

# Ubiquitous Computing in der Flugzeugwartung

*Martin Strassner, Elgar Fleisch*  
ITEM, Universität St. Gallen  
{martin.strassner, elgar.fleisch}@unisg.ch

*Matthias Lampe*  
Institut für Pervasive Computing, ETH Zürich  
lampe@inf.ethz.ch

*Zusammenfassung: Die Technologien des Mobile und Ubiquitous Computings können dazu beitragen Prozesse in der Flugzeugwartung zu verbessern. Strenge Anforderungen an die Qualität, Sicherheit und Dokumentation sowie hohe Opportunitätskosten rechtfertigen den Einsatz technologisch aufwendiger Lösungen zur Effizienzsteigerung des Wartungsprozesses. Schlechtes Werkzeugmanagement, arbeitsintensive manuelle Dokumentationen und Kontrollen sowie menschliche Fehler stellen Schwachstellen dieses Prozesses dar. Dieser Aufsatz stellt eine Lösung mit Hilfe der Technologien des Ubiquitous Computings vor. Die Lösung umfasst ein Anwendungsszenario, eine Systemarchitektur und Applikationen zur Unterstützung des Wartungsprozesses. Der „smarte Werkzeugkasten“ und die „smarte Werkzeugausleihe“ wurden zum Nachweis der Machbarkeit implementiert.*

*Schlüsselworte: Ubiquitous Computing, Flugzeugwartung, RFID*

## 1 Einleitung

Für Wartung, Reparatur und Überholung von Flugzeugen, den sogenannten “Maintenance, Repair and Overhaul“ (MRO)-Prozess, gelten strenge Anforderungen an die Qualität, Sicherheit und Dokumentation. Aus diesem Grund ist der Prozess weitgehend standardisiert [ATA03]. Wartungen werden regelmäßig zur Vorsorge durchgeführt. Bei Passagierflugzeugen sind solche Routinewartungen nach Absolvierung von ca. 650 Flugstunden vorgeschrieben. Die MRO-Kosten betragen ca. 12% der gesamten Betriebskosten eines Flugzeugs und besonders bei kommerziell genutzten Flugzeugen entstehen dem Betreiber hohe Opportunitätskosten. Die Kosten, die bei ungeplanten Wartungsereignissen entstehen, werden auf ca. US-\$ 23 000 pro Stunde

geschätzt [Br03]. Aus diesen Gründen lassen sich durch eine genaue Planung und effiziente Ausführung von Wartungsaufträgen Wettbewerbsvorteile erzielen.

Dieser Aufsatz untersucht den Einsatz von Technologien des Ubiquitous Computings (UbiComp) im Bereich der Flugzeugwartung. Er präsentiert ein Anwendungsszenario und eine Architektur, die dazu beitragen können, den MRO-Prozess effizienter zu gestalten. Die Lösung verwendet „smarte Assets“, wie sie in einem Konzept für das Management mobiler Assets in [LS03] vorgeschlagen wurden und ist ein Ergebnis praktischer Erfahrung, die in einem gemeinsamen Projekt mit der Flugzeug AG<sup>1</sup> und der Firma SAP SI AG gewonnen wurde. Während des Projekts wurden die Prototypen „smarter Werkzeugkasten“ und „smarte Werkzeugausleihe“ zum Nachweis der Machbarkeit implementiert.

Die Vision des UbiComp besteht in der nahtlosen Verknüpfung der physischen Welt mit Informationssystemen [We91, Ma01]. Technologien des UbiComp, wie die automatische Identifikation (Auto-ID), Sensornetzwerke, Lokalisierung und mobile Kommunikation ermöglichen smarte Objekte, die eine eindeutige Identifikationsnummer und einen Datenspeicher besitzen, kontextsensitiv sind und kommunizieren können [Fe03]. Smarte Objekte besitzen ein Potenzial für eine effizientere Gestaltung von Geschäftsprozessen und ermöglichen neuartige Produkte und Dienstleistungen [Fl01, SS02].

Bisher existieren wenige Forschungsergebnisse über industrielle Anwendungen von Technologien des UbiComp. Die Verwendung von „wearable“ Computern bei der Flugzeugwartung wurde in [OP98] untersucht. Die dort gezeigten Applikationen könnten in der selben Weise auch in Verbindung mit der in diesem Aufsatz vorgestellten Lösungsarchitektur verwendet werden. Darüber hinaus beschreibt dieser Aufsatz ein komplettes Anwendungsszenario, ähnlich dem Ansatz, der in [Ko02] für den Bereich Einzelhandel gewählt wurde. Zu weiteren Institutionen, die angewandte Forschung des UbiComps anhand von Prototypen betreiben, gehören Accenture, das Georgia Tech Institute, IBM und das Telecooperation Office (TeCo) in Karlsruhe.

Im Anschluss an die Einleitung beschreibt das zweite Kapitel die Schwachstellen des MRO-Prozesses der Flugzeug AG. Dabei wurde der Schwerpunkt auf das Werkzeugmanagement gelegt, das einen wesentlichen Einfluss auf die Effizienz des Gesamtprozesses hat. Kapitel drei zeigt ein Anwendungsszenario bei Verwendung von Technologien des UbiComps sowie eine entsprechende Systemarchitektur und betrachtet die Wirtschaftlichkeit des Systems. Abschließend fasst das vierte Kapitel die Herausforderungen bei der Einführung der Lösung zusammen und zeigt mögliche zukünftige Erweiterungen des Szenarios auf.

---

<sup>1</sup> Die Flugzeug AG (Name geändert) ist Anbieter von Wartungsdienstleistungen für Flugzeuge.

## 2 Der MRO-Prozess

Die nachfolgenden Abschnitte vermitteln einen Überblick über den MRO-Prozess der Flugzeug AG und identifizieren Schwachstellen im Bereich des Werkzeugmanagements.

### 2.1 Überblick

Der MRO-Prozess wird in einem Hangar durchgeführt (siehe Abb. 1). Hierbei benötigen die Mechaniker Zugriff auf verschiedene Dokumente. Alle Dokumentationen, die während der Durchführung zu erstellen sind, werden auf einem Schreibtisch aufbewahrt. Hier befindet sich auch ein PC, da einige Dokumente elektronisch erstellt werden. In der Nähe befinden sich weitere Regale, auf denen die ausgebauten Bauteile sowie Ersatzteile liegen. Ebenfalls an einer zentralen Stelle im Hangar werden die Handbücher der Hersteller (MRBs) aufbewahrt, die Wartungsvorschriften für die einzelnen Komponenten beschreiben. Während der Wartung sind meistens mehrere Mechaniker gleichzeitig an einem Flugzeug tätig. Jeder Mechaniker besitzt einen persönlichen Werkzeugkasten, der häufig benötigte Werkzeuge enthält. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, Spezialwerkzeuge bei einer Werkzeugausgabe auszuleihen.

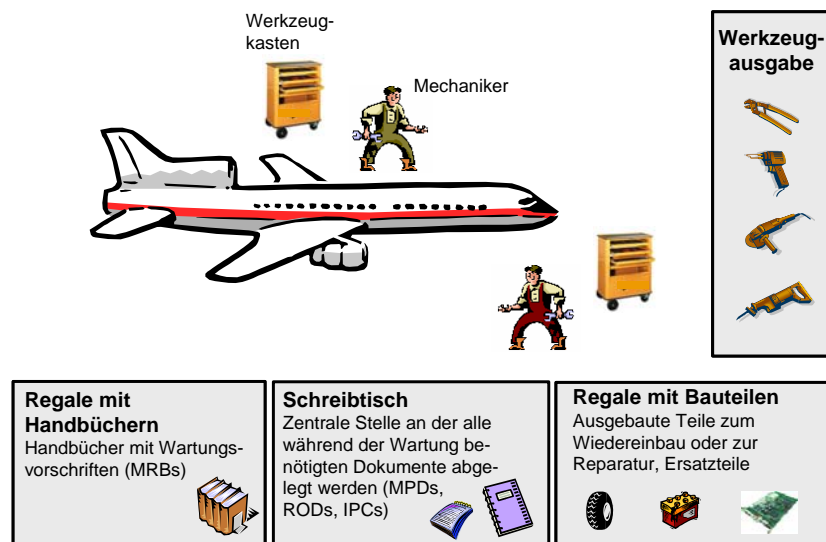


Abbildung 1: Layout des Wartungsarbeitsplatzes

Der MRO-Prozess umfasst die folgenden Schritte:

*Kundenauftrag und Planung.* Ein MRO-Prozess wird durch einen Kundenauftrag initiiert. Zu einem vereinbarten Termin wird das Flugzeug in den Hangar gebracht und die relevanten Dokumente (Logbücher) werden dem Service Center übergeben. Die Logbücher enthalten Informationen über Flugstunden, Betriebsstunden, Anzahl der Starts und Landungen, Gesamtzustand des Flugzeugs und seiner Bauteile sowie festgestellte Probleme. Mit diesen Informationen werden die MRO-Tätigkeiten geplant. Einige der verwendeten Daten werden elektronisch protokolliert, z.B. die Anzahl der Flugstunden, andere Angaben stammen von Piloten oder Eigentümern des Flugzeugs, z.B. Anzahl der Starts und Landungen sowie aufgetretene Probleme, oder wurden während des letzten MRO aufgenommen. Diese Daten können fehlerhaft sein, falls sie auf Schätzungen

beruhen oder absichtlich oder versehentlich falsch aufgenommen wurden. Die Planung wird im so genannten "Maintenance Planning Document"<sup>2</sup> (MPD) festgehalten, das die durchzuführenden Aufgaben und die zugehörigen Aktivitäten beschreibt.

*Beschaffung von Bauteilen und Werkzeugen.* Gemäß den Angaben im MPD werden die zu beschaffenden Teile und Werkzeuge bestimmt. Fehlende Bauteile können bei der Beschaffungsstelle mittels des Bauteilekatalogs (IPC) bestellt werden. Spezialwerkzeuge können bei der Werkzeugausgabe bestellt und ausgeliehen werden. Fehlende Teile, lange Lieferzeiten oder verlegte Werkzeuge verursachen Verzögerungen des MRO-Prozesses.

*Durchführung der MRO-Aktivitäten.* Die MRO-Aktivitäten werden gemäß der Reihenfolgeplanung des MPD durchgeführt. Fehler, die erst bei der Durchführung erkannt werden, führen dazu, dass das MPD erweitert und ggf. weitere Ersatzteile und Werkzeuge beschafft werden müssen. Die Mechaniker verwenden einen PC, um alle Aktivitäten, die sie ausführen, in den so genannten "Discrepancies Report" (ROD) aufzunehmen. Jedes Bauteil, das während der Wartung inspiziert, ersetzt oder repariert wird, muss eindeutig anhand seiner Seriennummer identifiziert und der Status des Teils beschrieben werden. Gesetzliche Vorschriften verlangen, dass die Mechaniker vor der Durchführung von Wartungen an einem Bauteil in den Handbüchern der Hersteller nachsehen. Manchmal vernachlässigen die Mechaniker diesen zeitintensiven Vorgang.

*Kontrolle und Auslieferung.* Nach der Durchführung aller Wartungsaktivitäten kontrolliert ein Inspektor das Ergebnis. Der Inspektor stellt ein so genanntes "Aircraft Certificate of Release to Service and Maintenance Statement" aus, das alle ausgeführten Wartungsaufgaben und Reparaturen sowie alle reparierten bzw. ersetzten Bauteile beschreibt. Abschließend wird das Flugzeug dem Kunden zurückgegeben.

---

<sup>2</sup> In diesem Aufsatz werden englische Spezialbegriffe verwendet, wenn keine gängigen deutschen Übersetzungen existieren.

Einige Schwächen des MRO-Prozesses können sich auf die Qualität des Ergebnisses oder den Zeitpunkt der Auslieferung auswirken: Es wird geschätzt, dass Mechaniker durchschnittlich 15-20 % ihrer Zeit mit der Suche nach Dokumenten oder Werkzeugen verbringen [Me99]. Manuell zu erstellende Dokumente sind für den Mechaniker eine aufwendige Arbeit, die ihn von der Durchführung von Wartungsaktivitäten abhält. Hierbei aufgetretene Fehler können bei der Planung nachfolgender MRO-Aufgaben zu Problemen führen. Falls die Mechaniker vergessen, die Handbücher der Hersteller auf aktuelle Änderungen zu überprüfen, kann dies ebenso zu Fehlern führen, die die Sicherheit des Flugzeugs beeinträchtigen. Folgender Abschnitt beschreibt die Schwächen des Werkzeugmanagements, das wesentliche Auswirkungen auf die Effizienz des gesamten MRO-Prozesses besitzt.

## 2.2 Werkzeugmanagement

Die zur Durchführung des MRO-Prozesses benötigten Werkzeuge besitzen die Mechaniker in ihren persönlichen Werkzeugkästen oder können sie bei der Werkzeugausgabe ausleihen. Jeder Mechaniker ist für seine Werkzeuge verantwortlich. Er muss sie bei Verlust ersetzen und falls er ein Werkzeug im Flugzeug liegen lässt, muss er mit Sanktionen rechnen. Die folgenden vier Aufgaben müssen die Mechaniker bezüglich des Werkzeugkastens manuell ausführen:

*Markierung.* Um die Werkzeuge einem Mechaniker eindeutig zuordnen zu können, ist auf jedem Werkzeug eine Personalnummer eingraviert. Die Gravur wird von den Mechanikern angebracht. Für einen Werkzeugkasten dauert das ca. zwei Tage.

*Routinemäßige Vollständigkeitskontrolle.* Nach jeder Reparatur ist der Mechaniker verpflichtet, den Werkzeugkasten auf Vollständigkeit zu überprüfen. Auf diese Weise soll vermieden werden, dass Werkzeuge im Flugzeug zurückbleiben.

*Gründliche Vollständigkeitskontrolle.* Einmal pro Woche muss jeder Mechaniker mit einem Kollegen nach dem Vier-Augen-Prinzip neben der Vollständigkeit auch überprüfen, ob die richtigen Werkzeuge enthalten sind. Der Vorgang ist auf einem Kontrollblatt zu dokumentieren und dauert ca. eine Stunde pro Werkzeugkasten.

*Werkzeugsuche.* Falls nach der Reparatur ein Werkzeug in einem Werkzeugkasten fehlt, muss dieses sofort gesucht werden. Bis zur Auffindung müssen alle Flugzeuge, an denen der entsprechende Mechaniker gearbeitet hat, im Hangar bleiben.

Die Werkzeugausgabe wird durch einen Werkzeugmeister bedient. Die Werkzeugdaten werden mittels einer Excel-Tabelle verwaltet. Vier Aufgaben lassen sich im Zusammenhang mit der Werkzeugausgabe identifizieren:

*Ausleihe.* Ein Mechaniker darf maximal 10 Werkzeuge gleichzeitig ausgeliehen haben. Zu diesem Zweck besitzt er 10 mit seiner Personalnummer versehenen Metallmünzen,

die er im Austausch gegen Werkzeuge abgibt. Der Werkzeugmeister legt die Metallmünzen in die Aufbewahrungsfächer der ausgeliehenen Werkzeuge.

*Rückgabe.* Der Mechaniker gibt die Werkzeuge dem Werkzeugmeister im Austausch gegen seine Münzen zurück. Dieser kontrolliert den Zustand der Werkzeuge augenscheinlich und entscheidet, ob die Werkzeuge gewartet werden müssen.

*Werkzeugsuche.* Manchmal wollen Mechaniker wissen, welche Werkzeuge sie ausgeliehen haben. Für die Suche nach Münzen des betreffenden Mechanikers in den Regalen benötigt der Werkzeugmeister bis zu drei Stunden

Die Schwachstellen dieser Prozesse lassen sich zusammenfassend durch fehlende Dokumentationen und menschliche Fehler begründen. Dies führt zu Suchaktionen, falsch abgelegten Werkzeugen oder Metallmünzen, vertauschten Werkzeugen und vergessenen Kontrollen. Abgenutzte Werkzeuge, die aufgrund mangelnder Überwachung des Zustandes nicht ausgetauscht wurden, stellen ein Sicherheitsrisiko dar. Falls durch eines der vorangehend genannten Ereignisse die Auslieferung des Flugzeuges verzögert wird, führt dies zu hohen Konventionalstrafen.

### **3 Anwendungsszenario und Lösungsarchitektur**

Das in diesem Abschnitt dargestellte Szenario beschreibt aus Sicht des Mechanikers die Durchführung des MRO-Prozesses mit Unterstützung von Ubicomp-Technologien. Mit der anschliessend vorgeschlagenen Systemarchitektur kann eine solche Lösung umgesetzt werden. Der smarte Werkzeugkasten und die smarte Werkzeugausleihe werden als Prototypen vorgestellt und der wirtschaftliche Nutzen der Lösung bewertet.

#### **3.1 Szenario des MRO-Prozesses mit Anwendung von Ubicomp-Technologien**

Das folgende Szenario verbindet die Anwendung von Technologien des UbiComps mit der Anwendung klassischer IT-Systeme. Bei diesem Szenario besitzt jeder Mechaniker einen persönlichen tragbaren Computer, das so genannte „Pervasive Device“ (PD), welches für den Mechaniker als Benutzerschnittstelle zu allen Applikationen dient, die er zur Durchführung von MRO-Aufgaben benötigt. Hierbei könnte es sich bspw. um einen persönlichen digitalen Assistenten (PDA) handeln, der mit Spracherkennung, Auto-ID und Mobilkommunikation ausgestattet ist. Ebenso könnte auch jeder andere tragbare Computer verwendet werden, z.B. Datenbrillen.

Zu Beginn des MRO-Prozesses informiert das PD den Mechaniker über die auszuführenden Aufgaben und die benötigten Teile und Werkzeuge. Nachdem der

Mechaniker die Anweisungen geprüft und die Annahme des Auftrags bestätigt hat, holt er sich die benötigten Spezialwerkzeuge aus der Werkzeugausgabe. Da die Werkzeuge schon durch das System automatisch reserviert wurden, braucht der Mechaniker diese nur noch abzuholen, wobei er durch sein PD identifiziert wird. Danach holt er die auf den Regalen bereit liegenden Teile. Durch Vorbeiführen des PD an den Teilen, kann der Mechaniker diese eindeutig identifizieren und das System stellt sicher, dass er die richtigen Teile nimmt.

Bei der Durchführung von Wartungsaufgaben führt ihn sein PD durch den Prozess, indem es alle notwendigen Aktivitäten auflistet. Ebenso zeigt es die benötigten Kapitel der Wartungshandbücher an. Um zu überprüfen, dass diese Informationen tatsächlich gelesen wurden, verlangt das PD eine Bestätigung entweder durch das Drücken eines Knopfes oder mittels Sprachkommando. Bei jeder Aktivität verwendet der Mechaniker das PD zur Identifikation der entsprechenden Bauteile und kann Wartungshistorien oder Statusreports abrufen. Die Aktualisierung der Wartungshistorie erfolgt automatisch gemäss den durchgeführten Aktivitäten bzw. wird durch Spracheingaben des Mechanikers ergänzt. Diese Informationen werden auch zeitgleich in den ROD aufgenommen.

Nach Erledigung eines MRO-Auftrags bestätigt der Mechaniker dies mit dem PD, wodurch automatisch der Inspektor benachrichtigt wird. Anhand des RODs kontrolliert er das Ergebnis. Nachdem er die ordnungsgemässe Ausführung aller Wartungsaufgaben bestätigt hat, wird durch das System das "Aircraft Certificate of Release to Service and Maintenance Statement" erstellt und mit der digitalen Signatur des Inspektors versehen. Das PD erinnert den Mechaniker, alle Werkzeuge in den Werkzeugkasten zurückzulegen bzw. bei der Werkzeugausgabe abzugeben. Falls ein Mechaniker ein falsches Werkzeug in seinen Werkzeugkasten legt, wird er durch das PD sofort auf den Irrtum hingewiesen.

### **3.2 Systemarchitektur**

Die für das Wartungsszenario vorgeschlagene Lösungsarchitektur (siehe Abb. 2) unterscheidet zwischen Komponenten der realen Welt, zu denen die smarten Objekte und Geräte gehören, und den IT-Systemen der digitalen Welt, bei der die Architektur drei Schichten verwendet: die Ubicomp-Infrastruktur, ERP-Systeme und MRO-Applikationen. Diese drei Schichten nutzen eine zentrale Datenbank. Die wesentliche Leistung der Architektur ist die Integration der IT-Anwendungen mit den physischen Objekten.

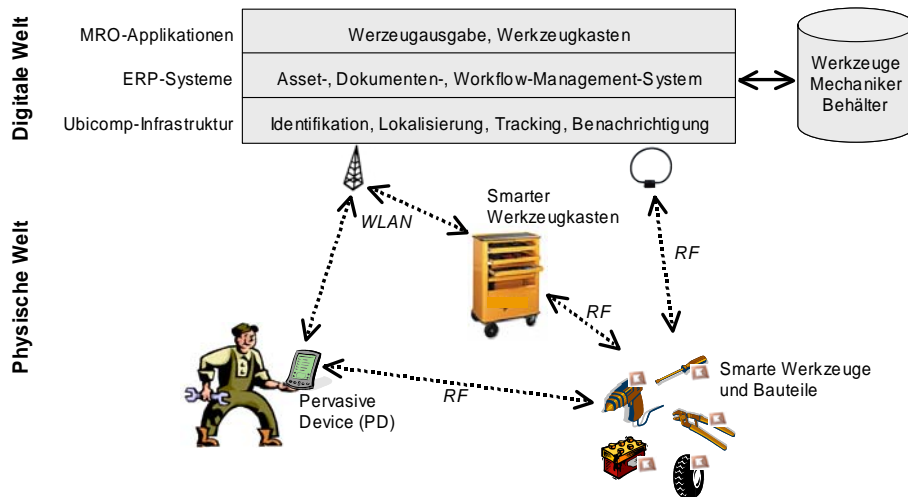


Abbildung 2 Ubicomp Architektur für MRO in der Flugzeugwartung

### 3.2.1 Smarte Objekte und Geräte

Durch die Verwendung von Technologien zur automatischen Identifikation, zur mobilen Kommunikation sowie Sensoren und Datenspeichern, können beliebige physische Objekte smart gemacht werden [GSB00]. Solche smarten Objekte sind in der Lage untereinander zu kommunizieren bzw. können über eine Infrastruktur mit verschiedenen Anwendungssystemen verbunden werden. Werkzeuge, Bauteile und Werkzeugkästen können somit smart werden. Der smarte Werkzeugkasten ist z.B. in der Lage automatisch seinen Inhalt zu ermitteln und seinen Zustand dem Mechaniker mitzuteilen. Eine besondere Rolle spielt hierbei die automatische Identifikation, die z.B. durch Verwendung der Radio Frequency Identification (RFID)-Technologie realisiert werden kann [Wa99].

Der Mechaniker integriert sich durch seinen persönlichen tragbaren Computer, das PD, in die Ubicomp-Umgebung. Es erlaubt ihm, mit den smarten Objekten zu kommunizieren, auf Informationen aus der Datenbank zuzugreifen, z.B. auf die Handbücher, und weitere Applikationen zu nutzen. Auf diese Weise kann er bspw. Werkzeuge bei der Werkzeugausgabe reservieren, sich bei Wartungsaktivitäten anleiten lassen oder er wird vom System über die für ihn relevanten Ereignisse informiert.

Das PD kann ein beliebiger tragbarer Computer sein, der die folgenden Voraussetzungen erfüllt: (a) Das PD muss eine drahtlose Verbindung zur Ubicomp-Infrastruktur herstellen können, (b) es benötigt ein gewisses Maß an Rechenkapazität, um eigenständig Anwendungen ausführen zu können, (c) es muss eine Benutzerschnittstelle besitzen, die



es erlaubt, dem Mechaniker Informationen mitzuteilen und es muss als Eingabemedium verwendbar sein, (d) das PD muss in der Lage sein, smarte Objekte zu identifizieren und (e) die Bedienbarkeit muss an die Verwendung beim MRO-Prozess angepasst sein, z.B. durch Optimierung von Größe, Gewicht oder Energieverbrauch.

### 3.2.2 UbiComp-Infrastruktur

Die *UbiComp-Infrastruktur* bildet den Kern der Lösungsarchitektur, der die Verbindung zwischen digitaler und physischer Welt ermöglicht. Sie stellt mehrere Dienste für darüberliegende Anwendungen zur Verfügung: (a) Identifikation, (b) Tracking, (c) Lokalisierung, (d) Benachrichtigungen der Mechaniker über ihre PDs. Auto-ID-Sensoren in der physischen Welt ermöglichen die Dienste (a) bis (c). Die Umsetzung kann mittels RFID erfolgen, indem RFID-Chips an Werkzeugen und Bauteilen angebracht werden, die durch eine Infrastruktur von RFID-Lesegeräten erfasst werden. Der Zustand eines smarten Objekts wird in der UbiComp-Infrastruktur gespeichert und bei Bedarf an das Asset-Management-System weitergeleitet. Die UbiComp-Infrastruktur übernimmt außerdem die Kommunikation zwischen smarten Objekten und Mechanikern oder Anwendungen, d.h. die Kommunikation geht nicht vom smarten Objekt aus, sondern wird von der UbiComp-Infrastruktur anhand von vordefinierten Geschäftsregeln initiiert. Um den Dienst (d) sicherzustellen ist eine drahtlose Kommunikationsinfrastruktur wie z.B. Wireless LAN (WLAN) nötig.

In der aktuellen Forschung gibt es einige UbiComp-Infrastrukturen, die in der vorgeschlagenen Lösungsarchitektur benutzt werden könnten [Go03, Dü03, FKV00, Ku03]. Im Rahmen ihres Forschungsprogramms verfolgen die Autoren die Implementierung der Lösungsarchitektur mit der UbiComp-Infrastruktur, die in [Dü03] vorgestellt wird. Hierbei werden smarte Objekte als virtuelle Gegenstücke zu den realen, physischen Objekten modelliert. Die virtuellen Gegenstücke stellen Dienste für den Zugriff auf die physischen Objekte und deren gespeicherte Zustandsinformation zur Verfügung.

### 3.2.3 ERP-Systeme

Die Schicht der *ERP-Systeme* umfasst Asset-, Dokumenten- und Workflow-Management-Systemen. Das Asset-Management-System erlaubt den Zugriff auf alle Informationen über die physischen Objekte wie Werkzeugkästen, Werkzeuge oder Bauteile. Das Dokumenten-Management-System speichert die elektronischen Versionen der MRPs und sonstiger Formulare oder Dokumente, die im MRO-Prozess benötigt werden. Das Workflow-Management-System verwaltet den MRO-Prozess und steuert den Ablauf der Arbeitsaufgaben und -aktivitäten. Es leitet den Mechaniker bei der Durchführung von Wartungsaufgaben an. Ebenso veranlasst das System die Reservierung von Werkzeugen und die Beschaffung von Ersatzteilen

### 3.2.4 MRO-Applikationen

Die Werkzeugverwaltung wird durch zwei *MRO-Applikationen* unterstützt, die smarte Assets verwenden: Der smarte Werkzeugkasten und die smarte Werkzeugausgabe, welche die Ubicomp-Infrastruktur nutzen und mit dem ERP-System verbunden sind.

Der *smarte Werkzeugkasten* übernimmt die Aufgabe der Vollständigkeitskontrolle und benachrichtigt den Mechaniker, falls Werkzeuge fehlen, falsch abgelegt wurden oder wenn diese ausgetauscht oder gewartet werden sollen. Die Applikation arbeitet weitgehend autonom, kann aber auch mit der Ubicomp-Infrastruktur mittels WLAN kommunizieren, z.B. um Reports über Kontrollen oder Werkzeugstati zu senden. Zur automatischen Überwachung des Inhalts wird die RFID-Technologie verwendet. Außerdem protokolliert die Applikation die Nutzungshäufigkeit der Werkzeuge anhand der Häufigkeiten mit denen Werkzeuge entnommen und zurückgelegt werden. Diese Daten werden an die Ubicomp-Infrastruktur gesendet und im Werkzeugmanagementsystem ausgewertet.

Der smarte Werkzeugkasten integriert sich nahtlos in den MRO-Prozess. D.h. die Art und Weise wie der Mechaniker den Werkzeugkasten bzw. die Werkzeuge verwendet ändert sich nicht. Die Applikation entlastet den Mechaniker von aufwendigen Kontrollen und benachrichtigt ihn nur beim Auftreten von Fehlern. Im Rahmen des Projektes bei der Flugzeug AG wurde der smarte Werkzeugkasten prototypisch implementiert. Hierbei wurde die passive RFID-Technologie verwendet, die mit kleinen kostengünstigen RFID-Chips eine für die Identifikation innerhalb des Werkzeugkastens ausreichende Reichweite erzielt. Zu diesem Zweck wurden an den Werkzeugen eines Werkzeugkastens RFID-Chips angebracht und der Werkzeugkasten mit einem RFID-Lesegerät und einer Antenne ausgerüstet. Auf die RFID-Chips wurde die Seriennummer des betreffenden Werkzeugs zusammen mit der Seriennummer des zugehörigen Werkzeugkastens gespeichert.

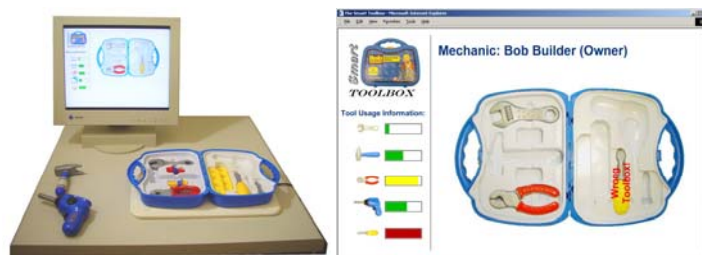


Abbildung 3: Aufbau und Screenshot des Demonstrators zum smarten Werkzeugkasten

Der in Abb. 3 dargestellte Demonstrator visualisiert den Status des Werkzeugkastens. Fehlende Werkzeugen werden durch leeren Fächer angezeigt und falsch einsortierte Werkzeuge speziell markiert. Bei der Implementierung wurden verschiedene Probleme

identifiziert: (a) Da die meisten Werkzeuge aus Metall sind, werden spezielle RFID-Systemkomponenten benötigt (z.B. ferritbeschichtete RFID-Chips, niedrige Übertragungsfrequenz). (b) Da der Werkzeugkasten aus Metall ist, müssen die Antennen innerhalb installiert werden. (c) Bei einigen Werkzeugen konnten aufgrund der geringen Größe keine RFID-Chips angebracht werden, ohne beim Einsatz des Werkzeugs zu stören.

Die *smarte Werkzeugausgabe* ermöglicht eine automatisierte Ausleihe und Rückgabe von Werkzeugen. Wie beim smarten Werkzeugkasten werden die Werkzeuge mittels RFID-Technologie identifiziert. Die Werkzeuge werden mittels des PDs angefordert und automatisch an die Ausgabestelle befördert. Der Mechaniker wird mittels seines PDs identifiziert. Durch die Vorausplanung von Wartungsaufträgen ist an der Werkzeugausgabe meist schon vorher bekannt, welche Werkzeuge benötigt werden. In diesem Fall werden die reservierten Werkzeuge zum entsprechenden Termin bereitgelegt.

Zur Rückgabe werden die Werkzeuge in eine Rückgabebox gelegt und dann automatisch an der richtigen Stelle eingelagert. Die Suche nach Werkzeugen ist bei dieser Applikation nicht mehr notwendig. Der Mechaniker kann den Ausleihstatus von Werkzeugen mittels seines PDs abfragen. Die smarte Werkzeugausgabe verwendet die Ubicomp-Infrastruktur, um Mechaniker und Werkzeuge zu identifizieren, Anfragen nach Werkzeugen entgegenzunehmen und Nachrichten an Mechaniker zu schicken.

Der Prototyp der smarten Werkzeugausgabe ist der erste Schritt zu einer vollständig automatisierten Lösung. Momentan wird die Ausgabe durch einen Werkzeugmeister bedient. Ein RFID-Lesegerät mit einer Antenne befindet sich am Ausgabeschalter (siehe Nr. 1 in Abb. 4), um die Werkzeuge, die über den Schalter geschoben werden, eindeutig zu identifizieren. Die weiteren Verarbeitungsschritte werden dann durch das System veranlasst. Für jedes Werkzeug wird der Ausleihstatus überprüft. Bei ausgeliehenen Werkzeugen wird der Rückgabeprozess initiiert, andernfalls der Ausleihprozess. Die Aktionen des Systems werden auf einem Bildschirm visualisiert (siehe Nr.2 in Abb. 4).

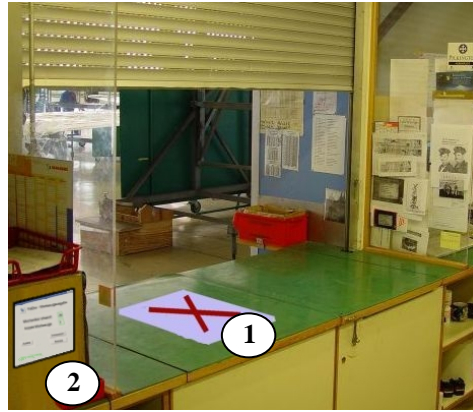


Abbildung 4: Smarte Werkzeugausgabe mit RFID-Antenne (Nr.1) und Bildschirm (Nr.2)

Die Anwendung besteht aus drei Teilen: (a) der Auto-ID-Infrastruktur, welche die Identifikation von Mechanikern und Werkzeugen ermöglicht, (b) der Client-Applikation, welche die Identifikationsereignisse verarbeitet und die Ausleihe bzw. Rückgabe steuert sowie (c) der Web-Applikation, die den Status von Werkzeugen bereit stellt. Die Client-Applikation ist über das Internet mit dem Werkzeugmanagementsystem verbunden. Bei diesem Prototypen wurde das Werkzeugmanagementsystem auf einem SAP Web Application Server implementiert und die Verbindung mittels des SAP Business Connectors hergestellt, bei dem Daten in Form von XML-Nachrichten übertragen werden.

### 3.3 Wirtschaftlicher Nutzen

Das in Abschnitt 3.1. dargestellte Anwendungsszenario beschreibt einen im Vergleich zur Ausgangssituation wesentlich effizienteren MRO-Prozess. Ein wirtschaftlicher Nutzen kann für die Flugzeug AG aus folgenden Vorteilen resultieren:

**Vermeidung von Verzögerungen.** Sorgfältige Planung unter Berücksichtigung der verfügbaren Ressourcen trägt dazu bei, Verzögerungen während des MRO-Prozesses zu vermeiden. Werkzeuge und Bauteile werden vorbereitet und müssen nicht erst dann beschafft werden, wenn sie benötigt werden. Suchaktionen können entfallen. Durch eine regelmässige Wartung von Werkzeugen werden Schäden durch schadhafte Werkzeuge vermieden. Insgesamt gesehen wird der MRO-Prozess beschleunigt und das Risiko für ungeplante Wartungszeiten minimiert.

**Vermeidung von menschlichen Fehlern.** Menschliche Fehler werden durch die Anleitung des Mechanikers mittels des PD verhindert. Dieses Gerät stellt sicher, dass die richtigen Aktivitäten ausgeführt, die richtigen Bauteile und Werkzeuge verwendet sowie

keine Werkzeuge an die falsche Stelle gelegt werden. Insgesamt führt dies zu einer höheren Qualität und Sicherheit des MRO-Prozesses.

**Automatisierte Dokumentation.** Arbeitsschritte, die Verwendung von Werkzeugen sowie Vollständigkeitskontrollen werden automatisch dokumentiert. Hierdurch werden die Korrektheit und Vollständigkeit der Dokumentation und damit auch die Einhaltung der gesetzlichen Vorschriften sichergestellt und zeitaufwendige manuelle Tätigkeiten vermieden. Zusätzlich dient die Dokumentation als zuverlässige Planungsgrundlage folgender MRO-Tätigkeiten.

**Effizienter Einsatz von Ressourcen.** Der Einsatz von Mitarbeitern, Bauteilen und Werkzeugen wird geplant und überwacht. Dies trägt zur Minimierung unproduktiver Tätigkeiten wie Suchaktionen und Wartezeiten bei. Da die Verwendung von Werkzeugen überwacht wird und Werkzeuge unmittelbar nach dem Gebrauch wieder bei der Werkzeugausgabe zurückgegeben werden, kann der Werkzeugbestand optimiert werden. Kosten für selten eingesetzte Werkzeuge werden eingespart.

**Benutzerfreundlichkeit.** Das eingesetzte Anwendungssystem unterstützt den MRO-Prozess im Hintergrund. D.h. der Mechaniker kann sich auf die MRO-Tätigkeiten konzentrieren, während verschiedene Systeme zusammenarbeiten, um Aufgaben wie die Dokumentation, das Werkzeugmanagement oder die Teilebeschaffung zu erleichtern. Das PD ist ein intuitiv zu bedienendes multifunktionales Gerät, das der Mechaniker immer bei sich hat, und das ihn bei allen Tätigkeiten unterstützt.

Zur quantitativen Bestimmung des wirtschaftlichen Nutzens werden nachfolgend unter Zuhilfenahme von Annahmen die quantifizierbaren Nutzenpotenzialen den Kosten für Implementierung und Betrieb gegenübergestellt.

### 3.3.1 Kosten-Nutzen Analyse des smarten Werkzeugkastens

Die Nutzenpotenziale des smarten Werkzeugkastens bestehen in der Beschleunigung und Sicherstellung der Kontrollen, in der Vermeidung von Suchaktionen nach Werkzeugen, die sich nach Abschluss einer Reparatur nicht im Werkzeugkasten befinden, sowie in der Einsparung der manuellen Markierung. Diese Nutzenpotenziale lassen sich mit Hilfe von Annahmen quantifizieren:

- Die Arbeitsstunde eines Mechanikers kostet 70 Euro.
- Die Werkzeugkästen müssen am Anfang und dann alle 1,5 Jahre markiert werden. Nach 6 Jahren wird ein Werkzeugkasten ersetzt. Die Markierung dauert 2 Manntage (16 Stunden), das entspricht bei 60 Werkzeugkästen einem Arbeitsaufwand von ca. 640 Stunden (44 800 Euro) pro Jahr.
- Die wöchentliche gründliche Kontrolle dauert für zwei Mechaniker je eine Stunde pro Werkzeugkasten. Bei insgesamt 60 Werkzeugkästen und 46 Arbeitswochen im Jahr ergibt sich ein jährlicher Aufwand von 5 520 Stunden (386 800 Euro).

- Pro Jahr können 3 Stunden an ungeplanter Wartungszeit bei Passagierflugzeugen verhindert werden. Hierdurch werden dem Kunden Opportunitätskosten in Höhe von 69 000 Euro erspart.

Folgenden Kosten werden für die Verwendung des RFID-Systems angenommen:

- Die Abschreibungsfrist beträgt 6 Jahre.
- Die RFID-Kennzeichnung wird von den Herstellern zu einem Preis von durchschnittlich 1 Euro pro Werkzeug (Kosten für den Chip und die Anbringung) durchgeführt. Die Ausstattung eines Werkzeugkastens mit einem Lesegerät und Antennen kostet 2 000 Euro. Für 60 Werkzeugkästen entstehen Kosten von 21 500 Euro.
- Vier Schreib-Lesestation zur Auswertung der Werkzeugdaten, die pro Stück 1 500 Eurokosten. Dies entspricht jährlichen Kosten von 1 000 Euro.
- Der Wartungsaufwand der Installation wird mit ca. 150 Arbeitsstunden jährlich geschätzt. Dies verursacht Kosten in Höhe von 10 500 Euro.

Unter den getroffenen Annahmen betragen die jährlichen Kosten 33 000 Euro, denen ein theoretisches Nutzenpotenzial von 500 600 Euro gegenübersteht. Noch nicht berücksichtigt sind hierbei schwer quantifizierbare Nutzenpotentiale wie die höhere Sicherheit sowie der bessere Kundenservice. Andererseits kann dieser Nutzen nur dann erzielt werden, wenn die Einsparungen der Arbeitszeiten für die Kontrolle auch tatsächlich zu einer Reduktion bezahlter Arbeitsstunden führen. Es erscheint wenig realistisch, dass durch den Wegfall der Kontrollen insgesamt tatsächlich weniger Mechaniker benötigt werden. Wahrscheinlicher ist, dass die Mechaniker in dieser Zeit für die Durchführung von MRO-Aktivitäten zur Verfügung stehen.

### **3.3.2 Kosten-Nutzen-Analyse der smarten Werkzeugausleihe**

Die Nutzenpotenziale der smarten Werkzeugausleihe bestehen in der Vermeidung von Suchaktionen nach Werkzeugen, einer effizienteren Nutzung der Werkzeuge und der Sicherstellung rechtzeitiger Instandsetzung bzw. Ersatzes. In Ergänzung zu den Annahmen aus dem vorangegangenen Abschnitt gilt:

- Die Arbeitsstunde des Werkzeugmeisters kostet 70 Euro.
- Pro Woche müssen drei Stunden nach Werkzeugen gesucht werden. Das entspricht einem jährlichen Arbeitsaufwand von 52 Stunden (3 640 Euro).
- Der Bestand an Werkzeugen kann um 5 % gesenkt werden. Bei einem durchschnittlichen Wert eines Werkzeugs von 10 Euro und einem Werkzeugbestand von 1 200, entspricht dies jährlichen Einsparungen in Höhe von 100 Euro.
- Dadurch, dass stets die richtigen Werkzeuge in gutem Zustand verfügbar sind, kann jährlich eine Stunde ungeplanter Wartungszeit bei Passagierflugzeugen verhindert werden. Hierdurch Opportunitätskosten in Höhe von 23 000 Euro gespart.

Folgende Annahmen gelten für die Kosten der smarten Werkzeugausgabe:

- Die Abschreibungsfrist beträgt 6 Jahre.
- Die RFID-Kennzeichnung wird durch die Hersteller zu einem Preis von durchschnittlich 1 Euro pro Werkzeug durchgeführt. Das Lesegerät und die Antenne für die Werkzeugausgabe kosten 2 000 Euro. Das ergeben bei 1 200 Werkzeugen jährliche Kosten in Höhe von 535 Euro.
- Der Wartungsaufwand der Installation wird auf ca. 50 Arbeitsstunden jährlich geschätzt, was Kosten in Höhe von 3 500 Euro verursacht.

Unter den getroffenen Annahmen betragen die jährlichen Kosten ca. 4 035 Euro. Diesen steht ein theoretisches Nutzenpotenzial von ca. 30 000 Euro gegenüber. Genauso wie für den smarte Werkzeugkasten wurden auch hier die schwer quantifizierbaren Nutzenpotenziale nicht berücksichtigt und es ist nicht sicher, ob die eingesparten Arbeitsstunden in gleicher Höhe zu Einsparungen bei den Kosten führen.

## 4 Zusammenfassung und Ausblick

Das in diesem Aufsatz vorgestellte Anwendungsszenario zeigt, dass der Einsatz von Technologien des Ubicomps zur Unterstützung des MRO-Prozesses in der Flugzeugwartung sinnvoll ist. Die vorgeschlagene „smarte“ Lösung stellt sicher, dass die Regeln bzgl. Sicherheit und Qualität eingehalten, der Prozess effizient ausgeführt und Ressourcen effizient eingesetzt werden. Sie trägt auch dazu bei, dass die Dauer ungeplanter Wartungen minimiert wird. Hierbei agiert die Technologie im Hintergrund. Mobile Geräte und smarte Objekte werden mittels einer ubiquitären Infrastruktur auch mit klassischen ERP-Systemen verbunden. In der vorgestellten Lösung dient ein mobiles Gerät als multifunktionale Benutzerschnittstelle zum System.

Der Aufsatz hat sowohl die technische Machbarkeit als auch den wirtschaftlichen Nutzen der vorgestellten Lösungen gezeigt. Dennoch existieren einige Herausforderungen technischer sowie organisatorischer Art, die für eine Ausrollung der Lösung zu überwinden sind:

(a) Die Leistung passiver RFID-Systeme wird in metallischem Umfeld stark eingeschränkt. Allerdings lässt sich durch die Verwendung spezieller mit Ferrit beschichteter RFID-Chips und bei niedriger Frequenz eine funktionierende Lösung implementieren. Hierbei zeigt sich, dass beim Erstellen von Lösungen mit Technologien des Ubicomps zusätzlich zu IT-Kenntnissen auch Ingenieurkenntnisse notwendig sind. Im konkreten Fall betrifft das die Integration der RFID-Chips in die Werkzeuge und die Einstellung der Antennen.

(b) Für Infrastrukturen des Ubicomps haben sich noch keine Standards zur Integration von Auto-ID-Technologien oder die Modellierung von smarten Objekten durchgesetzt.

Aus diesem Grund benötigt die in diesem Aufsatz vorgeschlagene Lösung einen zusätzlichen Integrationsaufwand.

(c) Das in diesem Aufsatz vorgestellte Szenario findet im abgeschlossenen Bereich der Flugzeug AG statt. Eine wesentliche Voraussetzung für die Wirtschaftlichkeit der Anwendung sind Standards zur Produktidentifikation [KH02]. Hierzu müssten bei der vorgestellten Lösung die RFID-Chips schon durch die Hersteller der Bauteile bzw. Werkzeuge angebracht werden. Diese Voraussetzung könnte durch die Auto-ID-Infrastruktur geschaffen werden, die gerade durch das Auto-ID Center am MIT entwickelt wird. Dieses Konzept beinhaltet nicht nur ein Nummerierungsschema, den sogenannten Electronic Product Code (EPC), sondern umfasst auch technische Spezifikationen, z.B. die Spezifikationen von RFID-Chips, RFID-Lesegeräten und der Datenkommunikation sowie Aspekte des Datenmanagements und der der Middleware, z.B. die sog. Physical Markup Language (PML) und die Software Savant. Durch die Verwendung einer standardisierten Infrastruktur könnte das vorgestellte Szenario auf die gesamte Wertkette in der Flugzeugindustrie ausgeweitet werden, die Zulieferer, Hersteller und Dienstleistungsunternehmen umfasst.

Der Aufsatz konkretisiert das in [LS03] vorgeschlagene Konzept der Verwendung smarterer Assets zum Management beweglicher Güter durch ein Anwendungsszenario und eine Systemarchitektur. Die Identifikation weiterer Anwendungsfälle, die von einer Ubi-comp-Infrastruktur und entsprechender Basisfunktionen für das Asset Management profitieren könnten, sollte weiter fortgesetzt werden. Hierbei sollten auch weitere innovative Anwendungssysteme zum Management beweglicher Assets in die Untersuchung einbezogen werden. Beispielsweise hat SAP kürzlich die Anwendung SAP Mobile Asset Management auf den Markt gebracht, die den Einsatz mobiler Geräte für ein effizientes Management hochwertiger und mobiler Gebrauchsgüter unterstützt.

## 4 Literatur

- [ATA03] Air Transport Association iSpec 2200: Maintenance Standards for Aviation Maintenance. [www.air-transport.org/public/publications/display1.asp?nid=956](http://www.air-transport.org/public/publications/display1.asp?nid=956), Abruf am 15.10.03.
- [Br03] Brown, P.: Companies get creative in their Inventory Management Solution. Aviation Now. [www.aviationnow.com](http://www.aviationnow.com). Abruf am 15.10.03.
- [Dü03] Dübendorfer, T.; Mattern, F.; Römer, K.; Schoch, T.: Smart Identification Frameworks for Ubiquitous Computing Applications. In: Proceedings of PerCom 2003, 2003, S. 253-264.
- [Fe03] Ferguson, G.T.: Have Your Objects Call my Objects. In: Harvard Business Review (2003) Nr. 6, S. 138-143.
- [FKV00] Fritsch, D.; Klinec, D.; Volz, S.: NEXUS – Positioning and Data Management Concepts for Location Aware Applications. In: Proc. of the 2nd International Symposium on



- Telegeoprocessing, Nice-Sophia-Antipolis, France, 2000, S. 171-184.  
www.ifp.uni-stuttgart.de/publications/2000/Klinec\_TeleGeo2000.pdf, Abruf am 15.10.03.
- [Fl01] Fleisch, E.: Business Perspective on Ubiquitous Computing. M-Lab working paper No. 4, Universität St. Gallen, 2001.
- [Go03] Goyal, A.: The Savant – Technical Manual. Massachusetts. MIT Auto-ID Center Massachusetts Institute of Technology, 2003. www.autoidcenter.org/publishedresearch/mit-autoid-tr015.pdf, Abruf am 24.10.03.
- [GSB00] Gellersen, H.-W.; Schmidt, A.; Beigl, M.: Adding Some Smartness to Devices and Everyday Things. IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications, Monterey, USA, IEEE Press 2000, S. 3-10.
- [IBM03] IBM: Pervasive Computing. researchweb.watson.ibm.com/thinksearch/pervasive.shtml, Abruf am 15.10.03.
- [KH02] Kärkkäinen, M.; Holström, J.: Wireless product identification: enabler for handling efficiency, customization and information sharing. In: Supply Chain Management (2002) Nr. 4, S. 242-252.
- [Ko02] Kourouthanasis, P. et al.: Intelligent cokes and diapers: MyGrocer ubiquitous computing environment. In: First International Mobile Business Conference, 2002, S. 150-172.  
www.dmst.aueb.gr/dds/pubs/conf/2002-MBus-MyGrocer/html/paper.pdf, Abruf am 15.10.03.
- [Ku03] Kubach, U.: Integration von Smart Items in Enterprise-Software-Systeme. In: HMD – Praxis der Wirtschaftsinformatik (2003) Heft 229, S. 56-67.
- [LS03] Lampe, M.; Strassner, M.: The Potential of RFID for Moveable Asset Management. Workshop on Ubiquitous Commerce, UbiComp 2003, Seattle, 2003.  
www.m-lab.ch/pubs/lampe\_strassner.pdf, Abruf am 15.10.03.
- [Ma01] Mattern, F.: The Vision and Foundations of Ubiquitous Computing. In: Upgrade (2001) Nr. 5, S. 2-6.
- [Me99] Meham, M.: Software Solutions Making MRO ‘Smarter’. In: Aviation Week & Space Technology (1999) Nr. 9, S. 44-45.
- [OP98] Ockerman, J.; Pritchett, A.: Preliminary Investigation of Wearable Computers for Task Guidance in Aircraft Inspection. In: IEEE Proceedings of 2nd International Symposium on Wearable Computers 1998, Pittsburgh Pennsylvania, 1998, S. 33-41.
- [SS02] Strassner, M.; Schoch, T.: Today’s Impact of Ubiquitous Computing on Business Process. In: Mattern, F.; Naghshineh, M. (eds.): Short Paper Proceedings of First International Conference on Pervasive Computing, Zürich, 2002, S. 62-74.
- [Wa99] Want, K. et al.: Bridging physical and virtual worlds with electronic tags. Proceedings of SIGCHI, ACM Press 1999, S. 370-377.
- [We91] Weiser, M.: The Computer of the 21st century. In: Scientific American (1991), S. 94-100.