

Inhalt	3
--------	---

Inhalt

1	Einleitung.....	4
2	Grundlagen der Kartographie	5
3	Globale Satellitennavigationssysteme (GNSS)	6
3.1	Funktionsweise.....	6
3.2	Fehlerquellen.....	6
3.3	Verbesserung der Genauigkeit	7
4	Das ika-Datenformat für digitale Karten	9
4.1	Bisheriges Format.....	9
4.1.1	Kompression der Kartendaten.....	11
4.2	Änderungen im Rahmen dieser Arbeit	12
4.2.1	Einführung von Intersections	12
4.2.2	Wegfall paralleler Pfade	14
4.2.3	Wegfall des Kurvenobjektes.....	14
5	Zusammenfassung und Ausblick	15

1 Einleitung

Digitale Karten bekommen eine immer höhere Bedeutung in Fahrerassistenzsystemen (FAS). Durch die gestiegenen technischen Möglichkeiten können auch komplexere Systeme und Funktionen abgebildet werden.

Zum Beispiel benutzen Systeme für aktive Kurvenlichter bisher zumeist nur Informationen über den aktuellen Lenkradwinkel und die Gierrate des Fahrzeugs. Mit diesen Informationen ist es jedoch nicht möglich schon am Beginn der Kurve in diese hineinzuleuchten. Genauso wird am Ende der Kurve, wenn die Straße bereits geradeaus weiterläuft, noch immer in die Kurve hinein, also an den Straßenrand, geleuchtet. Durch Kopplung mit einer digitalen Karte können diese Unzulänglichkeiten umgangen werden und die Scheinwerfer bereits vor der Kurve oder dem Ende der Kurve wieder in eine optimale Position gestellt werden.

Das Fernziel von FAS-Systemen ist das vollständig automatisierte Fahren des Fahrzeugs im Straßenverkehr. Auch hierzu sind detaillierte Informationen über die befahrene Straße notwendig. Die meisten digitalen Karten beschreiben den Straßenverlauf jedoch nur als Knotenpunkte die über gerade Strecken verbunden sind. Somit sind keinerlei Informationen über zum Beispiel den genauen Krümmungsverlauf, die Steigung oder die Querneigung der Straße bekannt. Da diese weitergehenden Informationen für viele FAS jedoch unverzichtbar sind, wurde am Institut für Kraftfahrzeuge (ika) ein eigenes Kartenformat entwickelt.

Da dieses in einer ersten Version jedoch noch einige Unzulänglichkeiten aufwies, wurde es im Rahmen dieser Seminararbeit umstrukturiert und entsprechend neu implementiert.

In dieser Arbeit sollen zunächst die Grundlagen der Kartografie und die Funktionsweise von globalen Navigationssatellitensystemen gezeigt werden. Anschließend wird das bisherige Datenformat vorgestellt. Zuletzt werden die Änderungen, die im Rahmen dieser Arbeit entwickelt und implementiert wurden, vorgestellt und ein Ausblick auf zukünftig mögliche Systeme gegeben.

Da diese Arbeit inhaltlich eine Fortsetzung von [KLI12] darstellt, überschneiden sich insbesondere die Grundlagen, aber auch der bisherige Stand der Karte in weiten Teilen.

2 Grundlagen der Kartographie

Durch die Kartographie kann die gekrümmte Erdoberfläche in ein kartesisches Koordinatensystem überführt werden. Die vereinfachte Darstellung der Erde als perfekte Kugel ist dabei jedoch zu ungenau. Die Abplattung der Polregionen wird hierbei zum Beispiel überhaupt nicht berücksichtigt. Das hier verwendete WGS84-System stellt die Erdoberfläche als ein Ellipsoid mit Halbachsen von 6.378.137 m und 6.356.752,3 m dar. Außerdem wird die Drehgeschwindigkeit der Erde ($\sim 7,3 \cdot 10^{-5}$ rad/s) und eine geozentrische Gravitationskonstante ($\sim 4 \cdot 10^{14}$ m³/s²) berücksichtigt. Zusätzlich wird hierüber ein Geoid aufgespannt. Das aktuelle EGM96-Geoid besteht aus Legendrepolyomen mit über 130.000 Koeffizienten. [NAT00]

In der hier entwickelten Karte wird das UTM-System verwendet, das wiederum auf dem WGS84-System beruht. Im UTM-System wird die Erdkugel in 6° breite und 8° hohe Planquadrate eingeteilt. Dabei werden die Zonen von Westen nach Osten von 1 bis 60 und von Süden nach Norden von C bis X bezeichnet. In den Polregionen würde es mit dieser Methode zu besonders großen Verzerrungen kommen. Um dies zu vermeiden werden dort eigene Projektionen (universale polare stereografische Projektion) verwendet. Es lässt sich über eine Zahlen-Buchstabenkombination jede Zone genau beschreiben (siehe auch Abb. 2-1).

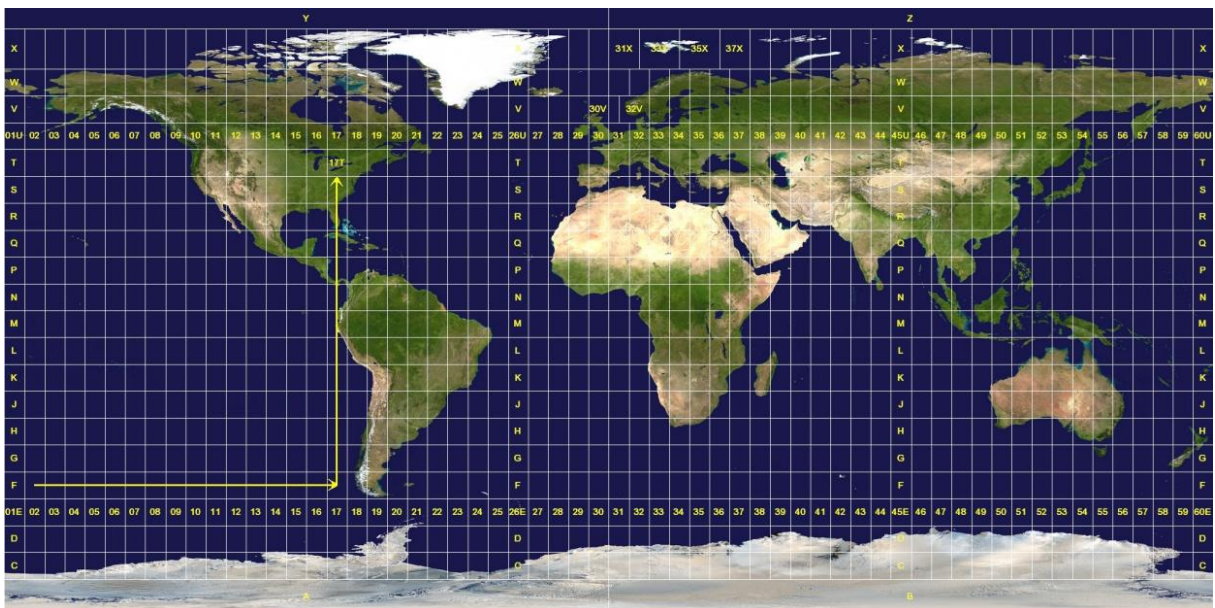


Abb. 2-1: UTM-Zonen weltweit [N.N]

In jedem Planquadrat wird eine transversale Mercatorprojektion auf die Mantelfläche eines Zylinders angewendet. Damit die Verzerrungen bei dieser Projektion möglichst gering ausfallen, durchsticht der Zylinder das Planquadrat auf einer Breite von 360 km und wird am Mittelmeridian des Planquadrates ausgerichtet. Um die Verzerrungen weiter zu verringern wird ein Dehnungsfaktor von 0,9996 angewendet.

3 Globale Satellitennavigationssysteme (GNSS)

Mit Hilfe der digitalen Karte können Informationen über jeden Punkt (und somit auch jeden Streckenabschnitt) abgerufen werden. Dies kann jedoch nur funktionieren wenn im Fahrzeug bekannt ist, an welcher Stelle der digitalen Karte es sich aktuell befindet. Um dies zu gewährleisten wird auf globale Navigationssatellitensysteme zurückgegriffen. Das bekannteste System ist dabei das amerikanische GPS-System. Es gibt aber auch das russische GLONASS-System sowie das im Aufbau befindliche europäische Galileo-System. Wie diese funktionieren, wo die Fehlerquellen liegen und in wie hoch die Genauigkeit trotzdem werden kann soll im Folgenden gezeigt werden.

3.1 Funktionsweise

Ein GNSS besteht aus mehreren (ca. 20-35) Satelliten im Weltraum und Kontrollstationen am Boden. Dabei hat jeder Satellit eine Atomuhr an Bord. Die Kontrollstationen gleichen diese Uhren stets ab, sodass sie absolut synchron laufen. Außerdem überprüfen die Bodenstationen stets die Flugbahnen der Satelliten.

Aus diesen Daten generieren die Satelliten ein Signal, das stets die aktuelle Uhrzeit des Satelliten, seine Position, seine Flugbahn und einige weitere Informationen enthält. Ein Empfänger auf der Erdoberfläche ist von den Satelliten unterschiedlich weit entfernt, so dass er die gleichzeitig gesendeten Signale der Satelliten zu unterschiedlichen Zeiten empfängt. Aus diesen Laufzeitunterschieden kann die Position des Empfängers berechnet werden. Es sind stets 4 Satellitensignale notwendig um die Position des Empfängers zu bestimmen, da der Empfänger die Uhrzeit der Satelliten im Moment des Aussendens nicht kennt. Es ergibt sich ein Gleichungssystem mit den 4 Unbekannten x , y , z und der Uhrzeit der Satelliten.

Durch die Vielzahl an Satelliten sind üblicherweise mehr als 4 Satellitensignale verfügbar (bei GPS ca. 14 bis 17), sodass ein überbestimmtes System entsteht. Durch die zusätzlichen Informationen lässt sich die Genauigkeit der Positionsbestimmung erhöhen.

3.2 Fehlerquellen

In der Theorie sind 4 Satellitensignale für eine exakte Positionsbestimmung ausreichend. In der Praxis gibt es jedoch einige Störquellen die diese exakte Positionsbestimmung verhindern. Tab. 3-1 zeigt die wichtigsten Fehlerquellen.

Bei Fehlern in der Positionsbestimmung muss immer zwischen der Richtigkeit und der Präzision unterschieden werden. Dabei beschreibt die Richtigkeit die Abweichung von der exakten Position und die Präzision die Streuung um diesen Punkt. Beide Werte werden in der Einheit m angegeben. Die Zusammenhänge sind in Abb. 3-1 nochmals dargestellt

Fehlerquelle	Fehler
Störung durch die Ionosphäre	± 5 m
Schwankungen der Satellitenumlaufbahn	± 1 m
Uhrenfehler der Satelliten	± 3 m
Multi-Path-Effekt	$\pm 2,5$ m
Empfängerrauschen	$\pm 1,5$ m
Störung durch die Troposphäre	$\pm 1,5$ m
Sonstiges	± 1 m

Tab. 3-1: Fehlerquellen bei der Positionsbestimmung [ZLO10], [SCH00]

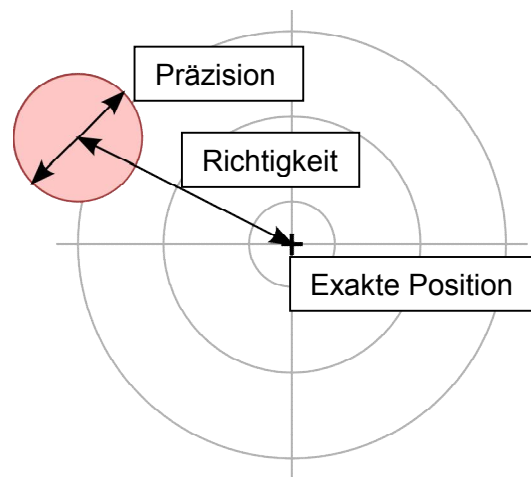


Abb. 3-1: Präzision und Richtigkeit bei der Positionsbestimmung [SEE11]

Insgesamt lassen sich mit dem häufig verwendeten GPS-System Genauigkeiten im Bereich von 3 m bis 15 m realisieren. Das noch im Aufbau befindliche Galileo System soll Genauigkeiten zwischen 1 m und 5 m realisieren können.

3.3 Verbesserung der Genauigkeit

Für einige Assistenzsysteme ist diese Genauigkeit nicht ausreichend (z.B. autonomes Fahren). Um die Genauigkeit weiter zu erhöhen gibt es verschiedene Systeme, zum Beispiel lokale Korrekturdaten. Dies soll kurz erläutert werden.

Wie in Abb. 3-1 zu erkennen ist setzt sich die Gesamtgenauigkeit aus der Präzision und der Richtigkeit zusammen. Dabei ist die Richtigkeit üblicherweise über weite Bereiche konstant. Ist ein Empfänger in diesem Bereich, der seine exakte Position kennt, so können Fehler in der Richtigkeit berechnet und entsprechende **lokale Korrekturdaten** an das Fahrzeug gesendet werden. Die Korrekturdaten können dabei sowohl per Funk aber auch per Internet an das Fahrzeug übertragen werden. Insgesamt kann die Genauigkeit durch lokale Korrekturdaten und einige weitere Techniken (z.B. Langzeitmessungen) bis in den Millimeterbereich gebracht werden.

Ein weiteres Problem des GPS-Systems ist die geringe Updatefrequenz von 0,5 bis 1 Hertz. Um diesem Phänomen entgegen zu wirken wird die **Koppelnavigation** verwendet. Dazu wird ein Beschleunigungs- und Gierratensensor im Fahrzeug verbaut. Durch Integration der so gewonnenen Daten können weitere Informationen über die aktuelle Position des Fahrzeugs gewonnen werden. Diese Informationen werden mit den Daten aus dem GPS-Empfänger fusioniert, und somit kann die Abtastfrequenz im Rahmen der Möglichkeiten der verwendeten Sensoren beliebig erhöht werden. Außerdem können durch die Koppelnavigation Lücken in der GPS-Aufzeichnung, zum Beispiel beim Durchfahren eines Tunnels, geschlossen werden.

Beim ika ist ein Versuchsträger mit entsprechender technischer Ausrüstung vorhanden. Dabei kann die verbaute RT3000 sowohl auf lokale Korrekturdaten als auch auf die Koppelnavigation zurückgreifen. Damit erreicht der Versuchsträger eine Genauigkeit bei der Positionsbestimmung bis in den einstelligen Zentimeterbereich.

Eine umfassende Beschreibung über GNSS-Systeme und ihre Erweiterungen ist auch in [ZOG11] zu finden.

4 Das ika-Datenformat für digitale Karten

Übliche digitale Karten, wie sie häufig in Navigationssystemen verwendet werden, beschreiben den Straßenverlauf zumeist durch Knotenpunkte die durch gerade Elemente verbunden werden. Zum Zweck der Navigation kann so bei einer entsprechenden Knotendichte eine ausreichende Genauigkeit erzielt werden. Für komplexere FAS sind diese Daten jedoch häufig nicht ausreichend um die gewünschte Funktionalität in ausreichender Genauigkeit bereitstellen zu können. Daher müssen weitere Informationen entlang der Strecke zur Verfügung gestellt werden. Wie dies erreicht wird, soll im Folgenden vorgestellt werden.

4.1 Bisheriges Format

Die meisten FAS bestehen nur aus Steuergeräten mit einfachen Prozessoren und entsprechend geringer Rechenleistung. Zusätzlich stehen auch nur begrenzte Speicherressourcen zur Verfügung. Daher können stets nur kleine Ausschnitte der Gesamtkarte geladen werden. Wie schon in Kapitel 2 beschrieben wird in dieser Karte das UTM-System verwendet. Eine gesamte UTM-Zone wäre jedoch viel zu groß um diese komplett in den Speicher eines FAS zu laden. Daher werden in dieser Karte die UTM-Zonen weiter verfeinert und in Kacheln der Größe 1000 m x 1000 m aufgeteilt. Außerdem werden die Daten in so genannten Layern angelegt, so dass zu jeder Kachel immer nur die benötigten Layer geladen werden müssen. Somit ist es möglich zum Beispiel Verkehrszeichen in einen separaten Layer zu speichern und nur bei Bedarf im entsprechenden FAS zu laden.

Die Grundstruktur soll zunächst den Straßenverlauf mit einigen zusätzlichen Informationen darstellen. Weitere Informationen, die für spezielle FAS benötigt werden, sollen im Nachhinein durch neue Layer hinzugefügt werden.

Um den Straßenverlauf darstellen zu können werden Pfade verwendet. Durch das zusätzliche Speichern von Vorgängern und Nachfolgern kann zusätzlich auch die Straßennetzstruktur abgebildet werden. Zur genauen Darstellung des Fahrbahnverlaufs werden in jedem Pfad folgende Daten gespeichert:

- Koordinaten (x, y, z, UTM-Zone)
- Kurven (Anfangs-, Endkrümmung, Ausrichtung des Kurvenanfangs, Länge, Steigung)
- Fahrtrichtungen (für jeden Fahrstreifen)
- Fahrstreifenbreite (für jeden Fahrstreifen)
- Fahrbahnmarkierungen
- Querneigungen
- Vorgänger
- Nachfolger

Dabei werden alle Daten als Vektor im Pfad abgelegt. Die Anzahl der Kurvenobjekte ist dabei um 1 geringer als die Anzahl der Koordinaten und der restlichen Elemente. (Anzahl der Vorgänger und Nachfolger ist jeweils unabhängig von der Anzahl der restlichen Daten)

Die Pfade werden stets entsprechend ihrer ersten Koordinate einer Kachel zugeordnet. Da die Länge der Pfade auf 1000 m begrenzt ist, befindet sich das Ende eines Pfades also stets maximal eine Kachel von der aktuellen entfernt. Somit können durch das Laden aller umliegenden Kacheln stets alle weiterführenden Pfade ins System geladen werden.

Ein Pfad verläuft stets am rechten Rand des rechtesten Fahrstreifens. Trotzdem werden in einem Pfad jeweils alle vorhandenen Fahrstreifen, also auch die Fahrstreifen in Gegenrichtung, abgespeichert. Dies wird auch noch einmal in Abb. 4-1 verdeutlicht. Die in beide Richtungen befahrbare Straße wird sowohl durch P3 als auch durch P4 und P5 vollständig beschrieben. Lediglich die einmündende Einbahnstraße wird nur einfach gespeichert. Auch zu erkennen ist das System der Vorgänger und Nachfolger. In der Einbahnstraße wird der eingehende Pfad in die 2 „Abbiegepfade“ P1 und P2 aufgeteilt. Diese vereinen sich im Folgenden dann jeweils mit den Pfaden P3 beziehungsweise P4 der Straße.

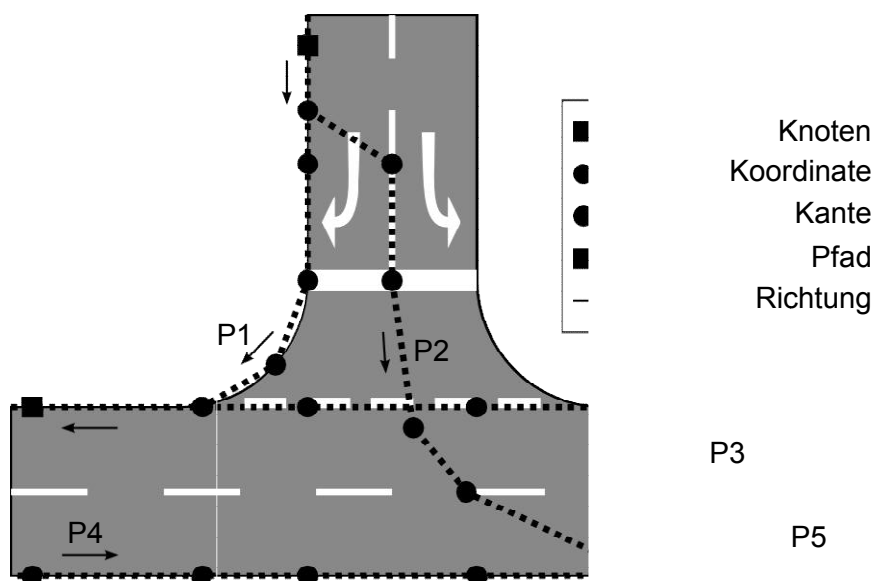


Abb. 4-1: Bisherige Darstellung der Karte [KLI12]

Die Kanten in Abb. 4-1 enthalten stets die Kurveninformationen, alle anderen Informationen, bis auf die Vorgänger und Nachfolger, werden jeweils an den Knoten gespeichert.

Um die einzelnen Pfade verwalten zu können gibt es zusätzlich eine Karten-Klasse. In dieser werden die einzelnen Pfade gespeichert und verwaltet. Dazu wird jedem Pfad eine ID zugewiesen, über die er eindeutig referenzierbar ist. Außerdem werden Hash-Maps mit den Zuordnungen Pfad->ID und ID->Pfad angelegt, so dass stets schnell auf die benötigte

Information zugegriffen werden kann. Außerdem erhalten auch die Koordinaten und Kurvenobjekte IDs, so dass auch diese schnell und effektiv referenziert werden können.

Weiterhin beinhaltet die Karten-Klasse Methoden zum Speichern und Laden einer Karte in beziehungsweise aus einer Datei. Diese Methoden sind dabei so implementiert, dass die resultierende Datei stark komprimiert wird beziehungsweise die Kompression wieder aufgelöst wird. Die verwendeten Kompressionsverfahren sind im folgenden Kapitel 4.1.1 erläutert

4.1.1 Kompression der Kartendaten

Wie bereits erwähnt ist ein Ziel, die Kartendaten möglichst komprimiert zu speichern. Dazu werden verschiedene Verfahren verwendet. Häufig kommen innerhalb der Kartendaten kleine Zahlen vor. Wird jedoch eine Ganzzahl mit fester Bitanzahl genutzt und nicht weiter bearbeitet, so entstehen beim Abspeichern viele ungewollte Nullbytes. Um dies zu vermeiden, wird in jedem gespeicherten Byte einer Ganzzahl das führende Bit genutzt um anzuzeigen, dass das folgende Byte noch zur aktuellen Zahl gehört. Prinzipiell lassen sich so beliebig lange Ganzzahlen speichern, die maximale Länge ist jedoch auf 64 „Nutz-Bits“, und somit 64-Bit-Ganzzahlen begrenzt. Mit den zusätzlichen Bits am Anfang jeder Zahl ergibt sich also ein maximaler Mehraufwand zum Speichern von 2 Byte (7 „Nutzbits“ pro Byte ergeben bei einer vollen 64-Bit-Zahl 10 notwendige Bytes zum Speichern).

Bei vorzeichenbehafteten Ganzzahlen wird das letzte Bit des ersten Bytes für das Vorzeichen benutzt. Die folgenden Bits und auch eventuell nachfolgende Bytes beinhalten dann den Betrag der Zahl analog zu vorzeichenlosen Ganzzahlen. Einen Sonderfall bilden 8-Bit-Ganzzahlen, die direkt gespeichert werden (ansonsten wären 2 Byte notwendig um eine volle 8-Bit-Zahl zu speichern).

An der binären Darstellung der Zahl lässt sich somit nicht erkennen um welchen Typ Zahl es sich handelt. Dies muss somit in der Programmlogik hinterlegt sein, um Verwechslungen von vorzeichenbehafteten und nicht vorzeichenbehafteten sowie 8-Bit Zahlen zu vermeiden.

Fließkommazahlen werden als 2 vorzeichenbehaftete Ganzzahlen für die Mantisse und den Exponent abgespeichert.

Ein weiterer, in dieser Karte benutzte Zahlentyp sind so genannte Dezimalzahlen. Dies sind Fließkommazahlen mit definierter Genauigkeit, also einer festen Anzahl an Nachkommastellen. Diese werden zum Beispiel mit einer für die gesamte Karte festgelegten Genauigkeit von 3 Nachkommastellen für alle Entfernungen und Positionsangaben benutzt. Da die Standardlängeneinheit innerhalb der Karte 1 Meter ist, ist also eine Genauigkeit von 1 Millimeter gegeben. Um auch diese (häufig vorkommenden) Zahlen effizient speichern zu können, werden sie mit der entsprechenden Zehnerpotenz multipliziert und dann effizient, wie bereits beschrieben, als Ganzzahl gespeichert. Beim Auslesen aus einer Datei wird der Wert der Zahl dann wieder durch die identische Zehnerpotenz geteilt.

Weitere Kompression wird erzielt, indem einige übliche Eigenschaften von Straßen berücksichtigt werden. So ändern sich zum Beispiel die Fahrstreifenbreiten entlang eines Pfades nur selten (Standardfahrbahnbreiten). Dies wird berücksichtigt, indem gleiche Fahrstreifenbreitenvektoren an aufeinanderfolgenden Knoten nur einmalig und mit der Anzahl, an wie vielen Knoten sie aufgetreten sind, gespeichert werden. Auch die anderen Informationen entlang des Pfades zeigen häufig gleiche Werte über mehrere Knoten hinweg. Diese werden ebenfalls wie zuvor beschrieben abgespeichert.

Die hier genannten Verfahren zur Komprimierung der Datenmenge wurden auch zum Teil im Rahmen dieser Arbeit entwickelt und implementiert.

4.2 Änderungen im Rahmen dieser Arbeit

Die bisherige Kartenstruktur hat 2 grundlegende Schwächen. Es gibt eine große Datenredundanz, unter anderem werden alle Straßen in beiden Richtungen, und somit jeweils 2-mal komplett abgespeichert. Außerdem kann schlecht zwischen normalen Straßen und Kreuzungsbereichen, die für viele FAS von besonderem Interesse sind, unterschieden werden. Um diese beiden Hauptschwachpunkte zu verbessern, wurden einige, teils tiefgreifende Änderungen in der Kartenstruktur vorgenommen. Diese Änderungen sollen im Folgenden gezeigt und erläutert werden.

Um die genannten Schwächen auszubessern war ein umfangreiches Umstrukturieren der Datenstruktur, wie Sie in Kapitel 4.1 dargestellt wurde, notwendig. Die drei wichtigsten Punkte hierbei waren die Einführung der Intersections zur Darstellung von Kreuzungen, das Wegfallen der doppelt gespeicherten Fahrbahnen und das Entfallen des Kurven-Objekts. Dies soll im Folgenden näher beschrieben werden.

4.2.1 Einführung von Intersections

Eine grundlegende Veränderung zum bisherigen Kartenformat stellt die Einführung der Intersections zur Darstellung von Kreuzungen dar. Die gesamte Darstellung des Straßennetzes ändert sich dadurch erheblich. Es werden weiterhin die Pfade (mit einigen Änderungen) des bisherigen Formats verwendet. Zwischen zwei Kreuzungen werden die Pfade jetzt als Straßen bezeichnet. Ist die Entfernung zwischen 2 Kreuzungen größer als 1000 m (maximale Länge einer einzelnen Straße), so werden mehrere Straßen, die wiederum über Vorgänger und Nachfolger verbunden sind, verwendet. Befindet sich eine Kreuzung am Ende (oder Anfang) einer Straße, so bezeichnen die Vorgänger beziehungsweise Nachfolger die Straßen, die nach beziehungsweise vor Durchfahren der Kreuzung erreicht werden (können).

Kreuzungsbereiche werden durch so genannte Link-Objekte dargestellt. Jeder Link beschreibt dabei eine Möglichkeit innerhalb der Kreuzung von einer eingehenden auf eine ausgehende Straße abzubiegen. Somit enthält ein Link-Objekt die folgenden Informationen:

- Eingehende Straße (als Pointer)
- Richtung der eingehenden Straße
- Fahrstreifen auf der eingehenden Straße
- Ausgehende Straße (als Pointer)
- Richtung der ausgehenden Straße
- Fahrstreifen auf der ausgehenden Straße
- Pfad, der den exakten Verlauf innerhalb der Kreuzung beschreibt

Die Fahrstreifen werden dabei stets vom Rand, auf dem die eingehende Straße gespeichert ist, ist, aus durchnummeriert. (siehe auch Abb. 4-2)

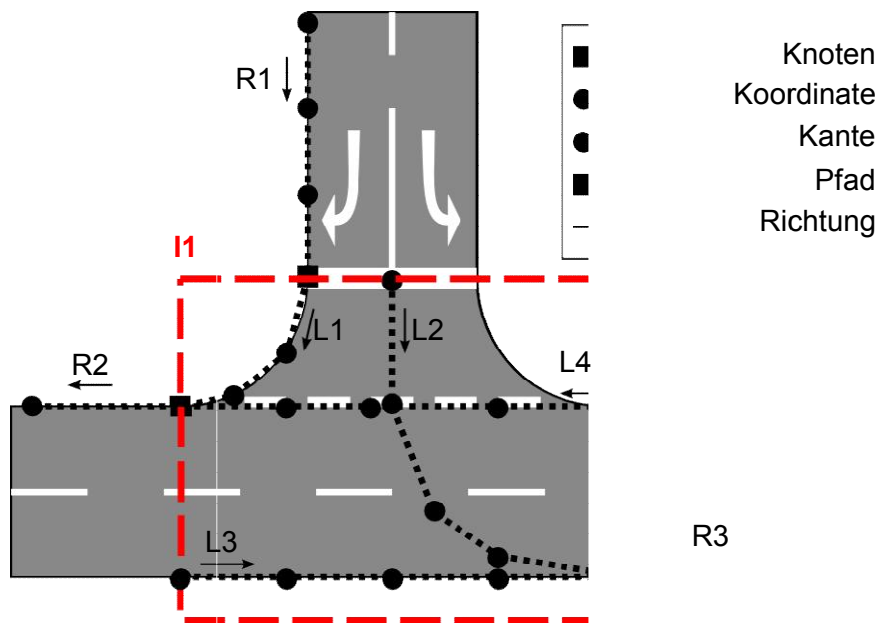


Abb. 4-2: Neue Darstellung der Karte

Es ist zu erkennen, dass die Straßen nur noch in einer Richtung gespeichert werden. Die Gegenrichtung lässt sich entsprechend aus diesen Daten errechnen. Auch zu erkennen ist das neu eingeführte Intersection-Objekt, das den Kreuzungsbereich darstellt. Innerhalb der Kreuzung sind die vier Links zu erkennen, die alle Möglichkeiten zum Abbiegen innerhalb dieser Kreuzung darstellen. Wie bereits erwähnt, enthält der Link 2 (L2) also folgende Informationen: R1 als eingehende Straße in Fahrtrichtung (also Fahrtrichtung vorwärts) auf Fahrstreifen 1 (Nummerierung startet bei 0), R2 als ausgehende Straße ebenfalls in Fahrtrichtung vorwärts und auf Fahrstreifen 0 sowie einen Pfad der die fünf Koordinaten und die dazwischen- beziehungsweise darauf liegenden Straßeninformationen speichert.

Auch mehrspuriges Abbiegen sowie gemischte Abbiegestreifen (für mehrere Richtungen) können durch dieses Format problemlos dargestellt werden.

Zusätzlich ist auch schon der im folgenden Abschnitt beschriebene Wegfall der parallelen Pfade zu erkennen.

4.2.2 Wegfall paralleler Pfade

Durch den Wegfall der parallelen Pfade hat sich zunächst wenig an den Daten des Pfades geändert. Es ist notwendig die Hauptrichtung des Pfades festzulegen. Diese wurde als Reihenfolge der Koordinaten im Pfad festgesetzt. Die Koordinaten befinden sich auch weiterhin in Fahrtrichtung am rechten Fahrbahnrand, entweder in der einen oder der anderen Richtung. Es gibt Nachfolger und Vorgänger jetzt jeweils sowohl am Anfang als auch am Ende des Pfades. Diese werden mit VorgängerA, VorgängerB, NachfolgerA und NachfolgerB bezeichnet. Ein nachgestelltes A bedeutet, dass die Vorgänger beziehungsweise Nachfolger an der Anfangskoordinate des Pfades gemeint sind, ein nachgestelltes B entsprechend an der Endkoordinate des Pfades. Da sich die Wege entlang des gegenüberliegenden Fahrbahnrandes aus den vorhandenen Daten berechnen lassen, sind weiterhin alle Daten des Pfades als auch des Gegenpfades exakt bekannt.

4.2.3 Wegfall des Kurvenobjektes

Folgende Überlegungen haben zum Wegfall des Kurvenobjektes geführt:

In den Krümmungsinformationen der Kurvenobjekte lag eine weitere Redundanz, da die Krümmung am Ende eines Kurvenobjektes stets gleich der Krümmung am Anfang des nächsten Kurvenobjektes ist. Eine Überlegung, statt die 2 genannten Werte einzeln zu speichern einen Pointer auf den anderen Wert zu benutzen wurde verworfen, da dies Probleme am Anfang und Ende des Pfades bedeutet hätte und somit in der internen Darstellung dieselbe Menge an Speicher benötigt worden wäre (Größe eines Pointers entspricht Größe eines Basisdatentyps). In der neuen Version der Karte werden die Krümmungen direkt als Vektor im Pfad gespeichert. Die weiteren im Kurvenobjekt gespeicherten Informationen (Ausrichtung des Kurvenanfangs, Länge und Steigung) wurden im Kurvenobjekt gespeichert, da sie sich jeweils auf den Bereich zwischen zwei Koordinaten beziehen. Es ist aber auch ohne weitere Probleme möglich diese als Vektor direkt im Pfad zu speichern. Es muss nur beachtet werden, dass es stets einen Eintrag weniger geben muss als Koordinaten.

Somit sind in der neuen Version der Karte alle Informationen direkt als Vektor oder Vektor von Vektoren im Pfad gespeichert. Dies erleichtert wiederum den Zugriff auf benötigte Daten, da nicht mehr zunächst das Kurvenobjekt aufgelöst werden muss.

5 Zusammenfassung und Ausblick

In dieser Seminararbeit wurde das beim ika bereits vorhandene Kartenformat zur Darstellung von digitalen Karten weiterentwickelt. Dabei wurde ein besonderer Fokus auf die Reduzierung von Redundanzen innerhalb der Karte gelegt. Gleichzeitig wurde auch darauf geachtet, dass die Kartendaten weiterhin einfach abgerufen werden können und die Karte trotz der Komplexität die in der Straßenstruktur häufig auftreten kann, alle möglichen Gegebenheiten ausreichend genau darstellen kann. Zuletzt wurde auch die Kompression der Daten, so dass möglichst geringe Dateigrößen beim Abspeichern der Karte entstehen, noch einmal weiterentwickelt.

Somit liefert das ika-Kartenformat eine Struktur, in der sich (nahezu) alle möglichen Straßenkonstellationen darstellen lassen. Für viele FAS ist eine hochgenaue Darstellung des Straßenraums von großer Wichtigkeit, und dies lässt sich in diesem Format sehr gut darstellen.

Bisher kann das Kartenformat „nur“ den Straßenverlauf darstellen. In zukünftigen Erweiterungen zu diesem Kartenformat können dann weitere Informationen wie Hausnummern, Straßennamen, Verkehrszeichen, Ampeln und weitere Elemente zur Karte hinzugefügt werden. Die Karte ist so aufgebaut, dass diese Elemente ohne Änderungen an den bisherigen Elementen der Karte eingefügt werden können.

Literaturverzeichnis

- [KLI12] Klimke Jens
Definition und Implementierung eines Datenformats für digitale Karten und eines darauf aufbauenden Map-Matching-Verfahrens, Aachen, 2012.
- [N.N] N.N.
<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ed/Utm-zones.jpg>
UTM Koordinatensystem.
- [NAT00] National Imagery and Mapping Agency
World Geodetic System 1984
Its definition and relationships with local geodetic systems, 2000.
- [SCH00] Schraut Michael
Umgebungserfassung auf Basis lernender digitaler Karten zur vorausschauenden Konditionierung von Fahrerassistenzsystemen
Dissertation, München, 2000.
- [SEE11] Seewald Philipp
Modellierung und Korrektur fehlerbehafteter GNSS-Positionssignale in der Fahrzeugquerführung
Diplomarbeit, Aachen, 2011.
- [ZLO10] Zlocki Adrian
Fahrzeuginnenraumregelung mit kartenbasierter Vorausschau, Aachen, 2010.
- [ZOG11] Zogg Jean-Marie
GPS und GNSS: Grundlagen der Ortung und Navigation mit Satelliten, 2011.