



Research Brief

Forschung an der POLIZEIAKADEMIE NIEDERSACHSEN

2025, # 7

Digitaler Zwilling als Schlüsseltechnologie für die Polizei: Eine kriminaltechnisch-forensische Perspektive

Dirk Volkmann, Sabine Schildein, Roman Povalej, Dirk Labudde

Abstract:

Die digitale Forensik steht vor der Herausforderung, komplexe, fragmentierte und volumetrische digitale Spuren so aufzubereiten und zu repräsentieren, damit sie für Ermittlungsbehörden, Gerichte und Sachverständige intuitiv erfassbar, valide und gerichtsfest sind. Dieser Artikel befasst sich mit dem Potenzial immersiver Technologien in Kombination mit Digitalen Zwillingen als Schlüsseltechnologie für die Evidenzrepräsentation im kriminaltechnischen Kontext. Demnach ermöglichen Digitale Zwillinge eine präzise, dynamische und interaktive Replika von Tatorten, Objekten und Prozessen, die physisch schwer zugänglich oder in ihrer Komplexität nur schwer darstellbar sind. Der Einsatz KI-gestützter Validierungs- und Mustererkennungsverfahren wird dabei als essenziell für die Gewährleistung der Integrität, Authentizität und Validität der präsentierten Beweismittel hervorgehoben. Hier unterstützen KI-Algorithmen nicht nur bei der Rekonstruktion und Visualisierung von Daten, sondern auch bei der Identifizierung subtiler Muster, Anomalien und Kausalzusammenhängen, die ggf. auch menschlichen Operatoren verborgen bleiben können. Das Ziel der Forschung besteht in der Schaffung eines Rahmens für die zukünftige Integration dieser Technologien in die kriminaltechnische Arbeit, um die Effizienz, Exaktheit und Potenzial forensischer Evidenzrepräsentationen maßgeblich zu optimieren.

Der Digitale Zwilling hat sich in den letzten Jahren als transformative Technologie in diversen Bereichen etabliert. Durch die virtuelle Abbildung realer Tatorte, Beweismittel oder sogar dynamischer Kriminalitätsverläufe ermöglichen Digitale Zwillinge als Schlüsseltechnologie eine verbesserte Ermittlungsarbeit, präzisere forensische Analysen und eine effizientere Ressourcenplanung. Anhand aktueller Forschungsergebnisse wird dargelegt, wie Digitale Zwillinge in der Kriminaltechnik eingesetzt werden können, etwa zur Rekonstruktion von Tatabläufen oder zur Vorhersage von Kriminalitätsmustern. Die Ergebnisse zeigen, dass die Digitalen Zwillinge das Potenzial haben, die kriminaltechnische forensische Arbeit zu revolutionieren, sofern eine sichere und rechtskonforme Implementierung gewährleistet wird.

Einführung

Die fortschreitende Digitalisierung aller Lebensbereiche generiert eine exponentiell wachsende Menge an digitalen Spuren, die für die polizeiliche Arbeit und somit für die Aufklärung von Straftaten von entscheidender Bedeutung sind. Während die Akquisition und Analyse dieser Spuren in der digitalen Forensik kontinuierlich verfeinert werden, stellt die anschließende Evidenzrepräsentation vor Gericht eine nicht minder kritische Herausforderung dar. Traditionelle Präsentationsformen wie statische Bilder, textbasierte Berichte und 2D-Diagramme reichen oft nicht mehr aus, um die inhärente Komplexität, die Multidimensionalität und die Dynamik digitaler Beweismittel adäquat zu vermitteln. Dies kann zu Missverständnissen, Fehlinterpretationen und einer Reduktion der Überzeugungskraft der forensischen Erkenntnisse führen. Immersive Technologien wie Virtual Reality, Augmented Reality oder Mixed Reality bieten hierbei das Potenzial, diese Limitationen zu überwinden, indem sie digitale Informationen in einem dreidimensionalen, interaktiven und kontextualisierten Raum erlebbar machen. In Kombination mit dem Digitalen Zwilling als virtuelle Replik eines physischen Objekts, Systems oder Prozesses eröffnen sich neue Möglichkeiten für die präzise Rekonstruktion und überzeugende Repräsentation komplexer forensischer Sachverhalte.

Vorgehen

Das Vorgehen innerhalb unserer aktuellen zielführenden Forschung zum Thema basiert auf der methodischen Analyse und Synthese relevanter Informationen: Zunächst wurde eine eindeutige *Definition und Kontextualisierung* des Digitalen Zwillings im forensischen Kontext erarbeitet und seine Relevanz für die polizeiliche Ermittlungsarbeit herausgestellt. Anschließend erfolgte eine systematische *Identifikation und Kategorisierung* der primären Anwendungsbereiche, in denen Digitale Zwillinge einen signifikanten Mehrwert für die kriminaltechnisch-forensische Arbeit bieten können. Danach wurde eine *Analyse des aktuellen Stands* der forensischen Praxis für jedes Anwendungsfeld beleuchtet, um die Limitierungen und die Notwendigkeit neuer Ansätze aufzuzeigen. Dann wurde eine *Konzeption des Digitalen Zwillings-Ansatzes* erstellt, indem detailliert beschrieben wurde, wie Digitale Zwillinge in den jeweiligen Anwendungsfeldern eingesetzt werden können, welche Datenquellen integriert werden und welche speziellen Funktionalitäten sie bieten. Ein zentraler Schwerpunkt lag auf der detaillierten Ausarbeitung, inwieweit KI-gestützte Validierung und Mustererkennung in jedem Anwendungsfeld die Analysefähigkeiten des Digitalen Zwillings erweitern und verbessern können, z.B. Plausibilitäts- und Kausalitätsprüfungen, Anomalieerkennung und Korrelationen von Ereignissen. Abschließend wird eine Bewertung von potenziellen Vorteilen sowie von bestehenden Herausforderungen und Limitationen des Einsatzes Digitaler Zwillinge und KI in der Forensik kritisch evaluiert.

Empirie und Ergebnisse

Obwohl der umfassende Einsatz Digitaler Zwillinge in der Polizeiforensik noch in den Anfängen steckt, untermauern vielversprechende Pilotprojekte die theoretischen und praktischen Konstrukte. Empirische Belege für das Potenzial Digitaler Zwillinge und KI in der Forensik entstammen aus diversen Sektoren:

- **3D-Scans** bei Tatortuntersuchungen: Zahlreiche Polizeibehörden nutzen bereits 3D-Laserscanner für hochpräzise Tatortdokumentationen. Die bisherigen Forschungsergebnisse zeigten auf, dass die mittels traditioneller Methoden generierten Punktwolken und Modelle als Basisdaten für Digitale Zwillinge dienen sollten, um nachweislich detailliertere Dokumentationen und Rekonstruktionen ermöglichen zu können –

s. Ergebnisse der Kooperationsvereinbarung der PA Niedersachsen mit der PD Lüneburg zu den Potenzialen von Digitalen Zwillingen bei der Bewältigung von BAO-Lagen und Tatortuntersuchungen.

- *Photogrammetrie* bei Tatort-/Verkehrsunfalluntersuchungen: Der Einsatz von Multicoptern zur Dokumentation und Rekonstruktion von Tatorten gewinnt bei Polizeibehörden immens an Bedeutung. Im Rahmen des Forschungsprojektes – Zusammenarbeit mit der UAV-Truppe der ZPD – konnten wesentliche Optimierungen durch die anforderungsorientierte Anpassung der Aufnahmetechniken und Flugroutenplanung zur Verbesserung der Bilddatenqualität und -quantität generiert werden, nicht zuletzt durch den unterstützten Einsatz einer RTK-GNSS-Basisstation für die Erhebung georeferenzierter Befliegungsdaten mit nur noch zu erwartender Ungenauigkeit im Bereich weniger Zentimeter.
- *Fahrzeugdatenauslesung* als ganzheitlicher Ansatz: Die Datenabfrage von EDR oder CDR in modernen Fahrzeugen liefert heute schon unschätzbare Informationen bezüglich Geschwindigkeit, Bremsverhalten und Aufprallenergie. Das Forschungsprojekt konnte zeigen, dass die digitalen Daten und Informationen aus Fahrzeugen essenziell für die Erstellung eines Digitalen Zwillings der Unfallsequenz sein können: über die Bestätigung einer hohen Korrelation zwischen EDR-Daten und physischen Schäden hinaus konnten durch die Implementierung unfallrelevanter Person-IoT-Daten sowie topografischer Informationen in einen Digitalen Zwilling neue forensische Perspektiven und Potenziale eröffnet werden, die einen interdisziplinären Ansatz ermöglichen, bspw. zur Prüfung von Kausalitäten und Plausibilitäten hinsichtlich möglicher Wahrnehmungs- bzw. Beobachtungsfehler durch Unfallbeteiligte oder Zeug*innen. Als Basis diente dabei eine videografische Aufzeichnung einer PKW-Dash-Cam, die auf die Millisekunde in einem Digitalen Zwilling mittels VR-Technik unter Implementierung sämtlicher forensischer Spuren georeferenziert repräsentiert wurde. Die Ergebnisse fanden Eingang in die Anforderungsbeschreibung des LKA, Abteilung AIT, zur car-forensischen Analyse.
- *Smart Home* und *IoT-Forensik*: Die Analyse digitaler Daten aus Smart Speakern, Smart Metern oder Fitness Trackern stellt ein wachsendes Feld dar. Fallstudien illustrieren die mögliche Nutzung von Zeitstempeln von Geräteprotokollen und Bewegungsmeldern zur Rekonstruktion von Anwesenheit und Aktivitäten. Die Herausforderung liegt hier insbesondere in der Fragmentierung und der präprietären Natur digitaler Daten und Informationen. Genau hier setzte das Forschungsprojekt an und zeigte das Potenzial des Digitalen Zwillings auf. Die essenziellen Ergebnisse der hiesigen Forschung zur Digitalen Zwillingstechnologie mündeten in der LEG „Digitale Tatortarbeit / IoT“ und in der initiierten Pilotstudie zu „Digitale Tatortarbeit“.
- *KI in der Mustererkennung*: Im Bereich der Bildforensik und Spurenanalyse werden KI-Algorithmen bereits erfolgreich zur Erkennung von Fingerabdrücken, Gesichtsmustern oder der Klassifizierung von Blutspuren eingesetzt. Diese bestehenden KI-Anwendungen bilden eine robuste Basis für die Integration in umfassendere digitale Zwillingsmodelle zur validierten Mustererkennung. Hierin liegt der aktuelle Forschungsschwerpunkt.

Die Ergebnisse der Pilotprojekte und der hiesigen Forschung verdeutlichen, dass die Integration der Digitalen Zwillingstechnologie folgendes Potenzial bietet:

- Erhöhte Rekonstruktionspräzision: Digitale Zwillinge ermöglichen eine nahezu millimetergenaue Abbildung und Analyse.
- Verbesserte Datenfusion: Disparate Datenquellen (z.B. 3D-Scans, Sensordaten, physische Spuren) können kohärent in ein einziges, einheitliches Modell integriert werden.
- Effizientere Hypothesenprüfung: Durch Simulationen im digitalen Raum können verschiedene Szenarien hinsichtlich ihrer Kausalität und Plausibilität i. S. v. Nullhypothesenüberprüfung effektiv und ohne Gefährdung physischer Beweismittel getestet und überprüft werden.

- Objektivierung der Beweismittel: Die KI-gestützte Validierung mindert subjektive Interpretationen und erhöht dadurch die Beweiskraft bzw. -erheblichkeit in Gerichtsverfahren.

Implikationen

Die Konvergenz von immersiven Technologien, Digitalen Zwillingen und KI-gestützter Validierung und Mustererkennung stellt eine der vielversprechendsten Entwicklungen in der modernen kriminaltechnischen Forensik dar. Diese Technologien bieten das Potenzial, die Art und Weise, wie forensische Evidenz gesammelt, analysiert und repräsentiert wird, fundamental zu transformieren, indem sie eine transparentere, verständlichere und überzeugendere Darstellung komplexer Sachverhalte ermöglichen.

Um dieses Potenzial voll auszuschöpfen und die Akzeptanz im rechtsstaatlichen Kontext zu gewährleisten, sind noch weitere umfassende Forschungsanstrengungen erforderlich. Diese müssen sich auf die Entwicklung von validierten Methodologien, die Etablierung von Standards für Dateninteroperabilität, die Weiterentwicklung von XAI-Ansätzen für die forensische Validierung und die Adressierung ethischer sowie psychologischer Implikationen konzentrieren. Die Zukunft der forensischen Evidenzrepräsentation wird zunehmend immersiv sein. Forensiker, Juristen und KI-Forscher müssen noch intensiver zusammenarbeiten, um einen Rahmen zu schaffen, der die Vorteile dieser Technologien nutzt, während gleichzeitig die fundamentalen Prinzipien der wissenschaftlichen Validität, Objektivität und der Rechtssicherheit gewahrt bleiben. Die immersive technologiebasierte Evidenzrepräsentation von Digitalen Zwillingen, abgesichert durch KI-gestützte Validierung, ist zweifellos eine Schlüsseltechnologie auf dem Weg zu einer effektiveren und gerechteren Rechtspflege im digitalen Zeitalter.

Literatur

- Volkmann, D.; Schildein, S.; Povalej, R. (2024): Digitaler Zwilling – Potenziale für Polizei. In: Honekamp, W.; Labudde, D. (Hrsg.) Polizei-Informatik 2024, Rediroma Verlag, Remscheid, S. 30-45.
- Volkmann, D.; Schildein, S.; Povalej, R. (2023): Smart City/Smart People – mit Digital Twins dem Täter auf der Spur. In: Honekamp, W.; Fähndrich, J. (Hrsg.), Rediroma Verlag, Remscheid, S. 37-50.



POLIZEIAKADEMIE
NIEDERSACHSEN



IKriS

Institut für
Kriminalitäts- und
Sicherheitsforschung

Management und Redaktion:

Dr. Sybille Reinke de Buitrago

sybille.reinke-de-buitrago@polizei.niedersachsen.de

IKriS – Institut für Kriminalitäts- und Sicherheitsforschung

Polizeiakademie Niedersachsen

Bürgermeister-Stahn-Wall 9

31582 Nienburg/Weser

Tel.: (+49) 05021 844-1880

ikris@pa.polizei.niedersachsen.de

Dirk Volkmann, Dipl.-Geol. und M. Sc. Umweltschutz, Doktorand an der Uni Bremen ist Dozent an der Polizeiakademie Niedersachsen im Studienggebiet Kriminalwissenschaften. Forschung zu Digitalen Zwillingen und KI-gestützter Validierung und Mustererkennung zur Enhancement kriminalpolizeilicher Ermittlungsprozesse.

dirk.volkmann@polizei.niedersachsen.de

Prof. 'in a.d. PA, Dr. Sabine Schildein, Polizeiakademie Niedersachsen

Prof. a.d. PA, Dr. Roman Povalej, Polizeiakademie Niedersachsen

Prof. Dr. Dirk Labudde, Hochschule Mittweida

Der Beitrag gibt die Auffassung der Autor*innen wieder.