Ing. Mag. Horst Greifeneder
Allgemein beeideter und gerichtlich zertifizierter Sachverständiger, Fachgebiet Informationstechnik, LG Wels
Computer-Forensik-Spezialist
Externer Datenschutzbeauftragter, CIPP/E, CIPM, CIPT

Forensische Fahrlinienanalyse mittels GPS-Daten eines Fahrradcomputers

„Alles, was uns begegnet, lässt Spuren zurück ...; doch es ist gefährlich, sich davon Rechenschaft geben zu wollen."

Johann Wolfgang von Goethe

1. Einleitung

Die Fahrlinienanalyse mit GPS-Daten (Global Positioning System) ist ein forensisches Verfahren, das zur Rekonstruktion von Bewegungsabläufen im Zusammenhang mit Verkehrsunfällen und anderen Unfällen eingesetzt werden kann. Durch die Erfassung von GPS-Daten (beispielsweise mit einem Fahrradcomputer) können aussagekräftige Informationen über die Position, Geschwindigkeit und Fahrtrichtung eines Fahrzeugs oder Fahrrads über einen bestimmten Zeitraum hinweg gewonnen werden.

Die sichergestellten Daten ermöglichen es, den genauen Verlauf eines Unfalls nachzuvollziehen und wichtige Fragen zu klären (wie etwa die gefahrene Geschwindigkeit, die Bewegungsrichtung oder den Zeitpunkt und Ort einer Kollision).

2. Sicherstellung der Daten

2.1. Vorbemerkung

Fahrradcomputer speichern Daten (wie GPS-Tracks, Geschwindigkeit, Fahrtrichtung, Distanz, Herzfrequenz, Temperatur oder Höhenprofile) auf internen oder externen Speichermedien (SD-Karten). Der Zugriff auf das Dateisystem kann mithilfe von Kartenlesern oder direkter USB-Verbindung erfolgen.

Die gängigsten, am Markt befindlichen Dateiformate sind FIT, GPX oder KLM. Die forensische Sicherstellung der Dateien erfolgt in der Regel mit speziellen Softwaretools (zB FTK Imager), welche ein bit-genaues Abbild (Image) der auf dem Gerät gespeicherten Daten erzeugen.

2.2. Dateiformat FIT

Eine FIT-Datei (Flexible and Interoperable Data Transfer) ist eine binär codierte Datei, die von Garmin entwickelt wurde. Das FIT-Dateiformat wird verwendet, um die Aktivitäten der Person aufzuzeichnen, wenn sie sich mit diesen Geräten bewegt. Die Aktivitätsdaten umfassen Ort und Zeit, wie sie vom GPS-Gerät aufgezeichnet wurden.[1]

2.3. Dateiformat GPX

Das GPX-Dateiformat (GPS Exchange Format) ist ein weitverbreitetes Dateiformat für den Austausch von GPS-Daten und geografischen Informationen. Es wurde entwickelt, um GPS-Informationen (wie beispielsweise Routen, Wegpunkte, Tracks und geografische Koordinaten) zu speichern und zwischen verschiedenen GPS-Geräten und Softwareanwendungen auszutauschen.[2]

2.4. Dateiformat KLM

Das gängige Dateiformat für geografische Daten ist das KML-Format (Keyhole Markup Language). KML ist ein offener Standard und kann von verschiedenen Softwareanwendungen und Geoinformationssystemen (GIS) unterstützt werden. Es ist ein weitverbreitetes Format für die Darstellung und den Austausch von geografischen Daten.[3]

KML ist besonders bekannt für seine Verwendung mit Google Earth und Google Maps. KML-Dateien können in Google Earth geöffnet werden, um Geodaten anzuzeigen und interaktive Kartenansichten zu erstellen.

3. Forensische Grundlagen der GPS-Datenanalyse

3.1. Vorbemerkung

GPS-Daten sind räumliche und zeitliche Informationen, die mithilfe von Satellitensignalen erfasst werden. Sie geben an, wo sich ein Objekt (zB ein Fahrrad) zu einem bestimmten Zeitpunkt befindet und – daraus abgeleitet – mit welcher Geschwindigkeit es sich bewegt.

Die wesentlichen Daten, die von einem Fahrradcomputer mit GPS-Funktion erfasst werden, umfassen:

- **Position:** Geografische Koordinaten (Längen- und Breitengrad), die den genauen Standort des Fahrrads auf der Erdoberfläche angeben.
- **Zeitstempel:** Präzise Zeitangaben, die jeder Positions- und Geschwindigkeitsmessung zugeordnet sind, um den zeitlichen Verlauf der Bewegung zu dokumentieren.

- **Geschwindigkeit:** Die Geschwindigkeit, mit der sich das Fahrrad bewegt, berechnet auf Basis der zurückgelegten Strecke und der dafür benötigten Zeit.
- **Fahrtrichtung:** Die Richtung, in der sich das Fahrrad bewegt, abgeleitet aus den geografischen Koordinaten zwischen einzelnen Positionen.
- **Höhe (optional):** Höhenangaben (in Metern über dem Meeresspiegel), die Auskunft darüber geben, auf welcher Höhe sich das Fahrrad befindet. Diese Information kann insbesondere bei Bergfahrten von Interesse sein.

3.2. Positionsbestimmung

Der Fahrradcomputer kommuniziert mit mehreren GPS-Satelliten, die in einer Umlaufbahn um die Erde kreisen. In der Regel benötigt ein GPS-Gerät die Signale von mindestens vier Satelliten, um eine präzise Positionsbestimmung durchzuführen. Die Satelliten senden kontinuierlich Informationen über ihre Position und die aktuelle Uhrzeit an den Empfänger.

Der Fahrradcomputer nutzt die empfangenen Signale, um die Entfernung zu jedem Satelliten zu berechnen. Dies erfolgt durch die Messung der Zeit, die das Signal benötigt, um vom Satelliten zum Gerät zu gelangen. Aus diesen Informationen kann der Computer die Position des Fahrrads auf der Erdoberfläche mittels Triangulation bestimmen.

3.3. Zeitstempel

Jede Position und Geschwindigkeitsmessung wird mit einem präzisen Zeitstempel versehen. Diese Zeitangaben stammen in der Regel von den Satelliten, welche extrem genaue Atomuhren verwenden, um die Zeit zu synchronisieren. Diese Zeitstempel ermöglichen es, den genauen Verlauf der Bewegung zu rekonstruieren und zeitlich zu analysieren.

3.4. Geschwindigkeitsmessung

Der Fahrradcomputer kann die Geschwindigkeit des Fahrrads auf zwei Arten bestimmen:

- **GPS-basierte Berechnung:** Der Computer misst die Zeit, die das Fahrrad benötigt, um eine bestimmte Strecke zwischen zwei Positionen zurückzulegen, und berechnet daraus die Geschwindigkeit.
- **Sensorbasierte Unterstützung (optional):** Einige Fahrradcomputer verwenden zusätzlich Trittfrequenz- oder Radumdrehungssensoren, um die Geschwindigkeit präziser zu bestimmen.

Es ist wichtig, zu beachten, dass die GPS-Genauigkeit durch verschiedene Faktoren beeinflusst wird, darunter die Qualität des GPS-Empfängers, die Anzahl der verfügbaren Satelliten und Umgebungsbedingungen.[4]

Bei GPS-basierten Geschwindigkeitsmessungen sind Abweichungen bei optimalen Bedingungen (freies Feld, gutes Signal) von 1 bis 3 % typisch. Bei schlechtem Signal können die Abweichungen (besonders bei plötzlichen Beschleunigungen oder Abbremsungen) jedoch bis zu 10 % oder mehr betragen.

Sensorbasierte Messung sind in der Regel genauer, mit typischen Abweichungen von 1 bis 2 %, wenn der Sensor korrekt installiert und kalibriert ist. Die Genauigkeit dieser Messungen kann durch Faktoren wie Reifenverschleiß oder unterschiedliche Reifengrößen beeinflusst werden.

3.5. Fahrtrichtung

Die Bestimmung der Fahrtrichtung mittels GPS-Daten erfolgt durch die Berechnung der Bewegungsrichtung zwischen aufeinanderfolgenden Positionspunkten. Hierbei wird der Winkel zwischen den Koordinatenpaaren genutzt, um die Richtungsänderungen des Fahrzeugs zu analysieren. Diese Methode ermöglicht es, den genauen Verlauf der Fahrt zu rekonstruieren und Abweichungen oder Lenkmanöver nachzuvollziehen.

3.6. Erfassung der Höhe

Einige Fahrradcomputer mit integrierten, barometrischen Höhenmessern können auch die Höhe erfassen, indem sie Luftdruckänderungen messen. Alternativ kann die Höhe auch direkt aus den GPS-Daten berechnet werden, obwohl diese Methode in der Regel weniger genau ist.

4. Positionsbestimmung mittels GPS-Daten

4.1. Vorbemerkung

Moderne Fahrradcomputer verwenden in der Regel verschiedene Technologien bzw Verfahren, die eine hohe Genauigkeit der Positionsdaten ermöglichen. Die Geräte nutzen zur Positionsbestimmung mehrere Satellitensysteme (zB GPS und GLONASS) zugleich, um die Genauigkeit zu verbessern.[5] Zusätzlich nutzen aktuelle GPS-Chips verschiedene Glättungstechniken (unter anderem *Kalman*-Filter oder adaptive Filterung), um Positionsdaten zu stabilisieren und eine gleichmäßige Darstellung der Strecke zu gewährleisten.

4.2. Genauigkeit der Positionsbestimmung

GPS-Empfänger sind bei der Bestimmung von Positionsdaten nicht 100%ig genau. So erreichen GPS-Empfänger unter normalen Bedingungen eine Genauigkeit von 5 bis 10 m, bessere Geräte unter Umständen bis zu 2 m.[6] Faktoren wie schlechte Satellitensichtbarkeit, Störungen durch Gebäude bzw Hindernisse und die Qualität und Leistungsfähigkeit von GPS-Empfängern können die Genauigkeit der Positionsbestimmung beeinträchtigen.

Die Genauigkeit von mobilen Navigationsgeräten wird üblicherweise mit dem CEP-Wert (Circular Error Probable,

Streukreisradius) beschrieben. Unter der Annahme, dass mit der Herstellerangabe von *„95 % der Messungen, bei etwa 3 m“* ein CEP für 95% definiert wird, heißt das, dass 95 % der vom Gerät durchgeführten GPS-Messungen normalverteilt innerhalb eines Radius von 3 m liegen.

4.3. Satellitensichtbarkeit und Positionsgenauigkeit

Satellitensichtbarkeit bezieht sich auf die Fähigkeit, einen Satelliten von einem bestimmten Ort auf der Erdoberfläche aus zu sehen oder zu verfolgen. Diese Sichtbarkeit hängt von verschiedenen Faktoren ab, einschließlich der Umlaufbahn des Satelliten, der geografischen Lage des Beobachters und der aktuellen Zeit und des aktuellen Datums.

Die Anzahl der zur Positionsbestimmung verfügbaren Satelliten (siehe Abbildung 1) hat einen signifikanten Einfluss auf die Genauigkeit von GPS-Messungen. Mindestens vier Satelliten sind notwendig, um eine Positionsbestimmung mit hoher Genauigkeit durchzuführen.

Je mehr Satelliten im Sichtfeld sind und je breiter ihre Verteilung am Himmel ist, desto höher ist die Genauigkeit der Positionsbestimmung.[7]

4.4. GPS-Drift

Die Abweichung der tatsächlichen Position eines GPS-Empfängers von der durch das System berechneten Position bezeichnet man als GPS-Drift. Eine Abweichung kann durch verschiedene Fehlerquellen im GPS-Signal oder durch ungünstige Umgebungsbedingungen entstehen. Für die forensische Analyse ist das Verständnis dieser Driften von entscheidender Bedeutung, insbesondere wenn GPS-Daten zur Rekonstruktion eines Unfallgeschehens verwendet werden.

Es gibt verschiedene Methoden, um die GPS-Driften und die Genauigkeit der Positionen zu bewerten. Hier sind einige der gängigsten Verfahren und Überlegungen:

- **Analyse der Satellitengeometrie:** DOP-Werte (Dilution of Precision) sind Indikatoren für die geometrische Anordnung der GPS-Satelliten zum Empfänger.
- **Atmosphärische Störungen:** GPS-Signale müssen die Ionosphäre und die Troposphäre durchdringen. Dabei können Veränderungen in der Dichte und Zusammensetzung dieser Schichten zu Verzögerungen und Verzerrungen der Signale führen, was die GPS-Driften erhöht.
- **Mehrwegeffekte (Multipath):** GPS-Signale können von Gebäuden, Bäumen oder anderen Strukturen reflektiert werden, bevor sie den Empfänger erreichen. Dies führt zu verfälschten Entfernungsberechnungen, da der Weg des reflektierten Signals länger ist.
- **Vergleich mit Referenzpunkten:** Vergleich der GPS-Daten mit den Positionen von bekannten, festgelegten Referenzpunkten (wie markierten Straßenkreuzungen, bekannten Landmarken oder durch Landvermessung bestimmten Koordinaten). Wenn GPS-Daten diese bekannten Punkte deutlich verfehlen, lässt sich die Drift quantifizieren. Diese Abweichungen können zur Kalibrierung der gesamten Datensätze verwendet werden.

4.5. Dilution of Precison

Die Verteilung der Satelliten am Himmel wird durch die Angabe der DOP wiedergegeben, die einen Hinweis auf die nutzbaren Satelliten gibt. Der DOP- Wert (siehe Abbildung 2) gibt an, wie sehr die Qualität der Satellitensignale von GPS, GLONASS, Galileo oder Beidou die Genauigkeit der Positionsbestimmung beeinflusst. Eine breite Verteilung der Satelliten über den Himmel bedeutet einen kleinen DOP-Wert und eine Ortung mit hoher Genauigkeit.

Die verschiedenen DOP-Werte sind **HDOP** (horizontale Genauigkeit), **VDOP** (vertikale Genauigkeit), **PDOP** (Positionsgenauigkeit in 3D), **TDOP** (Zeitgenauigkeit) und **GDOP** (geometrische Gesamtgenauigkeit), wobei niedrigere Werte jeweils auf eine bessere Genauigkeit in den entsprechenden Bereichen hinweisen.

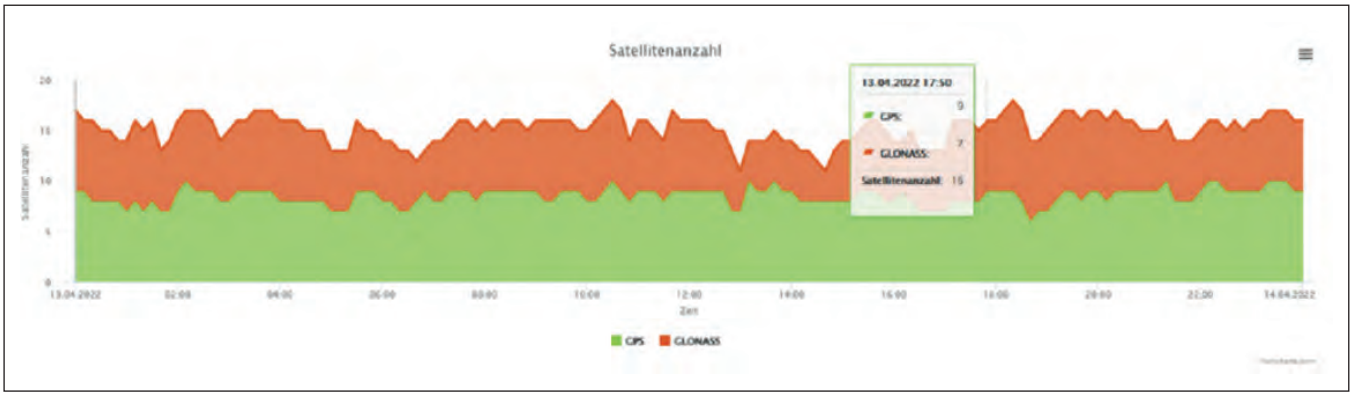

Abbildung 1: Anzahl von Satelliten (GPS und GLONASS) nach Zeitpunkt und Ort (Quelle: https://www.gnssplanning.com/#/charts: Breitengrad: N 47° 59‘ 7.73“, Längengrad: E 13° 25‘ 9.8“, 13. 4. 2022, 0:00 Uhr bis 24:00 Uhr [UTC +2:00])

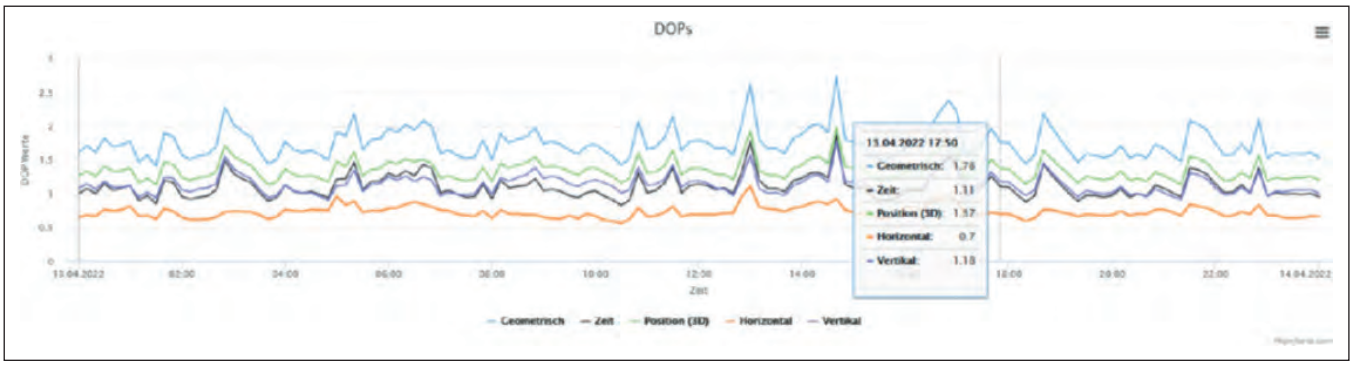

Abbildung 2: DOP-Werte nach Zeitpunkt und Ort (Quelle: https://www.gnssplanning.com/#/charts)

Ein HDOP-Wert unter 2 deutet darauf hin, dass die Genauigkeit der horizontalen Positionsdaten sehr hoch ist, da Werte unter 2 in der Regel als exzellent angesehen werden. Dies bedeutet, dass die geometrische Anordnung der Satelliten in Bezug auf den Empfänger zu einer möglichst präzisen Positionsbestimmung führt.[8]

Die DOP-Werte können sich im Laufe der Zeit verändern, da sie von der Konstellation der verfügbaren Satelliten abhängig sind, die sich durch die Bewegung der Satelliten am Himmel ständig ändert.

5. Datenaufbereitung und -analyse

5.1. Vorbemerkung

Die Aufbereitung von GPS-Rohdaten ist ein essenzieller Schritt in der forensischen Fahrlinienanalyse, um verlässliche und genaue Ergebnisse zu erzielen.

5.2. Fehlererkennung und -bereinigung

GPS-Daten können Ungenauigkeiten aufweisen, beispielsweise durch Signalabbrüche, Mehrwegeffekte (Reflexion von Satellitensignalen) oder schwache Satellitenverbindungen. Typische Fehler und Bereinigungsmethoden umfassen:

- **Signalverluste (GPS-Aussetzer):** Bei Signalunterbrechungen kann es zu Lücken in den GPS-Daten kommen. Diese Lücken müssen identifiziert und interpoliert werden, um eine konsistente Fahrlinie zu erhalten. Lineare Interpolation wird häufig verwendet, um Positionsdaten zwischen bekannten Punkten zu schätzen.
- **Ausreißer entfernen:** Plötzliche, unplausible Sprünge in den Daten, die auf fehlerhafte Positionsmessungen zurückzuführen sind, werden als Ausreißer erkannt. Diese Ausreißer können durch Vergleiche benachbarter Datenpunkte oder durch statistische Methoden (wie das Setzen eines Toleranzschwellenwerts für Geschwindigkeit oder Entfernung) herausgefiltert werden.
- **Mehrwegeffekte und Reflexionen:** In urbanen oder dicht bewaldeten Gebieten können GPS-Signale durch Reflexionen verfälscht werden, was zu falschen Positionsmessungen führt. Hier können Algorithmen zur Mehrwegeerkennung und -korrektur eingesetzt werden, die auf ungewöhnlich große Abweichungen in den Positionsdaten reagieren.

5.3. Glättung der Positions- und Geschwindigkeitsdaten

Um die erfassten GPS-Daten besser interpretierbar zu machen und zufällige Schwankungen zu minimieren, werden im modernen Fahrradcomputern unterschiedliche Glättungsverfahren angewendet.

Häufig verwendete Techniken umfassen:

- **Moving Average (gleitender Durchschnitt):** Diese Methode berechnet den Durchschnittswert eines definierten Zeitfensters, um Schwankungen in den Daten zu glätten. Dies ist besonders nützlich, um kleine Variationen zu eliminieren, die durch etwaiges Signalrauschen verursacht wurden.
- ***Kalman*-Filter:** Dieser Algorithmus wird verwendet, um aufeinanderfolgende Datenpunkte zu glätten und gleichzeitig dynamische Änderungen (wie eine Beschleunigung oder eine Verzögerung) korrekt zu erfassen. Der *Kalman*-Filter berücksichtigt Unsicherheiten in den Messdaten und erzeugt eine optimierte Schätzung der Position und Geschwindigkeit.

5.4. Aggregation von GPS-Daten

Bei der Erfassung von Trackdaten über eine längere Tour können moderne Fahrradcomputer die GPS-Daten aggregieren, um eine übersichtlichere Darstellung der Fahrtlinie zu erhalten bzw Energie zu sparen.

Beispielsweise kann bei Geräten des Marktführers Garmin durch den Aufzeichnungsmodus „intelligent“ konfiguriert werden, dass GPS-Trackpunkte nur aufgezeichnet werden, wenn eine signifikante Änderung der Daten, Position, Geschwindigkeit, Fahrtrichtung usw gemessen wird. Aus der Systemeinstellung „intelligent“ resultieren laut Information des Herstellers keine negativen Auswirkungen auf die Genauigkeit der erfassten GPS-Daten.[9]

5.5. Höhenkorrektur und Zeitzonenanpassung

Je nach den spezifischen Bedingungen der GPS-Daten können weitere Korrekturen notwendig sein, um eine genaue Fahrlinienrekonstruktion zu gewährleisten:

- **Höhendatenkorrektur:** Wenn Höhenangaben wichtig sind (wie zB bei Unfällen auf steilen Strecken), sollten barometrische und GPS-basierte Höhenangaben geglättet oder korrigiert werden, um eine konsistente Höhenlinie zu erhalten.
- **Zeitzonenanpassung:** Wenn die Daten in unterschiedlichen Zeitzonen erfasst wurden oder UTC-Zeitstempel (Coordinated Universal Time) verwendet werden, müssen die Zeitstempel an die lokale Zeit angepasst werden, um die zeitliche Reihenfolge richtig darzustellen.

Diese Techniken zur Aufbereitung der Rohdaten sind entscheidend, um Fehler zu minimieren und die Daten für die forensische Analyse nutzbar zu machen. Die Anwendung solcher Methoden sorgt dafür, dass die resultierenden Fahrlinien präzise und verlässlich genug sind, um als Beweismittel verwendet zu werden.

6. Fahrlinienrekonstruktion

6.1. Vorbemerkung

Die vom Fahrradcomputer sichergestellten Daten können in der Regel in herstellereigenen oder gängigen Kartendiensten dargestellt werden.

Bei der Visualisierung der Trackingdaten in Diensten wie Google Maps oder Google Earth kann eine vorherige Datenaufbereitung erforderlich sein. Eine von einem Garmin-Fahrradcomputer sichergestellte FIT-Datei muss beispielsweise vor der Übernahme in Google Earth in eine KML-Datei exportiert bzw transformiert werden.

6.2. Visualisierung der Fahrlinien

Zur Darstellung der Fahrlinie auf Basis der sichergestellten Trackdaten kann die KML-Datei in der Folge in den Kartendienst Google Earth übernommen und die Tour rekonstruiert werden.

Die sichergestellten GPS-Daten des Fahrradcomputers werden von Google Earth als kleine weiße Kreise mit Punkt dargestellt und mit schwarzen Linien verbunden. Die verbundenen Strecken bilden die vom Fahrradcomputer aufgezeichnete Fahrlinie des Radfahrers während einer Tour (siehe Abbildung 3).

Anhand einer Fahrliniendarstellung in Google Earth können verschiedene Aussagen gewonnen werden, insbesondere im Bereich der Unfallrekonstruktion und forensischen Analysen.

6.3. Berechnung der Fahrlinie

Die Validität der Berechnungen zu den Teilstrecken und Richtungen der Fahrlinie hängt stark von mehreren Faktoren ab, die bei der Verwendung von geografischen Koordinaten zur Distanzberechnung berücksichtigt werden müssen:

Abbildung 3: Darstellung der aufgezeichneten Fahrlinie in Google Earth

- **Annahmen in der Umrechnung:** Die Umrechnung von Breiten- und Längengraden in Metern basiert auf durchschnittlichen Werten für die Länge eines Grades an einem bestimmten Breitengrad. Diese Werte sind Annäherungen und können in verschiedenen geografischen Regionen variieren.[10]
- **Euklidische vs sphärische Geometrie:** Die Erde ist annähernd ein Sphäroid und wahre Distanzen auf der gekrümmten Oberfläche der Erde folgen nicht den Regeln der euklidischen Geometrie. Für kurze Distanzen ist der Unterschied zwischen der euklidischen und der sphärischen Distanz minimal, aber für längere oder präzisere Messungen sollten sphärische Distanzen berücksichtigt werden. Die Berechnungen basieren auf einer euklidischen Annäherung, was für kurze Distanzen oft ausreichend, jedoch nicht immer präzise ist.
- **Messungenauigkeiten und Datenqualität:** Die Genauigkeit der ursprünglichen Koordinaten und deren Messung spielt eine entscheidende Rolle. Ungenauigkeiten bei der Bestimmung der Koordinaten können durch viele Faktoren entstehen, einschließlich der Qualität des GPS-Systems, atmosphärischer Bedingungen oder sogar technischer Einschränkungen der verwendeten Geräte.
- **Anwendung des Satzes des *Pythagoras*:** Die Anwendung des Satzes des *Pythagoras* mit den gegebenen Koordinaten liefert abweichende Ergebnisse. Der *Pythagoras*-Satz wird in einer euklidischen Umgebung angewandt, was auf der Erdoberfläche nicht immer passend ist, besonders wenn die Distanzen größer werden oder eine hohe Präzision erforderlich ist.

Die durchgeführten Berechnungen sind nützlich für eine Abschätzung und visuelle Darstellung von Distanzen und Richtungen basierend auf geografischen Koordinaten.

6.4. Wegstrecke und Fahrverhalten

Die Darstellung der Fahrlinie in Google Earth ermöglicht es, den genauen Streckenverlauf nachzuvollziehen, einschließlich aller Abbiegungen, Kreuzungen und Richtungswechsel. Auffälligkeiten wie abrupte Kursänderungen oder Schlenker deuten auf besondere Ereignisse hin (etwa Ausweichmanöver oder Kontrollverluste). Mithilfe der Zeitstempel in den GPS-Daten kann die Geschwindigkeit entlang der Route berechnet werden.

6.5. Zeitlicher Ablauf

Die GPS-Daten geben präzise Auskunft über den zeitlichen Verlauf der Fahrt. Von der Start- und Endzeit bis hin zu Zwischenstopps lässt sich jede relevante Zeitspanne rekonstruieren. Besonders hilfreich ist dies, um die Dauer einzelner Fahrtabschnitte sowie das Eintreffen an einem bestimmten Ort zu bestimmen.

6.6. Ortsgenaue Positionen

Mit der geografischen Verortung durch Google Earth lassen sich spezifische Orte (wie der Unfallort oder ein Zwischenhalt) exakt lokalisieren. Darüber hinaus kann der Zusammenhang mit der Umgebung (wie Sichtverhältnisse oder Hindernisse) überprüft werden, was bei der Bewertung von Unfallursachen wertvoll ist.

6.7. Interpretation ungewöhnlicher Verhaltensmuster

Unerwartete Haltepunkte, abrupte Richtungswechsel oder plötzliche Geschwindigkeitsänderungen lassen Rückschlüsse auf außergewöhnliche Umstände zu. Solche Anomalien können auf Hindernisse, Fahrfehler oder technische Defekte hindeuten. Mithilfe der Umgebungskarten in Google Earth können mögliche Auslöser dieser Abweichungen geprüft werden.

6.8. Geschwindigkeit und Unfallwahrscheinlichkeit

Die Darstellung erlaubt die Berechnung der Geschwindigkeit entlang der Route. Diese kann genutzt werden, um festzustellen, ob Geschwindigkeitsbegrenzungen eingehalten wurden. Zudem zeigen Bremsvorgänge und Beschleunigungen Hinweise auf kritische Situationen, die zur Unfallentstehung beigetragen haben könnten.

Die Fahrliniendarstellung (zB in Google Earth) bietet umfassende Erkenntnisse zur Fahrt, indem sie präzise Daten zur Strecke, Geschwindigkeit, Position und zum Zeitablauf liefert. Diese Informationen ermöglichen es, das Geschehen detailliert zu rekonstruieren und mit weiteren Datenquellen abzugleichen, um Zusammenhänge und mögliche Unfallursachen besser zu verstehen.

7. Zusammenfassung und Ausblick

Die forensische Fahrlinienanalyse mittels GPS-Daten bietet wertvolle Einblicke in die Rekonstruktion von Verkehrsunfällen und anderen Vorfällen. Durch die Erfassung präziser Daten zu Position, Geschwindigkeit und Fahrverhalten lassen sich Bewegungsabläufe detailliert nachvollziehen und fundierte Schlussfolgerungen ziehen. Fahrradcomputer mit GPS-Funktion liefern dabei essenzielle Informationen, die durch moderne Analyse- und Visualisierungsmethoden (wie Glättung, Fehlerkorrektur und Kartendienste) aufbereitet werden können.

Die GPS-basierte Fahrlinienanalyse hat das Potenzial, die Arbeit von Sachverständigen und Ermittlungsbehörden maßgeblich zu unterstützen. Mit fortschreitender Technologie (wie der Integration mehrerer Satellitensysteme und intelligenter Datenverarbeitung) ist zu erwarten, dass Genauigkeit und Aussagekraft weiter steigen werden.

Anmerkungen:

1 Siehe https://developer.garmin.com/fit/protocol.

2 Siehe https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=GPS_Exchange_Format&oldid=245827014.

3 Siehe https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Keyhole_Markup_Language&oldid=249643432.

4 Einige moderne GPS-Fahrradcomputer unterstützen Multi-Band GNSS, was die Genauigkeit verbessern kann.

5 Siehe https://www.navigation-professionell.de/gps-glonass-gleichzeitig-nutzen-vorteile.

6 *Stählie/St. Keller*, Präzise Positionsbestimmung mit Low-Cost-GPS und Postprocessing (2013), online abrufbar unter https://eprints.ost.ch/id/eprint/270/1/TR-1301-IFS-HSR_v5.pdf.

7 Siehe https://www.salind-gps.de/gps-genauigkeit.

8 *Renfro/M. Stein/Reed/Villalba*, An Analysis of Global Positioning System Standard Positioning Service Performance for 2020 (2021), online abrufbar unter https://www.gps.gov/systems/gps/performance/2020-GPS-SPS-performance-analysis.pdf.

9 Siehe https://support.garmin.com/de-AT/?faq=s4w6kZmbmK0P6l20SgpW28&identifier=621238&tab=topics.

10 Gängige Programme verwenden eine allgemeine Konstante von etwa 111.320 m pro Grad für Breitengrade und 71.460 m pro Grad für Längengrade. Diese Annahmen können jedoch je nach geografischer Lage (zB näher am Äquator oder den Polen) ungenau sein.

Korrespondenz:
Ing. Mag. Horst Greifeneder, CIPP/E, CIPM, CIPT
FDS | Forensik Data Services
Tel.: 07242 / 777 15
E-Mail: office@fds.at