

Dynamische Bewegungsgestaltung für formatabhängige Bewegungen

Dipl.-Ing. Dipl.-Inform. **Rainer Nolte**, Nolte NC-Kurventechnik GmbH

Kurzfassung

Servogesteuerte Verpackungsmaschinen bedienen eine große Formatvielfalt. Gewünscht ist dann die produktspezifische Bewegungserzeugung an der Steuerung der Maschine. Die vom Antriebshersteller implementierten Methoden erreichen heute nur mittlere Bewegungsqualität und mittlere Taktzahlen. Der Beitrag zeigt, wie in der Steuerung auch Bewegungen höchster Qualität erzeugbar sind.

Abstract

For the success of servo driven packaging machines and other machines with many nonlinear motions the harmonic motion design is a very important matter. Motions not only must be jerk-free but should have no jumps in the 3rd derivation, too, to maximize the speed and the availability of the machine. Additionally, often motions should be described parametrically so that they can be computed inside the SPS control when the machine is reconfigured. Up to now there has been no software which combines both aspects: high-quality motion design and parametric calculation inside the SPS. This article introduces a method and a software which automatically generates source code for the SPS to calculate high-quality motion profiles based on format parameters.

1. Einleitung

Besonders im Verpackungsmaschinenbereich werden viele Servoantriebe verwendet, um bei hoher Formatvielfalt kurze Umrüstzeiten und flexible Bewegungsgestaltung zu erreichen. Gleichzeitig besteht natürlich die Forderung nach möglichst hoher Taktzahl, hoher Verfügbarkeit und ruhigem Lauf der Anlage für jedes Produktformat.

Ein in der Praxis häufig anzutreffendes und bislang unzufriedenstellend gelöstes Problem ist die Erzeugung gleichzeitig harmonischer und formatabhängiger Bewegungen *direkt in der Servosteuerung*, d.h. ohne externen PC für Zwischenberechnungen.

Zwar bieten einzelne Steuerungshersteller Steuerungssoftware an, mit der Zeiten und Hübe von Bewegungsabschnitten durch Parameter zur Laufzeit verändert werden können. Diese Systeme nutzen aber nur einfache Bewegungsgesetze wie das Polynom 5. Ordnung, mit dem im Allgemeinen nur mittelmäßig harmonische Bewegungsvorgaben möglich sind.

Zur Umsetzung gleichzeitig harmonischer und parameterabhängiger Bewegungen in der Steuerung wird heute in der Regel für jede Anwendung ein eigener Formelsatz manuell entwickelt und manuell in Form eines Ablaufprogrammes implementiert.

Alternativ dazu werden auch komplette Sätze von Bewegungsverlaufs-Tabellen für eine große Anzahl festgelegter Produktformate vorab erzeugt und in einer Datenbank hinterlegt. Wegen des hohen Speicherbedarfs und des hohen Vorbereitungsaufwands ist die Anzahl der zu berücksichtigenden Produktformate dabei klein.

Der Beitrag stellt ein rechnergestütztes Verfahren vor, das basierend auf einem parametrisch modellierten Bewegungsplan automatisch einen Quelltext für ein Programm erzeugt, das einen Bewegungsverlauf abhängig von einem Zeitparameter φ und den Formatparametern $a_1 \dots a_N$ berechnet.

Neu dabei ist insbesondere, daß dieses Programm nicht auf festgelegten und als Bausteine in der Steuerung vorgehaltenen Bewegungsgesetzen aufsetzt, sondern die komplette Mathematik für die Bewegungsberechnung mit allgemeinen Polynomen, komplexen Sinuskombinationen, Wertetabellen und Synchronbereichen generiert.

Durch den rechnergestützten Ablauf kann eine oft wochenlange manuelle Entwicklungsarbeit auf Sekunden reduziert werden. Ein Nebeneffekt dabei ist, daß durch den automatisierten Ablauf Formelfehler vermieden werden können.

Durch Anpassung des integrierten Compilers kann das Quellprogramm für verschiedene Zielumgebungen erzeugt werden, z.B. für ein C-Entwicklungssystem oder für eine Programmierumgebung nach IEC 1131.

Damit sind hochwertige Bewegungsgestaltungen mit stetigen dritten und vierten Ableitungen, auch mit HS-Profilen, für alle Steuerungen möglich, die die IEC1131-Sprachen unterstützen.

2. Bewegungsdesign mit leistungsfähigen Bewegungsgesetzen jenseits der VDI 2143

Bild 1 zeigt eine einfache Bewegung, die mit Hilfe der klassischen Rampenfunktion umgesetzt wird. Die Rucke sind im Beschleunigungsverlauf a deutlich zu erkennen. Rucke,

also Beschleunigungssprünge, bewirken theoretisch sofortige Kräfte- und Momentenänderungen. Durch die plötzlichen Laständerungen müssten sich die beteiligten Hebel, Wellen und Koppeln in Nullzeit anders verformen als zuvor. Da das nicht möglich ist, reagiert die Mechanik mit Schwingungen.

Dies ist fast die heftigste Form der Disharmonie im Bewegungsdiagramm. Um ihr zu entgehen, werden heute verbreitet ruckbegrenzte Rampen oder ruckfreie Bewegungsgesetze wie das Polynom 5. Ordnung verwendet. Die VDI-Richtlinie 2143 faßt grundlegende ruckfreie Bewegungsgesetze zusammen.

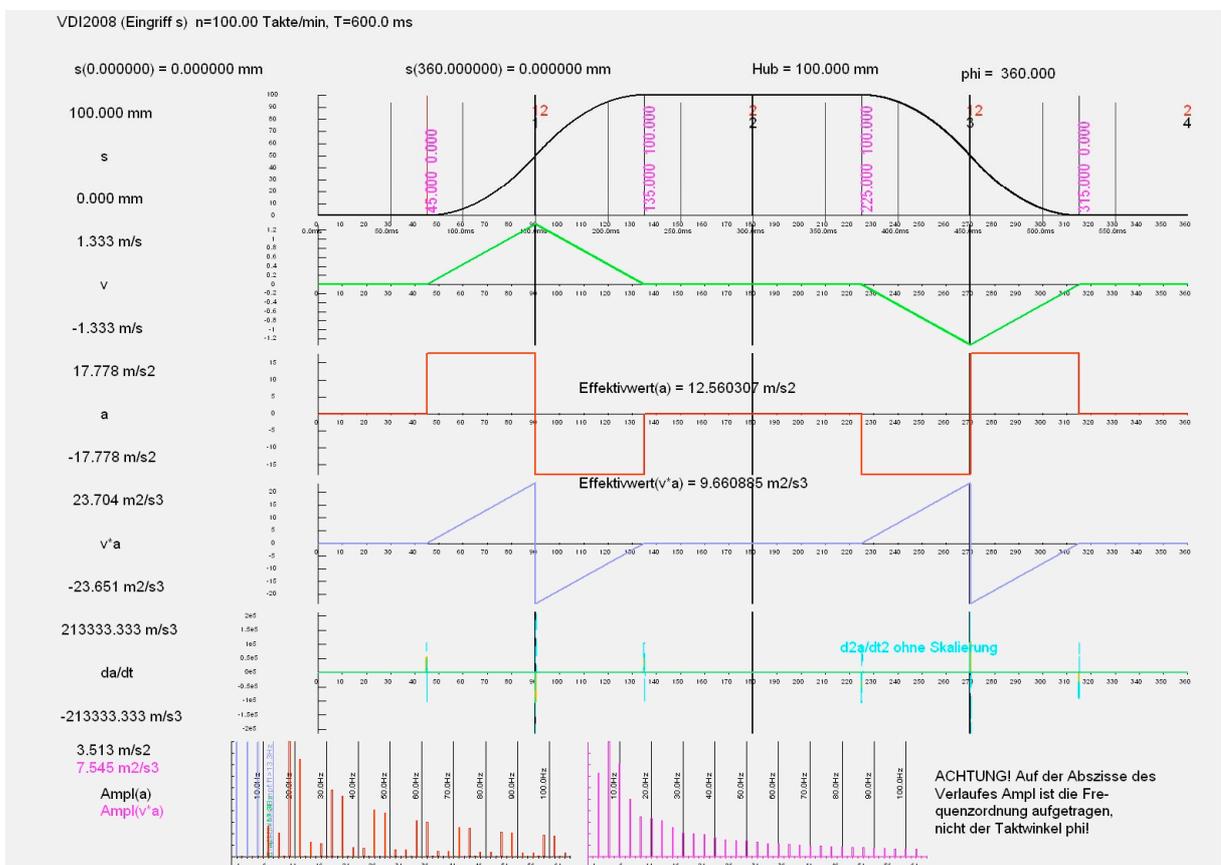


Bild 1: unharmonische Bewegungsgestaltung mit klassischer Rampenfunktion

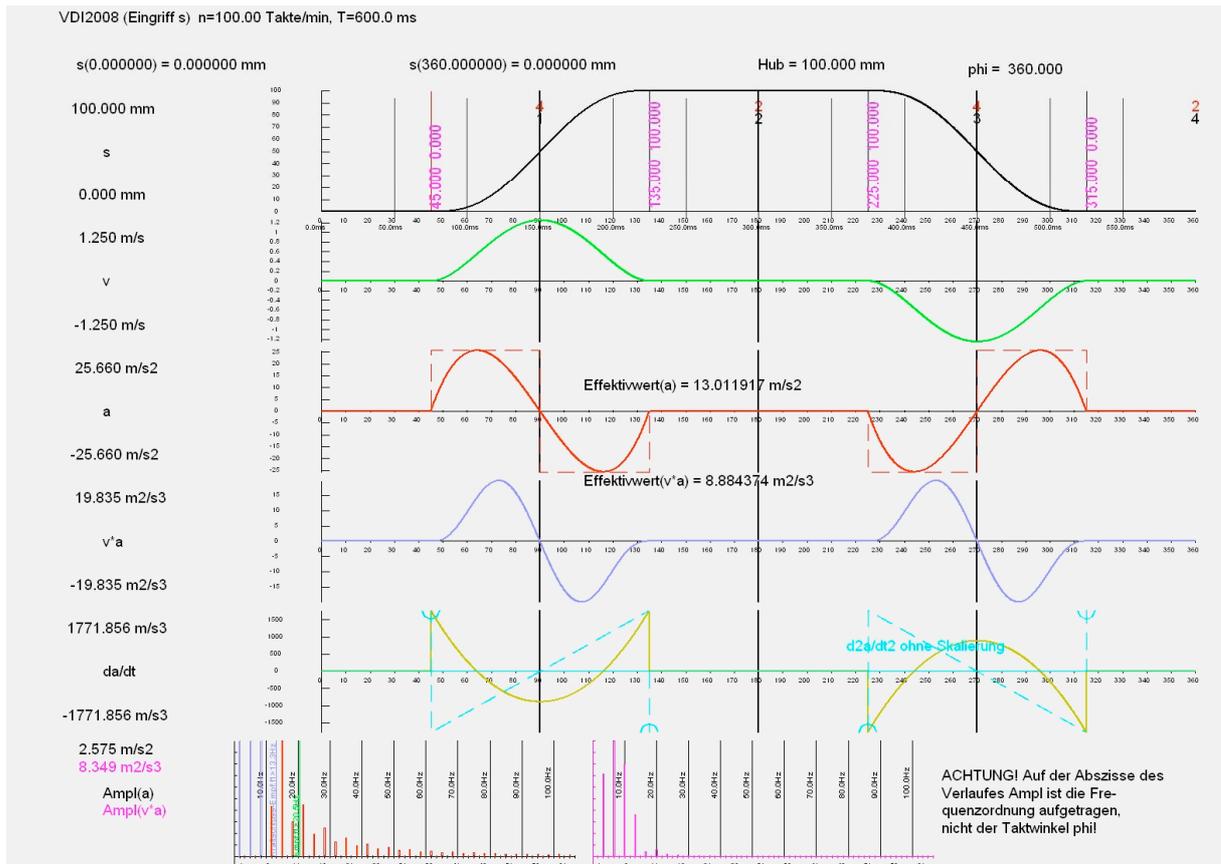


Bild 2: harmonischere Bewegungsgestaltung mit dem Polynom 5. Ordnung

Bild 2 zeigt die gleiche Bewegungsgestaltung wie in Bild 1, jedoch auf Basis des Polynoms 5. Ordnung. Der Beschleunigungsverlauf ist ruckfrei, denn es treten keine Beschleunigungsprünge auf.

Im Balkendiagramm links unten, das die Fourieranalyse des Beschleunigungsverlaufes darstellt, erkennt man, daß das Polynom 5. Ordnung deutlich weniger Schwingungen in der Mechanik anregt als die Rampenfunktion, denn die durch die Balken dargestellten Amplituden der Harmonischen konvergieren mit steigender Frequenzordnung wesentlich schneller gegen 0 als bei der Rampenfunktion.

Trotzdem gibt auch das Polynom 5. Ordnung und mit ihm alle anderen Bewegungsgesetze der VDI-Richtlinie 2143 noch Anlaß zur Kritik, wenn Bewegungen für hohe Taktzahlen gefordert werden, denn das Polynom 5. Ordnung erzeugt Knicke bzw. Ecken im Beschleunigungsverlauf. Knicke im Beschleunigungsverlauf bewirken einen ähnlichen Schwingungseffekt wie Sprünge, nur um eine Größenordnung geringer. Bei hohen Taktzahlen kommt man aber durch diese Ecken trotzdem schnell in Resonanzbereiche, so daß hier Abhilfe erforderlich ist.

Bild 3 zeigt die gleiche Bewegungsgestaltung noch einmal, aber mit einem Bewegungsgesetz, daß auch in der dritten Ableitung stetig ist und so die Knicke im Beschleunigungsverlauf vermeidet.

Im Balkendiagramm wird ersichtlich, daß diese dritte Bewegungsgestaltung noch wesentlich harmonischer und damit für hohe Taktzahlen geeigneter ist als die Standard-Bewegungsgestaltung nach VDI 2143, weil die Amplituden der resonanzanregenden Harmonischen mit wachsender Frequenzordnung noch schneller fallen.

Zusammengefaßt: die „Weichheit“ der Bewegungsgestaltung ist für die Performance und die Schwingungsarmut von Maschinen von großer Bedeutung, und über die Bewegungsgesetze der VDI-Richtlinie 2143 hinaus gibt es noch viel Spielraum für weichere Bewegungsgestaltungen.

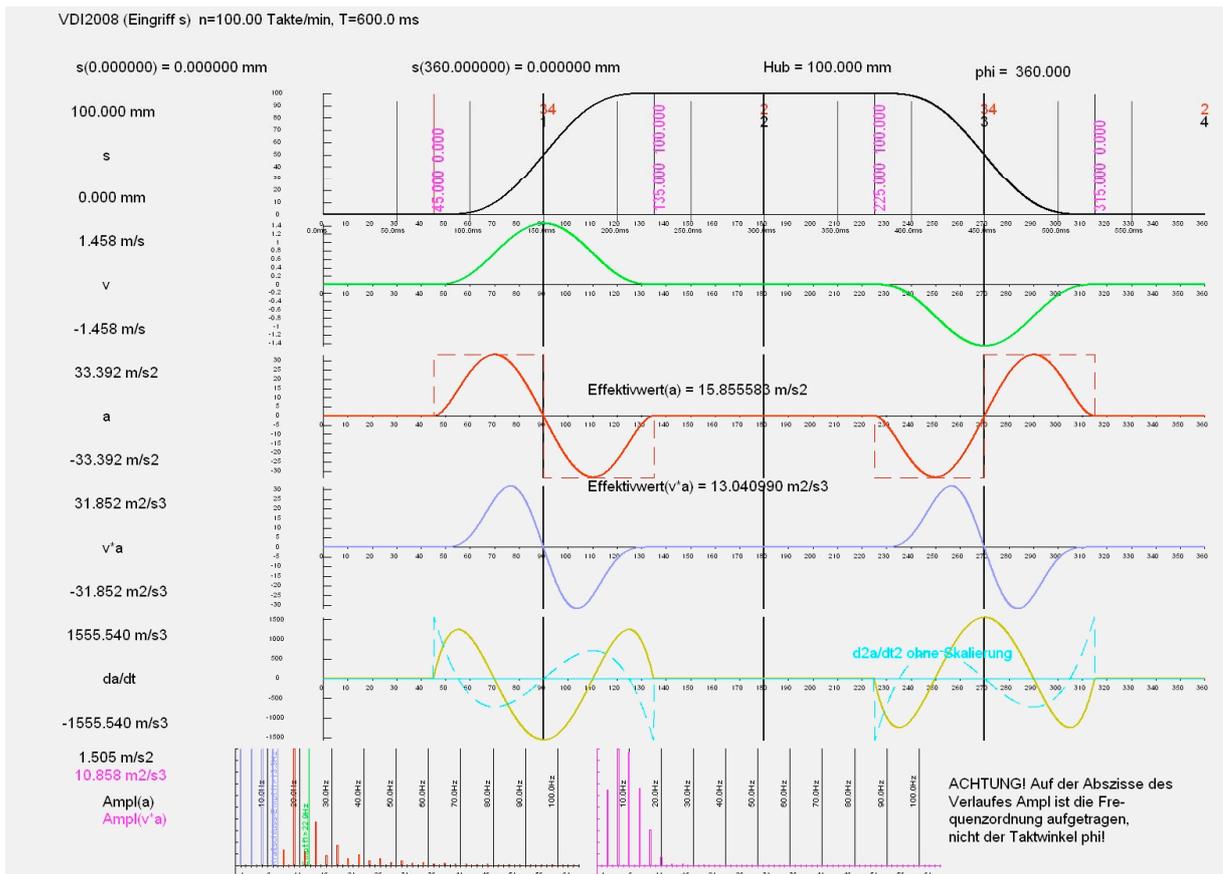


Bild 3: sehr harmonische Bewegungsgestaltung mit stetiger dritter Ableitung

3. Parametrische Bewegungsdiagramme

Mit Hilfe eines grafischen Editors wird zunächst ein Bewegungsdiagramm für ein Referenz-Produktformat definiert (vgl. Bild 4). Anschließend werden die Formatparameter definiert, über die der Benutzer später die Bewegungsabläufe der Maschine konfigurieren kann.

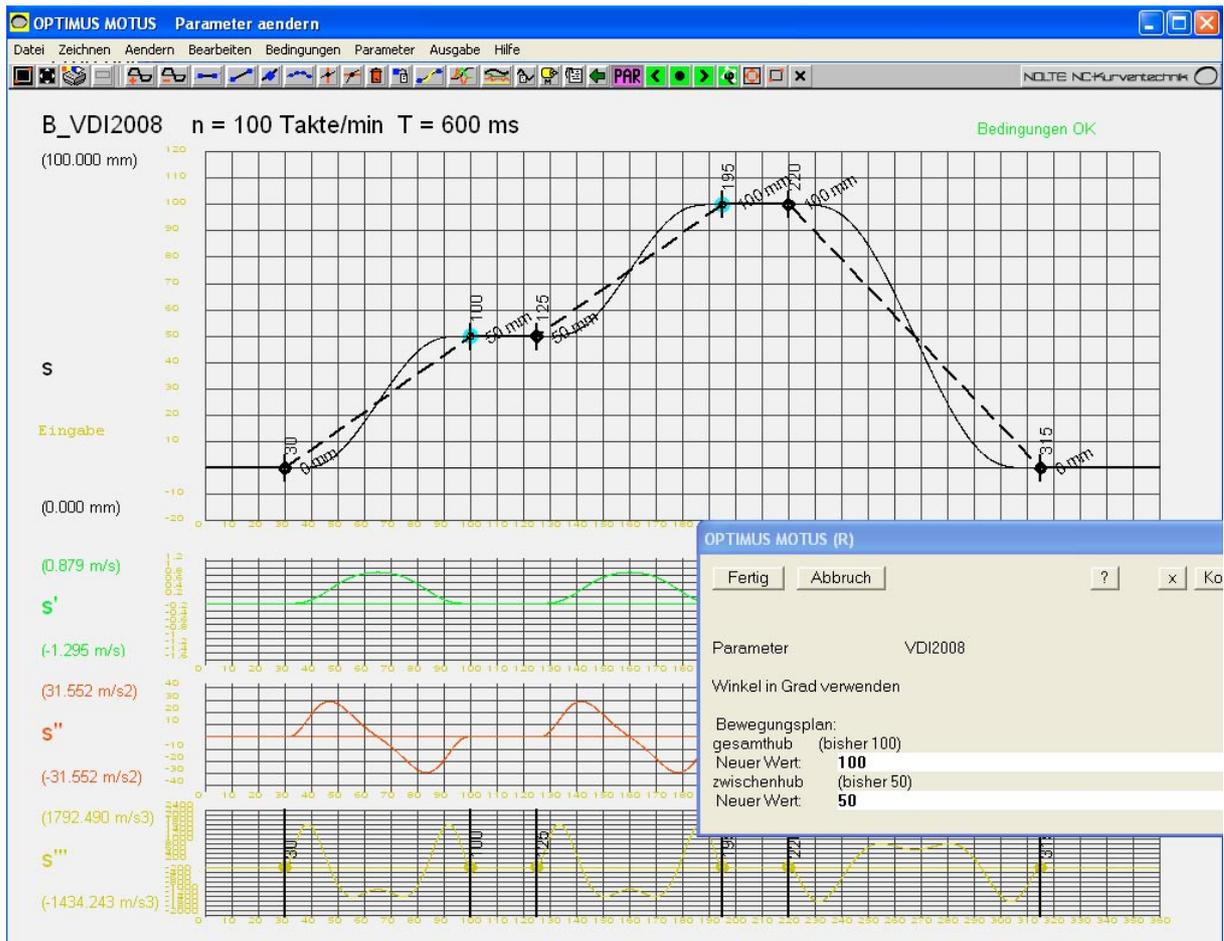


Bild 4: parametrischer grafischer Bewegungsplaneditor

Über Formeln können andere Eigenschaften des Bewegungsdiagramms (z.B. Taktwinkelstrecken, Wendepunktparameter, Geschwindigkeiten, Beschleunigungen, Bewegungsstart- und Endpunkte) abhängig von den Formatparametern definiert werden, so daß das gesamte Bewegungsdiagramm formatabhängig und damit parametrisch modelliert werden kann.

- f) Synchronbereiche berechnen und in die Bewegungsverläufe einsetzen
- g) HS-Profile berechnen
- h) und schließlich die Weg-, Geschwindigkeits- und Beschleunigungsverläufe ausrechnen

Der Generator für den Formelsatz durchläuft genau die gleichen Schritte wie der grafische Bewegungsplaneditor, nur schreibt er den entsprechenden Software-Quelltext auf statt ihn abzuarbeiten. Der Generator erzeugt quasi eine Bewegungsplan-spezifische Kopie des Bewegungsplaneditors als Software-Quelltext.

Zunächst erzeugt der Generator einen C-Quelltext für den Formelsatz.

Hier ein kurzer Ausschnitt aus einem solchen Quelltext:

```

init_parameter()
{
pi = 3.14159265358979323846;
taktzahl = 250.000000000000;
phimin = 0.000000000000;
phimax = 360.000000000000;
taktwinkelstrecke = phimax - phimin;
zykluszeit = 60.0 / taktzahl;
ntab = 720;
eps = 0.010000000000;
restphi = 0.200000000000;
/* parameter_hub1 = 60.000000000000; */ /* Formatparameter */
/* parameter_gesamthub = 100.000000000000; */ /* Formatparameter */
}

init_verlauf_hub()
{
int i,flag,syncerrors;

typ__hub = 1;
sfac__hub = 0.001000000000;
vfac__hub = sfac__hub * 180.0/pi * pi*taktzahl/30.0;
afac__hub = sfac__hub * (180.0/pi)*(180.0/pi) * (pi*taktzahl/30.0)*(pi*taktzahl/30.0);
initialisiert__hub = 0;
initialisiert__hub_1 = 0;
initialisiert__hub_2 = 0;
initialisiert__hub_3 = 0;
initialisiert__hub_4 = 0;

```

Solche C-Quelltexte sind gut geeignet, um im Vorfeld der Maschinenauslegung PC-gestützte Testprogramme oder Simulationen zu entwickeln.

Die C-Programme lassen sich z.B. als Bewegungsgeneratoren in CAD-basierte 3D-Simulationen einbinden, da 3D-CAD-Systeme meist über eine C-Programmierschnittstelle verfügen.

Genauso können die C-Quelltexte aus dem Generator benutzt werden, um im Vorfeld automatisch Bewertungsdiagramme oder Simulationen für eine große Vielfalt an Parameterkombinationen zu erzeugen. Damit kann die Maschinen- und Bewegungsauslegung frühzeitig daraufhin überprüft werden, ob das gesamte vorgesehene Produktspektrum problemlos verarbeitet werden kann.

5. Anpassung an verschiedene Zielumgebungen

Zu guter Letzt wird das C-Quellprogramm mit Hilfe eines speziellen Cross-Compilers in andere Zielsprachen übersetzt, z.B. die IEC1131-Sprache ST (strukturierter Text).

Das vom Generator erzeugte C-Quellprogramm verzichtet dafür von vornherein auf unportable Konstrukte wie z.B. Rekursionen, goto-Befehle oder Zeiger.

Das ST-Quellprogramm kann nun in das SPS-Programm für die Maschine übernommen werden. Aus der Sicht des SPS-Programmierers ist das ST-Quellprogramm wie ein Baustein zu betrachten, der für eine Wertebelegung der Formatparameter aktuelle Bewegungstabellen für die Servoantriebe berechnet.

Weil die C- und die ST-Programme vollautomatisch erzeugt werden, sind Programmierfehler, wie sie bei der von-Hand-Codierung üblich sind, praktisch ausgeschlossen.

6. Literatur

VDI-Richtlinie 2143