

Höhenrouting mit Radardaten

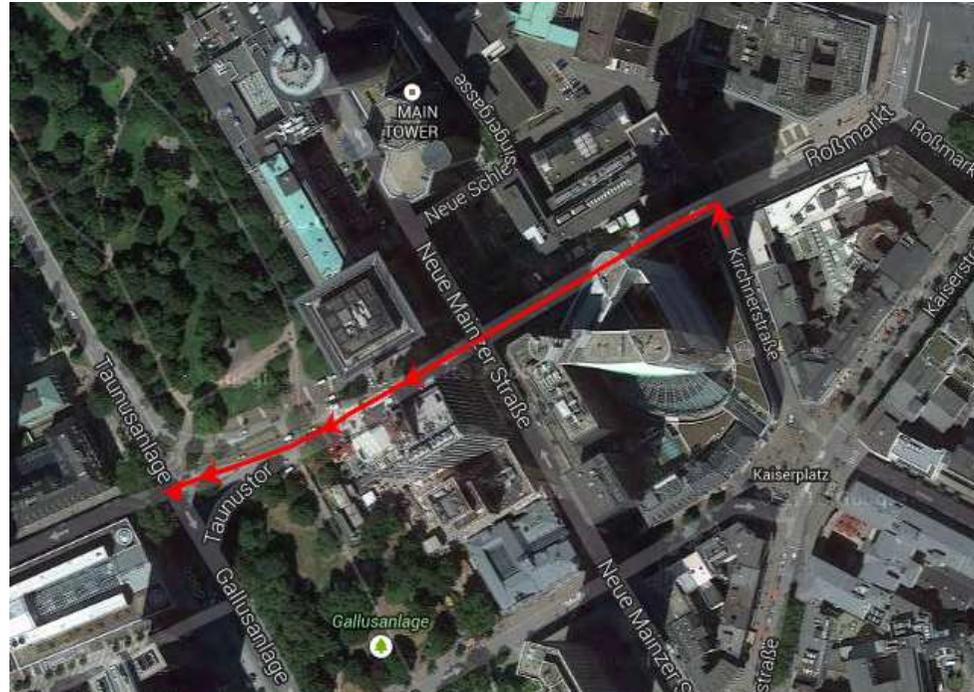
- Grenzen und Probleme bei 90m SRTM -

- Wofür Höhendaten?
- Typische SRTM-Artefakte
- BRouter-Lösung für Artefakte: Hysteresefilter
- Probleme beim Fahrrad-Routing
- Kinematisch/aerodynamische Modelle
- Datenquellen:
 - Vom Himmel: SRTM, ASTER, EU-DEM ...
 - Crowd-sourced? (Barometer, Accelerometer, GPS, ...)

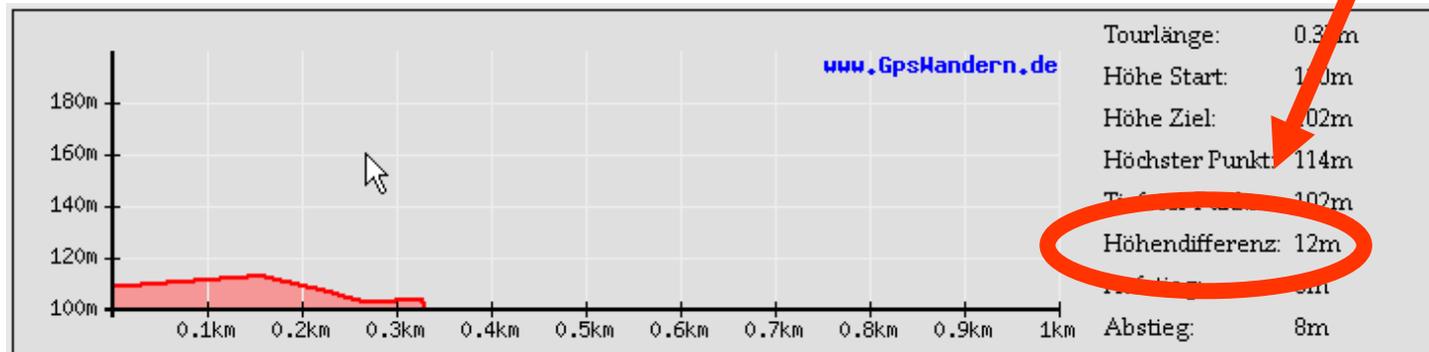
Wofür Höhendaten?

- 3D Visualisierung 
- Grossräumige Routenplanung („Täler + Pässe suchen“) 
- Kleinräumige Routenplanung („Hügel vermeiden“) 
- E-Mobility
 - Reichweitenoptimierung
 - Reichweitenplanung
 - Fahrerassistenz

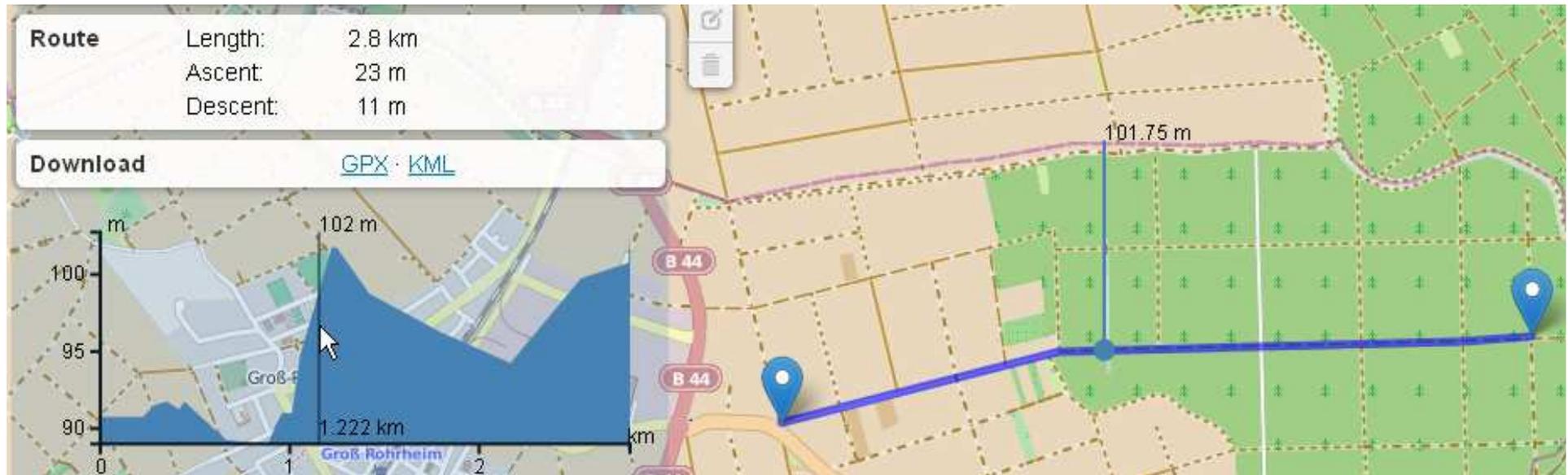
SRTM-Artefakte1: Gebäude



12m !



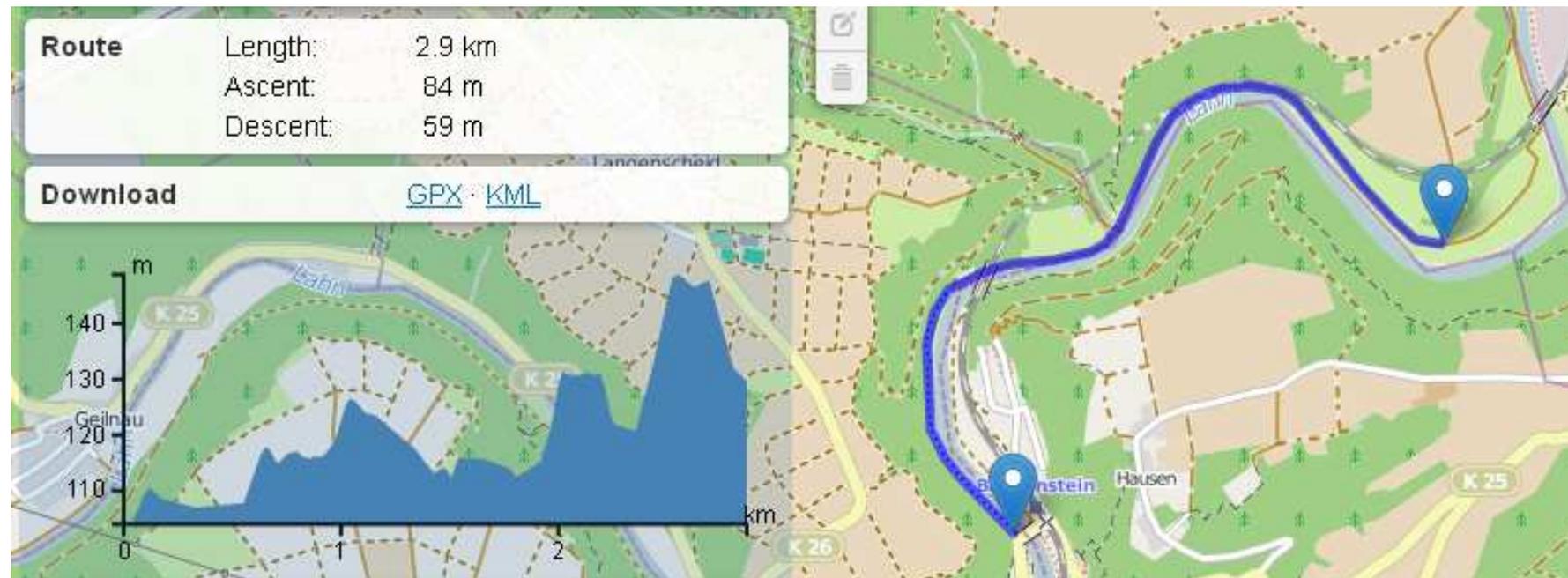
SRTM-Artefakte2: Wälder



-> bis 10m Höhenfehler durch Wälder!

SRTM-Artefakte3: Flusstäler

Lahntal zwischen Diez und Balduinstein:



- -> bis 40m Höhenfehler in Flusstälern!

OSM

~~SRTM~~-Artefakte4: Displacement

Elbbachtal bei Hadamar:



-> OSM-Daten bis 50m falsch positioniert

Datenquellen

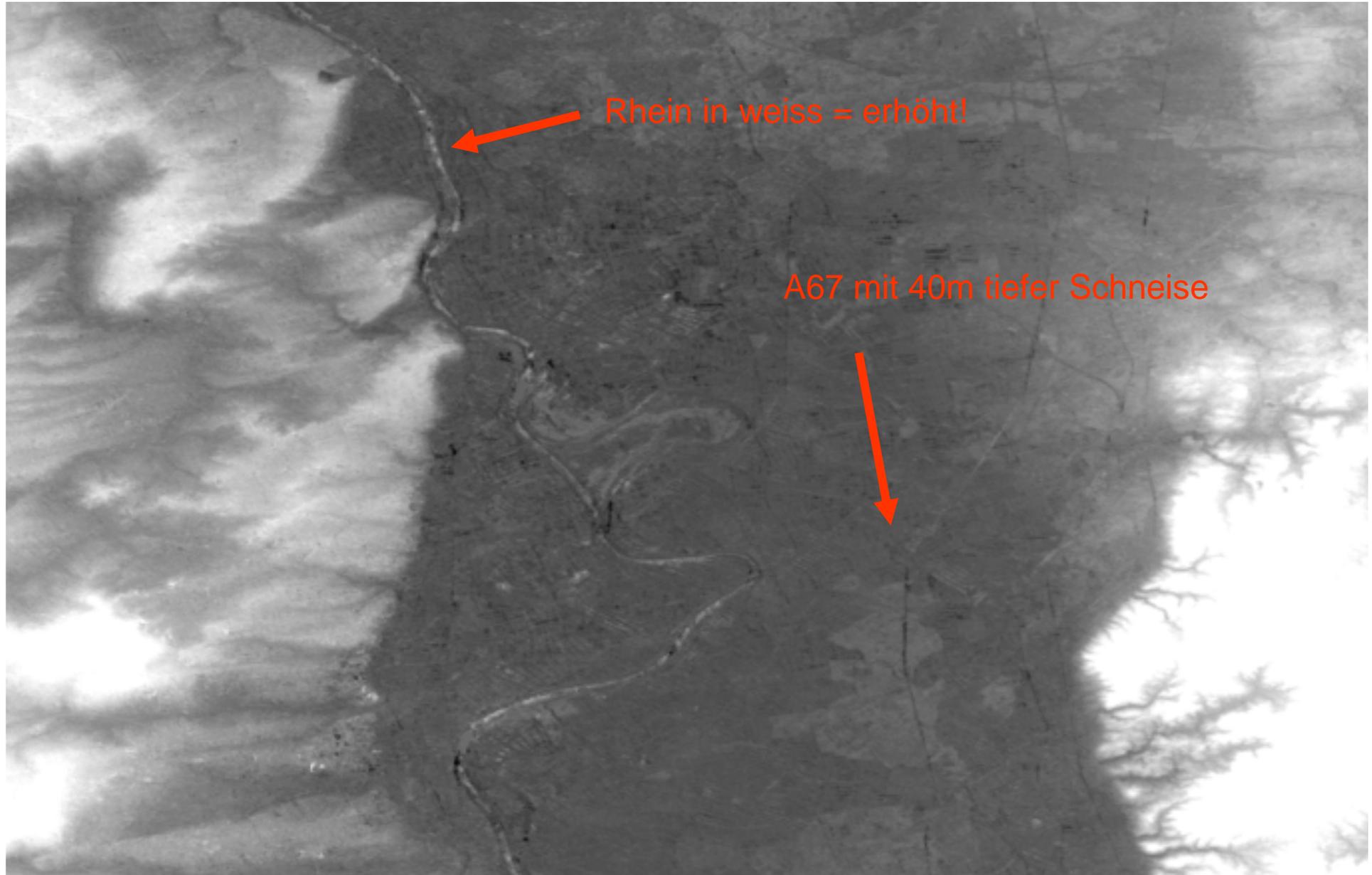
Digitale Oberflächenmodelle (DSMs):

- SRTM 90m (30m nur USA ?)
- ASTER (30m, bis 85° Nord, aber mehr Artefakte)
- EU-DEM (nur Europa, SRTM+ASTER)
- TANDEM-X ?

Digitale Geländemodelle (DTMs):

- Korrektur DSM durch Flächennutzungspolygone?
- ... durch ein hydrographisches Netzwerk?
- Sammlung barometrisch/accelerometrisch ergänzter GPS-Tracks?

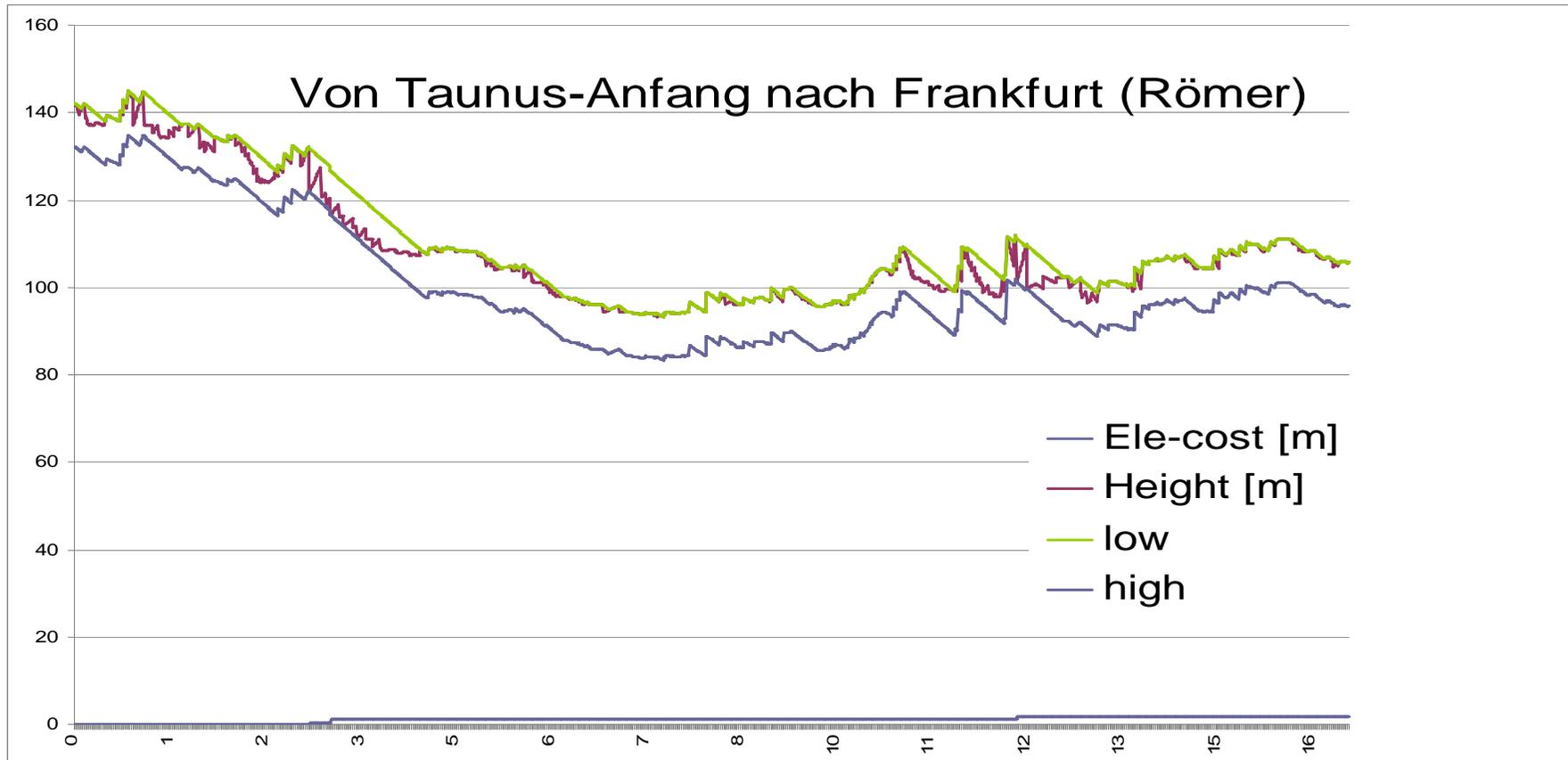
ASTER-Daten in der Rheinebene



Rhein-Ebene in SRTM

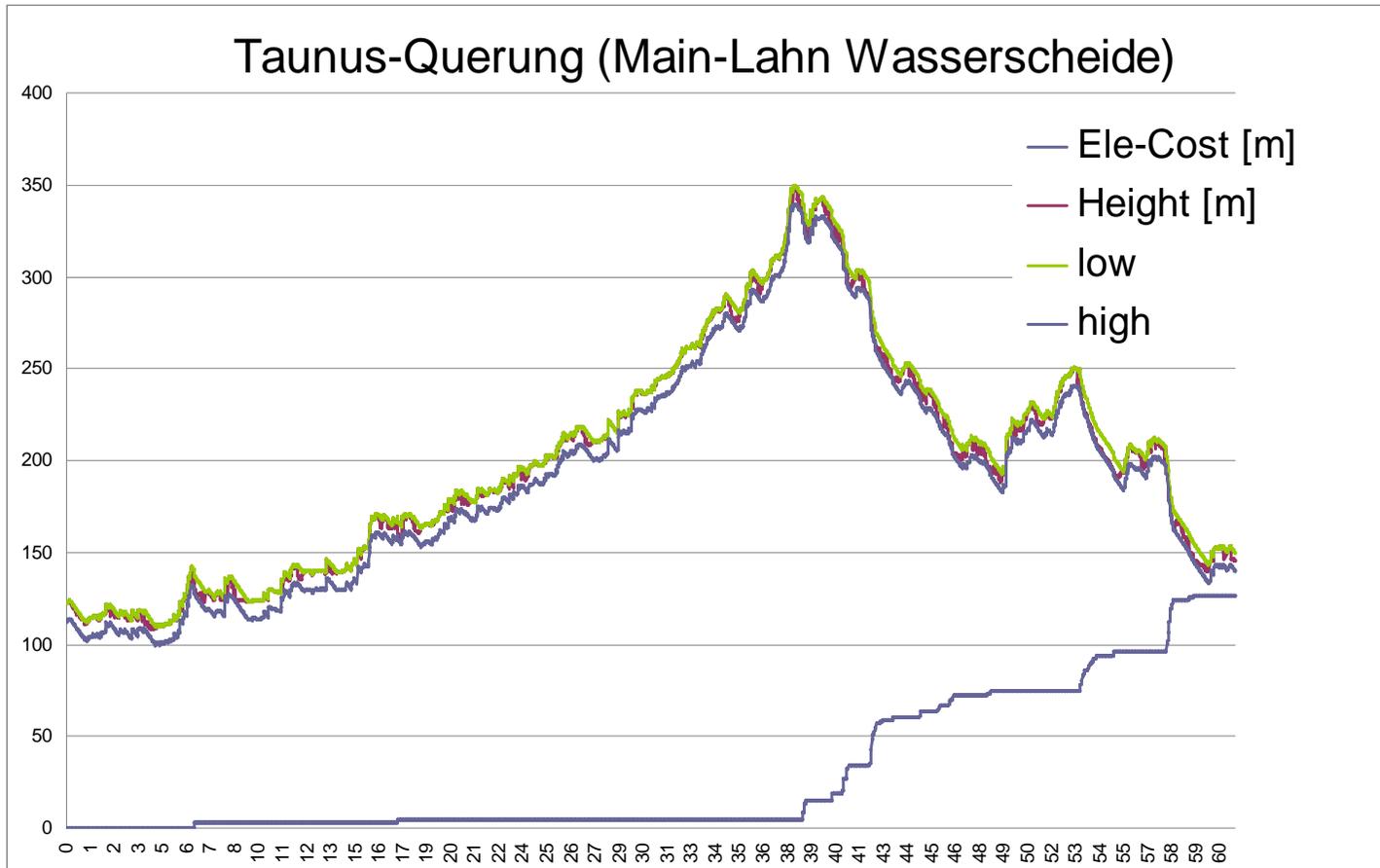


Hysteresefilter1: Mainhatten



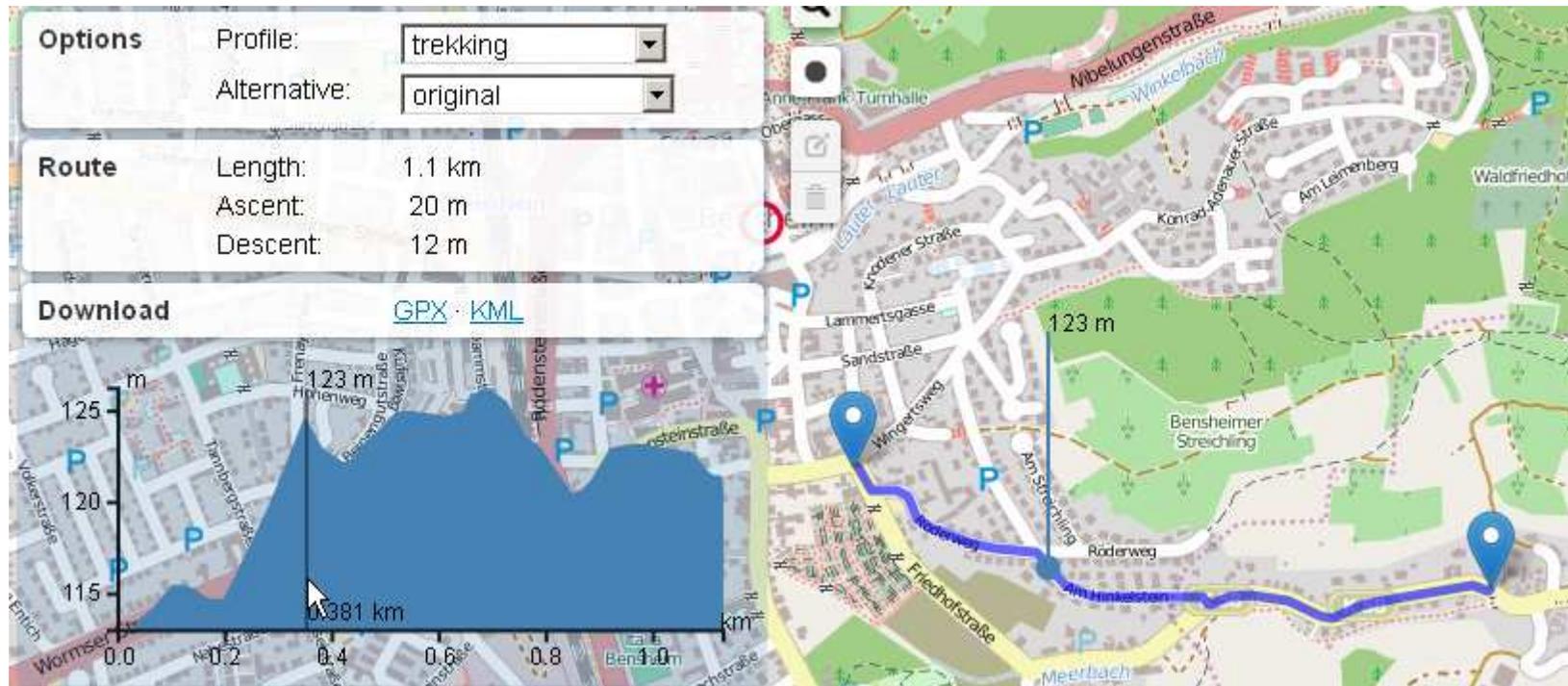
Höhenkosten nur dann, wenn der SRTM-Höhenverlauf (rot) das 10m-Band schneller nach unten drückt, als es von selber fällt

Hysterefilter2: Taunus-Höhenkamm



-> sauberes Höhensignal im Abstiegsteil, 120m = ca. 7km Zusatzkosten

Probleme bei Fahrrad-Routing



-> Kurz-Ausflüge abseits der Talsohle sind häufiges Artefakt

Nichtlokale Kostenfunktion im Routing?

- Hysteresefilter impliziert zusätzliche Zustandsvariable (Hysterepuffer 0..10m)
- Kostenfunktion wird dadurch „nicht-lokal“
- Alle gängigen Pfadsuch-Algorithmen (Dijkstra, A-Star) können das nicht! („non negative Edge-Costs“)
- „Don't care“ Ansatz funktioniert, erfordert aber Rücksichtnahme bei der Definition der Kostenfunktion

Kinematisch/aerodynamisches Modell

Vergleich geometrisches Modell (Hysteresefilter) und physikalisches Modell (Bewegungsgleichung):

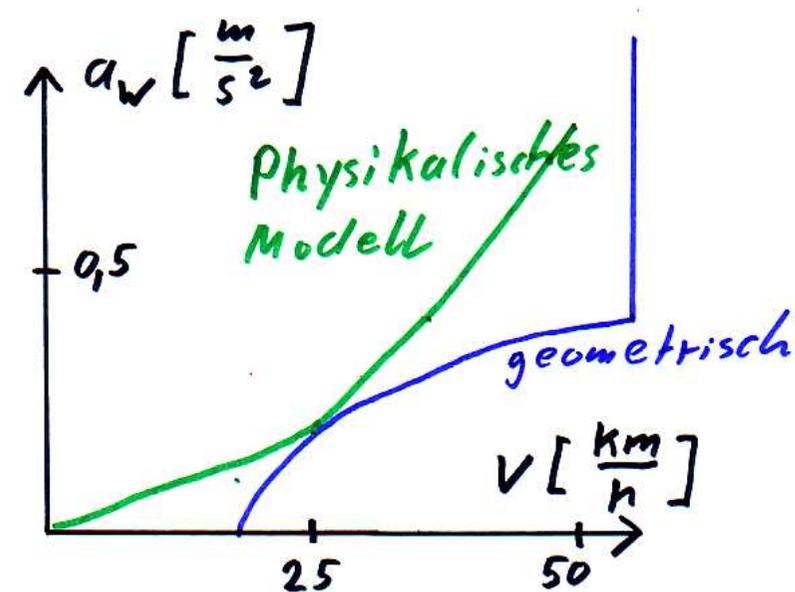
Geometrisch: $\Delta(h_p) = \Delta x^*(\langle \text{edge-constraint} \rangle - \text{cutoff}) - \Delta h$

Physikalisch: $\Delta(\frac{1}{2} v^2) = \Delta x^*((P_{\text{Engine}} - P_{\text{Brake}})/m/v - a_w(v)) - \Delta h * g$

-> geometrisches Modell lässt sich auch beschreiben als kinematisch/aerodynamisches Modell mit modifiziertem Luftwiderstand $a_w(v)$

physikalisches <-> geometrisches Modell

- Luftwiderstand physikalisch steigt quadratisch mit der Geschwindigkeit
- Luftwiderstand im geometrischen Modell steigt bis zum Cutoff nur soweit, dass Kostensumme aus Energie- und Zeitaufwand konstant bleibt



Unechte Vertiefung durch Waldlichtung:

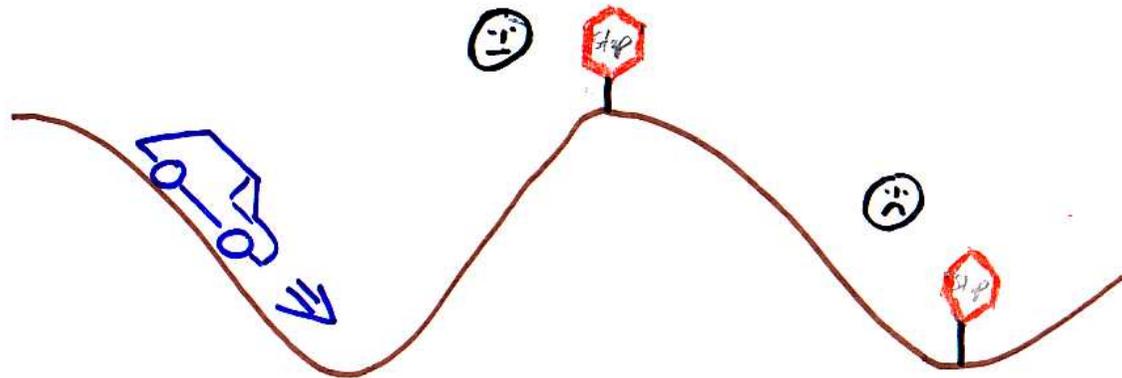
-> nicht kostenneutral im physikalischen Modell!

-> provoziert Artefakte



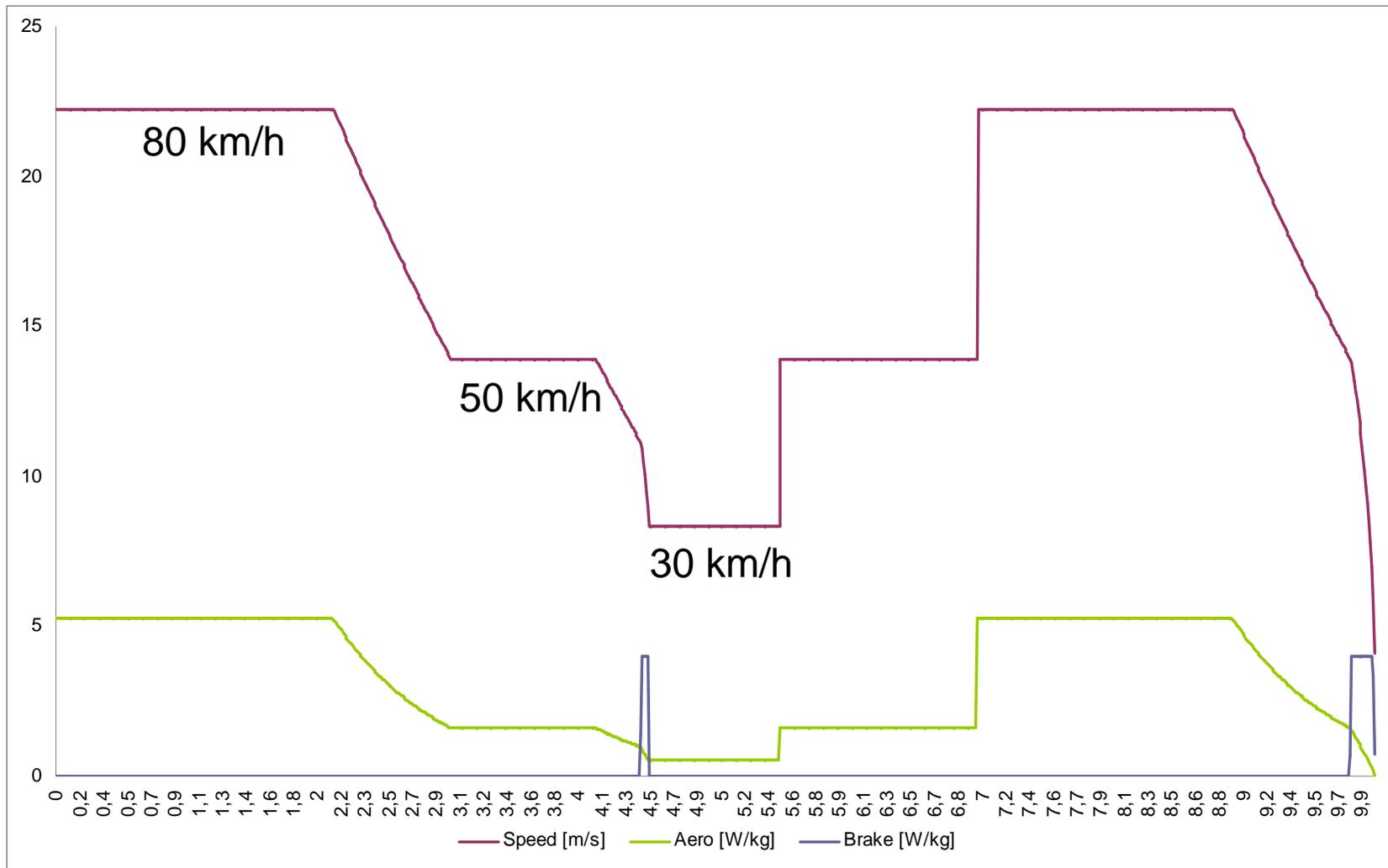
Modell mit kinematischen Constraints?

- V-Max Constraints: Tempo-Limits, Vorfahrtskreuzungen, Kurven, ...
- Constraints im Routing üblicherweise über heuristische Kostenaufschläge
- Im kinematischen Modell aber explizite Berechnung möglich:

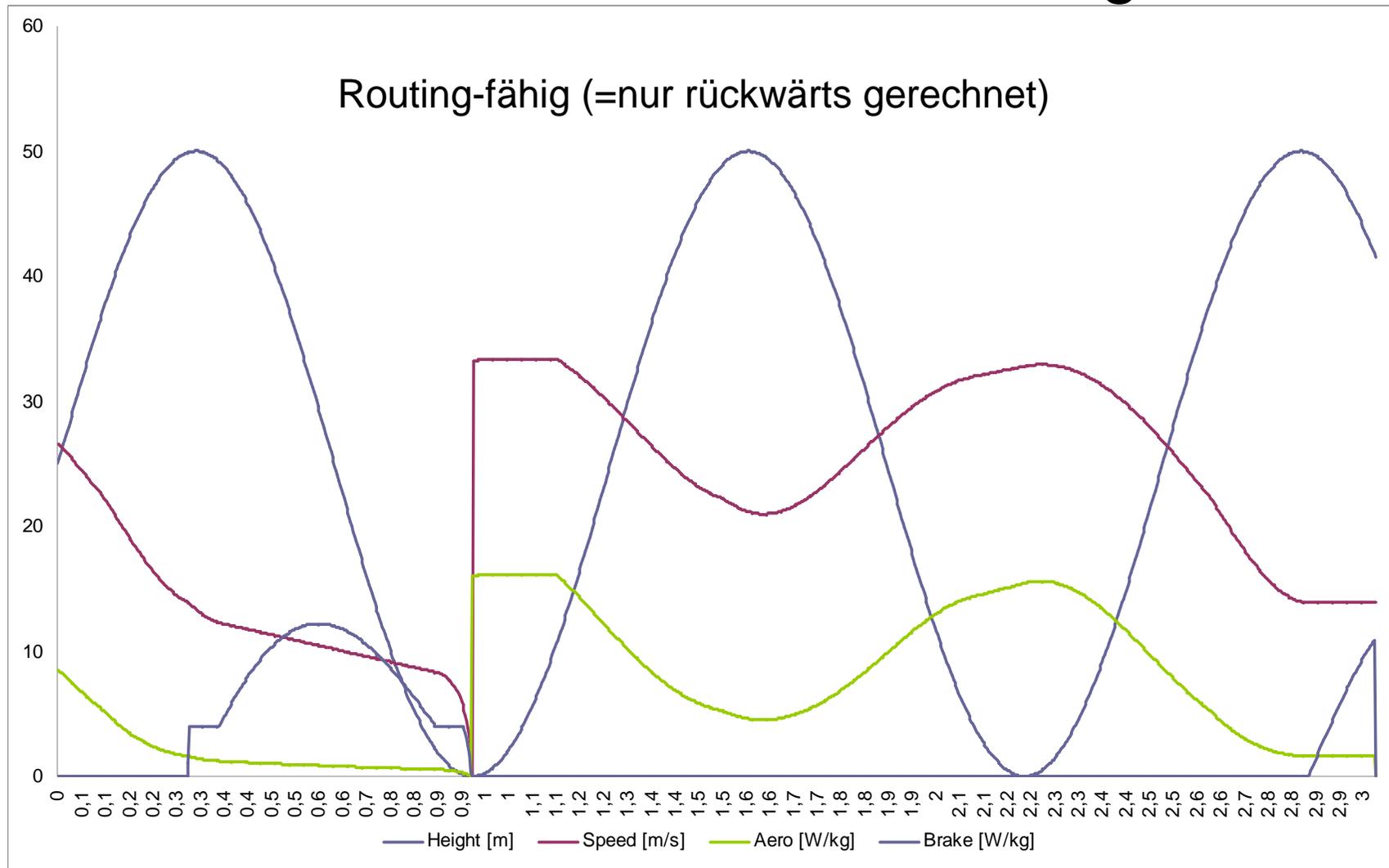


- Problem: Pfadsuche kann nicht in die Zukunft schauen
- Lösung: Pfadsuche rückwärts kann in die Zukunft schauen (aber nicht in die Vergangenheit), Einzige Änderung Bewegungsgleichung: $\Delta x \rightarrow -\Delta x$
- -> routingfähiges kinematisches Modell mit vorrausschauender Fahrweise!

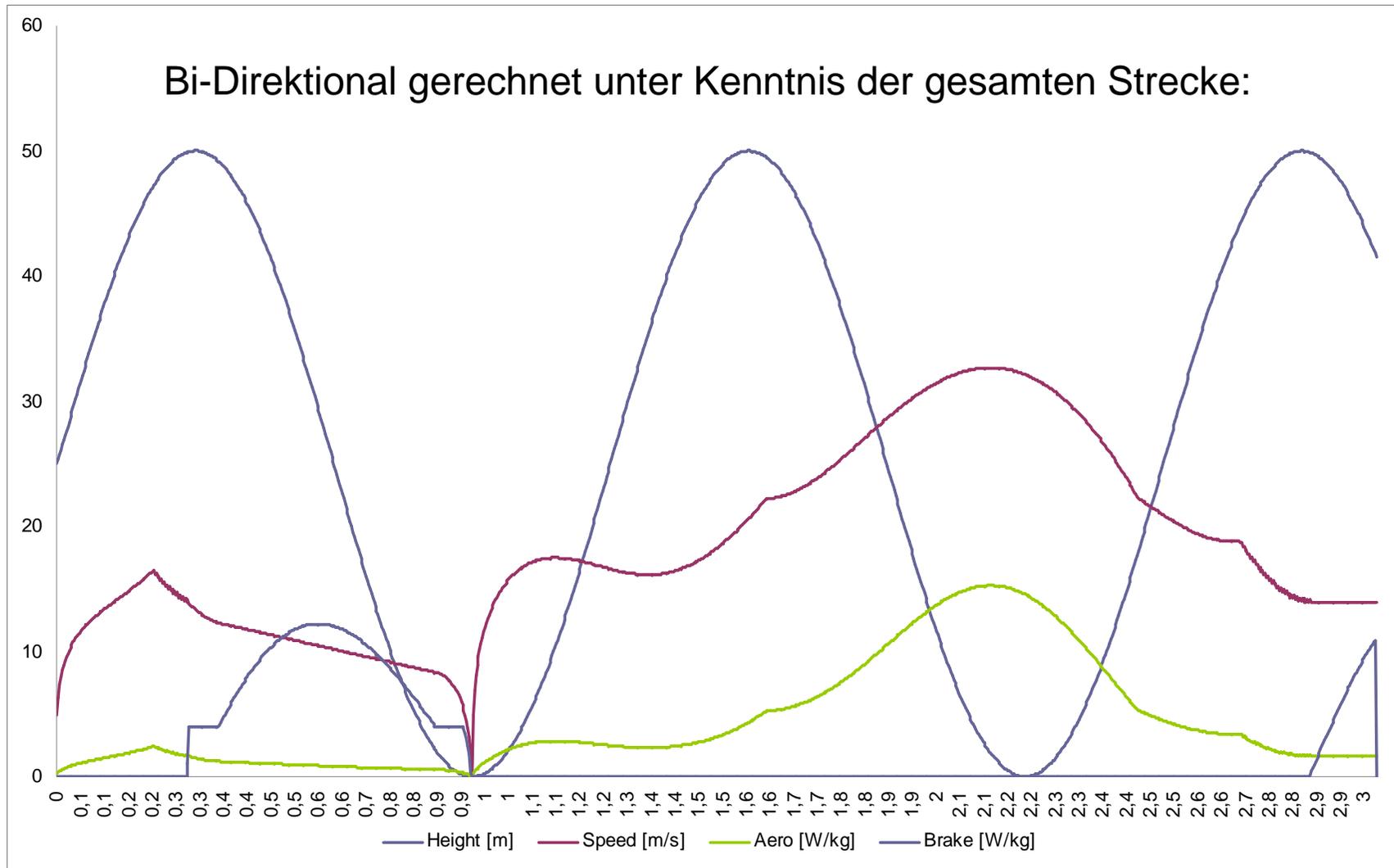
Kinematische Constraints1: Tempolimit



Kinematische Constraints2: Berg&Tal



Kinematische Constraints3: Bi-Direktional



Zusammenfassung

- Abweichung SRTM-Interpolation <-> Wegoberfläche typisch 10m
- Zum Pässe+Täler finden reicht das
- Für kleinräumig richtige Routenführung aber nicht
- Alternativen werden nicht vom Himmel kommen
- Crowd-Sourcing von Höhendaten mit kombinierten GPS/Barometer/ Accelerometer Messungen ist technisch möglich, aber schwierig
- Bessere Höhendaten ermöglichen ein präzises kinematisch/aerodynamisches Modell zur einheitlichen Behandlung von Höhenprofil und V-Max Constraints, das bisherige Heuristiken ersetzt
- Energie-Optimiertes Routing für Elektro-Autos wird davon profitieren
- Der kartengestützte Eco-Knopf für E-Autos wird kommen