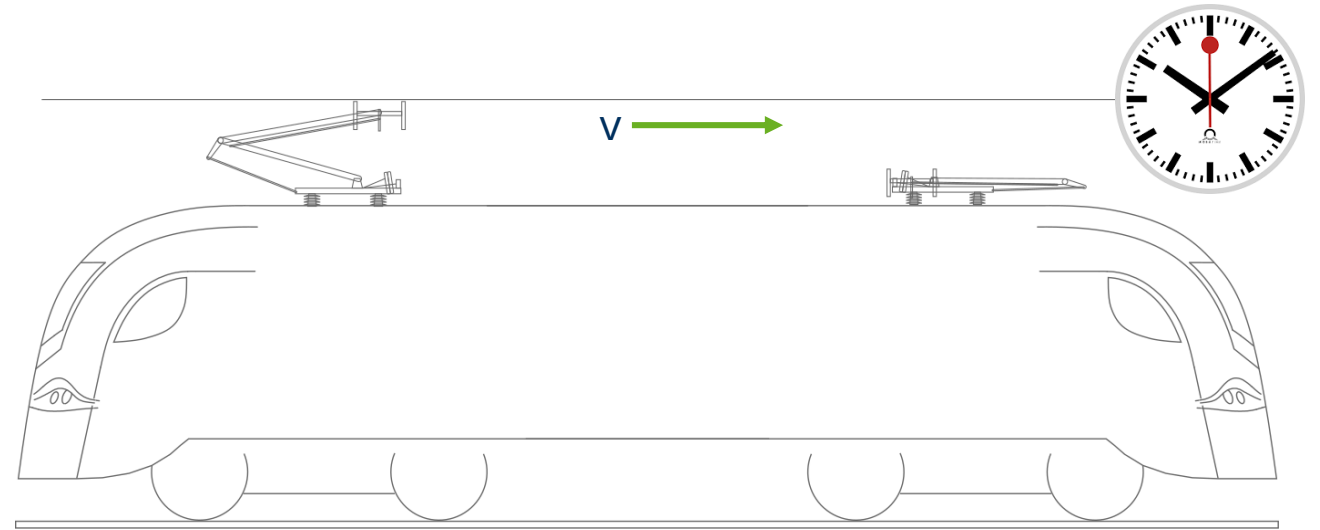


# Vorlesungsinhalte

- 0 Einführung
- 1 Grundlagen
- 2 Fahrwiderstandskräfte
- 3 Antriebskräfte
- 4 Bewertung des Traktionsvermögens
- 5 Leistungs- und Energiebedarf
- 6 Betrachtungen zu Energie und Fahrzeit
- 7 Grundlagen der Fahrzeitberechnung**
- Rechnerpraktikum Zugfahrtsimulation



# Fahrzeitermittlung

Ausgangspunkt: Fahrdynamische Grundgleichung

$$-\ddot{x}\xi m + F_T - F_{WFT} - F_{WFW} - F_{WS} - F_B = 0$$

$$\ddot{x}\xi m = F_T - F_{WFT} - F_{WFW} - F_{WS} - F_B$$

$$\ddot{x} = \frac{F_T - F_{WFT} - F_{WFW} - F_{WS} - F_B}{\xi m}$$

$$\ddot{x} = \frac{F_T(t, v) - F_{WFT}(v) - F_{WFW}(s, v) - F_{WS}(s) - F_B(t, v, \theta)}{\xi m}$$

Geschlossene Lösung aufgrund komplexer Abhängigkeiten in der Regel nicht möglich

Nutzung von Näherungsverfahren sowie numerischer Methoden

# Fahrzeitermittlung

Grundproblem:

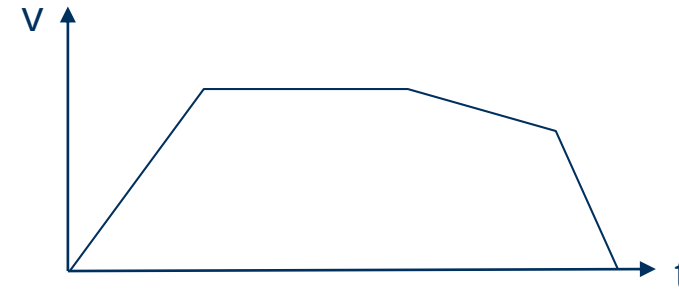
Integration der Bewegungsgleichung:

$$a = f(v)$$

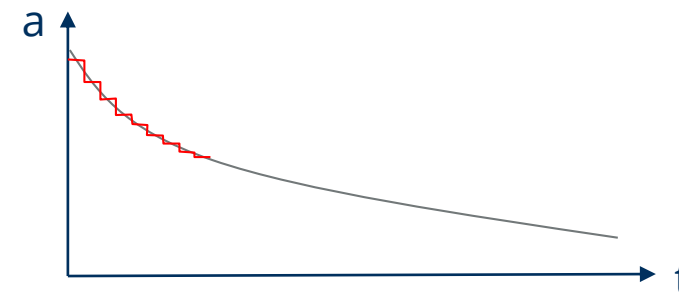
$$t = \int \frac{1}{a(v)} dv$$

$$s = \int \frac{v}{a(v)} dv$$

Lösungsansatz 1: Linearisierung



Lösungsansatz 2: Diskretisierung

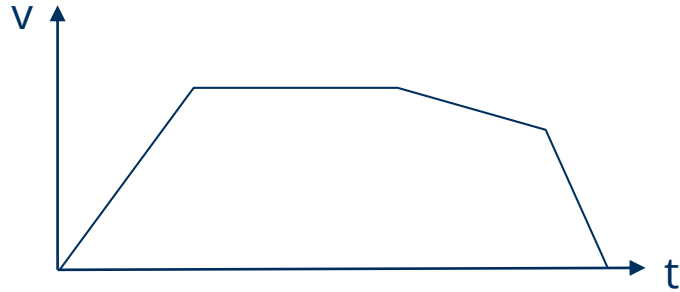


Lösungsansatz 3: Integrationsverfahren



# Fahrzeitermittlung mittels Linearisierung

Lösungsansatz 1: Linearisierung



**Grundidee: Rechnen mit konstanten, mittleren Beschleunigungen/Verzögerungen**

## Vorteile

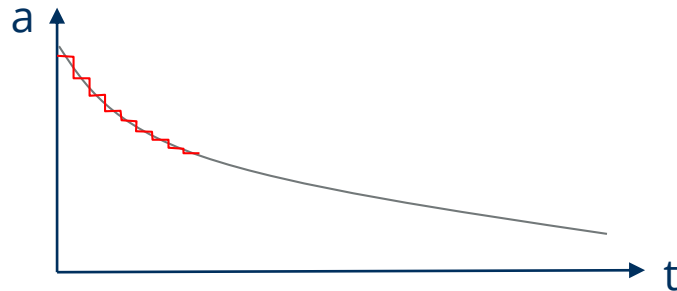
- + Reduktion auf einfache mathematische Zusammenhänge
- + „Handrechnung“ möglich

## Nachteile

- ungenaue Ergebnisse
- schwierige Ermittlung sinnvoller „mittlerer“ Beschleunigungen
- keine detaillierte Darstellung des Fahrtverlaufes

# Fahrzeitermittlung mittels Diskretisierung

Lösungsansatz 2: Diskretisierung



„Schrittverfahren“:

- **Zeitschrittverfahren**
- **Wegschrittverfahren**
- **Geschwindigkeitsschrittverfahren**

**Grundidee:**

Annahme **konstanter** Beschleunigung für **kleine** (Zeit-/Weg-/Geschwindigkeits-) **Intervalle**

**Vorteile**

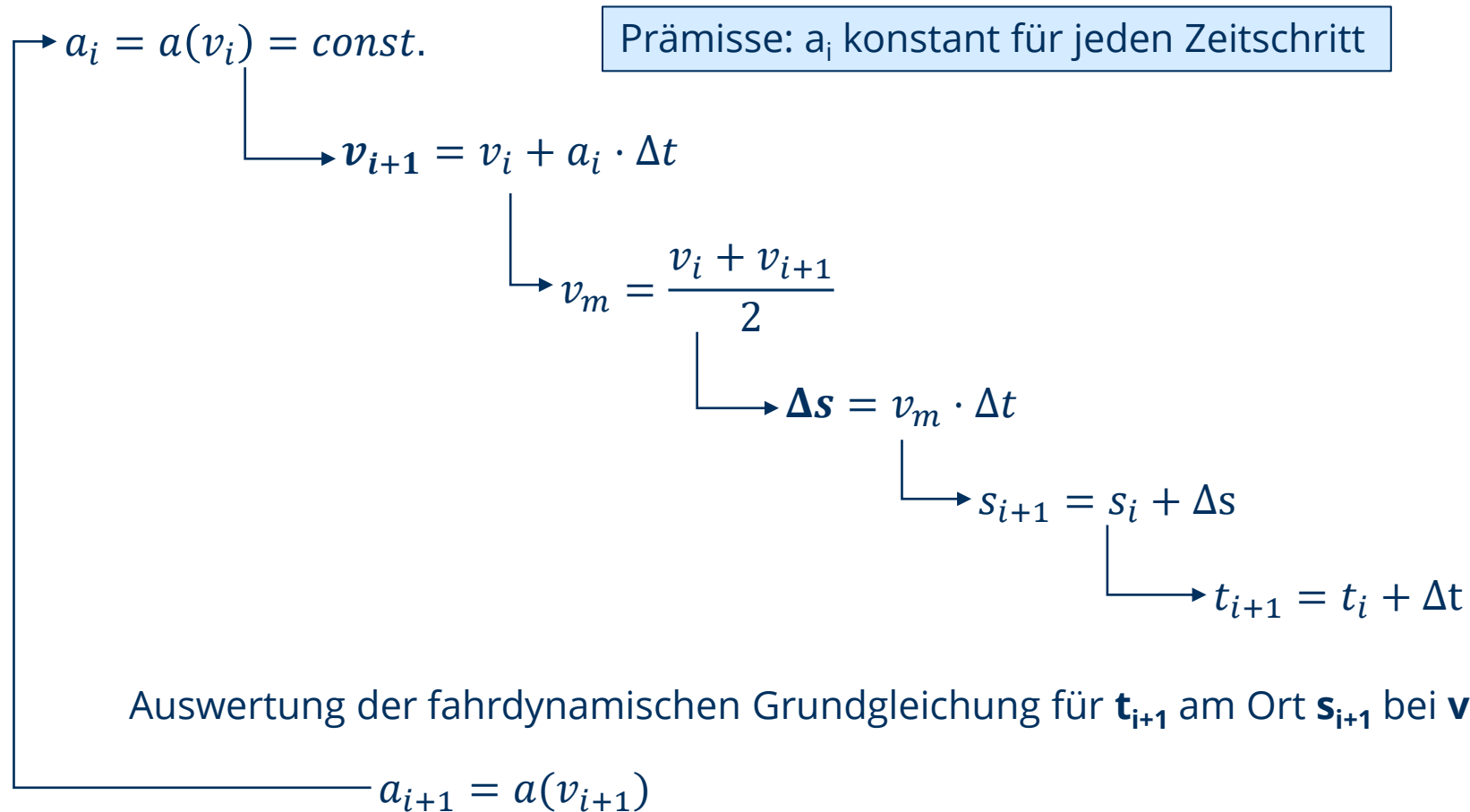
- + Reduktion auf einfache mathematische Zusammenhänge
- + Berechnung mit MS-Excel möglich
- + hinreichend genau bei sinnvoll gewählten Intervallen
- + detaillierte Darstellung des Fahrtverlaufes möglich

**Nachteile**

- hoher Rechenaufwand und große Datenmengen (insbes. Zeitschrittverfahren)
- nicht für alle Bewegungsabschnitte geeignet (Geschwindigkeitsschrittverfahren)
- z.T. Iterationsschritte nötig (abhängig von Genauigkeitsanforderungen)

# Zeitschrittverfahren

Fahrzeug erfährt hat zum Zeitpunkt  $t_i$  die Beschleunigung  $a_i(v_i)$  – Auswertung fahrdyn. Grundgl.:



# Fahrzeitermittlung mittels Integrationsverfahren

Lösungsansatz 3: Integrationsverfahren



- Nutzung von Integraltabellen
- Nutzung numerischer Integratoren

## Grundidee:

**Auffinden geeigneter Näherungsfunktionen für  $a(v)$  und anschließende Integration**

## Vorteile

- + sehr hohe Genauigkeit möglich
- + detaillierte Darstellung des Fahrtverlaufes möglich (nicht bei allen Verfahren)

## Nachteile

- Nutzung spezieller Software nötig
- hoher Aufwand im Falle einer „Handrechnung“
- z.T. hoher Aufwand zur Vorbereitung der Rechnung (Implementierung von Algorithmen)