

Jens Thomas, Potsdam-Bornim

# Arbeitsbewegungen erkennen und optimieren

## Ein computergestütztes Bewegungsanalyse-System zur Untersuchung manueller Tätigkeiten bei der Gemüseaufbereitung

Zur dreidimensionalen Aufnahme, Darstellung und Auswertung von Arbeitsbewegungen wurde eine bildanalytische Methode weiterentwickelt und angepaßt. Das System kombiniert ein digitales Verfahren zur Aufzeichnung von 3D-Bewegungsspuren und -daten in Echtzeit mit herkömmlicher Videotechnik. Verdeckte Mängel an Mensch-Maschine-Schnittstellen und bei der Arbeitsablaufgestaltung können aufgedeckt werden. Vorgestellt werden die systemtechnischen Eigenschaften der Anlage und deren Einsatz am Beispiel der Beschickung einer Porree-Aufbereitmäaschine.

die Breite der Bewegungsbänder bei zyklischen Arbeitssequenzen lassen Rückschlüsse auf den Übungs- oder den Ermüdungsgrad der beobachteten Arbeitsperson zu. Es können aber auch verdeckte Mängel bei der Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstellen erkannt werden.

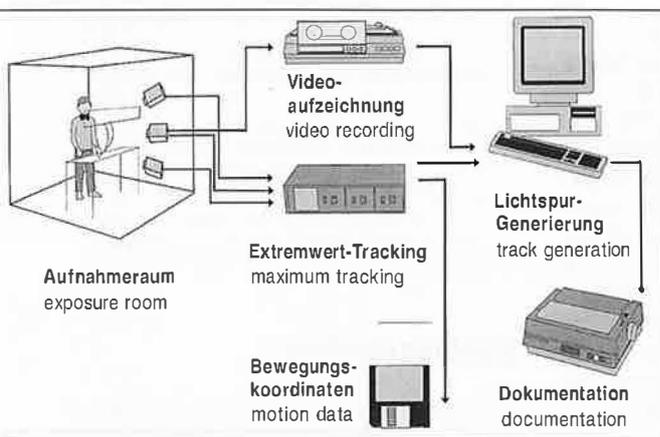
Die Bewegungsanalyse wurde von uns deshalb als wesentliche Methode in das Gesamtkonzept arbeitswissenschaftlicher Untersuchungsmethoden aufgenommen.

### Extremwert-Tracking-Verfahren erzeugt dreidimensionale Leuchtspuren des gesamten Bewegungsablaufes

Zur dreidimensionalen Darstellung von Bewegungsbahnen wurde ein Extremwert-Tracking-Verfahren gewählt. Die Methode wurde für den speziellen Anwendungsfall der Analyse von Arbeitsbewegungen weiterentwickelt, mit

Bild 1: Dreidimensionale Bewegungsanalyse mit Extremwert-Tracking und Videotechnik

Fig. 1: Three dimensional motion analysis by maximum tracking and video technology



Ortsfeste Arbeitsplätze sind im Ernte- und Nacherntebereich des Gartenbaues nach wie vor häufig schlecht an die ergonomischen Anforderungen der Arbeitspersonen angepaßt und deshalb mit zum Teil hoher physischer Belastung verbunden. Die Gleichmäßigkeit von sich wiederholenden Arbeitsbewegungen an solchen Arbeitsplätzen kann Kennzeichen einer mehr oder weniger guten Arbeitsplatz- und Arbeitsablaufgestaltung sein. Die Charakteristik der Bewegungsbahnen markanter Körperpunkte sowie

Videotechnik kombiniert und an die spezifischen Anforderungen angepaßt (Bild 1). An das Verfahren wurden folgende Anforderungen gestellt:

- **Mobilität** für den Einsatz sowohl unter idealisierten Laborbedingungen als auch am realen Arbeitsplatz
- **Hardware-Kompatibilität** zum Einsatz in Verbindung mit verbreiteter zur Verfügung stehender Rechentechnik
- **Datenkompatibilität** zur gemeinsamen Verarbeitung der Bewegungsdaten mit dazu aufgezeichneten Beanspruchungswerten
- **Robustheit** zur Unterstützung der Mobilität und für den Einsatz auch unter Extrembedingungen (Schmutz, Staub, Feuchtigkeit)
- **Anschaulichkeit** und gute **Erklärungsfähigkeit** zur Übertragung der Ergebnis-

se in die Praxis und zur Erarbeitung von Gestaltungsmaßnahmen

An ausgewählten Körperpunkten der Arbeitsperson werden Infrarot-Leuchtdioden angebracht, deren Bewegungen von zwei Meßkameras gleichzeitig, also dreidimensional registriert werden. Aus jedem Einzelbild der Sequenz wird immer nur das jeweils am hellsten beleuchtete Pixel des CCD-Chips detektiert. Durch diese drastische Datenreduktion ist das System in der Lage, die Raumkoordinaten in Echtzeit zu berechnen, darzustellen und abzuspeichern.

Als Meßrechner wird ein handelsüblicher PC (Pentium) eingesetzt. Sequenzen bis zu einer Dauer von 90 Minuten können aufgezeichnet werden. In der Regel reichen jedoch Aufnahmezeiten von etwa zwei Minuten Dauer aus, um ortsfeste zyklische Bewegungsabläufe zu charakterisieren.

Zur dreidimensionalen Positionsbestimmung der Meßpunkte muß die relative Position der beiden Meßkameras zueinander genau definiert sein. Sie wurden dazu fest in eine transportable Hohl-schiene (Aluminium-Kastenprofil) eingebaut. Damit ist das System ortsunabhängig und neben dem Einsatz unter Laborbedingungen zur Analyse von stationären Arbeitssituationen in Praxisbetrieben einsetzbar. Objektive und Beobachtungswinkel des Meßsystems wurden so gewählt, daß die Kameras einen Beobachtungsraum von etwa zwei Meter Durchmesser in einer Entfernung von 2,5 Metern erfassen.

Die dreidimensionalen Bewegungsspuren können auf dem PC-Bildschirm farbig dargestellt und zunächst visuell durch Drehung im Raum oder durch wiederholten Aufbau im Zeitablauf voranalysiert werden (Bild 2). Interessante Teilspurlängen, Punktabstände im Raum oder die Geschwindigkeit von Teilbewegungen können berechnet werden. Zusätzlich wird bei entsprechender Wahl der Markerpositionen über die Ermittlung der relativen Lage und der Winkel ausgewählter Körperachsen zueinander die Abschätzung der Belastung der Arbeitsperson durch die Arbeitsaufgabe in Form einer Körperhaltungsanalyse möglich.

### Videotechnik verbessert die Erklärungsfähigkeit aufgedeckter Mängel

Zur Verbesserung der Erklärungsfähigkeit wurde das vorgestellte Extremwert-Tracking-Verfahren mit einer analogen Videoaufzeichnung des Arbeitsablaufes kombiniert. Dadurch ist es möglich, die durch die Analyse der Bewegungsbahnen erkannten Abweichungen einzelner Bewegungen vom normalen Ablauf im nachhinein aus der Bandaufzeichnung zu erklären.

Dr. Jens Thomas ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung „Technik im Gartenbau“ (Leiter: Dr. Martin Geyer) am Institut für Agrartechnik Bornim e.V. (ATB), Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam (Wissenschaftlicher Direktor: Prof. Dr.-Ing. Jürgen Zanke).

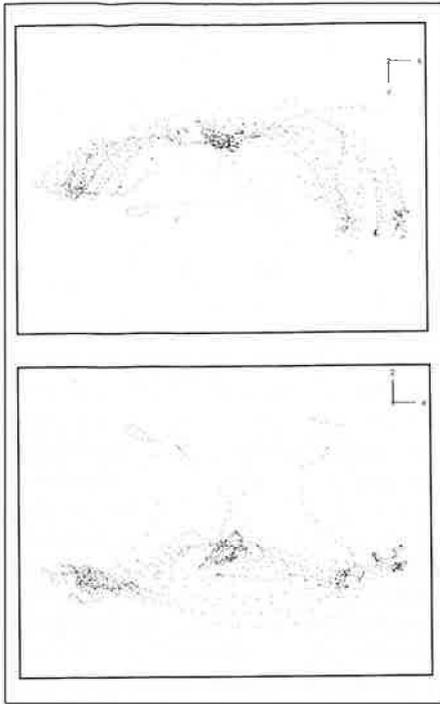


Bild 2: Bewegungsbahnen der Hände bei der Beschickung einer Porree-Putzmaschine; Arbeitssituation aus Bild 3 (oben: Ansicht von vorn – unten: Draufsicht)

Fig. 2: Hand motion tracks from charging a leek processing line, real situation like Fig. 3 (above: front view – below: view from the top)

Zu diesem Zweck ist in die Kameraschiene in Zentralstellung eine dritte Kamera eingebaut. Der Video-Recorder wird komplett über den PC gesteuert. Über ein Time-Code-Modul ist die Aufzeichnung von Zeitcoden möglich. Dadurch kann, zum Beispiel bei Erkennung einer markanten Bewegung aus einer farbigen Bewegungsspur, jedes zugehörige Videobild exakt angesteuert werden. Durch Halbbild-Einzelweitschaltung ist die genaue Analyse einzelner Bewegungsschritte möglich.

Zur Dokumentation kann das schwarz/weiß-Videobild mit den farbigen Bewegungsspuren überlagert und über einen Drucker ausgegeben werden.

### Analyse einer Maschinenbeschickung

Die Funktion des vorgestellten Systems wurde in ersten Untersuchungen zur Analyse von Arbeitsbewegungen bei der manuellen Beschickung einer Porree-Aufbereitungsanlage getestet. Das kombinierte Dokument aus einem Videobild und den überlagerten Bewegungsspuren (im Original farbig) zeigt Bild 3.

Gemäß Aufgabenstellung waren die Porreestangen in beliebiger Menge aus der Kiste zu entnehmen, der Vorrat auf der linken Hand zu halten und die Stangen mit der rechten Hand einzeln auf dem Band zu positionieren. Daraus resultierten vier Griffe mit beiden Händen in die Vorratskiste sowie 22 Zuführbewegungen mit der rechten Hand zum Ablageband.

Da die Arbeitsperson ungeübt und mit dem modellmäßig aufgebauten Arbeitsplatz nicht vertraut ist, ergibt sich eine starke Streuung der Bewegungsbahnen mit zum Teil nicht aufgabengemäßen Einzelbewegungen. Die konstruierte Arbeitssituation läßt folgende technische Mängel deutlich werden:

- Die Seitenwände der Vorratskiste stören bei der Entnahme der Porreestangen. Stark bogenförmige Bewegungsbahnen aus der Kiste heraus sind das Ergebnis.
- Die Bandgeschwindigkeit ist zu hoch. Die Arbeitskraft führt unter der Vorgabe, möglichst sorgfältig einzulegen, die rechte Hand stark nach. Der Haupt-Ablagebereich verschiebt sich in Bandlaufrichtung weit von der Arbeitsperson weg. Daraus resultieren lange Bewegungsbahnen. Nur wenige Ablagefächer werden besetzt.

Eine weitergehende Analyse läßt die reine Darstellung der Bewegungsspuren nach Bild 2 zu. Aus der Punktdichte sind die Hauptaufenthaltsräume der beiden Hände zu entnehmen:

- Beide Hände bei der Entnahme aus der Kiste (rechter Bildrand)
- Linke Hand (Haltehand) im Bildzentrum
- Rechte Hand beim Einlegevorgang (linker Bildrand)

Aus den Erkenntnissen lassen sich letztendlich systemverbessernde Gestaltungsmaßnahmen ableiten.

### Zukünftige Möglichkeiten weitreichend

Die bisherigen Erkenntnisse in Bezug auf die Handhabung des Systems werden in der folgenden Erntesaison erstmals in der Praxis umgesetzt und diskutiert. Dazu ist zur Bewertung einzelner Arbeitsabläufe in Bezug auf Belastung und Beanspruchung (Haltungsanalyse) weitere Programmierarbeit notwendig.

Die Einbindung der dreidimensionalen Bewegungsdaten in ein biomechanisches

Modell des menschlichen Körpers zur Ermittlung von Grenzkraften und Drehmomenten, Grenz- oder Maximallasten ist denkbar. Die dazu erforderliche meßtechnische Genauigkeit der Marker-Ortsbestimmung wird von dem vorgestellten System erfüllt. Ein Problem besteht jedoch zur Zeit noch darin, die Marker mit der dazu erforderlichen Exaktheit am Körper zu positionieren. In Kombination mit spezifischen Personendaten könnte ein solches Modell auch zur individuellen Anpassung von Arbeitsplätzen über rechnergestützte Konstruktionshilfsmittel dienen. Modelle dieser Art sind derzeit weltweit für die verschiedensten Anwendungsfälle in der Entwicklung, müssen jedoch in Bezug auf ihre Übereinstimmung mit der Realität noch sehr kritisch beurteilt werden.

### Literatur

- [1] Thomas, J.: Computergestützte Echtzeit-Analyse von Arbeitsbewegungen durch Extremwert-Tracking und Videotechnik. In: Computer-Bildanalyse in der Landwirtschaft, Workshop 1997, Bornimer Agrartechnische Berichte, Heft 14, S. 46-53; Institut für Agrartechnik Bornim e.V., Potsdam-Bornim, 1997
- [2] Thomas, J.: Anwendung einer neuen Online-Lichtspurtechnik in Kombination mit Videotechnik zur Bewegungsanalyse. In: 11. Arbeitswissenschaftliches Seminar am 1. und 2. Oktober 1997 in Potsdam-Bornim, Bornimer Agrartechnische Berichte Heft 16: S. 82-91; Institut für Agrartechnik Bornim e.V. (ATB), Potsdam-Bornim, 1997

### Schlüsselwörter

Arbeitsplatzgestaltung, Bewegungsanalyse, Mensch-Maschine-System, Videotechnik, Bildverarbeitung

### Keywords

Work science, man machine interaction, motion analysis, image processing, video technology, motion tracking



Bild 3: Analyse-Dokument mit Video-Aufnahme und überlagerten Bewegungsspuren

Fig. 3: Document of analysis with video exposure and the superposed motion tracks