

# Robotergestütztes Messsystem zur spektroskopischen Vermessung von Totenflecken

**Prof. Dr. rer. nat. Michael Wülker**

Fakultät Maschinenbau  
und Verfahrenstechnik (M+V)  
Studiengang Mechatronik

Badstraße 24  
77652 Offenburg  
Tel 0781 205-257  
wuelker@hs-offenburg.de

1955 geboren in Freiburg i. Br.  
1974 Studium der Physik an der Universität Freiburg  
1976/77 Auslandsaufenthalt, New University of Ulster, UK  
1982 Diplom in Physik an der Universität Freiburg  
1987 Promotion an der Universität Freiburg am Lehrstuhl für Teilchenphysik und am CERN in Genf  
1987–88 Wissenschaftlicher Mitarbeiter der Universität Freiburg  
1988 Dornier GmbH mit Forschungsschwerpunkten in angewandter Supraleitung, physikalischen Messsystemen und Biomagnetismus  
seit 1993 Professor an der Hochschule Offenburg, Dekan Fachbereich Grundlagen  
seit 2004 stv. Studiendekan der Studiengänge in Mechatronik  
Lehrgebiete: Messdatenerfassung, Physik, Mathematik, Informatik, Technische Mechanik, Robotik



**Forschungsgebiete:** Robotik, industrielle Messdatenerfassung

## 1.4 Robotergestütztes Messsystem zur spektroskopischen Vermessung von Totenflecken

Prof. Dr. rer. nat. Michael Wülker  
Dipl.-Ing. (FH) Klaus Böhler  
Rudi Kirn

### Abstract

*The intermittent and long-term spectroscopic observation of light reflected from livor mortis after death is hoped to help with the determination of the time of death or its circumstances, like e.g. CO poisoning. A mobile measurement system with a robot for the movements required has been assembled and thoroughly tested at the University of Applied Sciences Offenburg. It has been operated reliably for 36 h recording spectra and taking temperature and distance measurements every 20 min. The system has been delivered to the collaborating Institut für Rechtsmedizin at the University of Würzburg for field studies.*

### Einleitung

Die spektroskopische Beobachtung von postmortalen Hautveränderungen und insbesondere von Totenflecken ermöglicht potenziell eine genauere Bestimmung des Todeszeitpunkts oder der Todesursache (z. B. im Fall von CO-Vergiftungen). Für die grundlegende Charakterisierung dieser Veränderungen sind Langzeitbeobachtungen von Stunden oder gar Tagen wünschenswert.

Für die Spektrometernmessungen muss beachtet werden, dass das betreffende Hautareal zwischen den einzelnen Mes-

sungen ungehindert Sauerstoff mit der Umgebung austauschen kann. Es muss deshalb in regelmäßigen Zeitabständen die Spektrometersonde an möglicherweise unterschiedlichen Positionen aufgelegt und wieder weggenommen werden. Aus diesen Gründen wurde entschieden, die Sonde an einen Roboterarm zu montieren, dessen Bewegungsprogramm flexibel eingerichtet werden kann und der die Bewegungen präzise und zuverlässig durchführt.

Das geschilderte Roboterspektrometer wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft als Teil eines gemeinsamen Projekts von Prof. Dr. Michael Bohnert, inzwischen am Institut für Rechtsmedizin der Universität Würzburg, mit dem Freiburger Materialforschungszentrum beauftragt (DFG-Projekt Li 1799/1-2). In dem vorliegenden Artikel werden die endgültige Auslegung und verschiedene Messungen zur Verifikation der Funktionstüchtigkeit des Systems beschrieben. Ein vorausgegangener Artikel beschreibt die Konzeptionierung des Systems [1].

### Hintergrund und Zielsetzungen

Nach ersten spektroskopischen Messungen zur Bestimmung der Farbe von Totenflecken [2] wurde mithilfe von Monte-Carlo-Methoden ein Modell für die optischen Eigenschaften der Haut entwickelt [3] und insbesondere der Einfluss von Sauerstoff und Kohlenmonoxid auf zeitliche Änderungen des Reflexionsverhaltens der Haut untersucht [4].

Ziel des gesamten Projekts ist es, die experimentellen Voraussetzungen für eine zeitlich engmaschige Dokumentation der

postmortalen Veränderungen von Leichenhaut zu schaffen und darauf basierend das physikalische Hautmodell insbesondere zur zeitlichen Entwicklung des reflexionsspektrometrischen Signals zu verbessern. Zudem soll die Dokumentation in Form eines elektronischen Laborbuchs [5] weiterentwickelt werden.

### Aufbau

Das gesamte robotergestützte Messsystem ist mit allen erforderlichen Geräten auf einem Rollwagen montiert, damit es sowohl im Kühlraum als auch in anderen Bereichen eingesetzt werden kann. Es wird mit den üblichen rollbaren Wannengestellen, auf denen Verstorbene gelagert werden, fest verspannt, sodass die Positionierung des Untersuchungsgebiets relativ zum Roboter wohl definiert und konstant ist. Die mechanischen Voraussetzungen wurden im Rahmen einer Abschlussarbeit geschaffen [6], die sich auch mit der Inbetriebnahme und der Programmierung des verwendeten Roboters beschäftigte.

Abbildung 1.4-1 zeigt das vollständige Roboterspektrometersystem, wie es zum Zweck der beschriebenen Testmessungen im Labor aufgebaut war. Ein Roboter Mitsubishi RV3SDB, (1) trägt einen Messkopf (2), der den eigentlichen Spektrometerkopf, eine Kamera und einen Oberflächentemperaturfühler beherbergt. Ein weiterer Temperaturfühler (3) verbleibt an geeigneter Stelle dauerhaft auf der Leiche bzw. dem Testdummy (7). Zum Bedienen und insbesondere zum Einlernen („Teachen“) der Untersuchungsposition(en) (6) wird das Handbediengerät der Robotersteuerung (4)

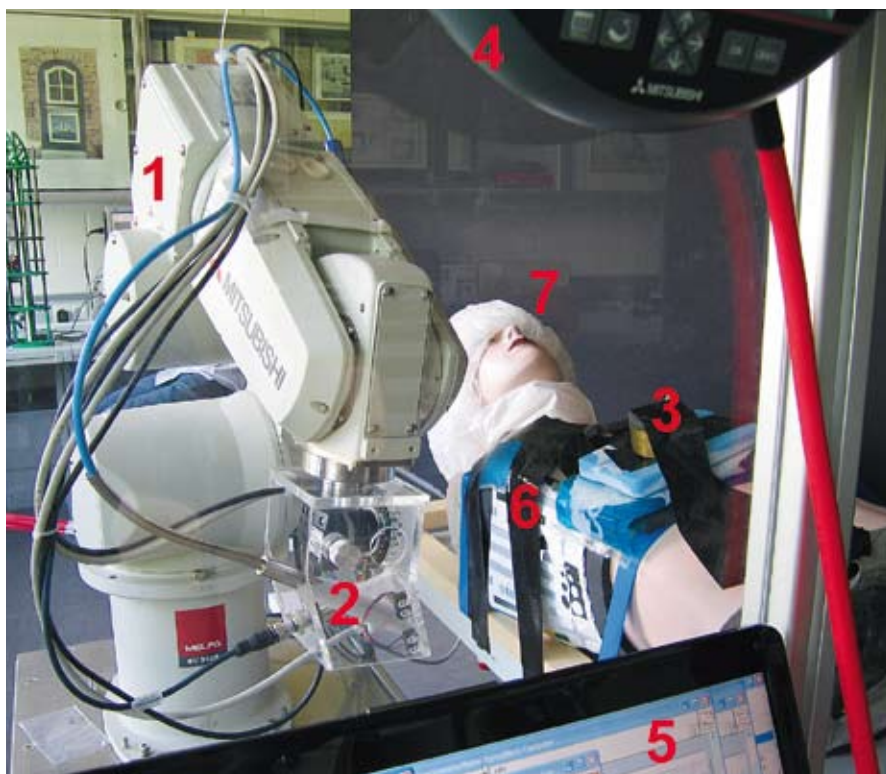


Abb. 1.4-1: Testaufbau im Messdatenerfassungslabor der Hochschule Offenburg

benutzt. Ist eine Messreihe gestartet, so kann auf dem Messdatenerfassungs-Notebook (5) der Ablauf verfolgt und die Konsistenz der Messungen über erste Online-Auswertungen beurteilt werden.

In Abbildung 1.4-2 ist der Messkopf am Ende des Roboterarms (1) im Detail zu sehen. Zur optischen Kontrolle des Untersuchungsgebiets und für die Dokumentation der Fleckenmorphologie ist eine Kamera (2) vorgesehen. Ein Ring von weißen LEDs dient zur Ausleuchtung, ist aber wegen der Diffusorfolie (3) nicht zu sehen. Zur Abstandskontrolle und möglicherweise zur automatisierten Annäherung an das Untersuchungsgebiet sind ein Ultraschallabstandssensor (4) und vier Berührungsschalter (5) montiert.

Die wichtigsten Elemente sind das Ende des Spektrometerkopfs (6) und der Federbügel des Oberflächentemperaturfühlers (7), auf dessen Rückseite ein Pt100-Widerstandsthermometer befestigt ist. Diese Elemente sind nahe dem unteren Rand des Messkopfs platziert, damit an der Thoraxwand möglichst weit dorsal gemessen werden kann.

Nicht gezeigt sind die Robotersteuerung, das Messdatenerfassungssystem und die

Spektrometereinheit (Carl Zeiss MCS601, 3-nm-Auflösung), da diese entsprechend geschützt eingebaut sind. Der Spektrometerkopf ist mit dem Spektrometer über einen Lichtwellenleiter verbunden. Weiterhin ist ein Bariumsulfat-Block installiert, dessen Oberfläche als Weißstandard dient.

#### Steuerungssoftware

Neben der Konzeption und dem Aufbau des gesamten Roboterspektrometersystems bestand die Hauptaufgabe darin, die sehr verschiedenen Programmierwelten der Robotersteuerung, des Spektrometers und des Messdatenverarbeitungssystems zu verbinden.

Aus Sicherheitsgründen liegt die Steuerung des gesamten Bewegungsablaufs bei der Robotersteuerung. Dadurch sind die Bewegungsgeschwindigkeiten, insbesondere beim Teachen, so weit reduziert, dass sich geschultes Personal im Bereich des Roboters aufhalten kann. Wird eine Messreihe durchgeführt, so übermittelt die Robotersteuerung über elektrische Signalleitungen Kommandos an das Messdatenerfassungsprogramm, das entsprechend reagiert.

Die Programme der Robotersteuerung sind in der spezifischen Programmier-

sprache des Roboterherstellers (Melfa-Basic V im Fall eines Mitsubishi-Roboters) formuliert. Zudem müssen Systemparameter, z. B. für die Einschränkung des Bewegungsraums oder für die Begrenzung von Maximalgeschwindigkeiten und -beschleunigungen, und die geteachten Positionsparameter verwaltet werden. Es werden dabei nur die Positionen mit direktem Hautkontakt gespeichert. Die Positionen für die Aufnahme eines Fotos werden entsprechend der Brennweite des eingesetzten Objektivs berechnet.

Wie schon erwähnt, werden die verschiedenen Aktionen des Messdatenerfassungsprogramms durch die Kommandosignale der Robotersteuerung getriggert. Das Messdatenerfassungsprogramm erfasst dann die gewünschten Signale wie z. B. Temperaturen oder den Abstand zum Untersuchungsgebiet. Im Fall einer Spektrumsmessung wird wiederum das Spektrometer getriggert und nach Beendigung der Messung die Spektrumsdaten transferiert. Hier dient ein Open-Process-Control-Server (OPC) zur Kommunikation, der das lokale Ethernet nutzt. Das Messdatenerfassungsprogramm ist in LabVIEW (National Instruments) formuliert und zeigt in seinen Bedienfenstern die Kommandofolge des Roboters, die Falldaten einer Messreihe wie z. B. Alter oder Geschlecht und die wichtigsten Messgrößen. Bei Bedarf können schon Programmteile der Offline-Analyse gestartet werden.



Abb. 1.4-2: Messkopf am Ende des Roboterarms

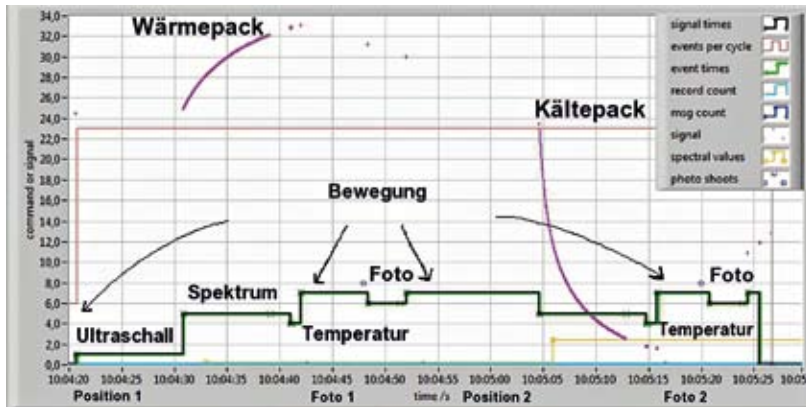


Abb. 1.4-3: Steuersignale der Robotersteuerung und Oberflächentemperatur während eines Messzyklus

Im Fall des Spektrometers wird während der Registrierung einer Messreihe die Software „processXplorer“ der Firma Carl Zeiss verwendet. Die gewünschten Messabläufe mussten entsprechend konfiguriert werden. Der OPC-Server wurde mit der Software „CZframework“ eingerichtet.

### Messungen zur Verifikation des Systems

Wegen der Verwendung verhältnismäßig vieler komplexer Software- und Hardwareschnittstellen war es erforderlich, umfangreiche Testmessungen zur Verifikation des Gesamtsystems zu machen. Abbildung 1.4-1 gibt einen Eindruck des Messaufbaus. Als „Untersuchungsgebiete“ dienen ein Kältepack und ein Wärmepack, da insbesondere das Verhalten der Oberflächentemperaturmessung geklärt werden musste.

Abbildung 1.4-3 zeigt die verschiedenen Phasen eines einzelnen Messzyklus mit zwei Messpositionen. Die Treppenfunktion repräsentiert die verschiedenen Kommandos der Robotersteuerung. Nachdem der Roboter an die erste Messposition gefahren ist, werden eine Ultraschall-Abstandsmessung, eine Spektrumsmessung und eine abschließende Temperaturmessung gemacht. Dann wird der Messkopf in die erste Fotoposition bewegt, um eine Aufnahme zu machen. Anschließend steuert der Roboter die zweite Messposition an und macht dort eine Spektrumsmessung und die abschließende Temperaturmessung. Es wird wiederum an die Fotoposition gefahren, die Aufnahme gemacht und an dieser Stelle geparkt, bis der nächste Messzyklus ansteht.

Während der circa zehn Sekunden dauernden Spektrumsmessung wird parallel der Temperaturverlauf an der Kontaktstelle aufgezeichnet. In Abbildung 1.4-3 erkennt man an den mit „Wärmepack“ und „Kältepack“ markierten Stellen den exponentiellen Verlauf des Temperaturengleichs. Es folgen dann jeweils zwei weitere Temperaturmesspunkte, wovon der erste als „abschließende Temperaturmessung“ betrachtet wird. (Beim zweiten beginnt bereits die Bewegung zur Fotoposition.)

Für die Oberflächentemperaturmessung war zu klären, ob trotz der kurzen Kontaktzeit die Oberflächentemperatur noch

genau erfasst werden kann. Da der Temperaturengleichvorgang deutlich zu erkennen ist, wurde eine entsprechende Exponentialfunktion an die Daten angepasst. Abbildung 1.4-4 zeigt zusammengefasste Ergebnisse über einen Zeitraum von ca. 80 min. Die oberste Kurve ist die direkte „abschließende“ Temperaturmessung am Wärmepack, die Kurve unmittelbar darunter ist die über die Anpassung extrapolierte Endtemperatur, die selbstredend tiefer liegen muss. Für diese beiden Kurven ergibt sich, mit der Ausnahme zweier Ausreißer, insgesamt wieder ein exponentieller Verlauf, der durch den Wärmeaustausch des Wärmepacks mit der Umgebung verursacht ist. Aus dem vergrößerten Ausschnitt lässt sich für eine Kontaktzeit von 10 s eine systematische Temperaturabweichung von 0,4 K für die „abschließende Temperaturmessung“ ableiten. Dieser Wert ist mit einer vorab durchgeführten Messung der Zeitkonstante des Kontaktthermometers konsistent.

Die Ergebnisse für die Oberflächentemperatur des Kühlpacks zeigen zwar ähnliche Tendenzen, können aber nicht quantitativ ausgewertet werden, da eine Verformung des Kühlpacks, die letzten Endes dazu führte, dass das Kontaktthermometer nicht mehr berührte, nicht verhindert werden konnte.

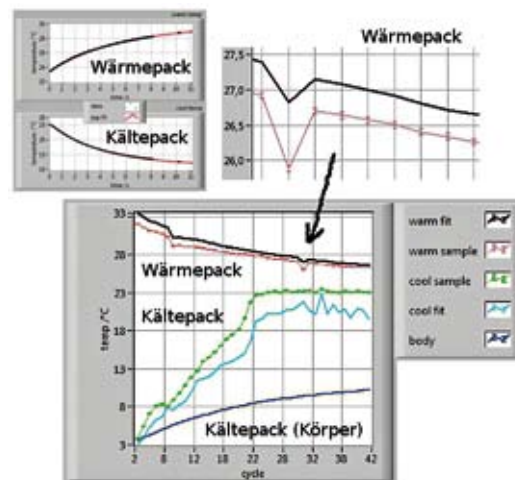
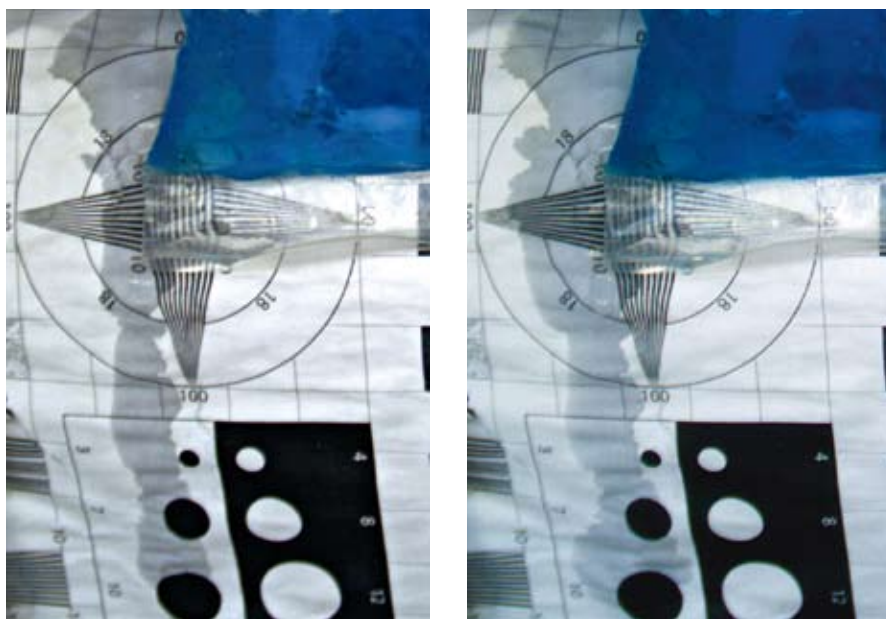


Abb. 1.4-4: Temperaturmessungen für 42 Messzyklen mit jeweils zwei Messpositionen über eine Zeit von 80 min. Links oben sind exemplarisch zwei Exponentialfits gezeigt und rechts oben ein Ausschnitt des Temperaturverlaufs gezeigt



**Abb. 1.4-5:** Aufnahme von Flecken mit der Kamera des Messsystems mit einem Zeitabstand von 114 s

Die Verformung ließ sich eindeutig über die Fotos nachweisen. Ebenso sprechen die Fotos dafür, dass der erste „Ausreiber“ durch einen anhaftenden Tropfen verursacht ist.

Abbildung 1.4-5 deutet an, inwieweit die aufgenommenen Fotos zur Charakterisierung der Morphologie von Flecken geeignet sind. In diesem Fall sind die Flecken durch Schmelzwassertropfen des auftauenden Kühlpacks verursacht. Es handelt sich um Bildausschnitte von circa 25 % des Originalfotos.

Zum Nachweis der Langzeitstabilität wurde eine Messreihe über 36 h in Abständen von 20 min durchgeführt. Die Bewegungen und die einzelnen Schritte eines Messzyklus erfolgten mit der gewünschten Zuverlässigkeit.

### Betrieb

Nach den erfolgreichen Labortests an der Hochschule Offenburg wurde das Roboterspektrometer im August 2010 an das Institut für Rechtsmedizin in Freiburg ausgeliefert und an einem Verstorbenen erfolgreich getestet. Bedingt durch den Wechsel des Projektleiters Prof. Dr. M. Bohnert an das Institut für Rechtsmedizin der Universität Würzburg wurde das Gerät im November 2010 dorthin gebracht. Für das Jahr 2011 sind demnach umfangreichere forensische Fallstudien zu erwarten.

Für den Betrieb des Personals am Institut für Rechtsmedizin wurde eine ausführliche Bedienungsanleitung verfasst, die insbesondere auf die Fragen der Sicherheit beim Betrieb eines Roboters eingeht.

Begleitend zu einer Messreihe stehen ausreichende Online-Darstellungen zur Verfügung, die bei Bedarf von ersten Auswertungen begleitet werden können. Zu diesen Auswertungen und weiterer Online-Darstellungen werden auf die Dauer weitere Wünsche zu berücksichtigen sein. Zudem ist die Ankopplung an das elektronische Laborbuch noch umzusetzen.

### Fazit

Das robotergestützte Messsystem zur spektroskopischen Vermessung von Totenflecken ist vollständig entwickelt und aufgebaut. Umfangreiche Labortests haben die Funktionstüchtigkeit und Leistungsfähigkeit sichergestellt. Insbesondere für die Messung der Temperatur der Hautoberfläche wurde ein tragbarer Kompromiss zwischen Messdauer und Messgenauigkeit gefunden. Das Gerät muss sich nun bei umfangreicheren Messserien bewähren. Naturgemäß werden die Auswertungen noch ergänzt werden. Zudem müssen die Daten für das elektronische Laborbuch aufbereitet werden.

### Referenzen/References

- [1] Wülker M, Ratajczak C. Entwicklung eines robotergestützten mobilen Messsystems zur spektroskopischen Vermessung von Leichenflecken. Beiträge aus Forschung und Technik 2010. Offenburg: Hochschule Offenburg. 2010. S. 31 – 4
- [2] Bohnert M, Weinmann W, Pollak S. 1999. Spectrophotometric evaluation of post-mortem lividity. Forensic Sci Int 99: 149 – 58
- [3] Bohnert M, Walther R, Roths T, Honerkamp J. 2005. A Monte Carlo based model for steady state diffuse reflectance spectrometry in human skin – estimation of carbon monoxide concentration in livor mortis. Int J Legal Med 199: 355 – 62
- [4] Bohnert M, Schulz K, Belenkaia L, Liehr AW. 2008. Reoxygenation of hemoglobin in livores after post-mortem exposure to a cold environment. Int J Legal Med 122: 91 – 6
- [5] Belenkaia L, Bohnert M, Liehr AW. 2006. Electronic laboratory notebook assisting reflectance spectrometry in legal medicine. arXiv DOI: <http://arxiv.org/abs/cs.DB/0612123>
- [6] Ratajczak C. 2010. Entwicklung eines robotergestützten, mobilen Messsystems zur spektroskopischen Vermessung von Leichenflecken. Bachelorabschlussarbeit. Offenburg: Hochschule Offenburg. Februar 2010