

Indiziensuche im Labor

Physik in der Kriminaltechnik

Patrick Voss-de Haan, Horst Katterwe und Ulrich Simmross

Anfangs war die Kriminaltechnik fast ein Nebenprodukt von Physik, Chemie und Biologie. Inzwischen hat sie sich aber zu einem eigenen Anwendungs- und Forschungsgebiet entwickelt, das eine einzigartige Synthese der verschiedensten Disziplinen darstellt. Von den Natur- und Ingenieurwissenschaften bis hin zu den empirischen Wissenschaften, wie dem Schriftvergleich oder der Sprechererkennung, ist alles in der Kriminaltechnik zu finden. Auch tauchen in ihrer Welt viele bekannte Methoden und Werkzeuge der Physik wieder auf, die allerdings den Bedürfnissen der Strafverfolgung oder -vorbeugung angepasst wurden. Die Aufgaben der Kriminaltechniker umfassen dabei die alltäglichen Fälle genauso wie spektakuläre Morde oder Verbrechen mit terroristischem Hintergrund.

Agatha Christie ließ Hercule Poirot ihren „Mord auf dem Nil“ durch einen kriminaltechnischen Bluff lösen: Nachdem alles andere versagt hatte, erhielt er schließlich das gewünschte Geständnis, indem er androhte, die Hände des Verdächtigen durch einen Paraffin-Test zu untersuchen und so das Abfeuern der Waffe nachzuweisen. Poirots Bluff bestand aber keineswegs darin, dass eine solche Untersuchung damals technisch unmöglich gewesen wäre. Er hatte nur nicht die nötigen Materialien bei sich auf dem Schiff. In der Realität gestaltet sich die Lösung der Fälle leider meist etwas schwieriger, und statt genialer Tricks ist vielmehr Kleinarbeit für solide Beweisketten gefragt, da eben nicht nur wissenschaftlich präzise, sondern auch juristisch unanfechtbar gearbeitet werden muss.

Allgemein befasst sich die Kriminaltechnik im Rahmen der Kriminalitätsbekämpfung mit der Untersuchung von sichergestellten Spuren durch wissenschaftliche und technische Methoden zur Verbrechensaufklärung und gerichtlichen Verwertung. Sie wird oft auch als „forensische Wissenschaft“ bezeichnet¹⁾. Die Arbeitsgebiete der Kriminaltechnik umfassen zum einen die Natur- und Ingenieurwissenschaften, von Physik, Chemie und Biologie bis zu Elektronik, Werkstofftechnik und Informatik, aber zum anderen auch die empirischen Wissenschaften, wie Linguistik, Phonetik und Psychologie. Denn neben der Analyse materieller Spuren (z. B. bei Fasern, Projektilen, Rauschgiften oder bei der DNA-Analyse von Human- und Tierspuren) und geschützter oder manipulierter Datenträger

gehören zu den Aufgaben auch die Prüfung von Handschrift, Sprache, Stimme und Text (etwa bei Erpressungen).

Die konkreten Pflichten der kriminaltechnischen Abteilungen der Landeskriminalämter und des Bundeskriminalamtes (BKA) beinhalten dabei fallbezogene Untersuchungen und Gutachten, von denen der Löwenanteil in Deutschland von den Ländern geleistet wird, üblicherweise auf Antrag von Gerichten, Staatsanwaltschaften und Polizeidienststellen. Demgegenüber übernimmt das BKA großflächig Verantwortung für den Aufbau und die Pflege von Sammlungen (z. B. Waffen oder Lacke für Vergleichsuntersuchungen), für Forschung und Entwicklung, Beratung und Gremienarbeit (etwa im Rahmen der Prävention und internationaler Zusammenarbeit).

Eine Besonderheit der Kriminaltechnik besteht darin, dass sie wie kaum ein anderes Arbeitsgebiet verschiedenste Wissenschaftstypen verknüpft: An Bodenproben werden oft sowohl physikalische, chemische als auch biologische Analysen vorgenommen und bei der Untersuchung von Tonbandaufnahmen können Kenntnisse in Akustik und Elektronik genauso gefragt sein wie das geschulte Hörvermögen des Sprecherkenners. Und so taucht die Physik selten völlig unabhängig von anderen Disziplinen auf.

Verräterische Vergleiche

Die wohl bekanntesten Untersuchungsobjekte der Kriminaltechnik sind Schusswaffen und Munition. Während sich die in Filmen meistens zitierte Ballistik primär mit der Flugbahn des Projektils beschäftigt, spricht man allgemeiner von Schusswaffentechnik, Schusswaffenspuren und Schussspuren. Die Frage, die sich Poirot stellte, ob der Verdächtige überhaupt eine Waffe abgefeuert hat, ist hier ein Aspekt von vielen. Vor Gericht kann es z. B. für das Strafmaß wichtig sein, ob ein Schusswaffenangriff nur verletzen oder sogar hätte töten können. Zu den Aufgaben gehören auch die Rekonstruktion des Tatgeschehens oder Untersuchungen darüber, welche Auswirkungen verschiedene Arten von Munition in organischem Gewebe hinterlassen. Auf eine der häufigsten Fragen – ob mit der sichergestellten Waffe auch die Tat verübt wurde –



Auch Hercule Poirot (hier: David Suchet) verließ sich bei der Aufklärung eines Falls nicht ausschließlich auf seine „kleinen grauen Zellen“.

¹⁾ englisch: forensic sciences, abgeleitet vom lateinischen „forum“ für den Marktplatz, auf dem die Gerichtsverhandlungen stattfanden.

Dr. Patrick Voss-de Haan, Dr. Horst Katterwe, Dr. Ulrich Simmross, Bundeskriminalamt, Postfach 1820, 65173 Wiesbaden, E-Mail: Patrick.VossdeHaan@bka.bund.de

geben oft die am Tatort gefundenen Geschosse oder Hülsen eine Antwort: Schlagbolzen und Lauf einer Waffe hinterlassen charakteristische Spuren an Kugel und Patronenhülse.

Der schon seit vielen Jahrzehnten übliche lichtmikroskopische Vergleich der gefundenen Spuren mit denen eines Probeschusses (gleichzeitige Betrachtung beider Geschosse) ist allerdings nicht immer eindeutig. Eine zweifelsfreie Zuordnung im Lichtmikroskop kann oft schwierig oder sogar unmöglich sein. Das Rasterelektronenmikroskop (REM) bietet mit seiner wesentlich stärkeren Vergrößerung und höheren Tiefenschärfe hier zwar einen bedeutenden Vorteil, aber der Vergleich zweier Objekte auf identische Oberflächenspurten ist schwierig, weil beide Objekte nur nacheinander unter fast identischen Bedingungen betrachtet werden können („Licht“einfall, Schattenwurf, Kontrastverhält-

nisse etc.). Das im BKA in Zusammenarbeit mit der Industrie entwickelte Vergleichs-REM erlaubt es jedoch, zwei Proben gleichzeitig unter identischen Bedingungen zu betrachten und direkt am Schirm Bildausschnitte zu vergleichen. Dabei können die Objekte so bewegt und betrachtet werden, bis sich eine Übereinstimmung nachweisen oder ausschließen lässt.

Aus Sicht des Physikers noch interessanter ist aber die Möglichkeit, mit dem Vergleichs-REM auch Bruchflächen von Metall-, Glas- und Kunststoffstücken zu untersuchen. Dass zwei Bruchstücke, die z. B. am Tatort bzw. beim Verdächtigen gefunden wurden, tatsächlich zusammen gehören, lässt sich oft zwar mit dem Auge oder dem optischen Mikroskop abschätzen, aber wegen möglicher zufälliger Ähnlichkeiten zwischen Bruchstellen mit ausreichender Sicherheit nur mit dem Vergleichs-REM nachweisen. Die Übereinstimmung mikroskopischer Strukturen (Pass-Spuren) wie Wabenmuster an der Bruchfläche beider Stücke ist als überzeugender Beweis kaum zu übertreffen (Abb. 1).

Ein wesentlicher Vorteil dieser sehr anschaulichen Nachweise mit dem Vergleichs-REM ist die Nachvollziehbarkeit für den naturwissenschaftlichen Laien. Vor Gericht müssen vor allem Beteiligte überzeugt werden, die nicht auf dieselbe naturwissenschaftliche Ausbildung und Erfahrung zurück greifen können wie ein Physiker. Hier sind Bilder allen Texten und Formeln weit überlegen. Überhaupt ist der Kriminaltechniker in der forensischen Physik auch ganz anderen Anforderungen ausgesetzt als etwa in der universitären Forschung: Eine wissenschaftlich einwandfreie Argumentation kann vor Gericht versagen, wenn sie nicht auch verständlich und überzeugend vermittelt wird.

Die Schmauchspuren nach dem Schuss

Der von Agatha Christie in ihrem Roman erwähnte Paraffin-Test kann ein ausgesprochen überzeugender Beweis sein. Inzwischen ist er aber einer moderneren Methode gewichen, obwohl das Prinzip erhalten blieb: Beim Abfeuern einer Schusswaffe setzen sich mikroskopisch kleine Partikel des Pulvergemischs auf der Haut fest, so genannte Schmauchpartikel oder *gunshot residues* (GSR) (Abb. 2). Den Nachweis für das Abfeuern einer Waffe kann man inzwischen mit nur einem Dutzend nachgewiesener Partikel erbringen, und anhand der Morphologie der Partikel und ihrer chemischen Zusammensetzung lassen sich z. T. sogar Rückschlüsse auf die Munition und damit indirekt auch auf die Waffe ziehen.

Statt wie früher mit einem Paraffingemisch nimmt man aber heute eine Probe der auf der Hand des Verdächtigen anhaftenden Partikel mit einem Klebestreifen von der Haut ab. In einem dafür ausgerüsteten Rasterelektronenmikroskop mit EDX (s. Glossar) lassen sich die Schmauchpartikel auf dem Klebefilm dann entweder langwierig von Hand oder aber auch automatisiert mit einer entsprechenden Software detektieren und identifizieren. Bei der automatischen Analyse wird die Probe in einem Raster abgesucht und die Größe und Zusammensetzung aller Teilchen im Bereich von etwa 1 bis 10 μm in den einzelnen Sektoren gemessen. Durch den Vergleich mit typischen Größen und Elementanteilen, z. B. Blei, Barium und Antimon bei konventioneller Munition, lassen sich die Schmauchpartikel bereits mit großer Zuverlässigkeit detektieren und von anderen Teilchen wie Metallstaub unterscheiden. Bei jedem erkannten Teilchen ist dann für die Ge-

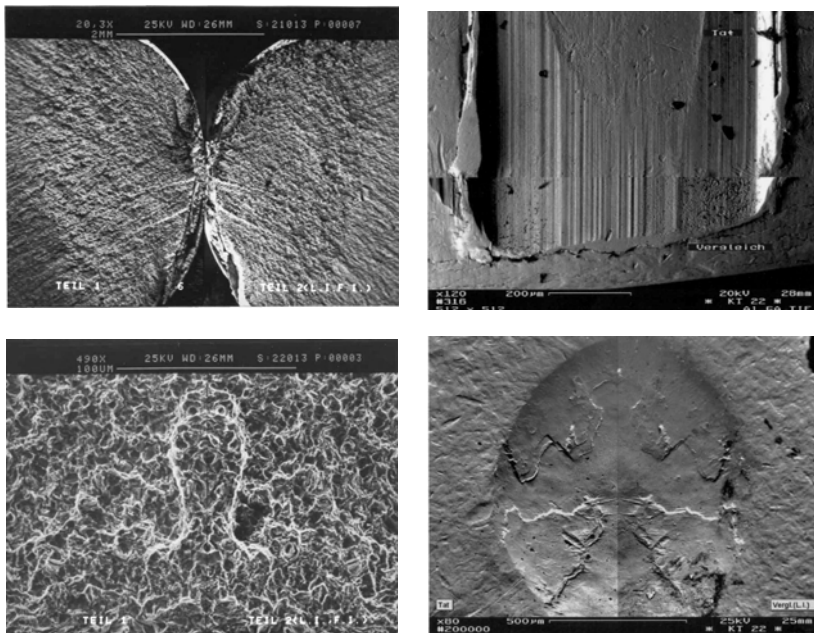


Abb. 1:
 ► links: Vergleichs-REM-Aufnahmen zweier zusammen gehörender Bruchflächen eines Schraubendrehers. Die Aufnahmen zeigen in unterschiedlicher Vergrößerung jeweils links Splitter vom Tatort und rechts einen Schraubendreher, der bei einem Tatverdächtigen gesichert wurde.

► rechts: Vergleichs-REM-Aufnahmen an Munition. Durch den Zug im Lauf derselben Waffe verursachte Spuren auf zwei Geschossen (Feldeindruckspuren oben) sowie durch den Schlagbolzen derselben Waffe erzeugte Abdrücke auf zwei Patronenhülsen (unten).

Glossar

- **RFA**
 Röntgen-Fluoreszenz-Analyse, eine Form der Röntgenspektroskopie, bei der Probenatome durch die Bestrahlung mit Photonen, Elektronen oder Protonen zur Emission von charakteristischer Röntgenstrahlung angeregt werden.
- **EDX**
 Die Energy Dispersive X-ray Spectroscopy ist eine Form der RFA, bei der die Energie der emittierten Röntgenstrahlung gemessen wird (im Gegensatz etwa zum wellenlängenselektiven Nachweis). EDX, ein typisches Werkzeug im REM, erlaubt eine unaufwändige Messung, eine computergestützte

- Analyse der Spektren und damit eine schnelle Ermittlung der Elementzusammensetzung der Probe.
- **Magneto-optische Effekte**
 Der *Faraday-Effekt* beruht darauf, dass ein Magnetfeld die Energieniveaus in einem Medium aufspaltet. Die neuen Niveaus absorbieren links- bzw. rechtszirkular polarisiertes transmittiertes Licht; für linearpolariertes Licht kommt es hingegen zu einer Polarisationsdrehung, die proportional zur Magnetfeldstärke, der durchlaufenen Weglänge und einer materialabhängigen Konstante ist. Der magneto-optische *Kerr-Effekt* hat eine ähnliche Wirkung, tritt aber bei der Reflexion von polarisiertem Licht auf.

richtsverwendbarkeit zwar noch die Bestätigung durch den Fachmann nötig, aber das zeitraubende Durchsuchen des gesamten Klebefilms wird dem Spezialisten erspart – eine sehr wertvolle Hilfe bei 500 und mehr dieser Untersuchungen pro Jahr allein im BKA.

Obwohl diese Methode bereits weltweit verbreitet und standardmäßig im Einsatz ist, können die vielen Randbedingungen bei Abnahme und Überprüfung der Partikel immer wieder zu Problemen führen. Die manuelle Bestätigung durch den Experten schließt zwar weitestgehend aus, dass etwa einfache Metallteilchen fälschlich als Schmauchpartikel identifiziert werden. Aber echte Teilchen könnten aufgrund fehlerhafter Geräteeinstellung z. B. bei der Rasterung durchaus zweimal oder aber gar nicht vom System als Treffer erkannt werden. Der Doppeltreffer kann dem Fachmann auffallen; aber das unerkannte Teilchen bleibt mit Sicherheit unentdeckt. Die Qualität der Vorauswahl der Schmauchpartikel ist also für das Endergebnis von großer Bedeutung, gerade da es im gerichtlichen Beweis ganz wesentlich auf die Anzahl der sicher nachgewiesenen Schmauchpartikel ankommen kann. Lange Zeit gab es aber nur sehr eingeschränkte Möglichkeiten, diese Qualität zu messen, d. h. die Systeme zu kalibrieren.

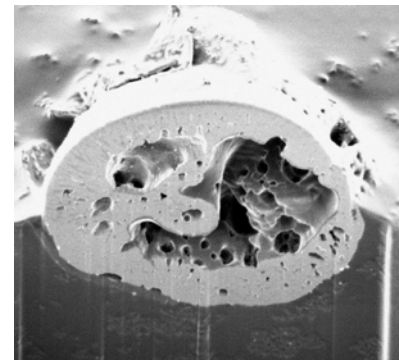
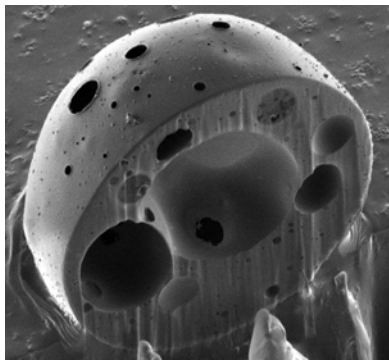
Um ein zuverlässiges Qualitätsmanagement zu gewährleisten, wurden daher im BKA erstmals spezielle Referenzproben entwickelt. Mit einem fotolithografischen Lift-off-Prozess gelang es nun vor zwei Jahren, Proben mit definierter Teilchenzahl, Größenverteilung und chemischer Zusammensetzung in guter Qualität und Reproduzierbarkeit herzustellen. Außer Schmauchpartikeln sind auf den neuen Probenträgern auch künstliche Verunreinigungen, z. B. Kupfer- und Eisen-Partikel, enthalten. So lässt sich mit diesen Proben die Genauigkeit und die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse des automatisierten Teils der GSR-Analyse hinsichtlich Fehler 1. und 2. Art überprüfen.

Hierauf aufbauend wurde dann auch ein Ringversuch entwickelt und durchgeführt, der es erlaubt, den automatisierten Teil des Prozesses einheitlich zu beurteilen. Blind-Proben wurden an 48 teilnehmende kriminaltechnische Labore in Europa und Amerika verteilt. Von über 40 Teilnehmern wurden auswertbare Ergebnisse zurückgeschickt und im BKA überprüft.

Anhand der Abweichungen der gefundenen von den tatsächlich vorhandenen 43 künstlichen Schmauchpartikeln auf jeder Probe (Ort, Größe und Zusammensetzung waren jeweils bekannt) gelang es, eine Reihe von möglichen systematischen Fehlerquellen zu identifizieren. Wie vermutet, werden Partikel zum Teil doppelt bzw. gar nicht erkannt. Außerdem kann es aber auch zu einer schleichenden Verschlechterung des BSE-Detektors (back-scattered electrons) im REM kommen, sodass kleinere GSR-Partikel mit geringen Mengen schwerer Elemente u. U. nicht erkannt werden. Die Lücken und besonders das Detektor-Problem sind im normalen Betrieb fast nicht zu erkennen, haben aber wesentliche Bedeutung für die Qualität der Analyse. Aufgrund der Ergebnisse des Ringversuchs konnten Labore ihre Apparaturen nun verbessern oder haben sogar neue Systeme angeschafft.

Dieses System lässt sich z. B. auch in der Automobilindustrie mit einer modifizierten Software einsetzen, um bei der Produktion von Bauteilen der Common-Rail-Technik Verunreinigungen und ihre Quellen zu identifizieren, die die Leistung des Motors herabsetzen oder das System schädigen können.

Derzeit arbeitet man daran, bei der GSR-Analyse neben der chemischen Zusammensetzung und der äußeren Morphologie auch die innere Morphologie von Schmauchpartikeln zu untersuchen, indem sie z. B. mit einem fokussierten Ionenstrahl (focused ion beam, FIB) „aufgeschnitten“ werden. Auf diese Weise lassen sich bei der REM-Untersuchung noch exaktere Aussagen machen – z. B. sogar über den Hersteller der verwendeten Munition – und auch neuere Munitionen besser identifizieren, in denen die Schwermetalle inzwischen zum Teil ersetzt wurden.



Werkzeuge und Automatisierung

Das REM in seinen verschiedensten Formen ist zu einem der wichtigsten Werkzeuge der Kriminaltechnik geworden, da es die mit optischen Mikroskopen nicht mehr zugänglichen, aber inzwischen oft ausschlaggebenden Bereiche erschließt. Aber nicht nur die Anforderungen an die Leistungsfähigkeit der Kriminaltechnik sind gewachsen, sondern auch die Anzahl der Aufträge hat zugenommen, da die Gerichte durch die gestiegene Leistungsfähigkeit immer mehr Aspekte durch – im Vergleich zu Zeugenaussagen – objektive Sachbeweise klären können.

Dadurch ergibt sich auch die Notwendigkeit, immer mehr kriminaltechnische Untersuchungen durch Automatisierung zu unterstützen, die sonst nicht standardisiert und schnell genug geleistet werden könnten. Denn weder bei der Aufklärung einer Tat noch bei der Durchführung eines Prozesses ist es akzeptabel, eine solche Aufgabe einstweilen beiseite zu legen, um sie später zu erledigen. Während ein verzögertes Ergebnis eines Forschungsprojekts ärgerlich ist, aber für die Allgemeinheit nicht mehr als einen Zeitverlust bedeutet, kann ein verspätetes Ergebnis in der Strafverfolgung, etwa von einer GSR-Analyse, die gesamte Untersuchung an sich völlig wertlos machen.

Ein äußerst wichtiges Problem – und vielleicht von noch universellerer Bedeutung als der Nachweis des Abfeuerns einer Waffe – ist der Beweis der Anwesenheit des Verdächtigen am Tatort z. B. durch Faserspuren vom Tatort an der Kleidung des Verdächtigen oder umgekehrt. Um auch hier die große Zahl von anfallenden Spuren in angemessener Zeit untersuchen zu können, sind Fasersuchsysteme entwickelt worden, die für die spätere, gezielte Untersuchung durch den Spezialisten die Fasern bereits lokalisieren.

Unkenntliche Zeichen erscheinen wieder

Während Fasern aber eher zufällig unter anderen versteckt sind, gibt es ganz andere Spuren, die gezielt verwischt wurden und wieder zum Vorschein gebracht werden müssen. Selbst Informationen, die oberfläch-

Abb. 2: Schmauchpartikel aus dem Zündsatz von Munition der Firma Dynamit Nobel AG: Die konventionelle Munition (Fabrikat Geco) enthält Blei, Antimon und Barium und zeigt eine charakteristische „Schweizerkäse-Struktur“ (links). Die neuartige Munition (Fabrikat Sintox), in deren Schmauchpartikeln sich Titan und Zink nachweisen lassen, hat eine „Schwamm-Struktur“ (rechts).

1) Abtragung von Material durch Kavitation (Hohlraumbildung). In schnell strömenden Flüssigkeiten, in denen der Druck lokal ausreichend weit absinkt, können sich spontan Dampfblasen bilden (in Wasser z. B. schon ab 14 m/s). Steigt der Druck dort wieder an, implodieren die Blasen, wobei dann der Druck lokal auf mehrere tausend Bar steigen kann.

2) Elektromagnetisches Prüfverfahren für Materialunregelmäßigkeiten (spez. Beschädigungen) in Metallen. Magnetfelder, die im Material parallel zur Oberfläche verlaufen, treten an Beschädigungen, wie z. B. Rissen, verstärkt aus dem Material aus (Streufluss) und lassen sich an der Oberfläche mit hoher Empfindlichkeit messen.

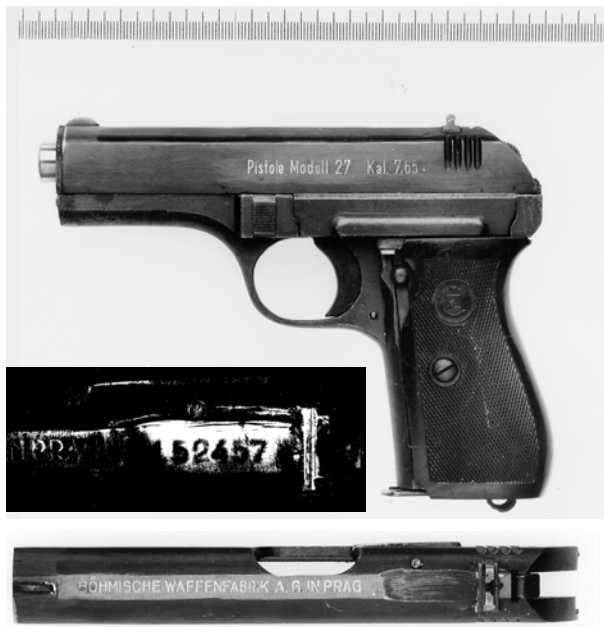
lich betrachtet völlig verloren scheinen, können oft rekonstruiert werden. Zur Aufklärung des „Mord im Orient-Express“ ließ Agatha Christie ihren Hercule Poirot wieder einmal in die kriminaltechnische Trickkiste greifen: Um die Schrift auf einem verbrannten Stück Papier doch noch entziffern zu können, erhitze er es vorsichtig, sodass der entscheidende Hinweis sichtbar wurde, bevor der Zettel völlig verbrannte. Die Wiedersichtbarmachung von Zeichen ist tatsächlich auch in der realen Kriminaltechnik eine wichtige Aufgabe, wenn auch in etwas anderer Form.

Die häufigsten Untersuchungsobjekte sind Waffen, deren Nummern unkenntlich gemacht wurden, um die Zurückverfolgung zu verhindern, und gestohlene Kraftfahrzeuge, deren Nummern ersetzt wurden, um ihnen eine neue „Identität“ zu geben. Je nach Art der Aufbringung der Zeichen und Ziffern (von der Hammerprägung bis zur Laserbeschriftung) und der Art ihrer Zerstörung (fräsen, schleifen, verschlagen, mit Lot ausgießen etc.) sind unterschiedliche Methoden zur Rekonstruktion in Metallen geeignet. Im Wesentlichen beruhen sie aber alle auf dem Prinzip, dass beim Anbringen der Zeichen, z. B. durch Prägen, die Information nicht nur im sichtbaren Teil des Werkstücks vorhanden ist. Denn selbst wenn die oberste Schicht des Metalls abgefräst oder abgefeilt wurde, bis kein Zeichen mehr zu sehen ist, so ist unter diesem Bereich immer

noch eine plastische Verformung des Metalls vorhanden. Durch Ätzen oder Kavitationserosion¹⁾ wird die Oberfläche im verformten Bereich stärker abgetragen, sodass entfernte Zeichen wieder sichtbar werden (Abb. 3); Härtmessungen können die plastische Verformung auch direkt nachweisen; Anisotropien, die durch die Verformung auftreten, lassen sich durch Röntgenbeugung lokalisieren; magnetische Streuflussverfahren²⁾ identifizieren Störbereiche, die wegen der Verformung eine erhöhte Anzahl von Gitterfehlern aufweisen; und Erwärmen des Metalls schließlich führt zur Kristallerholung und zur Rekristallisation, d. h. der Prägeprozess wird umgekehrt und die Zeichen wölben sich aus dem Metall heraus.

Zwar verhalten sich Polymere in vielerlei Hinsicht anders als Metallgitter. Aber auch in Kunststoffen, die oft durch Wärmeprägungen gekennzeichnet werden, steckt die Information nicht nur im sichtbaren Bereich der Materialveränderung. Bei der Prägung werden die Polymere auch in tieferen Bereichen aus ihrem geknäulten Zustand in eine gestrecktere – also geordnetere – Anordnung gebracht. Erlaubt man ihnen, nachdem die sichtbaren Zeichen mit den oberen Schichten abgetragen wurden, sich wieder zu entspannen, z. B. durch Aufquellen mit Lösungsmitteln, dann können sie ihre alte Anordnung – genauer gesagt: Unordnung – wieder einnehmen. Bei den Kunststoffen spielt aber für die Wiedersichtbarmachung im Gegensatz zur Energie-Elastizität der Metalle vielmehr die „eingefrorene“ Entropie-Elastizität die entscheidende Rolle. Um diese Art von Memory-Effekt zu nutzen, setzt man statt des Aufquellens auch Reliefpoliermethoden und inzwischen vor allem Wärmezufuhrverfahren ein. Sie aktivieren die Entropie-Kräfte thermisch und kommen ohne gesundheitsschädliche Lösungsmittel aus.

Abb. 3: Wiederhergestellte Zeichen auf Metall: Auf dieser Waffe wurde die oben auf der Pistole, neben dem noch lesbaren Herstellernamen angebrachte Nummer entfernt (unten). Nach der Rekonstruktion durch chemisches Ätzen (Meyer-Eichholz-Ätzverfahren) ist die Nummer wieder zu erkennen (Mitte).



Fahndung mit Fotokopien

Zwar fallen Kriminaltechnikern selten so ungewöhnliche Dokumente wie die Franz-Josef-Land-Urkunde in die Hände, die der Polarforscher Arved Fuchs auf einer seiner Expeditionen entdeckte und deren Schrift im BKA rekonstruiert werden konnte. Aber die Untersuchung von Dokumenten aller Art ist ein wesentlicher Bereich der Kriminaltechnik. Bei Fragen nach der Echtheit und der (Ver-)Fälschung von Dokumenten sind natürlich Chemiker wesentlich beteiligt. Allerdings schlägt auch die Physik spätestens dann wieder zu, wenn es z. B. bei Erpresser- oder Bekennerschriften um Fotokopierer oder Laserdrucker geht, d. h. um Methoden der elektrofotografischen Bilderzeugung. Die Zusammensetzung des Tonermaterials, ermittelt durch Infrarotspektroskopie, EDX oder Raman-Spektroskopie, ist die offensichtliche Spur. Darüber hinaus führen die trocken und flüssig aufgetragenen Toner-substanzen und die unterschiedlichen technischen Methoden ihrer Fixierung auf dem Papier (Wärme, Druck bzw. eine Kombination beider Techniken) zu unterschiedlichen Oberflächen-Morphologien. Diese lassen sich im REM später sehr gut unterscheiden (Abb. 4) und können auch Aufschluss über Marke und sogar Typ des verwendeten Kopierers oder Druckers geben. Schließlich sind es aber die Spurenkomplexe auf dem Vorlagenglas und die Beschädigungen der Trommel oder der Fixiereinheit, die auf den Kopien und Ausdrucken zu finden sind und zu einer Identifizierung des individuellen Gerätes führen können.

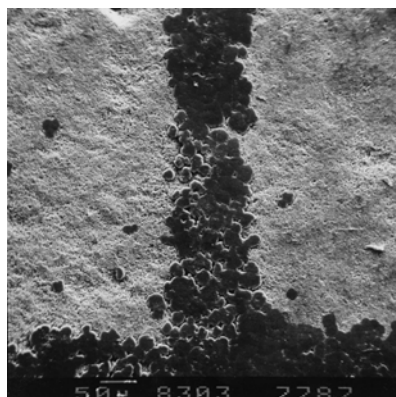
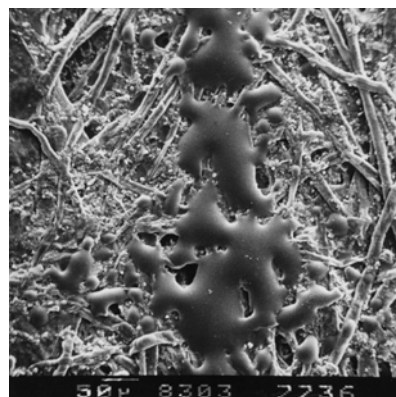


Abb. 4: REM-Aufnahmen der Oberflächenmorphologie von Trockentoner bei Druck-



Fixierung (links) und Wärme-Fixierung (rechts).

Bei terroristischen Anschlägen Mitte der neunziger Jahre war auf diese Weise anhand der Bekennerschreiben zuerst eine Systemidentifizierung, d. h. die Ermittlung der Marke und des Typs des Kopierers, möglich. Aufgrund anderer Erkenntnisse vermuteten die Ermittler außerdem, dass die Schreiben in Copy-Shops in einer von fünf deutschen Städten (u. a. Hamburg und Dortmund) gemacht worden waren. Anhand von hergestellten Vergleichskopien aller Kopierer dieses Typs in den in Frage kommenden Läden der fünf Städte war es dann möglich, den individuellen Kopierer zu bestimmen und auf die Spur der Täter zu kommen. Diese Ergebnisse der kriminaltechnischen Untersuchungen wurden noch durch Zeugenaussagen im Umfeld des betreffenden Kopier-Geschäfts bestätigt und führten schließlich zur Verhaftung und Verurteilung – und vielleicht zur Verhinderung weiterer Straftaten.

Bei der Verbrechensprävention im engeren Sinn, etwa im Rahmen von Gebäude- und Fälschungssicherheit, beschäftigt sich die Kriminaltechnik z. B. mit Biometrie, die bei Authentifizierung und Zugangsberechtigung im Rahmen von elektronischen Systemen stetig an Bedeutung gewinnt, und mit ihrer Integration in neue Sicherheitsmerkmale von Ausweisdokumenten wie dem deutschen Personalausweis.³⁾

Fragile Fingerabdrücke

Eine theoretische Methode, die sich quer durch die Physik zieht, findet inzwischen auch in der kriminaltechnischen Fotografie zur Aufbereitung von Fingerabdrücken ihre Verwendung. Um eine am Tatort gefundene Spur über das Automatische Fingerabdruck Informationssystem (AFIS) einem der Millionen bekannten Abdrücke von Straftätern zuordnen zu können und so den möglichen Täter zu ermitteln, muss sie in digitaler Form für das System auswertbar sein. Dieses System kann zwar Abdrücke, die oft fotografisch vorliegen, sehr gut vergleichen, aber es kann nicht in einem Bild zwischen Linien des zu untersuchenden Fingerabdrucks und etwaigen Störinformationen unterscheiden. Liegen z. B. zwei Abdrücke übereinander, müssen sie vor einer Analyse getrennt werden. Durch Fourier-Transformation und -filterung der Bildinformationen lassen sich hier bereits verwendbare Ergebnisse erzielen. Auch wenn der Fingerabdruck etwa auf der Seite einer Zeitung oder einer Illustrierten gefunden und für die Untersuchung geeignet fotografiert wird, können danach die störenden Rasterpunkte der Bilder oder die Buchstaben des Textes die direkte digitale Auswertung immer noch unmöglich machen. Der oft regelmäßige Charakter der Störungen kann aber auch in diesen Fällen eine ausreichende Fourierfilterung ermöglichen. Im optimalen Fall lassen sich auf der gefilterten Abbildung sogar die Schweißporen in den Papillarlinien der Finger wieder erkennen.

Manchmal gibt es auch Anforderungen an die Kriminaltechniker, die Physikern am ehesten aus dem Laboralltag bekannt sind – immer dann, wenn schnelle praktikable Lösungen für Probleme benötigt werden, die nicht dem gewohnten Standard entsprechen. Vor kurzem gab es im Mordfall an einem jungen Mädchen eine sehr viel versprechende Spur des Täters. Allerdings hätten alle konventionellen Mittel sie wohl zerstört: Am Tatort fand sich auf einer Flasche ein Vaseline-Fingerabdruck. Das Abnehmen des Fingerabdrucks – etwa wie bei einem Fett-Abdruck von einem Glas – war nicht möglich, ohne den Abdruck dabei zu verwischen und damit die beste Spur zu verlieren. Die Re-

flexfotografie, d. h. die Aufnahme von schwer abzubildenden Spuren auf reflektierenden Oberflächen, kann allein schon eine Herausforderung sein. Ein Foto dieses Abdrucks zu machen war auch hier nur bei optimaler Ausleuchtung möglich. Allerdings drohte dann wiederum die Wärme der Lampen, die Spur zu zerstören. Die Lösung war – wenn man sie einmal kennt – recht einfach: Über Glasfasern leitete der Fotograf das Licht einer Halogenlampe auf die Flasche. Von den 150 Watt der Lampe gelangte so etwa nur 1 % der Wärmeleistung auf den Abdruck und es war genug Zeit, die beste Ausleuchtung einzustellen und das Foto zu machen. Eine halbe Stunde nach der Aufnahme war der Täter dann über AFIS ermittelt. Wegen einer anderen Straftat war er bereits dort erfasst worden und konnte so überführt und festgenommen werden.

Glühwendeln unterm Mikroskop

Es sind aber nicht so sehr die außergewöhnlichen Kriminalfälle, die die Hauptarbeit der Kriminaltechnik ausmachen. Die wesentlich alltäglichere Frage, ob der Scheinwerfer, das Bremslicht, der Blinker oder eine andere Fahrzeuglampe bei einem Verkehrsunfall branneten, mag zwar auf den ersten Blick profan erscheinen. Sie birgt aber für die am Unfall Beteiligten oft nicht nur beträchtliche finanzielle, sondern auch strafrechtliche Konsequenzen – und bei über 2 Millionen Verkehrsunfällen jährlich, davon 375000 mit Personenschaden, stellt sich die Frage in Deutschland nicht selten.

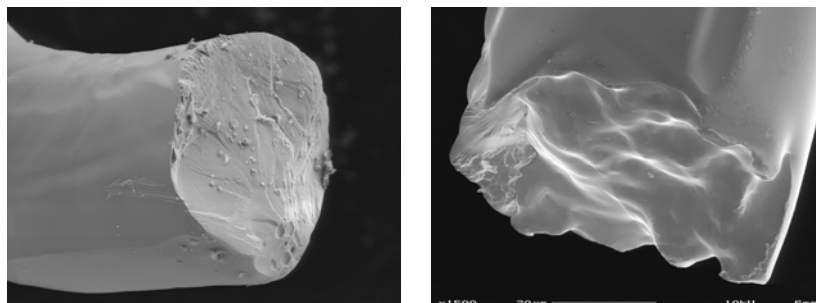


Abb. 5: Brüche ohne Stromfluss zeigen eine spröde, kristallin erscheinende Bruchfläche. Die linke Abb. lässt somit darauf schließen, dass beim Unfall kein Strom floss. Der große, stark verrundete Bereich der Bruchfläche auf der rechten Abbildung könnte einen „Schmelzbruch“ bei Stromfluss vermuten lassen. Der mit dem REM

auflösbare spröde Bereich links außen zeigt jedoch, dass auch hier ein „Kaltbruch“ ohne Stromfluss vorliegt. Der schmelzartige Bereich ist vielmehr das Ergebnis thermischer Erosion (Materialabdampfung) an einer Korngrenze im Material während des normalen Betriebs der Lampe, d. h. vor dem Unfall.

Überraschenderweise lässt sich aus beschädigten Lampen oft sehr viel mehr zu dieser Frage ablesen als aus intakten, wenn man die Morphologie der Überreste sorgfältig genug auswertet. Ansatzpunkt für jede Analyse ist die Temperaturabhängigkeit des Verhaltens des Glühwendelmateriale in den Fahrzeuglampen.

Beim Unfall kommt es zu einer starken Erschütterung der Glühwendel und oft auch zur Zerstörung des Glasgehäuses der Lampe. Die Erschütterungen lassen oft den Metallfaden zerreißen und erzeugen sehr charakteristische Bruchstellen. „Heißbrüche“ bei eingeschaltetem Strom unterscheiden sich von den spröden „Kaltbrüchen“ ohne Stromfluss durch glattere Bruchflächen (Abb. 5). Auch können die beim Aufprall ausgelösten Schwingungen den Faden im heißen Zustand stärker stauchen oder einzelne Teile bei der Berührung zum Ver- bzw. Anschmelzen bringen (Abb. 6). Die Zerstörung des umschließenden Glaskolbens kann weitere

3) vgl. K. Buse, E. Soergel, Physik Journal, März 2003, S. 37

Indizien liefern. Zum einen können sich wie auf vielen Metallen so auch auf Wolfram charakteristische Anlauffarben finden, die sich im erhitzten Zustand beim plötzlichen Lufteintritt bilden und Rückschlüsse auf die Temperatur erlauben. Zum anderen können Glaspartikel auf der heißen Glühwendel anschmelzen.

Die Methode der Glühwendel-Untersuchungen in dieser detaillierten Form wurde erst mit der Verbreitung des REMs ab den 70er-Jahren möglich. Entwickelt wurde sie im Wesentlichen gemeinsam vom BKA und dem LKA Bayern, das auch heute noch jeden Monat eine ganze Reihe von Fällen zu untersuchen hat. Ein großer Teil der Untersuchungen wird jedoch auch

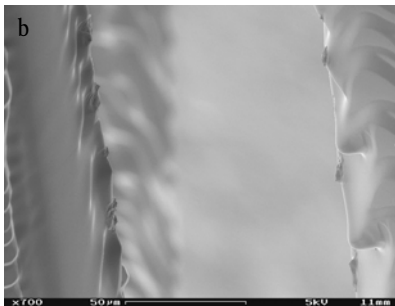
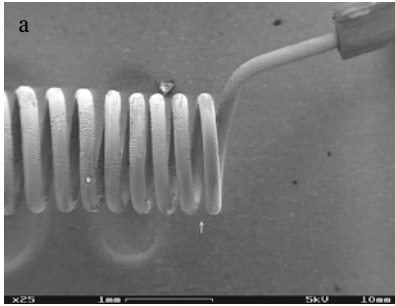


Abb. 6:
 ► a) Auf den ersten Blick weist diese bereits stark gealterte Glühwendel keine Beschädigung auf. Nur eine minimale Stauchung ist am rechten Ende zu erkennen.
 ► b) Bei stärkerer Vergrößerung zeigen sich symmetrische Spuren auf den stark rekristallisierten Oberflächen der beiden Wendelteile.
 ► c) In der 5000-fachen Vergrößerung

des REM sieht man schließlich charakteristische „Kügelchen“ auf den Spitzen eines solchen angeschmolzenen Bereichs. Diese Kugeln entstehen, wenn sich nach einem kurzzeitigen Kontakt zwischen den Wendelteilen ein Lichtbogen ausbildet. Der Strom muss also zum Zeitpunkt der Erschütterung, d. h. während des Unfalls, eingeschaltet gewesen sein.

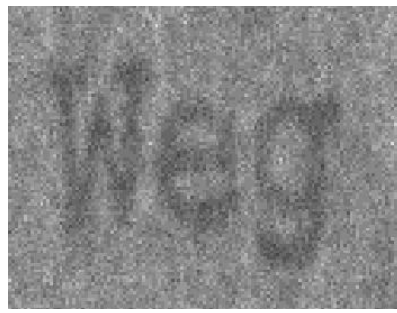
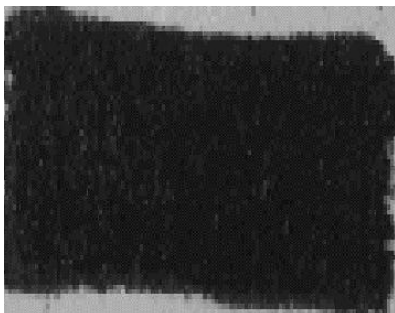


Abb. 7:
 Originalbild der unkenntlich gemachten Schrift (links) und Rekonstruktion mittels RFA durch Nachweis charakteristi-

scher Stoffe in Tinte oder Toner der ursprünglichen Schrift (rechts).

mit optischer Mikroskopie von vielen Ingenieurbüros in Deutschland im Auftrag von Strafverteidigern durchgeführt. Die Landeskriminalämter und das BKA werden vor allem von den Staatsanwaltschaften oder als Zweitgutachter mit den Untersuchungen beauftragt, und kommen gerade bei den schwierigeren Fällen zu Einsatz, wenn die wesentlich genauere Rasterelektronenmikroskopie benötigt wird und keine Standard-Interpretation zur Verfügung steht, sondern das Gesamtbild individuell beurteilt werden muss.

Hochaufgelöste Elementverteilungen

Die Kriminaltechnik unterstützt allerdings nicht nur Polizeibehörden und Staatsanwälte, sondern vereinzelt tauchen in den Fachbereichen ungewöhnliche Auftragsarbeiten auf, die auch als Leistungstest für die entwickelten Werkzeuge und Methoden dienen.

Oft ist es notwendig, eine Elementverteilung mit hoher Ortsauflösung zu bestimmen. Bei Einbrüchen oder Autounfällen ist die Untersuchung kleinster Glasscherben, Lackreste oder Textilfasern schon eine Standardaufgabe. Ebenso müssen Reste von Klebebändern und Kunststoffen oder etwa auch Brandrückstände untersucht werden. Ein geeignetes Werkzeug dafür, die Mikro-Röntgen-Fluoreszenz-Analyse (μ -RFA) mittels Röntgenspektroskopie und Kapillarroptiken, wurde in der Industrie auch auf Anregung des BKA entwickelt, und das erste industriell gefertigte System, die „EAGLE μ -Probe“, wurde beim BKA eingesetzt (s. Glossar). Durch Totalreflexion von Röntgenstrahlen in einer Kapillare lassen sich Strahldurchmesser $< 100 \mu\text{m}$ bei hohen Intensitäten erreichen. Ein weiterer Vorteil der Kapillare gegenüber Lochblendensystemen besteht darin, dass sich auch unregelmäßige Objekte aus nächster Nähe untersuchen lassen, wie etwa kleinste Tatspuren oder Proben mit inhomogener Elementverteilung.

Genutzt wurde das System auch schon für die Rekonstruktion von übermalten Schriften auf Dokumenten, die sich durch die unter der Oberfläche liegende Elementverteilung verraten (Abb. 7). Aber die bisher wohl ungewöhnlichste Aufgabe war die Untersuchung einer Reihe von antiken Münzen, alexandrinische Silber-Kupfer-Prägungen aus einem Zeitraum von Kleopatra VII. bis Nero im Rahmen einer Promotionsarbeit an einem Institut für Alte Geschichte. Die Messungen zeigten, dass der Edelmetallgehalt der jüngeren Münzen immer mehr abnahm und damit auch der damalige Wert der Münzen – obwohl der Nennwert natürlich unverändert blieb. Auch wenn das Ergebnis heute mehr akademischen als forensischen Wert hat, ist es wohl einer der ältesten Fälle von Betrug und Fälschung in der Menschheitsgeschichte, der durch die Kriminaltechnik nachgewiesen werden konnte.

Tonträgerauthentisierung

Auch Tonaufnahmen sind immer wieder Gegenstand kriminaltechnischer Untersuchungen. Zwar liegt der Schwerpunkt eher im Bereich der empirischen Wissenschaften, wie Linguistik, Phonetik und Psychologie, aber wenn es um mögliche Manipulationen an Tonträgern geht, kommt auch hier wieder die Physik ins Spiel. Da die derzeit relevanten Speicherverfahren mit magnetischen Methoden arbeiten, sind die Signaturen der Schreib- und Löschköpfe der beste Ansatzpunkt für die Tonträgeranalyse und -authentisierung.

Zur Darstellung der magnetischen Information benutzte man in der Vergangenheit vor allem Ferrofluide oder Magnetpartikelsprays, die direkt auf den zu untersuchenden Bereich des Bandes aufgebracht wurden. Die sichtbaren Teilchen in diesen Materialien orientieren sich dann am Magnetfeld des Bandes, sodass sich die magnetischen Domänen optisch nachweisen lassen. Abgesehen davon, dass diese Methode in der Praxis recht knifflig und zeitaufwändig sein kann und trotzdem nur mäßige Auflösungen erreicht, besteht überdies die Gefahr, dass der Spurenläger beschädigt wird.

In den letzten Jahren gelang es, eine wesentlich elegantere Methode zu entwickeln, die mit einem magneto-

optischen Nachweis arbeitet und auf einem russischen Analysesystem basiert. Die Polarisationsrichtung von linear polarisiertem Licht wird von geeigneten magnetischen Materialien bei der Transmission (Faraday-Effekt)

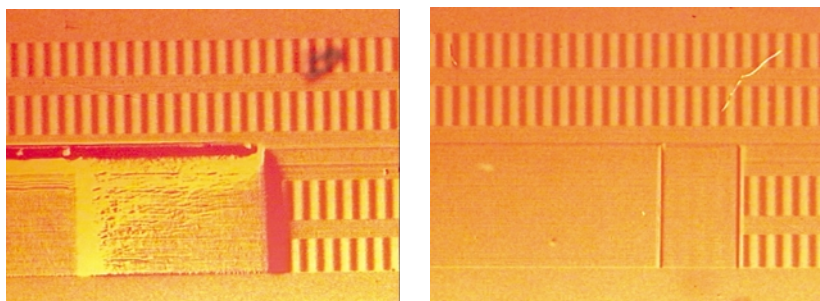


Abb. 8: Aufnahmen zweier magnetischer Tonträger mittels des KOF-Systems. Die charakteristischen Löschkopfsignaturen (jeweils links auf der unteren Tonspur) der beiden unterschiedlichen Fabrikate der Kassettenrekorder sind klar zu unterscheiden.

bzw. Reflexion (Kerr-Effekt) (s. Glossar) abhängig von der magnetischen Feldstärke gedreht. Da das Bandmaterial selbst keinen magneto-optischen Effekt aufweist, wird die magnetische Information vom Band auf ein 2–6 μm dünnes Kristallplättchen aus einem Wismut-Eisen-Silikat übertragen, das einen sehr großen MO-Effekt aufweist. Hierfür kommt der sog. KOF-Kristall in Frage, der noch sehr geringe Feldstärken nachweisen kann, aber nur ein „schwarz-weiß“-Abbild erlaubt, oder der Analogovyi-Kristall, der zwar eine geringere Empfindlichkeit hat, aber auch relative Feldstärken abbilden kann. Mit einem Polarisationsmikroskop kann die in den Kristall kopierte Information betrachtet und dokumentiert werden. Die zerstörungsfreie MO-Analyse macht es durch ihre hohe Auflösung und gute Dokumentierbarkeit sogar möglich, nicht nur Manipulationen an Aufnahmen nachzuweisen, sondern auch Gerätetypen oder sogar individuelle Geräte, die zur Aufnahme verwendet wurden, anhand ihrer Signaturen zu identifizieren (Abb. 9). Im Extremfall ist sogar eine Reproduktion von nur unvollständig gelöschten Bereichen möglich. Wegen der immer stärkeren Verbreitung von Magnetstreifen wird daran gearbeitet, diese Analysemethoden von den magnetischen Tonträgern auch auf andere Bereiche auszudehnen, wo ein ähnlicher Bedarf besteht, wie zum Beispiel bei Bank- und Kreditkarten.

Ausblick

Nicht nur bei Magnetbanduntersuchungen, sondern in der gesamten Kriminaltechnik werden in Zukunft die Erwartungen und Anforderungen weiter steigen. Einige Werkzeuge, wie etwa das Vergleichs-REM, werden zwar noch lange erhalten bleiben, aber schon die schrumpfenden technologischen Lebenszyklen werden oft eine noch schnellere Entwicklung neuer Methoden erzwingen. So werden zum Beispiel neue digitale Speicher, z. B. USB-Sticks oder Compact-Flash-Cards, bald ganz andere Verfahren zum Manipulationsnachweis erfordern. Durch die Ablösung der Halogenlampen in Autoscheinwerfern durch die Xenon-Lampen (das wegen seines Blendeindrucks schon öfters in die Diskussion geratene „blaue Licht“) gibt es oft schon gar keine Glühwendeln mehr, die untersucht werden könnten und für schwermetallfreie Munitionen anstelle der alten Blei-Barium-Antimon-Verbindungen können die bisherigen GSR-Analysen in Zukunft nicht mehr ausreichen. Aber so wie der technologische Wandel manch

ausgetüftelte Methode obsolet macht, so bietet er gleichzeitig auch ganz neue Werkzeuge und Ansätze, wie die μ -RFA und das Schneiden der Schmauchpartikel mittels FIB.

Mit den Aufgaben von Hercule Poirot und seiner Art, sie zu lösen, hat die Arbeit der Kriminaltechnik heute sicher nicht mehr viel zu tun – weder in der Fallarbeit noch in der Prävention und auch nicht in der kriminaltechnischen Forschung. Dafür umfasst sie aber nicht nur eine große Breite der Physik und aller anderen Natur- und Ingenieurwissenschaften, sondern verbindet mehr denn je tatsächlich auch die verschiedensten Disziplinen, wie man es in dieser Art eben nur selten findet.

*

Die Autoren danken allen Kollegen, die mit ihrer Arbeit und Hilfe diesen Artikel ermöglicht haben.

Literatur

- [1] E. Kube, H.U. Störzer, K. J. Timm (Hrsg.), Kriminalistik, Handbuch für Praxis und Wissenschaft, Boosberg, Stuttgart u. a., Bd. 1 (1992), Bd. 2 (1994)
- [2] E. Kube, U. Simmross, Kriminaltechnik im Überblick, in: H. Vordermayer, B. von Heintzel-Heinegg (Hrsg.), Handbuch für den Staatsanwalt, Luchterhand, München (2000)
- [3] Z. Zirk, G. Vordermaier, Kriminaltechnik und Spurenkunde, Boosberg, Stuttgart u. a. (1998)
- [4] H. Katterwe, Forensic. Sci. Rev. 8, 45 (1996)
- [5] L. Niewoehner et al., J. Forensic. Sci. July 2003, Vol. 48, (4) (Paper ID: JFS2002396_484)
- [6] P. Voss-de Haan, Kriminaltechnik, in: Brockhaus – Naturwissenschaft und Technik, F. A. Brockhaus, Mannheim und Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg (2003)

Die Autoren



Patrick Voss-de Haan studierte in Stanford und Mainz, beschäftigte sich in seiner Diplomarbeit mit Atom- und Laserphysik und promovierte in Mainz 1999 in Festkörperphysik. Seit 2000 ist er wissenschaftlicher Mitarbeiter beim BKA. Seit seinem Studium arbeitet er auch als freier Wissenschaftsjournalist für Zeitungen, Zeitschriften und Buchverlage.

Horst Katterwe studierte an der TU Berlin, beschäftigte sich in seiner Diplomarbeit mit Elektronenspektrometrie und promovierte in Kaiserslautern 1975 in Festkörperphysik und Elektronenoptik. Seit 1976 leitet er den Fachbereich Werkstofftechnik im Kriminaltechnischen Institut des BKA.



Ulrich Simmross studierte an der Universität Mainz, beschäftigte sich in seiner Diplomarbeit mit der organischen Synthese von Leiterstrukturen und promovierte 1991 am Max-Planck-Institut für Polymerforschung. Seit 1992 ist er Sachverständiger für forensische Kunststoffanalytik im Kriminaltechnischen Institut des BKA. 2002 wechselte er dort in den Bereich der Öffentlichkeitsarbeit und des Controlling.

