt ist, desto langsamer ist die Bewegung des Roboters und desto weniger Energie verbraucht dieser. Allerdings nur bis zu einem gewissen Minimum: Ist die Bewegung zu langsam, steigt der Energieverbrauch durch zusätzlichen Zeitbedarf deutlich an.

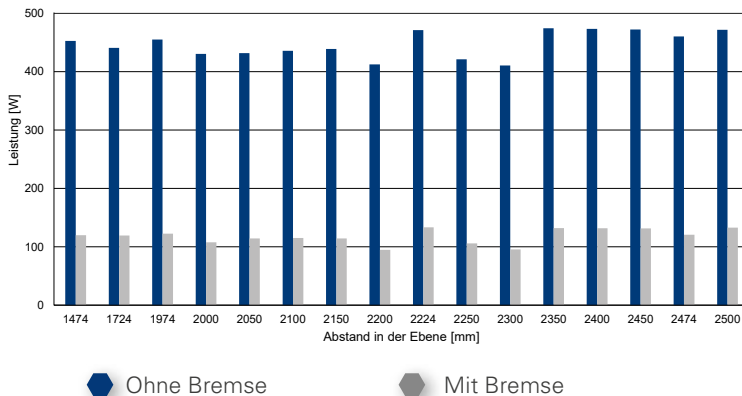


Durch beispielsweise lange Taktzeiten, deren Zeitrahmen die Robotertätigkeit nicht ausfüllt, oder vorangegangene zeiteinsparende Maßnahmen, liegt die Zykluszeit unter der Taktzeit. Reduzieren Sie die Geschwindigkeit und die Beschleunigung des Roboters, bis die Zykluszeit der Taktzeit entspricht. Überprüfen Sie die Zykluszeit nach jedem Optimierungsschritt.

**TIPP:**  
Reduzieren Sie die Geschwindigkeit, um Stillstand zu vermeiden.

## 7. BREMSEINFALLZEIT

Bei einem Roboter mit eingefallenen mechanischen Bremsen reduziert sich der benötigte Energieverbrauch im Vergleich zu einem, der durch Motoren in Position gehalten wird, deutlich (bis zu 80%). Die Abbildung zeigt die benötigte Energieleistungen eines Roboters, während dieser in einer Position verharrt und sich nicht bewegt (z.B. Wartezeit). Betrachtet wird die Leistung mit und ohne eingefallene mechanischen Bremsen bei verschiedenen Abständen. Weder beim Abstand noch bei der Höhe (nicht dargestellt) ist eine bevorzugte Wartezeitposition zu identifizieren.



Ziehen Sie den Bremseneinfall vor, wenn der Roboter nach Beendigung seiner Tätigkeit „wartet“ und Sie die Zeit nicht mit der vorangegangenen Maßnahme zur Reduzierung der Geschwindigkeit/Beschleunigung ausfüllen können (diese Maßnahme ist aus energetischer Sicht zu bevorzugen). Vollziehen Sie jedoch die Maßnahme der eingefallenen Bremsen sobald wie möglich, da dieser Schritt einfach und effektiv ist.

### TIPP:

Durch eingefallene Bremsen oder auch durch Maßnahme 6 „Wartezeiten“ optimieren.

# NACHTRÄGLICHE OPTIMIERUNG IN 5 SCHRITTEN

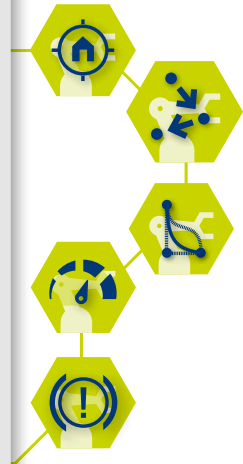
## Möglichkeiten der nachträgliche Optimierung/ Instandhaltung von Roboterzellen für Programmierer

Diese Vorgehensweise weicht im Wesentlichen in zwei Punkten zur vorangegangenen Anlagenplanung ab. Die Schritte der RoboterAuslegung und der Roboterpositionierung entfallen, da beide Faktoren bei einer nachträglichen Änderung mit einem zu hohen Aufwand verbunden sind. Sowohl der Austausch der vorhandenen Maschine gegen eine neue, energetisch bessere, als auch eine Umpositionierung des Roboters stellen einen schwerwiegenden Eingriff in den Produktionsablauf dar. Beide Maßnahmen sind meist nicht wirtschaftlich realisierbar.

Die optimierte Homeposition ist auf Grund der relativ schnellen und einfachen Umzsetzung vorgezogen (nun Schritt 1). Weiterhin berücksichtigt dieser Abschnitt die Verfügbarkeit eines Simulationsprogramms und unterteilt sich in die Abschnitte mit und ohne Simulationsunterstützung.

**WICHTIG:** Definieren Sie die prozessrelevanten Punkte bevor Sie die bestehende Verlaufsbahn optimieren, denn diese dürfen im Prozess nicht verändert werden!

Die Optimierungen der Homeposition, der Bewegung, der Geschwindigkeit und Beschleunigung sowie der Bremsen entsprechen dem Vorgehen der Anlagenplanung.



# NICHT FÜR JEDEN ROBOTER IST DIESE OPTIMIERUNG SINNVOLL!

Konzentrieren Sie sich auf Roboter mit erhöhtem Einsparpotenzial und Sie erzielen entsprechende Erfolge.

Mit einer Checkliste können Sie eine Auswahl treffen, welche Roboter eine hohes Energieeinsparpotenzial haben. Die Kriterien zur Auswahl werden kurz erläutert:

- Überschneidet sich der Roboter mit weiteren 2 oder mehr Robotern im Arbeitsbereich, ist eine nachträgliche Optimierung auf Grund der Kollisionsüberprüfung zu aufwändig.
- Hat der Roboter weniger als 30 kg Nenntraglast, handelt es sich um einen kleinen Roboter mit geringem Energieverbrauch. Eine Optimierung wäre nicht wirtschaftlich.
- Beträgt die Wartezeit des Roboters mehr als 10 % der Taktzeit, könnten die Geschwindigkeit und die Beschleunigung und somit der Verbrauch reduziert werden.
- Bewegt ein großer Roboter nur kleine Massen (Werkzeug mit Werkstück) ist das energetische Einsparpotenzial gering.
- Arbeitet der Roboter in mehr als zwei Arbeitsbereichen, bietet sich ein höheres Optimierungspotenzial.
- Ist der Abstand zwischen Homeposition und Arbeitsbereich auffallend groß, so ist die Strecke, die der Roboter zurücklegt unnötig lang und kann optimiert werden.
- Da der Roboter mit eingefallenen mechanischen Bremsen weniger Energie verbraucht, sollten diese möglichst schnell einfallen, jedoch nicht bei kurzen Wartezeiten im Programmablauf.
- Sind unnötige Drehungen des Werkzeugs während des Programmablaufs erkennbar, ist das ein Hinweis für Optimierungspotenzial.

# CHECKLISTE

zur Auswahl von Robotern mit hohem Energieeinsparpotenzial

Bezeichnung Roboter

Bezeichnung Roboterzelle

Ort

Datum

Durchgeführt von

Abteilung

Wenn zutreffend, bitte abhaken.

## AUSSCHLUSSKRITERIEN



Überschneidung mit zwei oder mehr Robotern im Arbeitsbereich?



Nenntraglast geringer als 30 kg?



Wurde eines der Ausschlußkriterien bejaht, ist der Roboter **NICHT** geeignet.

Wenn zutreffend, bitte abhaken.

## OPTIMIERUNGSKRITERIEN



Wartezeit mehr als 10 % der Taktzeit?



Masse am Endeffektor höher als 20 % der Nenntraglast?



Tätigkeit in 2 und mehr Arbeitsbereichen?



Abstand zwischen Homeposition und Arbeitsbereich auffallend groß?



Zeit bis zum Einfall der mechanischen Bremsen länger als 5 s?



Unnötige Drehungen des Werkzeugs?



Wurden drei oder mehr Optimierungskriterien bejaht, ergibt sich ein ausreichend großes Optimierungspotenzial für diesen Roboter. Beginnen Sie mit der Optimierung des Roboters – gleich jetzt!

Platz für Anmerkungen/Notizen



## MIT SIMULATIONSUNTERSTÜTZUNG

Liegen das Roboterprogramm und die Arbeitsumgebung in der Simulation vor? Nutzen Sie diese in jedem Fall. Liegt das Programm nicht in digitaler Form vor und es ist dennoch eine Simulationssoftware vorhanden, laden Sie das entsprechende Roboterprogramm im Vorfeld von der Maschine und anschließend in die Simulationsumgebung. Denn mit Hilfe der Software können Sie schnell und einfach die Erfolge Ihrer Maßnahmen überprüfen, ohne in die Produktion einzugreifen.

Laden Sie das Programm auf den Roboter und testen Sie es anschließend – lediglich hierfür wird der Produktionsprozess unterbrochen.

Simulationsprogramm?

! Die Optimierung der Bewegung, der Geschwindigkeit und der Beschleunigung sowie der Bremsenfallzeit sind ebenfalls Bestandteil der nachträglichen Optimierung. Da sie identisch zu der Vorgehensweise der Planung einer Anlage sind, werden sie nicht gesondert aufgeführt.

## OHNE SIMULATIONSUNTERSTÜTZUNG

Die nachträgliche Optimierung ohne Simulationsunterstützung findet direkt am Roboter statt und erfordert eine Unterbrechung der Produktion. Sie sollte ausschließlich von einer Person durchgeführt werden, die über entsprechende Erfahrung in der Roboterprogrammierung verfügt.

Die Durchführung folgt durch die gleichen Schritte wie bei einer Optimierung mit Simulationsunterstützung. Die Schwierigkeit besteht in der Überprüfung des Energieverbrauchs nach den einzelnen Maßnahmen. Ein mobiler Energiemesskoffer zur Überprüfung der Maßnahmen kann Abhilfe schaffen.

# HOMEPOSITION

## Mit Simulationsunterstützung

Beginnen Sie bei diesem Optimierungsablauf mit der Homeposition. Da es sich um eine einzelne Position handelt, kann diese vergleichsweise schnell und einfach analysiert werden. Ziel dieser Maßnahme ist es, den Abstand zum Arbeitsbereich zu verringern, ohne dass es zu einer Kollision kommt. Überprüfen Sie nach jedem Schritt die Veränderung mit einem entsprechenden Energieeffizienztool des Simulationsprogramms.



Originale Bahn

Optimierte Bahn

# HOMEPOSITION

## Ohne Simulationsunterstützung

Der Anfangs- und Endpunkt der Roboterbahn entspricht der Homeposition, welche aus Sicherheitsgründen – unabhängig von der Notwendigkeit – meist weit außerhalb des Arbeitsbereichs gesetzt.

Durch eine Positionierung der Homeposition nahe des Arbeitsbereichs verkürzen Sie die gesamte Bahn und sparen neben Energie auch Zeit, die für das Anfahren an den Arbeitsbereich benötigt wird.

# ROBOTERBAHN

## Mit Simulationsunterstützung

Die Optimierung der Bahn setzt eine Analyse des Bahnverlaufs und ggf. unnötiger Zwischenpunkte voraus. Blenden Sie sich in der Simulationsumgebung den Bahnverlauf ein. Die visuelle Darstellung hilft Ihnen, unnötige Bahnpunkte zu erkennen. Löschen Sie diese Zwischenpunkte. Lassen Sie die Bahn mehrfach abfahren, identifizieren Sie dabei unnötige Drehungen des Werkzeugs und verändern dessen Orientierung. Nutzen Sie ggf. Optimierungstools der Software für die Roboterbahn.

Durch Berücksichtigung dieser Maßnahmen erhalten Sie einen kurzen Verfahrensweg und die Brems- und Beschleunigungsmomente werden reduziert.



Überprüfen Sie nach der Veränderung die neue Bahn unbedingt auf mögliche Kollisionen.



# ROBOTERBAHN

## Ohne Simulationsunterstützung

Zur Identifikation von möglichen unnötigen Bahnpunkten lassen Sie den Roboter die Bahn mehrfach abfahren. Durch den Abgleich des Programms am Bedien-Panel des Roboters und mit der realen Position können Sie die Punkte im Programm identifizieren. Löschen oder verschieben Sie unnötige/optimierungswürdige Punkte und führen Sie anschließend unbedingt eine Kollisionsprüfung durch. Überprüfen Sie, wenn möglich, auch den Energieverbrauch.

Durch Berücksichtigung dieser Maßnahmen erhalten Sie einen kurzen Verfahrensweg und die Brems- und Beschleunigungsmomente werden reduziert.



## ANLAGENPLANUNG IN 7 SCHRITTEN

Möglichkeiten der Optimierung in der Planungsphase für Anlagenplaner/innen und Roboterprogrammierer/innen

Berücksichtigen Sie die 7 Maßnahmen:

- |    |  |   |                                     |
|----|--|---|-------------------------------------|
| 1. |  | ROBOTERAUSLEGUNG, S. 5                  | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 2. |  | ROBOTERPOSITIONIERUNG, S. 6             | <input type="checkbox"/>            |
| 3. |  | ROBOTERBAHN, S. 7                       | <input type="checkbox"/>            |
| 4. |  | BEWEGUNGSART, S. 8                      | <input type="checkbox"/>            |
| 5. |  | HOMEPOSITION, S. 9                      | <input type="checkbox"/>            |
| 6. |  | GESCHWINDIGKEIT + BESCHLEUNIGUNG, S. 10 | <input type="checkbox"/>            |
| 7. |  | BREMSEINFALLZEIT, S. 11                 | <input type="checkbox"/>            |

JA

Simulationsprogramm?

JA


NEIN

## NACHTRÄGLICHE OPTIMIERUNG IN 5 SCHRITTEN

Möglichkeiten der nachträgliche Optimierung/  
Instandhaltung von Roboterzellen  
MIT und OHNE Simulationsprogramm  
für erfahrene Programmierer/innen

Berücksichtigen Sie die 5 Maßnahmen:

- |    |   |  |                                     |
|----|---|--|-------------------------------------|
| 1. |   | HOMEPOSITION, S. 16                        | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 2. |  | ROBOTERBAHN, S. 17                         | <input type="checkbox"/>            |
| 3. |  | BEWEGUNGSART, S. 8                         | <input type="checkbox"/>            |
| 4. |  | GESCHWINDIGKEIT<br>+ BESCHLEUNIGUNG, S. 10 | <input type="checkbox"/>            |
| 5. |  | BREMSEINFALLZEIT, S. 11                    | <input type="checkbox"/>            |



Bei Interesse  
am gesamten For-  
schungsbericht nehmen  
Sie gerne Kontakt  
mit uns auf!

Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften  
Institut für Produktionstechnik • Salzdahlumer Str. 46/48 • 38302 Wolfenbüttel  
[www.ostfalia.de/ipt](http://www.ostfalia.de/ipt)