

# Werkzeugmanagement in der Flugzeugwartung – Entwicklung eines Demonstrators mit ERP- Anbindung

Martin Strassner  
Institut für Technologiemanagement, Universität St.Gallen

Matthias Lampe  
Institut für Pervasive Computing, ETH Zürich

Udo Leutbecher  
SAP Systems Integration AG, München

**Kurzfassung.** Ungeplante Verzögerungen in der Flugzeugwartung verursachen hohe Folgekosten. Ineffizientes Werkzeugmanagement ist eine mögliche Ursache für derartige Verzögerungen. Hohe Sicherheitsbestimmungen verlangen regelmäßige Kontrollen des Werkzeugbestands, um zu verhindern, dass Mechaniker Werkzeuge versehentlich in der Maschine vergessen. Auch die Anforderungen an die Funktionsfähigkeit der Werkzeuge sind hoch, und Werkzeuge, die Mechaniker gemeinsam nutzen, müssen diese häufig vor dem Gebrauch suchen.

Dieser Beitrag beschreibt Lösungen, die dazu beitragen, das Werkzeugmanagement zu automatisieren: Die smarte Werkzeugkiste erkennt, welche Werkzeuge sich in ihr befinden, protokolliert ihren Zustand und warnt den Mechaniker bei Unvollständigkeit oder falls Werkzeuge falsch einsortiert wurden. Bei der Werkzeugausleihe ist stets bekannt, welcher Mechaniker welche Werkzeuge entliehen hat. Außerdem protokolliert das System die Nutzungshäufigkeit der Werkzeuge und liefert damit Hinweise auf deren Verschleiß. Diese Lösungen verwenden die RFID-Technologie zur automatischen Identifikation von Werkzeugen und zeigen eine Möglichkeit zur Integration mit einem ERP-System. Die hier beschriebenen Lösungen sind leicht auf andere Unternehmen der Branche übertragbar, da das Werkzeugmanagement in der Flugzeugwartung ein hoch standardisierter Prozess ist.

## 1 Das Werkzeugproblem der Flugzeug AG

### 1.1 Einleitung<sup>1</sup>

Die Flugzeug AG<sup>2</sup> entwickelt und fertigt Kleinflugzeuge und ist im MRO (Maintenance, Repair und Overhaul)-Geschäft tätig. Regelmäßige Wartungen sind gesetzlich vorgeschrieben. Die genauen Wartungszyklen legen die Hersteller fest. Je nach Flugzeugtyp sind bei Passagierflugzeugen sog. A-Checks alle 350-600 Flugstunden fällig.

Die Flugzeugwartung ist sehr teuer, insbesondere wenn ungeplante Reparaturen notwendig werden. Die Wartungskosten betragen ca. 12 % der Betriebskosten eines Flugzeugs, ferner entstehen bei der Wartung von gewerblich genutzten Passagierflugzeugen hohe Opportunitätskosten. Bei ungeplanten Wartungsereignissen liegen diese Kosten bei ca. 23 000 EUR pro Stunde [Bro03]. Deshalb ist die effiziente Gestaltung des MRO-Prozesses wichtig für die Wettbewerbsfähigkeit von Wartungsunternehmen. Ein Teilbereich, der wesentlich zur Steigerung der Effizienz des Prozesses beitragen kann, ist das Werkzeugmanagement. Dieser Bereich verursacht aus verschiedenen Gründen Verzögerungen:

- Sicherheitsbestimmungen verlangen, dass die Werkzeugbestände regelmäßig kontrolliert und protokolliert werden. Diesen zeitaufwendigen Vorgang führen die Mechaniker manuell durch.
- Falls die Mechaniker ein Werkzeug vermissen, müssen aus Sicherheitsgründen alle Maschinen in der Werkstatt bleiben, bis der Verbleib aufgeklärt ist.
- Häufig befinden sich Werkzeuge nicht an ihrem Platz, und die Mechaniker müssen sie vor dem Gebrauch suchen.
- Die Anforderungen an die Funktionsfähigkeit von Werkzeugen in der Flugzeugwartung sind hoch. Die Messung des Verschleißes erfolgt durch Sichtkontrolle. Dieses Verfahren ist ungenau. Stellt ein Mechaniker den Verschleiß erst während der Wartung fest, kann sich die Wartung verzögern.

In Zusammenarbeit mit der Firma SAP SI AG hat das M-Lab die Prozesse des Werkzeugmanagements bei der Flugzeug AG analysiert und gezeigt, wie Technologien zur automatischen Identifikation eine Effizienzsteigerung ermöglichen. Ziel des gemeinsamen Projekts war es, ein System zu entwickeln, um die Verwaltung von Werkzeugen weitgehend zu automatisieren. Zur automatischen Erfassung und Verwaltung der Werkzeugbestände verwendet die Lösung RFID-Technologie in Verbindung mit einem SAP-System.

---

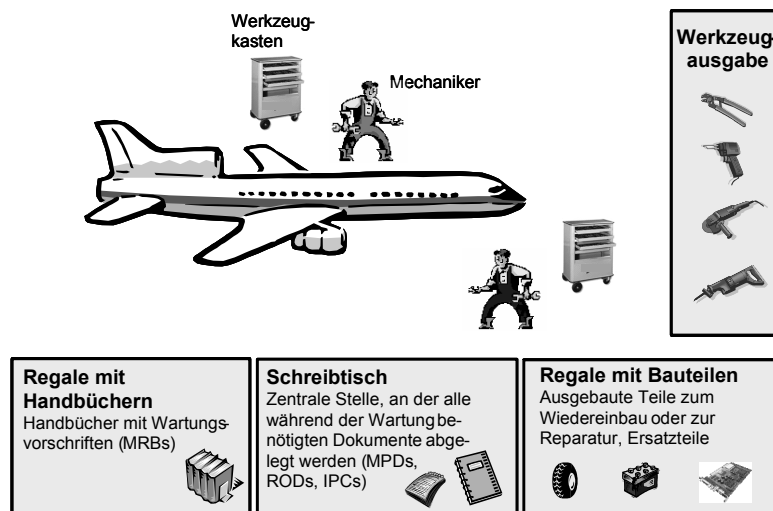
<sup>1</sup> Dieser Beitrag basiert in wesentlichen Teilen auf [SFL04].

<sup>2</sup> Der Name der Firma wurde geändert. Die prozessspezifischen Informationen, die in diesem Artikel beschrieben werden, wurden durch Interviews mit Mitarbeitern des Unternehmens sowie durch Betrachtung vor Ort gewonnen.

Die folgenden beiden Abschnitte beschreiben den MRO-Prozess der Flugzeug AG sowie die bestehenden Probleme im Werkzeugmanagement. Anschließend stellt Kapitel zwei die im Rahmen des Projekts entwickelten RFID-basierten Lösungen, den smarten Werkzeugkasten sowie die smarte Werkzeugausgabe vor und beschreibt die Integration der Lösung mit einem SAP-System unter Verwendung des SAP Business Connectors. Kapitel drei betrachtet Kosten- und Nutzenaspekte der Lösung. Abschließend fasst das letzte Kapitel die gewonnenen Erkenntnisse über die Möglichkeiten zur Verbesserung des Werkzeugmanagements durch RFID zusammen, beschreibt aber auch die Grenzen der technischen Umsetzung.

### 1.2 Der MRO-Prozess

Der MRO-Prozess wird in einem Hangar durchgeführt (siehe Abbildung 1). Hierbei benötigen die Mechaniker Zugriff auf verschiedene Dokumente. Alle Dokumentationen, die während der Durchführung zu erstellen sind, bewahren die Mechaniker auf einem zentralen Schreibtisch auf. In der Nähe befinden sich weitere Regale, auf denen die ausgebauten Bauteile sowie Ersatzteile liegen. Ebenfalls an einer zentralen Stelle im Hangar befinden sich die Handbücher der Hersteller (MRBs<sup>3</sup>), die Wartungsvorschriften für die einzelnen Komponenten enthalten. 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.



MRB: Maintenance Review Board, MPD: Maintenance Planning Document, ROD: Discrepancies Report, IPC: Illustrated Parts Catalogue

Abb. 1. Layout des Wartungsarbeitsplatzes

<sup>3</sup> Maintenance Review Boards

Für den MRO-Prozess existieren strenge, größtenteils gesetzlich geregelte Auflagen an Qualität, Sicherheit und Nachweispflicht. Die Prozesse sind in der Branche weitgehend standardisiert.<sup>4</sup> Grob umfasst der Prozess der Flugzeugwartung bei der Flugzeug AG folgende Schritte:

*Kundenauftrag und Planung.* Ein MRO-Prozess wird durch einen Kundenauftrag initiiert. Zu einem vereinbarten Termin bringt der Kunde das Flugzeug in den Hangar und übergibt die relevanten Dokumente (Logbücher) dem Service Center. Die Logbücher enthalten Informationen über Flugstunden, Betriebsstunden, Anzahl der Starts und Landungen, Gesamtzustand des Flugzeugs und seiner Bauteile sowie festgestellte Probleme. Mit diesen Informationen planen die Mechaniker die MRO-Tätigkeiten. Einige der verwendeten Daten liegen in elektronischer Form vor, 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. Diese Daten können fehlerhaft sein, falls sie auf Schätzungen beruhen oder versehentliche Falschangaben enthalten. Die Planer halten die Mechaniker im so genannten „Maintenance Planning Document“<sup>5</sup> (MPD), das die durchzuführenden Aufgaben und die zugehörigen Aktivitäten beschreibt, fest.

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

*Durchführung der MRO-Aktivitäten.* Die MRO-Aktivitäten führen die Mechaniker gemäß der Reihenfolgeplanung des MPD durch. Fehler, die sie erst bei der Durchführung erkennen, können eine Erweiterung des MPDs oder die Beschaffung weiterer Ersatzteile und Werkzeuge erforderlich machen. Die Mechaniker nehmen alle Aktivitäten, die sie ausführen, in den so genannten „Discrepancies Report“ (ROD) auf. Jedes Bauteil, das sie während der Wartung inspizieren, ersetzen oder reparieren, müssen sie eindeutig anhand seiner Seriennummer identifizieren und den Status des Teils beschreiben. Gesetzliche Vorschriften verlangen, dass die Mechaniker vor der Durchführung von Wartungen an einem Bauteil in den Handbüchern der Hersteller nachsehen. Manchmal vernachlässigen die Mechaniker jedoch 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 kann der Kunde das Flugzeug abholen.

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 [Mec99]. Manuell zu erstellende Dokumente sind für den Mechaniker eine aufwendige Arbeit, die ihn von der Durchführung von

---

<sup>4</sup> Vgl. z.B. [ATA03].

<sup>5</sup> In diesem Aufsatz werden englische Spezialbegriffe verwendet, wenn keine gängigen deutschen Übersetzungen existieren.

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 qualitativen Mängeln bei der Wartung führen. Der folgende Abschnitt beschreibt die Schwächen des Werkzeugmanagements, das wesentliche Auswirkungen auf die Effizienz des gesamten MRO-Prozesses besitzt.

### 1.3 Werkzeugmanagement

Jeder Mechaniker besitzt einen persönlichen Werkzeugkasten mit den wichtigsten zur Durchführung des MRO-Prozesses benötigten Werkzeugen. Darüber hinaus können die Mechaniker Spezialwerkzeuge bei der Werkzeugausgabe ausleihen. Bei dem Werkzeugkasten handelt es sich um einen rollbaren Metallcontainer mit mehreren Schubladen, in denen sich die Werkzeuge befinden. Um die visuelle Vollständigkeitskontrolle zu erleichtern, existieren für die einzelnen Werkzeugtypen angepasste Schaumstoffaussparungen (siehe Abbildung 2).



Abb. 2. Der Werkzeugkasten

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 nehmen die Mechaniker selbst vor. Für einen Werkzeugkasten dauert das ca. zwei Tage.

*Routinemäßige Vollständigkeitskontrolle.* Nach jeder Reparatur ist der Mechaniker verpflichtet, den Werkzeugkasten auf Vollständigkeit zu überprüfen, damit keine 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, müssen es die Mechaniker sofort suchen. Bis zur Auffindung müssen alle Flugzeuge, an denen der entsprechende Mechaniker gearbeitet hat, im Hangar bleiben.

Die Werkzeugausgabe wird durch einen Werkzeugmeister bedient. Die Werkzeuge befinden sich in eindeutig zugeordneten Fächern in Regalen (siehe Abbildung 3). Der Werkzeugmeister verwendet eine Excel-Tabelle zur Verwaltung der Werkzeugdaten. 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 versehene 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 manuell den Zustand der Werkzeuge und entscheidet, ob er die Werkzeuge warten oder ersetzen muss.

*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.



**Abb. 3.** Die Werkzeugausgabe

## 2 Smarte Lösungen mit RFID

Die RFID-Technologie ermöglicht es, Werkzeuge eindeutig zu kennzeichnen und automatisch zu erfassen. Die folgenden Abschnitte beschreiben ein Anwendungsszenario, das eine RFID-basierte Lösung für das Werkzeugmanagement zusammen mit weiteren Technologien des Ubiquitous Computings zur Unterstützung des MRO-Prozesses verwendet, sowie die von den Autoren implementierten Demonstratoren „smarter Werkzeugkasten“ und „smarte Werkzeugausgabe“.

### 2.1 Anwendungsszenario

Das folgende Szenario verbindet die Anwendung der RFID-Technologie mit weiteren Technologien des Ubiquitous Computing und mit der Anwendung klassischer IT-Systeme. Bei diesem Szenario besitzt jeder Mechaniker einen persönlichen tragbaren Computer, das sogenannte „Pervasive Device“ (PD), welches für den Mechaniker als Benutzerschnittstelle zu allen Applikationen dient, die er zur Durchführung der MRO-Aufgaben benötigt. Hierbei könnte es sich bspw. um einen persönlichen digitalen Assistenten (PDA) handeln, der mit Spracherkennung, Auto-ID-Funktionalität und Mobilkommunikation ausgestattet ist.

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 das System die Werkzeuge schon automatisch reserviert hat, braucht der Mechaniker diese nur noch abzuholen, wobei ihn sein PD identifiziert. Danach holt er die auf den Regalen bereitliegenden 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, ob der Mechaniker die Informationen tatsächlich liest, 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. kann vom Mechaniker durch Spracheingaben ergänzt werden. Diese Informationen werden auch zeitgleich in den ROD aufgenommen.

Nach Erledigung eines MRO-Auftrags bestätigt der Mechaniker dies mit dem PD, wodurch der Inspektor automatisch eine Nachricht erhält. 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 daran, alle

Werkzeuge in den Werkzeugkasten zurückzulegen bzw. bei der Werkzeugausgabe abzugeben. Falls ein Mechaniker ein falsches Werkzeug in seinen Werkzeugkasten legt, weist ihn sein PD automatisch auf den Irrtum hin.

Die für das Wartungsszenario vorgeschlagene Lösungsarchitektur (siehe Abbildung 4) 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 Ubiquitous Computing-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.

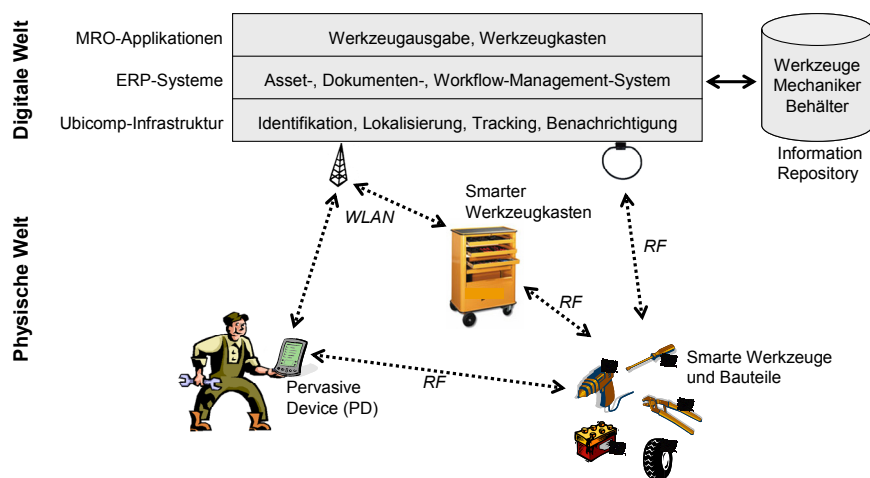


Abb. 4. Anwendungsarchitektur für MRO in der Flugzeugwartung

Durch die Verwendung von Technologien zur automatischen Identifikation, zur mobilen Kommunikation sowie Sensorik und Datenspeicherung, können beliebige physische Objekte smart werden [GSB00]. Solche *smarten Objekte* sind in der Lage, untereinander zu kommunizieren bzw. können über eine Infrastruktur mit verschiedenen Anwendungssystemen kommunizieren. Werkzeuge, Bauteile und Werkzeugkästen sind im oben dargestellten Anwendungsszenarien Beispiele für smarte Objekte. Der smarte Werkzeugkasten ist z.B. in der Lage, automatisch seinen Inhalt zu ermitteln und seinen Zustand dem Mechaniker mitzuteilen.

Der Mechaniker integriert sich durch seinen persönlichen tragbaren Computer, das PD, in die IT-Umgebung. Es erlaubt ihm, mit den smarten Objekten zu kommunizieren, auf die Datenbank zuzugreifen, z.B. um Handbücher einzusehen, und weitere Applikationen zu nutzen. Derartige Applikationen ermöglichen ihm bspw. die Reservierung von Werkzeugen bei der Werkzeugausgabe oder die Anforderung von Unterstützung bei der Durchführung von Aktivitäten. Außerdem kann er sich durch das System über für ihn relevante Ereignisse informieren lassen.

Das PD kann ein beliebiger tragbarer Computer sein, der die folgenden Voraussetzungen erfüllt: (a) Das PD muss eine drahtlose Verbindung zur Ubiquitous Computing-Infrastruktur herstellen können, (b) es benötigt ein gewisses Maß an



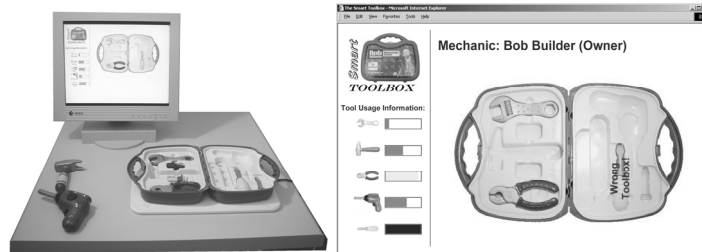
Rechenkapazität, um eigenständig Anwendungen ausführen zu können, (c) es muss eine Benutzerschnittstelle besitzen, die es erlaubt, dem Mechaniker Informationen mitzuteilen, und es muss als Eingabemedium verwendbar sein.

Die *Ubiquitous Computing-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. RFID-Chips an den Werkzeugen und Bauteilen ermöglichen die Dienste (a) bis (c). Der Zustand eines smarten Objekts wird in der Ubiquitous Computing-Infrastruktur gespeichert und bei Bedarf an das Asset Management-System weitergeleitet. Die Infrastruktur übernimmt außerdem die Kommunikation zwischen smarten Objekten und Mechanikern oder Anwendungen, d.h. die Kommunikation geht nicht vom smarten Objekt aus, sondern die Ubiquitous Computing-Infrastruktur initiiert sie anhand von vordefinierten Geschäftsregeln. Um den Dienst (d) sicherzustellen, ist eine drahtlose Kommunikationsinfrastruktur wie z.B. Wireless LAN (WLAN) nötig. Beispiele für den Aufbau von Ubiquitous Computing-Infrastrukturen, die auch in obigem Beispiel eingesetzt werden könnten, beschreiben u.a. Goyal [Goy03], Römer et al. [RSM04] und Kubach [Kub03].

## 2.2 Der smarte Werkzeugkasten

Der smarte Werkzeugkasten übernimmt die Aufgabe der Vollständigkeitskontrolle und benachrichtigt den Mechaniker, falls Werkzeuge fehlen, sich an der falschen Stelle befinden oder wenn der Mechaniker sie austauschen oder warten sollte. Die Applikation arbeitet weitgehend autonom, kann aber auch mit der Ubiquitous Computing-Infrastruktur mittels WLAN kommunizieren, z.B. um Reports über Kontrollen oder den Status von Werkzeugen zu senden. Zur automatischen Überwachung des Inhalts sind alle Werkzeuge mit RFID-Chips gekennzeichnet. Außerdem protokolliert die Applikation die Nutzungshäufigkeit der Werkzeuge anhand der Häufigkeiten, mit denen die Mechaniker Werkzeuge entnehmen und zurücklegen. Das Werkzeugmanagementsystem empfängt diese Daten über die Ubiquitous Computing-Infrastruktur und wertet sie aus.

Der smarte Werkzeugkasten integriert sich nahtlos in den MRO-Prozess. Das heißt, 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 Projekts bei der Flugzeug AG haben die Autoren den smarten Werkzeugkasten prototypisch implementiert. Kleine kostengünstige passive RFID-Chips auf den Werkzeugen ermöglichten eine für die Identifikation innerhalb des Werkzeugkastens ausreichende Reichweite. Die Identifikationsnummer auf den RFID-Chips setzte sich aus der Seriennummer des betreffenden Werkzeugs und der Seriennummer des zugehörigen Werkzeugkastens zusammen.



**Abb. 5.** Aufbau und Screenshot des Demonstrators zum smarten Werkzeugkasten

Der in Abbildung 5 dargestellte Demonstrator visualisiert den Status des Werkzeugkastens. Auf der Anzeige weist eine Markierung auf falsch einsortierte Werkzeuge hin. Bei der Implementierung haben die Autoren verschiedene Probleme identifiziert: (a) Da die meisten Werkzeuge aus Metall sind, benötigt die Lösung spezielle RFID-Systemkomponenten (z.B. ferritbeschichtete RFID-Chips, niedrige Übertragungsfrequenz). (b) Da der Werkzeugkasten aus Metall ist, ermöglichen nur innerhalb des Werkzeugkastens montierte Antennen eine zuverlässige automatische Identifikation. (c) Einige Werkzeuge sind so klein, dass ein zusätzlich angebrachter RFID-Chip bei der Verwendung der Werkzeuge stören würde.

### 2.3 Die smarte Werkzeugausleihe

Ähnlich wie beim smarten Werkzeugkasten verwendet die Werkzeugausgabe die RFID-Technologie. Jedes Werkzeug erhält zur eindeutigen Kennzeichnung einen RFID-Chip. RFID-Lesegeräte an der Ausgabe ermöglichen die automatische Erfassung der Werkzeuge. Alternativ wäre eine Kennzeichnung mittels eines Barcodes bzw. 2D-Codes denkbar.

Zur Anforderung der Werkzeuge verwendet der Mechaniker sein PD, anhand dessen ihn auch die smarte Werkzeugausleihe identifiziert. Während der Mechaniker die ausgeliehenen Werkzeuge über die Theke schiebt, dokumentiert die Werkzeugausleihe den Vorgang automatisch. Ebenso erfasst diese die Werkzeuge bei der Rückgabe. 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 Ubiquitous Computing-Infrastruktur, um Mechaniker und Werkzeuge zu identifizieren, Anfragen nach Werkzeugen entgegenzunehmen und Nachrichten an Mechaniker zu schicken.

Der Demonstrator der smarten Werkzeugausgabe ist ein erster Schritt zu einer vollständig automatisierten Lösung. Die Bedienung durch den Werkzeugmeister ist dabei weiterhin notwendig. Ein RFID-Lesegerät mit einer Antenne befindet sich am Ausgabeschalter (siehe Nr. 1 in Abbildung 6), um die Werkzeuge, welche die Mechaniker über die Theke schieben, eindeutig zu identifizieren. Die weiteren Verarbeitungsschritte veranlasst das System. Es überprüft für jedes Werkzeug den Ausleihstatus. Bei ausgeliehenen Werkzeugen initiiert es den Rückgabeprozess,

andernfalls den Ausleihprozess. Die Aktionen des Systems visualisiert ein Bildschirm (siehe Nr. 2 in Abbildung 6).



**Abb. 6.** 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 bereitstellt. Die Client-Applikation ist über das Internet mit dem Werkzeugmanagementsystem verbunden. Das Werkzeugmanagementsystem ist auf einem SAP Web Application Server implementiert, und die Verbindung stellt, wie im nächsten Abschnitt beschrieben, der SAP Business Connector her.

## 2.4 Integration mit SAP

Der Demonstrator für den smarten Werkzeugkasten ist ein Beispiel für ein eigenständiges RFID-System, das auch ohne Infrastruktur oder Backend-Systeme funktioniert. Für viele Anwendungen existieren jedoch schon IT-Systeme mit etabliertem Funktionsumfang, z.B. ERP-Systeme zur Abwicklung von Kundenaufträgen, zur Bestellung von Material und zur Verwaltung von Assets. In diesem Fall ist es sinnvoll, diese Systeme um die Möglichkeiten der RFID-Technologie zu erweitern, statt ein zusätzliches System zu installieren. Die RFID-Technologie, bzw. eine Middleware, übernimmt hierbei die Aufgabe der automatischen Identifikation von Objekten. Die Geschäftslogik stellt das ERP-System zur Verfügung.

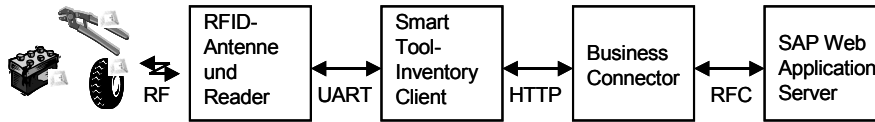


Abb. 7. Integration der smarten Werkzeugausleihe mit SAP

Die Flugzeug AG plante zur Zeit der Entwicklung der hier vorgestellten Lösungen auch die Einführung von SAP R/3 im Wartungsbetrieb. Aus diesem Grund stellte die Flugzeug AG die Anforderung, dass eine Integration der smarten Lösungen mit dem SAP-System möglich sein muss. Der Demonstrator zur smarten Werkzeugausleihe berücksichtigt diese Anforderung und unterstützt die Integration mit einem SAP-System.

Die Anwendung befindet sich auf einem SAP Web Application Server. Dieser verwaltet auch die Benutzer- und Werkzeugstammdaten sowie die Ausleih- und Wartungsdaten. Die Anwendung unterstützt Funktionen zum Einpflegen, Ändern oder Löschen von Werkzeugen oder Benutzern sowie zum Ausleihen, zur Rückgabe und zur Abfrage nach ausgeliehenen Werkzeugen sowie zur Durchführung der Wartung. Diese Funktionen stellt der Web Application Server per RFC (Remote Function Call) auch anderen Anwendungen zur Verfügung.

```

<?xml version="1.0" ?>
<inventory inventoryID="INV1">
  <mechanic mechID="D019200" />
  <action>A</action>
  <items>
    <item toolid="888-AA" />
    <item toolid="926-AA" />
    <item toolid="111-BB" />
  </items>
</inventory>
  
```

Abb. 8. XML-File zur Übergabe an den Business Connector

Der im obigen Abschnitt beschriebene Client, der diese Funktionen an der Werkzeugausgabe den Mechanikern zur Verfügung stellt, kommuniziert mittels XML-Daten, die er per HTTP an die Anwendung schickt. Zur Übersetzung der Daten verwendet die Lösung den SAP Business Connector, der XML-Anfragen in RFC-Aufrufe übersetzt und die Antwort im XML-Format zurück an den Client schickt (siehe Abbildung 7). Eine grafische Benutzeroberfläche erleichtert die Konfiguration des Business Connectors. Hierbei lassen sich die Funktionsargumente der Anwendung Bezeichnern zuordnen, die das XML-Dokument zur Bezeichnung der entsprechenden Objekte verwendet. Abbildung 8 stellt ein Beispiel eines XML-Dokuments dar, das die smarte Werkzeugausleihe veranlasst, die Ausleihe der drei Werkzeuge mit den Signaturen 888-AA, 926-AA und 111-BB aus der Werkzeugausleihe mit der Nummer INV1 an den Mechaniker mit der Personalnummer D019200 vorzunehmen.

### 3 Wirtschaftlicher Nutzen

Das in Abschnitt 2.1. 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. Suchaktionen können entfallen. Durch eine regelmäßige Wartung von Werkzeugen lassen sich Schäden durch schadhafte Werkzeuge vermeiden. Insgesamt reduziert dies das Risiko für ungeplante Wartungszeiten.

*Vermeidung von durch Menschen verursachten Fehlern.* Die Anleitung des Mechanikers mittels PD trägt dazu bei, durch Menschen verursachte Fehler zu vermeiden. Das Gerät stellt sicher, dass die Mechaniker die richtigen Aktivitäten ausführen, die richtigen Bauteile und Werkzeuge verwenden, sowie keine Werkzeuge an die falsche Stelle legen. Insgesamt führt dies zu einer höheren Qualität und Sicherheit des MRO-Prozesses.

*Automatisierte Dokumentation.* Einzelne Arbeitsschritte, die Verwendung von Werkzeugen sowie Vollständigkeitskontrollen dokumentiert das System automatisch. Dies stellt die Korrektheit und Vollständigkeit der Dokumentation und damit auch die Einhaltung der gesetzlichen Vorschriften sicher und hilft, zeitaufwendige manuelle Tätigkeiten zu vermeiden. Zusätzlich dient die Dokumentation als zuverlässige Planungsgrundlage folgender MRO-Tätigkeiten:

*Effizienter Einsatz von Ressourcen.* Der Einsatz von Mitarbeitern, Bauteilen und Werkzeugen erfolgt geplant und überwacht. Dies trägt zur Minimierung unproduktiver Tätigkeiten wie Suchaktionen und Wartezeiten bei. Die unmittelbare Rückgabe der Werkzeuge an die Werkzeugausgabe nach dem Gebrauch hilft, den Werkzeugbestand zu optimieren und führt zu Einsparungen an selten genutzten Werkzeugen.

*Benutzerfreundlichkeit.* Das eingesetzte Anwendungssystem unterstützt den MRO-Prozess im Hintergrund. Das heißt, 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 monetären Bestimmung des wirtschaftlichen Nutzens des smarten Werkzeugkastens und der smarten Werkzeugausgabe stellen nachfolgende Abschnitte die quantifizierbaren Nutzenpotentiale den Kosten für Implementierung und Betrieb gegenüber.

#### 3.1 Kosten-Nutzen-Analyse des smarten Werkzeugkastens

Wesentliche Nutzenpotentiale 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 Werk-

zeugkasten befinden, sowie in der Einsparung der manuellen Markierung. Diese Nutzenpotentiale lassen sich mit Hilfe von plausiblen Annahmen quantifizieren:

- Die Arbeitsstunde eines Mechanikers kostet 70 EUR.
- Die Mechaniker müssen die Werkzeugkästen und deren Inhalt einmal bei Neuanschaffung und dann alle 1,5 Jahre markieren. Die Lebensdauer eines Werkzeugkastens beträgt 6 Jahre. Die Markierung dauert 2 Manntage (16 Stunden), das entspricht bei 60 Werkzeugkästen einem Arbeitsaufwand von ca. 640 Stunden (44 800 EUR) 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 EUR).
- Pro Jahr vermeidet der smarte Werkzeugkasten 3 Stunden an ungeplanter Wartezeit bei Passagierflugzeugen. Der Kunde spart hierdurch Opportunitätskosten in Höhe von 69 000 EUR.

Folgenden Kosten entstehen durch die Verwendung des RFID-Systems:

- Die Abschreibungsfrist beträgt 6 Jahre.
- Die RFID-Kennzeichnung führen die Hersteller zu einem Preis von durchschnittlich 1 EUR pro Werkzeug (Kosten für den Chip und die Anbringung) durch. Die Ausstattung eines Werkzeugkastens mit einem Lesegerät und Antennen kostet 2 000 EUR. Für 60 Werkzeugkästen entstehen jährliche Kosten von 21 500 EUR.
- Die Flugzeug AG setzt vier Schreib-Lesestation zur Auswertung der Werkzeugdaten ein, die pro Stück 1 500 EUR kosten. Dies entspricht jährlichen Kosten von 1 000 EUR.
- Der geschätzte Wartungsaufwand der Installation beträgt 150 Arbeitsstunden jährlich. Dies verursacht Kosten in Höhe von 10 500 EUR.

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

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

Die wesentlichen Nutzenpotentiale 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 EUR.
- Pro Woche suchen Mechaniker und Werkzeugmeister drei Stunden nach Werkzeugen. Das entspricht einem jährlichen Arbeitsaufwand von 52 Stunden (3 640 EUR).
- Die Flugzeug AG kann ihren Bestand an Werkzeugen um 5 % senken. Bei einem durchschnittlichen Wert eines Werkzeugs von 10 EUR und einem Werkzeugbestand von 1 200, entspricht dies jährlichen Kosteneinsparungen in Höhe von 100 EUR.
- Dadurch, dass stets die richtigen Werkzeuge in gutem Zustand verfügbar sind, verringert sich die ungeplante Wartungszeit bei Passagierflugzeugen um eine Stunde im Jahr. Damit sparen die Kunden Opportunitätskosten in Höhe von 23 000 EUR ein.

Folgende Annahmen gelten für die Kosten der smarten Werkzeugausgabe:

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

Unter den getroffenen Annahmen betragen die jährlichen Kosten ca. 4 035 EUR. Diesen stehen Kosteneinsparungen von ca. 30 000 EUR gegenüber. Genauso wie für den smarten Werkzeugkasten sind auch hierbei die schwer quantifizierbaren Nutzenpotentiale nicht berücksichtigt und es ist nicht sicher, ob die eingesparten Arbeitsstunden in gleicher Höhe zu Einsparungen bei den Kosten führen.

## 4 Fazit

Das in diesem Beitrag vorgestellte Anwendungsszenario zeigt, dass der Einsatz der RFID-Technologie zur Unterstützung des MRO-Prozesses in der Flugzeugwartung sinnvoll ist. Die vorgeschlagene „smarte“ Lösung stellt sicher, dass der Wartungsbetrieb die Regeln bzgl. Sicherheit und Qualität einhält sowie Prozesse und Ressourceneinsatz effizient sind. Sie trägt auch dazu bei, die Dauer ungeplanter Wartungen zu minimieren. Hierbei agiert die Technologie im Hintergrund. Mobile Geräte und smarte Objekte sind mittels einer ubiquitären Infrastruktur auch mit klassischen ERP-Systemen verbunden. In der vorgestellten Lösung dient ein mobiles Gerät als multifunktionale Benutzerschnittstelle zum System.

Der Beitrag hat sowohl die technische Machbarkeit als auch den wirtschaftlichen Nutzen der vorgestellten Lösungen gezeigt. Dennoch existieren einige Herausforderungen technischer sowie organisatorischer Art, die vor einem Einsatz der Lösung im operativen Betrieb zu überwinden sind:

(a) Die Leistung passiver RFID-Systeme wird in einem metallischen Umfeld stark eingeschränkt. Allerdings lässt sich durch die Verwendung spezieller RFID-Tags eine funktionierende Lösung zu implementieren. Diese Chips sind mit Ferrit beschichtet und verwenden eine niedrige Kommunikationsfrequenz. Hierbei zeigt sich, dass beim Erstellen von Lösungen mit Technologien des Ubiquitous Computing 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 Ubiquitous Computing haben sich noch keine Standards zur Integration von Auto-ID-Technologien oder für die Modellierung von smarten Objekten durchgesetzt. Aus diesem Grund verursacht die in diesem Beitrag vorgeschlagene Lösung einen zusätzlichen Integrationsaufwand.

(c) Das vorgestellte Szenario findet im abgeschlossenen Bereich der Flugzeug AG statt. Eine wesentliche Voraussetzung für die Wirtschaftlichkeit der Anwendung sind Standards zur Produktidentifikation [KäH02]. Hierzu müssten bei der vorgestellten Lösung bereits die Hersteller der Bauteile bzw. Werkzeuge die RFID-Chips anbringen. Diese Voraussetzung könnte eine Auto-ID-Infrastruktur schaffen, wie sie beispielsweise das Auto-ID Lab am MIT entwickelt hat. Dieses Konzept beinhaltet nicht nur ein Nummerierungsschema, den so genannten 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 Middleware, z.B. die sogenannte 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.

Die Identifikation weiterer Anwendungsfälle, die von einer Ubiquitous Computing-Infrastruktur und entsprechender Basisfunktionen für das Asset Management profitieren könnten, erscheint vielversprechend. Beispielsweise könnte die Flugzeug AG durch die Integration mit dem Asset Management System SAP-PLM zusätzlichen Nutzen erzielen. Dieses System ermöglicht das Management des Werkzeuglebenszyklus und steuert notwendige Wartungen der Werkzeuge und die Ersatzbeschaffung.

## Literatur

- [ATA03] Air Transport Association iSpec 2200 (2003) 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)
- [Bro03] Brown P (2003) Companies get creative in their Inventory Management Solution. Aviation Now, [www.aviationnow.com](http://www.aviationnow.com)
- [Goy03] Goyal A (2003) The Savant – Technical Manual. Auto-ID Center Technical Report, <http://archive.epcglobalinc.org/publishedresearch/MIT-AUTOID-TR015.pdf>
- [GSB00] Gellersen HW, Schmidt A, Beigl M (2000) Adding Some Smartness to Devices and Everyday Things. IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications, Monterrey, USA, IEEE Press 2000: 3-10



- [KäH02] Kärkkäinen M, Holström J (2002) Wireless product identification: enabler for handling efficiency, customization and information sharing. *Supply Chain Management* 7(4): 242-252
- [Kär03] Kärkkäinen M (2003) Increasing efficiency in the supply chain for short life goods using RFID tagging. *International Journal of Retail & Distribution Management* 31(10): 529-536
- [Kub03] Kubach U (2003) Integration von Smart Items in Enterprise-Software-Systeme. *HMD - Praxis der Wirtschaftsinformatik* 229: 56-67
- [SFL04] Strassner M, Fleisch E, Lampe M (2004) Ubiquitous Computing Environment for Aircraft Maintenance. *ACM Symposium on Applied Computing*, Nicosia, Cyprus, March 14-17, 2004
- [Mec99] Mecham M (1999) Software Solutions Making MRO 'Smarter'. *Aviation Week & Space Technology* 151(9): 44-45
- [RSM04] Römer K, Schoch T, Mattern F, Dübendorfer T (2004) Smart Identification Frameworks for Ubiquitous Computing Applications. *Wireless Networks* 10(6): 689-700
- [Wei91] Weiser M (1991) The Computer of the 21st Century. *Scientific American* 265(3): 94-104