

(12)

Patentschrift

(21)	Anmeldenummer:	A 50565/2019	(51)	Int. Cl.:	G01C 21/34	(2006.01)
(22)	Anmeldetag:	26.06.2019			H04W 4/029	(2018.01)
(45)	Veröffentlicht am:	15.03.2021			G05D 1/02	(2020.01)
					G08G 1/0968	(2006.01)
					G06Q 50/30	(2012.01)

(56)	Entgegenhaltungen: US 2016265922 A1 DE 102008034180 A1 Carrel, A, et al.Quantifying transit travel experiences from the users' perspective with high-resolution smartphone and vehicle location data: Methodologies, validation, and example analyses. TRANSPORTATION RESEARCH. PART C 58 (2015) Seiten 224-239 PERGAMON, NEW YORK, NY, GB doi:10.1016/j.trc.2015.03.021	(73)	Patentinhaber: AIT Austrian Institute of Technology GmbH 1210 Wien (AT)
		(72)	Erfinder: Widhalm Peter Dipl.Ing. 1210 Wien (AT)
		(74)	Vertreter: Wildhack & Jellinek Patentanwälte OG 1030 Wien (AT)

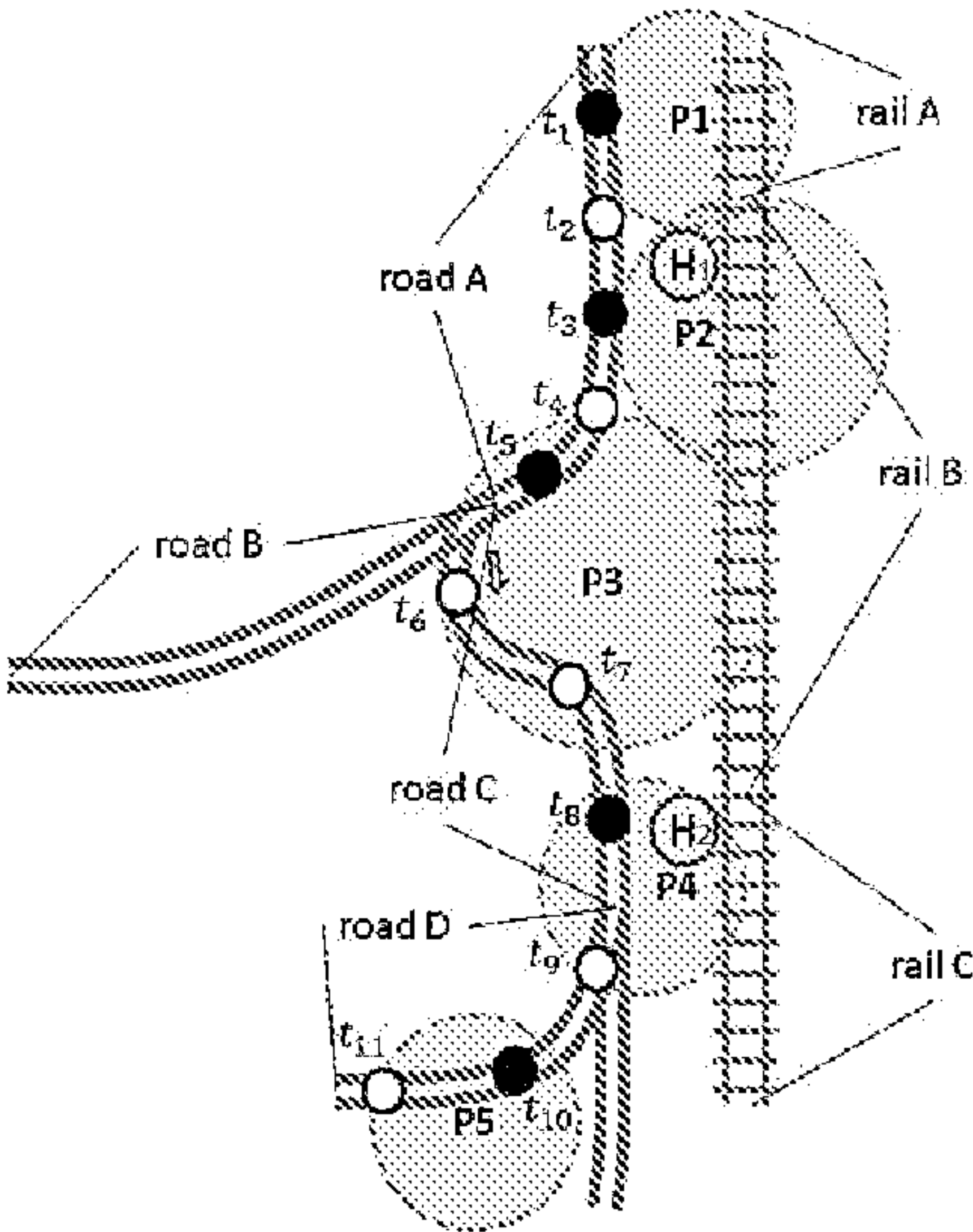
(54)

Verfahren zur Ermittlung eines Bewegungsprofils einer Person

- (57)
- Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ermittlung eines Bewegungsprofils einer Person in Form einer Bewegungskurve umfassend eine Anzahl von Einträgen mit jeweils
- einem Zeitpunkt ($t_1, \dots, t_n$) oder einem Zeitintervall
 - einem Aktivitätszustand (walk, bike, car, train, tram,...), insbesondere beschreibend für eine mobilitätsbezogene Aktivität oder für eine Aktivität am Zielort eines Weges, vorzugsweise einem Wegezweck, und
 - gegebenenfalls einem Ortspunkt,
 - wobei für eine Anzahl von Zeitpunkten im Bereich der Person Positionsinformationen ($P_1, \dots, P_n$) und/oder Sensormesswerte ermittelt werden, und
 - wobei jedem der Einträge ein Aktivitätszustand (walk, bike, car, train, tram, ...) zugeordnet wird durch Finden von Aktivitätszuständen (walk, bike, car, train, tram, ...), die zumindest hinsichtlich der beiden folgenden Kostenfunktionen optimal sind:
 - einer ersten Kostenfunktion (KF_1) für das Vorliegen eines Aktivitätszustands (walk, bike, car, train, tram, ...) aufgrund von Sensormessdaten und/oder Positionsinformationen ($P_1, \dots, P_n$) oder gegebenenfalls von den Positionsinformationen ($P_1, \dots, P_n$) abgeleiteten Werten, insbesondere der Geschwindigkeit, und

- einer zweiten Kostenfunktion (KF_2) für das Vorliegen eines bestimmten Aktivitätszustands (walk, bike, car, train, tram, ...) zu einem jeweiligen Zeitpunkt ($t_1, \dots, t_n$) aufgrund des Vorliegens eines bestimmten Aktivitätszustands (walk, bike, car, train, tram, ...) zu einem jeweils früheren Zeitpunkt ($t_1, \dots, t_n$).

Fig. 1



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ermittlung eines Bewegungsprofils einer Person in Form einer Bewegungskurve gemäß Patentanspruch 1.

[0002] Menschen benützen für ihre Reisen in der Regel eine Abfolge mehrerer Verkehrsmittel wie z.B. Personenkraftwagen, Busse, U-Bahnen, Züge, Straßenbahnen, Fahrräder, Scooter, oder bewegen sich zu Fuß. Die verschiedenen Verkehrsmittel solcher Reisen, d.h. multimodale Reisen, unterscheiden sich in Bezug auf Geschwindigkeit, Beschleunigung und andere Merkmale voneinander. Die Informationen über die genutzten Verkehrsmittel und die Reisezwecke sind entscheidend, um das Reiseverhalten der Menschen zu verstehen und Planung, Management und Betrieb des Transportsystems verbessern zu können.

[0003] Die ständig wachsenden Sensorfähigkeiten, beispielsweise von Smartphones, in Kombination mit einfacher Programmierbarkeit, großer Marktdurchdringung und effektiven Vertriebskanälen für Anwendungen haben dazu geführt, dass Smartphones zu einem effektiven Messgerät für das menschliche Mobilitätsverhalten werden. Zur Datenerfassung können bestehende Infrastrukturen wie z.B. die Infrastruktur des Mobilfunk-Netzes und der Satellitennavigation mitgenutzt werden, welche die Einrichtung von separater Infrastruktur für die Datenerfassung ersetzen. Das automatisierte Erkennen des Verkehrsmittels auf Smartphones löst somit Probleme wie z.B. die begrenzte Stichprobengröße und die eingeschränkte Genauigkeit von herkömmlichen Methoden der Datenerfassung. Derartige Vorgehensweisen können in verschiedenen Zusammenhängen vorteilhaft sein:

[0004] Das Erkennen des benutzten Verkehrsmittels bzw. die Ermittlung eines Bewegungsprofils einer Person kann beispielsweise für elektronische Ticketing-Anwendungen, z.B. E-Ticketing, verwendet werden. Es gibt einen steigenden Bedarf an Systemen, die weitgehend automatisiert das benutzte Verkehrsmittel erkennen können. Dies umfasst die Nutzung von öffentlichen Verkehrsmitteln und auch von kostenpflichtigen Bereichen, wie z.B. Befahren kostenpflichtiger Straßen, Nutzung kostenpflichtiger Parkplätze und Parkhäusern.

[0005] Auf der einen Seite möchten Betreiber der Verkehrsmittel ihre Kosten für Verkauf, Kontrolle und Abrechnung von gedruckten und elektronischen Fahrkarten so gering wie möglich halten. Auf der anderen Seite möchten die Betreiber eine möglichst niedrige Hemmschwelle für den Kauf und die Nutzung dieser Fahrkarten gewährleisten.

[0006] Die zur Zeit eingesetzten Systeme für das elektronische (teil-)automatisierte Ticketing haben die Nachteile, dass sie auf der einen Seite signifikante Installations- und Betriebskosten für zusätzliche Hardware wie bspw. Bluetooth-Beacons oder Kommunikationspunkte verursachen und auf der anderen Seite eine aktive Unterstützung durch den Nutzer benötigen und damit die Gefahr einer Fehl- oder Nichtbedienung mit sich bringen. Zusätzlich sind heutige Systeme in der Regel spezifisch für bestimmte Verkehrsmittel wie z.B. für Bahn- und Busreisen entwickelt worden und können aufgrund ihrer technischen Spezialisierung nicht einfach auf ergänzende Verkehrsmittel übertragen werden.

[0007] Daher sind in der Vergangenheit Verfahren mit Verkehrsmittel-Erkennung für das elektronische Ticketing entstanden, die z.B. in Form von sogenannten Check In-/CheckOut-Systemen oder in Form von sogenannten Be In-/Be Out-Systemen umgesetzt wurden.

[0008] Ein weiteres Anwendungsgebiet der Erkennung von Verkehrsmitteln bzw. der Ermittlung eines Bewegungsprofils einer Person ist die automatisierte Datenerfassung für Mobilitätserhebungen und -statistiken. Die steigende Flexibilität in der Personenmobilität erfordert für die Planung und Optimierung des Gesamtverkehrs sehr detaillierte Daten. Klassische Mobilitätserhebungen mit bspw. mit Fragebögen bzw. Telefoninterviews können die geforderte Datenqualität im Hinblick auf zurückgelegte Wege, verwendete Verkehrsmittel und Wegezwecke selbst mit erheblichem Arbeits- und Kostenaufwand nicht erreichen. Verfahren zur Erkennung des Verkehrsmittels erfassen automatisch Fahrstrecken und Verkehrsmittel von befragten Personen, aus denen Mobilitätsprofile für Mobilitätsumfragen aufgezeichnet werden können. Darüber hinaus wer-

den die Reisezwecke von Personen abgeleitet.

[0009] Weiters kann die Ermittlung eines Bewegungsprofils einer Person für personalisierte „Advanced Traveler Information Systems“ (ATIS) verwendet werden. Wenn das Verkehrsmittel und die auf dieser Strecke aktuelle Reisezeit von reisenden Personen erkannt wurde, können diese Informationen auch in Verbindung mit anderen (mobilen) Quellen zu (Echtzeit-)Verkehrsinformationen verarbeitet und auch anderen Reisenden für die Reiseplanung, -steuerung und -optimierung zur Verfügung gestellt werden.

[0010] Die in Echtzeit bereitgestellten Informationen stammen aus einer großen Zahl mobiler Quellen und z.B. Reisezeiten können aus diesen mobilen Quellen aggregiert und zu Verkehrsinformationen verarbeitet werden.

[0011] Für die genannten Anwendungsgebiete sind aus dem Stand der Technik bereits Verfahren bekannt, die eine weitgehend automatisierte Erkennung des Verkehrsmittels ermöglichen.

[0012] EP 2260458 B1 offenbart beispielsweise ein Verfahren, das mit GPS aufgezeichnete Geschwindigkeiten und Beschleunigungen von Fahrten als Datenbasis einsetzt. Im ersten Schritt werden Segmente anhand der Geschwindigkeiten und Beschleunigungen als Fußwege und oder Nicht-Fußwege klassifiziert. Im zweiten Schritt wird ein Modell mit Daten von Fahrten mit bekanntem Verkehrsmittel kalibriert, das zur Klassifikation der Segmente eingesetzt wird.

[0013] In einer Publikation der Anmelderin (Nitsche P., Widhalm P. et al., „A strategy on how to utilize smartphones for automatically reconstructing trips in travel surveys“, Transport Research Arena, Athen 2012) wird ein weiteres Verfahren zur Erkennung eines Verkehrsmittels offenbart. Für dieses Verfahren wird ein statistisches Modell mit Daten von gemessenen Fahrten mit bekanntem Verkehrsmittel kalibriert. Es werden aus Geschwindigkeitsmessungen und Beschleunigungen abgeleitete Werte wie z.B. Werte der Häufigkeitsverteilung und Autokorrelation als Merkmale (features) für das Modell berechnet. Dieses Modell wird zur Klassifikation von gesamten Fahrten mit unbekannten Verkehrsmitteln eingesetzt.

[0014] Die EP 2658291 B1 offenbart ein Verfahren zur automatisierten Ermittlung des Aufenthaltsortes einer Person, das u.a. zur Erkennung des benützten Verkehrsmittels eingesetzt werden kann. Als Grundlage für die Erkennung werden Referenzdaten über Beschleunigung und Umfeld, z.B. akustische Werte, Temperaturwerte und über WLAN bereitgestellte Informationen, die jeweils charakteristisch für bestimmte Aufenthaltsorte sind, gespeichert und für den Vergleich mit den gemessenen Beschleunigungen und Umfeld-Daten verwendet. Die Referenzdaten werden mit verschiedenen Endgeräten, insbesondere Smartphones oder anderen Geräten, die Positionen und Beschleunigungen messen können, erfasst.

[0015] Ausgehend vom zuvor beschriebenen Stand der Technik hat die vorliegende Erfindung somit die Aufgabe, ein Verfahren zur automatischen Ermittlung des Bewegungsprofils einer Person bereitzustellen, das die Erkennung von Aktivitätszuständen der Person mit einer hohen Erkennungsrate ermöglicht.

[0016] Zur Lösung dieser Aufgabe wird ein computer-implementiertes Verfahren zur Ermittlung eines Bewegungsprofils einer Person in Form einer Bewegungskurve umfassend eine Anzahl von Einträgen mit den Merkmalen des Anspruchs 1 beschrieben. Erfindungsgemäß ist dabei vorgesehen, dass die Einträge der Bewegungskurve jeweils

- einen Zeitpunkt oder ein Zeitintervall
- einen Aktivitätszustand, insbesondere beschreibend für eine mobilitätsbezogene Aktivität oder für eine Aktivität am Zielort eines Weges, vorzugsweise einem Wegezweck, und
- gegebenenfalls einen Ortspunkt, umfassen
- dass für eine Anzahl von Zeitpunkten im Bereich der Person Positionsinformationen und/oder Sensormesswerte ermittelt werden, und
- dass jedem der Einträge ein Aktivitätszustand zugeordnet wird durch Finden von Aktivitätszuständen, die zumindest hinsichtlich der beiden folgenden Kostenfunktionen optimal sind:
 - einer ersten Kostenfunktion für das Vorliegen eines Aktivitätszustands aufgrund von Sensormessdaten und/oder Positionsinformationen oder gegebenenfalls von den Positionsin-

- formationen abgeleiteten Werten, insbesondere der Geschwindigkeit, und
- einer zweiten Kostenfunktion für das Vorliegen eines bestimmten Aktivitätszustands zu einem jeweiligen Zeitpunkt aufgrund des Vorliegens eines bestimmten Aktivitätszustands zu einem jeweils früheren Zeitpunkt.

Unter einem Bewegungsprofil wird im Zusammenhang mit der Erfindung eine Beschreibung des Mobilitätsverhaltens verstanden, die Information über die zurückgelegten Wege und Wegetappen enthält, insbesondere die Wegquellen, Wegziele, die verwendeten Verkehrsmittel und gegebenenfalls, d.h. optional auch die Wegzwecke, die sich aus der Aktivität am Wegeziel ableiten.

[0017] Unter einer Bewegungskurve wird im Zusammenhang mit der Erfindung eine Folge von Einträgen verstanden, die Zeitpunkten oder Zeitintervallen jeweils eine Aktivität, insbesondere eine verkehrliche Aktivität in Form einer Fortbewegungsart bzw. eines benutzten Verkehrsmittels oder einer nicht-verkehrlichen Aktivität am Wegziel, und gegebenenfalls, d.h. optional, eine benutzte Verkehrsinfrastruktur, wie z.B. ÖV- Haltestellen und ÖV-Streckenabschnitte, Straßen, Autobahnen, etc., oder eine für eine nicht-verkehrliche Aktivität am Wegziel benutzte Infrastruktur, z.B. Supermarkt, Restaurant, Amtsgebäude, etc. zuordnet.

[0018] Ein derartiges Verfahren rechnet vorteilhafterweise ohne Vorklassifikation, d.h. in einem einzigen Verfahrensschritt wird jedem Zeitpunkt einer Bewegung ein Aktivitätszustand, insbesondere die Benutzung eines Verkehrsmittels, zugeordnet. Weiters können Referenzdaten eingesetzt, wie z.B. Linienverläufe der öffentlichen Verkehrsmittel, Haltestellen-Koordinaten, und in manchen Ausführungsformen auch Fahrpläne und Betriebsdaten für den zeitlichen Abgleich sowie das Straßennetz des Individualverkehrs eingesetzt werden.

[0019] Diese Referenzdaten unterscheiden sich jedoch z.B. von den in EP 2658291 B1 definierten Referenzdaten über Beschleunigung und Umfeld, die für den Vergleich mit den gemessenen Beschleunigungen und Umfeld-Daten verwendet werden.

[0020] Das Verfahren kann beispielsweise zur Erfassung bzw. Rekonstruktion einer Reiseroute einer Person mit einem oder mehreren benutzten Verkehrsmittel dienen, wobei die Reiseroute beispielsweise eine Anzahl von Einträgen mit jeweils

- einem Zeitpunkt oder einem Zeitintervall
- einem Aktivitätszustand, insbesondere einer Fortbewegungsart bzw. der die Benützung einer Verkehrsmittelkategorie, z.B. Gehen, Radfahren, Bus, Straßenbahn, Schnellbahn, U-Bahn, etc.,
- gegebenenfalls einem Ortspunkt,
- gegebenenfalls einer benutzten Verkehrsinfrastruktur, z.B. einer Ein-/Aus-/Umsteige- Haltestelle, ÖV-Linie, Straße, umfasst,

wobei für eine Anzahl von Zeitpunkten Positionsdaten und Sensordaten gemessen werden.

[0021] Bei einem erfindungsgemäßen Verfahren kann vorgesehen sein, dass zu jedem der Einträge Aktivitätszustände und ggf. benutzte Verkehrsinfrastrukturen zugeordnet werden können, die hinsichtlich einer Kostenfunktionen minimale Kosten ergeben, wobei sich die zu minimierende Kostenfunktion additiv aus folgenden Teil-Kostenfunktionen zusammensetzt:

[0022] Eine erste Kostenfunktion wird für das Vorliegen eines Aktivitätszustands aufgrund von Sensormessdaten und/oder Positionsinformationen bzw. von den Positionsinformationen abgeleiteten Werten, wie insbesondere Geschwindigkeit berechnet. Die Kosten können insbesondere proportional zum negativen Logarithmus der durch die gemessenen Sensor- und Positionsinformationen bedingten Wahrscheinlichkeit des Vorliegens eines Aktivitätszustands vorgegeben werden. Diese Wahrscheinlichkeits- bzw. Kostenverteilung kann mit Hilfe einer Stichprobe von Sensordaten und Positionsinformationen verschiedener Aktivitätszustände, wie z.B. der Benutzung verschiedener Verkehrsmittel, modelliert werden.

[0023] Eine zweite Kostenfunktion, die vorteilhafterweise sicherstellt, dass zu häufig auftretende Wechsel zwischen verschiedenen Verkehrsmitteln minimiert werden, kann bereitgestellt werden, wenn die zweite Kostenfunktion folgende Kosten aufweist:

- geringere Kosten für den Verbleib in demselben Aktivitätszustand und
- höhere Kosten für einen Wechsel des Aktivitätszustands.

[0024] Eine zweite Kostenfunktion, die vorteilhafterweise sicherstellt, dass keine unwahrscheinlichen Wechsel zwischen verschiedenen Aktivitätszuständen wie z.B. ein unmittelbarer Wechsel von einem PKW in einen Zug, ohne dazwischen beispielsweise zu Fuß gegangen zu sein, ermittelt werden, kann bereitgestellt werden, wenn

- einer der Aktivitätszustände „Gehen“ ist, wobei die Kosten für den Aktivitätszustand „Gehen“ aufgrund gemessener Sensordaten und Positionsinformationen durch die erste Kostenfunktion festgelegt werden, und
- die zweite Kostenfunktion folgende Kosten aufweist:
 - geringe Kosten für den Verbleib in demselben Aktivitätszustand,
 - höhere Kosten für einen Wechsel vom Aktivitätszustand „Gehen“ in einen anderen Aktivitätszustand und/oder für einen Wechsel von einem anderen Aktivitätszustand in den Aktivitätszustand „Gehen“, und
- die höchsten Kosten für alle anderen Wechsel zwischen verschiedenartigen Aktivitätszuständen.

[0025] Um eine besonders zuverlässige Ermittlung des Aktivitätszustands zu einem jeweiligen Zeitpunkt zu gewährleisten, kann vorgesehen sein, dass die zweite Kostenfunktion Aktivitätszustände von weiteren, zeitlich zurückliegenden Zeitpunkten mit einbezieht, wobei die vorgegebene Zeitspanne einer für die jeweiligen Aktivitätszustände typischen Verweildauer, insbesondere einer Minimalverweildauer, entspricht.

[0026] Eine derartige zweite Kostenfunktion kann auch Aktivitätszustände von weiteren, länger zurückliegenden Zeitpunkten mit einbeziehen. Die Zeitspanne des Zurückschauens entspricht der jeweils für die entsprechenden Aktivitätszustände typischen minimalen Verweildauer. Als Beispiele für die Aktivitätszustände "Gehen", "Fahrrad fahren" und "Benutzung eines PKWs" können z. B. folgende typische minimale Mindestverweildauern angegeben werden:

- Gehen: 1 Minute
- Fahrrad: 5 Minuten
- PKW: 10 Minuten

[0027] Ein schematisches Beispiel hierfür ist in Tabelle i gezeigt, wobei X für einen beliebigen Zustand steht, „≠ Fahrrad“ für einen beliebigen anderen Zustand als die Benutzung des Verkehrsmittels "Fahrrad" und „≠ PKW“ für einen beliebigen anderen Zustand als die Benutzung des Verkehrsmittels "PKW":

[0028] Tabelle i: Beispiele für die mögliche Abfolge der Aktivitäten und die entsprechende Abhängigkeit der Kostenfunktion

Aktivitätszustand					
Vor 10 Min	Vor 5 Min	Vor 1 Min	Zeitpunkt t-1	Zeitpunkt t	Kosten (1: gering, 5: sehr hoch)
X	X	X	Fahrrad	Fahrrad	1
X	Fahrrad	Fahrrad	Fahrrad	Gehen	2
X	≠ Fahrrad	Fahrrad	Fahrrad	Gehen	3
X	X	≠ Fahrrad	Fahrrad	Gehen	4
X	X	X	Fahrrad	PKW	5
X	X	X	PKW	PKW	1
PKW	PKW	PKW	PKW	Gehen	2
≠ PKW	PKW	PKW	PKW	Gehen	3
X	≠ PKW	PKW	PKW	Gehen	4
X	X	≠ PKW	PKW	Gehen	4
X	X	X	PKW	Fahrrad	5

[0029] Eine weitere Verbesserung der Zuverlässigkeit bei der Ermittlung des Aktivitätszustands zu einem jeweiligen Zeitpunkt kann erzielt werden, wenn bei der Zuordnung von Aktivitätszuständen zu den Einträgen der Bewegungskurve eine dritte Kostenfunktion für die Nutzung einer bestimmten Infrastruktur zu einem jeweiligen Zeitpunkt aufgrund der zum jeweiligen Zeitpunkt ermittelten Positionsinformation, gegebenenfalls unter Berücksichtigung der jeweiligen Messungengenauigkeit der Positionsinformation, und des Messzeitpunkts optimiert wird, wobei die dritte Kostenfunktion auf die Positionsinformation, gegebenenfalls unter Berücksichtigung der jeweiligen Messungengenauigkeit, zur Ermittlung einer Anzahl von Infrastrukturen sowie den diesen Infrastrukturen zugeordneten Kosten angewendet wird.

[0030] Eine derartige dritte Kostenfunktion wird zu einem jeweiligen Zeitpunkt aufgrund der jeweiligen Positionsinformation bzw. des jeweiligen Positions-Messpunkts, gegebenenfalls einer Abschätzung der Messungengenauigkeit und des räumlichen Abstandes zur Infrastruktur berechnet und liefert vorteilhafterweise Kosten für die Nutzung einer bestimmten Infrastruktur wie beispielsweise einer Straße, Haltestelle, ÖV-Streckenabschnitt; für nicht-verkehrliche Aktivitäten z.B. Supermarkt, Restaurant, etc.

[0031] Um sicherzustellen, dass die jeweils ermittelten Aktivitätszustände im Einklang mit der jeweils ermittelten Infrastruktur stehen, kann eine vierte Kostenfunktion für das Ausüben einer bestimmten Aktivität bei Nutzung einer bestimmten Infrastruktur berechnet werden, wobei bei der Zuordnung von Aktivitätszuständen zu den Einträgen der Bewegungskurve eine vierte Kostenfunktion für das Ausüben einer vorgegebenen Aktivität bei Nutzung einer vorgegebenen Infrastruktur optimiert wird, wobei im Rahmen der Optimierung für jeden Zeitpunkt ein optimaler Aktivitätszustand und eine optimale Infrastruktur durch Minimierung der Summe der ersten, zweiten, dritten und vierten Kostenfunktionen ermittelt wird.

[0032] Ein schematisches Beispiel hierfür ist in Tabelle ii gezeigt:

[0033] Tabelle ii: Beispiele für mögliche Zuordnung von Aktivitäten und genutzter Infrastruktur und entsprechender Abhängigkeit der Kostenfunktion

Infrastruktur	Aktivitätszustand	Kosten (1: gering, 5: sehr hoch)
Autobahn	PKW	1
	Fahrrad	3
	Gehen	3
Überland-Strasse	PKW	1
	Fahrrad	2
	Gehen	3
Fahrradweg	PKW	3
	Fahrrad	1
	Gehen	2
Supermarkt	Einkaufen	1
	Arbeiten	2
	Arztbesuch	4

[0034] Durch diese Vorgangsweise können für die Lösung der vorstehend genannten technischen Aufgabe in einem Schritt für jeden Zeitpunkt einer Fahrt der richtige Aktivitätszustand und die richtige Infrastruktur durch Minimierung der Summe aller zuvor genannten Kostenfunktionen gefunden werden. Die Minimierung kann beispielsweise durch Einsatz geeigneter exakter und/oder approximativer heuristischer Optimierungsverfahren, wie beispielsweise Branch and Bound,

Branch and Cut, Evolutionäre Algorithmen, Belief Propagation, etc. durchgeführt werden.

[0035] Um eine besonders zuverlässige Ermittlung von Infrastrukturen zu gewährleisten, kann vorgesehen sein, dass bei der Anwendung der dritten Kostenfunktion eine Anzahl von Infrastrukturen in einer Infrastruktur-Datenbank sowie die diesen Infrastrukturen zugeordneten Kosten ermittelt werden und/oder

dass zusätzlich zu den in der Infrastruktur-Datenbank ermittelten Infrastrukturen zumindest eine nicht in der Infrastruktur-Datenbank enthaltene hypothetische Infrastruktur ermittelt wird, wobei die hypothetische Infrastruktur fehlende Einträge in der Infrastruktur-Datenbank repräsentiert, und wobei die Kosten für die hypothetische Infrastruktur von der dritten Kostenfunktion festgelegt werden,

wobei insbesondere vorgesehen ist, dass die Kosten für die hypothetische Infrastruktur proportional zum negativen Logarithmus der Wahrscheinlichkeit, dass die hypothetische Infrastruktur nicht in der Datenbank erfasst worden ist, festgelegt werden.

[0036] Um eine weiter verbesserte Zuverlässigkeit bei der Ermittlung von Aktivitätszuständen zu ermöglichen, kann eine fünfte Kostenfunktion für die Nutzung einer bestimmten zweiten Infrastruktur zu einem jeweiligen Zeitpunkt aufgrund der Nutzung einer bestimmten ersten Infrastruktur zu einem jeweils früheren Zeitpunkt eingesetzt werden. Die Festlegung der fünften Kostenfunktion erfolgt anhand aufgrund der Erreichbarkeit der zweiten Infrastruktur ausgehend von der ersten Infrastruktur innerhalb des durchlaufenen Zeitintervalls zwischen dem ersten und dem zweiten Zeitpunkt.

[0037] Ein Maß für die Erreichbarkeit kann beispielsweise durch die Bestimmung des kürzesten oder schnellsten Weges zwischen den Infrastrukturen mit Hilfe von Pfadsuch-Algorithmen wie z.B. Dijkstra's Algorithms oder A*-Suche, die auch bei der Routen-Planung und GPS-Navigation zum Einsatz kommen. Gegebenenfalls können dabei auch Fahrpläne und/oder tatsächliche Fahrtzeiten von öffentlichen Verkehrsmitteln berücksichtigt werden.

[0038] Zusätzlich oder alternativ dazu kann eine zuverlässige Bestimmung der Erreichbarkeit erzielt werden, die aus dem Typ, der Bezeichnung und/oder der örtlichen Position der ersten und der zweiten Infrastruktur zueinander abgeleitet wird, wobei eine bessere Erreichbarkeit der zweiten Infrastruktur ausgehend von der ersten Infrastruktur bei gleichem Typ und/oder gleichen Namensteilen, insbesondere gleichem Namen, und/oder ähnlicher örtlicher Position der ersten und der zweiten Infrastruktur gegeben ist und wobei Kosten der fünften Kostenfunktion bei einer derart ermittelten besseren Erreichbarkeit niedriger sind. So ist beispielsweise eine bessere Erreichbarkeit der „U-Bahn Linie 6 Station A“ von „U-Bahn Linie 6 Station B“ aus aufgrund der gleichen Linienbezeichnung gegeben, als von einer weit entfernten „Station Z der U-Bahn Linie 1“.

[0039] Eine weitere Verbesserung der Zuverlässigkeit der Übereinstimmung zwischen einem ermittelten Bewegungsprofil einer Person und dem tatsächlichen Bewegungsprofil der Person, kann gewährleistet werden, wenn

- unter Anwendung eines Routenplanungs-Algorithmus für die Person eine Anzahl an möglichen Bewegungsprofilen und/oder Reiserouten in einem vorgegebenen Verkehrsnetz ermittelt wird, und
- unter den durch den Routenplanungs-Algorithmus ermittelten möglichen Bewegungsprofilen und/oder Reiserouten dasjenige Bewegungsprofil und/oder diejenige Reiseroute als optimales Bewegungsprofil und/oder optimale Reiseroute der Person ermittelt wird,

das und/oder die aufgrund der für eine Anzahl von Zeitpunkten im Bereich der Person ermittelten Positionsinformationen und/oder Sensormesswerte zumindest bezüglich der ersten Kostenfunktion und der zweiten Kostenfunktion, und gegebenenfalls bezüglich der dritten Kostenfunktion und/oder der vierten Kostenfunktion und/oder der fünften Kostenfunktion optimal ist.

[0040] Auf diese Weise kann der Suchraum für mögliche Lösungen, d.h. Zuordnungen von Aktivitätszuständen und Verkehrsinfrastrukturen zu jedem Zeitpunkt vorteilhafterweise eingeschränkt werden, indem durch einen beliebigen Routing-Algorithmus eine Menge von alternativen Lösungskandidaten für das Bewegungsprofil ermittelt werden. Durch Auswertung der Kostenfunktion für jede der Alternativen können die Kandidaten nach Kosten gereiht und der Kandidat mit

den geringsten Kosten ermittelt werden.

[0041] Beispielsweise könnten Kandidaten durch ein multimodales Routingservice abgefragt werden.

[0042] Weitere Vorteile und Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung und den beiliegenden Zeichnungen.

[0043] Die Erfindung ist im Folgenden anhand eines besonders vorteilhaften, aber nicht einschränkend zu verstehenden, Ausführungsbeispiels in den Zeichnungen schematisch dargestellt und wird unter Bezugnahme auf die Zeichnungen beispielhaft beschrieben.

[0044] Im Folgenden zeigen:

[0045] Fig. 1 eine schematische Darstellung, wie sich eine Person, für die ein Bewegungsprofil ermittelt werden soll, in einem Gebiet fortbewegt hat,

[0046] Fig. 2 für die Fortbewegung der Person ermittelte Geschwindigkeitswerte zu verschiedenen Zeitpunkten,

[0047] Fig. 3 relative Häufigkeiten erreichter Geschwindigkeiten bei verschiedenen Aktivitäten,

[0048] Fig. 4 eine schematische Darstellung einer ersten Kostenfunktion für die Ermittlung des Aktivitätszustands der Person zu einem jeweiligen Zeitpunkt,

[0049] Fig. 5 eine schematische Darstellung der Kosten für den Übergang von einer ersten auf eine zweite Infrastruktur,

[0050] Fig. 6 einen ersten Lösungskandidaten für das Optimierungsproblem,

[0051] Fig. 7 einen zweiten Lösungskandidaten für das Optimierungsproblem,

[0052] Fig. 8 einen dritten Lösungskandidaten für das Optimierungsproblem,

[0053] Fig. 9 die Verläufe der ersten Kostenfunktion für die drei betrachteten Lösungskandidaten,

[0054] Fig. 10 die Verläufe der zweiten Kostenfunktion für die drei Lösungskandidaten,

[0055] Fig. 11 die Verläufe für die drei betrachteten Lösungskandidaten bei gemeinsamer Optimierung der ersten und zweiten Kostenfunktion,

[0056] Fig. 12 die Verläufe der dritten Kostenfunktion für die drei Lösungskandidaten,

[0057] Fig. 13 die Verläufe für die drei betrachteten Lösungskandidaten bei gemeinsamer Optimierung der ersten bis vierten Kostenfunktion,

[0058] Fig. 14 die Verläufe der fünften Kostenfunktion für die drei Lösungskandidaten,

[0059] Fig. 15 die Verläufe für die drei betrachteten Lösungskandidaten bei gemeinsamer Optimierung der ersten bis fünften Kostenfunktion.

[0060] Die Fig. 1 bis Fig. 15 zeigen ein Ausführungsbeispiel für ein erfindungsgemäßes Verfahren zur Ermittlung eines Bewegungsprofils einer Person in Form einer Bewegungskurve umfassend eine Anzahl von Einträgen mit jeweils

- einem Zeitpunkt oder einem Zeitintervall
- einem Aktivitätszustand, der beispielsweise eine mobilitätsbezogene Aktivität oder eine Aktivität am Zielort eines Weges, vorzugsweise einem Wegezweck, repräsentiert und
- gegebenenfalls einem Ortspunkt.

[0061] In Fig. 1 sind einzelne Positionen an denen sich eine Person im Lauf ihrer Fortbewegung zu den Zeitpunkten t_1 , ..., t_{11} in dem in Fig. 1 schematisch dargestellten Gebiet befunden hat, markiert. Das Verkehrsnetz-Beispielszenario in Fig. 1 umfasst vier Straßenabschnitte road A, ..., road D, sowie drei Abschnitte einer Straßenbahnstrecke rail A, ..., rail C. Entlang der Straßenbahnstrecke sind zwei Haltestellen H_1 und H_2 angeordnet. Die Haltestelle H_1 liegt dabei zwischen den Streckenabschnitten rail A und rail B, während sie Haltestelle H_2 zwischen den Streckenab-

schnitten rail B und rail C liegt.

[0062] Für die Person soll ein Bewegungsprofil für ihre Fortbewegung in Form einer Bewegungskurve erstellt werden. Dazu stehen für eine Anzahl von Zeitpunkten $t_1, \dots, t_{11}$ im Bereich der Person Sensormesswerte und gegebenenfalls Positionsinformationen zur Verfügung. Für jeden der Zeitpunkte $t_1, \dots, t_{11}$ liegen beispielsweise Geschwindigkeitsmesswerte vor, die im Diagramm in Fig. 2 als Angabe in [km/h] für jeden der Zeitpunkte $t_1, \dots, t_{11}$ dargestellt sind. Weiters stehen für die fünf Zeitpunkte t_1, t_3, t_5, t_8 und t_{10} auch Positionsmessungen $P_1, \dots, P_5$ vor, die jeweils mit einer Messungenauigkeit behaftet sind und in Fig. 1 daher mit einem Umkreis dargestellt sind, der den Messfehler angibt. Die zur Verfügung stehenden Sensormesswerte und Positionsmessungen werden im Ausführungsbeispiel beispielsweise mit einem Smartphone aufgezeichnet, das die Person mit sich führt. Zur Datenerfassung werden dabei das Mobilfunknetz sowie Satellitennavigation genutzt.

[0063] Die Positionen, an denen sich die Person zu den Zeitpunkten $t_1, \dots, t_{11}$ befunden hat, sind aus Gründen der Anschaulichkeit in Fig. 1 eingetragen. Es stehen jedoch nicht für alle dieser Positionen tatsächlich Positionsinformationen zur Verfügung. Die Zeitpunkte, für die eine Positionsmessung zur Verfügung steht, sind in Fig. 1 mit schwarz gefüllten Punkten dargestellt, während die Zeitpunkte, für die keine Positionsmessung zur Verfügung steht, als schwarz umrandete Ringe dargestellt sind.

[0064] Jedem der Einträge der Bewegungskurve soll nun ein Aktivitätszustand zugeordnet werden. Dies erfolgt bei einem erfindungsgemäßen Verfahren vorteilhafterweise durch Finden von Aktivitätszuständen, die zumindest hinsichtlich der beiden folgenden Kostenfunktionen optimal sind:

- einer ersten Kostenfunktion KF_1 für das Vorliegen einer Aktivität aufgrund von Sensormessdaten und/oder Positionsinformationen $P_1, \dots, P_5$ oder gegebenenfalls von den Positionsinformationen $P_1, \dots, P_5$ abgeleiteten Werten, insbesondere der Geschwindigkeit, und
- einer zweiten Kostenfunktion KF_2 für das Vorliegen eines bestimmten Aktivitätszustands zu einem jeweiligen Zeitpunkt $t_1, \dots, t_{11}$ aufgrund des Vorliegens eines bestimmten Aktivitätszustands zu einem jeweils früheren Zeitpunkt $t_1, \dots, t_{11}$.

[0065] Als Solver für das Optimierungsproblem bzw. zur Optimierung der ersten Kostenfunktion KF_1 und der zweiten Kostenfunktion KF_2 und aller im Folgenden noch beschriebenen Kostenfunktionen können beispielsweise Branch and Bound Algorithmen oder Message-Passing Algorithmen wie beispielsweise „Sequential Reweighted Message Passing“, beschrieben in z.B. Kolmogorov, V. (2015). A new look at reweighted message passing. IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence, 37(5), 919-930, verwendet werden.

Erste Kostenfunktion KF_1

[0066] Die erste Kostenfunktion KF_1 kann beispielsweise auf folgende Art bestimmt werden: Mit Hilfe einer Stichprobe wird die multivariate Verteilung der Sensormessdaten, im Ausführungsbeispiel handelt es sich dabei um die Geschwindigkeitsmesswerte, und der Aktivität, d.h. beispielsweise dem benutzten Verkehrsmittel, ermittelt. Als von der Person ausgeübte Aktivitäten kommen im Ausführungsbeispiel in den Fig. 1-15 "Gehen" (walk), "Radfahren" (bike), "Autofahren" (car), "Straßenbahnfahren" (tram) und "Zugfahren" (train) in Frage.

[0067] Die Ausdrücke in Klammern sind hier als Bezugszeichen für die ausgeübten Aktivitäten zu verstehen, die sich in den Ansprüchen und den Tabellen und Figuren wiederfinden. Diese ausgeübten Aktivitäten sind jedoch keinesfalls limitierend zu verstehen und bei einem erfindungsgemäßen Verfahren können auch andere Aktivitäten bzw. Aktivitätszustände wie z.B. die Benutzung eines Flugzeugs oder Schiffs den Einträgen der Bewegungskurve einer Person zugeordnet werden.

[0068] Im folgenden Beispiel in Tabelle 1 wird vereinfachend und stellvertretend für weitere Sensormessdaten, die zusätzlich oder alternativ zur Geschwindigkeit zur Verfügung stehen können, nur die gemessene Geschwindigkeit in [km/h] berücksichtigt. Außerdem wird in diesem Beispiel

vereinfachend eine diskrete Wahrscheinlichkeitsverteilung in Schritten von 5 km/h angewendet.

[0069] Tabelle 1 zeigt die im Beispiel angenommene Stichprobenverteilung, d.h. die relativen Häufigkeiten für die Benutzung eines bestimmten Verkehrsmittels bzw. die Ausübung einer bestimmten Aktivität. Fig. 3 zeigt eine graphische Darstellung der Stichprobenverteilung der Geschwindigkeiten je Aktivität bzw. Verkehrsmittel aus Tabelle 1.

[0070] Tabelle 1: Multivariate Stichprobenverteilung, in Prozent, auf zwei Nachkommastellen gerundet

km/h:	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
walk	3.73%	10.13%	0.50%	0.03%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
bike	0.50%	1.37%	10.13%	10.13%	1.37%	0.07%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
car	0.07%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.07%	0.07%	3.73%	10.13%	3.73%	0.07%	0.00%	0.00%
tram	0.50%	0.00%	0.00%	0.07%	1.37%	10.13%	10.13%	3.73%	1.37%	0.50%	0.07%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
train	0.50%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.07%	0.50%	1.37%	3.73%	10.13%

[0071] Die Kosten hierfür sind in Tabelle 2 angegeben und ergeben sich als negativer Logarithmus der Häufigkeiten in Tabelle 1.

[0072] Tabelle 2: Kosten (nicht normalisiert)

km/h:	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
walk	3.290	2.290	5.290	8.290	17.290	52.290	102.290	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf
bike	5.290	4.290	2.290	2.290	4.290	7.290	17.290	52.290	102.290	102.290	102.290	102.290	102.290	inf	inf
car	7.290	12.290	12.290	12.290	12.290	12.290	12.290	7.290	7.290	3.290	2.290	3.290	7.290	12.290	12.290
tram	5.290	12.290	12.290	7.290	4.290	2.290	2.290	3.290	4.290	5.290	7.290	17.290	32.290	52.290	inf
train	5.290	22.290	22.290	27.290	27.290	27.290	27.290	22.290	12.290	12.290	7.290	5.290	4.290	3.290	2.290

[0073] Durch Subtraktion des niedrigsten Kostenwerts kann die Kostenfunktion normalisiert werden, was in Tabelle 3 dargestellt ist.

[0074] Tabelle 3: Kostenfunktion 1 (normalisiert)

km/h:	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
walk	1	0	3	6	15	50	100	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf
bike	3	2	0	0	2	5	15	50	100	100	100	100	100	inf	inf
car	5	10	10	10	10	10	10	5	5	1	0	1	5	10	10
tram	3	10	10	5	2	0	0	1	2	3	5	15	30	50	inf
train	3	20	20	25	25	25	25	20	10	10	5	3	2	1	0

[0075] Eine graphische Darstellung der ersten Kostenfunktion KF_1 , die sich anhand von Tabelle 3 ergibt, ist in Fig. 4 ersichtlich.

[0076] Tabelle 1 zeigt beispielsweise, dass die Person bei einer Fortbewegung mit einer Geschwindigkeit von 5 km/h am wahrscheinlichsten die Aktivität "Gehen" (walk) ausübt oder, mit einer geringeren Wahrscheinlichkeit, die Aktivität "Radfahren" (bike). Bei einer Fortbewegung mit einer Geschwindigkeit von 70 km/h übt die Person am wahrscheinlichsten die Aktivität "Zugfahren" (train) aus.

[0077] Dies bedeutet, wie in Tabelle 2 und 3 dargestellt, dass die Kosten bei einer Fortbewegung mit einer Geschwindigkeit von beispielsweise 5 km/h am geringsten für die Aktivität "Gehen" (walk) sind, während sie in diesem Fall für die Aktivität "Zugfahren" (train) am höchsten sind. Bei einer Fortbewegung mit einer Geschwindigkeit von 70 km/h sind die Kosten für die Aktivität "Zugfahren" (train) am geringsten. Je wahrscheinlicher also eine Fortbewegungsart bzw. Aktivität mit einer bestimmten Geschwindigkeit erfolgt, desto geringer sind die Kosten für die entsprechende Aktivität.

Zweite Kostenfunktion KF_2

[0078] Die zweite Kostenfunktion KF_2 für das Vorliegen eines bestimmten Aktivitätszustands zu einem jeweiligen Zeitpunkt aufgrund des Vorliegens eines bestimmten Aktivitätszustands zu einem jeweils früheren Zeitpunkt kann beispielsweise in Form von Übergangskosten wie in Tabelle

4 dargestellt, festgelegt werden. Im Ausführungsbeispiel werden als Übergangskosten von einer zeitlich früheren Aktivität zur aktuell ausgeübten Aktivität beispielsweise nur die Übergänge von der Aktivität im jeweils vorherigen Zeitintervall betrachtet.

[0079] Tabelle 4: Übergangskosten von der Aktivität im vorherigen Zeitintervall zur Aktivität im aktuellen Zeitintervall

		aktuelle Aktivität				
		walk	bike	car	tram	train
Vorherige Aktivität	walk	0	10	10	10	10
	bike	10	0	30	30	30
	car	10	30	0	30	30
	tram	10	30	30	0	30
	train	10	30	30	30	0

[0080] Die zweite Kostenfunktion KF_2 weist dabei zumindest folgende Kostenstruktur auf:

- geringe Kosten für den Verbleib in demselben Aktivitätszustand und
- höhere Kosten für einen Wechsel des Aktivitätszustands.

[0081] Da es wahrscheinlich ist, dass eine Person zwischen verschiedenen Aktivitäten beispielsweise zwischen den Aktivitäten "Autofahren" (car) und "Straßenbahnfahren" (tram) eine Wegstrecke zu Fuß zurücklegt, um beispielsweise von einem Parkplatz zu einer Straßenbahnhaltestelle zu gelangen, wird im Ausführungsbeispiel die zweite Kostenfunktion KF_2 vorteilhafterweise derart festgelegt, dass entweder der frühere oder der spätere Aktivitätszustand „Gehen“ (walk) ist.

[0082] Die Kosten für den Aktivitätszustand walk, der für das „Gehen“ der Person steht, werden, wie zuvor bereits beschrieben, aufgrund gemessener Sensordaten und Positionsinformationen durch die erste Kostenfunktion KF_1 festgelegt, und die zweite Kostenfunktion KF_2 weist in diesem Fall folgende Kosten auf:

- geringe Kosten für den Verbleib in demselben Aktivitätszustand,
- höhere Kosten für einen Wechsel vom Aktivitätszustand walk, der für das „Gehen“ der Person steht, in einen anderen Aktivitätszustand und/oder für einen Wechsel von einem anderen Aktivitätszustand in den Aktivitätszustand „Gehen“ (walk), und
- die höchsten Kosten für alle anderen Wechsel zwischen verschiedenartigen Aktivitätszuständen, beispielsweise einen direkten Wechsel zwischen den Aktivitäten "Autofahren" (car) und "Straßenbahnfahren" (tram).

[0083] Wie in Tabelle 4 ersichtlich ist, ist beispielsweise ein Wechsel auf die Aktivität "Autofahren" (car) mit sehr hohen Kosten verbunden, wenn zuvor die Aktivität "Straßenbahnfahren" (tram) ausgeübt wurde, während in diesem Fall die niedrigsten Kosten mit einem Verbleib in der Aktivität "Straßenbahnfahren" (tram) verbunden sind. Geringe Kosten sind mit einem Wechsel von der Aktivität "Straßenbahnfahren" (tram) auf die Aktivität "Gehen" (walk) verbunden.

[0084] Die zweite Kostenfunktion KF_2 kann optional auch derart festgelegt werden, dass Aktivitätszustände von weiteren, zeitlich zurückliegenden, Zeitpunkten mit einbezogen werden, wobei die vorgegebene Zeitspanne einer für die jeweiligen Aktivitätszustände typischen Verweildauer, beispielsweise einer Minimalverweildauer, entspricht.

[0085] In einer besonders einfach ausgestalteten Variante eines erfindungsgemäßen Verfahrens wird nun jedem der Einträge ein Aktivitätszustand zugeordnet, indem Aktivitätszustände ermittelt werden, die hinsichtlich der ersten Kostenfunktion KF_1 und der zweiten Kostenfunktion KF_2 optimal sind.

[0086] Im Ausführungsbeispiel werden dabei beispielhaft die in Tabelle 5 zusammengefassten drei unterschiedlichen Lösungskandidaten betrachtet, die anhand der ermittelten Sensormesswerte und Positionsinformationen das tatsächliche Bewegungsprofil der Person repräsentieren können:

[0087] Tabelle 5: Mögliche Lösungskandidaten für das Bewegungsprofil der Person in Fig. 1

Zeitpunkt:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Kandidat 1:											
Aktivität:	walk	bike	tram	car	car	bike	walk	walk	tram	car	car
Infrastruktur:	rail A		rail B		road C			road C		road D	
Kandidat 2:											
Aktivität:	car	car	car	car	car	car	car	car	car	car	car
Infrastruktur:	road A		road A		road C			road C		road D	
Kandidat 3:											
Aktivität:	walk	tram	tram	tram	tram	tram	walk	walk	car	car	car
Infrastruktur:	road A		rail B		rail B			road C		road D	

[0088] Wie in Fig. 6 ersichtlich ist, könnte die Person laut Lösungskandidat 1 zunächst die Aktivitäten "Gehen" (walk), "Radfahren" (bike), "Straßenbahnfahren" (tram) und "Autofahren" (car) im Bereich des Straßenbahnstreckenabschnitts rail A und eines Teils des Straßenbahnstreckenabschnitts rail B, ausgeübt haben, gefolgt von den Aktivitäten "Autofahren" (car), "Radfahren" (bike), "Gehen" (walk) und "Straßenbahnfahren" (tram) im Bereich des Straßenabschnitts road C und schließlich die Aktivitäten "Straßenbahnfahren" (tram) und "Autofahren" (car) im Bereich des Straßenabschnitts road D.

[0089] Alternativ könnte die Person, wie in Fig. 7 ersichtlich ist, laut Lösungskandidat 2 zu allen Zeitpunkten $t_1, \dots, t_{11}$ die Aktivität "Autofahren" (car) ausgeübt haben und sich dazu aufeinanderfolgend auf den Straßenabschnitten road A, road C und road D fortbewegt haben.

[0090] Weiters alternativ könnte die Person, wie in Fig. 8 ersichtlich ist, laut Lösungskandidat 3 zunächst die Aktivitäten "Gehen" (walk) im Bereich des Straßenbahnstreckenabschnitts rail A und "Straßenbahnfahren" (tram) im Bereich des Straßenbahnstreckenabschnitts rail B, gefolgt von den Aktivitäten "Gehen" (walk) und "Autofahren" (car) im Bereich des Straßenabschnitts road D ausgeübt haben.

[0091] Werden nun Aktivitätszustände gesucht, die hinsichtlich der ersten Kostenfunktion KF_1 und der zweiten Kostenfunktion KF_2 optimal sind, so ergeben sich für das Optimierungsproblem die im Folgenden erläuterten möglichen Lösungen.

[0092] Wie in Tabelle 6 ersichtlich ist, ergibt sich bei alleiniger Optimierung der ersten Kostenfunktion KF_1 Lösungskandidat 1 als Bewegungsprofil mit den geringsten Kosten, was graphisch auch in Fig. 9 dargestellt ist.

[0093] Tabelle 6: Optimierung der ersten Kostenfunktion KF_1

Geschwindigkeit (km/h):	0	10	25	55	50	20	5	5	25	50	55
Kostenfunktion 1:											
Kandidat 1:	1	0	0	1	0	2	0	0	0	0	1
Kumulierte Kosten:	1	1	1	2	2	4	4	4	4	4	5
Kandidat 2:	5	10	10	1	0	10	10	10	10	0	1
Kumulierte Kosten:	5	15	25	26	26	36	46	56	66	66	67
Kandidat 3:	1	10	0	15	5	2	0	0	10	0	1
Kumulierte Kosten:	1	11	11	26	31	33	33	33	43	43	44

[0094] Wie in Tabelle 7 ersichtlich ist, ergibt sich bei alleiniger Optimierung der zweiten Kostenfunktion KF_2 Lösungskandidat 2 als Bewegungsprofil mit den geringsten Kosten, was graphisch auch in Fig. 10 dargestellt ist.

[0095] Tabelle 7: Optimierung der zweiten Kostenfunktion KF_2

Geschwindigkeit (km/h):	0	10	25	55	50	20	5	5	25	50	55
Kostenfunktion 2:											
Kandidat 1:											
Kosten:	0	30	30	30	0	30	10	0	10	30	0
Kumulierte Kosten:	0	30	60	90	90	120	130	130	140	170	170
Kandidat 2:											
Kosten:	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kumulierte Kosten:	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kandidat 3:											
Kosten:	0	10	0	0	0	0	10	0	10	0	0
Kumulierte Kosten:	0	10	10	10	10	10	20	20	30	30	30

[0096] Werden nun die erste Kostenfunktion KF_1 und die zweite Kostenfunktion KF_2 gemeinsam optimiert, ergibt sich, wie in Tabelle 8 ersichtlich ist, Lösungskandidat 2 als Bewegungsprofil mit den geringsten Kosten, was graphisch auch in Fig. 11 dargestellt ist.

[0097] Tabelle 8: Gemeinsame Optimierung der ersten Kostenfunktion KF_1 und der zweiten Kostenfunktion KF_2

Geschwindigkeit (km/h):	0	10	25	55	50	20		5	25	50	55
Kostenfunktion 1+2:											
Kandidat 1:											
Kosten:	1	30	30	31	0	32	10	0	10	30	1
Kumulierte Kosten:	1	31	61	92	92	124	134	134	144	174	175
Kandidat 2:											
Kosten:	5	10	10	1	0	10	10	10	10	0	1
Kumulierte Kosten:	5	15	25	26	26	36	46	56	66	66	67
Kandidat 3:											
Kosten:	1	20	0	15	5	2	10	0	20	0	1
Kumulierte Kosten:	1	21	21	36	41	43	53	53	73	73	74

[0098] Dies ist dadurch bedingt, dass durch die Hinzunahme der zweiten Kostenfunktion KF_2 die Wechsel zwischen verschiedenen Aktivitäten mit entsprechenden Kosten belegt werden.

Dritte Kostenfunktion KF_3

[0099] Optional kann bei der Zuordnung von Aktivitätszuständen zu den Einträgen der Bewegungskurve zusätzlich zur ersten Kostenfunktion KF_1 und zweiten Kostenfunktion KF_2 eine dritte Kostenfunktion KF_3 für die Nutzung einer bestimmten Infrastruktur zu einem jeweiligen Zeitpunkt $t_1, \dots, t_{11}$ aufgrund der zum jeweiligen Zeitpunkt $t_1, \dots, t_{11}$ ermittelten Positionsinformation, gegebenenfalls unter Berücksichtigung der jeweiligen Messungenauigkeit der Positionsinformation, und des Messzeitpunkts optimiert werden. Diese Vorgehensweise wird im Folgenden beschrieben.

[00100] Die dritte Kostenfunktion KF_3 wird auf die im Ausführungsbeispiel in Fig. 1 verfügbaren Positionsinformationen $P_1, \dots, P_5$ unter Berücksichtigung der jeweiligen Messungenauigkeit angewendet, um eine Anzahl von möglicherweise genutzten Infrastrukturen, wie z.B. Straßenabschnitten, Straßenbahnstreckenabschnitten, oder -Haltestellen, Gehwegen, Autobahnen, etc., sowie die diesen Infrastrukturen zugeordneten Kosten zu ermitteln.

[00101] Die Kosten für die Entfernung zwischen gemessener Position und Infrastruktur ergeben sich beispielsweise aus einer angenommenen Verteilung des Messfehlers. Die angenommene Verteilung des Messfehlers kann spezifisch für jede einzelne Positionsmessung angenommen werden. Die Wahrscheinlichkeitsfunktion des Messfehlers für die i -te Messung sei p_i . Dann sind die Kosten für die Entfernung d zwischen Messung und Infrastruktur proportional zu $-\log(p_i(d))$. Die im Ausführungsbeispiel beispielhaft angenommene dritte Kostenfunktion KF_3 für die Positionsmessungen $P_1, \dots, P_5$ sind in Tabelle 9 angegeben.

[00102] Tabelle 9: Kosten für die Entfernung zwischen gemessener Position und Infrastruktur

		Infrastruktur						
		rail A	rail B	rail C	road A	road B	road C	road D
Positions- Messung	P1	5	10	inf	8	inf	inf	inf
	P2	12	1	inf	10	inf	inf	inf
	P3	inf	7	inf	7	8	7	inf
	P4	inf	inf	8	inf	inf	3	5
	P5	inf	inf	inf	inf	inf	inf	3

[00103] So ergeben sich beispielsweise für die gemessene Position P1 die geringsten Kosten für eine mögliche Benutzung der Infrastruktur "rail A", während die Benutzung der Infrastruktur "road A" mit höheren und die Benutzung der Infrastruktur "rail B" mit noch höheren Kosten belegt wird. Für die Infrastrukturen "rail C", "road B", "road C" und "road D" sind die Kosten jeweils unendlich, da diese sich, unter Berücksichtigung der Messungenauigkeit, nicht in der Nähe der gemessenen Position P1 befinden.

[00104] Bei der Anwendung der dritten Kostenfunktion KF_3 kann optional eine Infrastruktur-Datenbank herangezogen werden, in der Infrastrukturen hinterlegt sind, wobei die dritte Kostenfunktion KF_3 eine Anzahl von Infrastrukturen aus der Infrastruktur-Datenbank sowie die diesen Infrastrukturen zugeordneten Kosten liefert.

[00105] Wie in Tabelle 10 ersichtlich ist, ergibt sich bei alleiniger Optimierung der dritten Kostenfunktion KF_3 auf Grundlage der Positionsmessungen P1, ..., P5 Lösungskandidat 1 als Bewegungsprofil mit den geringsten Kosten, was graphisch auch in Fig. 12 dargestellt ist.

[00106] Tabelle 10: Optimierung der dritten Kostenfunktion KF_3

Positionsmessung:	P1		P2		P3			P4		P5	
Kostenfunktion 3:											
Kandidat 1:											
Kosten:	5		1		7			3		3	
Kumulierte Kosten:	5	5	6	6	13	13	13	16	16	19	19
Kandidat 2:											
Kosten:	8		10		7			3		3	
Kumulierte Kosten:	8	8	18	18	25	25	25	28	28	31	31
Kandidat 3:											
Kosten:	8		1		7			3		3	
Kumulierte Kosten:	8	8	9	9	16	16	16	19	19	22	22

[00107] Durch Hinzunahme der dritten Kostenfunktion KF_3 ergibt sich Lösungskandidat 3 aufgrund der geringeren Distanzen zur Infrastruktur als Lösung mit den geringsten Kosten.

Vierte Kostenfunktion KF_4

[00108] Zusätzlich kann bei der Zuordnung von Aktivitätszuständen zu den Einträgen der Bewegungskurve optional auch eine vierte Kostenfunktion KF_4 für das Ausüben einer vorgegebenen Aktivität bei Nutzung einer vorgegebenen Infrastruktur optimiert werden.

[00109] Die im Ausführungsbeispiel verwendeten Kosten für die Nutzung einer bestimmten Infrastruktur für eine bestimmte Aktivität sind in Tabelle 11 angegeben.

[00110] Tabelle 11: Kosten für die Nutzung einer Infrastruktur für eine bestimmte Aktivität

	walk	bike	car	tram	train
rail A	inf	inf	inf	0	inf
rail B	inf	inf	inf	0	inf
rail C	inf	inf	inf	0	inf
road A	0	0	0	inf	inf
road B	0	0	0	inf	inf

road C	0	0	0	inf	inf
road D	0	0	0	inf	inf

[00111] Wie in Tabelle 12 ersichtlich ist, ergibt sich bei alleiniger Optimierung der vierten Kostenfunktion KF_4 keine sinnvolle Tendenz für einen bestimmten Lösungskandidaten als Bewegungsprofil mit den geringsten Kosten.

[00112] Tabelle 12: Optimierung der vierten Kostenfunktion KF_4

Positionsmessung:	P1		P2		P3			P4		P5	
Kostenfunktion 4:											
Kandidat 1:											
Kosten:	inf		0		0			0		0	
Kumulierte Kosten:	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf
Kandidat 2:											
Kosten:	0		0		0			0		0	
Kumulierte Kosten:	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kandidat 3:											
Kosten:	0		0		0			0		0	
Kumulierte Kosten:	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

[00113] Daher ist eine Optimierung der vierten Kostenfunktion KF_4 in Kombination mit einer Optimierung der dritten Kostenfunktion KF_3 vorteilhaft, die Lösungen für eine möglicherweise benutzte Infrastruktur auf Grundlage von gemessenen Positionsinformationen liefert. Eine Optimierung der vierten Kostenfunktion KF_4 stellt in diesem Fall sicher, dass, wenn die geringsten Kosten für die Nutzung z.B. des Straßenbahnabschnitts rail A ermittelt werden, Aktivitäten wie "Autofahren" (car) oder "Radfahren" (bike) mit hohen Kosten belegt werden, da diese von der Person wahrscheinlich nicht auf dem Straßenbahnabschnitt rail A ausgeübt werden.

[00114] Werden im Ausführungsbeispiel in Fig. 1 für jeden Zeitpunkt ein optimaler Aktivitätszustand und eine optimale Infrastruktur durch Minimierung der Summe der Kostenfunktionen KF_1 bis KF_4 ermittelt, kann, wie in Tabelle 13 und Fig. 13 ersichtlich ist, Lösungskandidat 1 ausgeschieden werden.

[00115] Tabelle 13: Gemeinsame Optimierung der Kostenfunktionen KF_1 bis KF_4

Geschwindigkeit (km/h):	0	10	25	55	50	20	5	5	25	50	55
Kostenfunktion 1+2+3+4:											
Kandidat 1:											
Kosten:	inf	30	31	31	7	32	10	3	10	33	1
Kumulierte Kosten:	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf
Kandidat 2:											
Kosten:	13	10	20	1	7	10	10	13	10	3	1
Kumulierte Kosten:	13	23	43	44	51	61	71	84	94	97	98
Kandidat 3:											
Kosten:	9	20	1	15	12	2	10	3	20	3	1
Kumulierte Kosten:	9	29	30	45	57	59	69	72	92	95	96

[00116] Dies ist dadurch bedingt, dass durch die Hinzunahme der vierten Kostenfunktion KF_4 die Kompatibilität zwischen Aktivität und Infrastruktur geprüft wird, wodurch Lösungskandidat 1 ausgeschieden werden kann.

Fünfte Kostenfunktion KF_5

[00117] Optional kann bei der Zuordnung von Aktivitätszuständen zu den Einträgen der Bewegungskurve zusätzlich eine fünfte Kostenfunktion KF_5 für die Nutzung einer bestimmten zweiten

Infrastruktur zu einem jeweiligen Zeitpunkt aufgrund der Nutzung einer bestimmten ersten Infrastruktur zu einem jeweils früheren Zeitpunkt optimiert werden. Die fünfte Kostenfunktion KF_5 wird dabei aufgrund der Erreichbarkeit der zweiten Infrastruktur ausgehend von der ersten Infrastruktur innerhalb des durchlaufenen Zeitintervalls festgelegt.

[00118] Die Kosten für den Übergang von einer ersten, zu einem früheren Zeitpunkt genutzten, Infrastruktur zu einer zweiten, zu einem späteren Zeitpunkt genutzten, Infrastruktur basieren auf der Erreichbarkeit der zweiten Infrastruktur ausgehend von der ersten Infrastruktur. Im Ausführungsbeispiel werden zur Vereinfachung nur Übergänge vom Zeitpunkt der letzten Positionsmessung zum Zeitpunkt der darauffolgenden Positionsmessung berücksichtigt. Es können alternativ aber auch andere Definitionen gewählt werden.

[00119] Die Kosten für einen Übergang zwischen den Infrastrukturen werden für die Darstellung im Rahmen des Ausführungsbeispiels anhand der minimalen Pfadkosten zwischen zwei Knoten in Fig. 5 erläutert. Im Graph in Fig. 5 sind die Übergangskosten zwischen den Infrastrukturen durch Kantengewichte angegeben und Tabelle 14 fasst die im Ausführungsbeispiel verwendeten Übergangskosten zwischen Infrastruktur-Paaren zusammen.

[00120] Tabelle 14: Kosten für den Übergang von einer ersten Infrastruktur zum Zeitpunkt der vorherigen Positionsmessung zu einer zweiten Infrastruktur zum Zeitpunkt der darauffolgenden Positionsmessung (Spalten: zweite Infrastruktur; Zeilen: erste Infrastruktur)

	rail A	rail B	rail C	road A	road B	road C	road D
rail A	0	5	10	15	20	20	25
rail B	inf	0	5	10	15	15	20
rail C	inf	inf	0	inf	inf	10	15
road A	inf	10	15	0	5	5	10
road B	inf	15	20	5	0	10	15
road C	inf	inf	10	inf	inf	0	5
road D	inf	inf	inf	inf	inf	inf	0

[00121] In Tabelle 14 und Fig. 5 ist ersichtlich, dass beispielweise bei vorheriger Nutzung der Infrastruktur "road C" die geringsten Kosten für einen Verbleib auf dem Straßenabschnitt "road C" anfallen, während die Kosten für einen Übergang auf die Infrastruktur "road D" ansteigen und noch höher für einen Übergang auf den Straßenbahnstreckenabschnitt "rail C" sind, während alle anderen Übergänge mit unendlichen Kosten belegt sind.

[00122] Die minimalen Pfadkosten können beispielsweise auf Basis der Reisezeit der schnellsten Route oder der Länge der kürzesten Route zu der zweiten Infrastruktur ausgehend von der ersten Infrastruktur festgelegt werden. Die Bestimmung der schnellsten bzw. kürzesten Route kann mit Hilfe von Pfadsuch-Algorithmen wie z.B. Dijkstra's Algorithmus oder A*-Suche, erfolgen, die auch als Routenplanungs-Algorithmus und bei der GPS-Navigation zum Einsatz kommen. Derartige Algorithmen sind beispielsweise in DIJKSTRA, Edsger W. A note on two problems in connexion with graphs. Numerische mathematik, 1959, 1. Jg., Nr. 1, S. 269-271 bzw. HART, Peter E.; NILSSON, Nils J.; RAPHAEL, Bertram. A formal basis for the heuristic determination of minimum cost paths. IEEE transactions on Systems Science and Cybernetics, 1968, 4. Jg., Nr. 2, S. 100-107 beschrieben. Dabei können gegebenenfalls auch Fahrpläne und/oder tatsächliche Fahrtzeiten von öffentlichen Verkehrsmitteln berücksichtigt werden, sodass die Pfadkosten nicht nur von der Position der Infrastrukturen, sondern auch vom jeweiligen Zeitpunkt abhängen können.

[00123] Alternativ oder zusätzlich dazu ist optional möglich, dass die Erreichbarkeit der zweiten Infrastruktur ausgehend von der ersten Infrastruktur aus dem Typ, der Bezeichnung und/oder der örtlichen Position der ersten und der zweiten Infrastruktur zueinander abgeleitet wird. Dabei wird festgelegt, dass eine bessere Erreichbarkeit der zweiten Infrastruktur ausgehend von der ersten Infrastruktur bei gleichem Typ und/oder gleichem Namen oder gleichen Namensteilen, und/oder ähnlicher örtlicher Position der ersten und der zweiten Infrastruktur gegeben ist. Somit werden

die Kosten der fünften Kostenfunktion KF_5 niedriger festgelegt, wenn eine bessere Erreichbarkeit aufgrund von z.B. bei gleichem Typ und/oder gleichem Namen oder gleichen Namensteilen ermittelt wird und höhere Kosten, wenn der Infrastrukturtyp variiert und/oder keine gleichen Namen oder Namensteile vorhanden sind.

[00124] Wie in Tabelle 15 ersichtlich ist, ergibt sich bei alleiniger Optimierung der fünften Kostenfunktion KF_5 Lösungskandidat 2 als Bewegungsprofil mit den geringsten Kosten, was graphisch auch in Fig. 14 dargestellt ist.

[00125] Tabelle 15: Optimierung der fünften Kostenfunktion KF_5

Positionsmessung:	P1		P2		P3			P4		P5	
Kostenfunktion 5:											
Kandidat 1:											
Kosten:			5		15			0		5	
Kumulierte Kosten:	0	0	5	5	20	20	20	20	20	25	25
Kandidat 2:											
Kosten:			0		5			0		5	
Kumulierte Kosten:	0	0	0	0	5	5	5	5	5	10	10
Kandidat 3:											
Kosten:			10		0			15		5	
Kumulierte Kosten:	0	0	10	10	10	10	10	25	25	30	30

[00126] Werden im Ausführungsbeispiel in Fig. 1 für jeden Zeitpunkt ein optimaler Aktivitätszustand und eine optimale Infrastruktur durch gemeinsame Minimierung der Summe der Kostenfunktionen KF_1 bis KF_5 ermittelt, kann, wie in Tabelle 16 und Fig. 15 ersichtlich ist, Lösungskandidat 2 als optimales bzw. wahrscheinlichstes Bewegungsprofil der Person ermittelt werden.

[00127] Tabelle 16: Gemeinsame Optimierung der Kostenfunktionen KF_1 bis KF_5

Positionsmessung:	P1		P2		P3			P4		P5	
Kostenfunktion 1+2+3+4+5:											
Kandidat 1:											
Kosten:	inf	30	36	31	22	32	10	3	10	38	1
Kumulierte Kosten:	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf
Kandidat 2:											
Kosten:	13	10	20	1	12	10	10	13	10	8	1
Kumulierte Kosten:	13	23	43	44	56	66	76	89	99	107	108
Kandidat 3:											
Kosten:	9	20	11	15	12	2	10	18	20	8	1
Kumulierte Kosten:	9	29	40	55	67	69	79	97	117	125	126

[00128] Dies ist dadurch bedingt, dass durch die Hinzunahme der fünften Kostenfunktion KF_5 Erreichbarkeiten zwischen den Infrastrukturen berücksichtigt werden, wodurch Lösungskandidat 2 als optimale Lösung ermittelt wird.

[00129] Wie in Fig. 1 schematisch dargestellt ist, entsprechen die mit Lösungskandidat 2 verbundenen Infrastrukturen den tatsächlichen Positionen der Person zu den Zeitpunkten $t_1, \dots, t_{11}$ bzw. den vorliegenden Positionsinformationen $P1, \dots, P5$ zu den Zeitpunkten t_1, t_3, t_5, t_8 und t_{10} unter Berücksichtigung des jeweiligen Messfehlers bei der Ermittlung der Positionsinformation. Die variierenden Geschwindigkeiten sind im gezeigten Ausführungsbeispiel somit nicht mit einem Wechsel der jeweiligen Aktivität bzw. des Aktivitätszustands verbunden, sondern mit einer Verringerung der Fahrgeschwindigkeit bzw. einer Beschleunigung wie dies z.B. bei Auftreten eines Staus, an Ampeln oder Kreuzungen oder im Fall von Behinderungen auf einem Straßenabschnitt, wie einer Bau- oder Unfallstelle, üblich ist, was von einem erfindungsgemäßen Verfahren vorteilhafterweise dennoch dem richtigen bzw. optimalen Aktivitätszustand zugeordnet wird.

[00130] Die derart gewonnen Informationen über das Bewegungsprofil der Person, wie insbesondere die von der Person benützten kostenpflichtigen öffentlichen Verkehrsmittel, oder benützte kostenpflichtige Mautstraßen, Parkplätze oder Parkhäuser, können, wie einleitend beschrieben, beispielsweise für eine elektronische Abrechnung und Bezahlung der genützten Einrichtungen herangezogen werden.

[00131] Optional kann die Möglichkeit fehlender Einträge in der Infrastruktur-Datenbank berücksichtigt werden, indem die dritte Kostenfunktion KF_3 zusätzlich zu den aus der Infrastruktur-Datenbank ermittelten Infrastrukturen auch eine oder mehrere zusätzliche, nicht in der Infrastruktur-Datenbank enthaltene, „hypothetische“ Infrastrukturen zusammen mit entsprechenden Kosten liefert.

[00132] Diese zusätzlichen hypothetischen Infrastrukturen repräsentieren fehlende Einträge in der Infrastruktur-Datenbank, und die Kosten werden proportional zum negativen Logarithmus der Wahrscheinlichkeit gewählt, dass die hypothetische Infrastruktur nicht in der Datenbank erfasst worden ist. Gegebenenfalls können hypothetische Infrastrukturen unterschiedlichen Typs geliefert werden, wobei jedem Infrastruktur-Typ spezifische Kosten zugeordnet werden können und auch die vierte Kostenfunktion KF_4 für jede Kombination von hypothetischem Infrastruktur-Typ und Aktivität unterschiedliche Kosten liefern kann. Beispielsweise könnte eine real existierende Haltestelle in der Infrastruktur-Datenbank nicht erfasst worden sein. Das Einfügen einer hypothetischen Infrastruktur - in diesem Fall die nicht erfasste Haltestelle - ermöglicht Lösungskandidaten, die einen Umstieg an der betreffenden Haltestelle beinhalten.

[00133] Optional kann bei einem erfindungsgemäßen Verfahren zur Ermittlung eines Bewegungsprofils der Person in Form einer Bewegungskurve der Suchraum - d.h. die Menge der Lösungskandidaten - vorgegebenen und eingeschränkt werden. Als Lösung wird in diesem Fall jener Lösungskandidat aus der vorgegebenen Menge an Lösungskandidaten ermittelt, der eine Kostenfunktion, bestehend aus den oben genannten Teilkostenfunktionen, d.h. zumindest der ersten Kostenfunktion KF_1 und der zweiten Kostenfunktion KF_2 und gegebenenfalls auch der dritten und/oder vierten und/oder fünften Kostenfunktion minimiert. Insbesondere kann die Menge an Lösungskandidaten durch einen Routenplanungs-Algorithmus vorgegeben werden, der eine Menge an alternativen möglichen Reiserouten für vorgegebene Start- und Zielorte und -Zeitpunkte und ggf. auch Umstiegsorte und -Zeitpunkte ermittelt. Als Routenplanungs-Algorithmus können beispielsweise die „Google“ Directions API, siehe <https://cloud.google.com/maps-platform/routes/>, zuletzt aufgerufen am 12. Juni 2019, und die „Here“ Routing API, siehe <https://developer.here.com/products/routing-and-navigation>, zuletzt aufgerufen am 12. Juni 2019, oder ein Routenplanungs-System eines Verkehrsbetreibers oder Verkehrsverbundes eingesetzt werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Ermittlung eines Bewegungsprofils einer Person in Form einer Bewegungskurve umfassend eine Anzahl von Einträgen mit jeweils
 - einem Zeitpunkt ($t_1, \dots, t_n$) oder einem Zeitintervall
 - einem Aktivitätszustand (walk, bike, car, train, tram, ...) insbesondere beschreibend für eine mobilitätsbezogene Aktivität oder für eine Aktivität am Zielort eines Weges, vorzugsweise einem Wegezweck, und
 - gegebenenfalls einem Ortspunkt,- wobei für eine Anzahl von Zeitpunkten im Bereich der Person Positionsinformationen ($P_1, \dots, P_n$) und/oder Sensormesswerte ermittelt werden, und
- wobei jedem der Einträge ein Aktivitätszustand (walk, bike, car, train, tram, ...) zugeordnet wird durch Finden von Aktivitätszuständen (walk, bike, car, train, tram, ...), die zumindest hinsichtlich der beiden folgenden Kostenfunktionen optimal sind:
 - einer ersten Kostenfunktion (KF_1) für das Vorliegen eines Aktivitätszustands (walk, bike, car, train, tram, ...) aufgrund von Sensormessdaten und/oder Positionsinformationen ($P_1, \dots, P_n$) oder gegebenenfalls von den Positionsinformationen ($P_1, \dots, P_n$) abgeleiteten Werten, insbesondere der Geschwindigkeit, und
 - einer zweiten Kostenfunktion (KF_2) für das Vorliegen eines bestimmten Aktivitätszustands (walk, bike, car, train, tram, ...) zu einem jeweiligen Zeitpunkt ($t_1, \dots, t_n$) aufgrund des Vorliegens eines bestimmten Aktivitätszustands (walk, bike, car, train, tram, ...) zu einem jeweils früheren Zeitpunkt ($t_1, \dots, t_n$).
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die zweite Kostenfunktion (KF_2) folgende Kosten aufweist:
 - geringere Kosten für den Verbleib in demselben Aktivitätszustand (walk, bike, car, train, tram, ...) und
 - höhere Kosten für einen Wechsel des Aktivitätszustands (walk, bike, car, train, tram, ...).
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**,
 - dass einer der Aktivitätszustände (walk) für das Gehen der Person steht, wobei die Kosten für diesen Aktivitätszustand (walk) aufgrund gemessener Sensordaten und Positionsinformationen ($P_1, \dots, P_n$) durch die erste Kostenfunktion (KF_1) festgelegt werden, und
 - dass die zweite Kostenfunktion (KF_2) folgende Kosten aufweist:
 - geringe Kosten für den Verbleib in demselben Aktivitätszustand (walk)
 - höhere Kosten stand (walk, bike, car, train, tram, ...), für einen Wechsel vom Aktivitätszustand (walk) der für das Gehen der Person steht in einen anderen Aktivitätszustand (bike, car, train, tram) und/oder für einen Wechsel von einem anderen Aktivitätszustand (bike, car, train, tram) in den Aktivitätszustand (walk) der für das Gehen der Person steht, und
 - die höchsten Kosten für alle anderen Wechsel zwischen verschiedenartigen Aktivitätszuständen (walk, bike, car, train, tram, ...).
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die zweite Kostenfunktion (KF_2) Aktivitätszustände (walk, bike, car, train, tram, ...) von weiteren, zeitlich zurückliegenden Zeitpunkten ($t_1, \dots, t_n$) mit einbezieht, wobei die vorgegebene Zeitspanne einer für die jeweiligen Aktivitätszustände (walk, bike, car, train, tram, ...) typischen Verweildauer, insbesondere einer Minimalverweildauer, entspricht.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei der Zuordnung von Aktivitätszuständen (walk, bike, car, train, tram, ...) zu den Einträgen der Bewegungskurve eine dritte Kostenfunktion (KF_3) für die Nutzung einer bestimmten Infrastruktur (road A, ..., road D; rail A, ..., rail C) zu einem jeweiligen Zeitpunkt ($t_1, \dots, t_n$) aufgrund der zum jeweiligen Zeitpunkt ($t_1, \dots, t_n$) ermittelten Positionsinformation ($P_1, \dots, P_n$), gegebenenfalls unter Berücksichtigung der jeweiligen Messungenauigkeit der Positionsinformation ($P_1, \dots, P_n$), und des Messzeitpunkts optimiert wird,

wobei die dritte Kostenfunktion auf die Positionsinformation ($P_1, \dots, P_n$), gegebenenfalls unter Berücksichtigung der jeweiligen Messungenauigkeit, zur Ermittlung einer Anzahl von Infrastrukturen (road A, ..., road D; rail A, ..., rail C) sowie den diesen Infrastrukturen (road A, ..., road D; rail A, ..., rail C) zugeordneten Kosten angewendet wird.

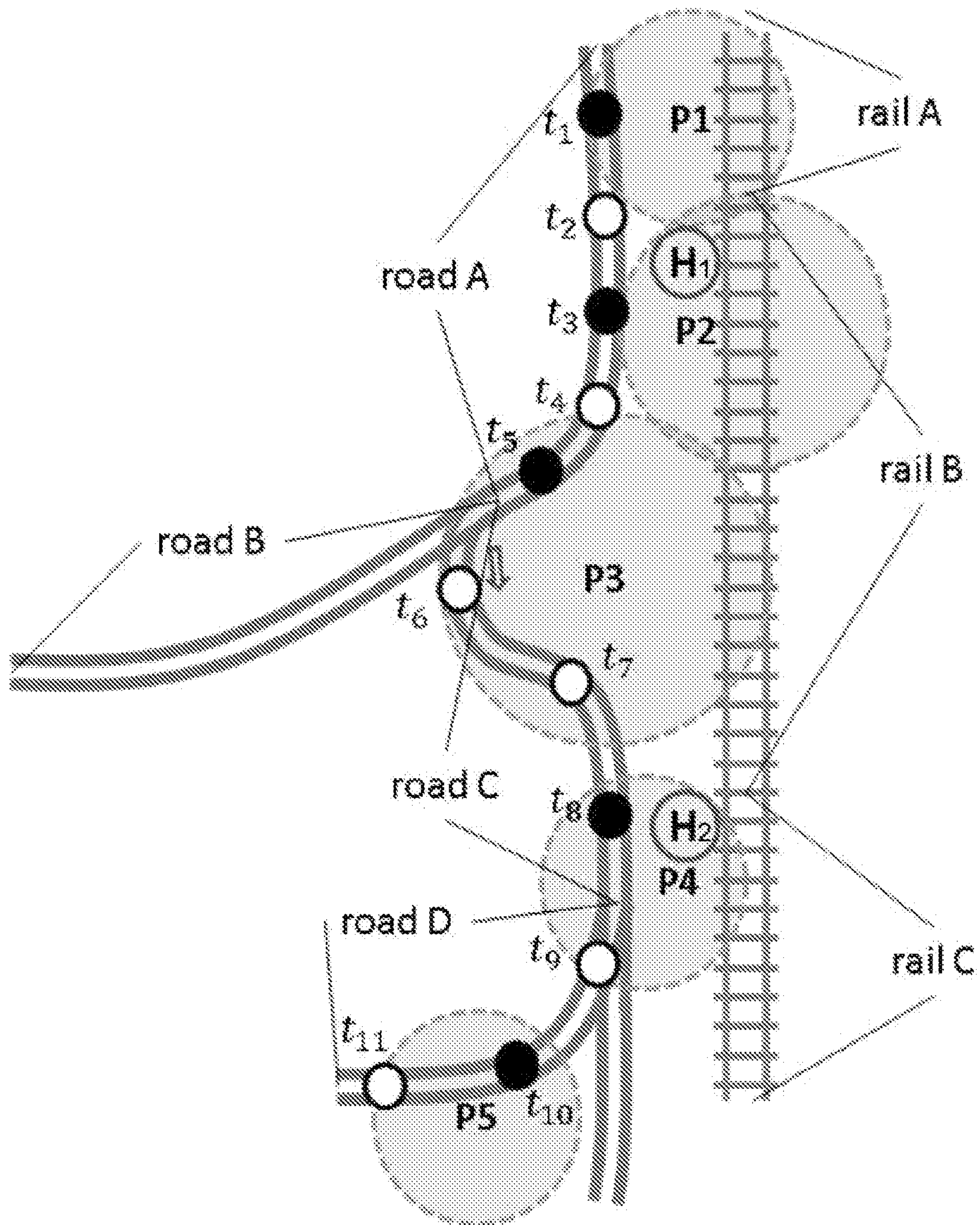
6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei der Zuordnung von Aktivitätszuständen (walk, bike, car, train, tram, ...) zu den Einträgen der Bewegungskurve eine vierte Kostenfunktion (KF_4) für das Ausüben einer vorgegebenen Aktivität bei Nutzung einer vorgegebenen Infrastruktur (road A, ..., road D; rail A, ..., rail C) optimiert wird, wobei im Rahmen der Optimierung für jeden Zeitpunkt ($t_1, \dots, t_n$) ein optimaler Aktivitätszustand (walk, bike, car, train, tram, ...) und eine optimale Infrastruktur (road A, ..., road D; rail A, ..., rail C) durch Minimierung der Summe der ersten, zweiten, dritten und vierten Kostenfunktionen ermittelt wird.
7. Verfahren nach Anspruch einem der Ansprüche 5 oder 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei der Anwendung der dritten Kostenfunktion (KF_3) eine Anzahl von Infrastrukturen (road A, ..., road D; rail A, ..., rail C) in einer Infrastruktur-Datenbank sowie die diesen Infrastrukturen (road A, ..., road D; rail A, ..., rail C) zugeordneten Kosten ermittelt werden und/oder dass zusätzlich zu den in der Infrastruktur-Datenbank ermittelten Infrastrukturen (road A, ..., road D; rail A, ..., rail C) zumindest eine nicht in der Infrastruktur-Datenbank enthaltene hypothetische Infrastruktur ermittelt wird, wobei die hypothetische Infrastruktur fehlende Einträge in der Infrastruktur-Datenbank repräsentiert, und wobei die Kosten für die hypothetische Infrastruktur von der dritten Kostenfunktion (KF_3) festgelegt werden, wobei insbesondere vorgesehen ist, dass die Kosten für die hypothetische Infrastruktur proportional zum negativen Logarithmus der Wahrscheinlichkeit, dass die hypothetische Infrastruktur nicht in der Datenbank erfasst worden ist, festgelegt werden.
8. Verfahren nach Anspruch einem der Ansprüche 5 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei der Zuordnung von Aktivitätszuständen (walk, bike, car, train, tram, ...) zu den Einträgen der Bewegungskurve eine fünfte Kostenfunktion (KF_5) für die Nutzung einer bestimmten ersten Infrastruktur zu einem ersten Zeitpunkt ($t_1, \dots, t_n$) aufgrund der Nutzung einer bestimmten zweiten Infrastruktur zu einem jeweils zweiten Zeitpunkt ($t_1, \dots, t_n$) optimiert wird, wobei die fünfte Kostenfunktion (KF_5) aufgrund der Erreichbarkeit der zweiten Infrastruktur ausgehend von der ersten Infrastruktur innerhalb des durchlaufenen Zeitintervalls zwischen dem ersten und dem zweiten Zeitpunkt festgelegt wird.
9. Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Erreichbarkeit der zweiten Infrastruktur ausgehend von der ersten Infrastruktur
 - unter Anwendung eines Routenplanungs-Algorithmus auf einem Verkehrsgraphen, gegebenenfalls unter Einbeziehung von Fahrplänen und/oder tatsächlichen Fahrtzeiten von öffentlichen Verkehrsmitteln, bestimmt wird und/oder
 - aus dem Typ, der Bezeichnung und/oder der örtlichen Position der ersten und der zweiten Infrastruktur zueinander abgeleitet wird, wobei eine bessere Erreichbarkeit der zweiten Infrastruktur ausgehend von der ersten Infrastruktur bei gleichem Typ und/oder gleichen Namensteilen, insbesondere gleichem Namen, und/oder ähnlicher örtlicher Position der ersten und der zweiten Infrastruktur gegeben ist und wobei Kosten der fünften Kostenfunktion bei einer derart ermittelten besseren Erreichbarkeit niedriger sind.
10. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**,
 - dass unter Anwendung eines Routenplanungs-Algorithmus für die Person eine Anzahl an möglichen Bewegungsprofilen und/oder Reiserouten in einem vorgegebenen Verkehrsnetz ermittelt wird, und
 - dass unter den durch den Routenplanungs-Algorithmus ermittelten möglichen Bewegungsprofilen und/oder Reiserouten dasjenige Bewegungsprofil und/oder diejenige Reiseroute als optimales Bewegungsprofil und/oder optimale Reiseroute der Person ermittelt wird, das und/oder die aufgrund der für eine Anzahl von Zeitpunkten im Bereich der Person ermit-

telten Positionsinformationen und/oder Sensormesswerte zumindest bezüglich der ersten Kostenfunktionen (KF_1) und der zweiten Kostenfunktion (KF_2), und gegebenenfalls bezüglich der dritten Kostenfunktionen (KF_3) und/oder der vierten Kostenfunktion (KF_4) und/oder der fünften Kostenfunktion (KF_5) optimal ist.

Hierzu 9 Blatt Zeichnungen

1/9

Fig. 1



2/9

Fig. 2

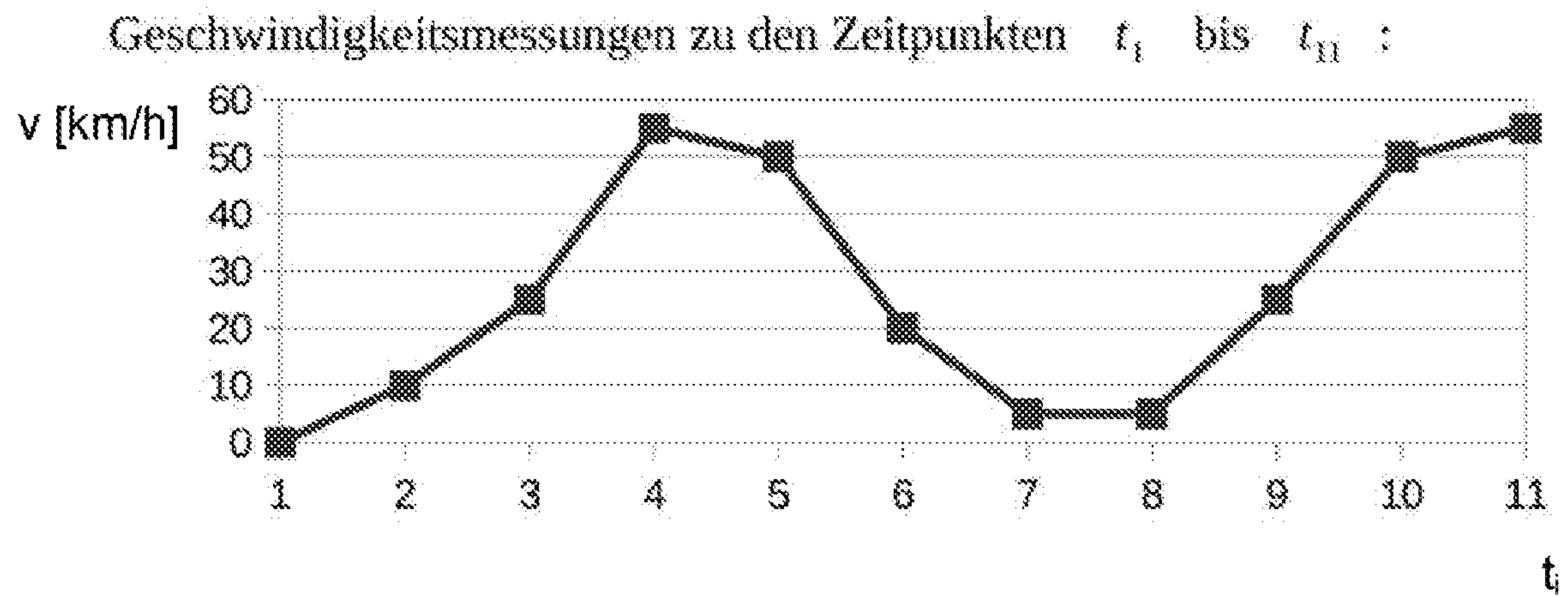
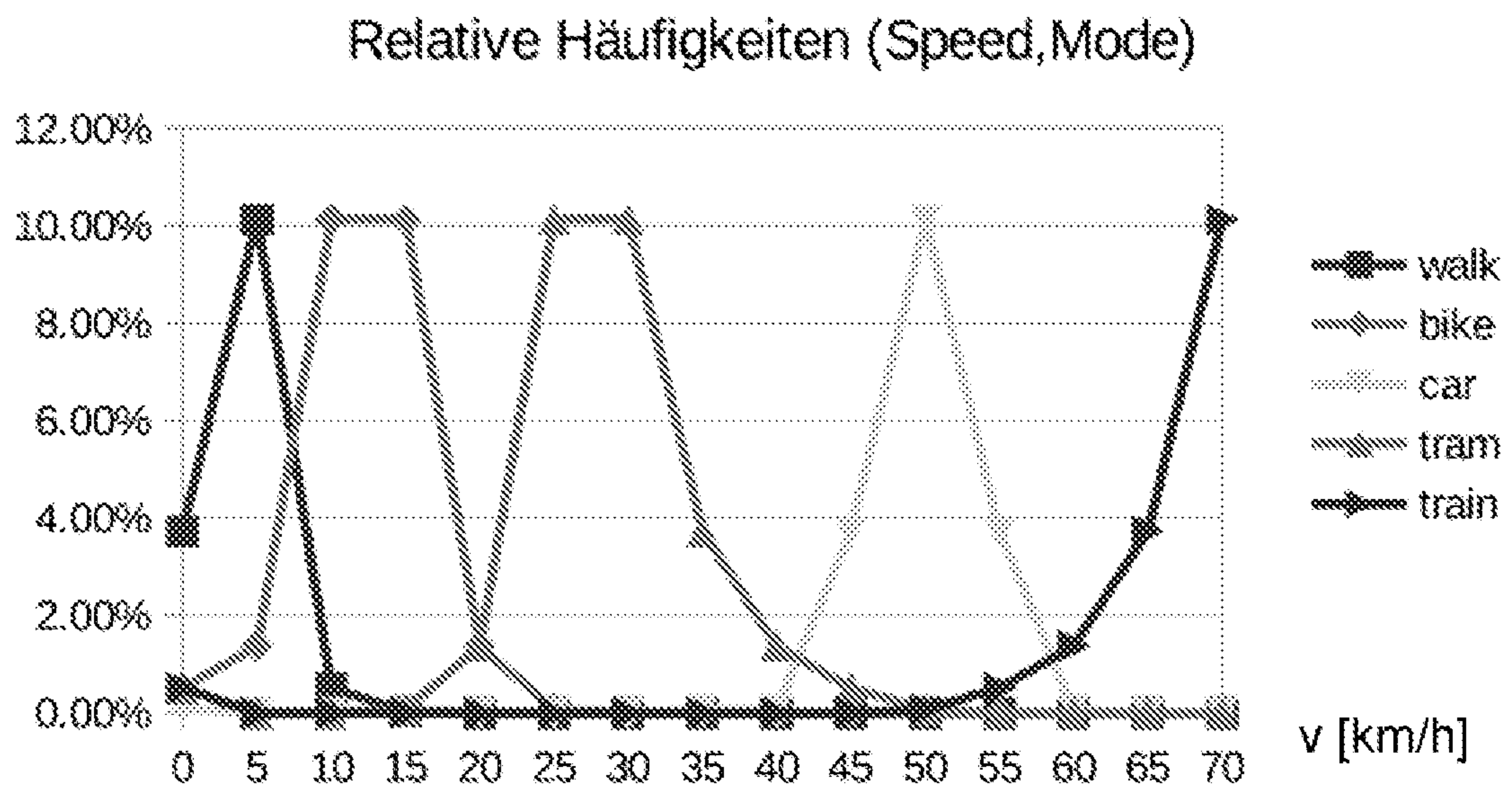


Fig. 3



3/9

Fig. 4

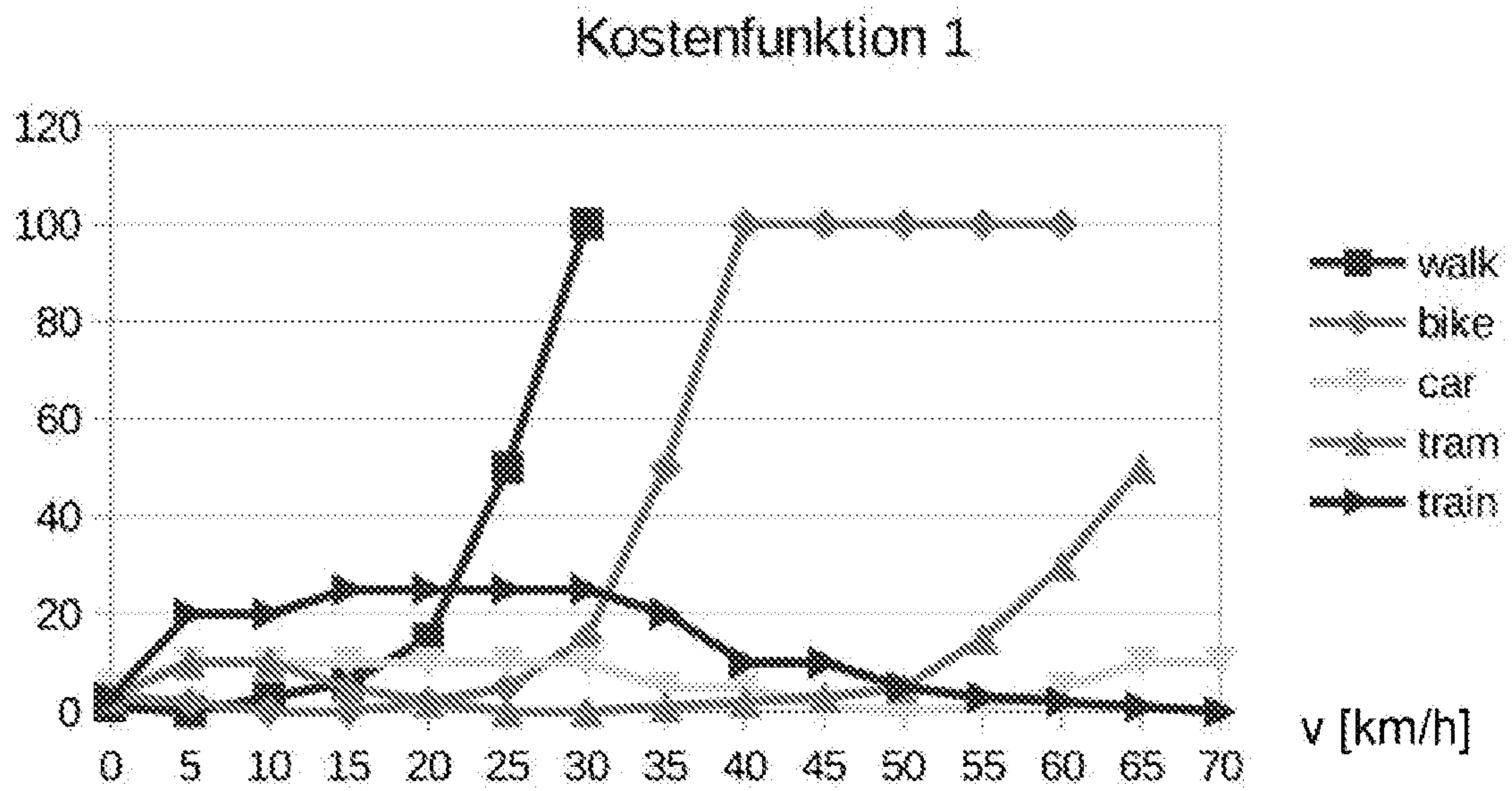
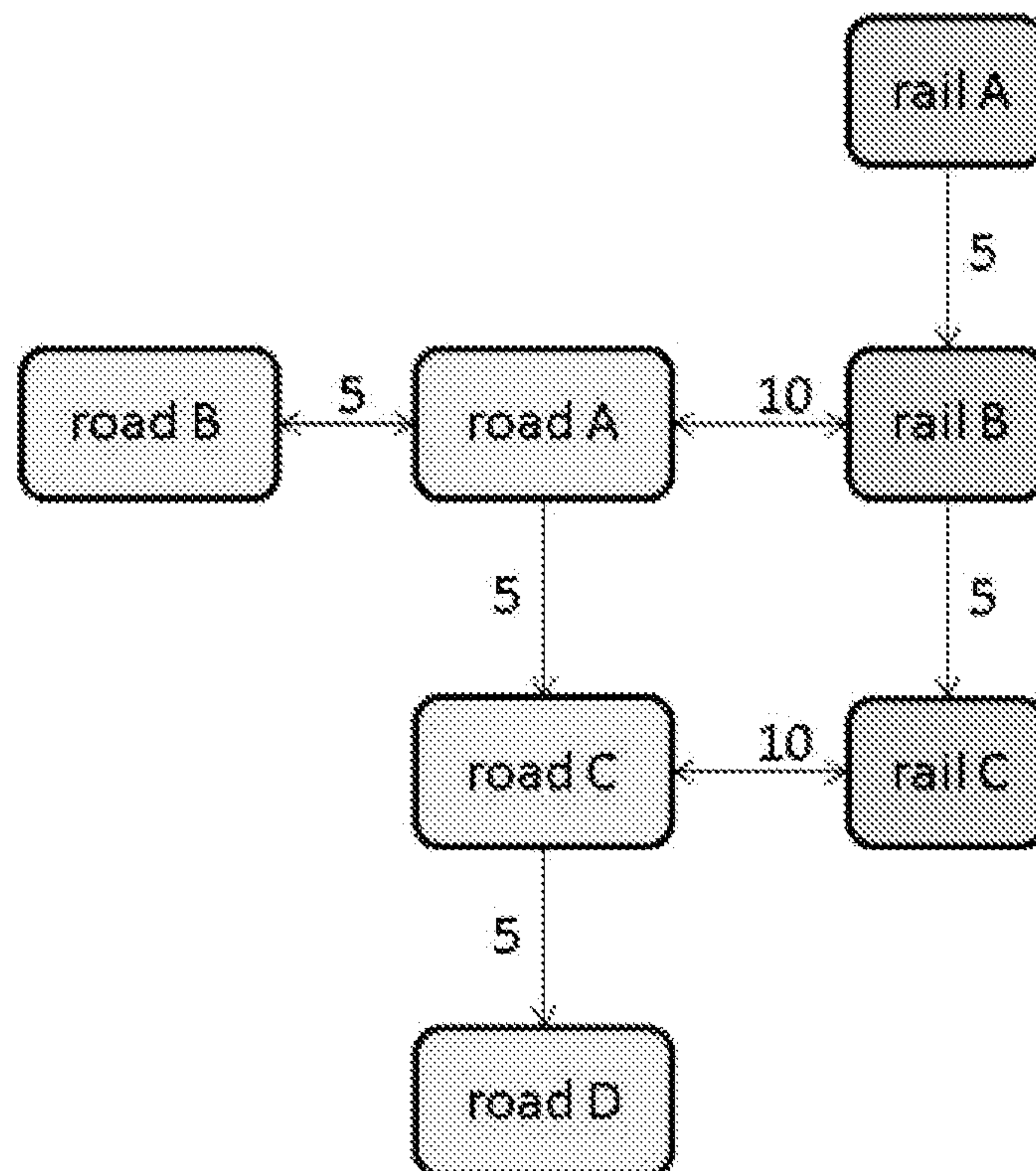
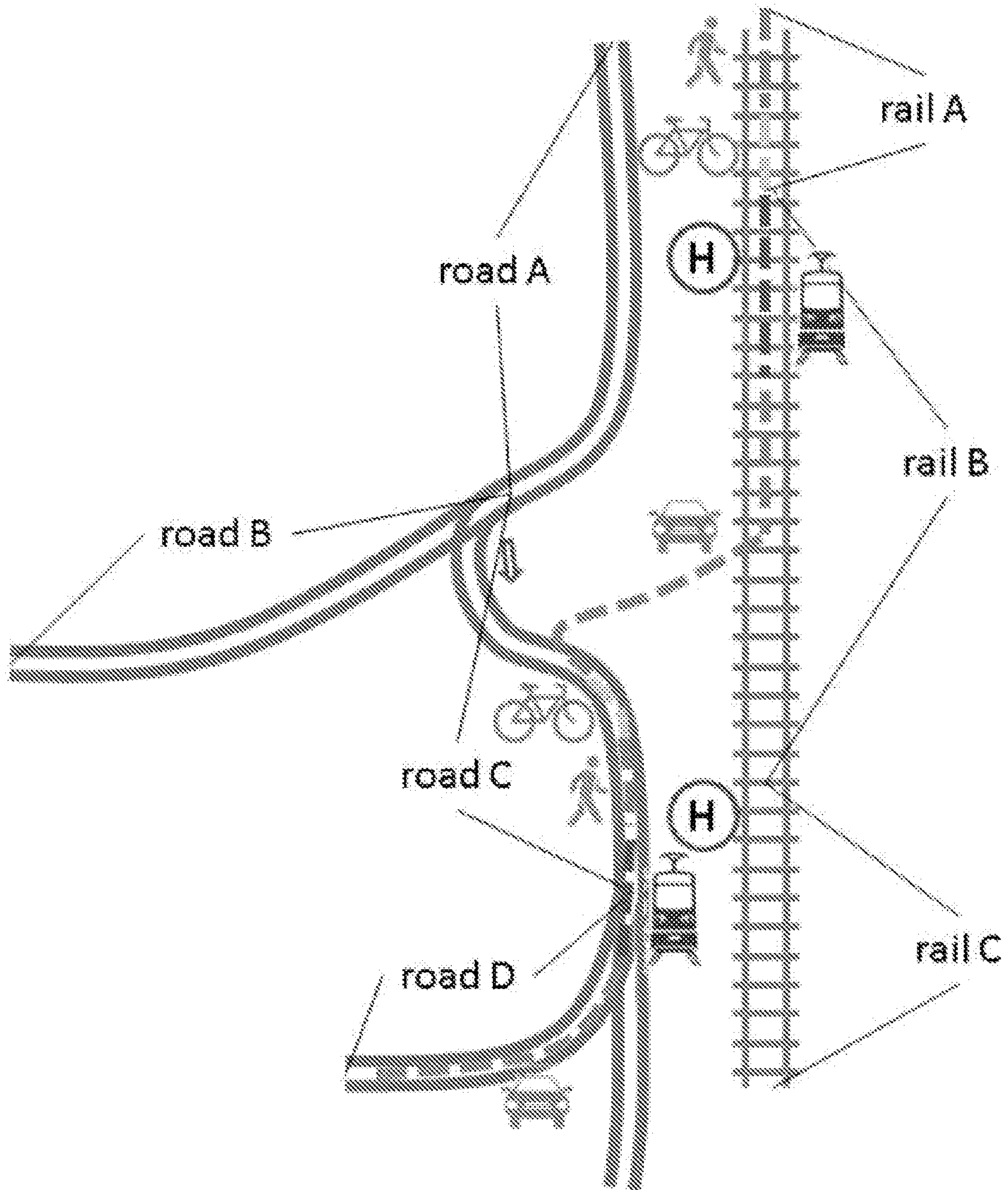


Fig. 5



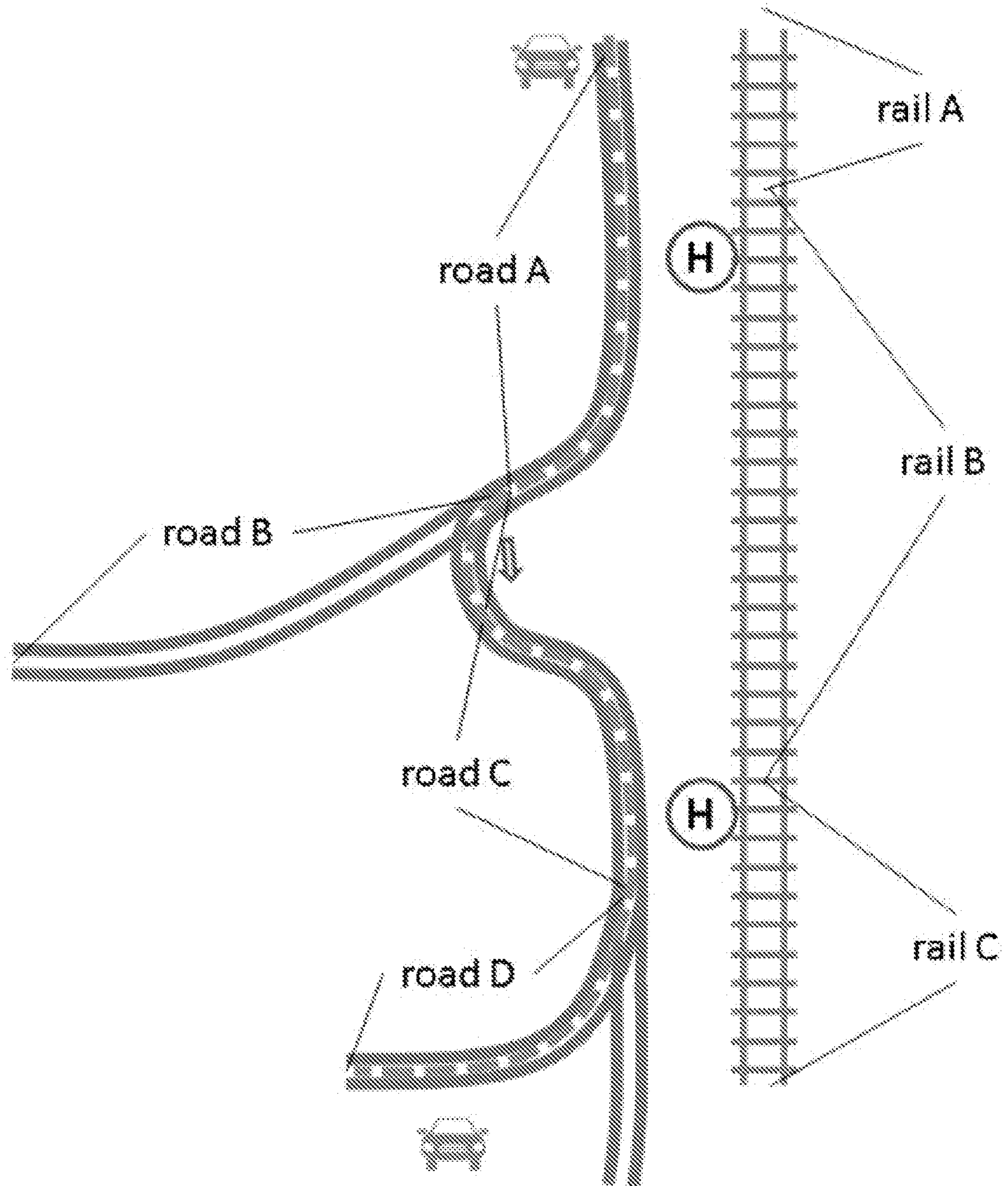
4/9

Fig. 6



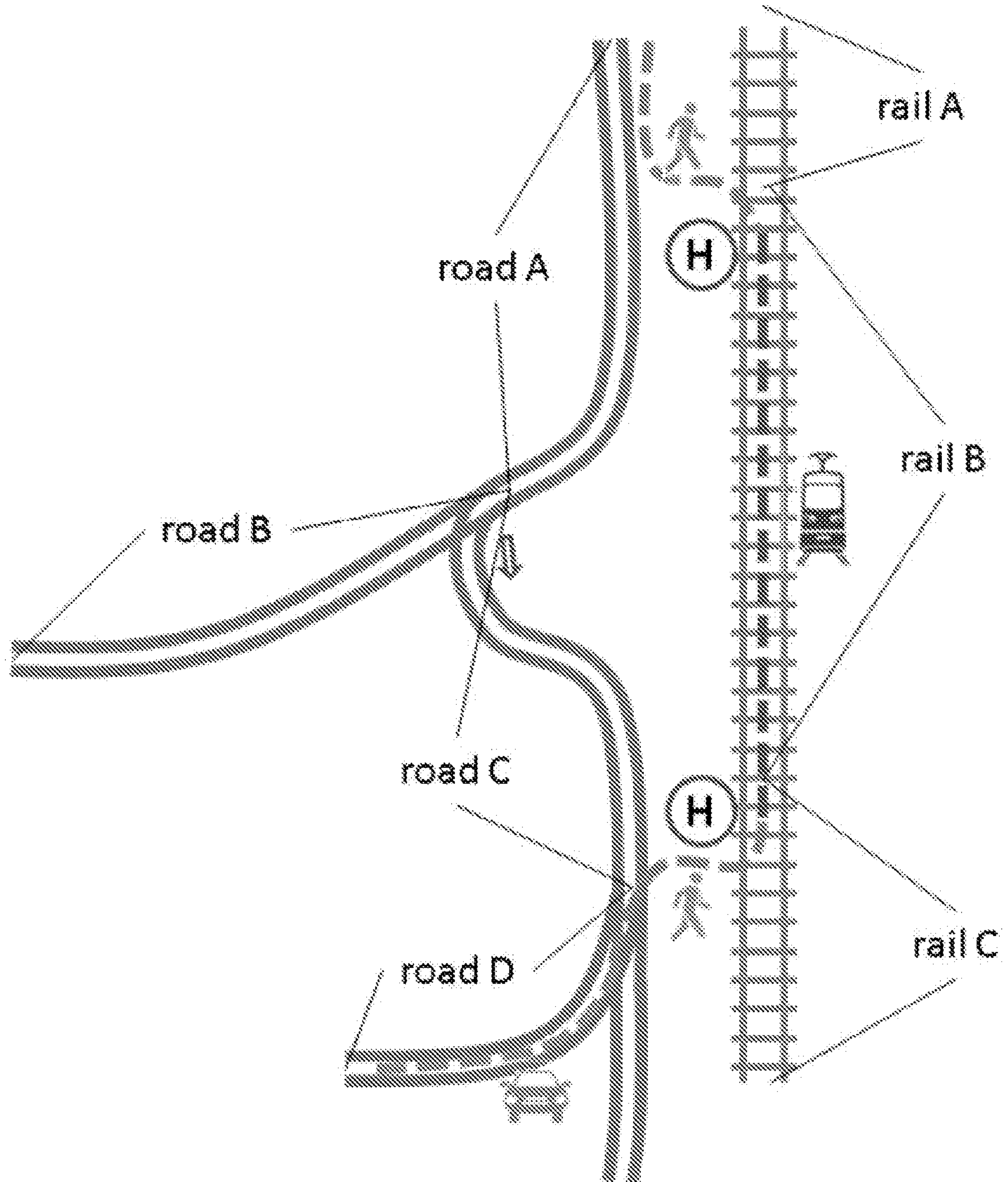
5/9

Fig. 7



6/9

Fig. 8



7/9

Fig. 9

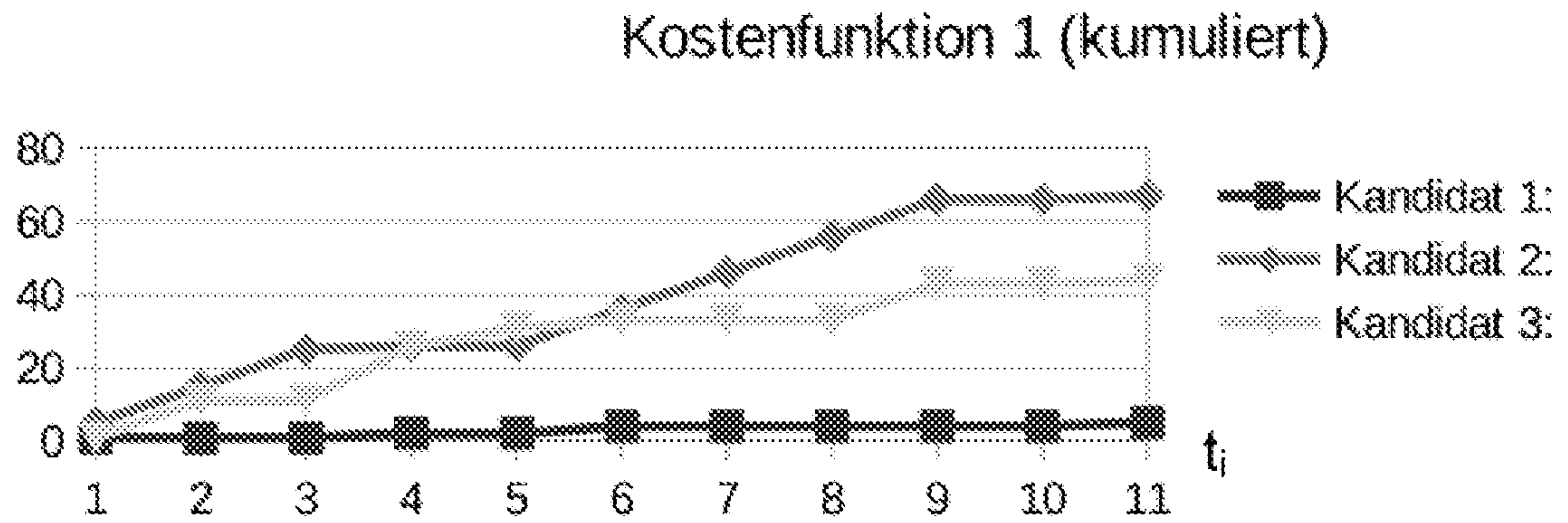


Fig. 10

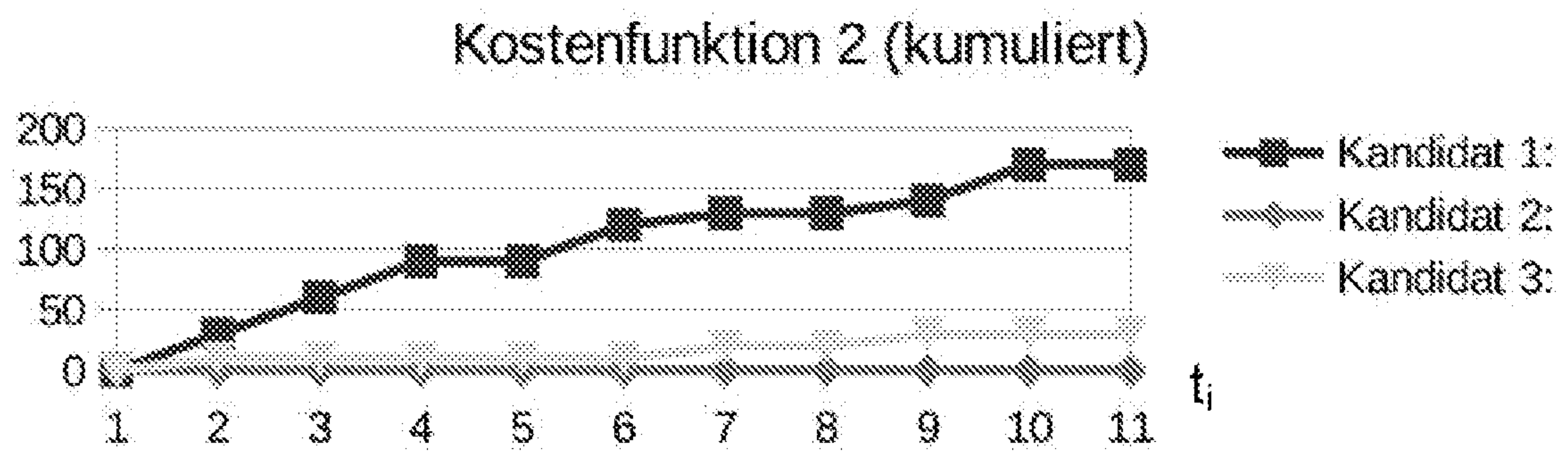
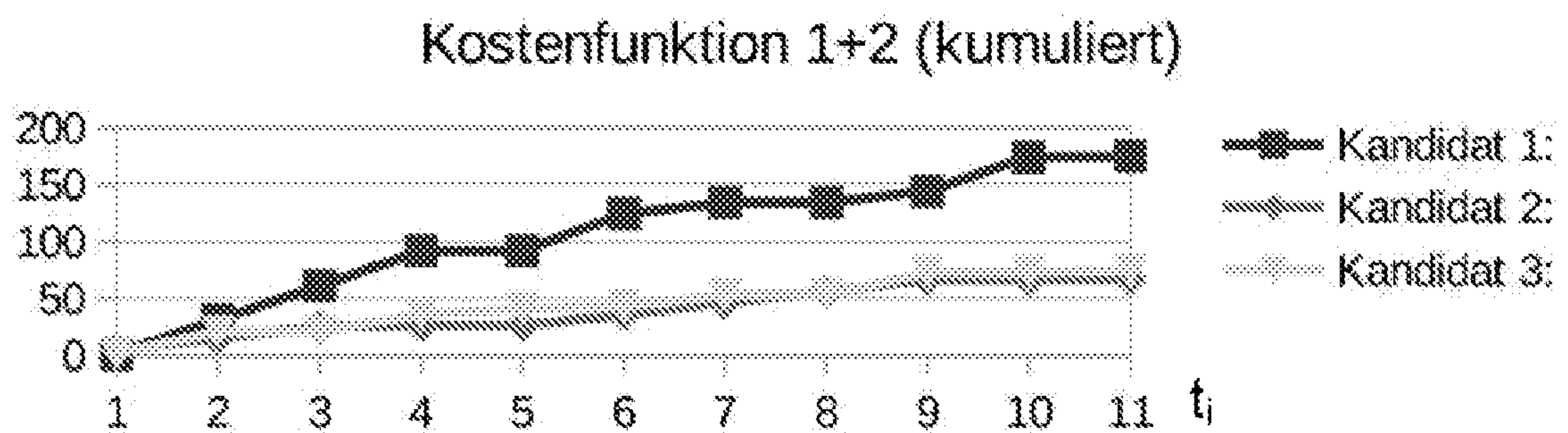


Fig. 11



8/9

Fig. 12

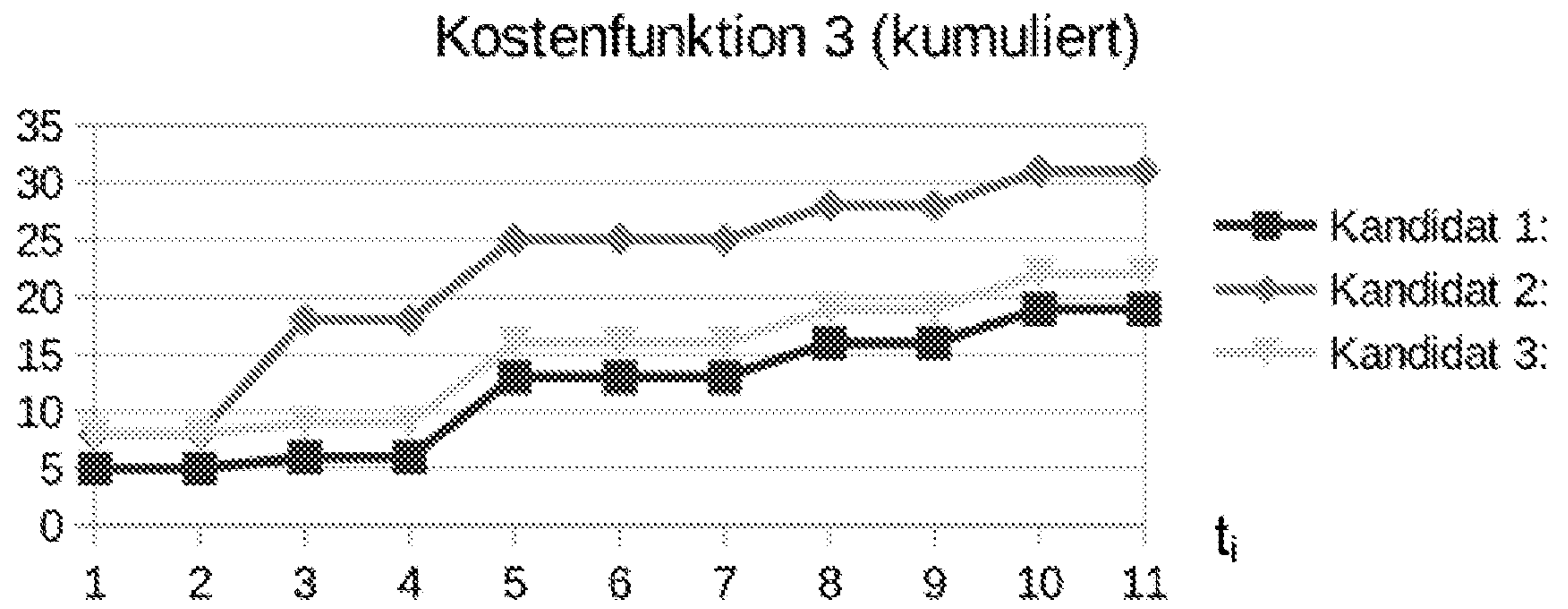
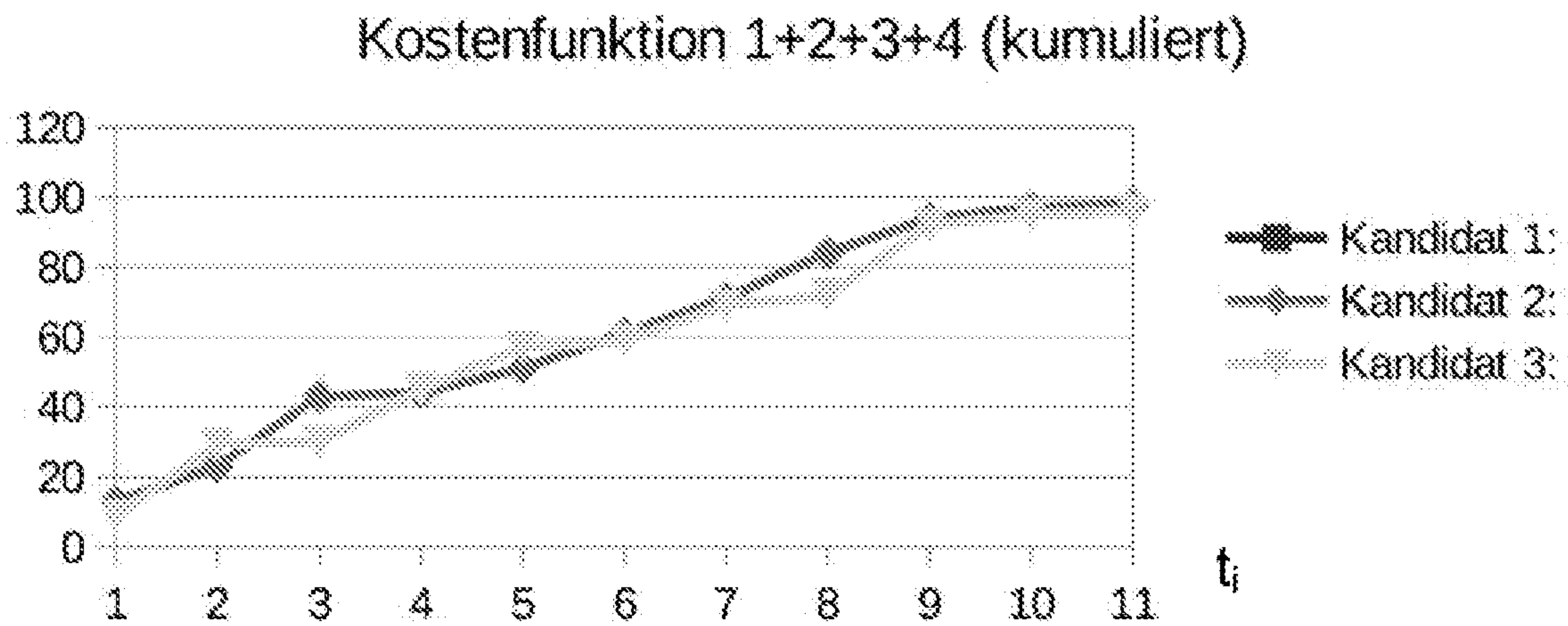


Fig. 13



9/9

Fig. 14

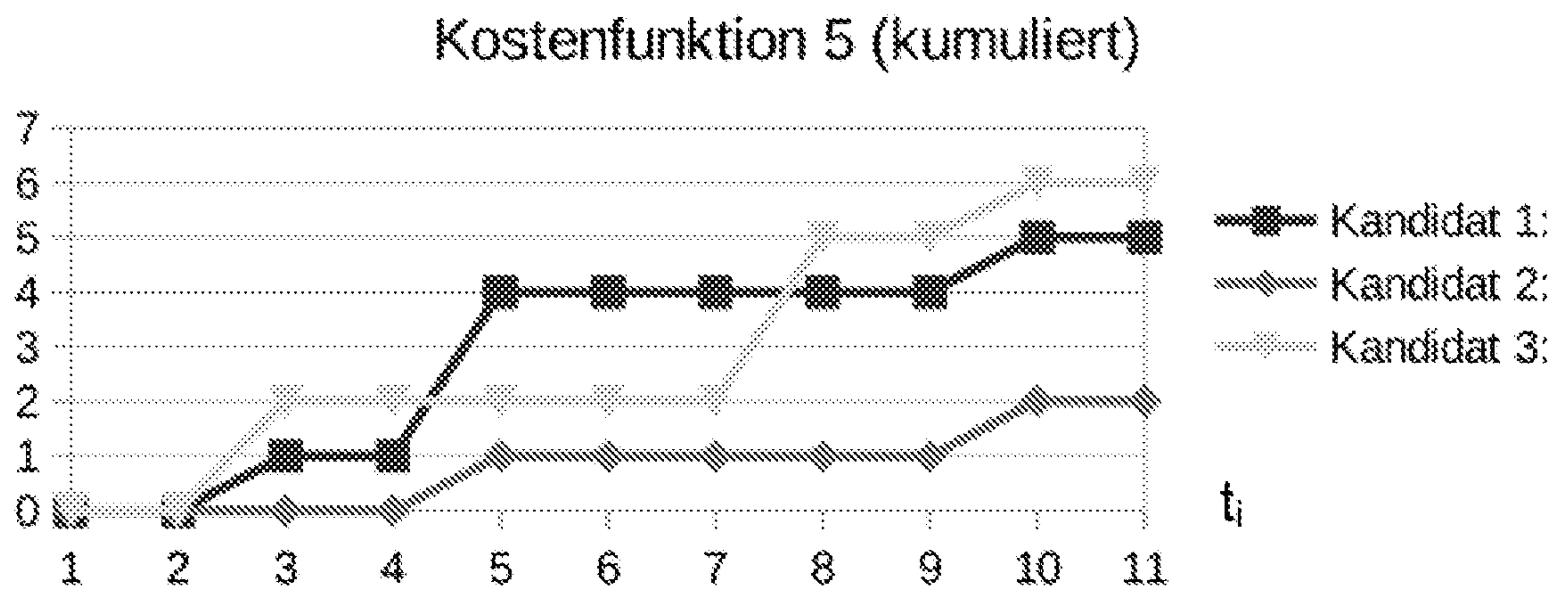


Fig. 15

