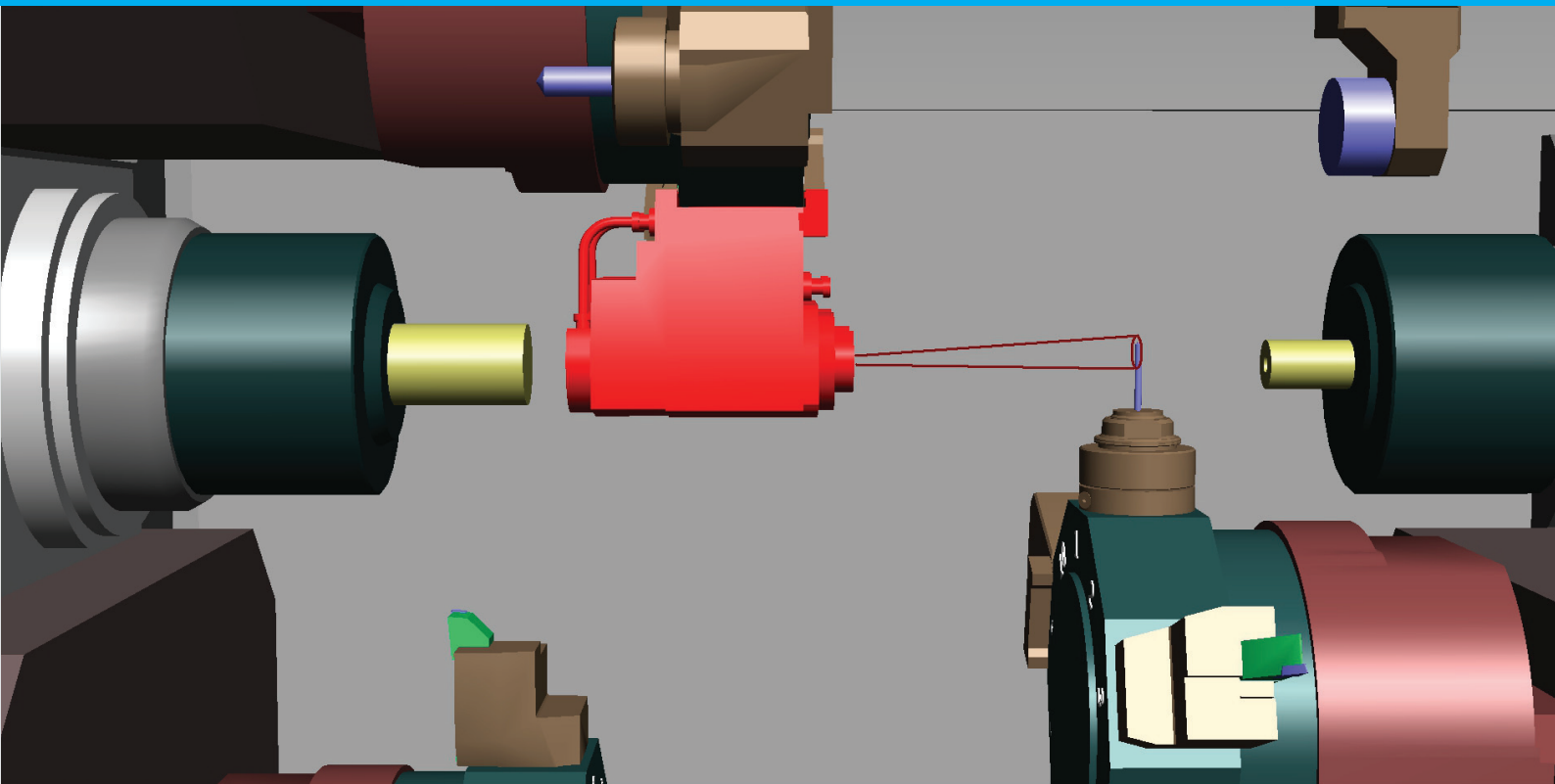


FORSCHUNG FÜR DIE PRODUKTION VON MORGEN

**MobiKAM**  
MESSEN UND PRÜFEN MIT MOBILEN KAMERAS  
IM ARBEITSRAUM VON PRODUKTIONSMASCHINEN  
GEMEINSAMER ABSCHLUSSBERICHT



GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

BETRET VOM



PTKA  
Projektträger Karlsruhe  
Karlsruher Institut für Technologie

**INDEX**



**Fraunhofer**  
IPK



**PHYTEC**

# ***MobiKAM***

## Messen und Prüfen mit Mobilien Kameras im Arbeitsraum von Produktionsmaschinen

ein Verbundprojekt im Themenfeld "Optische Messtechnik"  
im Rahmen des Förderprogramms  
"Forschung für die Produktion von morgen"

### Gemeinsamer Abschlussbericht

**Projektpartner:**

INDEX-Werke GmbH & Co. KG Hahn & Tessky, Esslingen

HOLZMA Plattenaufteiltechnik GmbH, Calw-Holzbronn

PHYTEC Messtechnik GmbH, Mainz

Vision&Control GmbH, Suhl

Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik, Berlin

**Koordination:**

Dr.-Ing. Bernd Walker

INDEX-Werke GmbH & Co. KG Hahn & Tessky

Postfach 10 03 54, 73726 Esslingen

Tel: 0711/3191-205

Fax: 0711/3191-794

Bernd.Walker@index-werke.de

Datum: 19.12.2011

Dieses Forschungs- und Entwicklungsprojekt wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmenkonzept „Forschung für die Produktion von morgen“ (Förderkennzeichen 02PU2520 bis 02PU2524) gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

GEFÖRDERT VOM



BETREUT VOM



## Vorwort

Bei der Entwicklung von Fertigungssystemen werden immer höhere Anforderungen an Flexibilität, Automatisierbarkeit und Beherrschbarkeit der Anlagen und Prozesse gestellt. Zukünftig müssen intelligente Maschinen über Systeme verfügen, die erweiterte Fähigkeiten zum Überwachen und Prüfen integrieren und damit adaptives Verhalten ermöglichen. Konzepte zur Qualitätssicherung, die sonst nur mit peripheren Zusatzkomponenten realisierbar sind, sollen in die Maschine integriert werden. Hersteller von Werkzeugmaschinen sind im Sinne der weiteren Automatisierung von Teilfunktionen und der Integration neuer sensorischer Fähigkeiten stets auf der Suche nach neuen Lösungen für das maschinenintegrierte, prozessnahe Messen sowie die Überwachung von Prozessabläufen und Maschineneinrichtungen.

Während optische Sensorik und Bildverarbeitung ein fester und unverzichtbarer Bestandteil in Automatisierungslösungen geworden sind und sich dort in vielfältigen Anwendungen wie Mess- und Prüfaufgaben oder für das Erkennen von Teilen bei Transport und Handhabung bewähren, werden die Potenziale dieser Technologien in Werkzeugmaschinen noch wenig genutzt. Die vielfältigen Möglichkeiten optischer Sensorik und Bildverarbeitung sind nach heutigem Stand gerade dort nicht einsetzbar, wo die Werkstücke entstehen, nämlich im Arbeitsraum der Maschine. Hauptursache hierfür sind die aus dem maschinenintegrierten und fertigungsnahen Einsatz resultierenden spezifischen Anforderungen hinsichtlich Robustheit und einfacher Integrationsfähigkeit bei gleichzeitig geforderter freier Positionierbarkeit des Kamerasystems im Arbeitsraum.

Ausgehend von vorangegangenen Arbeiten bei den beteiligten Projektpartnern entstand daher die Idee zur grundsätzlichen Erarbeitung von Lösungen für den fertigungsgerechten Einsatz optischer Messtechnik im Maschinenraum. Die im Verbundprojekt „Messen und Prüfen mit Mobilien Kameras im Arbeitsraum von Produktionsmaschinen – MobiKAM“ identifizierten Anwendungsfälle reichen vom einfachen Beobachten des Prozesses beim Einrichten oder Bearbeiten über das automatisierte Prüfen des Werkstücks oder von Werkzeugen im Arbeitsraum der Maschine bis hin zum einfachen Messen von Geometriemerkmalen. Eine zentrale Forderung war die Mobilität und freie Positionierbarkeit des Kamerasystems im Arbeitsraum der Maschine, damit das System flexibel für andere Mess- und Prüfaufgaben genutzt werden kann. Dies erfordert neben der kinematischen Lösung für die freie Beweglichkeit der Kamera im Arbeitsraum gleichzeitig Lösungen der autarken Energieversorgung und drahtlosen Datenkommunikation, um aufwendige und einschränkende Kabelanschlüsse zu vermeiden.

Dank der Förderung des Projekts MobiKAM mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) im Themenfeld „Optische Messtechnik“ des Förderprogramms „Forschung für die Produktion von morgen“ konnten die Projektpartner technische Voraussetzungen schaffen und Lösungskomponenten entwickeln, die eine einfache Integration optischer Sensorik und Bildverarbeitungsapplikationen in Produktionsmaschinen ermöglichen. Die erarbeiteten Lösungen und gewonnenen Erkenntnisse können nun bei der Gestaltung und Entwicklung zukünftiger Produktlösungen einfließen. Durch die im Projekt realisierten und demonstrierten Anwendungen konnte bereits der Nutzen aufgezeigt werden. Die dabei erkannten Vorteile waren bereits Ideengeber für neue zukünftige Anwendungen dieser Technologie in Produktionsmaschinen.

Dr.-Ing. Bernd Walker

INDEX-Werke GmbH & Co. KG Hahn & Tessky

Dipl.-Ing. Eckhard Hohwieler

Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen  
und Konstruktionstechnik (IPK)





# Inhalt

<b>1</b>	<b>Kurzbeschreibung</b> .....	<b>1</b>
1.1	Gesamtziel des Vorhabens .....	1
1.2	Arbeitsplanung .....	1
1.3	Ergebnisverwertung .....	1
<b>2</b>	<b>Stand der Wissenschaft und Technik zu Projektbeginn</b> .....	<b>2</b>
2.1	Stand der Wissenschaft und Technik.....	2
2.2	Defizite und Handlungsbedarf.....	4
2.3	Patentsituation.....	4
<b>3</b>	<b>Arbeitsplan</b> .....	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>Anwendungsszenarien und Systemstruktur</b> .....	<b>6</b>
4.1	Szenarien und Anwendungen .....	6
4.1.1	Verallgemeinerte Darstellung der Szenarien .....	7
4.1.2	Einsatzsituationen der Fa. INDEX/TRAUB .....	8
4.1.3	Anwendungsszenarien der Fa. HOLZMA .....	8
4.2	Ableitung der Anforderungen .....	9
4.3	Systemstruktur .....	9
4.3.1	Gesamtsystem - Integration in die Steuerungsumgebung.....	9
4.3.2	Die mobile Kamera.....	11
<b>5</b>	<b>Lastenhefte</b> .....	<b>13</b>
5.1	Fa. INDEX/TRAUB .....	13
5.1.1	Mobile Kamera beim Einrichten und Einfahren.....	13
5.1.2	Kamera auf dem Werkzeugträger .....	15
5.2	Fa. HOLZMA .....	18
5.2.1	Platteneinschub am Hubtisch.....	18
5.2.2	Kameragesteuerte Vorritzsägeneinstellung .....	20
5.2.3	Manuell geführte Kamera zur Kontrolle der Schnittqualität .....	21

<b>6</b>	<b>Untersuchungen .....</b>	<b>22</b>
6.1	Objektive und Beleuchtungen.....	22
6.2	Voruntersuchungen zu den Pflichtenheften.....	24
6.3	Funkkommunikation.....	26
6.4	Energieversorgung.....	31
6.4.1	Energieversorgung der mobilen Kamera mit Generator.....	31
6.4.2	Energieversorgung der mobilen Kamera mit Akku/Ladestation .....	32
6.5	Funktionale Integration in die Steuerungsumgebung .....	35
6.6	Architektur für das Zusammenwirken der verteilten Software-Systeme.....	36
<b>7</b>	<b>Demonstrierte Lösungen .....</b>	<b>38</b>
7.1	Mobile Kameras .....	38
7.2	Softwarefunktionen der Demonstratoren.....	44
7.2.1	Platteneinschub am Hubtisch (Fa. HOLZMA) .....	45
7.2.2	Manuell geführte Kamera zur Kontrolle der Schnittqualität (Fa. HOLZMA) .....	45
7.2.3	Kameragesteuerte Vorritzsägeneinstellung (Fa. HOLZMA).....	45
7.2.4	Mobile Kamera beim Einrichten und Einfahren (Fa. INDEX/TRAUB) .....	46
7.2.5	Kamera auf dem Werkzeugträger (Fa. INDEX/TRAUB).....	46
7.3	Funkkommunikation.....	46
7.3.1	Baugruppen zur Live-Bild-Codierung und zur WLAN-Übertragung.....	47
7.3.2	Modul Drahtlose Kommunikation.....	50
7.4	Energieversorgung.....	50
7.4.1	Energieversorgung mit Akkumulatoren .....	51
7.4.2	Energieversorgung mit Generator .....	51
7.5	Steuerungsintegration.....	52
7.5.1	Steuerungsintegration bei Fa. INDEX/TRAUB .....	52
7.5.2	Steuerungsintegration bei Fa. HOLZMA .....	54
7.5.2.1	Steuerungsarchitektur.....	54
7.5.2.2	Datenfluss .....	55

<b>8</b>	<b>Verwertung und Ausblick.....</b>	<b>56</b>
8.1	Vergleich zum Stand der Technik .....	56
8.1.1	Optische Messeinrichtung HCC - Heli Contour Check .....	56
8.1.2	Messsystem iView.....	56
8.2	Verwertung INDEX.....	56
8.3	Verwertung HOLZMA.....	57
8.3.1	Optisches Plattenzählen am Hubtisch .....	57
8.3.2	Mobile Kamera zur Vorritzsägeneinstellung .....	59
8.3.3	Manuell geführte Kamera zur Ermittlung der Schnittqualität .....	61
8.4	Verwertung Vision&Control .....	62
8.5	Verwertung PHYTEC .....	63
8.6	Verwertung Fraunhofer IPK .....	64
<b>9</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>68</b>



# 1 Kurzbeschreibung

## 1.1 Gesamtziel des Vorhabens

In diesem Vorhaben wurden die technischen Voraussetzungen geschaffen und innovative Lösungskomponenten prototypisch entwickelt und demonstriert, die eine einfache Integration optischer Sensorik und Bildverarbeitungsapplikationen in Produktionsmaschinen ermöglichen und damit neue zukünftige Anwendungsfelder für bildgestützte Messtechnik in Fertigungsprozessen erschließen. Damit soll insgesamt einer breiten Einführung und Nutzung dieser Technologie im Bereich Werkzeugmaschinen zum Durchbruch verholfen werden:

- neues durchgängiges System „Sehende Maschine und Steuerung“,
- neues Maschinenelement optischer Sensor wie Werkzeug in Maschine rüstbar,
- mobiler energieautarker Sensor,
- einfachste Installation in Maschine (mechanisch, elektrisch, informationstechnisch),
- flexibles und erweitertes Prüfen und Messen im Arbeitsraum,
- Konfigurierbarkeit und Skalierbarkeit für verschiedene Aufgabenstellungen.

Wesentlicher Anspruch des Vorhabens war die Entwicklung von Schnittstellen und Komponenten für die einfache Applizierbarkeit und den flexiblen Einsatz bildgestützter Prüftechnik in Werkzeugmaschinen. Dabei stand sowohl die hardwareseitige als auch die softwareseitige einfache Integrierbarkeit im Sinne „Plug-and-work“ im Vordergrund.

## 1.2 Arbeitsplanung

Aufgrund der Aufgabenstellung waren zur Erreichung des Projektzieles grundlegende Fragestellungen hinsichtlich der Methoden und Algorithmen für die angestrebten Einsatzbereiche und der generellen Einbindung von Bildverarbeitungssystemen in die Maschine und Steuerung in übergreifenden Querschnittsthemenstellungen zu bearbeiten:

- Integration Bildverarbeitungsmodul in offene Steuerung,
- Aktivierung optische Prüffunktionen durch NC-Programm,
- Drahtlose Bildübertragung im Maschinenarbeitsraum,
- Mobiles autarkes Kamerasystem zur Bilderfassung,
- Robustes Maschinenelement zur Bildaufnahme,
- Erprobung und Demonstration in Anwendungen.

Darauf aufsetzend waren applikationsspezifische Arbeiten zur technologie- und anwendungsspezifischen Umsetzung erforderlich, die diese Ergebnisse nutzen und an konkreten Einsatzfällen zeigen.

## 1.3 Ergebnisverwertung

Die Implementierung der erarbeiteten Lösung erfolgte in Maschinen der beteiligten Hersteller mit anschließender Erprobung und Demonstration für die ausgewählten konkreten Prüfaufgaben. Die beteiligten Unternehmen nutzen die Ergebnisse und Erkenntnisse, um daraus neue konkrete Produkte und Lösungen zu entwickeln, mit denen sie neue Absatzmärkte erschließen können.

## 2 Stand der Wissenschaft und Technik zu Projektbeginn

### 2.1 Stand der Wissenschaft und Technik

Die heute für Aufgaben der Qualitätskontrolle in der Automatisierung eingesetzten Bildverarbeitungssysteme umfassen neben Kameras eigenständige Rechnersysteme für das Einlesen, Speichern und die Auswertung von aufgenommenen Bildern. Eine Integration erfolgt hier innerhalb der Automatisierungslösung als dezentrale intelligente Komponente über entsprechende Kommunikationsschnittstellen (Jähne, 2005). Aus Kostengründen wird bei Werkzeugmaschinen eine Integration bezüglich Hard- und Software in die eingesetzte Steuerungsplattform angestrebt. Durch die heute verfügbaren PC-basierten Steuerungen mit Standard-Betriebssystemen zum einen und die zunehmende Integration von Funktionen der Bildvorverarbeitung in intelligenten Kameras mit integrierten Mikrocontrollern werden neue Integrationslösungen ermöglicht. Die Anbindung an den Steuerungs-PC kann über entsprechende Kommunikationsschnittstellen oder Zusatzkarten erfolgen. Die applikationsspezifische Bildanalyse und Merkmalsextraktion kann dann als Software auf dem Steuerungs-PC implementiert werden.

Im Unterschied zu externen Mess- und Prüfstationen, wo eine gute Zugänglichkeit und eine einfache elektrische Installation gewährleistet sind, stellt der Installationsaufwand bei Einbringung eines Systems in den gekapselten Arbeitsraum eine große Hürde für die Realisierung von Applikationen dar. Auf der anderen Seite wird eine große Flexibilität hinsichtlich der Anwendungsmöglichkeit für unterschiedliche Aufgaben gefordert. Fest installierte, einmal projektierte Lösungen können den Ansprüchen der Anlagen hinsichtlich Teilemix und Neuteilen nicht gerecht werden. Hierfür müssen einfach installierbare, mobile, drahtlos kommunizierende Systeme geschaffen werden. Für die Anwendung von Machine Vision Systemen in Werkzeugmaschinen wurden bereits die Felder Bauteillageerkennung, Werkzeugvermessen und Verschleißmessung identifiziert und Lösungen erarbeitet (Schmitt, et al., 2006)(Pfeifer, et al., 2006). Die Integration entsprechender optischer Sensorik in Werkzeugmaschinen ist aber ein wichtiger Ansatz zur Realisierung fertigungsnaher Messtechnik in autonomen Systemen (Pfeifer, et al., 2003).

Zusammen mit dem Fraunhofer IPK hat die Firma Traub eine spezielle Lösung für das bildgestützte Werkzeugvermessen in der Drehmaschine realisiert (Hohwieler, 2006). Diese Einzecklösung ist aufgrund der kabelgebundenen Anbindung aufwendig und teuer und kann zudem wegen des festen Blickfeldes nicht für andere Messaufgaben im Arbeitsraum genutzt werden. HOLZMA hat eine spezielle Lösung für die Sägenjustage unter Nutzung eines CCD-Sensors entwickelt. Auch dieser Ansatz bietet nicht die Flexibilität und gewünschte Adaptierbarkeit für andere Aufgabenstellungen.

Zur einfachen Anpassung eines robotergestützten visuellen Inspektionssystems wurde im Projekt ARIKT (Adaptive Roboter-Inspektion komplexer Teile) eine Systemarchitektur und ein Kommunikationsprotokoll für die Interaktion von Industrierobotern und Bildverarbeitungssystemen entwickelt (Wörn, et al., 2003). Neben dem typischen Einsatz von Vision Systemen in der Robotik zum Erkennen ihrer Arbeitsumgebung sowie der Lage von zu greifenden Teilen wurde bereits auch die visuelle Regelung realisiert. Ähnlich der visuell gestützten menschlichen Bewegungsführung basierend auf dem Hand-Auge-Koordinatensystem und der kontinuierlichen Erfassung der Bewegung des „Effektors Hand“ relativ zum Objekt und in der Umgebung erfolgt die Lageregelung für Roboterachsen (Kwon, 2001).

Durch die parallel zunehmende Miniaturisierung der Komponenten wird zukünftig die platzsparende Ausführung von Kamerasystemen mit drahtloser Kommunikationsanbindung, die Kapselung und Anbringung in der Maschine, auch auf bewegten Komponenten wie dem Werkzeugträger, denkbar. So erwartet eine Marktanalyse für optische Sensoren in der Längenmesstechnik für die Zukunft: „Als Vision ist vorstellbar, dass langfristig auch optische „Tastsysteme“ – wie heute schon berührende Tastsysteme – wahlfrei mit verschiedensten Bewegungsplattformen wie 3D-Koordinatensystemen, Messrobotern, Messarmen, Werkzeugmaschinen usw. kombinierbar sein werden“ (Keferstein, et al., 2006). Das hier skizzierte Forschungsvorhaben soll dazu beitragen, dieser Vision näher zu kommen!

Eine sehr prozessnahe Anbringung von optischen Sensoren wird bei dem Forschungsprojekt TIVIS (Tool Integrated Vision System) durch die Integration von Vision Systemen direkt in Werkzeuge angestrebt. Sämtliche dazu notwendigen optischen Komponenten wie Kamera, Optik und Beleuchtung werden in das Stanzwerkzeug integriert. Das System erlaubt eine In-line-Messung im Werkzeug und erkennt rechtzeitig produktionsabhängige Änderungen wie beispielsweise den Werkzeugverschleiß. Das System hält dabei mechanischen Beschleunigungskräften von mehr als 35 g stand (Knappe, 2002)(Knappe, B., 2004).

Bisher erfolgt die Vernetzung von Sensoren in Produktionsanlagen praktisch ausschließlich drahtgebunden, typischerweise mit Feldbussystemen. Neben den existierenden Standards wie WLAN, Bluetooth und GSM/GPRS wird seit einigen Jahren mit »ZigBee« (IEEE802.15.4) an einem neuen offenen Standard für die drahtlose und verlustleistungsarme Vernetzung von Geräten und Sensoren mit geringer Datenrate gearbeitet (Sikora, 2004)(elektro Automation, 2004).

Die Integration von industriellen Digitalkameras in Machine-Vision-Systeme erfolgt bisher drahtgebunden. Hier haben sich in der Vergangenheit Standards entwickelt, die neben der Hardwareschnittstelle mit Festlegung der Kabel, Stecker und Signalzuweisungen bei digitalen Kamera-Schnittstellen auch die Software-Steuerschnittstelle definieren. Heute dominieren die beiden Schnittstellen CameraLink und IEEE-1394 Firewire. Zukünftig wird sich aufgrund der hohen Bandbreite für die Übertragung unkomprimierter Bilddaten mit hoher Geschwindigkeit der neu entwickelte GigE Vision-Standard der Advanced Imaging Association (AIA) für Giga-bit-Ethernet-Kameras mit seinem standardisierten Kamera-Kommunikationsprotokoll durchsetzen.

Für die drahtlose Verbindung zwischen Kameramodul und Auswerteeinheit stehen grundsätzlich mehrere Möglichkeiten zur Verfügung: Das verbreitetste Verfahren zur Übertragung großer Datenmengen bei hoher Übertragungstreu im Nahbereich bis 30m ist das WLAN mit möglichen Übertragungsraten bis zu 108 MBit/s. Zudem gibt es im industriellen Bereich bereits standardmäßig auch noch zusätzlich gesicherte, auch echtzeitfähige, Protokolle. Die Reichweite von Bluetooth ist mit 15m zwar völlig ausreichend für den Zweck, bietet mit 1 MBit/s aber nicht die Datenrate einer WLAN Verbindung. Zigbee ist ein Standard, der die Vernetzung vieler Knotenpunkte gestattet, wobei die max. Entfernung zwischen ihnen bis zu ca. 60m betragen darf. Die Datenrate liegt bei max. 1MBit/s. Besonderes Designziel von Zigbee ist ein niedriger Betriebsstrom und hohe Zuverlässigkeit der Datenübertragung, wobei der Übertragungsweg zum Zentralrechner sich weitgehend automatisch von Knoten zu Knoten organisiert. Analog-Bildübertragungen im 1,2 GHz-Band kommen für industrielle Mess- und Prüfaufgaben nicht in Frage, da sich Übertragungsstörungen direkt im Bildsignal abbilden. Digitale Verfahren unterstützen vielfältige Prüf- und Korrekturmechanismen. Zum anderen erlaubt die begrenzte Zahl verfügbarer Kanäle (4) keinen gleichzeitigen Betrieb mehrerer analoger Systeme innerhalb des Anlagenumfeldes.

Um die Anbindung von Peripheriegeräten an PCs noch mehr zu vereinfachen und insbesondere eine drahtlose Anbindung zu ermöglichen, laufen derzeit Bestrebungen dahin, die Vorteile der WLAN-Technologie mit der erfolgreichen Standardisierung durch die USB-Schnittstelle zu verbinden. Ziel ist die Schaffung eines Wireless USB (WUSB), eine Funk-Variante des USB-Standards, der hinsichtlich der Datenübertragungsraten von 480 Mbit/s bei einer Entfernung von bis zu drei Metern eine Leistung bieten soll, die seinem kabelgebundenen Vorbild kaum nachsteht. Die funkbasierte Erweiterung des USB-Standards soll die Sicherheit und Schnelligkeit der drahtbasierten Übertragung mit der unkomplizierten drahtlosen Übertragung kombinieren (Wikipedia, 2011).

Um die Energieversorgung des mobilen Kamerasystems zu gewährleisten sind sowohl geeignete Lösungen bezüglich der Energiespeicherung als auch der Energiebereitstellung zu suchen. Bei den chemischen Energiespeichern lassen Li-Batterie- / Akkusysteme höchste Energiedichten (150..200 Wh/l) bei kleinstem Volumen und Gewicht zu, wobei Lebensdauern von bis zu 7000 Lade-Entladezyklen erreicht werden können.

Gerade für die Energiebereitstellung in mobilen drahtlosen Systemen werden unter dem Begriff Energy Harvesting Lösungen zur Erzeugung von Strom aus Quellen wie Umgebungstemperatur, Vibrationen oder Luftströmungen gearbeitet. Ziel ist das Vermeiden von Einschränkungen durch kabelgebundene Stromversorgung oder Batterien. An dieser Art der Stromgewinnung wird gegenwärtig intensiv gearbeitet. Dabei werden unterschiedliche physikalische Prinzipien ausgenutzt. Für die Wandlung mechanischer Energie gibt es Generatoren für beliebige



Leistungen und Baugrößen. Ihre Turbinen können durch die unterschiedlichsten Medien (Druckluft, Flüssigkeit) angetrieben werden. Im niedrigen Leistungsbereich ( $\mu\text{W}$ ... $\text{mW}$ ) können Piezogeneratoren verwendet werden, die Vibrationen ausnutzen.

Bei induktiven Verfahren wird gezielt Energie an das System übertragen. Mit abgestimmten Schwingkreisen lassen sich im Nahfeld Leistungen im Watt-Bereich mit etwa 50% Wirkungsgrad übertragen. Am Massachusetts Institute of Technology in Cambridge haben Wissenschaftler mittels eines hochfrequenten Magnetfelds elektrische Energie im Laborversuch drahtlos übertragen und so eine Lampe im Abstand von zwei Metern zum Leuchten gebracht. Dies kann als ein erster Schritt in eine Wireless Electricity genannte Technologie sein, bei der Geräte Strom aus dem magnetischen Feld im Raum beziehen können (Kurs, 2007).

## 2.2 Defizite und Handlungsbedarf

Zur Erreichung der aufgezeigten Vision eines an Maschinen nutzbaren integrierten Bildverarbeitungssystems für Mess- und Prüfaufgaben sind die folgenden Kernfunktionen erforderlich:

- in offene Steuerung integriertes Bildverarbeitungsmodul
- optische Prüffunktionen aus Bearbeitungsprogramm aktivierbar,
- drahtlose Bildübertragung im Maschinenarbeitsraum,
- mobiles autarkes Kamerasystem zur Bilderfassung,
- robustes Maschinenelement zur Bildaufnahme.

Da hierzu keine Lösungen existieren, sind zur Erreichung des Projektzieles grundlegende Fragestellungen zur Schaffung der aufgezeigten Kernfunktionen zu bearbeiten. Diese stehen gleichzeitig für die wesentlichen Innovationen dieses Projektes.

Aufgrund der Aufgabenstellung resultieren daraus vor allem Aufgaben der konzeptionellen Gestaltung der Systemarchitektur und der Schnittstellen zur generellen Einbindung von Bildverarbeitungssystemen in die Maschine und Steuerung. Zum anderen sind die übergreifenden Querschnittsthemen der durchgängigen Kommunikation und Funktechnik und die konstruktive robuste Auslegung der Module zu bearbeiten. Darauf aufsetzend sind Arbeiten zur technologie- und anwendungsspezifischen Umsetzung erforderlich, die diese Ergebnisse nutzen und an konkreten Einsatzfällen zeigen.

## 2.3 Patentsituation

Die Recherche nach Patenten zu drahtlos angebundenen Kamerasystemen ergab Lösungen für Netzwerkkameras, die für ein Überwachungssystem bei Sicherheitsanwendungen eingesetzt werden können. Diese Lösungen basieren auf einer einfachen Umsetzung und analogen Übertragung des Videosignals, wie sie auch bei wireless Web-Cams genutzt wird, was für diese Einsätze ausreicht, aber für bildgestützte Messaufgaben und die Qualitätssicherung zu störungsbehaftet ist. In anderen Patentschriften werden Mess- und Prüfverfahren sowie zugehörige Anordnungen von Optik und Beleuchtungssystemen für spezielle Anwendungen in der Produktion aufgezeigt. Keines der gefundenen Systeme erhebt den im Verbundprojekt MobiKAM gesetzten Anspruch, wie ein normales Werkzeug in Maschinen rüstbar und in die Steuerungsplattform integrierbar zu sein.

### 3 Arbeitsplan

Der abgearbeitete Arbeitsplan berücksichtigt zum einen die Zielstellung der Integrierbarkeit des Bildverarbeitungssystems in die Steuerung als auch die Schaffung von Mobilität durch drahtlose Sensoranbindung und Energieversorgung. Zur Rüstbarkeit in der Maschine muss aber auch eine hohe Robustheit des gesamten Systems erreicht werden. Der Arbeitsplan sah daher ausgehend von der Analyse und dem Design (AP1), in dem die gemeinsame Systemarchitektur erarbeitet wird, in der Entwicklungs- und Realisierungsphase Arbeitspakete vor, die sich mit der Schaffung der erforderlichen Schnittstellen und Funktionalität in der Steuerung (AP2 und AP3), der Installation einer drahtlosen Übertragungsstrecke in der Maschine mit geeigneten Protokollen zur Anbindung der Kamera (AP5) sowie der Bereitstellung des rüstbaren Kamerasystems selbst (AP5 und AP6) befassen. Die erarbeiteten Lösungen hinsichtlich Mechanik, Elektronik, Informations- und Kommunikationstechnik sowie zu entwickelnde Software wurden in Demonstratoren prototypisch zusammengeführt und die erreichten Ergebnisse in konkreten Applikationen gezeigt und evaluiert (AP7). Bild 1 zeigt die Arbeitsschwerpunkte und ihr Zusammenwirken in der Übersicht und gibt an, in welchen übergeordneten Arbeitspaketen diese bearbeitet werden.

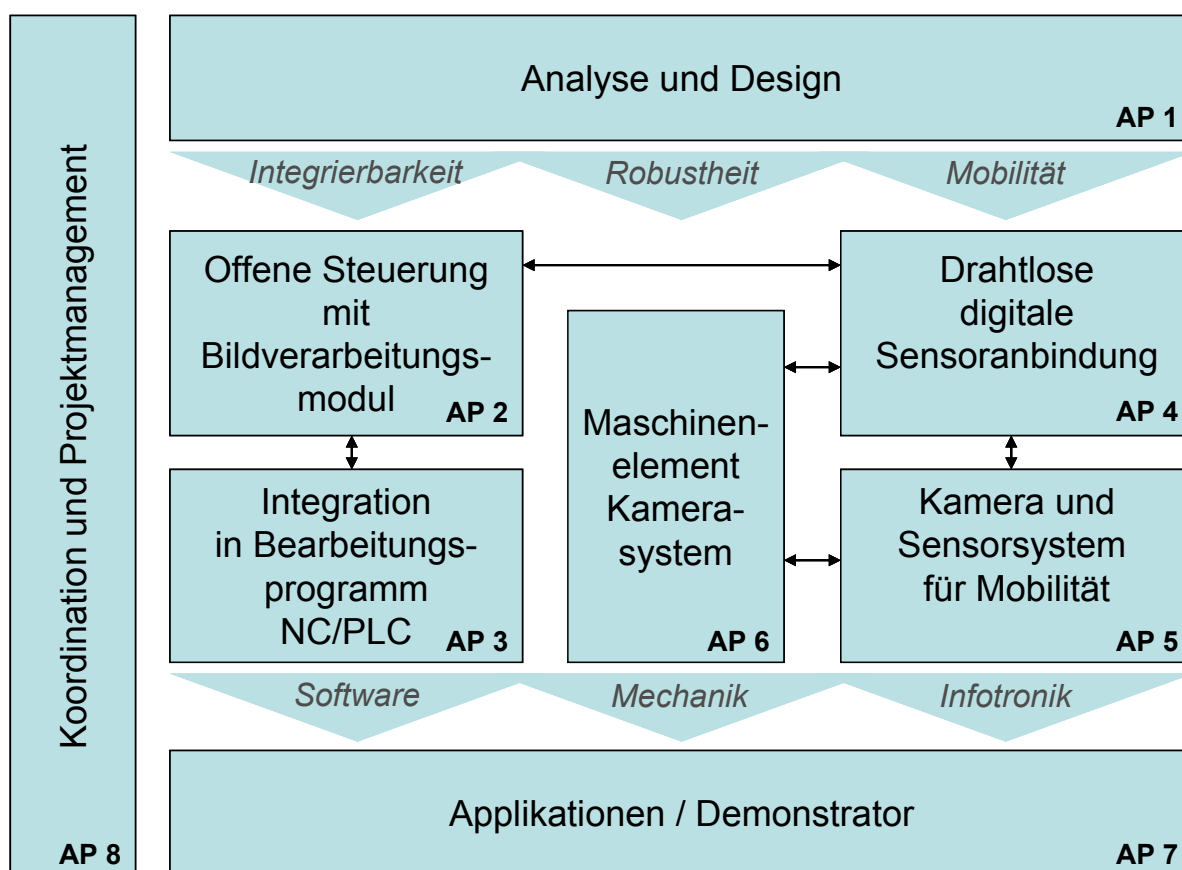


Bild 1: Projektstruktur mit den thematischen Arbeitsschwerpunkten und ihren inhaltlichen Abhängigkeiten (Bild: Fraunhofer IPK, Hohwieler)

## 4 Anwendungsszenarien und Systemstruktur

Die Anwender erstellten innerhalb des einführenden Arbeitspaketes AP1 "Analyse und Design" Anwendungsszenarien, die im Rahmen von Projekttreffen den Partnern vorgestellt, diskutiert und ergänzt wurden.

Auf Basis dieser Szenarien wurden die Anforderungen an die Systemtechnik definiert. Darauf aufbauend erfolgte die Entwicklung des entsprechenden Lösungskonzepts für das Gesamtsystem und die Festlegung seiner Komponenten und ihrer Schnittstellen. Wesentliche Betrachtungspunkte waren hierbei:

- Berücksichtigung der Echtzeitforderungen an das integrierte System bestehend aus Werkzeugmaschine und Inspektionssystem,
- Adaptionfähigkeit der optischen Systeme an Arbeitsraum, Werkstück, Werkzeug und den Prozess beziehungsweise den Prozessfortschritt,
- Schutz der optischen Systeme in rauen Umgebungsbedingungen,
- Rückkopplung der erhaltenen Ergebnisse zum Prozess,
- erreichbare Genauigkeit und die erforderlichen Systemressourcen,
- Eignung und Nutzung einfacher für den Massenmarkt ausgelegter Systeme unter Kostengesichtspunkten.

### 4.1 Szenarien und Anwendungen

Zur Verdeutlichung der Zielsetzung des Vorhabens und Schaffung einer gemeinsamen Vision als Basis der anschließenden Untersuchungen und Entwicklungen wurden im Arbeitspaket 1.1 Szenarien des zukünftigen Systems aus Anwendersicht beschrieben. Neben den daraus resultierenden funktionalen Anforderungen wurden insbesondere die Handhabung des Systems in verschiedenen Anwendungsfällen und die aus dem jeweiligen Einsatzfall resultierenden Randbedingungen benannt.

Durch den Einsatz von Kameras und Bildverarbeitungssystemen in Werkzeugmaschinen lassen sich unterschiedliche Anwendungen unterstützen, die jeweils spezifische Anforderungen an Kamera und optisches System, bereitzustellende Funktionen der Bildverarbeitung oder die Visualisierung und Interaktion für den Bediener stellen. Die identifizierten Anwendungsszenarien können den Aufgabenbereichen

- Einrichten und Rüsten,
- Produzieren im Automatikbetrieb und
- Wartung und Serviceunterstützung

zugeordnet werden. Die Aufgabenstellungen reichen vom einfachen Beobachten des Prozesses beim Einrichten oder Bearbeiten über das automatisierte Prüfen bis hin zum einfachen Messen von geometrischen Merkmalen von Werkzeugen oder am Werkstück im Arbeitsraum der Maschine.

Im Gegensatz zu typischen Mess- und Prüfaufgaben, die in Automatisierungslösungen integriert sind, wird bei den Aufgabenstellungen in der Werkzeugmaschine eine hohe Flexibilität der Lösung gefordert. So ist davon auszugehen, dass die Beobachtungsstation nicht an einem festen Ort angebracht werden kann und die zu prüfenden Teile daran vorbeigeführt werden. Vielmehr muss in diesen Applikationen das Prüfsystem an das zu prüfende Objekt, das Werkstück, bewegt werden. Dieses Prinzip findet sich auch bereits in Messtastern wieder, die jedoch hinsichtlich ihrer Flexibilität nur für spezielle und eingeschränkte Aufgaben nutzbar sind. Ein weiterer Nachteil ist in dem verfahrensbedingten Antasten und der daraus resultierenden langen Messzeit zu sehen.

Für die Drehbearbeitung müssen dabei die entsprechenden Blickrichtungen durch Ausrichtung der optischen Achse des Kamerasystems senkrecht auf die Objekte Werkstück und Werkzeug zur Erfassung der Merkmale in der Objektebene realisiert werden. Dies sind beim Werkstück

hauptsächlich der Blick auf die Stirnseite in der XY-Ebene und die Erfassung von Elementen der Mantelfläche in der XZ-Ebene. So kann bei vorbearbeiteten Werkstücken durch Erfassen der Winkellage von Geometrieelementen auf deren Stirnseite und entsprechende Drehung der Rundachse C das Werkstück für die weitere Bearbeitung automatisiert ausgerichtet werden.

Zur Inspektion von Werkzeugen hinsichtlich Bruch oder Verschleiß als auch zur Ermittlung von Geometriemerkmale an Werkzeugen und deren Schneiden muss deren Kontur in der Bearbeitungsebene (XZ-Ebene) und zur Einstellung der korrekten Spitzenhöhe über der Drehmitte die Lage der Schneide in der XY-Ebene, dem Blick in Z-Richtung zur Werkstückspindel wie bei der Sicht auf die Stirnseite des Werkstücks erfasst werden.

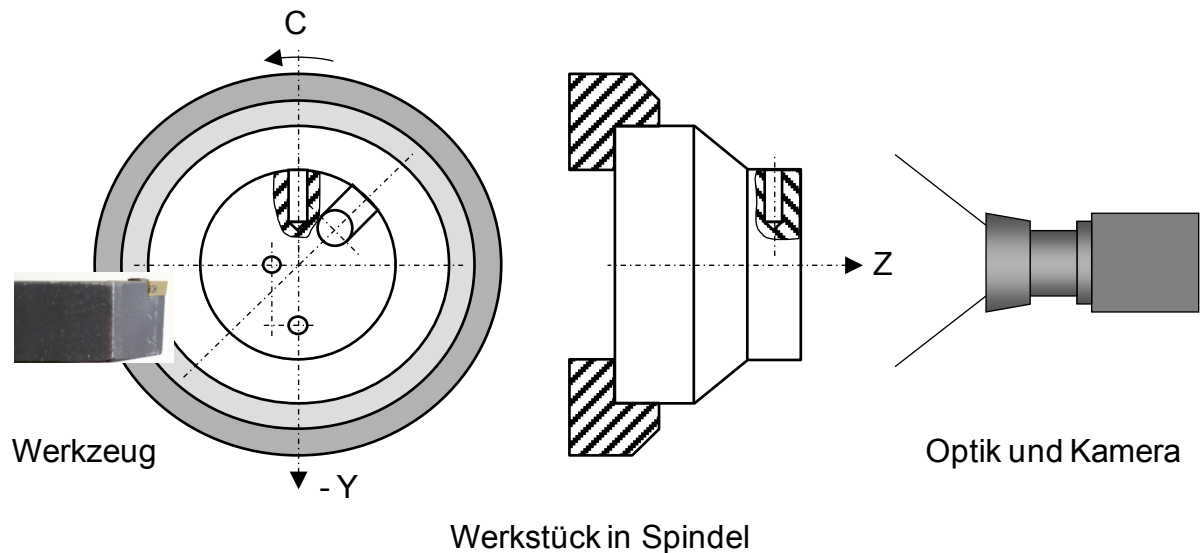


Bild 2: Erfassen der Drehlage (in C) des Werkstücks in der Spindel und Bestimmung der Werkzeug-Spitzenhöhe (in Y) bei Bildaufnahme in Blickrichtung Stirnseite des Werkstücks (-Z)  
(Bild: Fraunhofer IPK, Feitscher)

#### 4.1.1 Verallgemeinerte Darstellung der Szenarien

Die Kamera kann sich im oder außerhalb des Arbeitsraumes befinden. Dabei kann sie ortsfest sein, sich beweglich auf einem Werkzeugträger befinden oder über eine spezielle Kinematik bewegt werden.

Bei der Anwendung der mobilen Kamera werden verschiedene Modi unterschieden:

- a) Live-Mode
  - Anzeige des Kamerabildes auf dem Steuerungsbildschirm,
  - Bewertung erfolgt über den Bediener,
  - Aufzeichnung als Bild- /Filmsequenz.
- b) Lern-Mode
  - Einfache Teach-Funktion zur Aufnahme einer oder mehrerer Sollsituationen (Manuell oder über das NC-Programm),
- c) Einfache Prüfung
  - Vergleich von einer Ist-Situation im Arbeitsraum mit einer Soll-Situation,
  - Aktivierung der Prüfung über das NC/SPS-Programm,
  - Prüfergebnis: ja/nein.

- d) Mehrfach-Prüfung
  - Vergleich von mehreren Ist-Situationen im Arbeitsraum mit einer Soll-Situation
  - Laden der aktuellen Prüfsituation in DSP der Kamera oder Applikationssoftware auf dem Steuerungs- PC
  - Aktivierung der Prüfung über das NC/SPS-Programm
  - Prüfergebnis: ja/nein
  - Sonderfall: Identifikation eines Objektes, Rückmeldung an CNC, welches Objekt erkannt wurde (vorheriges Teachin aller möglichen Objekte).
- e) Messaufgabe
  - Messwerte von den Achsen der CNC (Kalibriervorgang erforderlich),
  - Messwerte aus der Kamera (z.B. Lage von Konturen, Abstände, Winkel), Messwertübertragung an CNC oder Bildübertragung zur Applikationssoftware für die Messauswertung,
  - Ermittlung der Drehwinkelabweichung gegenüber eingelerntem Teil (Soll-Situation), Drehwinkelübertragung an CNC (DSP oder Applikationssoftware auf Steuerungs-PC)

#### **4.1.2 Einsatzsituationen der Fa. INDEX/TRAUB**

- Einsehen von unzugänglichen Stellen im Arbeitsraum und im Maschinenraum (gläserne Maschine) mit Endoskop-Kamera (max. Arbeitsabstand 50cm) bei Einrichtevorgängen und Wartungsarbeiten,
- visuelle Kontrolle des Ablaufs beim Kunden zur Unterstützung des Servicepersonals bei der Erbringung von Dienstleistungen,
- visuelle Unterstützung der Betreiber für ihre eigenen Fertigungsabläufe,
- optische Kontrolle bei Umrüstungen auf andere Teile, Kontrolle von Teilen in Spannmitteln,
- Kamera zur Überwachung von Bearbeitungsprozessen in der Produktion inklusive Aufzeichnung als Bild- oder Filmsequenzen zur Archivierung,
- Brand-Risikominderung (Ölnebelerkennung),
- Fernbeobachtung mehrerer Maschinen,
- Erkennen von Chargenfehlern,
- Anschlagkontrolle beim Vorschieben neuer Stangen,
- Identifizieren von verschiedenen Werkstücken: selbstrüstende Maschine, d.h. bei teilchaotischer Zuführung Werkstücke suchen, erkennen und geordnet zuführen,
- Kontrolle der Werkzeuge bei Werkzeugwechslern,
- Werkzeugvermessung in der Maschine (ATC<sup>i</sup>-Funktion),
- Optimierungen bei Maßtoleranzen von Rohteilen.

#### **4.1.3 Anwendungsszenarien der Fa. HOLZMA**

- kameragestützte Vorritzsägeneinstellung,
- optische Überprüfung der Schnittqualität (manuell und automatisch),
- Plattenzählen beim Paketeinschub.

## 4.2 Ableitung der Anforderungen

Mit dem MobiKAM-System wird, wie im Abschnitt 4.1 beschrieben, ein Objekt beobachtet und/oder auf bestimmte Merkmale hin geprüft oder gemessen.

Jedes MobiKAM-System besteht aus den Komponenten:

1. **Optik** zur Abbildung des Objektes,
2. **Kamerasystem** zur Aufnahme und (teilweisen) Verarbeitung des Objektbildes,
3. **Datenübertragung** von der Kamera zur Maschinen-(Anlagen-)Steuerung,
4. Maschinen-(Anlagen-)**Steuerung** zur Bedienerinteraktion, Ablaufkontrolle der Bildaufnahme und Weiterverarbeitung der Bilddaten,
5. **Energieversorgung** für mobilen und immobilen Einsatz.

Für jede Komponente sind auf Basis der im Abschnitt 4.1 beschriebenen Szenarien und Anwendungen verschiedene Ausprägungen erforderlich. Ziel ist es, die Komponenten in ihren verschiedenen Ausprägungen möglichst flexibel miteinander kombinieren zu können.

Die Konzentration der Vielfalt der anwendungsbedingten Beobachtungssituationen auf eine im Projekt beherrschbare Anzahl durch Einteilung in Klassen stand im Mittelpunkt des Arbeitspaketes 1.2:

- Messen in festem Abstand:
  - automatisch Schnittqualität ermitteln,
  - Vorritzsägejustierung,
  - Messung von Werkzeugen,
  - Messung von Werkstücken
- manuelle Detailbeobachtung (Live-Mode):
  - Einstellarbeiten
- automatische Detailbeobachtung:
  - Plattenzählung,
  - Schnittqualität ermitteln
- Lagekontrolle:
  - Werkzeugbruchkontrolle

In späteren Arbeitsschritten wurden diesen Beobachtungssituationen konkrete Umsetzungen in Demonstratoren zugeordnet.

## 4.3 Systemstruktur

Gegenüber Mess- und Prüfstationen an Automatisierungslinien, die für die komplette Bildverarbeitung und Auswertung über eine eigens dafür bereitgestellte Rechnerhardware mit Bilderfassungskomponenten sowie darauf installierter Software eines zugehörigen Vision-Systems verfügen, soll für Anwendungen in Maschinen kein zusätzliches Rechnersystem installiert werden. Ausschlaggebend hierfür sind sowohl Kostengründe als auch die Erfordernis, die gesamte Lösung in die bestehende Hard- und Softwareumgebung der Maschinensteuerung zu integrieren. Dies betrifft auch insbesondere die Möglichkeit der durchgängigen Projektierung von Applikationen mit den etablierten Engineering-Werkzeugen beim Maschinenhersteller.

### 4.3.1 Gesamtsystem - Integration in die Steuerungsumgebung

Eine nahtlose Integration des Systems in die Steuerung soll es der Steuerung erlauben, das gesamte Bildverarbeitungssystem zu steuern und in den Bearbeitungsablauf zu integrieren. So ist es auch erforderlich, dass der Bediener die Möglichkeit hat, das gesamte Mess- und Prüfsystem mit der einheitlichen Benutzerschnittstelle der Steuerung zu bedienen.

Hinsichtlich der Integration des Bildverarbeitungsmoduls sind Fragestellungen der Einbindung in offene PC-basierte Steuerungssysteme zu bearbeiten. Dabei wird vereinfachend davon ausgegangen, dass ein Messen nicht parallel während des Bearbeitungsprozesses erfolgt sondern zwischen einzelnen Bearbeitungsabschnitten. Hinsichtlich der Steuerungsintegration bedeutet dies, dass dabei auch keine In-Prozess-Rückführung von Messgrößen in die Bewegungssteuerung erfolgen muss.

Das Bilderfassungs- und Auswertungssystem wurde in den Bedien-PC der Steuerung integriert und dabei gleichzeitig die vorhandenen Interaktionsformen des Mensch-Maschine-Systems genutzt. Dabei ergibt sich hier der Vorteil, dass der Bildschirm des Bediensystems zur Visualisierung der Bildverarbeitungs- und Messschritte mitbenutzt werden kann.

Abhängig von den jeweiligen Applikationen sind sowohl die Variante der Kamera nur zur reinen Bildaufnahme als auch der frei programmierbaren intelligenten Smart Kamera mit integrierter Auswertesoftware mögliche sinnvolle Konfigurationen.

Um die mobile Kamera in der Werkzeugmaschine nutzen zu können, muss sie neben der mechanischen Anbindung auch hinsichtlich Kommunikation und Energieversorgung eingebunden sein. Die Konfiguration und die Schnittstellen sind in Bild 3 zu sehen. Das Gesamtsystem sieht sinnvoll abgegrenzte Komponenten vor, die über die nachfolgend definierten Schnittstellen zusammenarbeiten:

- SM: Diese Schnittstelle umfasst die mechanische Befestigung der mobilen Kamera, sowie die Art der Positionierung.
- SO: Diese Schnittstelle umfasst die optische Anbindung der mobilen Kamera an das Objekt.
- SF: Diese Schnittstelle umfasst die funktechnische Kopplung der mobilen Kamera an die Steuerung der Maschine zur Übertragung von Informationen.
- SK: Diese Schnittstelle umfasst die kabelbasierte Kopplung des Funkzugangspunktes an die Steuerung der Maschine zur Übertragung von Informationen.
- SE: Diese Schnittstelle umfasst alle Aspekte der Versorgung der mobilen Kamera mit Energie.
- SS: Interne Software-Schnittstellen zur vorhandenen Steuerungs-Software.
- SB: Diese Schnittstelle umfasst die Bedienhandlungen an der mobilen Kamera und an der Steuerung der Maschine.

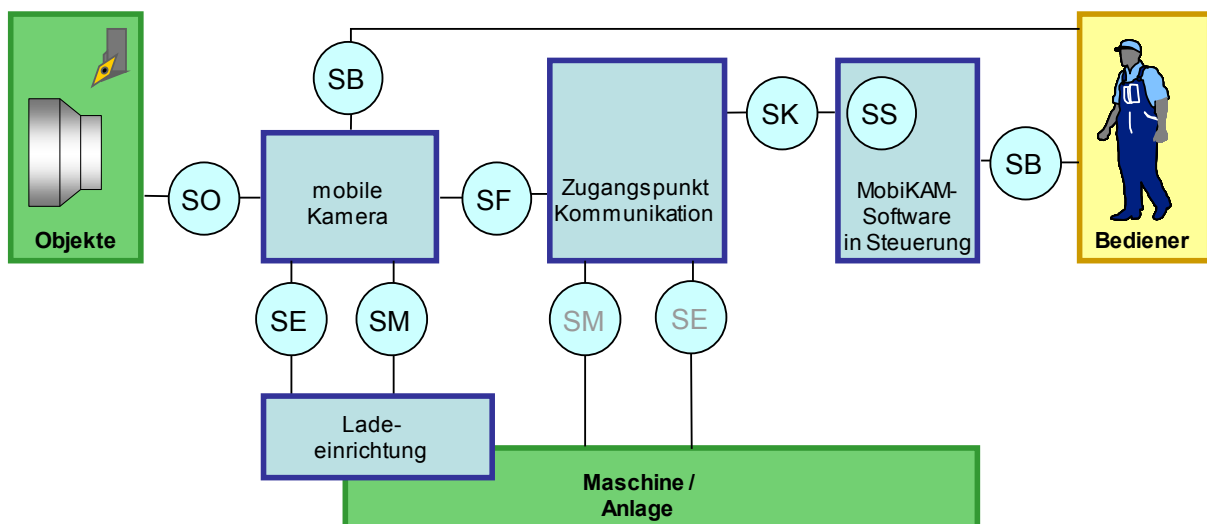


Bild 3: Systemkomponenten und Schnittstellen für mobile Kameralösung in der Maschine (Bild: Fraunhofer IPK, Feitscher)

Da die mobile Kamera in verschiedenen Beobachtungssituationen zum Einsatz kommen soll, wurde sie insbesondere bezüglich der Optik und der mechanischen Ankopplung in verschiedenen Ausprägungen entwickelt (siehe Abschnitt 7.1).

### 4.3.2 Die mobile Kamera

Die mobile Kamera ist die zentrale Komponente des MobiKAM-Systems. Zu den umgebenden Komponenten weist sie die weiter oben beschriebenen Schnittstellen auf.

Entsprechend der von der mobilen Kamera erwarteten Funktionalität und den sie einbettenden Schnittstellen ergeben sich die im Folgenden benannten Baugruppen der Kamera sowie die internen Schnittstellen (siehe Bild 4):

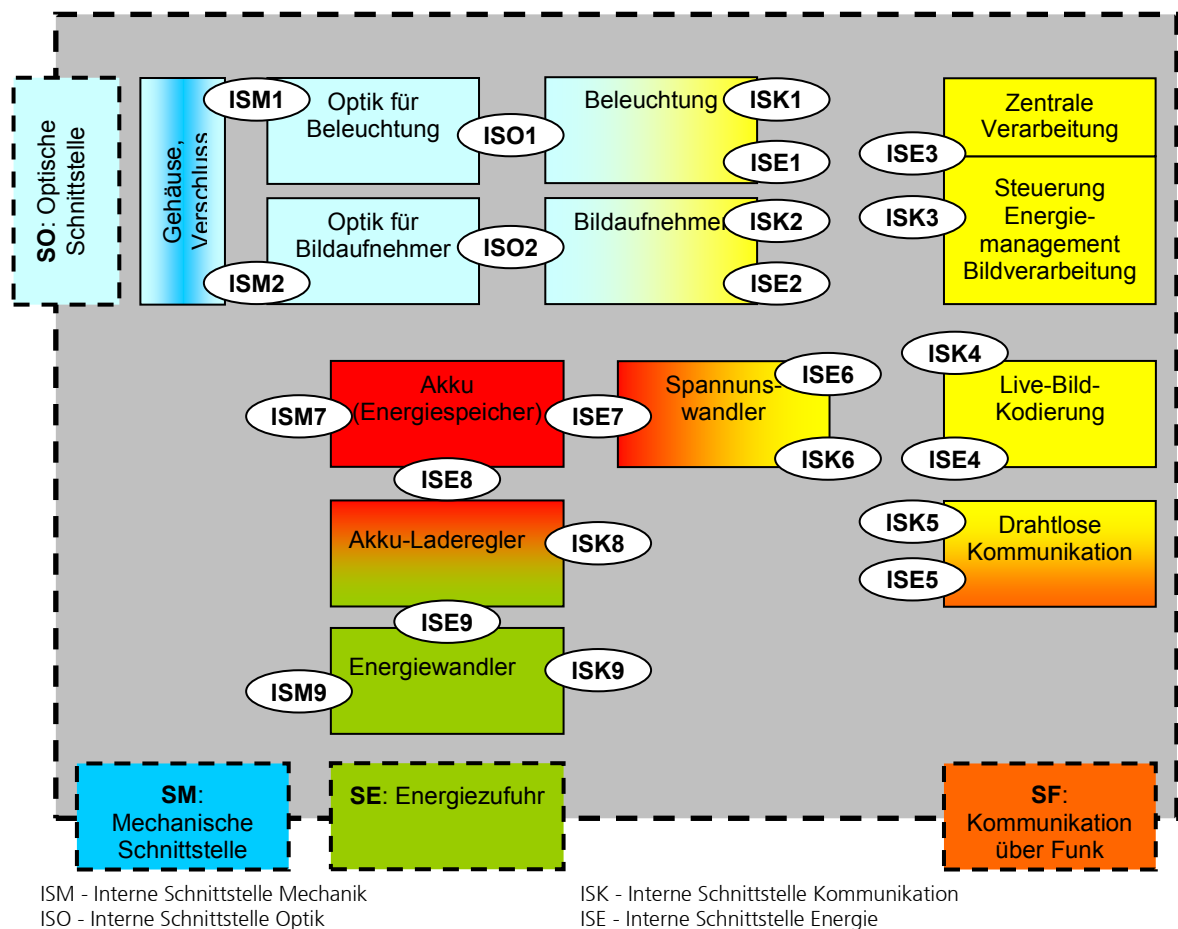


Bild 4: Interne Struktur der mobilen Kamera (Bild: Fraunhofer IPK, Feitscher)

#### Baugruppen der mobilen Kamera:

- Gehäuse, Verschluss
- Optik für Beleuchtung
- Optik für Bildaufnehmer
- Beleuchtung
- Bildaufnehmer
- Zentrale Verarbeitung



- Steuerung
- Energiemanagement
- Bildverarbeitung
- Akku (Energiespeicher)
- Akku-Laderegler
- Energiewandler
- Spannungswandler
- Live-Bild-Kodierung
- Drahtlose Kommunikation

**Interne Schnittstellen der mobilen Kamera:**

ISM: Mechanische Schnittstellen,

ISO: Optische Schnittstellen,

ISK: Kommunikations-Schnittstellen,

ISE: Elektrische Schnittstellen zur Energieversorgung.

Auch wenn die Beziehung nicht ausdrücklich erwähnt ist, so haben doch alle Baugruppen eine Schnittstelle zur mechanischen Befestigung, die zulässige Größe der Baugruppen hängt in jedem Fall auch von der möglichen Gesamtausdehnung der mobilen Kamera ab.

Die Kommunikationsschnittstellen ISK beinhalten außer einem Hardware-Anteil auch einen Software-Anteil, soweit sie einen programmierbaren Prozessor betreffen.

## 5 Lastenhefte

### 5.1 Fa. INDEX/TRAUB

Es werden zwei Szenarien für die Integration von mobilen Kamerasystemen in Dreh-Fräsbearbeitungsmaschinen für Metall unterschieden, wobei die Priorität der Aufzählungsreihenfolge entspricht:

- Kamera auf dem Werkzeugträger,
- mobile Kamera beim Einrichten und Einfahren von Dreh- und Frästeilen.

#### 5.1.1 Mobile Kamera beim Einrichten und Einfahren

Das mobile Kamera-System beim Einrichten und Einfahren von Dreh- und Frästeilen besteht aus folgenden Komponenten:

- mobile Kamera bestehend aus den Hauptkomponenten:
  - Schutzgehäuse IP67 mit Befestigungsmöglichkeit ähnlich Messuhrhalter
  - Optik,
  - Beleuchtung,
  - Bildaufnehmer,
  - Funkverbindung,
  - Energieversorgung mit Akku,
  - Ladkontakte für Ladegerät.
- Ladestation zum Aufladen des Akkus
- Empfängerkomponente für die CNC-Steuerung bestehend aus Funkempfänger (außerhalb Arbeitsraum) mit USB- Anschluss
- S/W-Treiber für die Kommunikation mit der Kamera zur Einbindung in die CNC-Steuerung

Die Einhaltung der erforderlichen Richtlinien und Normen entsprechend dem Einsatz in einer Werkzeugmaschine (z.B. EMV, Funk) ist erforderlich.

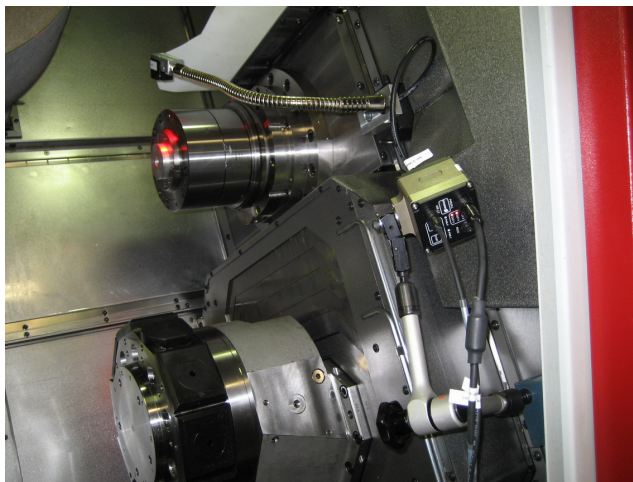


Bild 5: Beispielanordnung einer mobilen Kamera beim Einrichten und Einfahren (Bild: Fa. INDEX/TRAUB)

## Arbeitsweise

Das mobile Kamera-System wird wie ein Werkzeug gerüstet und wird bereits während dem Einrichten und dem Einfahren des Teiles dem Einrichter eine wertvolle Hilfe sein.

Die Drehmaschine ist mit der Option „Drahtlose Kamera“ vorbereitet. Der Empfangsteil ist an der CNC-Steuerung angeschlossen, befindet sich aber außerhalb des Arbeitsraumes. Sobald die Kamera im Bereich des Empfangsteils eingeschaltet wird, beginnt sie mit der CNC-Steuerung zu kommunizieren und eine Verbindung aufzubauen. Es ist ein Livebild auf dem Bildschirm der CNC-Steuerung zu sehen.

Die mobile Kamera kann ab jetzt im oder außerhalb des Arbeitsraumes zur Unterstützung des Einrichters verwendet werden.

## Produkteinsatzbedingungen

Die Kamera ist hauptsächlich zur Unterstützung beim Einrichtvorgang einer Drehmaschine vorgesehen. Kollisionsgefahren an schlecht einsehbarer Stellen können durch den Einsatz einer mobilen Kamera minimiert werden und bringen somit eine Zeitersparnis mit geringerem Risiko mit sich.

Die Kamera ist nicht für den Einsatz im Arbeitsraum während der Produktion einer Drehmaschine vorgesehen.

Aber die Grenzen zwischen Einrichten und dem Einfahren eines Teiles verschwimmen sehr oft. Schwierige Passagen sind nur durch den automatischen Ablauf eines oder aller Werkzeugträger überprüfbar. Häufig muss dazu mit Kühlmittel gearbeitet werden. Somit muss auch diese Ausführung der mobilen Kamera industrietauglich sein. Die Kamera muss also einem Testbetrieb innerhalb des Arbeitsraumes standhalten. Die Kamera ist nur provisorisch im Arbeitsraum angebracht und könnte sogar auf einem Werkzeugträger mitfahren.

Abgrenzung zur Kamera auf dem Werkzeugträger:

- keine Einbindung in den Produktionsprozess
- reine Livebildübertragung, Auswertung durch den Einrichter
- begrenzte Nutzungsdauer wegen Akkukapazität

Im Arbeitsraum können Temperaturschwankungen im Bereich von 5° bis ca. 45° (gemittelt) entstehen. Es ist mit einer rel. Luftfeuchte von bis zu 90% zu rechnen.

Die Kamera kann unter Beschuss mit Kühlmittel (Öl oder Emulsion) stehen. Diese Kühlmittel werden aus unterschiedlichsten Substanzen zusammengemischt. Am Widerstandsfähigsten haben sich Kabel aus PUR-Material (Polyurethane) herausgestellt.

Ein Beschuss mit Metallspänen oder ein Einwirken von Wickelspänen muss vom Einrichter verhindert werden.

Es werden folgende Umgebungsbedingungen im Einrichtbetrieb vorgegeben:

- Umgebungstemperatur +5° ..... 45°C
- Rel. Luftfeuchte bis zu 90%
- Beschleunigung 7-10m/s<sup>2</sup>

## Funktionale Anforderungen:

1. Parametrisierung der Kamera von der Maschinenbedientafel, Visualisierung der erforderlichen Einstellungen (Grundeinstellungen).
2. Steuerung der Kamera von der Maschinenbedientafel z.B. Steuerung der Beleuchtung, Einstellung der Videoauflösung
3. Übertragung eines komprimierten Livebildstreams zur Beobachtung durch den Einrichter.

### **Technische Merkmale:**

1. Keine Kabelverbindung, Funkkommunikation, Energieversorgung durch Akku
2. Dauer der Energieversorgung > 2h, Energiesparfunktionen
3. kleine, leichte, kompakte Bauform, Schutzart min. IP67
4. Schnelle Verfügbarkeit der Kamera nach Power on <1s
5. Automatischer Kommunikationsaufbau nach Power on
6. Optik + Beleuchtung anpassbar (Ideal durch Kunden)
7. Arbeitsabstand ca. 500mm (bei Anwendung im Demonstrator, einem Dreh-Fräszentrum der Fa. Traub TNX65/42)
8. Objektfeld ca. 100mm x 100mm

### **5.1.2 Kamera auf dem Werkzeugträger**

Das mobile Kamera-System zum Einsatz auf dem Werkzeugträger besteht aus folgenden Komponenten:

- mobile Kamera bestehend aus den Hauptkomponenten:
  - Grundträger INDEX/TRAUB,
  - Schutzgehäuse INDEX/TRAUB mit Sperrluft
  - Optik,
  - Beleuchtung,
  - Bildaufnehmer,
  - Funkverbindung,
  - Energieversorgung(Mischung aus Akku + Generator)
- Empfängerkomponente für die CNC-Steuerung bestehend aus Funkempfänger (außerhalb Arbeitsraum) mit USB- Anschluss
- S/W-Treiber für die Kommunikation mit der Kamera zur Einbindung in die CNC-Steuerung
- wahlweise mit DSP zur Bildverarbeitung in der mobilen Kamera in Abhängigkeit von Kosten und Hochlaufzeit
- Auswertesoftware auf der CNC-Steuerung erforderlich, wenn keine Bildverarbeitung in der mobilen Kamera erfolgt.

Die Einhaltung der erforderlichen Richtlinien und Normen entsprechend dem Einsatz in einer Werkzeugmaschine (z.B. EMV, Funk) ist erforderlich.

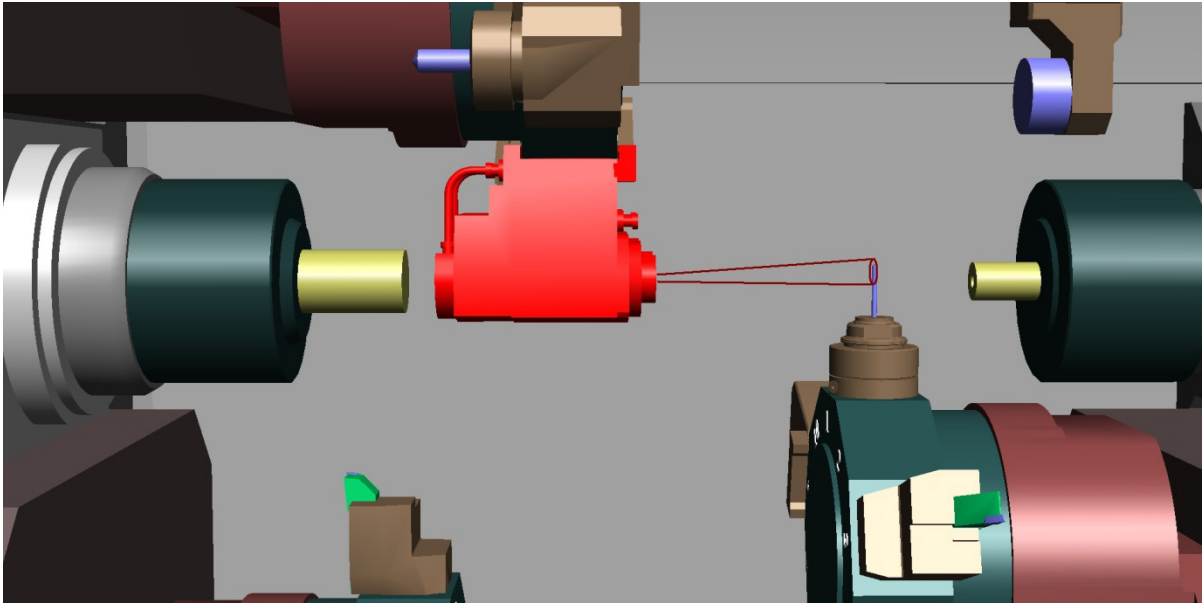


Bild 6: Simulation der Anordnung der Kamera auf dem Werkzeugträger bei der Bohrerbruchkontrolle (Bild: Fa. INDEX/TRAUB)

### Arbeitsweise

Das mobile Kamera-System wird wie ein Werkzeug gerüstet und kann während der Produktion Mess- oder Prüfaufgaben übernehmen. Aus den Ergebnissen werden sofort während des Produktionslaufs entsprechende Prozessveränderungen abgeleitet.

Die Drehmaschine ist mit der Option „Drahtlose Kamera“ vorbereitet. Der Empfangsteil ist an der CNC-Steuerung angeschlossen, befindet sich aber außerhalb des Arbeitsraumes. Sobald die Kamera auf einem Werkzeugträger steckt und dort mit Energie versorgt wird beginnt sie mit der CNC-Steuerung zu kommunizieren und eine Verbindung aufzubauen. Es kommt die Meldung Kamera „bereit“. Durch Verfahren der Achsen wird die Kamera im Maschinenraum zur Prüf- / Messaufgabe gebracht. In dieser Position werden alle erforderlichen Eingaben für die Kamera durchgeführt.

Diese Szene entspricht dem späteren Produktionsablauf.

Ist die entsprechende Prüf- oder Messaufgabe gelernt wird das dazugehörige NC-Programm um die notwendigen Steuerbefehle ergänzt.

Ab hier ist die Produktionsüberwachung über eine Kamera möglich.

Demonstration:

Produktionslauf mit integrierter Prüf- oder Messaufgabe über eine Kamera im Arbeitsraum der Maschine. Prozessablaufveränderung nach Übermittlung des Prüf- oder Messergebnisses an die CNC-Steuerung.

### Produkteinsatzbedingungen

Die Kamera ist für den Einsatz im Arbeitsraum einer Drehmaschine vorgesehen. Dort herrschen große Temperaturschwankungen im Bereich von 5° bis ca. 60°(gemittelt).

Es ist mit einer rel. Luftfeuchte von > 90% zu rechnen.

Die Kamera kann unter ständigem Beschuss mit Kühlmittel (Öl oder Emulsion) stehen. Diese Kühlmittel werden aus unterschiedlichsten Substanzen zusammengemischt.

Zusätzlich kann im Automatik-Betrieb ein Beschuss mit Metallspänen oder ein Einwirken von Wickelspänen erfolgen.

- Umgebungstemperatur +5° ..... 60°C
- Rel. Luftfeuchte > 90%
- Beschleunigung in Produktion 7-10m/s<sup>2</sup>
- Beschleunigung bei Kollision 700-1000m/s<sup>2</sup>
- Schutz vor Späneflug / Wickelspäne

#### **Funktionale Anforderungen:**

1. Parametrisierung der Kamera von der Maschinenbedientafel, Visualisierung der erforderlichen Einstellungen (Grundeinstellungen)
2. Steuerung der Kamera von der Maschinenbedientafel z.B. Aufnahme Musterteil oder Steuerung der Beleuchtung
3. Übertragung eines hoch aufgelöster Einzelbilder zur Auswertung in der CNC-Steuerung
4. Steuerung der Kamera aus dem NC-Programm heraus (z.B. Beleuchtung, ...)
5. Durchführen von Prüfaufgaben durch Vergleich (ja/nein Entscheidung)
6. Durchführen von Messaufgaben mit Übertragung der Messwerte zur CNC-Steuerung

#### **Technische Merkmale:**

1. Daten- und Steuersignale zur Kamera
  - a) Aktivierung
  - b) Auswahl des Kamera-Modus (Einzelbild oder Live-Bilder)
  - c) Start/Stop von Live-Modus
  - d) Start hoch aufgelöstes Einzelbild
  - e) Start Mess- oder Prüfaufgabe
  - f) diverse Steuersignale wie öffnen, reinigen, zoom, .....
2. Daten- und Steuersignale von der Kamera
  - a) Bildfolge (Live-Modus, Komprimierung)
  - b) Einzelbilder (hoch aufgelöst)
  - c) Statusinformation (z.B. Akkustatus, betriebsbereit, .....
3. Ablage der optimierten Einstellparameter der Kamera zum jeweiligen Bearbeitungsprogramm
4. Ablage Vergleichsbilder zur Prozessoptimierung durch den Kunden z.B. Werkzeuge in verschiedenen Verschleißzuständen.
5. Keine Kabelverbindung, energieautark, Funkkommunikation
6. Messgenauigkeit 1µm
7. Hohe Schutzart min. IP67
8. Schnelle Verfügbarkeit der Kamera nach Power on <1s
9. Kamera im Schutzgehäuse entsprechend der Anwendung umbaubar (verschiedene Blickrichtungen)
10. Automatischer Kommunikationsaufbau nach Power on

11. Optik + Beleuchtung anpassbar (Ideal durch Kunden)
12. Arbeitsabstand ca. 80mm (bei Anwendung im Demonstrator, einem Dreh-Fräszentrum der Fa. Traub TNX65/42)
13. Objektfeld ca. 30mm x 30mm

## 5.2 Fa. HOLZMA

Es werden drei Szenarien für die Integration von mobilen Kamerasystemen in Holzbearbeitungsmaschinen festgelegt, wobei die Priorität der Aufzählungsreihenfolge entspricht:

- optisches Plattenzählen am Hubtisch,
- mobile Kamera zur Vorritzsägeneinstellung mit drahtloser Kommunikation und Energieversorgung,
- manuell geführte Kamera zur Ermittlung der Schnittqualität mit drahtloser Kommunikation und Energieversorgung.

### Produkteinsatzbedingungen

Die konstruktive Einbindung in die Maschine wird erst nach einer erfolgreichen Prototypenphase an der Maschine durchgeführt. Somit ergeben sich noch gewisse Gestaltungsspielräume.

Die Kommunikation zwischen der Maschinensteuerung und der mobilen Kamera orientiert sich an den Ergebnissen des Vorläuferprojektes "Kameragesteuerte Vorritzsäge". Die Funk-Schnittstelle muss diese Kommunikation weiterhin ermöglichen.

Es werden folgende Umgebungsbedingungen vorgegeben:

- Umgebungstemperatur        -10...+45°C,
- Rel. Luftfeuchte                max. 90%, ohne Betauung (innerhalb des Gehäuses),
- Verschmutzung                 Feinstaub / Sägespäne,

Die funktionalen Anforderungen unterscheiden sich entsprechend Einsatz-Szenarium ebenso die Parameter der optischen Anbindung der mobilen Kamera an das Objekt.

### 5.2.1 Platteneinschub am Hubtisch

#### Arbeitsweise

Die Materialzuführung erfolgt optional bei HOLZMA-Plattenaufteilsägen über einen Hubtisch. Dieser Hubtisch wird mit einem Stapel an plattenförmigen Werkstoffen beladen, von dem jeweils die für einen Schnittplan notwendige Anzahl an Platten als Plattenpaket abgeschoben wird.

Für den Abschiebevorgang wird der Hubtisch angehoben, bis beide Mikroeinschübe am Programmschieber auf Maß kommen und klemmen. Das Maß für die Klemmung am Mikroeinschub berechnet sich aus dem Produkt von Plattenanzahl und Plattenstärke. Dies führt besonders bei Dünnplatten (Plattenstärke < 6 mm) zu Problemen, das sich hier Toleranzen und Welligkeiten der Platten negativ auswirken und es zu einer falschen Anzahl der eingeschobenen Platten kommen kann.

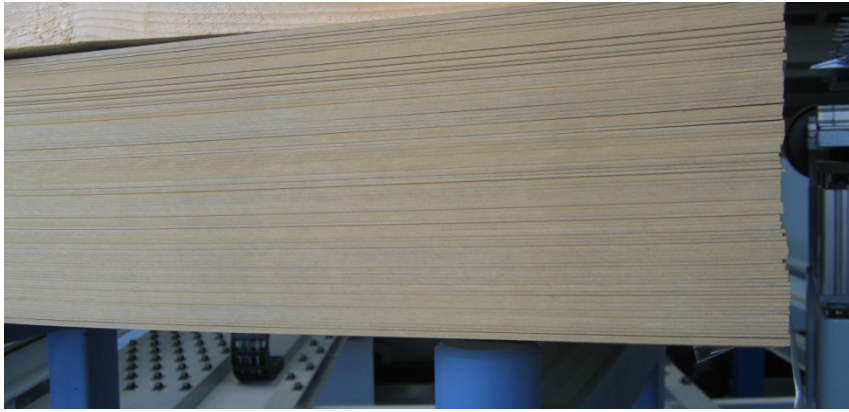


Bild 7: Plattenpaket, von dem eine definierbare Anzahl Platten abzuschieben ist (Bild: Fa. HOLZMA)

### Funktionale Anforderungen:

Das BV-System muss Kantenübergänge an aufeinander liegenden plattenförmigen Werkstoffen erkennen können und der Maschinensteuerung mitteilen, wenn die richtige Position des Hubtisches für den Einschub erreicht ist. Diese plattenförmigen Holzwerkstoffe können alle denkbaren Oberflächen- und Strukturvarianten annehmen. Zusätzlich liegen diese Platten nicht immer plan aufeinander, wodurch der Abstand zwischen BV-System und Objekt in gewissen Grenzen variieren kann.

1. Erkennen der einzelnen Platten im Stapel, insbesondere des Spalts zwischen den Platten, um die korrekte Anzahl an Platten ermitteln zu können,
2. Erkennen von verschiedenen Materialien, unterschiedlicher Materialgefüge wie Rohspan grob/ fein, beschichtete / unbeschichtete MDF<sup>ii</sup>-Platten,
3. Erkennen verschiedener Kantenformen und Plattendicken im Bereich von 1,5 – 50 mm,
4. Plattenzählung am bewegten Stapel,
5. Erkennen der Plattenübergänge bei variablen Arbeitsabständen von 50 mm -150 mm,
6. Plausibilitätscheck mittels der durch die Maschinensteuerung vorgegebenen Plattenstärke unter Berücksichtigung der Plattentoleranzen in Verbindung mit dem Linearmesssystem am Mikroeinschub,
7. Bei nicht erkannter Kante kann möglicherweise der Bediener manuell die Kante ins Bild legen (Interaktion mit dem Maschinenbediener),
8. Selbsttest des BV-Systems auf Verschmutzung mit anschließender Meldung.

### Technische Merkmale:

Perspektive:	entozentrisch
Arbeitsabstand:	variiert: 50...300 mm
Tiefenschärfe:	möglichst groß
Größe des Objektfeldes:	120 x 90 mm <sup>2</sup>
Möglichkeit der Fokussierung:	ja
Zoom:	ja
Bildaufnahme in Farbe:	ja
Blickrichtungen:	1
Beleuchtung:	Auflicht
Fremdlicht:	ja



Auflösung des Objektfeldes:	≤0,5 mm
Beschaffenheit des Objektes:	Oberfläche: komplettes Farbspektrum, strukturiert bis glänzend (Kunststoff)
	Schnittfläche: sehr rauh, gelbbraun, wenig Kontrast der Kante

## 5.2.2 Kameragesteuerte Vorritzsägeneinstellung

### Arbeitsweise

HOLZMA bietet bei einem Teil der Modellpalette (Baureihe 5) die vollautomatische kameragesteuerte Vorritzsägeneinstellung an. Dieses Bildverarbeitungssystem ist bereits mechanisch und Funktional in die Maschine integriert. Die Energieversorgung und der Datenaustausch finden gegenwärtig drahtgebunden statt.

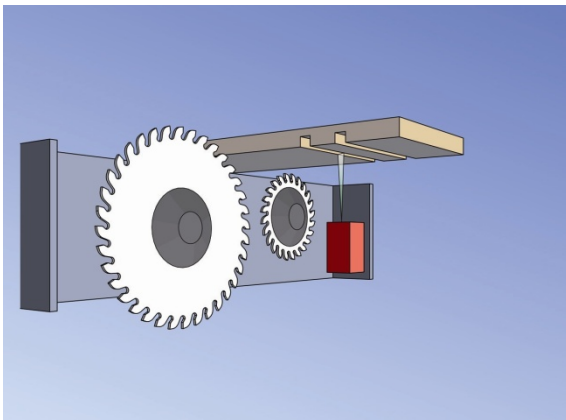


Bild 8: Messanordnung bei der Vorritzsägeneinstellung (Bild: Fa. HOLZMA)

### Funktionale Anforderungen:

Die funktionalen Anforderungen auf Seiten der Bildverarbeitung und Maschinensteuerung sind bereits realisiert.

Anpassung an die drahtlose Energieversorgung und drahtlose Datenübertragung des Systems sind noch durchzuführen.

### Technische Merkmale:

Perspektive:	telezentrisch
Arbeitsabstand:	fest bei 84,5mm
Tiefenschärfe:	±0,2 mm
Größe des Objektfeldes:	11 x 8 mm <sup>2</sup>
Auflösung des Objektfeldes:	0,005 mm
Möglichkeit der Fokussierung:	durch Positionierung des ganzen MobiKAM-Systems auf den festgelegten Arbeitsabstand
Zoom:	nein
Bildaufnahme in Farbe:	nein
Beleuchtung:	Auflicht
Fremdlicht:	ja
Blickrichtungen:	1

Beschaffenheit des Objektes: Oberfläche: komplettes Farbspektrum, strukturiert bis glänzend (Kunststoff)  
Schnittfläche: sehr rau, gelbbraun, wenig Kontrast der Kante

### 5.2.3 Manuell geführte Kamera zur Kontrolle der Schnittqualität

#### Arbeitsweise

Bisher beruht die Kontrolle der Schnittqualität rein auf dem subjektiven Empfinden des Maschinenpersonals. Es gibt gegenwärtig kein anderes Hilfsmittel als das menschliche Auge in Kombination mit dem subjektiven Empfinden des Maschinenbedieners um ein Urteil über die Schnittqualität zu ermitteln.

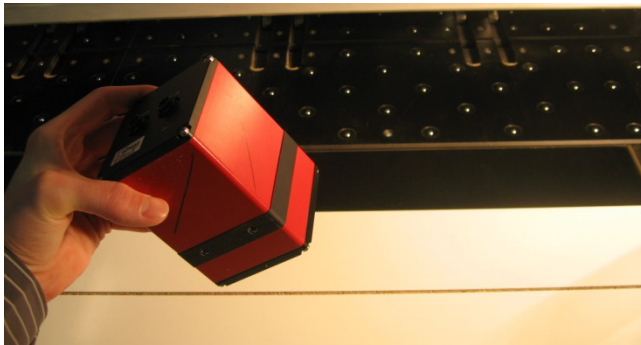


Bild 9: Handkameraanordnung zur Qualitätsprüfung eines Sägeschnittes (Bild: Fa. HOLZMA)

#### Funktionale Anforderungen:

Anpassung an die drahtlose Energieversorgung und drahtlose Datenübertragung des Systems sind noch durchzuführen.

1. Kamera wird mit Hilfe einer Vorrichtung über die Plattenkante bewegt, damit der Arbeitsabstand nahezu konstant bleibt,
2. Erkennen von verschiedenen Materialien, unterschiedlicher Materialgefüge wie Rohspan grob/ fein, beschichtete / unbeschichtete MDF<sup>ii</sup>-Platten,
3. keine feste Geschwindigkeitsvorgabe der Kamerabewegung, da die Verfahrbewegung durch den Maschinenbediener vorgenommen wird, möglicherweise Begrenzung auf ca. 1 m/s,
4. die Kriterien für die diffizilen Qualitätsmerkmale einer Schnittkante müssen noch ermittelt werden.

#### Technische Merkmale:

Die optische Anbindung der mobilen Kamera an das Objekt hat die gleichen Parameter, wie beim Szenario "Platteneinschub am Hubtisch".

## 6 Untersuchungen

### 6.1 Objektive und Beleuchtungen

Optische Komponenten und Beleuchtungen gehören zu den funktionsbestimmenden Bestandteilen einer Bildverarbeitungsanlage. Aus diesem Grund wurden zeitaufwendige und umfangreiche Untersuchungen mit dem Ziel durchgeführt, die mögliche Genauigkeit von Abbildung und Prüfergebnis bei einem Kamera-Einsatz im Arbeitsraum von Werkzeugmaschinen zu ermitteln bzw. zu konkretisieren. Verwendung fanden dafür zahlreiche Objektiv-Typen, die in Bild 10 dargestellt sind.



Bild 10: Einbezogene Objektive (Bild: Fa. Vision&Control)

- 1 Entozentrisches Objektiv / M12 (Neuentwicklung)
- 2 Entozentrisches Objektiv / C – mount
- 3 - 4 Entozentrische Zoom-Objektive / CS – mount
- 5 - 6 Telezentrische Objektive / C – mount (Neuentwicklung)
- 7 Liquid-Linse

Weiterhin kamen Beleuchtungen unterschiedlicher Bauart und mit unterschiedlichen Wellenlängen (vorrangig blau und rot) zum Einsatz. Es wurden Standardgeräte der Fa. Vision&Control und eine neu entwickelte adaptive Beleuchtung verwendet. Die Durchführung der Untersuchungen erfolgte mit den in Bild 11 dargestellten Beleuchtungstypen.

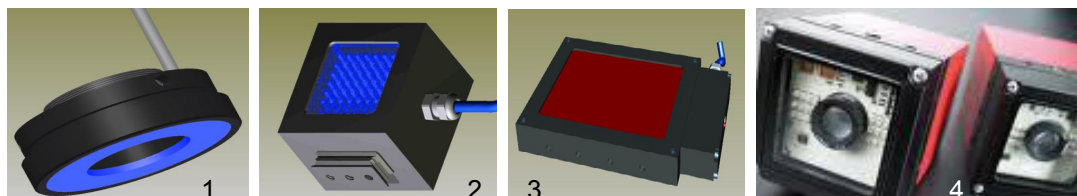


Bild 11: Einbezogene Beleuchtungen (Bilder: Fa. Vision&Control):

- 1 – 2 Auflichtbeleuchtungen
- 3 Durchlichtbeleuchtung
- 4 Einstellbare, adaptive Beleuchtung (Neuentwicklung)

Die Ergebnisse der Untersuchungen können folgendermaßen bewertet werden:

### Szenario 1: Durchlicht und telezentrisches Objektiv

- höchste Genauigkeit
- Messgenauigkeit max.  $\frac{1}{2}$  Pixel
- je nach Auflösung von Kamera und Objektiv 0,02mm bis 0,005 mm

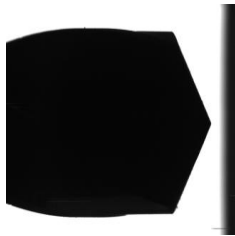


Bild 12: Szenario 1 - Bohrer im Durchlicht (Bild: Fa. Vision&Control)

### Szenario 2: Auflicht und telezentrisches Objektiv

- Messgenauigkeit ist abhängig von Material und Form
- in axialer Blickrichtung max.  $\frac{1}{2}$  Pixel (je nach Auflösung 0,02mm bis 0,005 mm)
- in tangentialer Blickrichtung ist eine erhebliche Beleuchtungsabhängigkeit zu verzeichnen,
- konkret können daher keine Angaben erfolgen

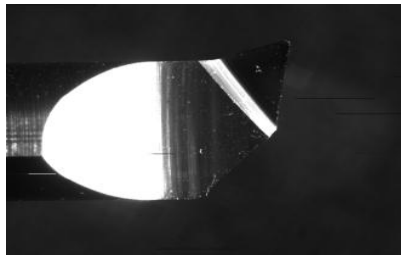


Bild 13: Szenario 2 - Fräser im Auflicht (Bild: Fa. Vision&Control)

### Szenario 3: Durchlicht und entozentrisches Objektiv

- Messgenauigkeit max. 1Pixel
- je nach Auflösung von Kamera und Objektiv 0,04mm bis 0,01 mm
- Beispiel: siehe Bohrer im Durchlicht (1. Szenario)

### Szenario 4: Auflicht und entozentrisches Objektiv

- Die Messgenauigkeit ist abhängig von Material und Form;
- in axiale Blickrichtung max. 1 Pixel ( je nach Auflösung 0,02mm bis 0,005 mm)
- in tangentialer Blickrichtung ist eine erhebliche Beleuchtungsabhängigkeit zu verzeichnen,
- Konkret können dazu keine Angaben erfolgen

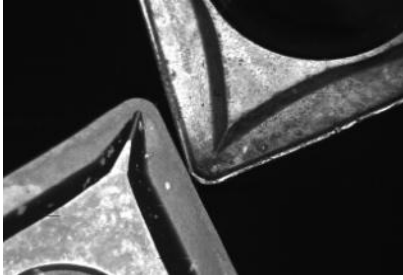


Bild 14: Szenario 4 - Wendeschnidplatten im Auflicht (Bild: Fa. Vision&Control)

### Szenario 5: Adaptive Beleuchtung und entozentrisches Objektiv

Messen an einem Sägeschnitt: Die Messgenauigkeit ist abhängig von der Oberflächenstruktur der zu sägenden Platten und von der Qualität der Sägeschnittkanten. Ermittelt wurde im konkreten Fall bei einer WVGA-Auflösung der Kamera eine max. Messgenauigkeit von 1 Pixel (0,05 bis 0,01mm).

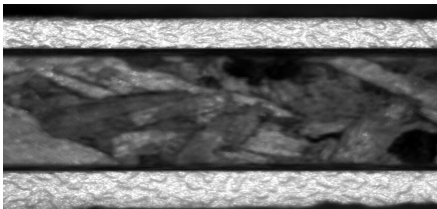


Bild 15: Szenario 5 - Sägeschnitt an einer Platte mit heller und stark strukturierter Oberfläche (Bild: Fa. Vision&Control)

## 6.2 Voruntersuchungen zu den Pflichtenheften

Die bestehenden Aufgabenstellungen zu den Demonstratoren waren so zu qualifizieren, dass eine Umsetzung im Rahmen des Projektes erfolgreich vonstattengehen konnte. Dazu erfolgten zunächst umfangreiche Untersuchungen zu Realisierungsvarianten. Danach wurden die Pflichtenhefte konkretisiert.

Die Laboruntersuchungen fanden im Hause Vision&Control statt. Dazu gehörten insbesondere Tests zur Plattenzählung (Demonstrator Fa. HOLZMA) und Messungen an Werkzeugen (Demonstrator Fa. INDEX/TRAUB).

Nach der Festlegung von praxisnahen Szenarien zur den Positionen der einzelnen Platten innerhalb von Plattenstapeln (Bild 18) erfolgte der Aufbau eines Kamera-Labormusters (Bild 16) zur Durchführung von Testmessungen.

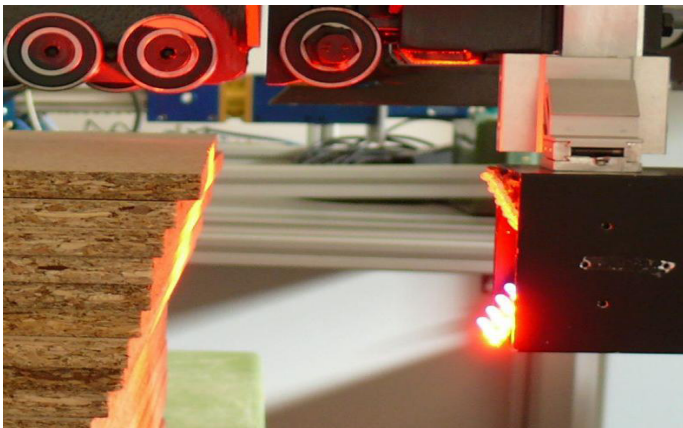


Bild 16: Messanordnung zur Plattenzählung (Labormuster) (Bild: Fa. Vision&Control)

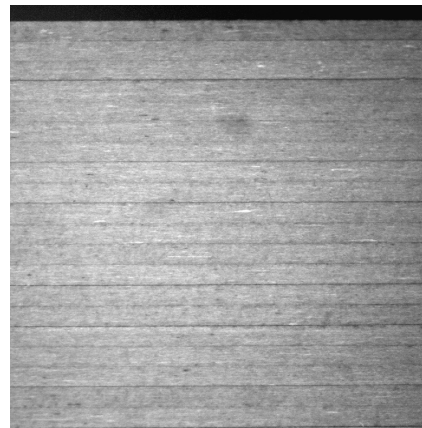


Bild 17: Abgebildeter Plattenstapel (kontrastarme Kanten) (Bild: Fa. Vision&Control)

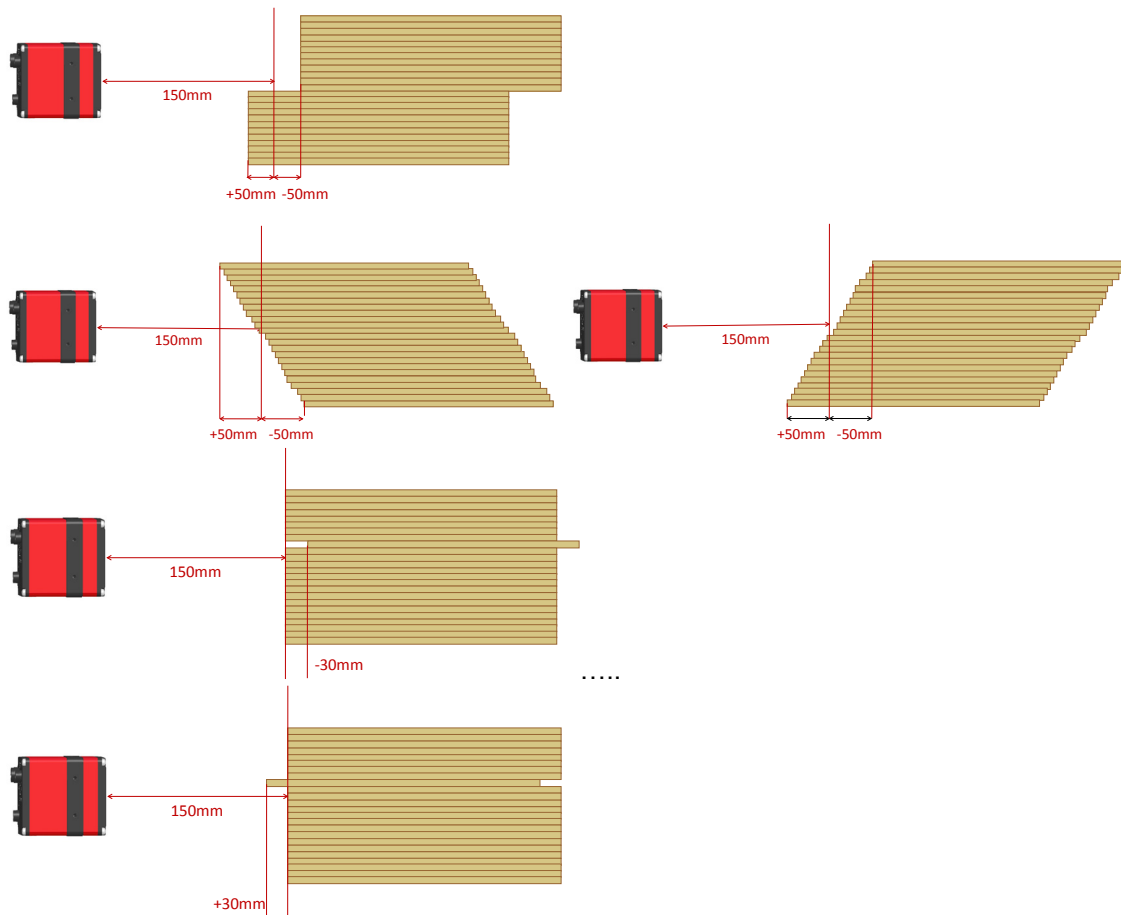


Bild 18: Plattenstapel-Szenarien (Messsituationen mit besonderen Anforderungen)  
(Bild: Fa. Vision&Control)

Mit den im **camat<sup>®</sup>**-System integrierten Bildverarbeitungsalgorithmen ist eine prozesssichere Kantenerfassung der in der Abbildung des Plattenstapels auftretenden kontrastarmen Kanten nur bedingt möglich. Daher wurde vor Beginn der Testmessungen eine spezielle Erkennungssoftware entwickelt, die ein sicheres Antasten der Plattenkanten gewährleistet. Im Laufe der Untersuchungen an verschiedenen Plattenstapelszenarien konnte die Funktionssicherheit nachgewiesen werden. Es ist lediglich eine Parameteranpassung an die Vor-Ort-Bedingungen erforderlich. (s. Abschnitt 7.2.)

Die Untersuchungen zur Bewertung von Werkzeugeigenschaften begannen im Hause Vision&Control mit Labortests zu Messungen an Werkzeugen und zur Erkennung von Abnutzungen an den Werkzeugschneiden. Danach erfolgten Versuche direkt im Arbeitsraum einer Werkzeugmaschine (Bild 19).

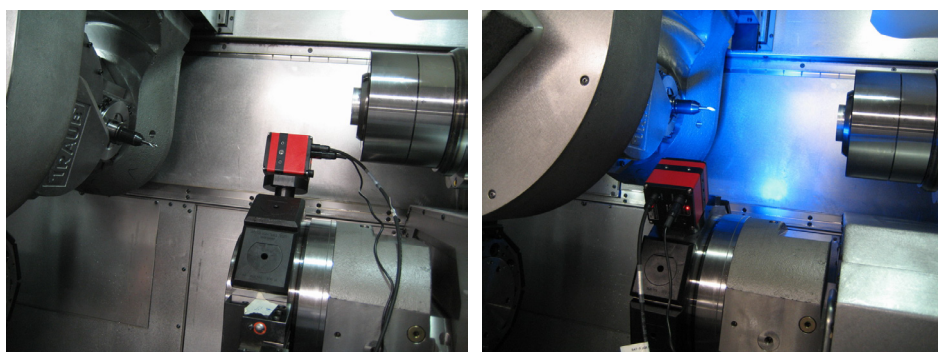


Bild 19: Verschiedenen Messanordnungen zur Analyse einer Bohrerschneide (Bilder: Fa. INDEX/TRAUB)



Die Bewertung der erzielten Messergebnisse ist in die Auswertung zu den Szenarien in Abschnitt 6.1. eingeflossen. Bild 20 zeigt ein Beispiel zur Bewertung des Abnutzungsgrades eines Bohrerkopfes. Die Auswertung wurde mit dem Softwaremodul „Pixel zählen“ durchgeführt. Im Ergebnis ist zu erkennen, dass die zur Schneide des Bohrerkopfes gehörende Fläche signifikante Unterschiede aufweist.

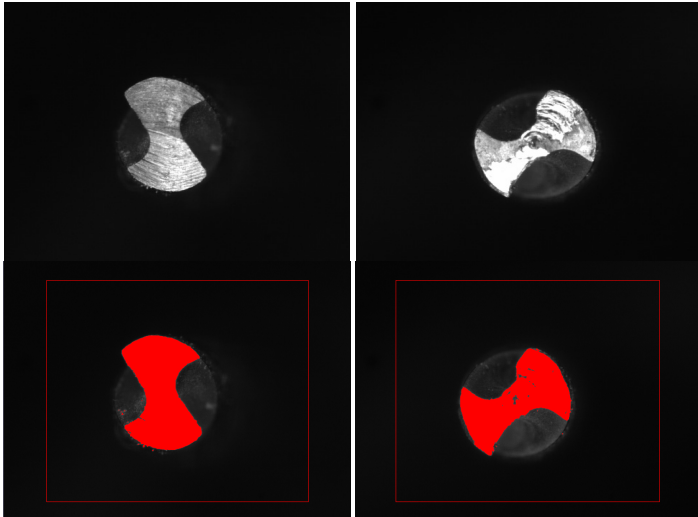


Bild 20: Analyse eines Bohrerkopfes (links: unbenutzt, rechts: abgenutzt, 2500 Pixel Unterschied)  
(Bilder: Fa. Vision&Control)

Zur Vorbereitung des Demonstrators „Bohrerbruchkontrolle“ sind ebenfalls umfangreiche Voruntersuchungen durchgeführt worden. Im Ergebnis konnten die Parameter zur Programmierung und zur Anbringung der Kamera bzw. des Bildverarbeitenden Sensors festgelegt werden. Bild 21 verdeutlicht die Arbeitsschritte.

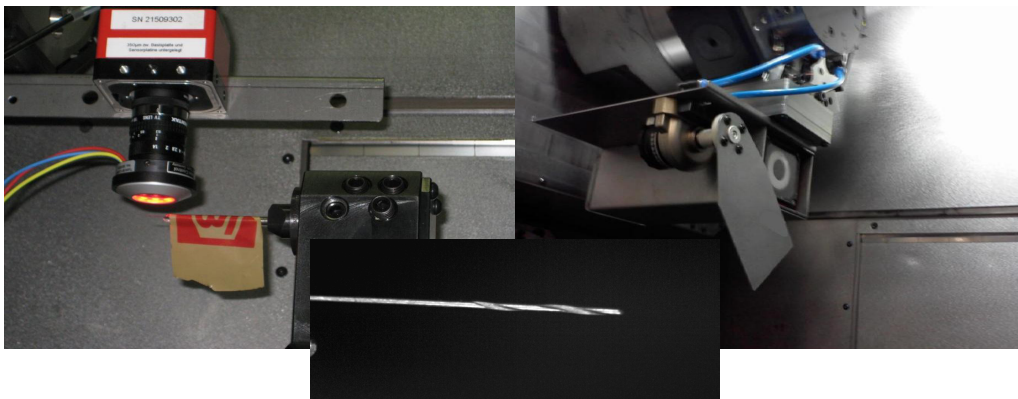


Bild 21: Bohrerbruchkontrolle  
(links: Versuchsanordnung mit Labormustern; rechts: realisierter Demonstrator)  
(Bilder: Fa. INDEX/TRAUB)

### 6.3 Funkkommunikation

Die Integration von industriellen Digitalkameras in Machine-Vision-Systeme erfolgt bisher drahtgebunden. Hier haben sich in der Vergangenheit Standards entwickelt, die neben der

Hardwarechnittstelle mit Festlegung der Kabel, Stecker und Signalzuweisungen bei digitalen Kamera-Schnittstellen auch die Software-Steuerschnittstelle definieren. Heute dominieren die beiden Schnittstellen CameraLink (Machine Vision Online) und IEEE-1394 Firewire (IEEE Standard, 2008). Zukünftig wird sich aufgrund der hohen Bandbreite für die Übertragung unkomprimierter Bilddaten mit hoher Geschwindigkeit der neu entwickelte GigE Vision-Standard der Advanced Imaging Association AIA (AIA, 2010) für Gigabit-Ethernet-Kameras mit seinem standardisierten Kamera-Kommunikationsprotokoll durchsetzen.

Für die drahtlose Verbindung zwischen Kameramodul und Auswerteeinheit stehen grundsätzlich mehrere Möglichkeiten zur Verfügung (Haluschak, 2008): Das verbreitetste Verfahren zur Übertragung großer Datenmengen bei hoher Übertragungstreue im Nahbereich bis 30m ist das WLAN mit möglichen Brutto-Übertragungsraten bis zu mit 108 MBit/s. Zudem gibt es im industriellen Bereich bereits standardmäßig auch noch zusätzlich gesicherte, auch echtzeitfähige, Protokolle. Die Reichweite von Bluetooth (Merkle, et al., 2002) ist mit 15m zwar völlig ausreichend für den Zweck, bietet mit 1 MBit/s aber nicht die Datenrate einer WLAN Verbindung. Zigbee ist ein Standard, der die Vernetzung vieler Knotenpunkte gestattet (Sikora, A., 2006) (ZigBee Alliance, 2007), wobei die max. Entfernung zwischen ihnen bis zu ca. 60m betragen darf. Die Datenrate liegt bei max. 1MBit/s. Besonderes Designziel von Zigbee ist ein niedriger Betriebsstrom und hohe Zuverlässigkeit der Datenübertragung wobei der Übertragungsweg zum Zentralrechner sich weitgehend automatisch von Knoten zu Knoten organisiert. Analoge Verfahren zur Bildübertragung im 1,2 GHz-Band kommen für industrielle Mess- und Prüfaufgaben nicht in Frage, da sich Übertragungsstörungen direkt im Bildsignal abbilden. Digitale Verfahren unterstützen vielfältige Prüf- und Korrekturmechanismen. Zum anderen erlaubt die begrenzte Zahl verfügbarer Kanäle (4) keinen gleichzeitigen Betrieb mehrerer analoger Systeme innerhalb des Anlagenumfeldes, beispielsweise innerhalb einer Werkstatt oder Werkhalle.

Um die Anbindung von Peripheriegeräten an PCs noch mehr zu vereinfachen und insbesondere eine drahtlose Anbindung zu ermöglichen, laufen derzeit Bestrebungen dahin, die Vorteile der WLAN-Technologie mit der erfolgreichen Standardisierung durch die USB-Schnittstelle zu verbinden. Ziel ist die Schaffung eines Wireless USB (WUSB)(Brackenridge, 2007), eine Funk-Variante des USB-Standards, der hinsichtlich der Brutto-Datenübertragungsrates von 480 Mbit/s bei einer Entfernung von bis zu drei Metern eine Leistung bieten soll, die seinem kabelgebundenen Vorbild kaum nachsteht. Die funkbasierte Erweiterung des USB-Standards soll die Sicherheit und Schnelligkeit der drahtbasierten Übertragung mit der unkomplizierten drahtlosen Übertragung kombinieren (USB-IF).

Um eine Entscheidung für die Auswahl einer geeigneten Funktechnologie zu ermöglichen, wurden WUSB und WLAN in mehrtägigem Betrieb innerhalb des Arbeitsraumes der Werkzeugmaschine während eines Bearbeitungsvorgangs mit Kühlschmierstoffeinsatz getestet. Die Untersuchung wurde mit handelsüblichen für den Büroeinsatz vorgesehenen Komponenten unabhängig von der Fa. PHYTEC und vom Fraunhofer IPK durchgeführt.



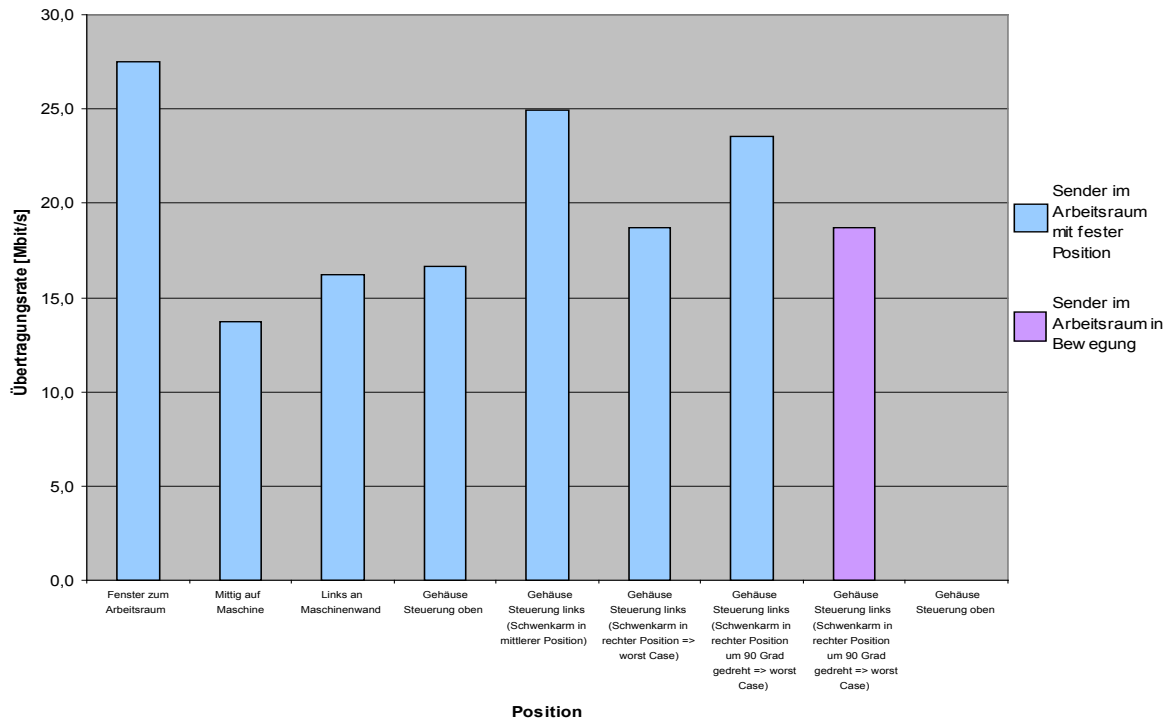


Bild 22: Messergebnisse bei der Datenübertragung mit WirelessUSB (WUSB) (Bild: Fa. PHYTEC)

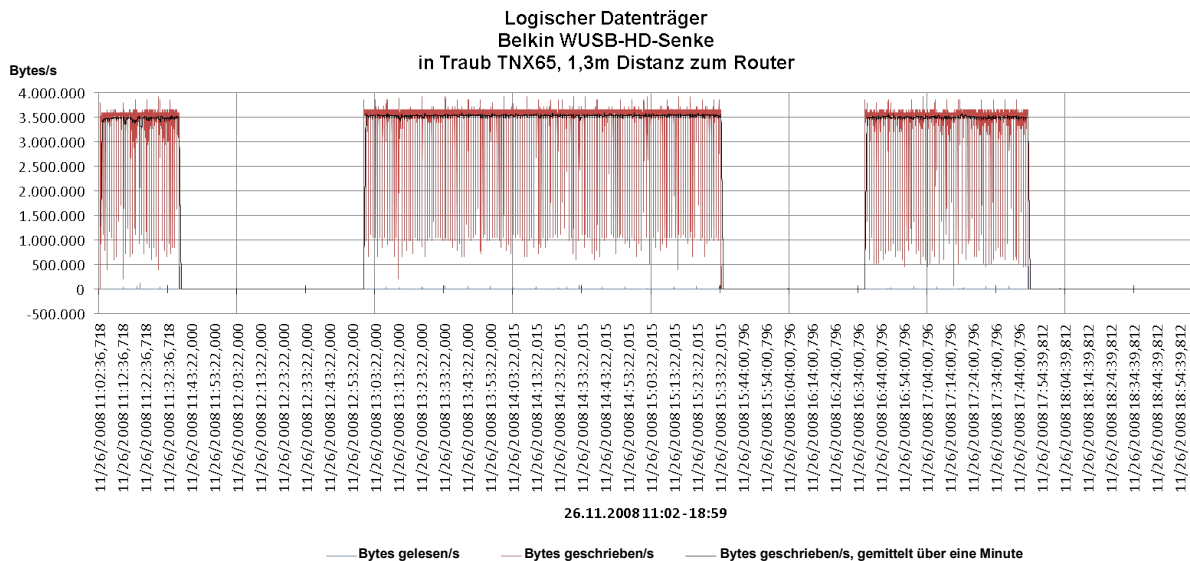


Bild 23: Performance der Funkdatenübertragung mit WirelessUSB im Arbeitsraum der Drehmaschine über den Zeitraum von 8 Stunden (Bild: Fraunhofer IPK, Feitscher)

**Ergebnisse WirelessUSB:**

- Bei entsprechender Positionierung stabile Übertragungsraten von über 10Mbit/s (Mittelwert über 15 Mbit/s).
- Übertragungsrate stark Positionsabhängig (Versetzen des Empfängers um ca. 50cm führt bereits zu Übertragungsabbruch).
- Keine Beeinflussung der Übertragungsrate durch laufende Maschine erkennbar.

- WUSB bietet wie der Name verdeutlicht, ein USB-Gerät über Funk an. Im Gegensatz zu WLAN liegt bei WUSB eine Beeinflussung der Übertragungsprotokolle bezüglich Datenkompression und Robustheit gegen Verbindungsstörungen nicht in der Hand des Anwenders.

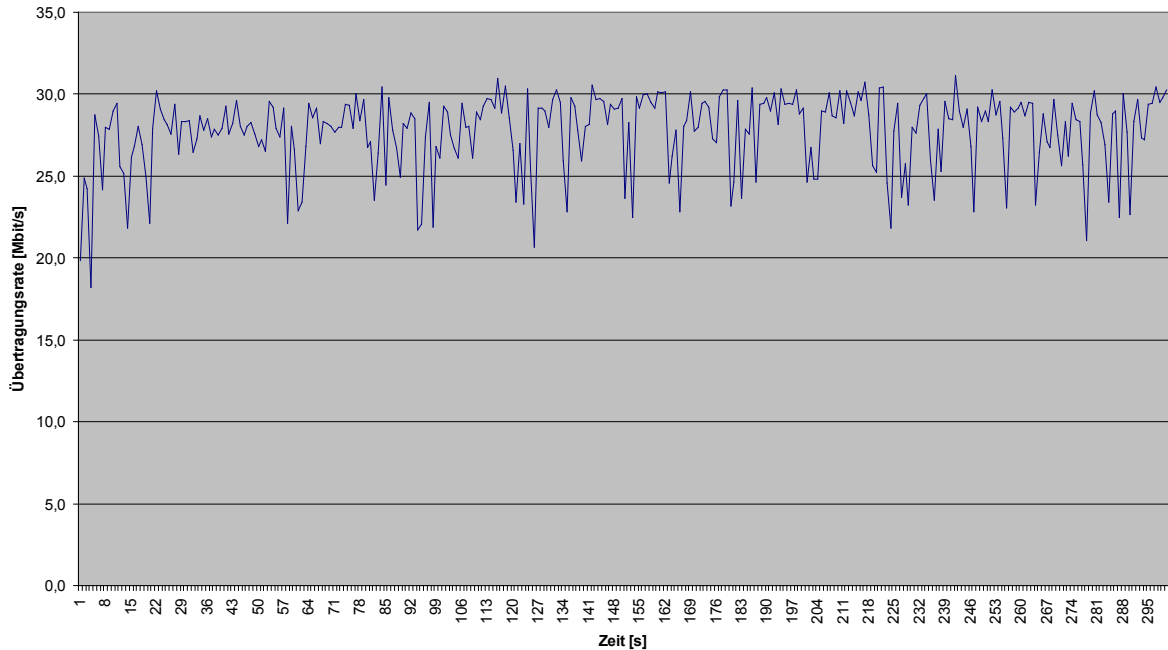


Bild 24: Messergebnisse bei der Datenübertragung mit WLAN 802.11n (Bild: Fa. PHYTEC)

### FTP-Transfer

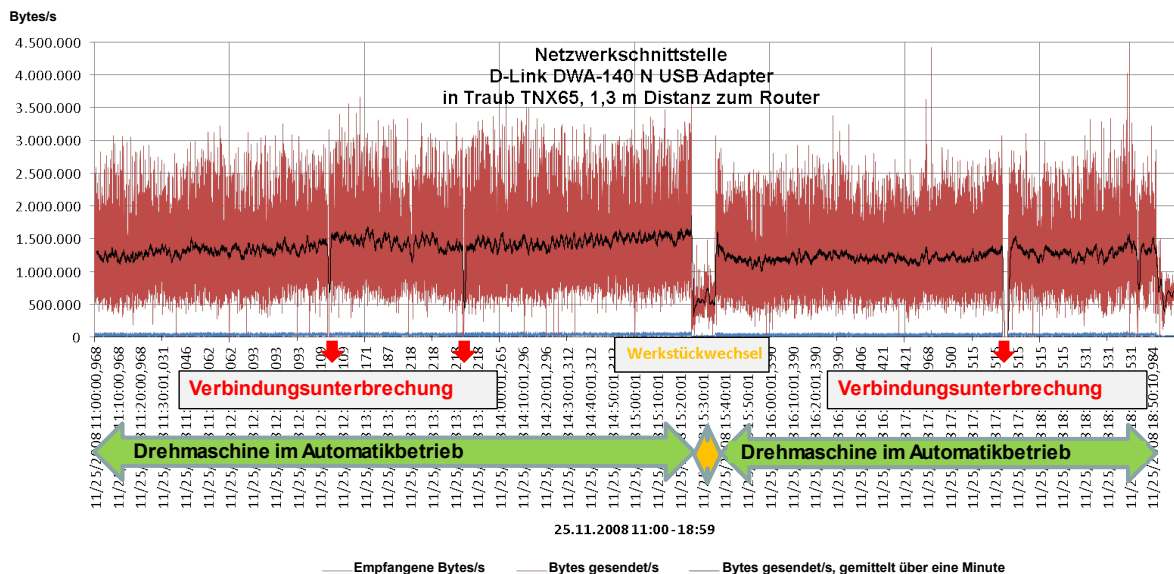


Bild 25: Performance der Funkdatenübertragung mit WLAN 802.11n im Arbeitsraum der Drehmaschine über den Zeitraum von 8 Stunden (Bild: Fraunhofer IPK, Feitscher)

## Ergebnisse WLAN 802.11n

- Stabile Übertragungsrate von 20 Mbit/s (Mittelwert über 25 Mbit/s),
- Übertragungsrate ist im Maschinenumfeld positionsunabhängig,
- Keine Beeinflussung der Übertragungsrate durch laufende Maschine erkennbar.

Merkmal	WLAN IEEE 802.11n (D-Link)	WirelessUSB (Belkin)	Anforderung
Frequenz/Kanal	2,472 GHz / 13	4,2 – 4,8 GHz / 15	
Nominale Brutto-Datenübertragungsrate	130 MBit/s	480 MBit/s	
Typ. Datenübertragungsrate Büro	8 - 28 MBit/s	44 MBit/s	10 MBit/s
Typ. Datenübertragungsrate TNX65	8-12 MBit/s	28 MBit/s	10 MBit/s
Häufigkeit der Verbind.-unterbr. Büro	1x /24h	keine	
Häufigkeit der Verbind.-unterbr. TNX65	>13x /24h	>8x /24h (geschätzt)	
Längste Verbindungsdauer Büro	14h 50m	19h 50m	
Längste Verbindungsdauer TNX65	4h	2h 40m	
Max. nominale Ausgangsleistung Adapter	25,1 mW (14 dBm)	80µW (-10,9 dBm)	
Max. nominale Leistungsaufnahme Adapter	2,3 W (460 mA)	2,1 W (420 mA)	
gemessene Stromaufnahme Adapter	220...270...530 mA (Empfang...Senden...Peak)	330...350...400...600 mA (Empfang...Senden...Peak)	
Max. nominale Leistungsaufnahme Hub	15 W (3A)	15 W (3A)	
Versorgungsspannung (Adapter u. Hub)	5 V	5 V	

Tabelle 1: Ergebnisse des am Fraunhofer IPK durchgeführten Vergleichs der beiden Varianten WLAN (DLink, 2007) und WUSB (Belkin, 2007) für die drahtlose Kommunikationsanbindung zum Kameramodul

## Fazit

- Datenrate (Netto) von beiden Übertragungsstandards im Test noch deutlich von den veröffentlichten Datenraten entfernt aber ausreichend.
- Beide Verfahren sind durch Einbrüche der Datenübertragungsrate und Verbindungsunterbrechungen gekennzeichnet, die nur mit störenden Funkquellen im jeweiligen Frequenzband erklärt werden können.
- Eventuelle Einflüsse weiterer Funknetze auf WLAN 802.11n können durch Verwendung der Kanäle im 5GHz Frequenzband verringert werden.
- Bei der asynchronen Übertragung (Dateien) zeigte sich Wireless USB (WUSB) mit einer Netto-Datenübertragungsrate von 28 MBit/s stabiler und zweifach schneller als WLAN.
- Die isochrone Übertragung (USB-Kamera) war durch sehr stockende Live-Bilder gekennzeichnet. Nicht alle USB-Kameras sind mit den WUSB-Geräten kompatibel.
- Wireless USB wies zum Entscheidungszeitpunkt eine sehr schlechte Verfügbarkeit der benötigten Schaltkreise auf. Deswegen wurde Übereinstimmung erzielt, WLAN einzusetzen.

## 6.4 Energieversorgung

Für den Betrieb eines auf dem Werkzeugträger anzubringenden und so im Arbeitsraum der Maschine bewegten Kamerasystems stellt neben der drahtlosen Kommunikationsanbindung der Kamera deren Versorgung mit elektrischer Energie eine wichtige Funktion zur Erreichung der Mobilität und Autarkie des Systems dar. Werkzeugmaschinen für die spanende Bearbeitung und Werkzeugträgersysteme verfügen standardmäßig nicht über Schnittstellen und Funktionen zur Bereitstellung von elektrischer Energie für die eingesetzten Werkzeuge. Sie verfügen lediglich über definierte mechanische Schnittstellen zur Aufnahme von Werkzeugen.

Für den Betrieb einer mobilen Kamera auf dem Werkzeugträger bieten sich nachfolgende Varianten als grundsätzliche Lösungen der Energieversorgung an:

- **Externes Laden und Akkubetrieb**  
Dies kann in Form einer externen Ladestation mit Kontakten realisiert werden, in die die mobile Kamera in nichtaktiver Phase abgelegt wird.
- **Wandlung bereitgestellter mechanischer Energie**  
Am Werkzeugträger bei Drehmaschinen sind Energieträger wie Kühlschmiermittel, Druckluft oder mechanischer Antrieb für Bohr- und Fräswerkzeuge verfügbar.
- **Energiegewinnung aus Umgebung**  
Erzeugung von Strom aus Quellen wie Umgebungstemperatur, Vibrationen oder Luftströmungen durch geeignete physikalische Effekte (Energy Harvesting).
- **Drahtlose Energieübertragung**  
Strahlungsverfahren zur Übertragung der Energie, zum Beispiel elektromagnetische Induktion oder Bestrahlung mit LASER.

Um einen dauerhaften Betrieb in der Maschine über mehrere Stunden zu ermöglichen, ist eine aktive Versorgung mit Energie gegenüber dem Akkubetrieb mit externem Laden vor dem Rüsten der Kameraeinheit vorteilhafter. Daher wird eine Energieversorgung der Kameraeinheit am Werkzeugträger über einen integrierten Generator vorgeschlagen. Nutzbare mechanische Primärenergien sind in den Stoffströmen für Druckluft und Kühlschmiermittel oder dem Werkzeugantrieb zu finden.

Die Energiegewinnung aus der Umgebung und die drahtlose Energieübertragung wurden wegen der nicht hinreichenden Wirkungsgrade und geringen Kompaktheit zur Bereitstellung einer Spitzenleistung von ca. 15W verworfen.

### 6.4.1 Energieversorgung der mobilen Kamera mit Generator

Für das im Projekt MobiKAM zu realisierende Prototypsystem wird ein bürstenloser Gleichstrommotor (Maxon, 2011) als Generator an die Versorgung im Werkzeugrevolver angekoppelt. Nach dem Einwechseln der auf dem Revolver gerüsteten Kamera auf die aktive Werkzeugposition kann durch Einschalten der Werkzeugantriebe die Kamera mit elektrischer Energie (bis zu 30W) versorgt werden. Hierdurch wird die Kamera selbst aktiviert und in Bereitschaft versetzt. Dies kann bereits während des Fahrens vom Werkzeugwechsellpunkt an die Aufnahme position erfolgen. Eine entsprechende Pufferung sorgt dafür, dass auch nach Abschalten der Antriebsleistung die Kamera ihre Aufgaben abschließen und die Kommunikation beenden kann bevor sie sich abschaltet.

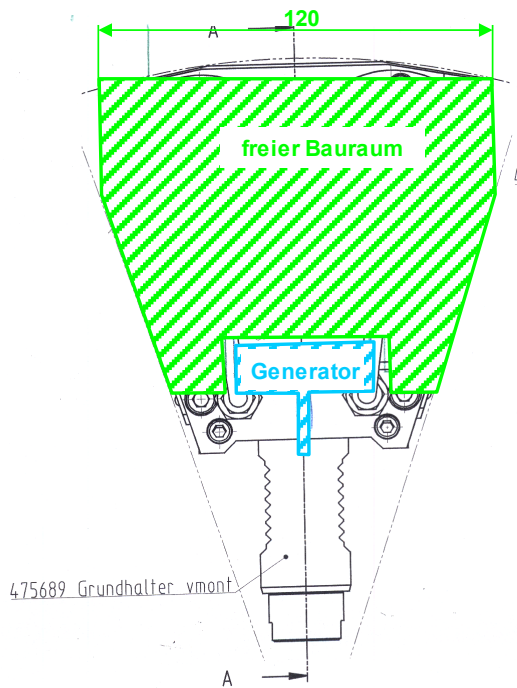


Bild 26: Einsatz eines Generators zur Stromversorgung über Hilfsantrieb für Werkzeuge  
(Zeichnung Grundhalter: Fa. INDEX/TRAUB)

## 6.4.2 Energieversorgung der mobilen Kamera mit Akku/Ladestation

### Anforderungen

Für den gedachten Anwendungsfall sind eine hohe Energiedichte und eine hohe Zyklenzahl wichtig, da im ungünstigsten Fall im Betrieb täglich mit bis zu 3 (vollen) Ladezyklen gerechnet werden muss. Aus räumlichen Gründen kann der Akku höchstwahrscheinlich nicht für wesentlich kleinere DoD<sup>iii</sup>-Werte ausgelegt werden.

Der Akku muss hermetisch dicht sein, da jede Lage denkbar ist, sowohl im Betrieb als auch bei der Lagerung.

Der Anwendungstemperaturbereich liegt im ungünstigsten Fall zwischen 5 und 60°C (Szenario Kamera auf Werkzeugträger der Fa. TRAUB).

Das Gewicht spielt in diesem Falle keine Rolle.

Eine lange Lebensdauer und hohe Zyklenzahl sind wichtiger als ein kleiner Preis.

Wenn hohe Zyklenzahlen erforderlich sind, brauchen diese Batteriesysteme immer auch einen Lade- / Entladecontroller pro Zelle. Eine hohe Zellspannung und nur eine Zelle im System mag aus diesem Grunde Vorteile gegenüber einer Reihenschaltung mehrerer Zellen geringerer Spannung haben.

Wenn im Betrieb in der Maschine nachgeladen werden kann, ist eine Schnelladefähigkeit des Akkus u. U. ein Muss. (z.B. bei Laden durch angetriebene Werkzeuge, da diese nicht dauernd angetrieben werden können.)

Bei Geräteausführungen, in denen der Akku fest eingebaut ist, erweisen sich eine Schnelladefähigkeit und sehr hohe Zyklenzahl als vorteilhaft.

Bei Ausführungen, bei denen der Akku gewechselt werden kann, spielt die Ladezeit eine untergeordnete Rolle und eine geringere Zyklenzahl erhöht die Wartungskosten nicht mehr überproportional.

## Ausgeschlossene Technologien

Für die Akkumulatoren wurden folgende Technologien wegen verschiedener Nachteile nicht näher untersucht:

- NC-Akkus → wegen ihres Memoryeffektes
- Pb-Akkus → wegen ihrer geringen Energiedichte und relativ kleinen Zyklenzahl (<600)
- Zebrabatterie → (NaNiCl) wegen ihrer hohen Betriebstemperatur
- NaS-Systeme → wegen ihrer hohen Betriebstemperatur
- AgZn → wegen der kleinen möglichen Zyklenzahl (<100)) und dem sehr hohen Preis,  
Z-power <http://www.zincmatrix.com> konnte jedoch die Zyklenzahl vergrößern,
- NiFe → fast vom Markt verschwunden
- ZnBr → keine kleinen Batterien, nur Großsysteme
- VanadiumRedox → weil im Betrieb 2 Elektrolyten umgepumpt werden müssen  
<http://www.geocities.com/CapitolHill/3589/VANADI1.HTM>

## Vorzugstechnologien

Auf Basis von Veröffentlichungen der Akkumulatorenhersteller wurden die Unterschiede der vorzugsweise einzusetzenden Technologien herausgearbeitet:

- LiCo-Technologien haben hohe Energiedichten, niedrige Leistungsdichten und bergen das Risiko eines „Thermal runaway“, d.h. die Gefahr brennender Akkus. Zyklenzahl < 1000. Nennspannung 3,7V (zweit höchste Spannung aller Systeme).
- LiMn-Systeme altern mit zunehmender Betriebstemperatur schneller als andere Systeme. Nennspannung 3,8V (die höchste Spannung aller Systeme).
- LiFe-Systeme sind inhärent sicherer, haben aber geringere Energiedichten. Zyklenzahl >2000, Nennspannung niedriger als bei LiMn- und LiCo-Systemen.
- LiTi-Systeme haben eine hohe Zyklenzahl, hohe Energiedichte, hohe Leistungsdichte, und den höchsten Preis. Offensichtlich gibt es aber noch keine größeren Produktionsmengen der Zellen im Handel. Zyklenzahl >15000
- LiS- bietet bisher die höchste Energiedichte und bestes Temperaturverhalten um den Preis relativ geringer Spannung. Die Fa. SION macht keine Angaben zur Zyklenzahl.
- LiFePo4-Ionen-Systeme sind Weiterentwicklungen des Lithium-Ionen-Akkumulators. Als Kathodenmaterial wird LiFePO4 verwendet. Zyklenzahl >1000, Nennspannung 3,6V

Mit den Anwendern im MobiKAM-Projekt wurde das in Bild 27 dargestellte typische Lade- und Entlade-Schema für Kameras mit Akku-Betrieb abgestimmt.

## Energieversorgung durch Laden in Ladestation

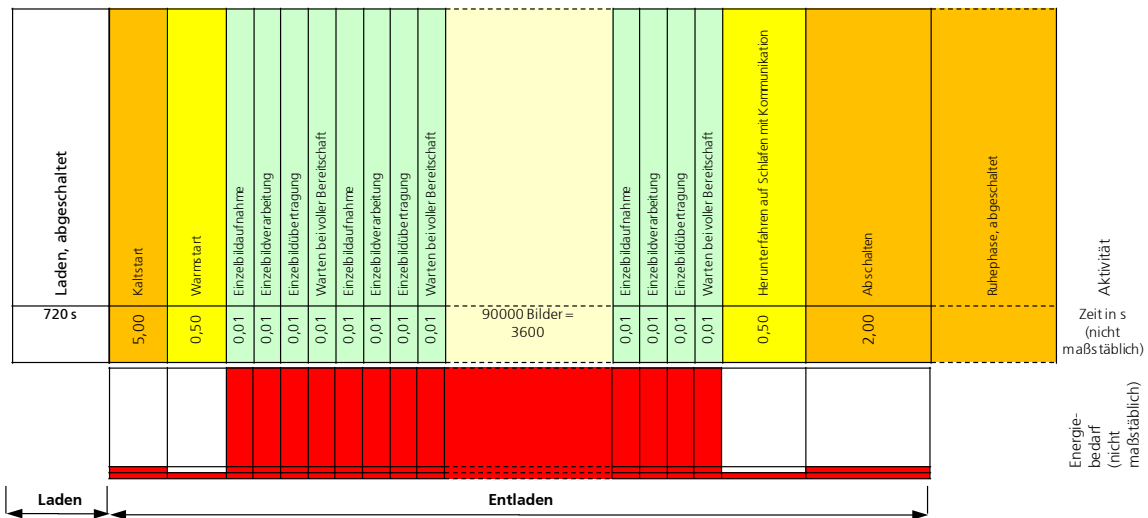


Bild 27: Typisches Lade- und Entlade-Schema für Kameras mit Akku-Betrieb (Bild: Fraunhofer IPK, Feitscher)

Gewählt wurden 4 parallel geschaltete Akkus ANR26650M1 (LiFePo4-Ionen-System) des Herstellers A123Systems Inc. als optimale Antwort auf die Anforderungsparameter. Sie zeichnen sich durch

- hohen zulässigen Ladestrom,
- hohen zulässigen Entladestrom,
- hohe Lade/Entladezyklenzahl

aus.

## Laden der Akkus und Bereitstellung der Verbraucherspannungen

Um den von den Projektpartnern geschätzten Energieverbrauch bei den benötigten Verbraucherspannungen bereitstellen zu können, wurde die Prinzipschaltung nach Bild 28 umgesetzt. Die technischen Details der entwickelten Lösung sind in Abschnitt 7.4 zu finden.

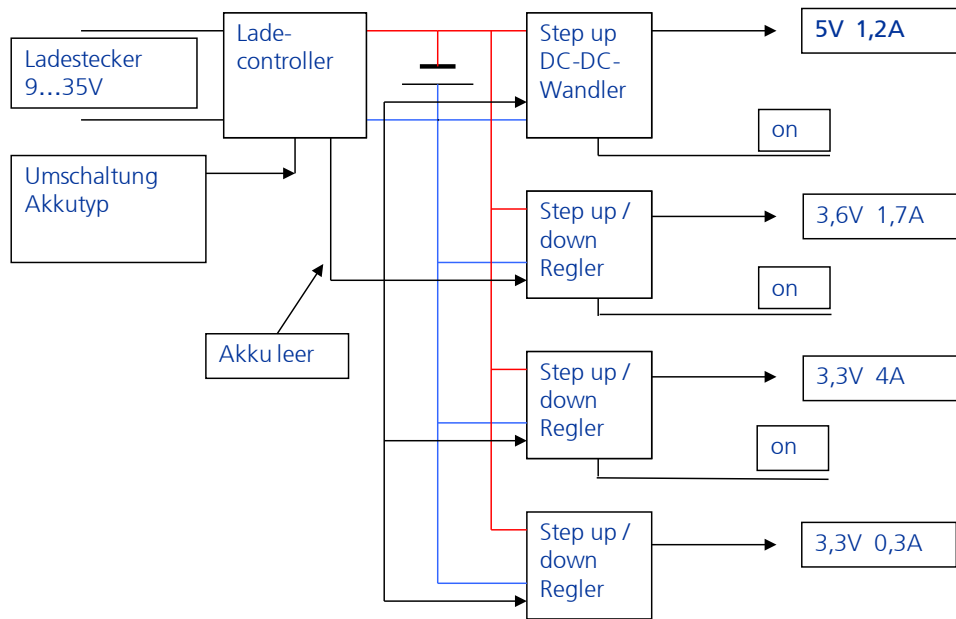


Bild 28: Prinzipschaltung zum Laden der Akkumulatoren und der Bereitstellung der Verbraucherspannungen (Bild: Fraunhofer IPK, Müller)

## 6.5 Funktionale Integration in die Steuerungsumgebung

Die Nutzung der Funktionen des bildgestützten Prüfens und Messens in den unterschiedlichen Aufgaben beim Rüsten und Einrichten als auch im Automatikbetrieb mit programmgesteuertem Bearbeiten von Werkstücken erfordert das Zusammenwirken von Steuerung und Kamerasystem. Da die mobile Kamera auf dem Werkzeugträger der Maschine angebracht wird, muss die Steuerung die Kamerapositionierung übernehmen. Hierzu gehört das Einschwenken der Kamera auf Arbeitsposition und das anschließende Verfahren über die Bewegungsachsen der Maschine in die gewünschte Aufnahmeposition, die im NC-Programm vorgegeben wird. Über entsprechende Kontrollfunktionen wird die Kamera in Betriebsbereitschaft versetzt, die gewünschte Einzelaufnahme ausgelöst und für die anschließende Bildverarbeitung oder Visualisierung übertragen. Neben der Einzelaufnahme ist die Aufnahme im Live-Modus mit Übertragung als Live-Stream eine wichtige Funktion für die Visualisierung am Bildschirm der Steuerung beispielsweise zur Prozessbeobachtung. Neben der Vorgabe der An- und Abfahrbewegungen wird von der Steuerung auch die erforderliche Mess- oder Prüffunktion an die Bildauswertesoftware übertragen. Im Falle des Automatikbetriebs wird diese über entsprechende NC-Anweisungen im NC-Programm vorgegeben und ausgelöst. Das zugehörige Ergebnis wird dann vom Bildverarbeitungssystem an die Steuerung zurückgeliefert und kann dort verwendet werden, um Korrekturwerte zu ändern oder über Variablen Abläufe im Bearbeitungsprogramm zu steuern.



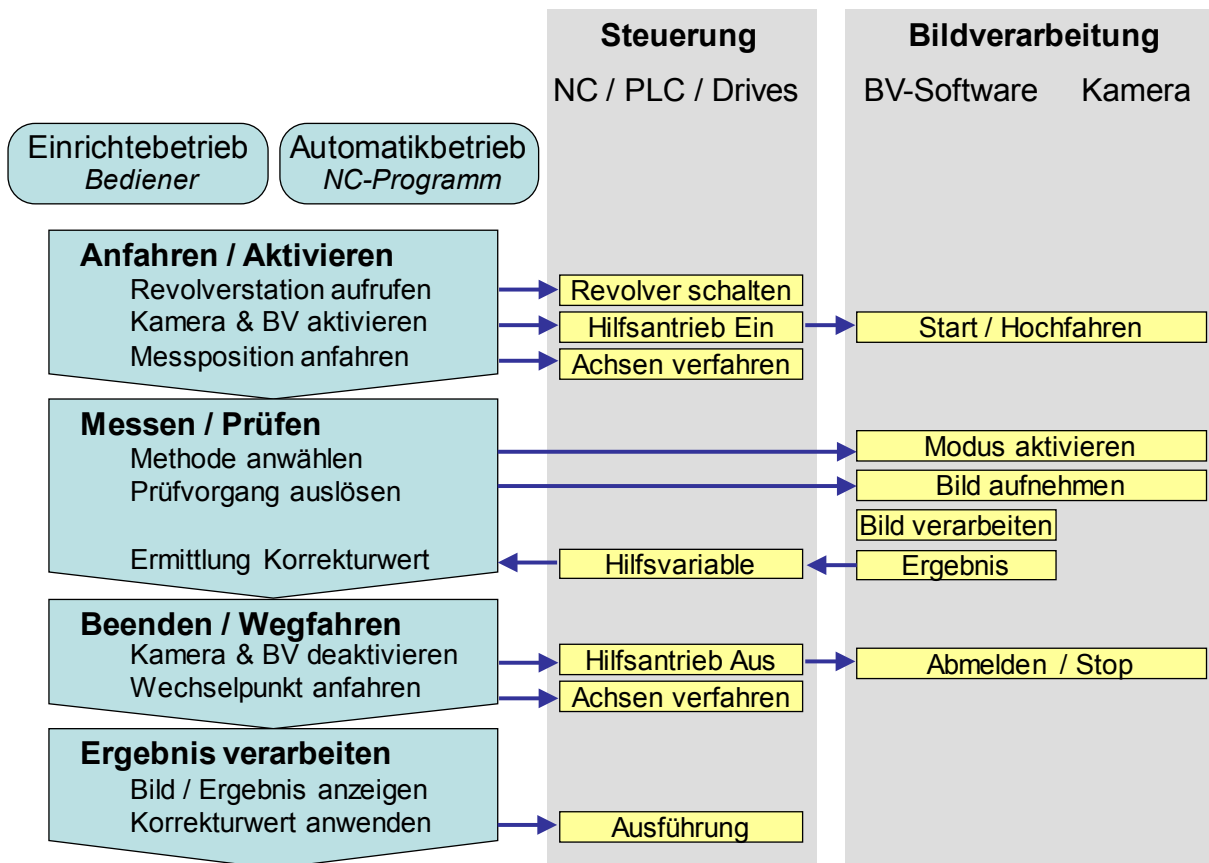


Bild 29: Prinzipieller Ablauf für Messen und Prüfen mit der mobilen Kamera und Aktionen der beteiligten Komponenten (Bild: Fraunhofer IPK, Hohwieler)

## 6.6 Architektur für das Zusammenwirken der verteilten Software-Systeme

Bei der Integration der Bildverarbeitungslösung in die Steuerungsumgebung der Maschine sind drei prinzipielle Systemkonfigurationen möglich. Sie unterscheiden sich in der Verteilung der Software auf das Steuerungssystem, die Kamera und weitere Komponenten.

- **Variante Externe Bildverarbeitung**  
Hier übernimmt eine zusätzliche separate Rechnerhardware mit darauf installierter Bildverarbeitungssoftware die Verarbeitung der von der Kamera erfassten Bilder und die Rückgabe der ermittelten Mess- und Prüfinformationen.
- **Variante Smart Kamera**  
Smart Kameras oder intelligente Kameras verfügen neben dem bildgebenden Sensor und Bildspeicher über einen integrierten Bildverarbeitungsprozessor. In diesem Fall befindet sich die Bildauswerte-Software im gleichen Gerät wie die Bildaufnahme-Software "Kamera". Die anwendungsspezifischen Funktionen zur Bildauswertung können über ladbare und parametrierbare Softwarebausteine direkt dezentral in der Kamera ausgeführt werden. Diese liefert dann selbst die ermittelten Werte von Mess- oder Prüfaufgaben zurück.
- **Variante steuerungsintegrierte Bildverarbeitung**  
In dieser Konfiguration wird die Software für die Bildverarbeitung direkt auf der vorhandenen Hardware- und Betriebssystemumgebung der Steuerung implementiert. Dies kann bei PC-basierten offenen Steuerungen der Bedien-PC oder bei Single-CPU-Lösungen der gemeinsame Rechner für Bediensystem und Steuerung sein.

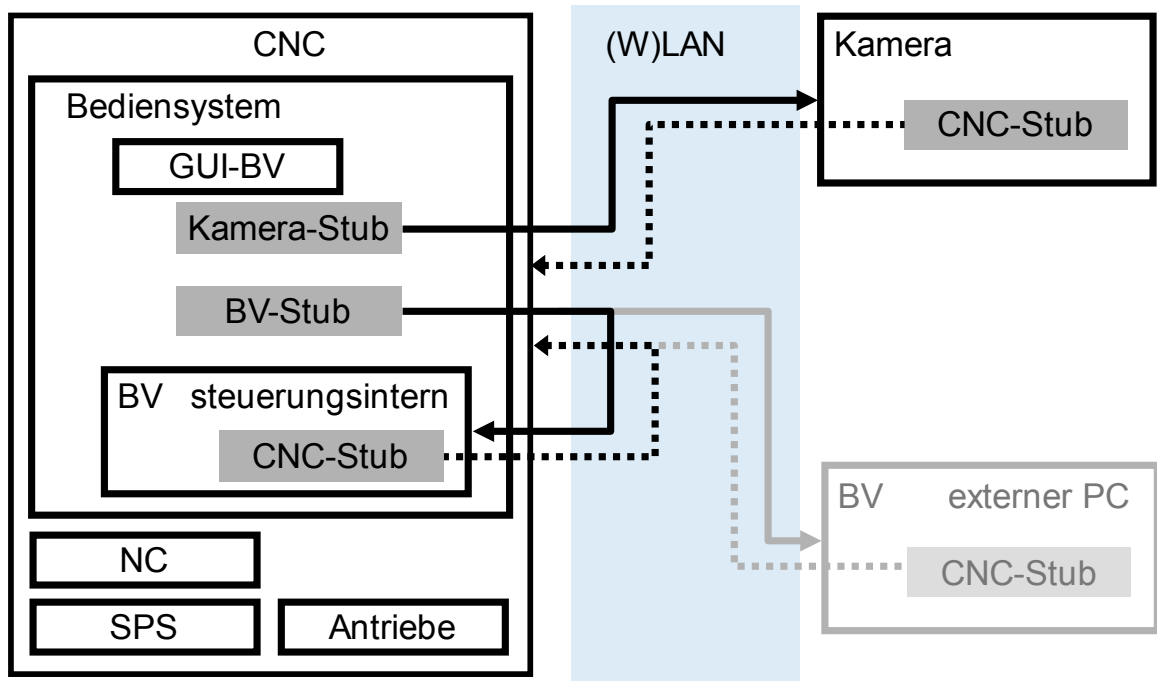


Bild 30: Architekturkonzept zur Unterstützung der möglichen Verteilung der Software-Komponenten für die Bildverarbeitung in den Varianten steuerungsintern und extern (Bild: Fa. HOLZMA)

Den Anforderungen aus den drei Varianten wird durch eine Systemarchitektur Rechnung getragen, die ein Zusammenwirken der verteilten Softwaresysteme unterstützt. Im Zentrum steht die bildgestützte Mess- und Prüfapplikation auf der Steuerung. Ihre Funktionen können für die Unterstützung im Rüsten und Einrichtebetrieb über die Bedienerschnittstelle oder für Mess- und Prüfanweisungen im NC-Programm im Automatikbetrieb über Kommandos aus dem NC-Kern aufgerufen werden. Dieses Softwaremodul kommuniziert mit den ggf. im Netzwerk verteilten Softwaremodulen für Kamera und Bildverarbeitung über sogenannte Stubs, die lokal als Stellvertreter anstelle des Programmcodes der anzusprechenden Komponente implementiert sind. Der Stub ist also der lokale Anknüpfungspunkt für Programmcode, der sich auf einem anderen Rechner befindet (Dunkel, 2008). Er hat die Aufgabe, die nur über komplexe Protokolle erreichbaren Softwarekomponenten auf dem anderen Rechner einfach anzusprechen und diese Komplexität zu verbergen. Die Applikation referenziert dabei unabhängig von der Ausprägung der spezifischen Konfiguration und der Verteilung der Softwarekomponenten immer die gleich bleibenden lokalen Stubs. Durch dieses Konzept wird sichergestellt, dass die entwickelte Software auf verschiedene Stationen verteilt ablaufen kann.

## 7 Demonstrierte Lösungen

Die im Folgenden dargestellten Lösungen sind den realisierten Pflichtenheften entnommen. Die Darstellung konzentriert sich auf die Beschreibung der Funktionalität und der technischen Parameter.

### 7.1 Mobile Kameras

In den Pflichtenheften zu Optik, Bildverarbeitung und Mechanik wurden drei Ausführungen eines modifizierten und erweiterten camat<sup>®</sup>-Systems der Fa. Vision&Control (Basissystem Bild 31) herausgearbeitet, die in den Demonstratoren zum Einsatz kamen.



Bild 31: Kamera aus dem System camat<sup>®</sup> (Bild: Fa. Vision&Control)

Die für die Demonstratoren entwickelten bzw. modifizierten Bildverarbeitungssysteme enthalten grundsätzlich folgende Komponenten:

- Optik: entozentrisch; telezentrisch; Zoom
- Beleuchtung: verschiedene Wellenlängen; Helligkeit steuerbar
- BV-Elektronik: modularer Aufbau
- Powermanagement
- Kommunikation: drahtgebunden, drahtlos(Funk)
- BV-Software: modulares Softwaresystem

Die grundsätzlichen Ausführungen zu Optik und Beleuchtung sind in Abschnitt 6.1. enthalten. Die konkrete Komponenten-Auswahl erfolgte anhand der Aufgabenstellung für die einzelnen Demonstratoren.

Der modulare Aufbau der BV-Elektronik erfolgte arbeitsteilig in Anlehnung an das camat<sup>®</sup>-Konzept (Fa. Vision&Control; s. Bild 31). Die elektronischen Baugruppen für die Kamera wurden neu entwickelt bzw. camat<sup>®</sup>-Baugruppen modifiziert. Eine Übersicht zeigen Bild 32, Bild 34 und Tabelle 2.

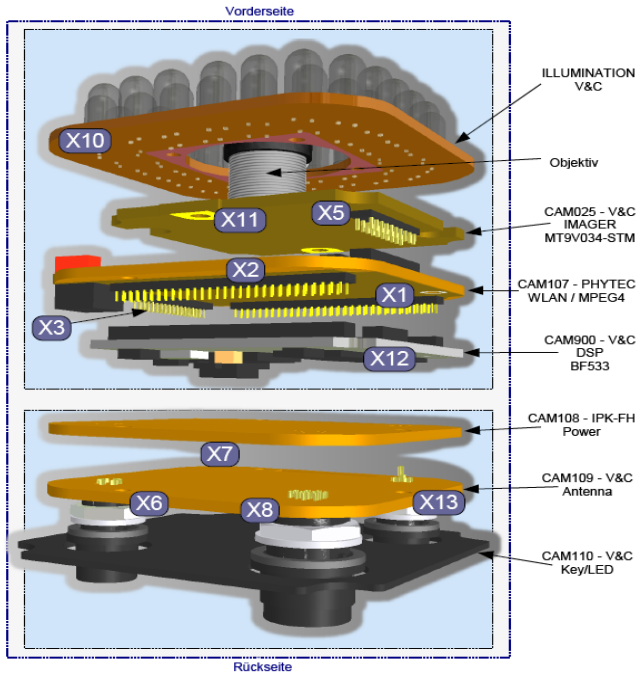


Bild 32: Interne Struktur der MobiKAM-Kamera mit WLAN-Möglichkeit und Energieversorgung von Generator bzw. Netz (Bild: Fa. Vision&Control)

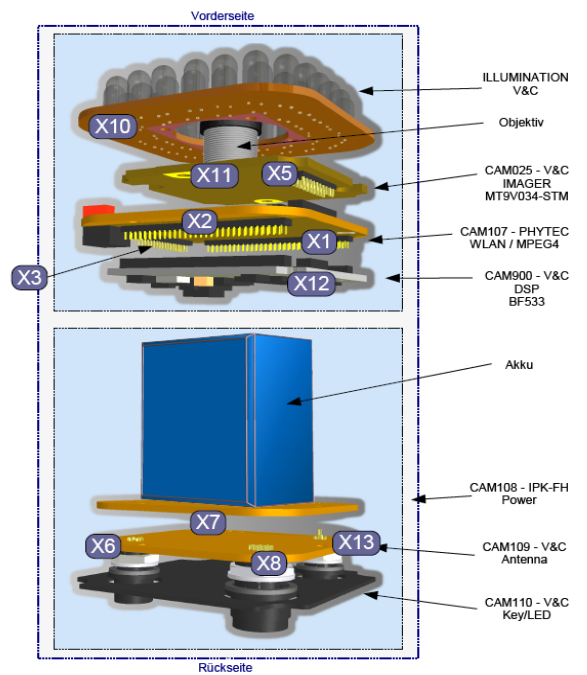


Bild 33: Interne Struktur der MobiKAM-Kamera mit WLAN-Möglichkeit und Energieversorgung von Akkumulatoren (Bild: Fa. Vision&Control)

Bezeichnung (Bild 32 bis Bild 34)	Hardware-Baugruppe	Status bzgl. camat®-Konzept	Realisierung
Illumination	Beleuchtung	modifiziert	Vision&Control
Objektiv	Objektiv	neu	Vision&Control
CAM025	Leiterkarte Bildaufnehmer	modifiziert	Vision&Control
CAM107	Leiterkarte WLAN/MPEG4	neu	PHYTEC
CAM900	Leiterkarte DSP	Standard	Vision&Control
CAM108	Leiterkarte Power/Akku	neu	Fraunhofer IPK
CAM109	Leiterkarte Antenne	neu	Vision&Control
CAM110	Leiterkarte_Steckverbinder/LED	modifiziert	Vision&Control
	Antenne	neu	Vision&Control
	Gehäuse	neu	Vision&Control

Tabelle 2: Übersicht zu Hardwarebaugruppen der MobiKAM

An zwei Beispielen sollen die realisierten Hardware-Aufbauten der MobiKAM verdeutlicht werden:

### Kamera auf dem Werkzeugträger

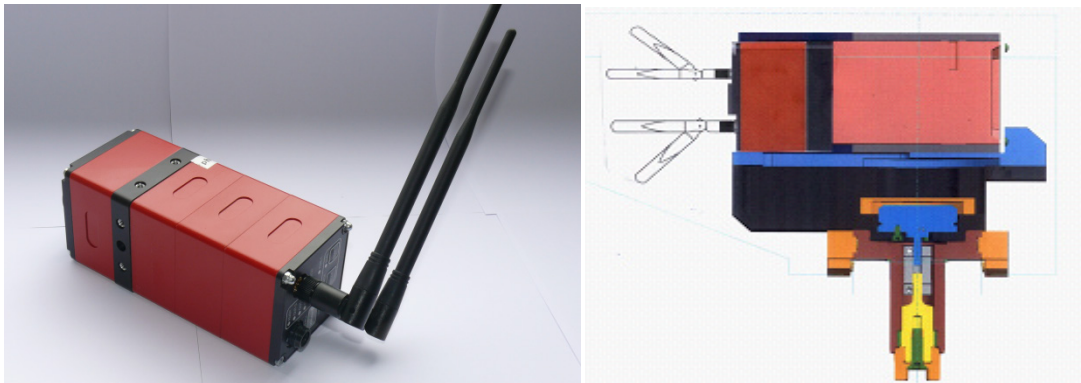


Bild 34: MobiKAM auf dem Werkzeugträger - Energieversorgung mit Generator, WLAN  
Links: realisiertes Gerät (Bild: Fa. Vision&Control); Rechts: Simulation (Bild: Fa.INDEX/TRAUB)

Die Kamera auf dem Werkzeugträger ist grundsätzlich, wie in Bild 32 dargestellt, aufgebaut. Das Gehäuse wurde aus vorhandenen und neu gefertigten Elementen zusammengestellt. Die Antennen sind fest montiert; jedoch besteht die Möglichkeit andere Antennentypen einzusetzen (Anpassung an die räumlichen Gegebenheiten vor Ort). Der Generatoranschluss ist mittels Hirose-Steckverbinder realisiert.

Die Befestigung ist an allen vier Gehäusesseiten mit Hilfe von jeweils zwei Gewindebohrungen möglich.

### Mobile Handkamera

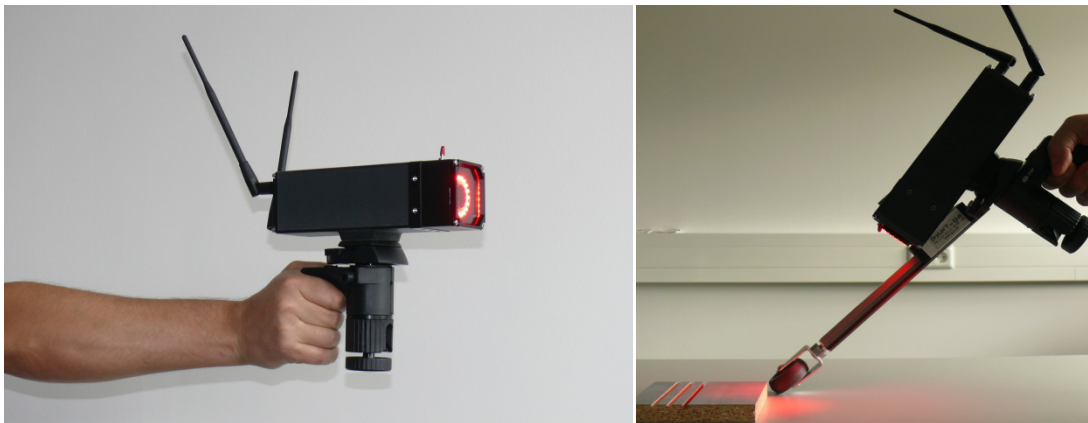


Bild 35: Mobile Handkamera - Energieversorgung mittels Akkumulator, WLAN (Bilder: Fa. HOLZMA)  
Links: Realisiertes Gerät; Rechts: Anordnung zur mobilen Erkennung der Schnittkanten

Der Aufbau der mobilen Handkamera ist, wie in Bild 33 dargestellt, realisiert. Die Herstellung des Spezialgehäuses erfolgte mittels Prototyping-Verfahren. Die Beleuchtung ist durch einen handbetätigten Schalter abschaltbar. Der Anschluss des Ladegerätes ist über einen Hirose-Steckverbinder an der Geräte-Rückseite realisiert. Eine mechanische Fixierung des Gerätes ist mit der Verschraubung unterhalb des Griffes möglich.

Für die Darstellung der erfassten Live-Bilder ist die Bedienoberfläche des camat®-Systems geeignet.

Dazu wurde die camat<sup>®</sup>-Oberfläche so modifiziert, dass eine Installation auf einem Steuerungs- bzw. Bedien-PC einer Werkzeugmaschine möglich ist und die Kommunikation via WLAN erfolgen kann. Bild 36 zeigt die Live-Bild-Darstellung eines Sägeschnittes

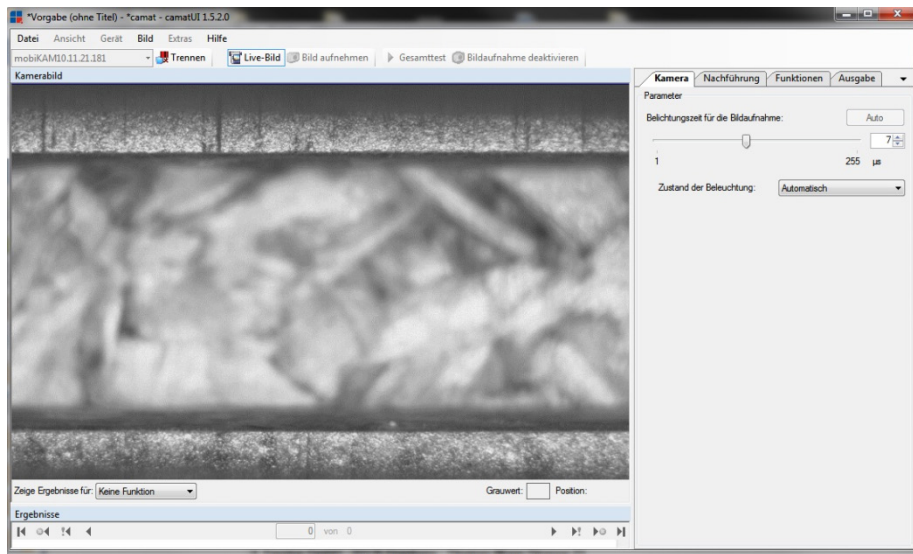


Bild 36: Für MobiKAM-WLAN-Kamera modifizierte camat<sup>®</sup>-Oberfläche – „Live-Bild“ (Bild: Fa. Vision&Control)

Weiterhin wurde die vollständige camat<sup>®</sup>-Funktionalität auf allen intelligenten MobiKAM-Kameras realisiert. Somit ist die Parametrierung bzw. Programmierung der integrierten Bildverarbeitungs-algorithmen innerhalb der modifizierten camat<sup>®</sup>-Oberfläche möglich. Bild 37 zeigt als Beispiel die Parametrierung einer Kantenantastung am Sägeschnitt.

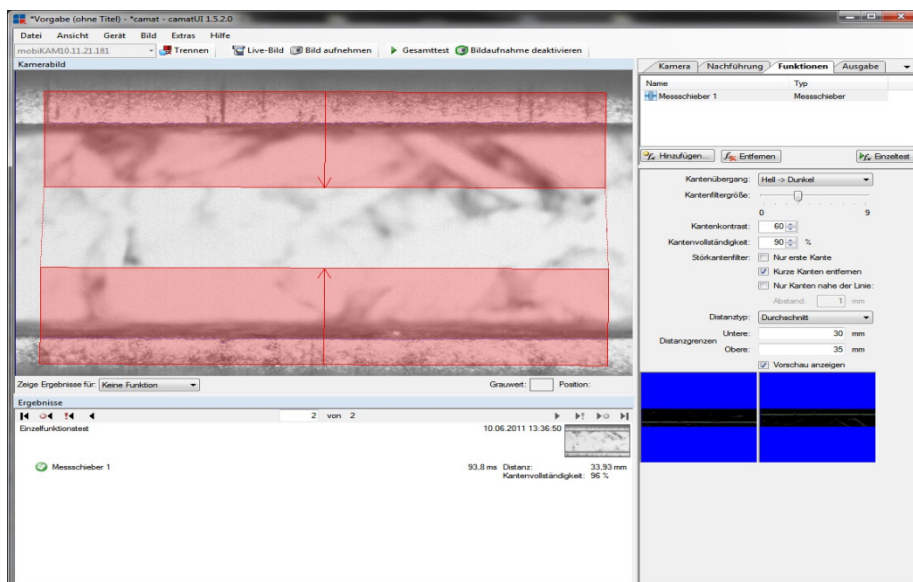


Bild 37: Für MobiKAM-WLAN-Kamera modifizierte camat<sup>®</sup>-Oberfläche – Anwendung der BV-Algorithmen (Bild: Fa. Vision&Control)

Die Steuerung und die camat<sup>®</sup>-Oberfläche kommunizieren über TCP/IP (WLAN) mit der Kamera, hierbei wird als Applikationsprotokoll das gemeinsam definierte MobiKAM-Protokoll (Tabelle 3 bis Tabelle 7) verwendet. Die Umsetzungen für Kameras und PC / Steuerungen erfolgte durch Vision&Control.



Blocklänge	4 Byte
ID	2 Byte
Nutzdaten/Parameter	n Byte(s)
Nutzdaten/Parameter	.
Nutzdaten/Parameter	.

Tabelle 3: Aufbau MobiKAM-Protokollrahmen

ID	Nutzdaten/Parameter	Beschreibung	
1	Status (4 Byte) 4 Bytes mit 0x00 vorbesetzt	Statusabfrage der Kamera Kamera ready	
2	Programmnummer (4 Byte)	Wechsel der Programme, die sich auf der Kamera befinden	
	„01“	„A – Messen/Ermitteln Plattenkanten“	
	„02“ „03“	„B – Aktuelle Kameraeinstellungen ermitteln und setzen“ „C – Abfragen / Steuern der Kamera“	
3	Parameter (n Byte)  A.a (8 Byte) Aufnahme Mode (1 Byte) 0x01: Sofort 0x02: I/O getriggert  Referenzwert Sollplatten-dicke (4 Byte, IEEE-754 hex.) Shutter (4 Byte, hex.)	Trigger auslösen, Programm abarbeiten „Messen Stapeloberkante“ Triggerung bei exakter Position möglich    Plattendicke  Verschluss-Zeit	
	Parameter (n Byte)  A.b (8 Byte) Aufnahme Mode (1 Byte) 0x01: Sofort 0x02: I/O getriggert  Referenzwert Sollplatten-dicke (4 Byte, IEEE-754 hex.) Shutter (4 Byte, hex.)	Trigger auslösen Programm abarbeiten „Messung Platten“ Triggerung bei exakter Position möglich    Plattendicke  Verschluss-Zeit	
	Parameter (n Byte)  A.c (8 Byte)  Bildqualität (1 Byte) JPEG-Komprimierung	Trigger auslösen Programm abarbeiten „Bildübertragung“ Aktuelles Kamerabild abrufen Faktor in Prozent	
	Parameter (n Byte) A.d (8 Byte) Messwerte Abrufen	Nur Ergebnis liefern  Nach I/O Triggerung kann Ergebnis abgerufen werden Kamera liefert auch noch (A.a oder A.b zurück, je nachdem wo getriggert wurde) (siehe Hinweis unten)	
	Parameter (n Byte)  B.a (8 Byte) Referenzwert Sollplattendicke (4 Byte, IEEE-754 hex.)	Trigger auslösen Programm abarbeiten „Parameter...ermitteln“ Oberflächenanalyse	
	Parameter (n Byte) B.b (8 Byte) Referenzwert Sollplattendicke (4 Byte, IEEE-754 hex.)	Trigger auslösen Programm abarbeiten „Parameter bzgl. Plattenversatz ermitteln“ Oberflächenanalyse	
	4		Gesamt-Ergebnisblock übertragen

Tabelle 4: MobiKAM-Protokollrahmen - Anfrage an Kamera (Definition HOLZMA)

ID	Nutzdaten/Parameter	Beschreibung
1	Status (4 Byte)	Aktueller Status der Kamera
2	IO/NIO (2 Byte) Programmnummer (2 Byte)	Programmwechsel IO → 0 und Programmnummer NIO → 1 und Programmnummer
3	Parameter (1 Byte)	Programmabarbeitung IO → 0 und evtl. Ergebnis NIO → 1
	Skalierung (4 Byte, IEEE-754 hex.)	Kamera teilt Skalierung mit, für Umrechnung Pixel -> Maße
	ID, SubID (8 Byte)	Kamera liefert ihre Befehl ID, SubID zurück, für eine klare Zuordnung Befehl ↔ Antwort
Je nach ID, SubID folgen jetzt die Bytes...		
	Bei A.a Messwertanzahl (2 Byte) (n) Messwerte, (n x 10 Bytes): Kante y Pixel (2 Byte) Kante x Pixel (2 Byte) Qualität (1 Byte) Frei (5 Byte)	Anzahl folgender Messwerte  Pixel-Position der Stapeloberkante im Kamerabild (n Punkte) 0 schlecht; 100 sehr gut
	Bei A.b Messwertanzahl (2 Byte) (n) Messwerte, (n x 10 Bytes): Kante y Pixel (2 Byte) Kante x Pixel (2 Byte) Qualität (1 Byte) Ober/Unterkante(1 Byte) Frei (4 Byte)	Anzahl folgender Messwerte  Pixel-Position der Stapeloberkante im Kamerabild (n Punkte) 0 schlecht; 100 sehr gut 0x00 Oberkante;0x01 Unterkante
	Bei A.c Bildgröße (4 Byte) (n) Bytes	JPEG Bildgröße in Byte JPEG Stream
	Bei B.a Shutter (4 Byte, hex.)	Kamera teilt Shutterzeit mit
	Bei B.b Frei (10 Byte)	Kamera teilt Plattenversatz-Ergebnis mit (2,5D)
4	Parameter (n Byte)	Gesamt-Ergebnisblock
	offen	offen

Tabelle 5: MobiKAM-Protokollrahmen - Antwort auf Anfrage (Definition HOLZMA)



ID	Nutzdaten/Parameter	Beschreibung
1	Status (4 Byte) 4 Bytes mit 0x00 vorbesetzt	Statusabfrage der Kamera Kamera ready
2	Programmnummer (4 Byte)	Wechsel der Programm die sich auf der Kamera befinden
	„01“	Bohrerbruch
	„02“	Messprogramm Durchmesser
	„03“	Bohrmusterkontrolle
3	Parameter (n Byte)	Trigger auslösen / Programm abarbeiten Aktuell keine Parameterübergabe
4		Gesamt-Ergebnisblock übertragen

Tabelle 6: MobiKAM-Protokollrahmen - Anfrage an Kamera (Definition INDEX/TRAUB)

ID	Nutzdaten/Parameter	Beschreibung
1	Status (4 Byte) 4 Bytes mit 0x00 vorbesetzt	Statusabfrage der Kamera Kamera ready
2	Programmnummer (4 Byte)	Wechsel der Programm die sich auf der Kamera befinden
	0x 00 00 00 01	Programmnummer 1 Bohrerbruch
	0x 00 00 00 02	Programmnummer 2 Messprogramm Durchmesser
	0x 00 00 00 03	Programmnummer 3 Bohrmusterkontrolle
3	Parameter (n Byte)	Trigger auslösen / Programm abarbeiten
4	Parameter (n Byte)	Gesamt-Ergebnisblock übertragen
	offen	offen

Tabelle 7: MobiKAM-Protokollrahmen - Antwort auf Anfrage (Definition INDEX/TRAUB)

## 7.2 Softwarefunktionen der Demonstratoren

Wie bereits teilweise in den vorhergehenden Abschnitten erläutert, wurden schwerpunktmäßig folgende Softwarefunktionen für die Demonstratoren durch Fa. Vision&Control neu entwickelt oder modifiziert:

- Betriebssystem: µC-Linux (Bootzeit ca. 1s)
- Grafische Windows-Bedienoberfläche (s. Abschnitt 6.1.)
- Spezielles Kommunikationsprotokoll (MobiKAM-Protokoll)
- Anpassung BV-Bibliothek /neue BV-Algorithmen
- Anbindung an mobiles Bediengerät (Tablett-PC)

Die Anpassung bzw. Erweiterung vorhandener Softwaremodule (Fa. Vision&Control) betreffen insbesondere:

Die Realisierung von WLAN-, Akku- und Generatorbetrieb erforderte Anpassungen und Erweiterungen des Betriebssystems bzw. der Firmware.

Um eine Visualisierung der erfassten Live-Bilder zu ermöglichen, waren Erweiterungen camat<sup>®</sup>-Oberfläche notwendig.

Die Pflichtenheft-Realisierungen zu den Applikationen (Demonstratoren) machten Anpassungen und Erweiterungen von Bildverarbeitungsmodulen notwendig. In diesem Zusammenhang ist die Neuprogrammierung eines Kantenalgorithmus für kontrastarme Kanten hervorzuheben. Die

Erprobung dieses Programms verlief vielversprechend. Bild 38 zeigt eine erfolgreiche Kantenermittlung.

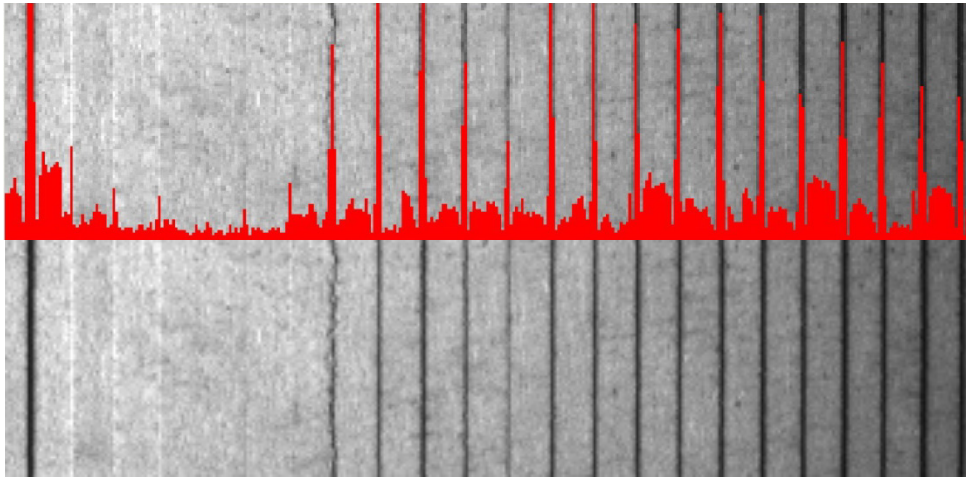


Bild 38: Oben: Ergebnisbild des Verfahrens der Mittelwertdifferenz  
Unten: Erfasstes Bild eines Plattenstapels (Bilder: Fa. Vision&Control)

### 7.2.1 Platteneinschub am Hubtisch (Fa. HOLZMA)

Durch dieses Arbeitspaket soll die grundsätzliche Funktionalität eines Sensors zur Depalettierung von

Faserplatten nachgewiesen werden. Das heißt, die folgenden Funktionen sind nachzuweisen:

- Kanten detektieren
- Kanten zählen
- Kanten messen
- Position ermitteln
- Mikroeinschübe mittels Messdaten positionieren
- Fehlermeldung wird bei fehlgeschlagener Messung ausgegeben

### 7.2.2 Manuell geführte Kamera zur Kontrolle der Schnittqualität (Fa. HOLZMA)

Dieser Demonstrator stellt ein mobiles Kamerasystem dar, welches dem Anwender ermöglicht, am gesägten Material die Schnittqualität zu begutachten. Er kann durch die vergrößerte Darstellung des Livebildes auf der Steuerung an beliebigen Stellen des bearbeiteten Materials sein Schnittergebnis kontrollieren und vereinfacht sich eine aufwändige subjektive Sichtkontrolle.

### 7.2.3 Kameragesteuerte Vorritzsägeneinstellung (Fa. HOLZMA)

Bei diesem Demonstrator handelt es sich um ein mobiles Kamerasystem, welches es dem Anwender ermöglicht, die aufwendige Einstellungsprozedur der Vorritzsäge zur Hauptsäge zu automatisieren. Dieser Einstellungsprozess wird durch das mobile Bildverarbeitungssystem bedienerunabhängig, zeitoptimiert und hochpräzise gestaltet.

## 7.2.4 Mobile Kamera beim Einrichten und Einfahren (Fa. INDEX/TRAUB)

Der Demonstrator „Mobile Kamera beim Einrichten und Einfahren von Dreh- Frästeilen“ stellt ein mobiles Kamerasystem dar, welches es dem Anwender ermöglicht, an schwer einsehbaren Stellen in der Maschinenumgebung Einblick zu gewinnen. Es bietet dem Einrichter die Möglichkeit, den Einrichtprozess auf der CNC- Steuerung über ein Livebild mit zu verfolgen.

Dazu wurden Beleuchtung und Objektiv auf die Aufgabenstellung abgestimmt.

## 7.2.5 Kamera auf dem Werkzeugträger (Fa. INDEX/TRAUB)

Der Demonstrator „Kamera auf dem Werkzeugträger“ stellt ein mobiles Kamerasystem dar, mit der Zielbestimmung „rüstbares Werkzeug der Drehmaschine“. Das System soll wie ein Werkzeug der Drehmaschine fungieren und hat die Aufgabe der Werkzeuginspektion. Dies wird am Beispiel der Bohrerbruchkontrolle für Bohrer < 1mm gezeigt. Das Ergebnis wird an die CNC-Steuerung übermittelt und beeinflusst den weiteren Programmablauf.

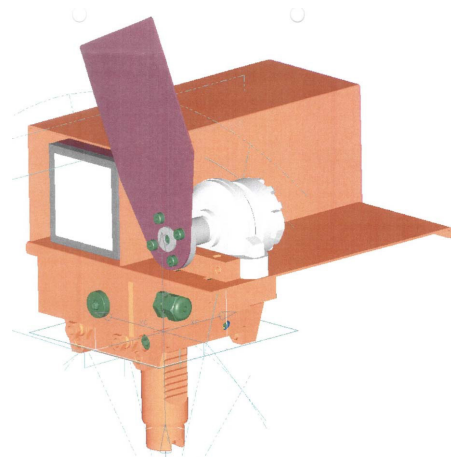


Bild 39: Simulation der Kamera auf dem Werkzeugträger im Schutzgehäuse (camat<sup>®</sup>-System, Energieversorgung mit Generator, WLAN) (Bild: Fa.INDEX/TRAUB)

## 7.3 Funkkommunikation

Es wurde eine drahtlose digitale Sensoranbindung des mobilen Kamerasystems zur Anwendung in den Demonstratoren entwickelt.

Bestandteile dieses Arbeitspaketes waren

- die Datenaufbereitung und Komprimierung,
- drahtlose Kommunikationsstrecke für Bildübertragung,
- Anpassung des Übertragungsprotokolls,
- Überprüfung auf Störsicherheit.

Es galt eine geeignete Lösung zur kabellosen Übertragung von hochaufgelösten Einzelbildern bzw. komprimierten Live-Bildern in den unterschiedlichen Maschinentypen zu finden.

- Komprimierung des Live Bildes auf einen Wert < 10MBit/s:  
Einsatz einer Hardwarelösung zur MPEG4-Komprimierung
- Aufbau einer Funkstrecke mit einer Netto-Übertragungsrate von >10Mbit/s im Live Bild Modus:  
Nach Auswertung erster Testreihen mit WUSB (Wireless USB) und WLAN 802.11n fand eine Konzentrierung auf eine Lösung mit Hilfe der WLAN-Technologie statt. Die theoretisch möglichen höheren Übertragungsraten des 802.11n Standards gegenüber z.B. 802.11g scheinen im industriellen Umfeld nicht so einfach nutzbar zu sein, jedoch werden

diese für die im Rahmen dieses Projektes bearbeiteten Anwendungsszenarien auch nicht benötigt. Zudem scheinen WLAN Verbindungen auch ohne zusätzliche Maßnahmen, wie z.B. Antennen mit Richtcharakteristik, hinreichend stabil zu arbeiten. Bei der in diesem Projekt schlussendlich umgesetzten Lösung handelt es sich um eine zum Standard 802.11g konforme Realisierung, durch das WLAN können beliebige Internet-Protokolle übertragen werden. Eine Realisierung mit Hilfe der WLAN-Technologie im 5GHz Bereich ist zwar anzustreben, konnte aber noch nicht entwickelt werden. Das 5GHz Band wird nur von WLAN Chips verwendet, die dem 802.11n Standard entsprechen. Zum Zeitpunkt der Bearbeitung dieses Arbeitspaketes war jedoch keine 802.11n Lösung am Markt verfügbar, welche den Anforderungen hinsichtlich Adaptierung an das Restsystem und den Platzrestriktionen genügt hätte. Eine Lösung im 5GHz Bereich würde perspektivisch eine weiter erhöhte Störsicherheit sowie höhere Übertragungsraten bieten.

Die Integration erfolgte in das bestehende camat<sup>®</sup>-System der Firma Vision&Control. Die Entwicklung zur drahtlosen Funkübertragung ersetzt die bisherige camat<sup>®</sup>-Baugruppe Kommunikation.

Da die camat<sup>®</sup>-Baugruppe ansonsten unverändert bleiben sollte, war es aus Platzgründen erforderlich, die Baugruppe zur Kommunikation (WLAN) und MPEG4-Codierung aus zwei separaten Platinen aufzubauen.

CAM107a beinhaltet mit der Livebild (MPEG4) Codierung und der Ansteuerung des WLAN Moduls die Hauptkomponenten, CAM107b die Spannungsversorgung für diese Komponenten sowie I/O-Funktionen.

In Bild 40 ist die Position der entwickelten Baugruppen innerhalb des camat<sup>®</sup>-Systems zu erkennen.

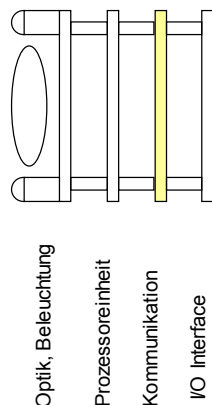


Bild 40: Position der entwickelten Baugruppen "drahtlose Kommunikation" und "Live-Bild-Codierung" innerhalb des camat<sup>®</sup>-Systems (Bild: Fa. PHYTEC)

### 7.3.1 Baugruppen zur Live-Bild-Codierung und zur WLAN-Übertragung

Die Baugruppen dienen zur Komprimierung der Live Bilder und zur drahtlosen Übertragung. Der bevorzugte Standard ist hierbei MPEG4. Eine Komprimierung auf einen Wert von <10Mbit/s wurde realisiert.

Zur Realisierung des Vorhabens ist der Einsatz des Freescale i.MX27 Prozessors vorgesehen. Die Bildsensor-Schnittstelle des CAM025-Imagers wird direkt mit dem CSI-Interface des i.MX27 verbunden. Die Codierung erfolgt mit dem im i.MX27 integrierten Encoder im MPEG-4 Format. Der Encoder unterstützt laut Aussage des Herstellers Freescale die MPEG-4 Codierung eines 8-Bit breiten YUV Datenstroms mit einer Auflösung bis zu 640x480 Bildpunkten bei 30 fps (frames per second). Bei abweichenden Farbformaten des Bildsensors erfolgt gegebenenfalls eine Umrechnung der Farbformate. Dies kann dazu führen, dass die geplante Bildwiederholfrequenz unter Umständen nicht erreicht wird.

Die unkomprimierten Einzelbilder können jedoch auch im Rohdatenformat oder anderen vereinbarten Bilddatenformaten direkt vom i.MX27 Controller an die Kommunikationschnittstelle weitergegeben werden.

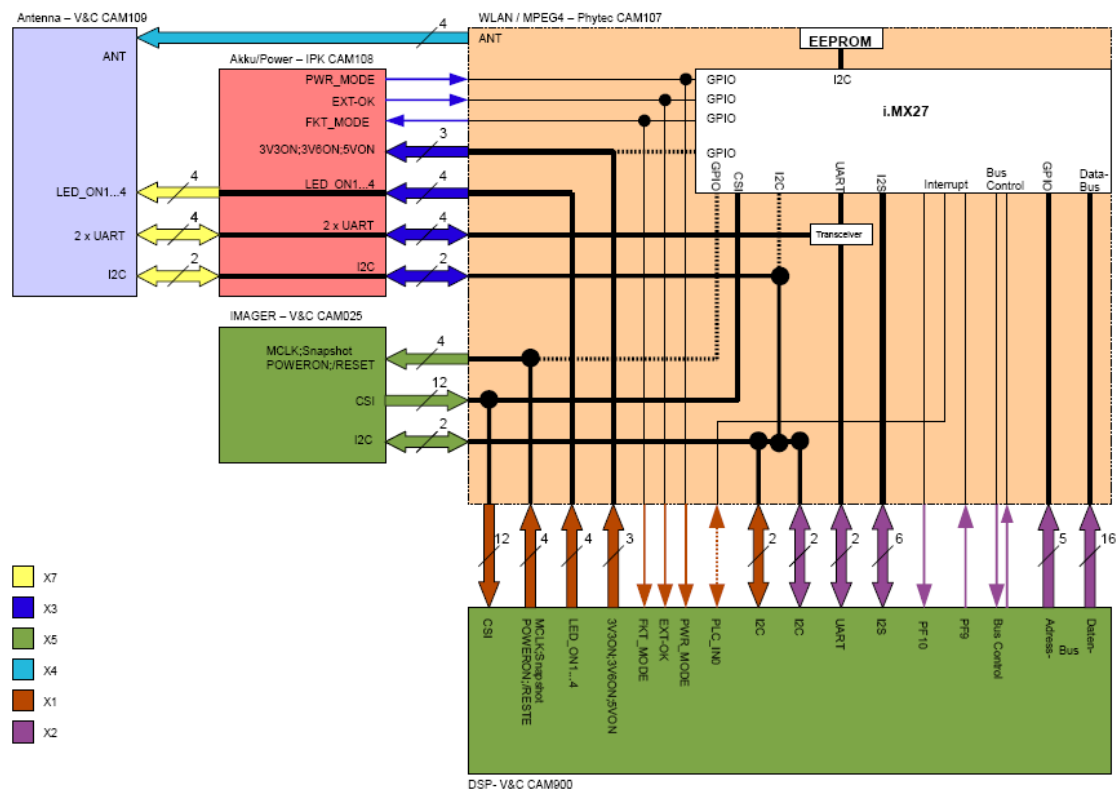


Bild 41: Blockschaltbild CAM107a/b Baugruppe im Gesamtsystem (Bild: Fa. PHYTEC)

Da der Prozessor i.MX27 aus dem Umfeld mobiler energiesparender Systeme stammt (z.B. Smartphones), benötigt er eine komplexe Spannungsversorgung mit einer Vielzahl verschiedener Spannungsdomänen und komplexer Einschaltlogik. Aus diesem Grund ist eine direkte Versorgung über die IPK-Power-Platine (CAM108) nicht möglich. Auf CAM107b befindet sich ein speziell für den i.MX27 und andere Prozessoren der gleichen Familie entwickelter Power Management IC, der die verschiedenen Spannungen erzeugt sowie die Einschaltlogik handhabt.

Ebenfalls aus der Herkunft des i.MX27 Prozessors ergibt sich, dass der Prozessor mit sehr niedrigen Spannungspegeln an seinen Ein- und Ausgängen arbeitet. Zur Anpassung an die restlichen Komponenten im Gesamtsystem war der Einsatz sogenannter Level-Shifter notwendig. Diese sorgen für eine Anpassung der Spannungspegel. Da zum Zeitpunkt der Schaltplanentwicklung noch nicht zu 100% sicher war, wie der DSP Prozessor von Vision&Control und der i.MX27 Prozessor miteinander kommunizieren werden, führte dies zu einer großen Menge an Signalen, die auf diese Weise adaptiert werden mussten und zu einer entsprechend komplexen Steuerung der Levelshifter über einen programmierbaren Logikbaustein. Dieser Lösungsansatz ermöglicht maximale Freiheitsgrade bei der Wahl der endgültigen Kommunikationslösung ohne die Platinen ändern zu müssen.

Von Seiten des DSP Prozessors war nur eine Kommunikation zwischen DSP und i.MX27 über eine synchrone serielle Schnittstelle (SSI) oder eine direkte Kopplung des parallelen Adress-/Datenbus möglich.

Bevorzugt wurde hierbei SSI, die Kopplung des Adress-/Datenbus wurde als Rückfallebene vorgesehen. Im Verlauf der Bearbeitung stellte sich heraus, dass der einzige SSI Betriebsmodus, den beide Prozessoren unterstützen sollten, im Freescale i.MX27 Prozessor offensichtlich fehlerhaft implementiert ist. Auch mit direkter Unterstützung von Freescale konnte daher die SSI

Übertragung nicht realisiert werden. Eine Nutzung der alternativen Kopplung über den parallelen Adress-/Datenbus wurde obsolet, da im Verlauf des Projekts die Notwendigkeit einer Kopplung von i.MX27 und DSP Prozessors entfiel.

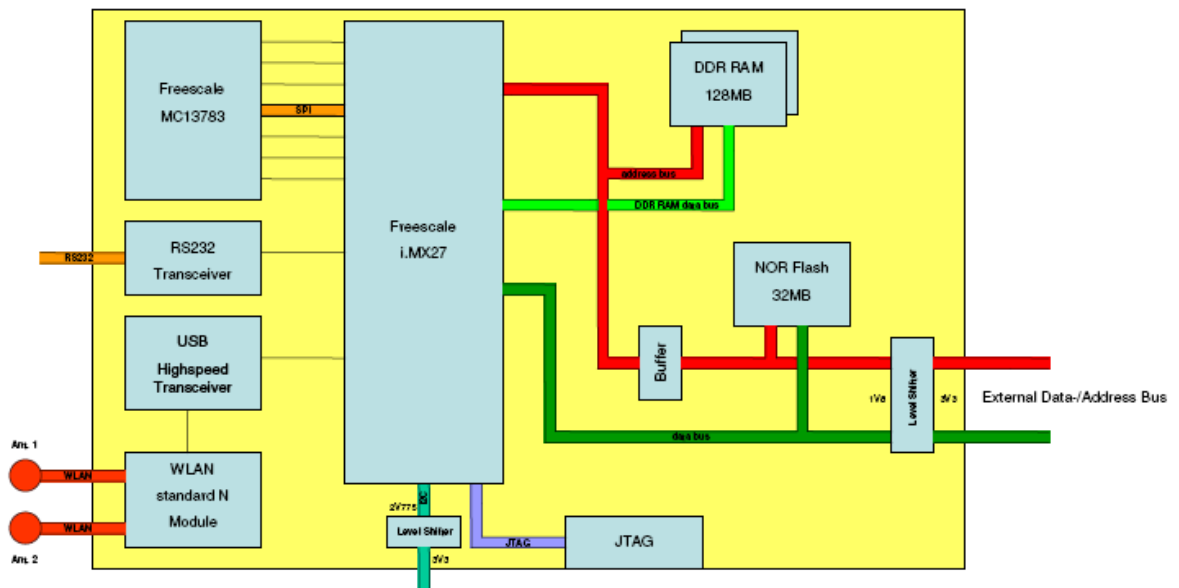


Bild 42: Blockschaltbild CAM107a/b Baugruppe (Bild: Fa. PHYTEC)

Zum Abholen der Bilddaten vom Kamerasensor, Umwandeln und Komprimieren der Daten und Versenden der Daten über das WLAN-Interface wurde auf dem i.MX27 Prozessor die Applikation „gstreamer“ verwendet. Diese kann über eine Konfigurationsdatei so eingestellt werden, dass beliebige Abläufe über sogenannte „Pipelines“ automatisiert abgearbeitet werden.

Die im Projekt verwendete Kamera liefert die Bilddaten nicht direkt im passenden YUV-Format an, daher müssen die Bilddaten in einer Stufe der gstreamer-Pipeline umgewandelt werden. Dies erzeugt eine erhöhte Prozessorlast. Diese Last führte dazu, dass die angestrebte Bildwiederholfrequenz nicht erreicht wurde. Im Rahmen der Entwicklung wurden ca. 12-15 fps bei einer Auflösung von 320x240 Pixeln erreicht. Bei 640x480 war das System durch die Konvertierung nach YUV soweit ausgelastet, dass nur noch Einzelbilder möglich waren.

Es ist damit zu rechnen, dass dies verbessert werden kann, wenn eine Kamera mit passendem YUV-Interface eingesetzt wird. Außerdem ist die verwendete gstreamer Applikation nicht für den industriellen Bereich gemacht und daher auch nicht auf Performance optimiert. Eine weitere Verbesserungsmöglichkeit besteht darin, die Applikation zum Einlesen, Komprimieren und Versenden der Bilddaten selbst zu erstellen.

Zur Anzeige der mittels MPEG4 komprimierten Bilddaten wurde ein Programm bereitgestellt, mit dem auf dem Host-PC (Maschinen-Steuerung) Videodatenströme empfangen, entpackt und angezeigt werden können.

Die Auswertung der sonstigen Daten (auch Einzelbilder) erfolgt über die Bediensoftware vwin von Fa. Vision&Control.

### 7.3.2 Modul Drahtlose Kommunikation

Der Modul dient zur drahtlosen Datenübertragung mit einer Datenrate von >10Mbit/s.

Sowohl im Rahmen dieses Projekts als auch bei einer etwaigen Überführung in spätere Serienapplikationen empfiehlt sich der Einsatz eines fertig aufgebauten WLAN-Moduls, anstelle der direkten Verwendung eines WLAN-Chipsatzes auf einer selbst entwickelten Platine.

Die Entwicklung eines Systems, welches im GHz Bereich senden und empfangen soll, ist mit großen Aufwänden verbunden, sowohl hinsichtlich der Entwicklung als solcher als auch den später erforderlichen Zulassungen. Im europäischen Bereich regelt dies die Funkgeräterichtlinie, welcher weitestgehend die R&TTE Richtlinie im amerikanischen Markt entspricht.

Unter anderem aus diesen Gründen machen die Hersteller solcher Chipsätze die direkte Nutzung dieser inklusive entsprechender Unterstützung bei der Entwicklung auch nur wenigen Großkunden möglich.

Bei der Auswahl des Moduls waren folgende Randbedingungen zu beachten:

- Restriktionen hinsichtlich der Abmessungen und möglicher Konflikte mit der Lage anderer Steckverbinder im camat<sup>®</sup>-Platinenstapel
- Elektrische Schnittstelle muss von Freescale i.MX27 Prozessor angesteuert werden können, d.h. USB, SPI, SD-Card o.ä. Gängig waren zum Zeitpunkt der Bearbeitung bei WLAN-Chipsätzen eher PCI und PCIeexpress
- Linux Treiber für hinreichend aktuelle Kernelversion verfügbar. Dieser muss zudem in einem Format zur Verfügung stehen, welches es ermöglicht den Treiber neu zu compilieren. Das ist erforderlich weil der Freescale i.MX27 ein Prozessor in ARM9-Architektur ist, welche nicht der x86 Architektur normaler PC oder Notebooks entspricht.

Nach ausgiebigen Recherchen und einigen Tests wurde schließlich der Modul DNUR-83 des Hersteller Unex aus Taiwan ausgewählt, welches auf einem Chipsatz des Herstellers Marvell basiert.

Dieses Modul wird auf die Baugruppe CAM107b aufgesteckt und von dort angesteuert.

Das Modul wird über die USB Schnittstelle mit dem Host System verbunden, die einzige benötigte Versorgungsspannung beträgt 5V.

Der von Marvell für diesen Chipsatz zur Verfügung gestellt Linux-Treiber stammt aus dem Staging-Bereich, d.h. er befindet sich damit noch in einer Art Prototyp-Phase. Daraus haben sich im Projektverlauf auch zahlreiche Probleme ergeben, was die Geschwindigkeit und die Stabilität des Verbindungsaufbaus ergeben haben. Da es im Laufe des Forschungsprojektes keine weiteren Verbesserungen mehr an diesem Treiber seitens Marvell gegeben hat, sollte die Nutzung des Chipsatzes über das Forschungsprojekt hinaus überdacht werden.

Das Modul DNUR-83 von Unex ist aufgrund einer zwischenzeitlichen Abkündigung ohnehin nicht mehr nutzbar.

### 7.4 Energieversorgung

Es wurde eine Energieversorgung für das mobile Kamerasystem zur Anwendung in den Demonstratoren entwickelt. Dabei wurden zwei grundsätzlich verschiedene Szenarien der Energiezufuhr und des Energieverbrauchs unterschieden:

- Der Demonstrator "Kamera auf Werkzeugträger" (nur Fa. INDEX/TRAUB) führt in sehr kurzer Zeit (einige Sekunden) Mess- oder Prüfaufgaben unter Zufuhr von Energie aus. Für die inaktiven Zeiten wird keine gespeicherte Energie benötigt. Nach dem Prinzip angetriebener Werkzeuge wird die Energiebereitstellung durch mechanische Übertragung auf einen Generator im Demonstrator realisiert. Die Betriebszeit mit laufendem Generator ist < 3 s.

- Bei den anderen Demonstratoren wird dagegen eine kontinuierliche Aktivität des Systems über möglichst viele Minuten unter Verwendung gespeicherter Energie gefordert. Die Speicherung erfolgt in Akkumulatoren im Demonstrator. Eine Ladestation mit Kontakten, in die die mobile Kamera in nichtaktiver Phase abgelegt wird, sorgt für die Wiederaufladung der Akkumulatoren (Ladezeit: ca. 1 h bei DoD<sup>iii</sup> 65%, Entladezeit > 2 h).

Die mobile Kamera wird energetisch autark arbeiten, daher wird die Energieversorgung aus einem Wandler der zugeführten Energie, Laderegler, Energiespeichern und Spannungswandlern zur Anpassung an die Verbraucher bestehen.

Die Energieversorgung der mobilen Kamera wurde in verschiedenen Ausprägungen entwickelt, da sie in verschiedenen Beobachtungssituationen zum Einsatz kommt:

- Ladestation mit Kontakten, in die die mobile Kamera in nichtaktiver Phase abgelegt wird.
- Mechanische Übertragung der Energie im Falle der Anwendung bei Fa. INDEX/TRAUB nach dem Prinzip angetriebener Werkzeuge.

Durch geeignete Spannungswandler wird die Nennspannung der Energiequellen und Energiespeicher an die Bedürfnisse der einzelnen Baugruppen der mobilen Kamera angepasst. Die Wandler sind umschaltbar zwischen voller Leistung (on) und stark reduzierter Leistung (sleep).

- Leiterplattentechnologie: voraussichtlich  $\leq 4$  Layer,
- mechanische Vorgaben zur Leiterplatte (Abmessungen, Befestigungspunkte, Steckverbinderposition),
- kompakter Aufbau auf einer Leiterplatte unter Beachtung hinreichender Wärmeabfuhr.
- Innerhalb der mobilen Kamera wird als Kommunikationsmedium der I<sup>2</sup>C-Bus eingesetzt.

Es wurden folgende Leistungsdaten der Spannungswandler erreicht:

- Eingangswerte von Generator oder Ladestation:
  - Max. Eingangsspannung: 60V DC
  - Max. Eingangsstrom: 3A
- Ausgangswerte an Verbraucher:
  - geregelte Ausgangsspannung: 3,3V DC bis max. 2,3A (3,6A kurzzeitig)
  - geregelte Ausgangsspannung: 3,6V DC bis max. 2,5A (4,3A kurzzeitig)
  - geregelte Ausgangsspannung: 5V DC bis max. 5A (7,5A kurzzeitig)

#### 7.4.1 Energieversorgung mit Akkumulatoren

Es wurde folgende Konfiguration gewählt (siehe Abschnitt 6.4.2):

- 4x Li-Ion-Akku ANR26650M1 der Fa. A123Systems
- Volumen: 100 cm<sup>3</sup>
- Abmessungen: 54mm x 27mm x 66mm
- Eine separate Ladeeinrichtung, die geeignete Standard-Netzteile enthält, dient zum Aufladen.

#### 7.4.2 Energieversorgung mit Generator

Die mobile Kamera wird durch die Übertragung von mechanischer Energie über eine Welle versorgt. Ein Generator maxon EC 45 flat 339283 als Bestandteil der mobilen Kamera übernimmt die Umwandlung in elektrische Energie.



Der Generator wird allerdings nur mit mechanischer Energie versorgt, wenn sich die mobile Kamera auf einem Werkzeugträger in Arbeitsstellung befindet. Die bereitgestellte Energie ist drehzahlabhängig (siehe Bild 43).

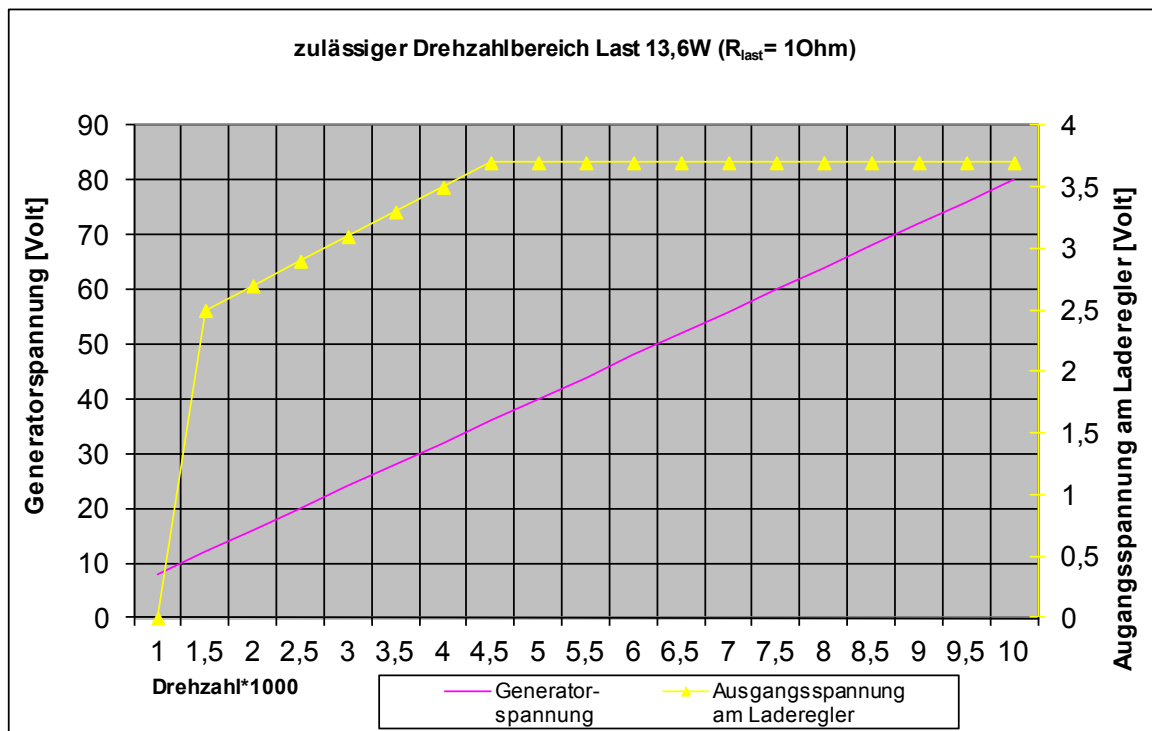


Bild 43: Bereitstellung elektrischer Energie über einen Generator (Bild: Fraunhofer IPK, Müller)

## 7.5 Steuerungsintegration

Diese Schnittstelle umfasst die mechanische Befestigung der mobilen Kamera, sowie die Art der Positionierung. Sie tritt anwendungsabhängig in verschiedenen Ausprägungen auf:

### 7.5.1 Steuerungsintegration bei Fa. INDEX/TRAUB

Die Hardwarestruktur der Integration der mobilen Kamera in die Steuerungsumgebung der Werkzeugmaschine zeigt Bild 44:

Auf der linken oberen Seite die TRAUB-Steuerung, aufgeteilt in den PC-Teil zur Visualisierung der Bedienoberfläche, darunter der CNC-Teil zur Achssteuerung und der SPS zur Steuerung der Ein-/Ausgänge.

In der Mitte ein Industrie-PC (IPC) als Gateway zur Verbindung des Kamerasystems mit der Maschinensteuerung.

Der rechte Teil zeigt das Kamerasystem, eingebaut in einen Werkzeughalter.

Somit gibt es 3 Schnittstellen:

- Das Kernstück ist die WLAN-Verbindung zwischen dem Kamerasystem und dem IPC. Hier laufen die PHYTEC-Treiber und das MobiKAM-Protokoll (siehe Abschnitt 7.1).
- Eine Ethernetverbindung zwischen IPC und dem PC-Teil der Maschinensteuerung. Sie wird benötigt zum Einrichten der Kamera und Livebildübertragung mit VC-Win, das auf dem IPC läuft, und über eine VNC-Anwendung auf dem Steuerungs-PC visualisiert wird.

- Eine Feldbusverbindung (CC-Link) zur SPS zur Ankopplung von Steuersignalen zur Prozesssteuerung

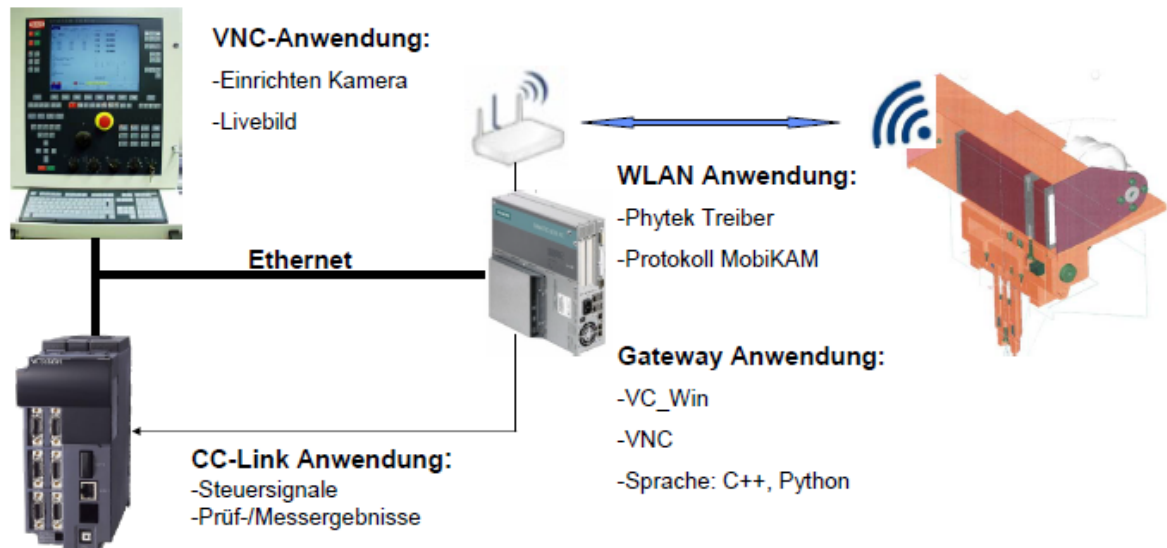


Bild 44: Hardwarestruktur der Integration der mobilen Kamera in die Steuerungsumgebung (Bild: Fa. INDEX/TRAUB)

Die Softwarestruktur der Integration der mobilen Kamera in die Steuerungsumgebung der Werkzeugmaschine ist in Bild 45 dargestellt.

Die Kamera ist über den IPC, der als Gateway fungiert, an die SPS der CNC-Steuerung über den Feldbus CC-Link, angeschlossen. Mit ihm werden Steuersignale zur Anwahl der kameraspezifischen Parameter des jeweiligen Überwachungsprozesses übertragen, z.B.: Kamera ein/aus, Anwahl Livebild, Anwahl Kamera einrichten, usw..

Mit den Rücksignalen von der Kamera werden z.B. der Kamerastatus, das Ergebnis der Bruchüberwachung, Messwerte usw. übertragen.

Diese Informationen von oder zur Kamera sind in einer CC-Link Tabelle hinterlegt. Auf sie kann vom NC-Programm mit speziellen Befehlen zugegriffen werden.

Die Ergebnisse des Mess- oder Prüfvorganges landen in der Messwerttabelle und werden von dort weiterverarbeitet, so als ob es sich um Messwerte von einer taktilen Messeinheit oder sogar von einer externen Messeinheit handeln würde.

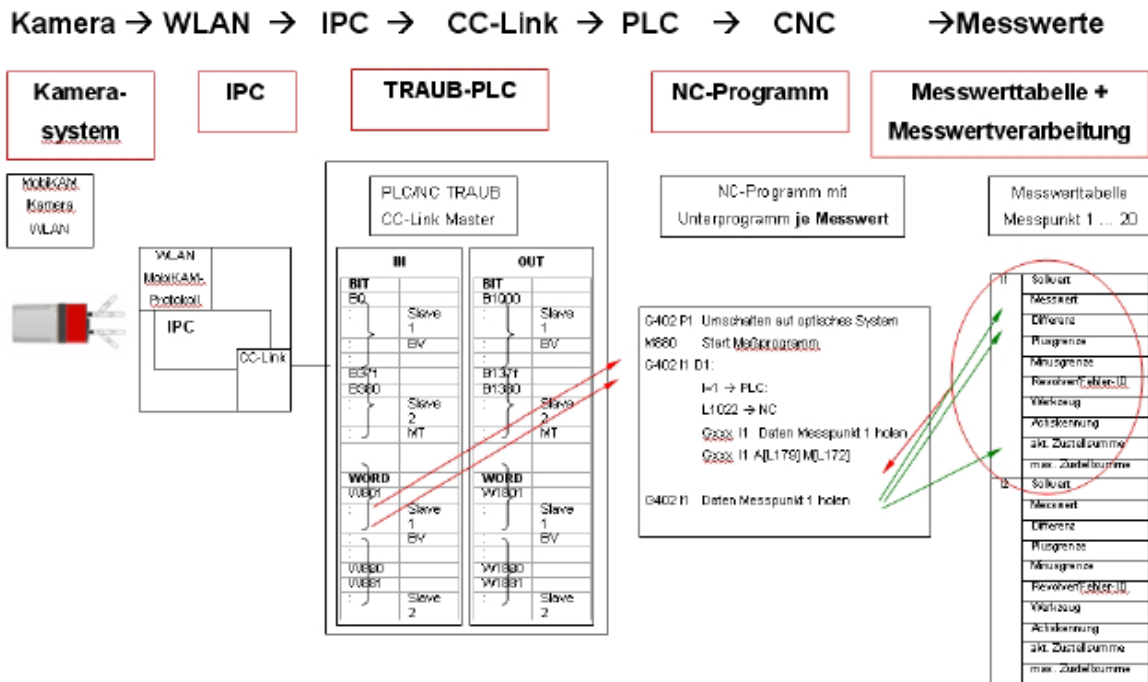


Bild 45: Softwarestruktur der Integration der mobilen Kamera in die Steuerungsumgebung (Bild Fa. INDEX/TRAUB)

## 7.5.2 Steuerungsintegration bei Fa. HOLZMA

### 7.5.2.1 Steuerungsarchitektur

Die Maschinensteuerung bei HOLZMA besteht aus einer Soft SPS und der übergeordneten von Fa. HOLZMA erstellten CADmatic-Steuerung. In diese Architektur ist die mobile Kamera eingebunden.

Die Steuerung bei HOLZMA ist nach folgender Abbildung aufgebaut:

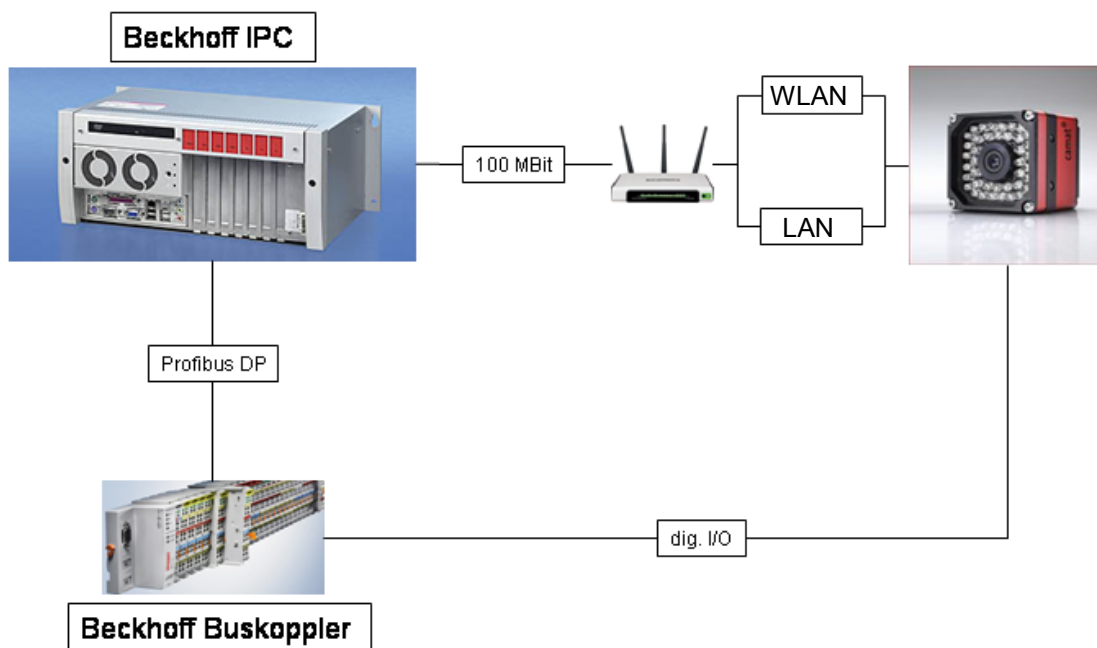


Bild 46: Hardwarestruktur der Integration der mobilen Kamera in die Steuerungsumgebung (Bild: Fa. HOLZMA)

Das Kernstück der Steuerungsumgebung ist der Beckhoff IPC in Verbindung mit der Soft-SPS. Der Datenaustausch erfolgt über eine Profibus-Verbindung zwischen dem IPC und dem Buskoppler, an dem die I/O-Geräte hängen. Über einen WLAN-Router erfolgt der Datenaustausch mit dem Bildverarbeitungssystem. Je nach Applikation findet der Datenaustausch drahtgebunden per LAN oder über eine WLAN-Verbindung statt.

### 7.5.2.2 Datenfluss

Der Datenfluss innerhalb der Holzbearbeitungsmaschine wird an folgendem Modell verdeutlicht.

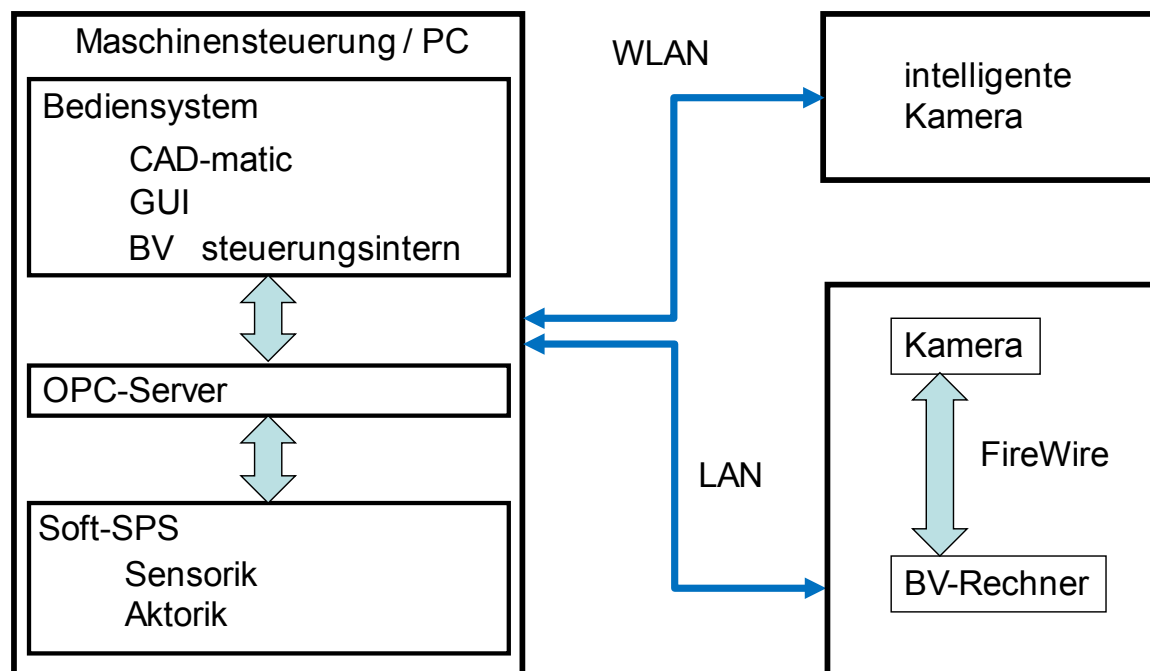


Bild 47: Softwarestruktur der Integration der mobilen Kamera in die Steuerungsumgebung  
(Bild Fa. HOLZMA)

Im linken Bereich des Schaubilds ist die Struktur innerhalb des IPCs dargestellt. Die Steuerung besteht aus dem Bediensystem und der Soft-SPS, für die Kommunikation zwischen der hardwarenahen SPS und dem übergeordneten Bediensystem wird ein OPC-Server eingesetzt. Die Soft-SPS steuert über I/O-Interfaces die Sensorik und Aktorik der Holzbearbeitungsmaschine.

Die Einbindung der Bildverarbeitungssysteme erfolgte über WLAN bzw. LAN. Bei der Applikation Plattenzählen am Hubtisch wurde die Anbindung per LAN über einen separaten Bildverarbeitungsrechner durchgeführt. Die Kamera ist mit dem BV-Rechner per FireWire IEEE1394a verbunden. Bei den anderen beiden Anwendungen „handgeführte Kamera zur Schnittkontrolle“ und der „kameragestützten Vorritzsägeneinstellung“ werden intelligente Kameras eingesetzt, die eine WLAN-Einheit integriert haben.

## 8 Verwertung und Ausblick

Im Projekt MobiKAM wurden die technischen Voraussetzungen geschaffen und innovative Lösungskomponenten prototypisch entwickelt und demonstriert, die eine einfache Integration optischer Sensorik und Bildverarbeitungsapplikationen in Produktionsmaschinen ermöglichen. Damit werden neue Anwendungsfelder für bildgestütztes Prüfen und Messen in Fertigungsprozessen erschlossen. Langfristig soll so einer breiten Einführung und Nutzung dieser Technologie im Bereich Werkzeugmaschinen zum Durchbruch verholfen werden.

### 8.1 Vergleich zum Stand der Technik

Eine aktuelle Recherche zum Messen und Prüfen von Werkstücken und Werkzeugen lieferte die im Folgenden beschriebenen Ergebnisse. Im Vergleich zum MobiKAM-Projekt fällt auf, dass eine kabelfreie Arbeitsweise bezüglich Energieversorgung und Kommunikation nicht erwähnt wird.

#### 8.1.1 Optische Messeinrichtung HCC - Heli Contour Check

Laut Hersteller, Fa. Walter Maschinenbau GmbH, Tübingen, können mit der optischen Messeinrichtung Heli Contour Check HCC Werkstücke direkt in der Werkzeugschleifmaschine gemessen werden (Ehrler, 2010). Dieses ermöglicht das Messen in der gleichen Aufspannung, d.h. Veränderungen des Werkstücks durch thermische Einflüsse werden vermieden. Ein genaueres Messergebnis und Zeiteinsparungen sollen daraus resultieren.

#### 8.1.2 Messsystem iView

Laut Hersteller, Fa. ANCA, Australien, ist iView ein Messsystem, mit dem das geschliffene Werkzeug in der Originalaufspannung in der Schleifmaschine gemessen wird (ANCA, 2011). Die iView-Kamera nimmt ein Bild des geschliffenen Werkzeugs auf, das mit einer Overlay-Idealform verglichen wird, die von der iView-Software erzeugt wird. Der Schleifzyklus setzt dann automatisch entsprechende Kompensationen ein.

Mit einer Auflösung von 2  $\mu\text{m}$  sollen verschiedene geometrische Merkmale, wie Werkzeugform, äußerer Durchmesser, verschiedene Winkel und Abstände, gemessen werden können.

### 8.2 Verwertung INDEX

Die INDEX-Werke arbeiten intensiv mit eigenem Know-how in allen Bereichen der Steuerungstechnik. Im Haus wird an der SPS- und der NC-Software gearbeitet, darüber hinaus werden Benutzeroberflächen für CNC-Steuerungen mit hoher Flexibilität selbst entwickelt.

INDEX/TRAUB hat bereits früher das bildgestützte Vermessen von Werkzeugen im Arbeitsraum eingesetzt und eine spezielle Lösung zum Einfahren einer Kamera in den Maschinenraum entwickelt.

Zum Ausbau und Erhalt der Spitzenposition im Drehbereich ist die ständige Entwicklung neuer innovativer Produkte notwendig. Gerade hier liefern Bildverarbeitungstechnologien große Potenziale und bisher nicht vorhandene Lösungsmöglichkeiten.

Eine sehr wichtige Anwendung ist das optische Messen oder das Ausführen von Kontrollaufgaben am Werkstück oder am Werkzeug direkt in der Werkzeugmaschine. Von den Ergebnissen sind direkte Prozessbeeinflussungen oder Prozessstrategien ableitbar. Dies stellt eine wichtige Erweiterung zur Qualitätssteigerung der Werkzeugmaschine dar.

Die Ergebnisse des Verbundprojektes werden innerhalb der Index-Gruppe in den zwei Marken INDEX und TRAUB flächendeckend umgesetzt. Dabei werden mit Sicherheit weitere

Anwendungsfelder entdeckt und erschlossen da zwei unterschiedliche offene Steuerungsplattformen vorhanden sind.

Es wurde zwar kein serienreifes Produkt erreicht, aber es wurden wichtige Erkenntnisse gewonnen, die es erlauben, auf diesen aufzubauen. Diese Erkenntnisse wären ohne das Verbundprojekt nicht vorhanden gewesen.

Die CNC-Programmiersprache wurde mit Befehlen zur Kamerasteuerung erweitert, INDEX/TRAUB stehen somit für weitere Anwendungen zur Verfügung:

- Erweiterung der Bedienoberfläche für Kameraapplikationen  
→ Erweiterung durch BV-Software, Livebild-Darstellung,
- Entwicklung einer standardisierten Prozessschnittstelle zu einem Kamerasystem  
→ Prozesssynchronisation,  
→ Prüfung/Messung durch das NC-Programm,  
→ Verarbeitung der Ergebnisse im NC-Programm,
- Einführung der WLAN-Technologie in die CNC-Steuerung  
→ problemloser Anschluss eine WLAN-Kamera an eine Werkzeugmaschine.

Das Kamerasystem ist als Maschinenelement auf industriell genormten mechanischen Schnittstellen aufgebaut. Am Demonstrator wurde die VDI30-Schnittstelle verwendet. Dadurch wird die allgemeine Verwendbarkeit in Werkzeugmaschinen gewährleistet.

Die im Projekt mit Hilfe der Partner gewonnen Erkenntnisse fließen in die Gesamtentwicklung des Systems und natürlich auch in die MobiKAM-Kamera selber ein. Es ist gelungen, ein in allen Bereichen durchgängiges System zu schaffen, die praktische Einsetzbarkeit wurde am Demonstrator gezeigt. Die Arbeiten für den serienmäßigen Einsatz von MobiKAM sind noch nicht abgeschlossen werden aber weitergeführt.

INDEX/TRAUB wird die Ergebnisse und Erkenntnisse aus dem Verbundprojekt MobiKAM nutzen, um daraus neue am Bedarf orientierte Produkte und Lösungen zu entwickeln. Sehr viele Möglichkeiten sind im AP1.1 „Szenarien und Anwendungen“ aufgelistet.

## **8.3 Verwertung HOLZMA**

Die Firma HOLZMA als Endanwender im Bereich Holzbearbeitungsmaschinen wählte drei Applikationen aus, in denen eine mobile Kamera als Demonstrator eingesetzt wird. In enger Zusammenarbeit mit dem Produktmanagement und F&E der Firma HOLZMA muss in Folge des Projekts entschieden und beratschlagt werden, welche Potentiale in den Demonstratoren der drei Applikationen stecken und wie man die Überführung in ein Serienprodukt erreichen kann. Eine wesentliche Rolle dafür spielen die wirtschaftlichen Erfolgsaussichten.

### **8.3.1 Optisches Plattenzählen am Hubtisch**

Die Applikation zur Zählung der Anzahl der Platten am Hubtisch wurde prototypisch entwickelt. Die Funktion wurde am Demonstrator nachgewiesen. Für die Umsetzung in ein serienreifes Produkt besteht noch weiterer Entwicklungsaufwand.

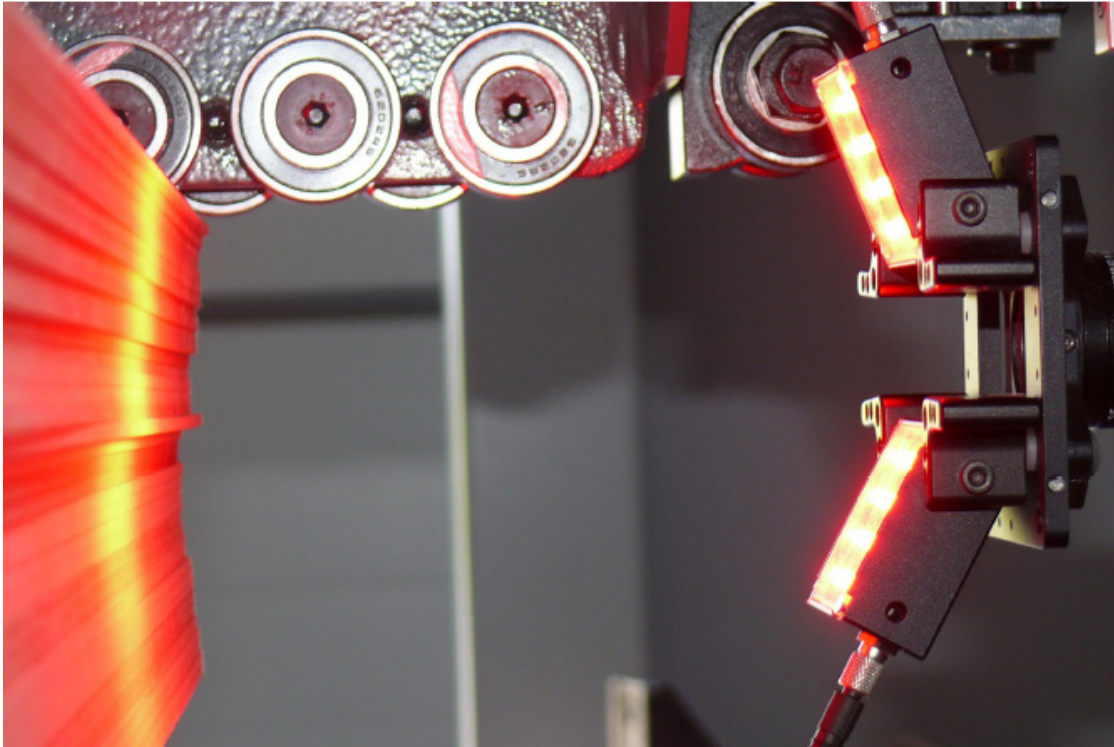


Bild 48: Applikation zur Zählung der Anzahl der Platten am Hubtisch (Bild: Fa. HOLZMA)

Die Firma HOLZMA durchläuft momentan den Entscheidungsprozess zur Prüfung einer Produktentwicklung in dieser Applikation. Dafür wurden bereits Richtangebote beim Projektpartner Vision&Control eingeholt. Auf Basis der Staffelpreise des Richtangebots in Verbindung mit den Zusatzkosten für die mechanische und elektrische Einbindung in die Maschinen wird geprüft, welche Stückzahlen sich somit vermarkten lassen. Diese Ergebnisse lagen aber beim Projektende noch nicht vor. Der Zielmarkt für diese Option bei Hubtischmaschinen soll weltweit sein, da es keine länderspezifischen Restriktionen geben soll. Der Zeitpunkt der Produkteinführung wird frühestens 2012 möglich sein, da es noch einen erheblichen Entwicklungsaufwand im Hause HOLZMA und auch beim Projektpartner Vision&Control zu bewältigen gilt.

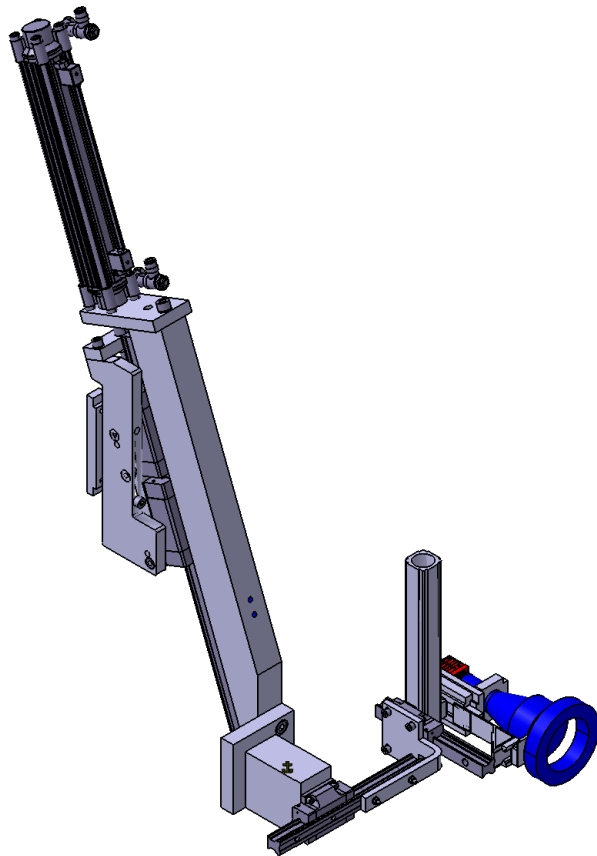


Bild 49: Kamera mit ausfahrbarer Halterung zur Plattenzählung am Hubtisch (Bild: Fa. HOLZMA)

In der oben abgebildeten Zeichnung sieht man die Kamera mit ausfahrbarer Halterung, damit die Kamera zur Bildaufnahme positioniert werden kann.

### 8.3.2 Mobile Kamera zur Vorritzsägeneinstellung

Die Applikation mobile Kamera zur Vorritzsägeneinstellung wurde um eine mobile Kamera erweitert. In der HOLZMA Baureihe 5 wurde die Kamera bereits als stationäres Gerät mit kabelgebundener Energie- und Datenanbindung eingesetzt. Im Demonstrator wurde diese Kamera als mobiles Gerät eingebunden.

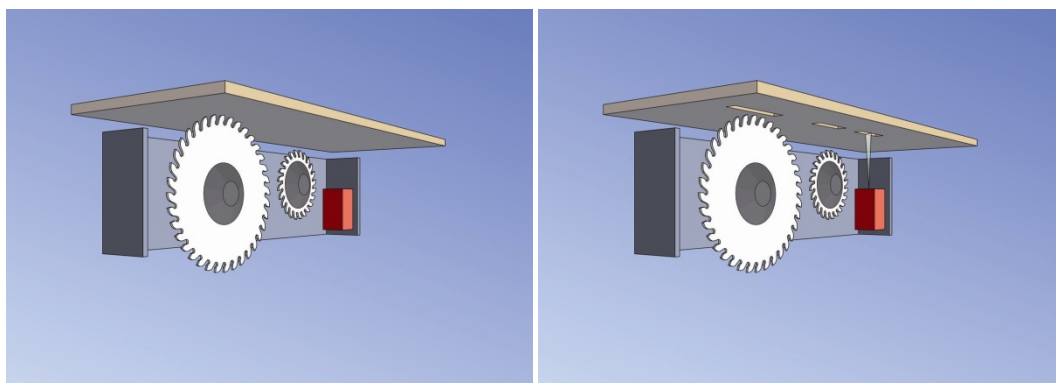


Bild 50: Applikation mobile Kamera zur Vorritzsägeneinstellung (Bilder: Fa. HOLZMA)



Während der Projektlaufzeit wurde diese Applikation auch auf die Baureihen 3 und 4 umgesetzt und ist somit in allen Baureihen der HOLZMA-Maschinen verfügbar. Die Vermarktung erstreckt sich auf die weltweiten Absatzmärkte. Das Produktmanagement prognostiziert eine Jahresstückzahl von ca. 150 Kamerasystemem, welche einen Umsatz von ca. 150.000 EUR erwirtschaften.

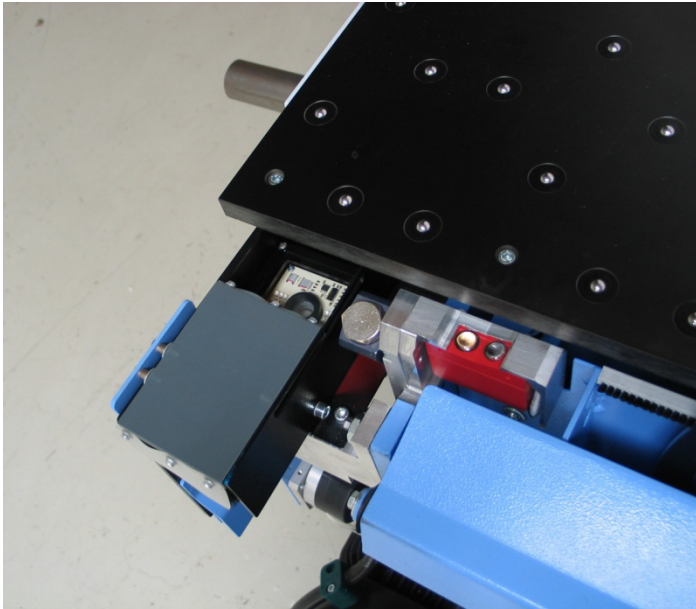


Bild 51: Mobile Kamera zur Vorritzsägeneinstellung (Bild: Fa. HOLZMA)

HOLZMA ließ die kameragestützte Vorritzsägeneinstellung beim Patentamt anmelden und besitzt somit das Alleinstellungsmerkmal für diese Innovation.

### 8.3.3 Manuell geführte Kamera zur Ermittlung der Schnittqualität

Die Applikation manuell geführte Kamera zur Ermittlung der Schnittqualität beruht auf einer mobilen Kamera mit einer WLAN-Kommunikationsanbindung und einem Akkumulator zur Energieversorgung.

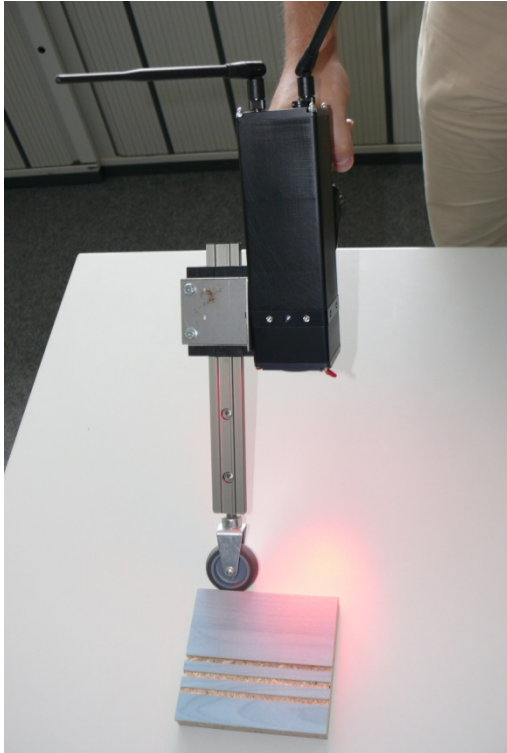


Bild 52: Manuell geführte Kamera zur Ermittlung der Schnittqualität (Bild: Fa. HOLZMA)

Die Kamera traf bei HOLZMA erst unmittelbar vor der öffentlichen Projektabschlussveranstaltung ein. Daher war die Zeit sehr begrenzt und es konnten die wirtschaftlichen Erfolgsaussichten und die Überführung in ein Produkt noch nicht spruchreif festgestellt werden. Diese Innovation wäre bestimmt ein hilfreiches Instrument für die Anwender von Druckbalkensägen. Es muss jedoch die Kaufbereitschaft des Marktes ermittelt werden.

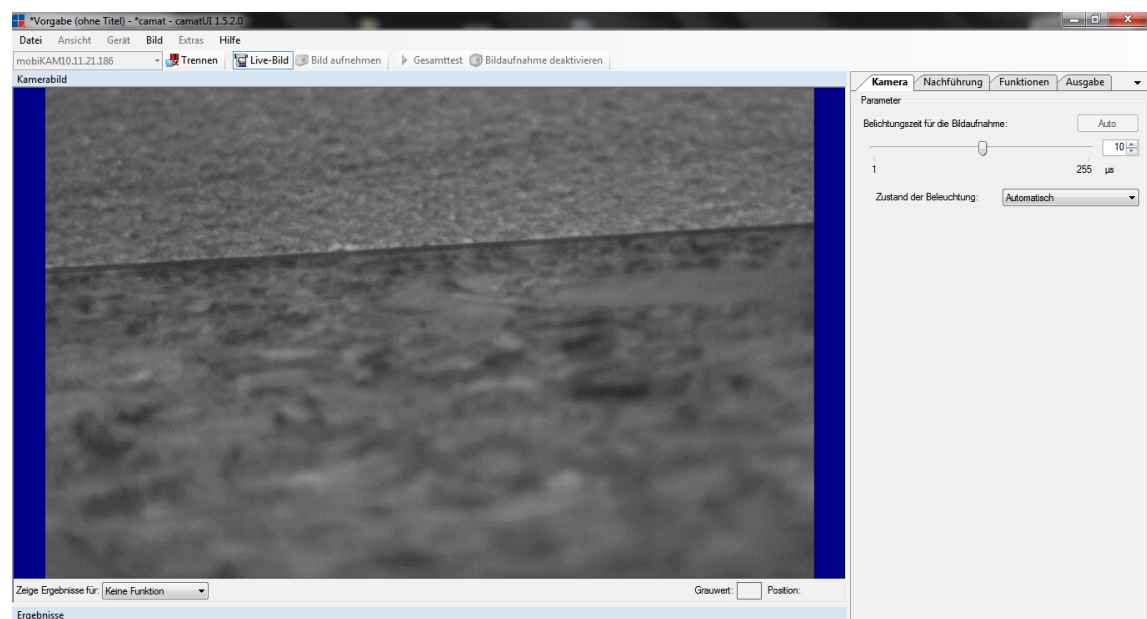


Bild 53: Sicht der manuell geführten Kamera zur Ermittlung der Schnittqualität (Bild: Fa. HOLZMA)

Anbei ein Screenshot des Kamerabildes einer realen Kante, das auf dem Steuerungsmonitor der HOLZMA-Plattenaufteilsäge visualisiert wird.

## 8.4 Verwertung Vision&Control

Vor dem Start des MobiKAM-Projektes und während der Projektlaufzeit wurden laufend Patentinformationen eingeholt, Marktrecherchen durchgeführt und Kontakte zu potentiellen Anwendern geknüpft.

Es ist festzustellen, dass zunehmend Patente angemeldet werden, die visuelle Aufgabenstellungen in Arbeitsräumen von Bearbeitungsmaschinen zum Inhalt haben; z.B.

- Patent zur optischen Überwachung von Bearbeitungsvorgängen (Werner, 2009)
- Patent zur Vermeidung von Kollisionen bei einer Werkzeugmaschine (Speth, 2009)
- Patent zu einem Werkzeugmaschinen-Kamera-System (Niem, 2008)

Die ermittelten Patente beziehen sich ausschließlich auf reine visuelle oder positionsorientierte Überwachungsaufgaben.

Aus den Ergebnissen der Patentrecherchen ist der Schluss zu ziehen, dass Bildverarbeitungsaufgaben in Arbeitsräumen von Bearbeitungsmaschinen zunehmend an Bedeutung gewinnen.

Unterstrichen wird diese Feststellung auch durch die Tatsache, dass mehrere Hersteller von CNC-Steuerungen beginnen, Anschlüsse und Visualisierungen von bis zu 7 Kameras in ihr Steuerungsangebot einbinden. Beispiel dafür ist die Fa. Mori Seiki, die serienmäßig diese Integration ihren Kunden anbietet (Mori Seiki, 2011).

Im Bereich der Schleifmaschinenherstellung gibt es Bemühungen, die Profilvermessung der Schleifscheiben durch Einsatz von Bildverarbeitungsvorrichtungen zu optimieren, wie zum Beispiel bei der Profilschleifmaschine UPZ-210Li (Okamoto Corporation, 2006).

Weiterhin sind im Rahmen der durchgeführten Recherchen einige geplante und bereits umgesetzte Anwendungen bekannt geworden, die Bildverarbeitung in Arbeitsräumen von Bearbeitungsmaschinen zur Einstellung von 2D- und 3D-Parametern nutzen.

Bei allen dargestellten Anwendungen konnten drahtlose Anbindungen der eingesetzten Kameras nicht festgestellt werden. Nach konkreter Nachfrage zu Sinn oder Notwendigkeit derartiger Realisierungen wird jedoch überwiegend Interesse bekundet. Offensichtlich stehen die Bildverarbeitungsanwendungen in Arbeitsräumen von Bearbeitungsmaschinen erst am Anfang ihrer Geschichte. Daher ist das Nachdenken über Sinn und Notwendigkeit drahtloser Kameratechnik noch nicht sehr ausgeprägt. Das weitgehend fehlende Angebot drahtloser Bildverarbeitungssysteme ist wahrscheinlich darauf zurückzuführen.

Im Verlauf des MobiKAM-Projektes wurde ein modulares Konzept für eine intelligente Kamera in Arbeitsräumen erfolgreich erprobt. Die Tests umfassten drahtlose Varianten, als auch drahtgebundene Versionen. Obwohl alle neu entwickelten und modifizierten Module Labormuster-Status haben, können wesentliche Erkenntnisse für zukünftige Produkte abgeleitet werden. Durch die variable Kombination verschiedener Komponenten aus den Bereichen Optik, Beleuchtung, Elektronik, Kommunikation, Software und Gehäusen kann eine flexible Integration der intelligenten Kameras für unterschiedlichste Aufgabenstellungen und Kommunikationsformen in Fertigungsmaschinen erfolgen.

Zur Verdeutlichung eines derartigen Konzeptes zeigt Bild 54 wesentliche variierbare Module (Beleuchtung, Optik, Bildaufnahme- und Verarbeitungseinheit, Kommunikation, Gehäuse) einer kompakten Bildverarbeitungsanlage

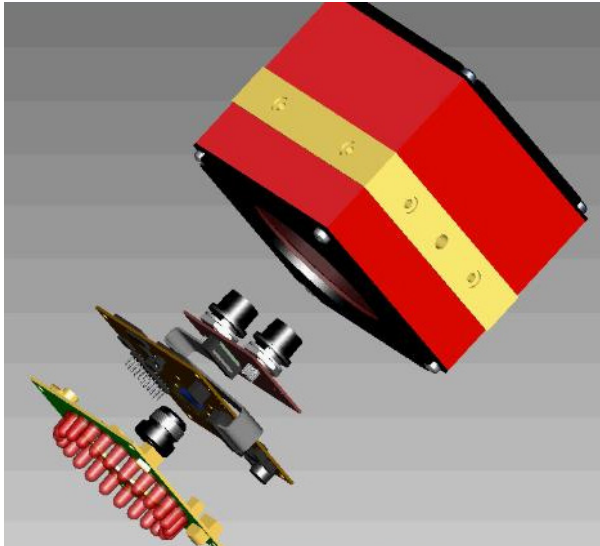


Bild 54: Grundsätzlicher Aufbau eines modularen und kompakten BV-Systems (Bild: Fa. Vision&Control)

Das erweiterte Modulkonzept, die beschriebenen Recherchen und bereits geknüpft Verbindungen zu potentiellen Anwendern lassen eine rasche Produkt-Umsetzung der MobiKAM-Ergebnisse erwarten.

## 8.5 Verwertung PHYTEC

Bereits vor Start des Vorhabens war eine verstärkte Nachfrage nach einer drahtlosen Anbindung von Komponenten im industriellen Bereich zu beobachten. Während für Anwendungen, in denen nur niedrige Übertragungsraten gefordert sind, hinreichend robuste Lösungen bereits verfügbar waren, gab es für solche mit höheren Anforderungen an den Datendurchsatz bislang nur proprietäre Ansätze.

Die Nutzung des noch störungsarmen 5GHz Frequenzbands für z.B. Wireless USB und WLAN ließen den Einsatz eines dieser verbreiteten Übertragungsverfahren erfolgversprechend erscheinen. Im Rahmen des Vorhabens wurde schlussendlich auch die Realisierung einer WLAN Übertragungsstrecke in einem rauen industriellen Umfeld erfolgreich implementiert.

Dadurch wird die Übertragung großer Datenmengen bei der Livebild-Übertragung ohne Qualitätseinbußen durch Informationsverlust oder Komprimierung über eine Wireless-Verbindung möglich. Am Beispiel des Einsatzes bei INDEX/TRAUB ermöglicht sie überhaupt erst den Einsatz von Bildverarbeitung im Maschinenraum.

Aber nicht nur im Bereich der industriellen Bildverarbeitung erschließen sich dadurch neue Einsatzgebiete. Überall dort, wo eine Verkabelung nicht möglich ist oder sich als zu aufwendig erweist, ist der Einsatz einer WLAN Übertragungsstrecke denkbar.

Das Vorhaben führte hier zu einer beispielhaften Lösung, welche künftig als Lösungsansatz in Projekten verwendet werden kann. Hierzu bedarf es noch der Bearbeitung einiger Punkte, die während des Vorhabens identifiziert wurden:

- Robustheit der Übertragung bei Vorhandensein anderer Funknetze auf den gleichen Sendekanälen und Abhilfe dagegen, z.B. durch Frequenzhopping
- Optimierung der Zeiten beim Verbindungsaufbau durch Softwareanpassungen
- Einsatz von Antennen mit auf den Anwendungsfall angepasster Abstrahlcharakteristik

Weitere wichtige Erkenntnisse, die im Vorhaben gewonnen wurden, beziehen sich auf den Bereich Energiemanagement. Eine immer größer werdende Anzahl von Applikationen wird in mobiler Form, d.h. mit autarker Energieversorgung realisiert.

Im Falle HOLZMA war dies die handgeführte Kamera, bei INDEX/TRAUB zum einen auch eine handgeführte Kamera sowie ebenfalls der Sensor im Maschinenraum, welcher zwar nicht mobil ist, aber immer nur temporär mit Energie versorgt werden konnte. Im Rahmen des Vorhabens konnte erarbeitet werden, dass es möglich ist, die Systeme in den Ruhephasen komplett spannungslos zu schalten und dennoch innerhalb weniger Sekunden komplett betriebsbereit zu sein.

Auch hier gilt, dass die im Vorhaben erarbeiteten beispielhaften Lösungen als Grundlage für weitere Optimierungen dienen, die in kommenden Projekten zum Einsatz kommen können.

## 8.6 Verwertung Fraunhofer IPK

Zu Beginn des letzten Projektjahres hat das Fraunhofer IPK sich entschieden, neben den bereits zu Projektbeginn mit den Partnern abgestimmten Demonstratoren einen weiteren Demonstrator, eine Multi-View-Kamera zu erstellen, die auf das Einsatzumfeld des IPK gut abgestimmt ist. Mit dieser Multi-View-Kamera werden folgende Ziele verfolgt:

- Demonstration vor Interessenten im IPK-Versuchsfeld,
- Vorstellung auf Workshops für die interessierte Fachwelt,
- Signalwirkung zur breiten Umsetzung durch Demonstration der Machbarkeit,
- anschließende Forschungsprojekte oder Industrieaufträge zur weiteren Erschließung der Technologie und neuer Anwendungsfelder.

Die im Projekt gewonnenen Erkenntnisse flossen in die Entwicklung der Multi-View-Kamera ein.

Das Lastenheft der Fa. INDEX/TRAUB für die "Kamera auf dem Werkzeugträger" wurde als Basis für die Gestaltungsentscheidungen herangezogen. Weiterhin wurde der Einsatz im Dreh-Fräszentrum TNX65 der Fa. INDEX/TRAUB im Versuchsfeld des Fraunhofer IPK vorgegeben, was Auswirkungen auf die mechanische Gestaltung und die Steuerungsintegration hat.

Neben der Adaption an eine TRAUB-Steuerung älterer Generation ist auch die Kopplung mit einer Siemenssteuerung 840D zu erreichen.

Ein besonderes Ziel war es weiterhin, zu niedrigen Preisen verfügbare kommerzielle Baugruppen einzusetzen, um den Lastenheftanforderungen nahe zu kommen.

Die Multi-View-Kamera ist geeignet, im Dreh-Fräszentrum TNX65 der Fa. INDEX/TRAUB im Versuchsfeld des Fraunhofer IPK als Werkzeug gerüstet zu werden (Bild 55). Der Demonstrator belegt zwei Plätze auf dem Revolver und benötigt etwa das Volumen, das auch zwei üblichen Werkzeughaltern zur Verfügung steht. Die möglichen Positionen der Multi-View-Kamera sind in Bild 57 dargestellt.

Die Multi-View-Kamera beherbergt 3 Kameras für 3 Blickrichtungen in +Z-, -Z- und +Y-Richtung. Die Kameras des Herstellers IDS vom Typ UI-1008XS-C haben eine Auflösung auf dem Sensor-Chip von 3264x2448 Pixel. Zur Verringerung des kameraeigenen Arbeitsabstandes wird eine Makrolinse vorgeschaltet, wodurch folgende Eigenschaften erreicht werden konnten:

- Arbeitsabstand 45 mm
- Auflösung am Objekt 12µm
- max. Objektgröße ca. 40x30 mm<sup>2</sup>

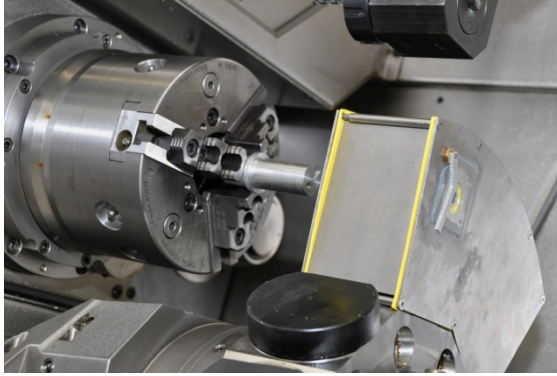


Bild 55: Anwendung der Multi-View-Kamera in TNX65 (Bild: Fraunhofer IPK, Salvo)

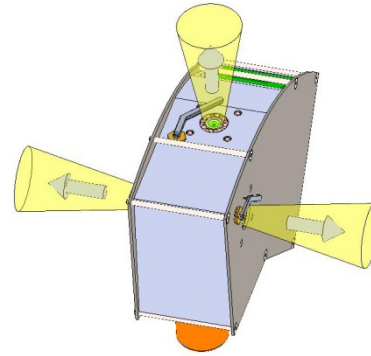


Bild 56: Blickrichtungen der Multi-View-Kamera (Bild: Fraunhofer IPK, Mensmann)

Es handelt sich bei der gewählten Anordnung um eine entozentrische Optik, die unvermeidbaren Abbildungsfehler werden mit Hilfe eines genauen Punktrasters ermittelt und softwareseitig kompensiert. Die Lage der optischen Achsen der drei Kameras zum Maschinenkoordinatensystem wird mit Hilfe eines Prüfdorns ermittelt.

Die Beleuchtung erfolgt im Auflicht mit 12 weißen LED, die um jede Kamera angeordnet sind. Sie sind einzeln ansteuerbar und auf Grund ihrer variierenden Entfernung zur optischen Achse lassen sie eine Beleuchtung aus verschiedenen Winkeln zu.

Vor Optik und Beleuchtung befindet sich eine gegen Kühlmittel schützende Glasscheibe. Im Innern der Multi-View-Kamera befindliche Drehmagnete betätigen Scheibenwischer zur Reinigung dieser Schutzscheiben.

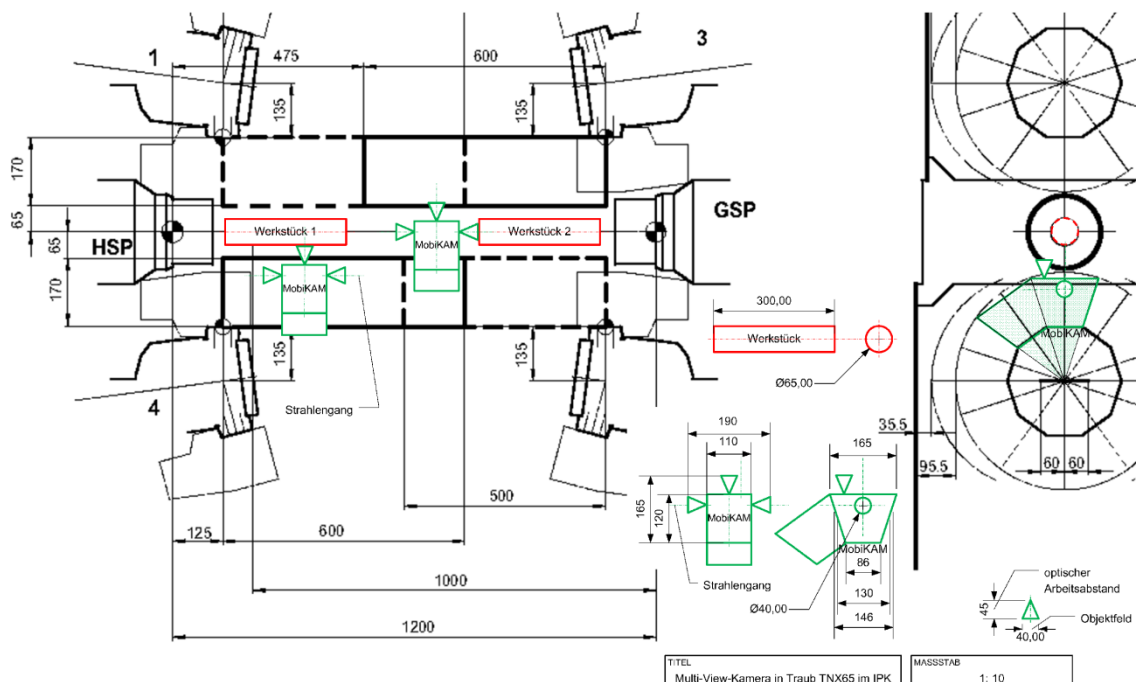


Bild 57: Beobachtungssituationen im Dreh-Fräszentrum TNX65 der Fa. INDEX/TRAUB (Bild: Fraunhofer IPK, Feitscher)

Die Zufuhr der Energie zum Laden der Akkumulatoren erfolgt über einen Kontakt im Spannzapfen. Eine passende Ladeschale, die mit einem Standardnetzteil verbunden ist, wurde entwickelt.



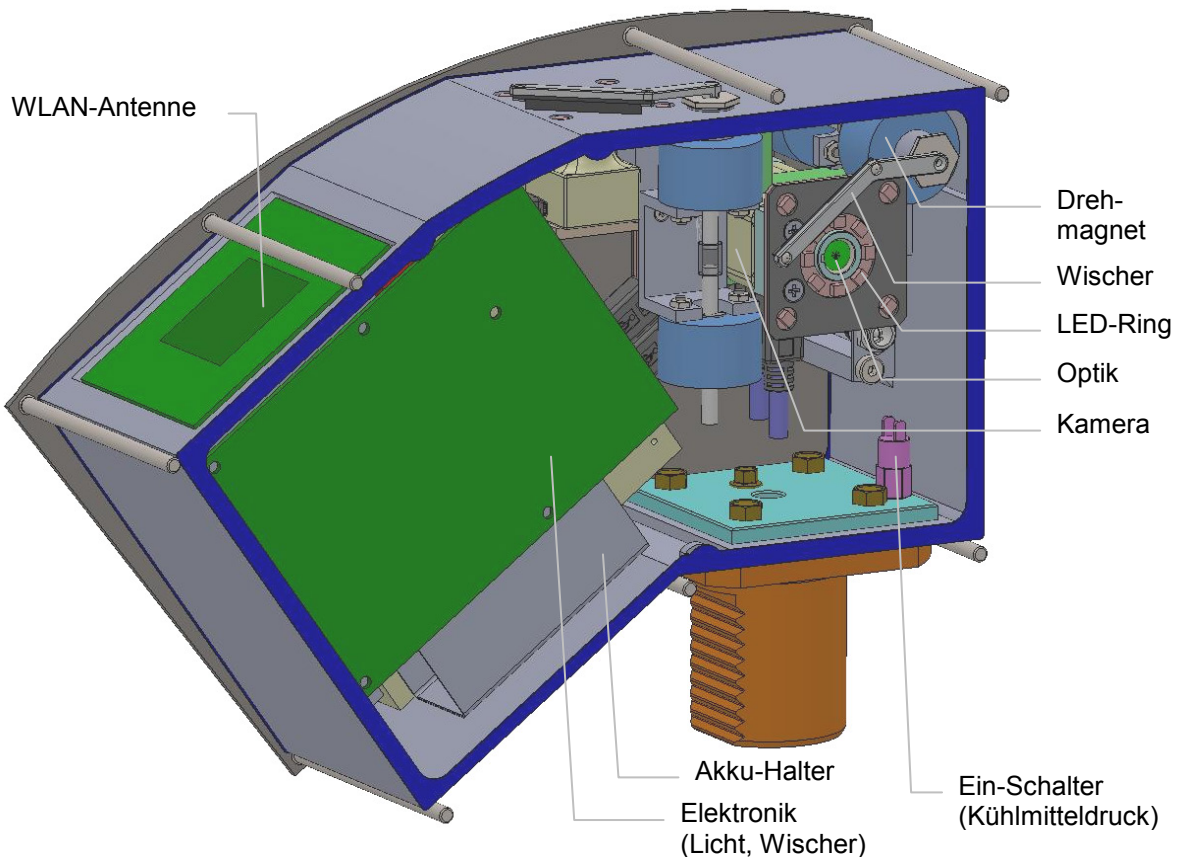


Bild 58: Innenaufbau (Bild: Fraunhofer IPK, Mensmann)

Um den Akkumulatoren keine Standby-Leistung entnehmen zu müssen, wird die Multi-View-Kamera durch Aufbauen des Kühlmitteldrucks eingeschaltet, wenn die Kamera in Arbeitsposition ist. Der Kühlmittelfluss der Werkzeugmaschine kann durch M-Funktionen im NC-Programm beeinflusst werden. Die Abschaltung erfolgt softwaregesteuert durch die Multi-View-Kamera und kann über WLAN fernausgelöst werden.

Die Multi-View-Kamera enthält einen miniaturisierten Rechner fit-PC2i des Herstellers CompuLab. An diesen Rechner sind über USB die drei Kameras und die Steuerelektronik für Beleuchtung und Drehmagnete angeschlossen.

Die auf der Multi-View-Kamera auf dem Betriebssystem Windows 7 laufende Software realisiert im Wesentlichen folgende Funktionen:

- Auswahl der in Benutzung befindlichen Kamera,
- Aufnahme von hochauflösenden Einzelbildern,
- Aufnahme von Live-Bildfolgen,
- Ansteuerung der LED,
- Ansteuerung der Scheibenwischer,
- Bereitstellung der Einzelbilder und Live-Bildfolgen über Netzwerk,
- optionale Verarbeitung der Einzelbilder (Merkmalsextraktion),
- Kommunikation über WLAN mit einem bezüglich Hardware gleichartigen Rechner im Schaltschrank,
- Abschalten der Multi-View-Kamera.

Ein zweiter miniaturisierter Rechner fit-PC2i befindet sich im Schaltschrank. Er stellt einen Kommunikationsknoten dar und vermittelt den Informationsaustausch zwischen:

- Multi-View-Kamera über WLAN,

- SPS der Maschinensteuerung über 16 parallele Eingänge und 16 parallele Ausgänge,
- dem Bedientafelrechner der Maschinensteuerung über LAN.

Der Rechner kann auch Bildverarbeitungsaufgaben ausführen und damit die Multi-View-Kamera entlasten.

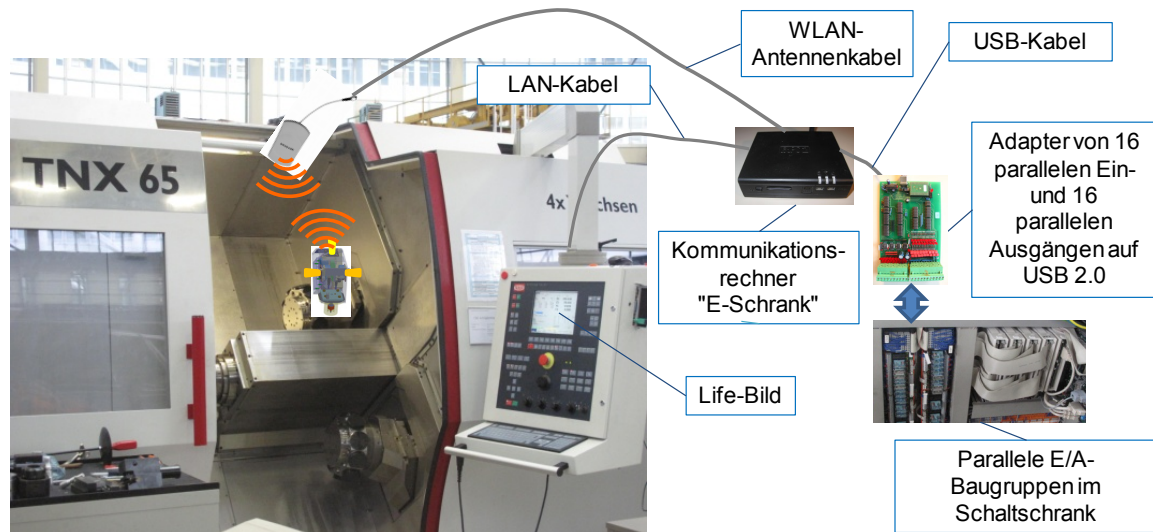


Bild 59: Kommunikation - Integration in die Steuerungsumgebung (Bild: Fraunhofer IPK, Feitscher)



## 9 Literaturverzeichnis

- AIA. 2010.** GigE Vision - True Plug and Play Connectivity. *Machine Vision Online*. [Online] 2010. [Zitat vom: 9. 11 2011.] <http://www.machinevisiononline.org/vision-standards-details.cfm?type=5>.
- ANCA. 2011.** iView - Vision with precision. *ANCA - Produkte - Zubehör*. [Online] 2011. [Zitat vom: 16. 11 2011.] <http://www.anca.com/Products/Accessories/iView>.
- Belkin. 2007.** Handbuch Wireless USB Hub F5U302ea. *Belkin Support (UK)*. [Online] 2007. [Zitat vom: 9. 11 2011.] [http://cache-www.belkin.com/support/dl/p75427\\_f5u302\\_man%204-07.pdf](http://cache-www.belkin.com/support/dl/p75427_f5u302_man%204-07.pdf).
- Brackenridge, B. 2007.** WiMedia – Basis für Wireless USB, Bluetooth 3 und WiNet. *Tecchannel IT-Experts inside*. [Online] 9. 2 2007. [Zitat vom: 9. 11 2011.]
- DLink. 2007.** Handbuch DKT-410 Wireless N Starter Kit. *DLink Technischer Support*. [Online] 2007. [Zitat vom: 9. 11 2011.] <http://www.dlink.de>.
- Dunkel, J. et al. 2008.** *Systemarchitekturen für verteilte Anwendungen*. München : Hanser-Fachbuch, 2008.
- Ehrler, Christoph. 2010.** Measuring and loading made by WALTER. *Kundenmagazin Motion*. [Online] 01 2010. [Zitat vom: 16. 11 2011.] [http://www.schleifring.net/fileadmin/content/www.schleifring.net/02\\_pdf/02\\_brochures/en/MOTION\\_10-1\\_E.pdf](http://www.schleifring.net/fileadmin/content/www.schleifring.net/02_pdf/02_brochures/en/MOTION_10-1_E.pdf).
- elektro Automation. 2004.** Drahtlos aber wo und wie? Experten-Interview zu den Wireless-Technologien im Automatisierungsbereich. *elektro Automation*. 2004, 2, S. 23.
- Haluschak, B. 2008.** Wireless USB ergänzt WLAN- und Bluetooth-Technologie. *Tecchannel IT-Experts inside*. [Online] 18. 3 2008. [Zitat vom: 9. 11 2011.] [http://www.tecchannel.de/netzwerk/wlan/1739328/wireless\\_usb\\_ergaenz\\_t\\_wlan\\_und\\_bluetooth\\_t\\_echnologie/](http://www.tecchannel.de/netzwerk/wlan/1739328/wireless_usb_ergaenz_t_wlan_und_bluetooth_t_echnologie/).
- Hohwieler, E., Kraft, M. 2006.** Machine Vision for Tool Setting at Machine Tools. [Hrsg.] Roberto Teti. *Proceedings of the 5th CIRP International Seminar on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering (CIRP ICME '06), 25 July – 28 July 2006*. 2006, S. 597-602.
- IEEE Standard. 2008.** IEEE Std 1394-2008: IEEE Standard for a High-Performance Serial Bus. *IEEE Xplore*. [Online] 2008. [Zitat vom: 9. 11 2011.] <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/mostRecentIssue.jsp?reload=true&punumber=4659231>.
- Jähne, B. et al. 2005.** *Digitale Bildverarbeitung*. Berlin, Heidelberg : Springer Verlag, 2005.
- Kefersteine, C.P., Honegger, D. und Ritter, M. 2006.** Marktanalyse optischer 1D-, 2D, 3D-Sensoren und optischer KMG. *QZ - Qualität und Zuverlässigkeit*. 2006, Bd. 51, 8, S. 40-41.
- Knappe, B. 2002.** Optimierung von Hochleistungsstanzprozessen durch werkzeugintegrierte optische Sensorik. *wt-online*. 2002, 11/12, S. 619ff.
- Knappe, B. 2004.** TIVIS / Optimierung von Hochleistungsstanzprozessen durch werkzeugintegrierte optische Messtechnik und Sensorik. *Produktionsforschung / Verbundprojekte*. [Online] 31. 03 2004. [Zitat vom: 8. 11 2011.] [http://www.produktionsforschung.de/verbundprojekte/vp/index.htm?VP\\_ID=1053](http://www.produktionsforschung.de/verbundprojekte/vp/index.htm?VP_ID=1053).
- Kurs, A. et al. 2007.** Wireless Power Transfer via Strongly Coupled Magnetic Resonances. *Science*. 6. 7 2007, Bd. 317, 5834, S. 83-86.
- Kwon, Yong Uk. 2001.** *Visuell unterstütztes Lageregelungssystem für Industrieroboter*. Berichte aus dem Produktionstechnischen Zentrum Berlin, Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik IPK. Berlin : Fraunhofer IPK, 2001.
- Machine Vision Online.** Camera Link – The Only Real-Time Machine Vision Network Protocol. *Machine Vision Online*. [Online] [Zitat vom: 9. 11 2011.] <http://www.machinevisiononline.org/vision-standards-details.cfm?type=6>.
- Maxon. 2011.** EC 45 flat Ø45 mm, bürstenlos, 30 Watt. *maxon motor e-shop Katalog*. [Online] 4 2011. [Zitat vom: 9. 11 2011.]

[https://downloads.maxonmotor.com/Katalog\\_neu/eshop/Downloads/Katalog\\_PDF/maxon\\_ec\\_motor/EC-flat-programm/new/newpdf\\_11/EC-45-flat-200189\\_11\\_DE\\_193.pdf](https://downloads.maxonmotor.com/Katalog_neu/eshop/Downloads/Katalog_PDF/maxon_ec_motor/EC-flat-programm/new/newpdf_11/EC-45-flat-200189_11_DE_193.pdf).

**Merkle, A. und Terzis, A. 2002.** *Digitale Funkkommunikation mit Bluetooth. Theorie und Praxis, Bluetooth-Simulator, konkurrierende Systeme*. Poing : Franzis-Verlag, 2002.

**Mori Seiki. 2011.** Applikationssysteme - MAPPs IV - MAPPs Kamera (optional). *Mori Seiki*. [Online] 2011. [Zitat vom: 16. 11 2011.] <http://www.moriseiki.de/produkte/applikationssysteme/mapps-iv/>.

**Niem, W. 2008.** *Werkzeugmaschinen-Kamera-System*. DE102008043514A1 OS 12.05.2010 DE, 06. 11 2008. System.

**Okamoto Corporation. 2006.** Okamoto announces a fully New model UPZ-210Li Profile Grinde. *Okamoto Corporation (USA)*. [Online] 01. 05 2006. [Zitat vom: 16. 11 2011.] [http://www.okamotocorp.com/images/pdf/UPZ-210Li\\_PR.pdf](http://www.okamotocorp.com/images/pdf/UPZ-210Li_PR.pdf).

**Pfeifer, T. und Sack, D. 2003.** Neue Sinne und ein Nervensystem für die autonome Werkzeugmaschine: Die Integration von fertigungsnaher Messtechnik. [Hrsg.] F. Klocke und G. Pritschow. *Autonome Produktion*. Berlin, Heidelberg, New York : Springer-Verlag, 2003, S. 2.

**Pfeifer, T., Schmitt, R. und Hermes, R. 2006.** Automatisierte Werkzeugverschleißmessung. [Hrsg.] T. Pfeifer und R. Schmitt. *Autonome Produktionszellen*. Berlin : Springer, 2006, S. 210-229.

**Schmitt, R., Pfeifer, T. und Dietrich, B. 2006.** Maschinenintegrierte Werkstückmessung. [Hrsg.] T. Pfeifer und R. Schmitt. *Autonome Produktionszellen*. Berlin : Springer, 2006, S. 133-156.

**Sikora, A. 2004.** Der ZigBee-Ansatz. *Computer & Automation*. 12 2004, S. 46-51.

**Sikora, A. 2006.** Technologie-Report: Funknetzwerke für die Gebäudeautomation - Der ZigBee-Standard. *Tecchannel IT-Experts inside*. [Online] 28. 9 2006. [Zitat vom: 9. 11 2011.] [http://www.tecchannel.de/netzwerk/wlan/448561/technologie\\_report\\_funknetzwerke\\_fuer\\_die\\_gebaeudeautomation/index.html](http://www.tecchannel.de/netzwerk/wlan/448561/technologie_report_funknetzwerke_fuer_die_gebaeudeautomation/index.html).

**Speth, Wolfgang. 2009.** *Werkzeugmaschine und Verfahren zur Vermeidung einer Kollision bei einer Werkzeugmaschine*. EP2216697 OS 23.09.2010 EP, 10. 02 2009. Maschine und Verfahren.

**USB-IF.** Wireless USB from the USB-IF. *Universal Serial Bus*. [Online] [Zitat vom: 9. 11 2011.] <http://www.usb.org/developers/wusb/>.

**Werner, Thomas. 2009.** *Sichtvorrichtung*. DE102009009964A1 OS 09.09.2010 DE, 20. 02 2009. Vorrichtung.

**Wikipedia. 2011.** Wireless USB. *Wikipedia – Die freie Enzyklopädie*. [Online] Wikimedia Foundation Inc., 10. 10 2011. [Zitat vom: 8. 11 2011.] [http://de.wikipedia.org/wiki/Wireless\\_USB](http://de.wikipedia.org/wiki/Wireless_USB).

**Wörn, H., Längle, T. und Gauß, M. 2003.** Adaptive Robot Based Visual Inspection – ARIKT. *KI – Künstliche Intelligenz*. 2 2003.

**ZigBee Alliance. 2007.** ZigBee Specification Overview. *ZigBee*. [Online] 2007. [Zitat vom: 9. 11 2011.] <http://www.zigbee.org/Specifications/ZigBee/Overview.aspx>.

---

<sup>i</sup> ATC - Automatic Tool Control

<sup>ii</sup> MDF - Mitteldichte Holzfaserverplatte

<sup>iii</sup> DoD - Entladungsgrad, engl. depth of discharge (DoD), wird in Prozent angegeben. Geringer Entladungsgrad wirkt sich bei den meisten Akkus verlängernd auf die Lebensdauer aus.

### **Projektpartner**

INDEX-Werke GmbH & Co. KG Hahn & Tessky, Esslingen  
HOLZMA Plattenaufteiltechnik GmbH, Calw-Holzbronn  
PHYTEC Messtechnik GmbH, Mainz  
Vision&Control GmbH, Suhl  
Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und  
Konstruktionstechnik, Berlin

### **Koordination**

Dr.-Ing. Bernd Walker  
INDEX-Werke GmbH & Co. KG Hahn & Tessky  
Postfach 10 03 54, 73726 Esslingen  
Tel: 0711 3191-205  
Fax: 0711 3191-794  
Bernd.Walker@index-werke.de

Dipl.-Ing. Eckhard Hohwieler  
Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und  
Konstruktionstechnik (IPK)  
Pascalstraße 8-9  
10587 Berlin  
Tel.: 030 39006-121  
Fax: 030 3911037  
eckhard.hohwieler@ipk.fraunhofer.de

### **Projekträger**

Dr.-Ing. Paul Armbruster  
Projekträger Karlsruhe  
Produktion und Fertigungstechnologien (PTKA-PFT)  
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)  
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1  
76344 Eggenstein-Leopoldshafen  
Tel.: 0721 608-26209  
Fax: 0721 608-25456  
paul.armbruster@kit.edu

## Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht
3. Titel MobiKAM - Messen und Prüfen mit Mobilten Kameras im Arbeitsraum von Produktionsmaschinen	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Oßwald, Ernst Elhaus, Uwe Lickes, Marcus Schmidt, Christoph Hohwieler, Eckhard	5. Abschlussdatum des Vorhabens 30.06.2011
	6. Veröffentlichungsdatum 21.12.2011
	7. Form der Publikation Broschüre
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) INDEX-Werke GmbH&Co.KG, Plochinger Straße 92, 73730 Esslingen HOLZMA Plattenaufteiltechnik GmbH, Holzmastr. 3, 75365 Calw-Holzbronn Vision & Control GmbH, Mittelbergstraße 16, 98527 Suhl PHYTEC Messtechnik GmbH, Robert-Koch-Strasse 39, 55129 Mainz Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik IPK, Pascalstrasse 8-9, 10587 Berlin	9. Ber. Nr. Durchführende Institution
	10. Förderkennzeichen 02PU2520, 02PU2521, 02PU2522, 02PU2523, 02PU2524
	11. Seitenzahl 69
12. Fördernde Institution (Name, Adresse)  Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	13. Literaturangaben 35
	14. Tabellen 7
	15. Abbildungen 59
16. Zusätzliche Angaben	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) Abschluss-Workshop, Reichenbach/Fils und Calw-Holzbronn, 15.6.2011	
18. Kurzfassung In dem Projekt MobiKAM wurden die Grundlagen einer „sehenden“ Maschine als durchgängiges System entwickelt. Ein mobiler, energieautarker optischer Sensor ist als „rüstbares“ Maschinenelement wie ein Werkzeug in die Maschine integriert. Dies ermöglicht im Vergleich zu verfügbaren Techniken ein flexibleres und erweitertes Messen und Prüfen im Arbeitsraum von Produktionsmaschinen. Das Kamerasystem ist auf einfachste Weise, im Sinne eines „Plug-and-Work“, in die Maschine und Steuerung integriert. Für den Einsatz im Arbeitsraum von Produktionsmaschinen wurde ein Kamerasystem entwickelt, das unempfindlich gegen Erschütterungen und Verschmutzung, aber auch gegen elektromagnetische Störungen ist. Um eine einfache Installation und Handhabung der Kamera, ähnlich einem Werkzeug, zu gewährleisten, werden eine autarke Energieversorgung und drahtlose Kommunikation für die Übertragung von Steuersignalen und Bilddaten realisiert. Neueste Energiespeicher und ein hoch effizientes Energiemanagement sorgen für eine lange Betriebsdauer. Die exemplarische Umsetzung und Erprobung der erarbeiteten Lösungen erfolgt in einer Werkzeugmaschine und in einer Holzbearbeitungsmaschine.	
19. Schlagwörter Kamera, Prüfen, Messen, Maschine, Arbeitsraum, Bildverarbeitung, Optik, Sensorik	
20. Verlag Fraunhofer IPK	21. Preis

## Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN	2. type of document (e.g. report, publication) Final Report
3. title MobiKAM - Measuring and Testing with Mobile Cameras	
4. author(s) (family name(s), first name(s)) Oßwald, Ernst Elhaus, Uwe Lickes, Marcus Schmidt, Christoph Hohwieler, Eckhard	5. end of project 30.06.2011
	6. publication date 21.12.2011
	7. form of publication booklet
8. performing organization(s) (name, address) INDEX-Werke GmbH&Co.KG, Plochinger Straße 92, 73730 Esslingen HOLZMA Plattenaufteiltechnik GmbH, Holzmastr. 3, 75365 Calw-Holzbronn Vision & Control GmbH, Mittelbergstraße 16, 98527 Suhl PHYTEC Messtechnik GmbH, Robert-Koch-Strasse 39, 55129 Mainz Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik IPK, Pascalstrasse 8-9, 10587 Berlin	9. originator's report no.
	10. reference no. 02PU2520, 02PU2521, 02PU2522, 02PU2523, 02PU2524
	11. no. of pages 69
12. sponsoring agency (name, address)  Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	13. references 35
	14. tables 7
	15. figures 59
16. supplementary notes	
17. presented at (title, place, date) Final Workshop, Reichenbach/Fils and Calw-Holzbronn, 15.6.2011	
18. abstract In the project MobiKAM, the foundation for a "seeing" machine as an integrated system has been developed. Similar to the way tools are integrated in the machine, the camera operates as a mobile, energy self-sufficient optical sensor being a new interchangeable machine element. In comparison to available techniques, a more flexible and advanced measuring and testing in the working area of production machinery is facilitated. In the sense of 'Plug-and-Work', the camera system is integrated the easiest way into the machine as well as into the control system. For the use in the working area of a production machine, a camera system has been developed which is resistant to concussions and contamination as well as electromagnetic disturbances. To grant convenient installation and handling of the camera the way it is practiced with tools, self-sufficient energy supply and wireless communication for the transmission of control signals and image data will be implemented. Latest energy storage systems as well as a highly efficient energy management system ensure lengthy operating times. The exemplary implementation for the solutions worked out will be tested for a machine tool and a woodworking machine.	
19. keywords Camera, testing, measuring, working area, image processing, optics, sensor technology	
20. publisher Fraunhofer IPK	21. price