

Entwicklung eines robotergestützten mobilen Messsystems zur spektroskopischen Vermessung von Leichenflecken

Prof. Dr. rer. nat. Michael Wülker
Fakultät Maschinenbau und
Verfahrenstechnik (M+V)
Studiengang Mechatronik

Badstraße 24
77652 Offenburg
Tel 0781 205-257
wuelker@fh-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

1.5 Entwicklung eines robotergestützten mobilen Messsystems zur spektroskopischen Vermessung von Leichenflecken

Prof. Dr. rer. nat. Michael Wülker
Clemens Ratajczak

Abstract

The appearance and colour changes of livor mortis after death are of major importance to forensic medicine. The University für Gerichtsmedizin of Freiburg applies spectral reflectance measurements for their characterisation, backed up by models of the optical behaviour of skin developed by the Freiburger Materialforschungszentrum. The irregular and sparse timing of these previous measurements turns out to be a major drawback to investigate changes of reflectance spectra with time. To improve the situation an automated and mobile measurement system is developed. To allow free access of oxygen the spectrometer head should rest on the skin only while a reflectance spectrum is recorded. A robot manipulator ensures flexibility and reliability in the necessary movements. The robot arm is equipped with the spectrometer head, a temperature sensor, and an ultrasonic distance sensor in conjunction with end-switches. In addition a camera allows documenting the morphology of the livor mortis. The fully mobile system including all data acquisition has been designed and will soon be finished in order to be validated with longer-term test runs.

Einleitung

Im Rahmen eines von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderten Projekts des Instituts für Rechtsmedizin der Universität Freiburg und des Freiburger Materialforschungszentrums entwickelt die Robotikgruppe der Hochschule Offenburg ein robotergestütztes mobiles Messsystem zur spektroskopischen Vermessung von Leichenflecken. Ziel des Gesamtprojekts ist die Charakterisierung von intravitalem und postmortalen Hautveränderungen auf der Basis reflektions-spektrometrischer Messungen an menschlicher Haut durch ein physikalisches Hautmodell. Projektleiter ist Prof. Dr. Michael Bohnert, Institut für Rechtsmedizin Freiburg, der den grundlegenden Anstoß zum Einsatz spektroskopisch aufgelöster Messungen der Färbung von Leichenflecken gab [1]. In Zusammenarbeit mit dem Freiburger Materialforschungszentrum wurde dazu ein Modell für das optische Verhalten der Haut entwickelt [2]. Im Anschluss wurde insbesondere die Reoxygenierung der Leichenflecken bei gekühlter Lagerung untersucht [3]. Der Dokumentation der Messreihen liegt ein elektronisches Laborbuch zugrunde, das von der Servicegruppe Wissenschaftliche Informationsverarbeitung des Materialforschungszentrums entwickelt wurde [4]. Als problematisch erwies es sich, dass sich eine Messreihe über 50 bis 60 Stunden erstreckt und in der Regel nur zweimal täglich Handmessungen durchgeführt werden konnten, die zudem bei Raumtemperatur erfolgen mussten.

Hintergrund

In einem vorangegangenen Projekt (DFG-Projekt Bo 1923/2-1) wurde auf der Basis von Monte-Carlo-Simulationen ein physikalisches Hautmodell entworfen, mit dessen Hilfe die Konzentrationen von CO-Hämoglobin, Oxy- und Desoxyhämoglobin im Blut der Totenflecken durch spektrophotometrische Oberflächenmessungen an der Haut bestimmt werden können. Allerdings sind die Ergebnisse bislang noch fehlerbehaftet und das Hautmodell ist nur für wenige Parameter im Wellenlängenbereich von 500 nm bis 600 nm getestet worden. Um dem Anspruch eines echten Modells der Lichtausbreitung in der Haut gerecht zu werden, wird es nun im Rahmen dieses Projekts (DFG-Projekt Li 1799/1-2) ausgebaut und verbessert. Ziel ist die Beschreibung und die mathematische Modellierung der Dynamik von postmortalen Vorgängen in der menschlichen Haut sowie die Entwicklung geeigneter experimenteller und auch informationstechnologischer Rahmenbedingungen zum breiten Einsatz der entwickelten Technologien. Dabei sind folgende Teilziele formuliert:

- Aufbau der experimentellen Voraussetzungen zur engmaschigen Dokumentation von postmortalen Veränderungen der Haut auf der Basis reflexionsspektrometrischer Messungen

- Verbesserung des zugrunde liegenden physikalischen Hautmodells im Hinblick auf Messgeometrie und Hautmorphologie
- Beschreibung und mathematische Modellierung der zeitlichen Entwicklung von Hautfarbstoffkonzentrationen und Streuergrößenverteilungen
- Erweiterung des zugrunde liegenden physikalischen Hautmodells im Hinblick auf eine verbesserte Anwendung für forensisch-medizinische Fragestellungen

Roboterassistiertes mobiles Messsystem

Durch die Automatisierung der Messungen mit einem roboterassistierten mobilen Messsystem schafft die Robotergruppe der Hochschule Offenburg insbesondere die experimentellen Voraussetzungen für die systematische Erfassung der Messreihen ohne äußere Störeinflüsse und in gekühlter Umgebung. Dabei wird ein neues Spektrometer eingesetzt, das einen entsprechenden Steuerrechner, einen fahrbaren Labor-tisch, einen Roboterarm für die Bewegung des Messkopfs, ergänzt um Temperatursensoren zur Oberflächenmessung und eine Digitalkamera, benötigt. Die gesamte Messeinrichtung soll in der sehr beengten Kühlkammer Platz finden, um dort in regelmäßigen Abständen von 30 bis 60 Minuten Messungen an einer definierten Hautstelle vorzunehmen. Der Messkopf soll dabei durch den Roboterarm automatisch nur zur Messung auf der Haut platziert werden und sonst so positioniert bleiben, dass der Untersuchungsbereich ungehinderten Kontakt mit der Umgebungsatmosphäre hat. Darüber hinaus soll die Hauttemperatur in der Nachbarschaft der Messstelle kontinuierlich aufgezeichnet werden. Es sind die nachfolgenden Teilziele zur Entwicklung des mobilen Messsystems gesteckt worden:

- Entwicklung der Software zur Messdatenerfassung
- Ansteuerung der Messinstrumente (Spektrometer, Thermometer, Digitalkamera) mit LabVIEW
- Transferieren der Daten in das elektronische Laborbuch

- Entwicklung eines Steuerungsprogramms für den Roboterarm
- Entwicklung eines Verfahrens zum Teaching der anzufahrenden Positionen
- Ansteuerung vorgegebener Positionen mit Hilfe eines Ultraschallsensors
- Integration und Koordination der Roboterarmsteuerung und der Messdatenerfassung
- Test und Adaption des Messplatzes für einen sicheren Betrieb
- Dokumentation der automatisierten Zeitreihenerfassung

Das roboterassistierte mobile Messsystem ist detailliert in [5] beschrieben.

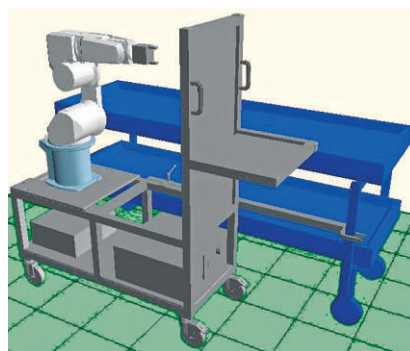


Abb. 1.5-1: Rollwagen

Bewegungssystem (Roboter und Roboterwagen)

Als zentrale Komponente für das Bewegungssystem wurde ein Knickarmroboter ausgewählt, da es diese Robotergattung erlaubt, innerhalb des Arbeitsraums jede Messposition mit jeder beliebigen Ausrichtung des Messkopfs einzustellen. Bei der Auswahl wurde auf ein ausreichendes Arbeitsraumvolumen, den Betrieb bei Kühlraumtemperaturen und einen Compliance-Modus geachtet. „Compliance“ bedeutet hier, dass der Roboterarm äußeren Kräften in bestimmten Richtungen ausweichen kann, also z. B. von Hand bewegt werden kann bzw. auf Hindernisse nur mit begrenzter Kraft drückt. Auf einen eigenen Entwurf eines Bewegungssystems z. B. mit Justageeinrichtungen und Lineartrieben wurde wegen der geforderten Betriebstemperaturen und der Vielzahl zu-

sätzlich zu realisierender Schnittstellen in Anbetracht des Kostenrahmens verzichtet.

Der Roboter, das Spektrometer und alle weiteren Komponenten des Messdatenerfassungssystems sind auf einen Rollwagen montiert, der im Kühlraum nur sehr begrenzt Platz zwischen zwei Wannengestellen, auf denen die Verstärker liegen, einnehmen darf (s. Abbildung 1.5-1). Der Rollwagen muss während einer Messreihe fest mit dem Wannengestell verbunden sein, um die Positionierung des Messkopfs zu gewährleisten. Die Person, die die Messung einrichtet, hat durch eine Plexiglas-scheibe freie Sicht auf den Messkopf am Roboterarm, ist aber im Fall einer Fehlbedienung ausreichend geschützt. Ein Sicherheitszaun ist nicht erforderlich, da Geschwindigkeiten über 200 mm/s nicht erreicht werden.

Messkopf

In den Messkopf am Ende des Roboterarms muss eine Reihe verschiedener Funktionen integriert werden (s. Abbildung 1.5-2). Das ist an erster Stelle der Spektrometerkopf, also das ummantelte und abgeschrägte Ende eines Lichtleiters zum Spektrometer. Für eine kontrollierte und möglicherweise teilautomatisierte Annäherung des Spektrometerkopfs an das ausgewählte Hautareal sind ein Ultraschall-Entfernungsmesser und vier Mikroendschalter neben dem Lichtleitende vorgesehen. Weiterhin wird durch ein Kontaktthermometer die Temperatur der Hautoberfläche bestimmt. Bei Bedarf soll es möglich sein, nach jeder Messung ein Foto des interessierenden Hautareals zu machen, um zu ermitteln, ob sich die Morphologie des Flecks zeitlich ändert. Hierfür ist eine USB-Kamera mit einem Beleuchtungsring aus weißen Lichtdioden vorgesehen.

Die Geometrie des Messkopfs muss so gewählt werden, dass potenziell ein möglichst großes Hautareal insbesondere an der rückenseitigen Thorax-Seitenwand erreicht werden kann. Dort muss sowohl der Messkopf aufgesetzt als auch das Foto aufgenommen werden können. Weiterhin muss der Bediener den Kontakt zwischen dem Spektrometerkopf und der Haut beurteilen können. Roboterseitig darf der minimal erlaubte Krümmungsradius des Lichtleiters bei der Zuführung nicht unterschritten werden. Ein

Programm zur Simulation von Roboterbewegungen erwies sich in diesem Zusammenhang sowie für das Austesten von Roboterprogrammen (in MelfaBasic) als sehr hilfreich (s. Abbildung 1.5-3).

Messdatenerfassung

Die Messdatenerfassung umfasst neben der Registrierung der Remissionsspektren über ein Spektrometer der Firma Zeiss (MCS601), die Messung der Hauttemperatur in direkter Nähe des Spektrometerrmesskopfs und häufigere Messungen der Oberflächentemperatur des Verstorbenen. Hier werden relativ schnell reagierende Pt-100-Temperaturfühler in einer Vierleiterkonfiguration verwendet. Für die Überwachung der Messungen und eine teilautomatisierte Annäherung des Messkopfs liefert ein Ultraschall-Entfernungsmesser ein Spannungssignal, das Abständen von 20 mm bis 200 mm entspricht, und die vier Mikroendschalter ergeben An-/Auswerte. Weiterhin müssen für die Registrierung eines digitalen Fotos die Ringbeleuchtung angeschaltet und die Bilddaten übertragen werden.

Wegen der Vielfalt der verschiedenen Messsignale und des Datenvolumens (Bilddaten, analoge Spannungswerte, digitale E/A) erfolgt die Messdatenerfassung nicht ausschließlich über die Robotersteuerung, sondern es wird ein separates USB-Messdatenerfassungsmodul eingesetzt (s. Abbildung 1.5-2). Der Messdatenerfassung werden entsprechende Messumformer zur Signalkonditionierung vorgeschaltet, z. B. für die verwendeten Pt-100-Widerstandsthermometer und die Beleuchtungssteuerung. Da die Erfassung der Mikroendschalterstellung besonders zeitkritisch ist, werden diese direkt von der Robotersteuerung ausgelesen.

Im Fall einer teilautomatisierten Annäherung des Messkopfs wird einerseits die Bewegung durch die Robotersteuerung festgelegt, andererseits muss der Robotersteuerung der momentane Abstand bekannt sein, der aber vom Messdatenerfassungsmodul registriert wird. Die Koordination dieser Vorgänge erfolgt über ein Triggersignal der Robotersteuerung an das Messdatenerfassungsprogramm. Nach Empfang des Triggersignals sendet dann das Messdatenerfassungsprogramm den Abstandswert über Ethernet an die Robotersteuerung.

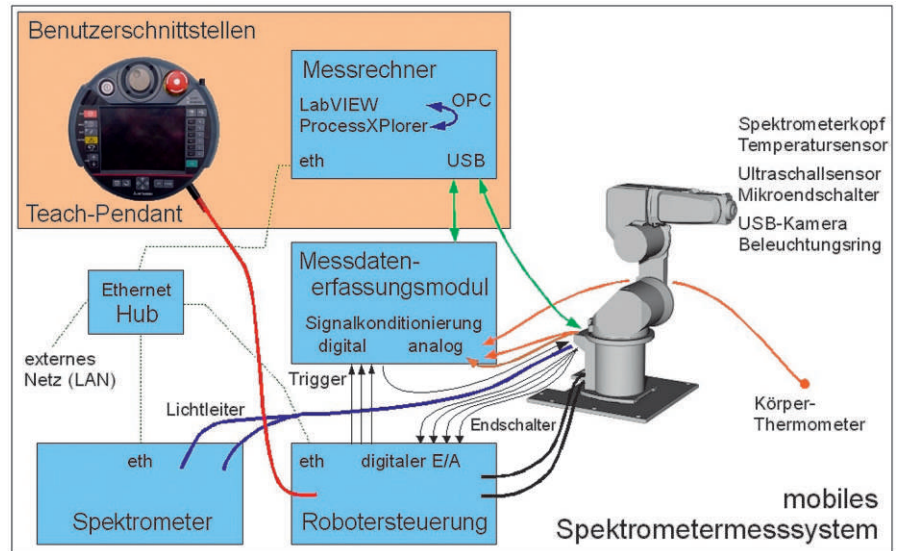


Abb. 1.5-2: Überblick über die Messdatenerfassung und Steuerung des mobilen Spektrometersystems

Umgekehrt kann die Robotersteuerung auch die Stellung der Mikroendschalter bzw. auch beliebige Positionsparameter kommunizieren.

Das Messdatenerfassungsprogramm wird mit LabVIEW realisiert, da in diesem Fall Treibersoftware für die gesamte verwendete Hardware und die Kommunikationswege vorhanden ist. Im Fall des Spektrometers erfolgt der Datenaustausch mit der Spektrometer-Software ProcessExplorer über eine Open-Process-Control-Schnittstelle (OPC). Die Kommunikation zwischen LabVIEW und der Robotersteuerung erfolgt über einen TCP/IP-Kanal.

Weiterhin eignet sich LabVIEW für die schnelle Erstellung einer Benutzeroberfläche für den Bediener, der z. B. auch die Daten des Verstorbenen eingeben muss. Ebenso können die gewonnenen Daten leicht und effizient lokal auf dem Messrechner (zwischen-)gespeichert und an das elektronische Laborbuch übermittelt werden.

Integration zum Gesamtsystem und Verifikation

Wie im vorhergehenden Abschnitt schon angedeutet, erfolgt die Programmierung der Roboterbewegungen einerseits und der Messdatenerfassung andererseits mit verschiedenen Programmierwerkzeugen auf zwei separaten Rechnersystemen. Das liegt im Wesentlichen daran, dass die Bewegungssteuerung einen zuverlässigen und sicheren Betrieb gewährleis-

ten muss, während die Messdatenerfassung nicht zur direkten Gefährdung von Personen oder Gegenständen führen kann. In diesem Zusammenhang ist generell eine „Vermischung“ der verschiedenen Aufgabenbereiche zu vermeiden. Es ist somit klar, dass die Robotersteuerung den zeitlichen Ablauf der Messungen festlegt, während die Messdatenerfassung „auf Anweisung“ arbeitet. Ein wichtiger Gesichtspunkt ist dabei die Anfangsphase bei der Einrichtung einer Messreihe. Die gewünschte Flexibilität für die Einstellung des Messorts bedingt, dass die Position bzw. eine Abfolge von Positionen zu Beginn der Messreihe „geteacht“ werden. Da dies Bewegungsvorgänge sind, muss das Teachen über Robotersteuerung erfolgen, und zwar mit einem angeschlossenen Handbediengerät (Teach-Pendant, s. Abbildung 1.5-2). Die Benutzerführung beim Teachen wird vom Roboterhersteller so gestaltet, dass sicherheitskritische Situationen normalerweise nicht auftreten können.

Derzeit (Ende 2009) sind alle Komponenten des mobilen Messsystems ausgewählt und weitgehend beschafft, sodass die vollständige Integration unmittelbar bevorsteht. Ebenso sind viele Software-Komponenten im Einzelnen erprobt worden – mit Ausnahme der Spektrometer-Software, da das Spektrometer erst in Kürze zur Verfügung stehen wird. Als wesentlicher Schritt steht als Nächstes die Integration aller Softwarekomponenten zu einem Gesamtprogramm mit ei-

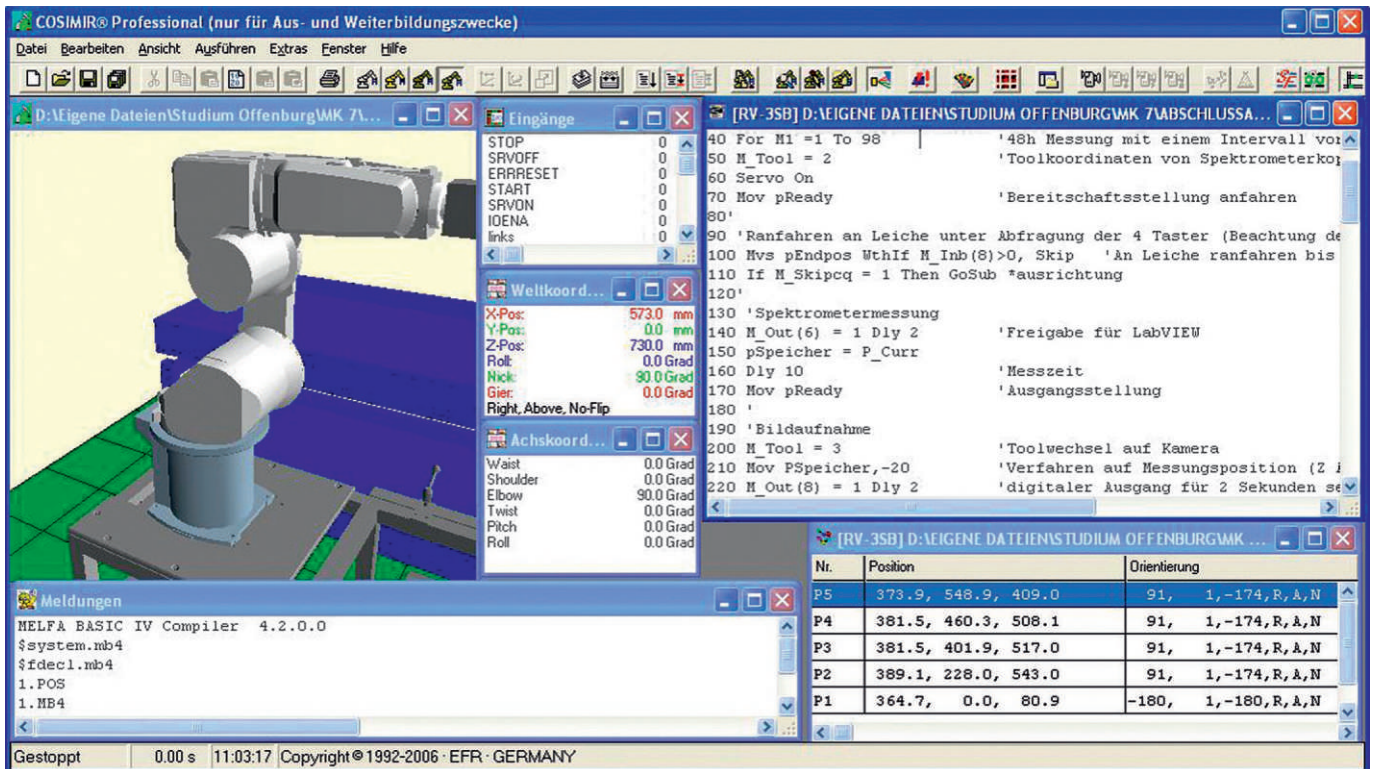


Abb. 1.5-3: Simulation von Bewegungsabläufen mit dem Robotersimulationsprogramm Cosimir

ner entsprechenden Benutzerschnittstelle an. Auf dieser Grundlage können dann Messreihen zur Verifikation der Funktion durchgeführt und die Archivierung der Daten überprüft werden.

Fazit

Die Konzeptionsphase für das roboter-gestützte mobile Spektrometersystem ist im Wesentlichen abgeschlossen und die Einzelkomponenten sind beschafft und getestet. Der Aufbau des Gesamtsystems wird in Kürze abgeschlossen sein. Kritische Programmteile sind ebenfalls getestet worden. Die Hauptaufgabe bis zum Abschluss des Projekts ist die Integration aller Softwarekomponenten zum Gesamtsystem und der Probebetrieb kompletter Messreihen.

Referenzen/References

[1] Bohnert M., Weinmann W., Pollak S. 1999. Spectrophotometric evaluation of postmortem lividity. *Forensic Sci Int* 99:149-58

[2] 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

[3] Bohnert M., Schulz K., Belenkaia L., Liehr A. W.: 2008. Reoxygenation of hemoglobin in livores after postmortem exposure to a cold environment. *Int J Legal Med* 122:91-6

[4] Belenkaia L., Bohnert M., Liehr A.W.: 2006. Electronic laboratory notebook assisting reflectance spectrometry in legal medicine. arXiv DOI: <http://arxiv.org/abs/cs.DB/0612123>

[5] Ratajczak C.: 2010. Entwicklung eines robotergestützten mobilen Messsystems zur spektroskopischen Vermessung von Leichenflecken. Bachelor-Abschlussarbeit. Offen-burg: Hochschule Offenburg (in Vorbereitung)