

# Intelligente Lokalisierung von Gegenständen mit Complex Event Processing

Johannes Westhuis, Ralf Bruns, Jürgen Dunkel  
Fachhochschule Hannover, Ricklinger Stadtweg 120, 30459 Hannover  
{johannes.westhuis, ralf.bruns, juergen.dunkel}@fh-hannover.de

Werner Knop, Thimo Eichstädt  
deister electronic GmbH, Hermann-Bahlsen-Str. 11, 30890 Barsinghausen  
{knop, eichstaedt}@deister-gmbh.de

**Abstract:** Das Auffinden einzelner Gegenstände stellt in großen Warenbeständen aufgrund der Menge und nicht eindeutiger Lagerstandorte ein Problem dar. Dies ist besonders dann der Fall, wenn Kunden die Position der Gegenstände verändern, so dass eine zuverlässige Aussage eines konventionellen Informationssystems nicht möglich ist. Dieser Artikel beschreibt anhand der Lokalisierung von Büchern in einer Bibliothek, wie diese bislang noch unbefriedigend gelöste Problemstellung mit Radio Frequency Identification (RFID) und den innovativen Techniken des Complex Event Processings (CEP) intelligent gelöst werden kann.

Die Informationen mobiler RFID-Lesegeräte werden ausgelesen und als Ereignis von einer CEP-Server-Komponente verarbeitet. Durch das Anwenden dynamischer Regelsätze werden die Positionen der gesuchten Objekte sowie der suchenden Personen abgeleitet. Die daraus errechnete Route kann dem Benutzer helfen, die gesuchten, mit RFID-Transpondern ausgestatteten Gegenstände zu finden. Durch die Verbindung der beiden Technologien ist es weiterhin möglich, auch im Nahbereich konkrete Informationen zum Lagerort der Gegenstände zu geben.

## 1 Einleitung

Die Suche von Gegenständen in sehr großen Lager- oder Verkaufsbeständen stellt immer dann ein Problem dar, wenn eine, von Informationssystemen unbeobachtete Eigendynamik der zu suchenden Objekte existiert. Beispielsweise werden Bücher in einer Bibliothek von Kunden versehentlich oder absichtlich falsch einsortiert, ohne dass diese Umsortierung vom Informationssystem erfasst wird. Für Mitarbeiter der Bibliothek ist dies eine große Herausforderung, da umsoritierte Bücher nur zufällig oder durch eine Inventur gefunden werden können. Auch in weiteren Anwendungsgebieten, wie der Lokalisierung von Kleidungsstücken in einem Kaufhaus oder der Suche nach CDs in CD-Regalen, lässt sich dieses Problem feststellen. Diese Problemstellung bietet innovative Anwendungsgebiete, für die sich CEP besonders eignet.

Im hier vorgestellten Szenario wird der Benutzer mithilfe von mobilen Handheld-Lesegeräten zu den Objekten geführt. Das Handheld-Lesegerät empfängt hierbei die an den Gegenständen angebrachten RFID-Informationen.

Wir stellen eine Architektur vor, die auf der Verarbeitung von RFID-Informationen durch Complex Event Processing basiert. Die Kombination von mobilen Handheld-Lesegeräten und CEP führt zu einer deutlichen Erweiterung des herkömmlichen Einsatzbereichs der Handhelds, und zwar hin zu einer Objektlokalisierung in Echtzeit. Die Architekturkomponenten empfangen von Handheld-Geräten erzeugte Ereignisse, verarbeiten diese und leiten Benutzer mithilfe errechneter Routen zu dem gesuchten Objekt. Neben der Suche wird weiterhin eine Sortierung von Gegenständen sowie eine Inventarisierung des Warenbestands ermöglicht.

In den folgenden Abschnitten wird zuerst auf die Problemstellung bei der Lokalisierung von Gegenständen eingegangen (Abschnitt 2). Abschnitt 3 stellt anschließend den Stand der Technik vor. Daraufhin beleuchtet Abschnitt 4 die Architektur und geht auf die Zusammenhänge der Regelverarbeitung ein. Abschließend bewertet Abschnitt 5 das System und gibt einen Ausblick auf weiterführende Arbeiten.

## 2 Problemstellung der Lokalisierung von RFID-Objekten

Für die Lokalisierung von bestimmten Gegenständen mittels Radio Frequency Identification (RFID) kann mit unterschiedlicher Genauigkeit vorgegangen werden. Häufig eingesetzte Tracking- und Tracing-Ansätze verfolgen die Bewegung von Objekten, speichern jedoch nur einen groben Lageort der Objekte. So kann ein Objekt meist nur dem Ort zugeordnet werden, in welchem es auffindbar ist. Dies stellt besonders bei kleinen Gegenständen weiterhin eine Herausforderung für die suchenden Personen dar, da sich in diesem groben Lageort viele Objekte befinden können. Die Person muss weiterhin eine große Menge manuell durchsuchen, um den genauen Standort des Objektes zu finden. Bisher ist es Handheld-Lesegeräten nicht möglich, eine genaue Lokalisierung von Waren zu unterstützen. Um dies zu ermöglichen, stellen wir einen Ansatz vor, der CEP verwendet, um RFID Handheld-Lesegeräte zu erweitern. Für RFID sind verschiedene Komponenten notwendig, welche im Folgenden kurz beschrieben werden:

**Transponder** Der Transponder ist ein datentragendes Objekt. Er trägt mindestens eine Identifikationsnummer, häufig allerdings auch weitere Daten.

**Antenne** Die Antenne baut ein elektro-magnetisches Feld auf, welches die in diesem Feld befindlichen Transponder aktiviert. Dieses Feld hat eine begrenzte Reichweite und reagiert in Abhängigkeit von Umgebungsmaterialien, Reflexionen sowie Abschirmungen mehr oder weniger störanfällig. Sobald ein Transponder aktiviert wurde, lassen sich seine Daten auslesen.

**Lesegerät** Das Lesegerät reguliert die Sendeleistung der Antenne und liest die Daten der Transponder aus.

Durch die berührungslose Identifikation von einzelnen Objekten stellt RFID ein gutes Mittel bereit, um schnell notwendige Informationen über die Objekte zu erhalten. Um die Suche eines bestimmten Objektes zu unterstützen, wird mit einem mobilen RFID-Lesegerät der entsprechende Transponder gesucht.

Dabei wird der Nutzer auf Basis des aktuellen Wissens in die richtige Richtung geleitet. Sobald der gesuchte Transponder gelesen ist, wird die ortsgenaue Position des Benutzers bestimmt und die Richtung, in der sich das Objekt befindet, angezeigt. Eine besonders hilfreiche Information stellt hierbei die Entfernung der Transponder vom Lesegerät dar, die mittels der Signalstärke und Häufigkeit der Lesung abgeleitet werden kann. In einem bestimmten Lesevorgang liest ein Lesegerät alle Transponder, die sich in seiner Reichweite befinden, gleichzeitig ein. Mit RFID-Transpondern ausgerüstete Regale können beispielsweise als Ortsbarke genutzt werden. Solche Ortsbarken besitzen eine genau definierte Position und erlauben so eine genaue Zuordnung der Position des Benutzers. Allerdings können durch Abschirmungs- und Reflexionseffekte fehlerhafte Lesungen erfolgen. Im Gegensatz zu Ansätzen, welche Tracking und Tracing der Gegenstände erlauben, ist eine Echtzeitverarbeitung der RFID-Daten notwendig, da dem Benutzer ein direktes Feedback zu seinen Anfragen gegeben werden soll. Nur so ist es möglich, ihn in die richtige Richtung zu leiten und ihm den Standort des gesuchten Objekts anzuzeigen.

Die betrachteten Anwendungsfälle stützen sich auf folgende beispielhafte Ausgangslage: In einer Bibliothek gibt es verschiedene beteiligte Personenkreise. Einerseits gibt es Mitarbeiter, welche für die Ausgabe und Rücknahme der Bücher verantwortlich sind und Auskunft über die Position der Bücher geben. Andererseits gibt es Kunden, welche Bücher ausleihen, zurückbringen oder vor Ort lesen. Die Kunden sind in der Lage, eigenhändig Bücher in den Regalen auszusuchen und müssen diese für eine Ausleihe an einem Tresen registrieren. Dies geschieht nicht, wenn sie die Exemplare innerhalb der Bibliothek lesen wollen. In diesem Fall sind sie auch selbst für die Rücklage der Bücher verantwortlich. Nun kommt es vor, dass dieses Zurückstellen nicht in der vorgegebenen Reihenfolge oder in dem dafür vorgesehenen Regal geschieht. Ist dies der Fall, kann dieses Buch durch das normale Suchverfahren, welches sich an der Regalbezeichnung und der Sortierung innerhalb des Regals orientiert, nicht gefunden werden. Der erste Anwendungsfall ist somit die Unterstützung eines Mitarbeiters oder Kunden bei der Suche eines speziellen Buches.

Als zweiten Anwendungsfall sollen Mitarbeiter unterstützt werden, welche ein bestimmtes Regal sortieren wollen. Befindet sich beispielsweise ein Buch zu dem Thema Datenbanksysteme im Regal mit Büchern zu dem Thema Software-Sicherheit, so soll der Mitarbeiter darauf hingewiesen werden. Zusätzlich soll es möglich sein, ohne großen Aufwand alle aktuell vorhandenen Werke aufzuzeichnen und in den Datenbestand aufzunehmen. Dazu bewegt sich ein Mitarbeiter mit seinem Handheld-Gerät an den Regalen vorbei. Alle von den tragbaren Geräten eingelesenen Bücher werden automatisch in das System eingetragen.

### **3 Verwandte Arbeiten**

Die Optimierung der Abläufe und Suchvorgänge von Objekten in Lagern mittels RFID stellt ein interessantes Gebiet dar, an welchem intensiv geforscht wird. Für die Suche gibt es verschiedene Ansätze, mit denen die technologiebedingten und anwendungsfallspezifischen Probleme gelöst werden können. Hariharan und Bukkapatnam [HB09] definieren ein mathematisches Modell, welches die Suche von Objekten am Beispiel eines Lagers mit

RFID-ausgerüsteten Gabelstaplern zeigt. Dieses Modell gibt Vorschläge, um die Benutzer effizient zu den gesuchten Objekten zu führen. Es verwendet die Signalstärke der Lesungen, um die Richtung zum Ziel zu ermitteln. Sie gehen davon aus, dass dem Benutzer seine Position bekannt ist. Dies ist für das zentral gesteuerte System des hier vorgestellten Ansatzes nicht der Fall. Da das System in Echtzeit agieren soll, kann die Position nicht während der Suche manuell von dem Benutzer aktualisiert werden. Die Signalstärken werden in beiden Ansätzen genutzt, um die Richtung zu den Objekten zu bestimmen.

Einen anderen Ansatz verfolgen Faschinger et al. [FSPT07], die Wireless Sensor Networks einsetzen, um optimale Routen für die Aufnahme von Bestellungen zu bestimmen. Sie berechnen den kürzesten Pfad zwischen allen Lagerstätten, daher eignet sich der vorgestellte Algorithmus besonders, um mehrere Gegenstände zu suchen. Die Bestimmung der Position der Objekte setzt allerdings mit RFID-Lesern ausgerüstete „intelligente“ Regale voraus, was eine hohe finanzielle Einstiegshürde darstellt. Hierbei führt die Suche allerdings nur bis zum Regal. Das Nutzen der RFID-Daten eines Handheld-Lesegerätes erlaubt eine genauere Lokalisierung, auch innerhalb eines Regals.

Selvakennedy, Rohm und Scholz [SRS07] nutzen Wireless Sensor Networks und Event Processing zur Berechnung der Epizentren von Naturereignissen. Hierfür wird ein Netz von Sensoren betrachtet und der Umkreis eines Phänomens über Ereignisse der einzelnen Sensoren erfasst. Mit diesen Daten des Umrisses lässt sich anschließend das Zentrum errechnen. Obwohl dieses Szenario nicht direkt mit der Auffindung von Gegenständen verbunden werden kann, wäre ein ähnliches Vorgehen denkbar. Dazu könnte ein Netz von RFID-Lesern aufgebaut und über die gemessene Signalstärke die gesuchten Objekte lokalisiert werden. Unter anderem aufgrund der resultierenden hohen Kosten für die notwendige Zahl von Lesegeräten ist dieser Ansatz aber in vielen Anwendungsbereichen nicht praktikabel.

Die meisten Arbeiten, die Event Processing für RFID-Systeme verwenden, befassen sich mit Tracking und Tracing [WL05, RJK<sup>+</sup>05, WDR06, DB08]. Sie betrachten jedoch keine ortsgenaue Lokalisierung von Objekten. Andere Arbeiten, die die grundsätzliche Eignung von Event Processing für die Verarbeitung von RFID-Daten belegen [JAF<sup>+</sup>06], befassen sich allerdings nur mit dem Verbessern der Datenqualität von physischen Quellen am Beispiel von RFID mit Event Processing. Dabei betrachten sie jedoch keine weitere Verarbeitung der Daten, wie beispielsweise die Lokalisierung von Objekten.

## 4 Architektur

Aus den Anwendungsfällen leiten sich die Bestandteile des Systems ab. Dabei existieren eine Reihe von tragbaren Lesegeräten, welche mit einem Server kommunizieren. Abbildung 1 stellt die beteiligten Komponenten vor. Die Handheld-Geräte vereinen verschiedene Funktionen in sich. Einerseits erzeugen sie mit Hilfe der RFID-Lesekomponente die RFID-Ereignisse, andererseits stellen sie auch die Benutzerinteraktion durch die Benutzerschnittstelle des Handhelds bereit. Der Server verarbeitet die vom Handheld gesendeten Informationen mit Complex Event Processing (CEP).

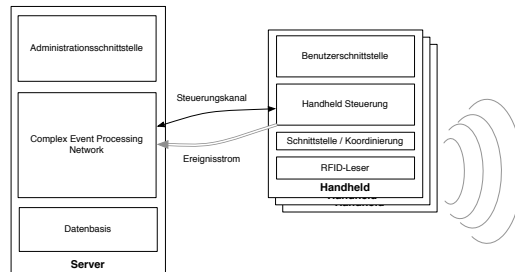


Abbildung 1: Komponenten des Systems

#### 4.1 Complex Event Processing als Basistechnologie

Das von David Luckham [Luc02] eingeführte CEP ermöglicht es, Beziehungen zwischen Ereignissen zu definieren und zu nutzen. Es ermöglicht eine Aggregation von vielen einfachen Ereignissen zu sogenannten komplexen Ereignissen, die insgesamt einen größeren Informationsgehalt besitzen. Im CEP werden Event Processing Agents (EPA) definiert, welche auf einen Ereignisstrom angewendet werden können. Diese EPAs besitzen eine definierte Aufgabe, mit der der Strom manipuliert wird.

Werden mehrere EPAs miteinander verbunden, wird dies als Event Processing Network (EPN) bezeichnet. Mithilfe eines EPN lassen sich mehrere EPAs verknüpfen und zu größeren Funktionen zusammenfügen.

Die EPAs erfüllen ihre Aufgabe meist über die deklarative Definition von Regeln. Trifft eine Regel auf einen Satz von Ereignissen zu, wird sie aktiviert. So ließe sich über eine einfache Regel beispielsweise filtern, welche Ereignisse im Strom verbleiben. Ein ganz entscheidender Vorteil von CEP ergibt sich durch die Einführung von zeitlichen Zusammenhängen. Als Beispiel tritt ein Ereignis B im Ereignisstrom auf, welches mit einem vorherigen Ereignis A identisch ist. Eine Regel sollte B aussortieren, wenn B innerhalb von 100 ms nach A eintrifft, jedoch nicht, wenn B zwei Stunden nach A im Strom vorhanden ist. Über diese Abhängigkeiten ist es des weiteren auch möglich, die Abwesenheit von Ereignissen zu bemerken und darauf zu reagieren. Soll zwischen A und B auch immer ein Ereignis C auftauchen, kann eine Regel feuern, wenn dies nicht geschieht. Um Ereignisse zeitlich miteinander zu verbinden, aber dennoch speicherschonend vorzugehen, werden sogenannte Sliding Windows verwendet [BD10]. Diese betrachten nur einen Ausschnitt des vorhandenen Ereignisstroms, um die Regeln anzuwenden. Ein Sliding Window kann hierbei entweder eine bestimmte Anzahl von Ereignissen betrachten oder alle Ereignisse in einem gewissen Zeitfenster.

Über ein Sliding Window können Ausreisser, wie durch Reflexionen zusätzlich gelesene Transponder, entdeckt und entfernt werden, was Schwachstellen der RFID-Technik reduziert. Weiterhin lassen sich auch während der Lesevorgänge auftretende doppelte Lesungen entfernen. Der Server nutzt die von den Handhelds gesendeten RFID-Ereignisse, um daraus die Positionen der Bücher und der Benutzer abzuleiten.

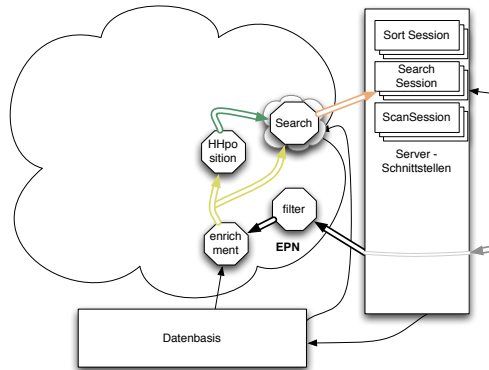


Abbildung 2: Schematische Darstellung des Event Processing Networks (Suche)

Sind beide Positionen errechnet, wird dem Benutzer eine Richtung angezeigt, in der er das Objekt am wahrscheinlichsten finden kann. Weiterhin hält das System die Daten der Domäne in einer Datenbank vor. Im Bibliotheksszenario wären dies beispielsweise der vorhandene Buchbestand sowie die Lageinformationen der Regale und der eingesetzten Ortsbarkeiten. Das Datenmodell sieht zusätzlich zu der Speicherung der ursprünglichen Position auch eine Verknüpfung von einzelnen Buchexemplaren mit der zuletzt gelesenen Position vor. So kann auf das Wissen vorangegangener Läufe zurückgegriffen werden. Je häufiger sich die Handhelds durch das System bewegen und Lesungen durchführen, desto genauer wird das Bild. Da, wie beschrieben, die genutzte RFID-Technologie fehleranfällig ist, betrachtet das System neben der Position auch die Nachbarschaften der Objekte. Auf diesem Weg ist es möglich, durch Lokalisation der Nachbarobjekte eine fehlerhafte oder ausgefallene Lesung auszugleichen.

Dazu wird ein Event Processing Network verwendet, welches die Ereignisverarbeitung übernimmt und somit die Anwendungsfälle umsetzt. Dieses EPN und seine Bestandteile sollen in den folgenden Abschnitten erläutert werden. Um dieses recht komplexe System verständlicher aufzubereiten, wird jeder Anwendungsfall einzeln betrachtet.

## 4.2 Suche

Zuerst wird auf den Anwendungsfall Suche eingegangen. Bei diesem Anwendungsfall muss ein von einem Mitarbeiter auf seinem Handheld eingegebenes Suchkriterium mit den eingehenden RFID-Daten verglichen werden (Siehe Kapitel 2). Für die Lokalisierung eines Buches sind zwei grundlegende Schritte notwendig.

- Zum einen erfasst das System die Position des Handhelds. Diese kann es durch den Abgleich der im System vorgehaltenen Lageinformationen und der vom Lesegerät gelesenen Transponder und deren Abstände bestimmen.

- Zum anderen gibt das System anschließend die Position des gesuchten Objektes relativ zum Lesegerät an. Hierzu verwendet es wiederum die gemessenen Abstände, um Richtungsangaben zu ermöglichen.

Das in Abbildung 2 dargestellte Event Processing Network realisiert die beiden Schritte. Auf der rechten Seite der Abbildung sind schematisch die statischen Bestandteile des Systems, wie die Server-Schnittstellen dargestellt. Die Komponente übernimmt weiterhin Initialisierungs- und Verbindungsaufgaben. Weiterhin erzeugt und verwaltet diese Komponente den Zustand der verschiedenen angemeldeten Handheld-Lesegeräte. Die Komponente modifiziert das EPN so, dass es an die dynamischen An- und Abmeldungen angepasst bleibt. Links davon befindet sich das EPN.

Dieses besteht aus verschiedenen Event Processing Agents, die mit Channels untereinander verbunden sind. Das Netz ist hierbei so aufgeteilt, dass jeder EPA einen sehr speziellen Teilaspekt betrachtet und dass sich die endgültige Funktion nur durch die Zusammenarbeit mehrerer EPAs ergibt. So kann die Komplexität der Regeln eines einzelnen EPAs reduziert werden, was allerdings gleichzeitig die Komplexität des Netzes erhöht.

Im dargestellten Netz ergeben sich vier verschiedene Teilaufgaben.

**Filterungs-EPA** Da viele Handhelds gleichzeitig arbeiten sollen und diese auch eine hohe Anzahl von Ereignissen produzieren, ist mit hoher Last zu rechnen. Der Filterungs-EPA ist dafür zuständig, die Last des System zu reduzieren. Er filtert dazu unpassende und doppelte Ereignisse aus. Beispielsweise werden Ereignisse, bei denen ein Objekt zu weit von dem Leser entfernt gelesen wurde, als unpassend betrachtet, da es sich bei diesen wahrscheinlich um false positives handelt, die durch Reflexionen erzeugt wurden.

**Enrichment-EPA** Um Regeln zu erstellen, die auch komplexe Zusammenhänge zwischen den Gegenständen abbilden können, ist es wichtig, die technischen RFID-Ereignisse um inhaltliche Informationen anzureichern. Dies erreicht der Enrichment-EPA. Dieser liest die dem Transponder zugeordnete Transponder-ID aus und beschafft das dieser ID zugeordnete Objekt aus der Datenbank. Anschließend wird für dieses Objekt ein neues Ereignis erzeugt und an weitere Agenten weitergeleitet. Wird beispielsweise die Transponder-ID eines Buches gelesen, erzeugt diese Regel ein neues Buchereignis.

**HandheldPosition-EPA** Wie beschrieben ist die Positionierung der Handhelds besonders wichtig, da eine Richtung zu einem Objekt nur angegeben werden kann, wenn die Ursprungs- und Zielposition bekannt ist. Liest ein Handheld eine oder mehrere Ortsbarken, kann er anhand dieser Information die Position bestimmen. Weiterhin wird die Position mit Hilfe der eingelesenen Objekte bestimmt. Innerhalb eines Zeitfensters wird für alle eingelesenen Gegenstände der vom System verwaltete Aufenthaltsort betrachtet. Der hierbei häufigste Aufenthaltsort wird als Position des Handheld-Lesegeräts angenommen.

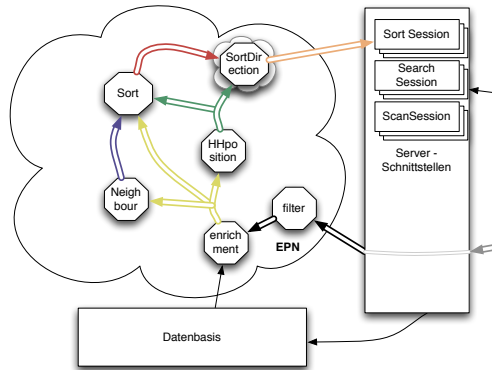


Abbildung 3: Schematische Darstellung des Event Processing Networks (Sortierung)

**Search-EPA** Der Search-EPA ist ein dynamisch hinzugefügter Event Processing Agent, welcher auf das Suchvorhaben einer Such-Session abgestimmt ist. Er reagiert auf Änderungen der Position des Handhelds und gibt dem Benutzer eine Richtung an, in welcher dieser das Objekt suchen soll. So stellt er unter anderem fest, ob sich der Benutzer dem gesuchten Objekt nähert oder sich davon entfernt.

### 4.3 Sortierung

Die oben genannten EPAs können teilweise wiederverwendet werden, um die Sortierung zu ermöglichen. Für den Anwendungsfall Sortierung können die in Abschnitt 4.2 vorgestellten EPAs teilweise wiederverwendet werden. Das EPN wird für die Sortierung um drei EPAs erweitert: Neighbour-EPA, Sort-EPA und SortDirection-EPA (siehe Abbildung 3). Der Search-EPA wird für diesen Anwendungsfall nicht benötigt.

**Neighbour-EPA** Die Betrachtung der Nachbarschaften des Objekts lässt erkennen, ob sich ein Objekt an der richtigen Stelle befindet. Zwei Objekte sind Nachbarn, wenn sie in einem engen zeitlichen Abstand gelesen wurden und ähnliche räumliche, aus den RFID-Daten abgeleitete, Abstände besitzen. Erkennt der Neighbour-EPA solche Ereignisse in dem Ereignisstrom, erzeugt er Nachbarschaftereignisse. Diese können mit den Ursprungsnachbarschaften verglichen werden, um Objekte aufzufinden, welche umgelagert wurden.

**Sort-EPA** Der Sort-EPA ist für die Erkennung von fehlpositionierten Objekten zuständig. Dabei greift er auf die Position der Handhelds, die Nachbarschaften sowie auf die Buchereignisse zu. Als Ergebnis senden die Regeln Ereignisse, die spezifizieren, welche Objekte sortiert werden müssen. Die Regeln zeigen weiterhin den Ort für eine richtige Einsortierung an.



**SortDirection-EPA** Der Sort-EPA spezifiziert zu sortierende Objekte. Diese Information alleine ist für den Benutzer nicht ausreichend und muss aufbereitet werden, da sie keine Angaben zu der Position des aktiven Benutzers enthalten. Diese Aufbereitung findet in separaten EPAs statt, welche der Server für jeden angemeldeten Handheld erzeugt und dynamisch in das Netzwerk eingehängt. So kann die Sortierungsinformation an den Benutzer geschickt werden, dessen Aufgabe die Sortierung von Gegenständen ist.

## 5 Fazit und weitergehende Arbeiten

Die beschriebene Architektur und das Event Processing Network ermöglichen die Lokalisierung von einzelnen Gegenständen in komplexen Anwendungsbereichen. Die Kombination von Event Processing und RFID-Technologie realisiert die Lokalisierung in Echtzeit, so dass ein Benutzer mit seinem mobilen Handheld ohne Verzögerungen in die richtige Richtung dirigiert wird. Dieses Vorgehen erweitert die Einsatzbereiche konventioneller RFID-Handhelds sowie moderner CEP-Engines und ermöglicht die Lösung eines bisher unbefriedigend gelösten Problems.

Die vorgestellte Architektur wurde mit einem verteilten Java-System und der CEP-Engine Drools Fusion<sup>1</sup> implementiert. Die auf Basis eines simulierten Testszenarios gewonnenen Erfahrungen belegen die grundsätzliche Eignung des Ansatzes. In einem nächsten Schritt soll das System in einem realen Anwendungsumfeld erprobt werden, um die Leistungsfähigkeit des Ansatzes sicherzustellen.

Wie zu erkennen ist, erhöht sich durch die Reduzierung der Komplexität auf der Ebene der Regeln die Komplexität des Netzwerkes deutlich. Daher wurde im Zuge der Forschungsarbeiten eine API erstellt, mit welcher solche Event Processing Netzwerke erzeugt und verwaltet werden können [BPW10].

Ein weiterer Gegenstand der Untersuchung ist die Auswirkung der Granularität der EPAs auf das Gesamtsystem hinsichtlich Funktion, Performanz und Wartbarkeit. Dabei kann die Granularität von einem EPA mit einem großen Regelsatz bis hin zu sehr vielen EPAs mit nur einer einzelnen Regel variiert werden. In beiden Fällen sind Effekte auf die Verarbeitung der Ereignisse sowie auf die Verständlichkeit des Systems denkbar [BD10].

Aus Lastverteilungsgründen könnte das Netzwerk auf verschiedene Arten angepasst werden. Einerseits kann das Netz so auf mehrere Server verteilt werden, dass auf diesen kleinere Teilnetze verarbeitet werden. Andererseits ist es möglich, gleiche Netze auf diesen Servern zu nutzen, welche nur Daten von einzelnen Regalen oder Räumen betrachten.

---

<sup>1</sup><http://www.jboss.org/drools/drools-fusion.html>

## Danksagung

Diese Arbeiten wurden gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages unter dem Förderkennzeichen: KF2425001ED9.

## Literatur

- [BD10] Ralf Bruns und Jürgen Dunkel. *Event-Driven Architecture. Softwarearchitektur für ereignisgesteuerte Geschäftsprozesse*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, Germany, 2010.
- [BPW10] Dominique Bellenger, Oliver Pawlowski und Johannes Westhuis. An Extensible Event Processing Architecture for RFID-Based Tracking and Tracing. In *RFID Systemtech 2010 - European Workshop on Smart objects: Systems, Technologies and Applications*, June 2010.
- [DB08] J. Dunkel und R. Bruns. Reference Architecture for Event-Driven RFID Applications. In *10th International Conference on Enterprise Information Systems (ICEIS), 2nd International Workshop on RFID Technology (IWRT)*, Seiten 129–135, 2008.
- [FSPT07] Michael Faschinger, Chellury R. Sastry, Amar H. Patel und Nazif Cihan Tas. An RFID and Wireless Sensor Network-based Implementation of Workflow Optimization. In *IEEE International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks*, Seiten 1–8, 2007.
- [HB09] S. Hariharan und S.T.S. Bukkapatnam. Misplaced item search in a warehouse using an RFID-based Partially Observable Markov Decision Process (POMDP) model. In *IEEE International Conference on Automation Science and Engineering*, Seiten 443–448, 2009.
- [JAF<sup>+</sup>06] Shawn R. Jeffery, Gustavo Alonso, Michael J. Franklin, Wei Hong und Jennifer Widom. A Pipelined Framework for Online Cleaning of Sensor Data Streams. In *International Conference on Data Engineering*, Seite 140, 2006.
- [Luc02] David C. Luckham. *The Power of Events: An Introduction to Complex Event Processing in Distributed Enterprise Systems*. Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., Boston, MA, USA, 2002.
- [RJK<sup>+</sup>05] Shariq Rizvi, Shawn R. Jeffery, Sailesh Krishnamurthy, Michael J. Franklin, Nathan Burkhart, Anil Edakkunni und Linus Liang. Events on the edge. In *Proceedings of the 2005 ACM SIGMOD International Conference on Management of Data*, SIGMOD '05, Seiten 885–887, New York, NY, USA, 2005. ACM.
- [SRS07] S. Selvakennedy, U. Rohm und B. Scholz. Event Processing Middleware for Wireless Sensor Networks. In *International Conference on Parallel Processing Workshops*, Seiten 65–65, 2007.
- [WDR06] Eugene Wu, Yanlei Diao und Shariq Rizvi. High-performance complex event processing over streams. In *Proceedings of the 2006 ACM SIGMOD International Conference on Management of Data*, SIGMOD '06, Seiten 407–418, New York, NY, USA, 2006. ACM.
- [WL05] Fusheng Wang und Peiya Liu. Temporal management of RFID data. In *Proceedings of the 31st International Conference on Very Large Data Bases*, VLDB '05, Seiten 1128–1139. VLDB Endowment, 2005.