

DIPLOMARBEIT

Berechnung von Energiebedarf und Fahrzeit von Bahnsystemen

BEARBEITER



Name: Hassan Alsalamat
Studium: Bauingenieurwesen (Univ. Damaskus)
Verkehringenieurwesen (TU Dresden)

BETREUER

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Fengler
Dipl.-Ing. Andreas Hepp

AUFGABE

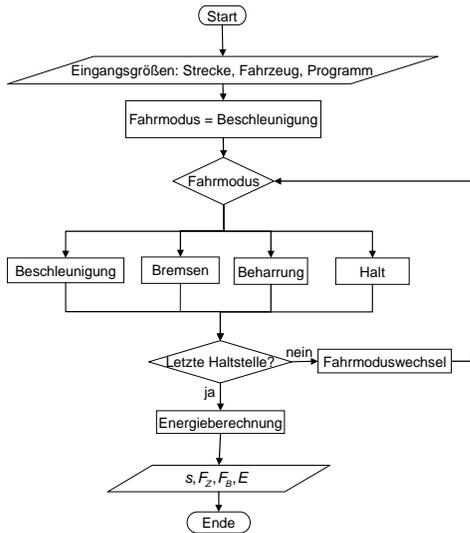
Fahrzeit und Energiebedarf der Züge sind wichtige Randgrößen für die Gestaltung von Bahnsystemen. Neben Fahrzeugspezifischen und betrieblichen Einflüssen wirkt sich auch die Trassierung auf Fahrzeit und Energiebedarf aus. Ziele der Diplomarbeit ist es, ein geeignetes Programm zur Berechnung von Fahrzeit und Energiebedarf von Zügen eines Bahnsystems zu entwickeln, zu programmieren und beispielhaft einige Untersuchungen damit durchzuführen. Zu Beginn der Arbeit sollen auf Basis einer Literaturrecherche die üblichen Verfahren zur Fahrzeit- und Energiebedarfsberechnung von Bahnsystemen beschrieben und verglichen werden. Anschließend soll ein Programm zur Fahrzeit- und Energiebedarfsberechnung konzipiert und mittels Standardsoftware (es wird MathCad empfohlen) erstellt werden.

Für die beispielhafte Anwendung des Fahrzeit- und Energiebedarfsberechnungs-Programms sollen folgende Untersuchungen durchgeführt und in geeigneter Weise dokumentiert werden:

- Vergleich von Berechnung mit Massenpunkt- und Massenbandzugmodellen,
- Vergleich von Berechnungen mit nichtlinearem und linearem Zugkraft-Geschwindigkeits-Zusammenhang und
- Untersuchung der Abhängigkeit des Energieverbrauchs von der Höhenlage der Haltestellen und Strecken (zum Beispiel bei U-Bahnsystemen).

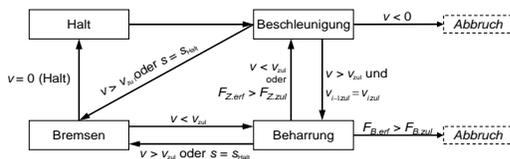
Gesamtablaufplan des Berechnungsprogramms:

Das Programm zur Fahrzeit- und Energiebedarfsberechnung liest zuerst alle Eingangsgrößen der Fahrstrecke, des Zuges und der Programmsteuerung ein, die zuvor aus Excel-Tabellen importiert und interpoliert wurden. Anschließend folgen bei allen Fahrmodi Modelle zur Wegberechnung und zur Berechnung der Kenngrößen der Fahrt im entsprechenden Modi.



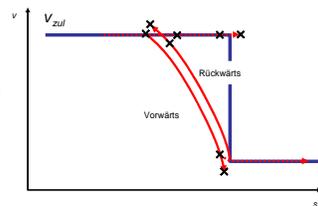
Wechselmöglichkeiten zwischen Fahrmodi im Programm:

Vier Hauptfahrmodi sind im Programm realisiert: Beschleunigung, Bremsen, Beharrung und Halt. In Abhängigkeit von den Abbruchkriterien zu jedem Fahrmodus wird in den nächsten passenden Fahrmodus gewechselt.



Bremsberechnung:

Die Bremsberechnung gliedert sich in zwei Schleifen. Die erste Schleife ist eine Rückwärtsberechnung, die am Ende der vorherigen Phase beginnt und den Einsatzpunkt der Bremsphase ermittelt. Die zweite Schleife ist eine Vorwärtsberechnung, die am Endpunkt der Rückwärtsberechnung beginnt.

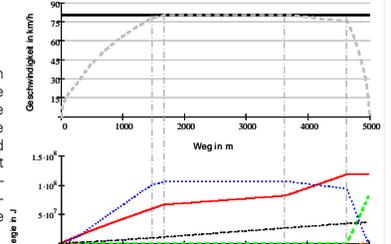


Thesen

- (1) Die Fahrzeit und der Energieverbrauch einer Zugfahrt sind wirtschaftlich und technologisch sehr wichtige Größen, die für die Planung von Eisenbahnstrecken und die Erstellung von Fahrplänen zwingend benötigt werden.
- (2) Die Bewegungsdifferenzialgleichung kann im Zeitschrittverfahren (numerische Lösung) mit einem in MathCad erstellten Programm gelöst.
- (3) Vier Hauptfahrmodi (Beschleunigung, Bremsen, Beharrung und Halt) und zwei durch ungenügende Antriebs- bzw. Bremskraft ausgelöste Nebenfahrmodi kann das Programm realisieren.
- (4) Durch die drei von einander getrennten Typen von Eingangsgrößen (Streckeneingangsgrößen, Fahrzeugeingangsgrößen, Programmsteuerungselemente) können Fahrten verschiedener Züge auf verschiedenen Strecken einfach und flexibel untersucht werden.
- (5) Der Ergebnisvergleich macht deutlich, dass Berechnungen mit einem Massenbandzugmodell zu genaueren Ergebnissen führen als solche mit einem vereinfachten Massenpunktzugmodell.
- (6) Die Streckentiefe zwischen zwei Haltepunkten soll idealerweise so gewählt werden, dass die zulässige Geschwindigkeit gegen Ende der Talfahrt erreicht wird und es keines langen Bremsvorgangs bedarf, um am Ende der Strecke zu Halten.

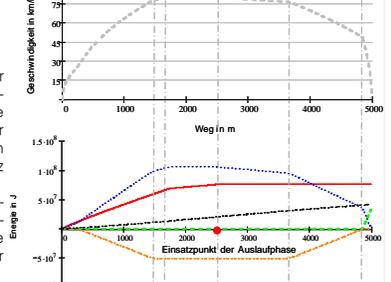
Energien der optimalen Streckentiefe (ohne Auslaufphase):

Bei einer den Vorgaben entsprechenden U-Bahnstrecke mit einer optimalen Tiefe ist die Zugkraft am kleinsten und die zulässige Geschwindigkeit wird kurz nach dem Ende der Talfahrt erreicht, so dass kein energie-verzehrender Bremsvorgang benötigt wird, um die zulässige Geschwindigkeit einzuhalten.



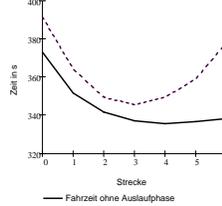
Energien der optimalen Streckentiefe (mit Auslaufphase):

Zur Untersuchung der Abhängigkeit des Energieverbrauchs von der Fahrweise wurde ein Punkt in der Streckenmitte gewählt, an dem keine Zugkraft mehr zum Einsatz kommt (Auslaufphase). Im Ergebnis sinkt der Gesamtbedarf an Zugkraft und Bremskraft gegenüber Fahrten ohne Auslaufphase, während der Zeitbedarf der Zugfahrt steigt.



Fahrzeitbedarf bei den verschiedenen Streckentiefen:

Bei einer Fahrt ohne Auslaufphase ist die Fahrzeit für geringe Tiefen der Strecke zunächst relativ groß. Mit der Zunahme der Tiefe nimmt sie deutlich ab. Ab einer bestimmten Tiefe sinkt die Fahrzeit nicht weiter. Bei einer Fahrt mit Ausrollphase nimmt die Fahrzeit mit der Zunahme der Streckentiefe zunächst ab und ab einer bestimmten Tiefe wieder stark zu.



Zugkraftbedarf bei den verschiedenen Streckentiefen:

Zugkraftenergie und Bremskraftenergie sind in einander ähnlicher Weise von der Streckentiefe abhängig. Bei einer Fahrt ohne Auslaufphase sind beide für mittlere Tiefen am geringsten. Für geringere und größere Tiefen steigen sie dem gegenüber an. Beide Kraftenergien sind bei einer Fahrt mit Auslaufphase geringer als bei der Fahrt ohne Auslaufphase.

