

Thema	Kurzinformation zur S-Kurve
Ersteller:	EBS-SYSTART
Datum:	28.08.2025

1. Die S-Kurve

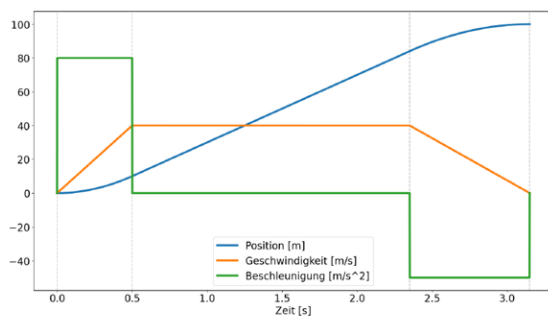
Bei der Positionsregelung hat die Form der zu fahrenden Trajektorie einen großen Einfluss auf die mechanische Belastung des Antriebsstrangs. So können abrupte Bewegungen beim Losfahren und Bremsen zu Vibrationen, Geräuschen und zu erhöhter Abnutzung führen.

Die S-Kurve ist eine Kurvenform, die durch ihr sanftes Beschleunigen und Bremsen in dieser Hinsicht für Abhilfe sorgt.

1.1 Aufbau der S-Kurve

Im Vergleich zu einer herkömmlichen „Trapez-Kurve“ besteht die S-Kurve dadurch, dass bei ihr die Beschleunigung keine Sprünge vollzieht. Sie ändert sich nur stetig. Die Zeitableitung der Beschleunigung, der sogenannte Jerk, ist somit begrenzt.

Trapez-Kurve:



S-Kurve:

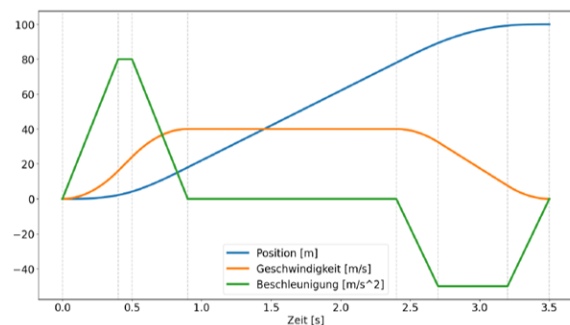


Abbildung 1: Beispielhafte Trapez-Kurve (links) und S-Kurve (rechts).

Die Kurve lässt sich somit in bis zu 7 Segmente aufteilen, die bei Betrachtung der Sollposition aus Polynomen 1. bis 3. Ordnung bestehen.

Sollposition nach Segmenten:

Segment 1: $x_1(t) = a_1 + b_1 * t + c_1 * t^2 + d_1 * t^3$

Segment 2: $x_2(t) = a_2 + b_2 * t + c_2 * t^2$

Segment 3: $x_3(t) = a_3 + b_3 * t + c_3 * t^2 + d_3 * t^3$

Segment 4: $x_4(t) = a_4 + b_4 * t$

Segment 5: $x_5(t) = a_5 + b_5 * t + c_5 * t^2 + d_5 * t^3$

Segment 6: $x_6(t) = a_6 + b_6 * t + c_6 * t^2$

Segment 7: $x_7(t) = a_7 + b_7 * t + c_7 * t^2 + d_7 * t^3$

Unser Algorithmus zur Kurvenberechnung ermittelt zuerst die allgemeine Form der Trajektorie und bestimmt so, welche der Segmente tatsächlich für die gegebenen Randbedingungen benötigt werden.

Anschließend berechnet der Algorithmus die Polynomkoeffizienten (a_i, b_i, c_i, d_i) so, dass eine Kurve mit den vorgegebenen Grenzwerten erzeugt wird. Die vom Nutzer konfigurierbaren Randbedingungen sind:

- Sollposition
- Maximale Anfahr-Beschleunigung
- Maximale Brems-Beschleunigung
- Maximale Geschwindigkeit
- Beschleunigungsrampe
- Bremsrampe

Zusätzlich berücksichtigt die Regelung auch automatisch die jeweiligen Startbedingungen, sodass auch in Fahrt direkt eine Fahrkurve angestoßen werden kann.

1.2 Vorteile der S-Kurve

Durch die Limitierung des Jerks ist ein wesentlich sanfteres Anfahren und Bremsen möglich. Dies hat positive Effekte auf Vibrationen, Geräuschentwicklung und mechanische Beanspruchung.

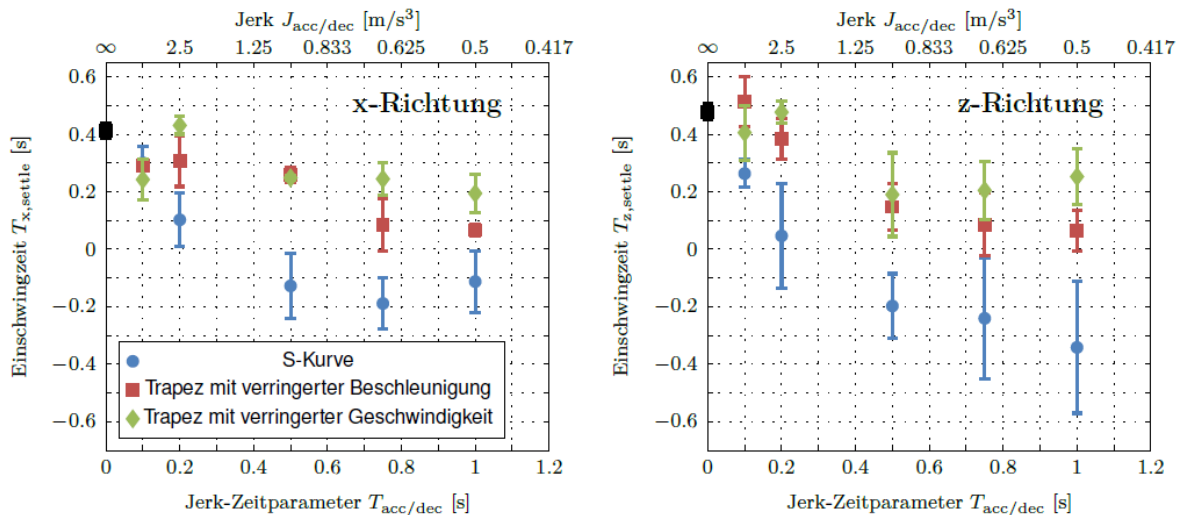


Abbildung 2: Einschwingzeiten in x- und z-Richtung nach einer Bewegung in y-Richtung. Verglichen wird das Abklingen der Vibrationen nach dem Fahren auf eine Zielposition.

Diese Vorteile sind auch experimentell zu sehen. So kann man in Abbildung xy erkennen, dass mit höheren Jerk-Zeitparametern (d.h. mit Begrenzung auf einen niedrigeren Jerk) auch die Erschütterungen in dem angetriebenen Objekt stark zurückgehen.

1.3 Reglervarianten

1.3.1 Position über Zeit (V1)

In dieser „klassischen“ Reglervariante läuft intern ein Timer mit, womit während der Fahrt online die Polynome aus Abschnitt 1.1 ausgewertet werden und die aktuelle Sollposition bestimmt werden kann.

Diese Variante ist vor allem dann sinnvoll, wenn eine gewisse Synchronität der Bewegung mit anderen zeitlich parametrisierten Abläufen erforderlich ist.

1.3.2 Geschwindigkeit über Position (V2)

In dieser erweiterten Reglervariante ist die Bewegung nicht mehr zeitabhängig. Anstatt einer Positionsregelung wird hier nur noch auf die Geschwindigkeit geregelt, wobei der Algorithmus die Sollgeschwindigkeit dynamisch an die aktuelle Istposition anpasst. Damit wird bei einer ungestörten Fahrt das gleiche Fahrprofil erreicht wie in der Reglervariante „Position über Zeit“.

Der Vorteil dieser Reglervariante liegt in seinem „Halte-und-Loslass“-Verhalten. Sollte die Bewegung durch äußere Hindernisse o.ä. kurzzeitig blockiert und wieder losgelassen werden, fährt hier der Motor anschließend ruhig nach seiner gegebenen, positionsabhängigen Kurve weiter. Im Gegensatz dazu würde der Regler „Position über Zeit“ die während der Blockierung verlorene Zeit umgehend wieder aufholen und damit möglicherweise die gegebenen Kurvenparameter für maximale Beschleunigung oder maximale Geschwindigkeit überschreiten.

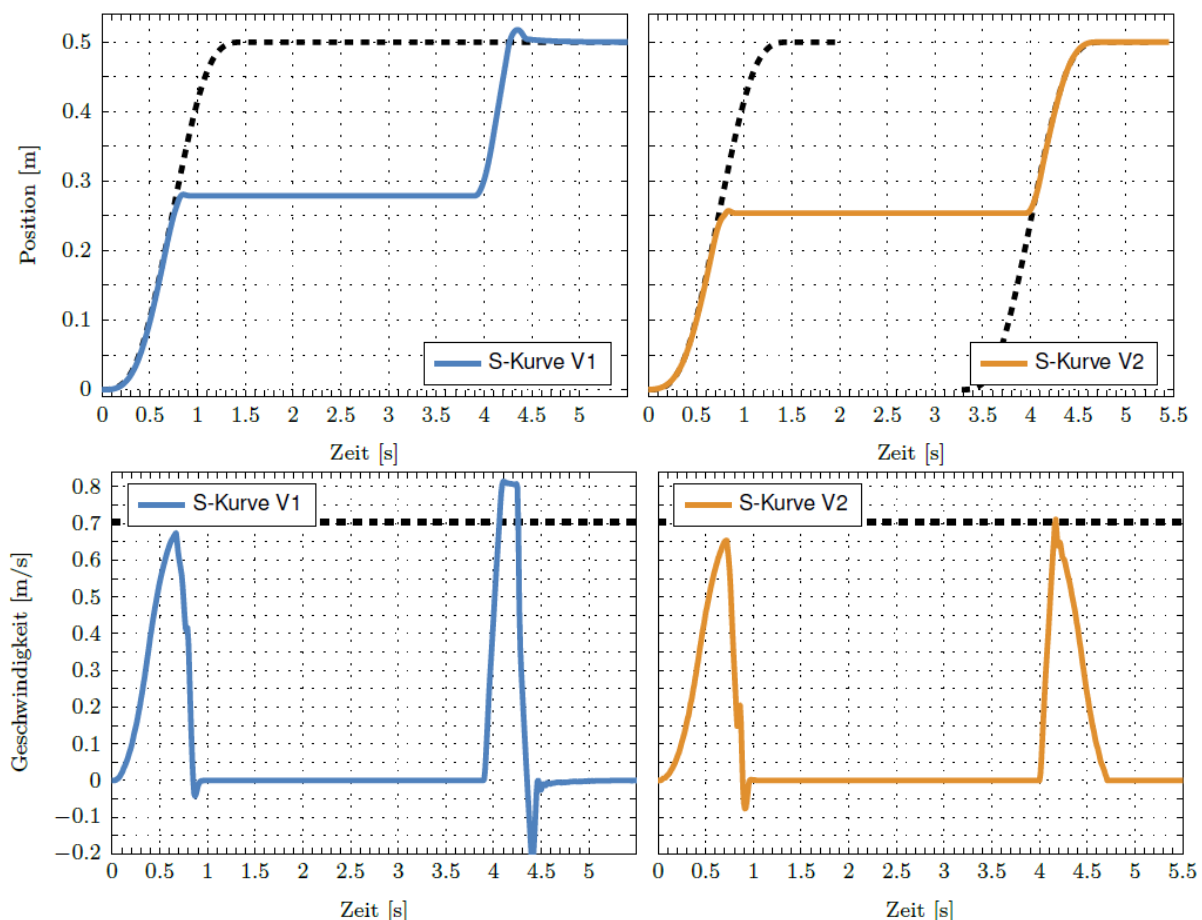


Abbildung 3: Vergleich des Blockierverhaltens bei Fahrt mit Reglervariante V1 (Position über Zeit) und Reglervariante V2 (Geschwindigkeit über Position).