

Nachhaltige Mobilität

Silvio Pflugi

Departement für Informatik, ETH Zürich

spflugi@student.ethz.ch

Zusammenfassung

Die Ansprüche an Transportsysteme in Städten und deren Agglomeration steigen stetig. Es muss nicht nur alles schneller und zuverlässiger sein, Nachhaltigkeit ist das entscheidende Stichwort. Um Transportsysteme nachhaltiger aber trotzdem sicher, schnell und zuverlässig zu gestalten, benötigt es neue innovative Projekte in verschiedenen Gebieten. Zu diesem Zweck definierten Forscher unterschiedliche Bereiche, in denen neue Ideen besonders fördernd sein könnten.

Nie mehr im Stau stehen: Illusion oder doch bald Wirklichkeit? Nach einem kurzen Überblick über diese Bereiche wird ein System vorgestellt, das dem Reisenden in Echtzeit Verkehrsinformationen auf dem Smart Phone zur Verfügung stellt. VTrack erkennt anhand von Positionsdaten von Reisenden potentielle Verkehrsüberlastungen und führt Reisende staufrei zu ihrem Ziel. Der Clou am ganzen System: Es arbeitet energiesparsam auf modernen Smart Phones!

1 Einführung

Nachhaltigkeit ist der limitierte Abbau von natürlichen Ressourcen, so dass diese regenerieren oder Alternativen identifiziert werden können.

Dies ist eine mögliche Definition von Nachhaltigkeit. Im Zusammenhang mit Mobilität oder Verkehr sind die Ressourcen unter anderem: Energie, Lebensraum, die Fähigkeit der Atmosphäre CO₂ aufzunehmen und jedermanns verfügbare Zeit [4]. Um diese Ressourcen zu schonen, benötigt es neue Massnahmen und Ideen. Eine innovative Idee stellt VTrack dar: Es hilft die Reisezeit von Automobilisten zu verkürzen und verhindert somit den unnötigen Verbrauch von oben erwähnten Ressourcen.

2 Das Modell der nachhaltigen Mobilität

Der nachhaltigen Entwicklung wird eine immer wichtiger werdende Rolle zugeordnet. Daher versucht man Richtlinien und Massnahmen zu definieren, um Nachhaltigkeit im urbanen Kontext zu etablieren [4]. Forscher haben aus diesem Grund verschiedene Bereiche definiert, welche besonders wichtig erscheinen. Nachfolgend werden vier innovative Richtungen beschrieben und erläutert. Ziel ist es aufzuzeigen, warum diese eine zentrale Rolle im Modell der nachhaltigen Mobilität spielen. Es sind diese *New Mobility*, *City logistics*, *Intelligent System Management* und *Livability* [4].

2.1 New Mobility

In diesem Bereich sind Massnahmen und Ideen gefragt, welche als Hauptziel haben, die Reisezeit eines jeden Einzelnen aufs Minimum zu reduzieren [2]. Streng ausgelegt ist das Ziel, das Reisen sogar ganz abzuschaffen. Einerseits dadurch, das Reisen durch eine andere Beschäftigung zu ersetzen, und andererseits, es durch neue Technologien zu substituieren, z.B. Online Einkaufen [2]. Weitere Möglichkeiten sind Alternativen aufzubauen, um den Gebrauch des Autos zu vermeiden oder wenigstens zu vermindern. Viele innovative Ideen existieren, doch ist es zum Teil schwer, diese auch der breiten Öffentlichkeit zu Verfügung zu stellen. Auch wenn dies möglich wäre, stellt sich die Frage, ob diese Neuerungen auch tatsächlich akzeptiert würden.

Ein vielversprechender Ansatz ist es, Verkehrsinformationen zu sammeln und sie im Internet zu Verfügung zu stellen. In San Francisco werden zum Beispiel Echtzeitinformationen zu Verspätungen im Busverkehr oder Staus auf www.511.org aufgeschaltet. Verkehrsteilnehmer können diese Informationen bequem per Mobiltelefon abrufen.

Auch Google bietet einen Dienst an, der auf einer interaktiven Stadtkarte Taxis in vielen US Grosstädten anzeigt. Mit solchen Dienstleistungen sollen Reisenden Alternativen zum Auto angeboten werden.

2.2 City logistics

City logistics hat das Ziel, Städte so zu bauen, dass Einwohner auf den Besitz eines Autos verzichten können. Es umfasst weit mehr als nur Arbeit und die Wohnung näher zu bringen. Neue Gebäude sollen mit grösserem Funktionsumfang entwickelt werden. Intelligent strukturierte Städte mit höherer Gebäudedichte erhöhen die Erreichbarkeit von Institutionen und öffentlichen Gebäuden wie Spitäler, Schulen aber auch Kaufhäuser und

fördern somit den öffentlichen Verkehr [2].

2.3 Intelligent System Management

Viele Städte führen neue Kosten- und Abgabenmodelle im Verkehr ein, um Nachhaltigkeit im urbanen Gebiet zu unterstützen. Mit solchen Massnahmen wird versucht, den Pendler- und Stadtverkehr ausserhalb des Zentrums zu halten. Somit können vor allem Stadtzentren von historisch grosser Bedeutung entlastet werden.

So wird zum Beispiel in London seit 2003 eine Staugebühr erhoben. Wer mit dem Auto ins Stadttinnere fahren möchte, muss zuerst eine Lizenz lösen (Kostenpunkt GBP 8.00) und eine Vignette ans Auto kleben. Um zu überwachen, ob sich die Autofahrer daran halten, baute man ein dichtes Kameranetz auf, welches automatisch Vignetten an Fahrzeugen erkennt [2].

Die Einführung der Steuer führte dazu, dass Reisende häufiger auf das Bussystem in London auswichen, welches daraufhin mithilfe der Einnahmen ausgebaut wurde. Das neue Bussystem wird unterstützt durch Echtzeitinformationen für Reisende wie Verspätungsmeldungen, Abfahrts- und Ankunftsplänen an den Haltestellen sowie neuen Niederflurbussen und Priorisierung der Busse bei Ampelanlagen [2].

All diese Ideen und Massnahmen würden nicht funktionieren ohne innovative technische Unterstützung. Hierzu gehört auch das System VTrack, welches in Kapitel 3 detaillierter erläutert wird.

2.4 Livability

Gemäss der Definition von Nachhaltigkeit gehört der Mensch auch zu den Ressourcen die es zu schonen gilt. Die Verbindung mit den zuvor erwähnten Bereichen mit der Gesellschaft fehlt noch. Diese Verbindung fassen Goldman et. al. unter dem Begriff *Livability* zusammen. Es beschreibt, was getan werden muss, damit die Massnahmen in den anderen Bereichen auch akzeptiert werden. Nicht nur die Bildung von öffentlichen Plätzen, Begegnungszonen usw. sondern auch die Auswirkungen von technischen Neuerungen in Verkehr und Transport auf die Menschen fallen unter diesen Begriff.

3 Das VTrack System

Heutzutage befinden sich bis zu einer Milliarde Fahrzeuge auf den Strassen dieser Welt [7]. Bei so vielen Fahrzeugen ist auch der Verkehrsstau nicht weit. Jeden Tag bilden sich auf Autobahnen und Städten Staus. Dabei werden die Ressourcen "Mensch" und "Energie" in Form von Treibstoff verbraucht. Um Nachhaltigkeit zu fördern, haben verschiedene Forscher Systeme entwickelt, um Reisende in ihren Fahrzeugen auf Verkehrsstaus hinzuweisen, damit diese Zeit und Treibstoff zu sparen.

VTrack ist ein solches System. Um Fahrzeuge im Verkehr zu orten, verwenden die Entwickler Positionsangaben von Mobiltelefonen. Dabei wird versucht möglichst auf den Gebrauch von GPS (Globales Positionierungssystem) zu verzichten, da GPS viel Strom verbraucht und die Batterie des Mobiltelefons zu stark beansprucht. Anstatt das exakte, stromfressende GPS zu verwenden, versuchen sie mit Hilfe von zellulärer

Triangulation¹. Dies führt zwar zu einer weniger genauen Positionsangabe ist aber bei weitem stromsparender. Die nachfolgende Tabelle zeigt Messungen der Akku-Lebensdauer durchgeführt auf einem iPhone bei Verwendung des VTrack Systems.

Methode	Ortungsfrequenz	Lebensdauer
Ohne	-	7 h
GPS	durchgehend (1/s)	2 h 24 min
GPS	30 s	2 h 27 min
GPS	2 min	2 h 44 min
WiFi	durchgehend (1/s)	6 h 30 min

Tabelle 1: Messungen der iPhone Akku Lebensdauer bei verschiedenen Positionierungsbestimmungsmethoden [8].

Tabelle 1 zeigt, dass die Lebensdauer bei reinem GPS Gebrauch bei knapp zweieinhalb Stunden liegt. Der kleine Unterschied bei den verschiedenen Frequenzen kommt daher, dass bei einem iPhone das GPS jeweils für eine ganze Minute aktiv ist, auch wenn die Messung nur ein Mal durchgeführt wird [8]. Was auffällt ist, dass die Verwendung von WiFi stromsparend ist. Es ist anzunehmen, dass zukünftige Geräte besser mit dem GPS Energiekonsum umgehen werden. Trotzdem zeigt es, dass wenn möglich stromsparendere Varianten zu bevorzugen sind.

3.1 VTrack Algorithmen

VTrack benutzt bestimmte Algorithmen, um die vielen, zum Teil ungenauen, Positionsdaten auf einer Karte abzubilden. Dieser Schritt ist notwendig, um die vorhergesehene Reisezeit zu berechnen [8]. Eine Analyse verschiedener Ansätze zeigte, dass *Viterbi decoding* mit einem *Hidden Markov Model (HMM)* die beste Lösung dafür darstellt.

3.1.1 Hidden Markov Model (HMM)

HMM ist ein statistisches Modell. Das modellierte System stellt einen Markov Prozess dar. Im Gegensatz zu einer normalen Markovkette, bei welcher jeder Zustand sichtbar ist, existieren bei HMM unsichtbare Zustände, welche eine sichtbare Ausgabe produzieren - die Beobachtung. Dabei ist das Erreichen eines Zustands in der Zukunft nur vom momentanen Zustand abhängig.

Abbildung 1 zeigt die Architektur eines HMM. Dabei repräsentiert x einen versteckten Zustand zum Zeitpunkt t und $y(t)$ ist die Beobachtung zum Zeitpunkt t . Die Ausgabe $y(t)$ ist nur vom Zustand $x(t)$ abhängig und erscheint mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit - der Emissionswahrscheinlichkeit. Ist eine Eingabe gegeben, traversiert das HMM seine Zustände und produziert die Beobachtungen. Die ausgegebenen Beobachtungen sind bekannt, jedoch nicht die versteckten Zustände. Ziel ist es nun, die wahrscheinlichste Sequenz von Zuständen zu bestimmen, welche die gegebene Ausgabe produziert. Die Transitionswahrscheinlichkeit beschreibt die Wahrscheinlichkeit von einem Zustand zum anderen zu gelangen [8].

¹Die zum Einwählen benötigten Basisstationen werden benutzt um mit Triangulation die Position zu bestimmen [1]

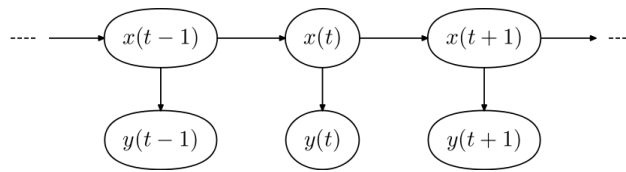


Abbildung 1: Architektur eines HMM [9]

Bei der Zuordnung von Positionsangaben und Strassensegmenten repräsentieren die Positionsdaten die Beobachtungen und die Strassensegmente stellen die versteckten Zustände dar. Die Transitionswahrscheinlichkeit ist die Wahrscheinlichkeit, dass ein Reisender von einem Strassensegment zum nächsten fährt. Ziel ist nun, die Sequenz von Strassensegmenten zu finden mit der höchsten Wahrscheinlichkeit.

3.1.2 Viterbi Decoding

Viterbi Decoding ist ein Algorithmus, der auf dem Konzept der dynamischen Programmierung aufbaut. Mit Hilfe von Viterbi Decoding ist es möglich, die höchstwahrscheinliche Sequenz von versteckten Zuständen zu ermitteln, sofern Beobachtungen, Emissions- und Transitionswahrscheinlichkeiten gegeben sind [8].



Abbildung 2: HMM Beispiel [8]

Abbildung 2 zeigt ein HMM Beispiel. S1, S2 und S3 repräsentieren drei Strassensegmente, p1, p2, p3 und p4 sind Positionsangaben (Beobachtungen). Die Transitionswahrscheinlichkeiten sind von S1 zu S1, S2 und S3 alle gleich. Die Emissionswahrscheinlichkeit ist eine von der Distanz abhängige, abnehmende Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion². Dies führt dazu, dass die Sequenz von Strassensegmenten mit der grössten Wahrscheinlichkeit die Folgende ist: S1, S3, S3 und S3. Obwohl p2 näher bei S2 liegt, ist der versteckte Zustand mit der grössten Wahrscheinlichkeit von diesem Punkt S3.

Somit wird klar, warum das Hidden Markov Model geeignet ist für das VTrack System: HMM unterstützt den Gedanken von zusammenhängenden Strassensegmenten, welche einen Pfad bilden [8]. Messdaten welche ausserhalb liegen, näher an Strassensegmenten welche nicht auf einer zusammenhängender Route liegen, werden gut erkannt.

²Die Emissionswahrscheinlichkeitsdichte vom Segment i und Positionsangabe l ist: $N(dist(i, l))$ wobei N eine Gauss'sche Funktion mit Mittelwert 0 und $dist(i, l)$ die Euklidische Distanzfunktion ist. Die Varianz von N ist abhängig vom benutzten Positionssensor [8].

3.1.3 Kartenabgleich

Abbildung 3 zeigt den Ablauf, welcher nötig ist, um die Positionsdaten von Reisenden auf eine Strassenkarte abzubilden. Die Rohdaten werden so verarbeitet, dass Ausreisser entfernt werden und Lücken durch Interpolation geschlossen werden. Anschliessend werden die gemessenen und interpolierten Messdaten ins HMM eingespiessen und mit Viterbi Decoding wird die gesuchte Sequenz von Strassensegmenten errechnet. Zum Schluss müssen allenfalls noch Regionen eliminiert werden, welche in einem Bereich ohne Strassensegmente liegen.

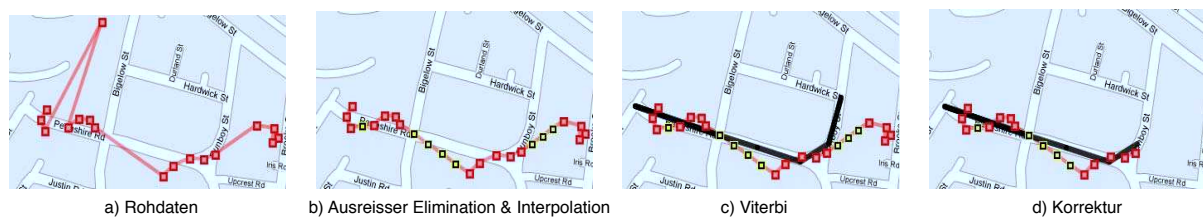


Abbildung 3: Prozess, bei dem Positionsdaten auf eine Strassenkarte abgeglichen werden [8]

3.1.4 Stauerkennung

Mit den bisher erwähnten Techniken ist es möglich, Strassensegmente mit einem hohen Zeitverlust zu erkennen. Ein Strassensegment hat eine hohe Wartezeit, wenn die beobachtete Reisezeit höher ist als die errechnete erwartete Reisezeit³ plus eine Sicherheitsmarge. Zusätzlich zu den Strassensegmenten mit hoher Wartezeit werden auch die adjazenten Segmente markiert. Dies ist notwendig, da es, zusammen mit den Ungenauigkeiten bei den Positionsdaten, schwierig ist, mit Sicherheit die hohe Wartezeit einem einzelnen Segment zuzuweisen[8].

3.1.5 Genauigkeit des VTrack Systems

Die Entwickler von VTrack haben das System ausgiebig getestet. Dabei stand die Genauigkeit und der Energieverbrauch im Vordergrund. Der Energieverbrauch wurde in Tabelle 1 bereits gezeigt.

Das Team, welches das System VTrack entwickelte, testete auch die Genauigkeit der Stauerkennung. Dabei wurde das System nur mit WiFi, nur mit GPS und mit WiFi und GPS Lokalisierung verwendet.

Abbildung 4 zeigt die Resultate des Tests: Bereits ohne Sicherheitsmarge erkennt das VTrack System mehr als 60% aller Segmente mit hoher Wartezeit und das auch ohne Verwendung von GPS⁴. Erhöht man die Sicherheitsmarge und verwendet nur GPS für die Lokalisierung, erreichte das System im Test eine Trefferquote von fast 90%.

Abbildung 5 zeigt den Anteil der als Stauzonen markierten Segmente, welche jedoch keine erhöhte Warte-

³Sobald das Strassensegment, auf dem sich der Reisende befindet, erkannt wurde, kann man mit der aktuellen Fahrgeschwindigkeit zusammen die erwartete Reisezeit für dieses Segment abschätzen.

⁴Wären alle Strassensegmente mit WiFi Access Points ausgestattet, wäre die Trefferquote vergleichbar mit der GPS Methode

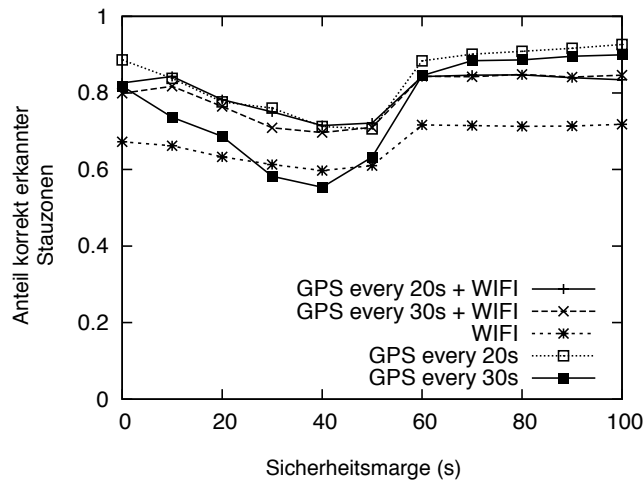


Abbildung 4: Trefferquote bei der Stauererkennung [8]

zeit aufwiesen. Schon mit einer kleinen Sicherheitsmarge bei der Berechnung der erwarteten Reisezeit kann der Anteil auf unter 10% gesenkt werden, egal mit welcher Lokalisierungsmethode.

3.1.6 Fazit VTrack

VTrack ermöglicht es, in Echtzeit Reisende im Verkehr zu Orten. Damit können Automobilisten Stauzonen ausweichen und so Treibstoff und Zeit sparen. Damit es sich durchsetzen kann, muss VTrack gewisse Bedingungen erfüllen. In erster Linie muss das System energiesparsam sein, um das Mobiltelefon nicht zu stark zu beanspruchen.

Damit VTrack von der Bevölkerung akzeptiert wird, muss sich noch folgendes ändern: Mobiltelefone mit der notwendigen Technik sind noch nicht stark verbreitet. Zudem unterstützen verschiedene Hersteller von Telefonen nicht die gleiche Software. Neben Mobiltelefonen sollte VTrack auch mit Navigationsgeräten arbeiten können, welche heutzutage nur über GPS verfügen, jedoch verbreiteter sind als Smart Phones. Die Genauigkeit bei den verschiedenen Geräten muss bekannt sein⁵ und der Datenschutz sowie Sicherheitsaspekte müssen klar definiert und implementiert werden.

Insgesamt stellt VTrack eine gute Lösung dar mit viel Potenzial. Jedoch ist dies erst der Anfang. Die oben erläuterten Punkte müssen umgesetzt werden, damit VTrack eine reelle Chance hat, sich durchzusetzen.

4 Weitere innovative Systeme und Projekte

Weitere Systeme sind in Entwicklung, welche versuchen, wie VTrack den Energiekonsum zu vermindern, indem neben GPS andere Positionierungsmethoden verwendet werden. Nachfolgend wird ein System vor-

⁵Bei zu grossen Genauigkeitsunterschieden würde das System unnötigen Schwierigkeiten ausgesetzt werden.

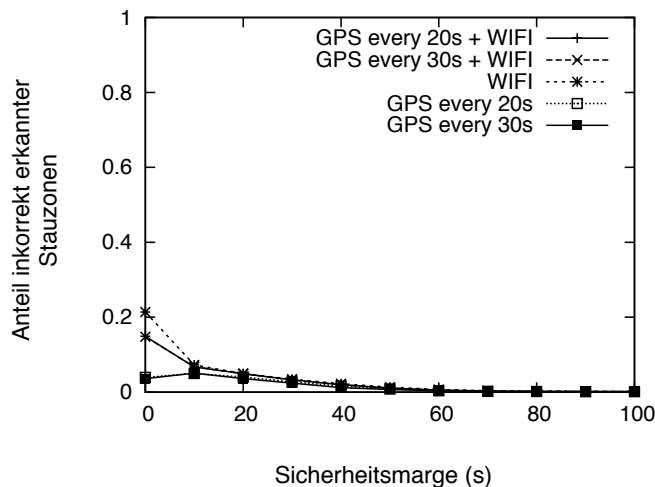


Abbildung 5: Anteil inkorrekt erkannter Stauzonen [8]

gestellt und Unterschiede zum VTrack System aufgezeigt.

4.1 a-Loc

a-Loc ist ein System, das entwickelt wurde um mobile Suchanfragen zu verbessern, indem die aktuelle Position in die Suchanfrage integriert wird⁶. a-Loc verwendet neben GPS, WiFi und zellulärer Triangulation auch Bluetooth für die Lokalisierung. Damit Bluetooth verwendet werden kann, muss mindestens ein statisches Bluetooth Gerät⁷ erkannt werden [5]. Da Bluetooth eine Reichweite von nur ca. 10m aufweist, kann es nur beschränkt benutzt werden. In Gebäuden kann Bluetooth jedoch eine Alternative darstellen, wenn GPS sowie zelluläre Triangulation aufgrund des schlechten Empfangs zum Teil nicht oder nur limitiert verwendet werden können⁸.

4.2 Bike-Sharing

Um Nachhaltigkeit in anderen Bereichen zu fördern, wurden innovative Ideen entwickelt. Ein solches Projekt, das sehr erfolgreich in verschiedenen Grossstädten bereits in Betrieb genommen wurde, nennt sich Bike-Sharing.

Bike-Sharing bezeichnet Programme, welche von Regierungen in Städten lanciert wurden, um das Fahrrad als Fahrzeug zu fördern. Es ist möglich, auf einfache Weise sich ein Fahrrad zu mieten um, kurze Strecken (Einkäufe, Weg zum Bahnhof, etc) zu absolvieren. Weltweit existieren bereits mehr als 120 solche Bike-Sharing Programme [3]. Mittlerweile befindet sich das Konzept des Bike-Sharings in der dritten Generation. Fahrräder werden mit Hilfe von Magnetstreifenkarten gesichert und besitzen Positionssensoren, um

⁶Suche nach dem nächsten Zahnarzt, Pizzarestaurant, usw.

⁷Computermaus in einem Büro, Bluetooth Werbetafel in Einkaufszentrum, etc.

⁸Damit das funktioniert, muss das statische Gerät jedoch bekannt sein.

Diebstähle zu verhindern. Die vierte Generation von Bike-Sharing steht vor der Tür, bei der die Verteilung von Fahrradstationen eine zentrale Rolle spielt. Egal wo man sich befindet, sollte es möglich sein schnell eine Fahrradstation zu finden (evtl sogar mit Systemen wie a-Loc), um es nicht weit entfernt vom Ziel wieder abgeben zu können.

Mithilfe von Bike-Sharing Programmen kann der Austoss von CO₂ vermindert werden, die Fahrradgemeinschaft wird erhöht und das Wohl der Gesellschaft gestärkt [3].

Dies sind zwei weitere Systeme, welche in das Modell der nachhaltigen Mobilität passen.

5 Schlussfolgerungen

Das Modell der nachhaltigen Mobilität bietet eine Übersicht über die Bereiche, welche zusammen mit innovativen Ideen und Projekten dazu beitragen, Nachhaltigkeit fest in der Gesellschaft zu verankern und umzusetzen. VTrack ist ein Projekt, welches auf eine energiesparsame Art und Weise Positionsdaten sammelt, um Staus zu erkennen und Reisende umzuleiten. So wird nicht nur der Austoss von CO₂ vermindert, auch die Ressource *Mensch* wird geschont und Zeit gespart. Weitere Projekte ähnlich wie VTrack existieren, um die mobile Suche effizienter zu gestalten (a-Loc). Hierbei werden neben GPS, WiFi und zellulärer Triangulation als Positionssensoren auch Bluetooth verwendet, wobei aber die statischen Bluetoothgeräte bekannt sein müssen.

Neben Projekten, um das Reisen effizienter zu machen gibt es auch Bike-Sharing Programme. Ziel ist es, die Verbindung von Zuhause und ihrem Endziel nicht mit dem Auto sondern mit dem Fahrrad zu erreichen. Lokalisierungssensoren auf den Fahrrädern verhindern nicht nur Diebstähle sondern erlauben es auch gleichzeitig, immer und überall zu wissen ,wo sich die nächste Fahrradstation befindet⁹.

Insgesamt bietet das Modell der nachhaltigen Mobilität viel Spielraum für neue Ideen. Sie müssen nur noch die Akzeptanz der Politik und Gesellschaft erhalten, um ihr ganzes Potenzial ausschöpfen zu können.

⁹Zum Beispiel mithilfe von Suchdiensten wie a-Loc.

Literatur

- [1] F. Alcala et al. Ortung von mobilen Geräten für die Realisierung lokationsbasierter Dienste. *Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg*.
- [2] D. Banister. The sustainable mobility paradigm. *Elsevier, Transport Policy*, (15):73–80, April 2008.
- [3] P. DeMaio. Bike-sharing: History, Impacts, Models of Provision, and Future. *Journal of Public Transportation*, 12(4):41–56, 2009.
- [4] T. Goldman et al. Sustainable urban transport: Four innovative directions. *Elsevier, Technology in Society*, (28):261–273, 2006.
- [5] K. Lin et al. Energy-Accuracy Aware Localization for Mobile Devices.
- [6] Sense-Networks. Technology. <http://www.sensenetworks.com/technology.php>, April 2010.
- [7] D. Sperling and D. Gordon. Two Billion Cars: Driving Toward Sustainability. *Oxford University Press*, page 1, 2009.
- [8] A. Thiagarajan et al. VTrack: Accurate, Energy-aware Road Traffic Delay Estimation Using Mobile Phones. 14(2):10–30, April 2009.
- [9] Wikipedia. Hidden markov model. http://en.wikipedia.org/wiki/Hidden_markov_model, April 2010.