

# Shipment Localization Kit: Ein ganzheitlicher Ansatz zur Verfolgung von Stückgutsendungen

Christian Hillbrand, Robert Schöch

christian.hillbrand@v-research.at, robert.schoech@v-research.at

**Abstract:** Die Verfolgung von Gütersendungen hat in der Transportlogistik einen hohen Stellenwert und ist mittlerweile ein Standard-Service vieler Anbieter, mittels dessen Versender und Empfänger ihre Geschäftsprozesse auf den Transportprozess abstimmen. Im Bereich von Kurier-, Express- und Paketdiensten (KEP) sind derartige Sendungsverfolgungskonzepte durch standardisierte Sendungsgrößen vergleichsweise einfach mittels Barcode technisch umzusetzen. In der Stückgutlogistik, deren Sendungen alle erdenklichen Größen und Formen annehmen können und die zusätzlich oft in Form von offenen Logistiknetzwerken organisiert ist, stellt die Implementierung meist eine große Herausforderung dar. Dieses Papier beschreibt vor dem Hintergrund einer eingehenden Analyse der Fragestellungen sowie des State of the Art in der Sendungsverfolgung einen hybriden Ansatz zur Verfolgung von Stückgütern auf Basis von GSM-Ortung und Radiofrequenzidentifikation (RFID). Neben den Ergebnissen eines breit angelegten Feldversuches in einem namhaften österreichischen Logistikunternehmen werden auch die sich dadurch eröffnenden Möglichkeiten sowie zukünftige Entwicklungspotenziale erörtert.

## 1 Einleitung

Die Prozesse produzierender Unternehmen zielen üblicherweise darauf ab, ein Gut mit möglichst geringen Kosten auf einem ausreichenden Qualitätsniveau zu erzeugen und dieses in weiterer Folge zu einer bestimmten Zeit an einem bestimmten Ort an einen Kunden zu veräußern. Die Einhaltung zeitlicher und räumlicher Restriktionen des Absatzes sind deshalb von besonderer Bedeutung, da der Kunde seine Prozesse ebenfalls auf die rechtzeitige Verfügbarkeit der Güter abstimmt, sofern diese weiter verarbeitet werden oder ein Konkurrenzprodukt in Erwägung zieht, wenn es sich um einen Endkunden handelt. Diese Problematik der „Lost Sales“, die durch räumliche und zeitliche Disparitäten im Absatzprozess verursacht wird, ist in der Literatur hinlänglich bekannt [Jos00]. Um einen akzeptablen Verfügbarkeitsgrad der Güter gewährleisten zu können, wird üblicherweise auf die Pufferfunktion von Eingangs-, Ausgangs oder Zwischenlagern zurück gegriffen. Dies verursacht jedoch vor allem durch das dadurch gebundene Kapital wie auch durch den teilweise sehr hohen Raumbedarf erhebliche Kosten. Diese Aufwände können signifikant gesenkt werden, wenn es gelingt, die mit den Transportprozessen zwischen den einzelnen Stufen der Wertschöpfungskette zusammenhängenden Unsicherheiten zu reduzieren. So hat die Bedeutung einer örtlichen wie auch einer zeitlichen Transparenz von Waren- und Gütersendungen in den letzten Jahren sehr stark an Bedeutung gewonnen. Diese Entwick-

lung wird insbesondere getrieben durch die nachfrageseitigen Informationsbedürfnisse der Transportlogistikbranche. Die systematische Erfassung von Informationen entlang der Transportkette und deren zeitnahe Weiterleitung an den Kunden werden von zahlreichen Studien bereits als Industriestandard und weniger als Wettbewerbsvorteil einzelner Logistikdienstleister angesehen [Day91, JW97, WT98, KARF04, BK05]. Die Vorteile für den Informationsempfänger sind dabei sehr vielfältig: Ankunfts- und Abhol- sowie Laufzeiten können genauestens prognostiziert und vorausgeplant werden. Dadurch können interne Geschäftsprozesse exakt auf den Transportvorgang abgestimmt und Maschinenstandzeiten oder Pufferlager reduziert oder gar eliminiert werden. Sicherheits-, temperatur- oder zeitkritische Sendungen können jederzeit überwacht und gegebenenfalls Gegenmaßnahmen bereits vor Eintritt eines etwaigen Schadensereignisses eingeleitet werden.

Da sich Logistikdienstleister wie bereits erwähnt alleine durch die Lieferung sendungsspezifischer Daten nicht mehr von ihren Mitbewerbern differenzieren können, stellt diese gewissermaßen einen obligatorischen Produktbestandteil dar, der zu gewährleisten ist. Für die Implementierung dieser Informationsdienstleistung sind derzeit in Literatur und Praxis unterschiedliche Ansätze zu beobachten: Dies reicht von der manuellen Aufzeichnung der Logistikkette beispielsweise mittels Begleitscheinen bis hin zur vollautomatisierten Verfolgung von Gütersendungen mittels automatischer Sendungsidentifikation oder Ortungstechnologien. Für die Logistikdienstleister bedeutet die Umsetzung eines Konzeptes zur Sendungsverfolgung in jedem Fall einen beträchtlichen finanziellen und organisatorischen Aufwand entweder im operativen Betrieb oder in der Implementierung der Maßnahmen [KARF04, BK05]. Für Dienstleistungen in denen die zu befördernden Waren oder Güter bestimmten Beschränkungen hinsichtlich deren Gewichts aber vor allem in Bezug auf Größe unterworfen sind, sind derartige Tracking-Systeme mit vergleichsweise einfachen Mitteln zu implementieren. So sind die meisten funktionierenden Ansätze in der Praxis von Kurier-, Express- oder Paketdiensten (KEP) umgesetzt worden [KARF04], deren Produkte einer gewissen Standardisierung unterliegen. Weit größere Schwierigkeiten bedeutet die Sendungsverfolgung im Stückgutverkehr, da in diesem Bereich Güter mit unterschiedlichsten Eigenschaften zu transportieren sind. So ist beispielsweise die Erfassung von Gütern mittels Barcodes in der Stückgutlogistik nahezu immer mit manuellem Aufwand für das Etikettieren und Identifizieren der Sendungen verbunden oder unmöglich.

Hinzu kommt die Tatsache, dass sehr viele international agierende Stückguttransporteure in offenen Logistiknetzwerken organisiert sind. Dabei schließen sich mehrere national oder regional agierende Logistikdienstleister zu einem Verbund zusammen, wobei jeder in seiner Region die Transportaufträge im Namen seiner Konsortialpartner wahrnimmt, um diese an definierten Schnittstellen (z.B. Umschlaglagern, Hubs) an einen weiteren Partner zu übergeben. Das bedeutet vor allem, dass an einem Transport nahezu immer mehrere Partner beteiligt sind und dadurch die homogene Erfassung und Darstellung der Sendungsinformationen über die ganze Logistikkette hinweg aufgrund fehlender standardisierter Datenschnittstellen nahezu unmöglich ist. Insbesondere die automatisierte Verfolgung von Sendungen mittels AutoID- oder Ortungstechnologien ist abhängig von der Integration der Informationsinfrastruktur der einzelnen Partner wie beispielsweise Lese-Stationen oder Datenschnittstellen. Dies ist mit herkömmlichen Tracking-Ansätzen nicht zu erreichen, wie beispielsweise auch eine Studie von Kärkkäinen et al. zeigt:

”[...] traditional tracking approaches do not suit multi-company networks [...]. Contemporary tracking systems are only useful when goods are handled by one company. Such systems utilise service provider-specific coding for consignments and thus increase the complexity of retrieving tracking information for customers using multiple providers.”[KARF04, p. 545]

Zu einem ähnlichen Schluss gelangen auch andere Studien [HGF02].

Vor diesem Hintergrund wird die Notwendigkeit zur Verfolgung von Sendungen auf Stückgutebene anstatt auf Stufe der Transportmittel oder -dienstleister deutlich: Durch die Ausstattung einzelner Ladungseinheiten (Kolle) mit Identifikationsmitteln, die entweder mit einer standardisierten Infrastruktur erkannt werden können oder vollständig autark arbeiten, besteht keine weitergehende Notwendigkeit zur informationstechnologischen Integration von Logistikpartnern zur Gewährleistung einer durchgehenden Sendungsverfolgung. Die Identifikationsmittel verbleiben während der ganzen Transportlaufzeit auf oder bei der Ladung und werden erst nach Ankunft beim endgültigen Empfänger entfernt, ggf. retourniert und damit wiederum in den Kreislauf eingebunden.

Dieser Beitrag stellt vor diesem Hintergrund einen Ansatz für die Sendungsverfolgung auf Stückgutebene vor, der mittels Radiofrequenzidentifikation (RFID) und GSM-Technologie eine diskrete und stetige Verfolgung von Waren- und Gütersendungen unabhängig vom verwendeten Transportmittel oder Transporteur gewährleistet. Dazu werden in Abschnitt 2 zunächst unterschiedliche Ansätze der Sendungsverfolgung erörtert, bevor in Abschnitt 3 auf die besonderen Fragestellungen einer kontinuierlichen Sendungsverfolgung mittels Mobilfunktechnologie (GSM) eingegangen wird. Dies legt die Basis für die Vorstellung eines konkreten Sendungsverfolgungs-Konzeptes in Abschnitt 4 dar, das die Vorteile der diskreten und stetigen Sendungsverfolgung verbindet. Die Erfahrungen bei der Umsetzung dieses Ansatzes sowie offene Fragestellungen sind im zusammenfassenden Abschnitt 5 dargestellt.

## **2 Ansätze der Sendungsverfolgung**

In Literatur und Praxis sind vielfältige Ansätze zur Verfolgung von Gütersendungen zu beobachten, die auf die Erfordernisse der Stückgutlogistik adaptiert werden können. Eine Übersicht der wichtigsten Trackingverfahren ist in Abbildung 1 dargestellt.

Die meisten in der Praxis anzutreffenden Verfahren basieren auf der Erfassung der Gütersendungen an dafür vorgesehenen Identifikationspunkten. Da zwischen diesen die Position und der Status der Sendung als unbekannt betrachtet werden muss, werden derartige Trackingkonzepte im Rahmen dieser Arbeit als diskrete Ansätze bezeichnet.

Die Logistikbranche setzt heute für die automatische Identifizierung (Auto-ID) im Zuge der diskreten Sendungsverfolgung in 85% der Fälle Barcode-Systeme ein [TL04]. Mittlerweile ist die „European Article Number“ (EAN) mit der „Nummer der Versandeinheit“ (NVE, international: Serial Shipping Container Code - SSCC) eine der am häufigsten implementierten Anwendungen und hat sich als State of the Art etabliert. Die Vorteile

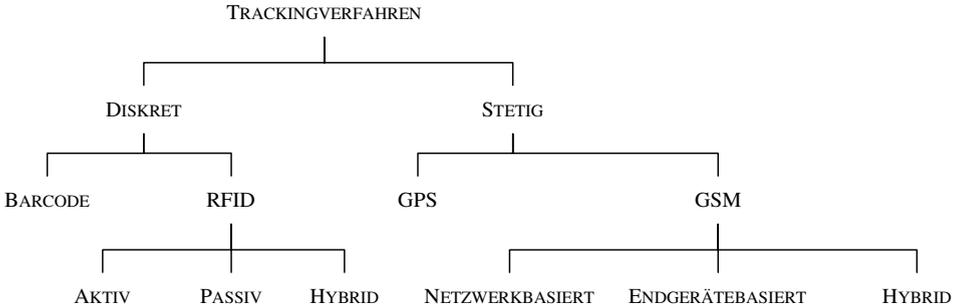


Abbildung 1: Zusammenfassende Übersicht der wichtigsten Trackingverfahren

des Barcodes liegen vor allem im hohen Grad der Standardisierung sowie in den relativ niedrigen Kosten, die dessen Einsatz verursacht. Damit zusammenhängend sind Barcodes weithin akzeptiert und zeichnen sich durch eine gute Integration in die logistische Wertschöpfungskette aus. Nachteilig kann sich hingegen auswirken, dass die Erfassung eines Barcodes eine direkte Sichtverbindung erfordert und damit anfällig gegen Verschmutzungen ist sowie einzeln beim Warenein- und -ausgang gescannt werden muss.

Um diese nachteiligen Eigenschaften des Barcodes zu vermeiden, wird in den Bereichen Handel, Dienstleistungen und Produktion, aber immer häufiger auch in der Logistik, die Radiofrequenzidentifikation (RFID) - oft auch Transpondertechnologie genannt - eingesetzt. Der RFID-Anteil für die Auto-ID wird derzeit mit 3% beziffert [TL04]. Das RFID-System besteht im Wesentlichen aus einem Transponder (Englisch „tags“) sowie einer Antenne, einem Lese-/Schreibgerät und dem dazu gehörigen Datenverarbeitungssystem. Die Übermittlung vom Transponder als Datenträger zum Tag erfolgt drahtlos und weist somit zahlreiche Vorteile gegenüber der Barcode-Technologie auf. Nachteilig wirken sich hingegen fehlende Standards bezüglich Technologie, Daten, Anwendungen sowie gesetzliche Vorschriften, die mögliche Beeinträchtigung durch Metalle, Flüssigkeiten und andere leitende Gegenstände und das Nichterkennen eines Tagausfalles durch den Reader aus.

Der wesentlichste Nachteil der diskreten Sendungsverfolgung ist jedoch, dass diese abhängig vom Vorhandensein einer Identifikations-Infrastruktur ist. So müssen die Güter von RFID- oder Barcode-Lesern erfasst und die ermittelten Informationen über eine Datenverbindung zur weiteren Verarbeitung an ein zentrales System übertragen werden.

Im Unterschied dazu basieren stetige Trackingverfahren auf einer Ortung der Gütersendungen zu beliebigen Zeitpunkten und damit zusammenhängen auf einer durchgängigen Verfolgung deren Status. Das Global Positioning System (GPS) ist dabei das am häufigsten eingesetzte Ortungssystem. Die beispielsweise für Navigationssysteme eingesetzte Technologie basiert auf 24 US-militärgesteuerten Satelliten, erreicht eine hohe Ortungsgenauigkeit und ermöglicht einen flächendeckenden Einsatz. Nachteil des GPS-Systems ist dessen ausschließliche Einsatzbarkeit im Freien. Weiters führt die Benützung im Bereich von Hochhäusern, Wäldern oder in engen Tälern zu Abschattungen der GPS-Signale.

Das Global System for Mobile Communication (GSM) bietet heute wie jedes zellulare

Funknetz in verschiedenen Variationen Ortungsmöglichkeiten an: Im Rahmen dieser Arbeit wird zwischen netzwerkbasierten, endgerätebasierten und hybriden Systemen unterschieden: Bei der netzwerkbasierten Methode wird die Position eines Endgerätes über das Mobilfunknetzwerk vom Serviceprovider ermittelt. Letzterer verfügt über sehr genaue Daten (z.B. Standort der Basisstationen) für die Lokalisierung der mobilen Endgeräte.

Im Zuge der endgerätebasierten Methode werden die zur Positionsbestimmung benötigten Daten vom mobilen Endgerät aus ermittelt, welches dazu notwendige Detailinformationen heuristisch reproduzieren muss.

Als hybrid werden Ortungsverfahren bezeichnet, die aus mindestens einem GSM- und einem Nicht-GSM-Ortungsverfahren bestehen, welche miteinander interagieren [Koh04]. Hierzu zählt insbesondere das als Assisted GPS (A-GPS) bezeichnete Verfahren, das eine Ortungsgenauigkeit zwischen 3 und 30 m erreicht.

### **3 Stetige Sendungsverfolgung auf Stückgutebene mittels GSM**

Um den Anforderungen der Sendungsverfolgung in der Stückgutlogistik gerecht zu werden, wie sie in Abschnitt 1 bereits erörtert wurden, sind in diesem Bereich Verfahren einzusetzen, die weitestgehend unabhängig von bestehender Infrastruktur sowie auch innerhalb von Gebäuden und Verkehrsmitteln betrieben werden können. Da folglich in den meisten Fällen keine direkte Sicht der Verfolgungseinheit zu GPS-Satelliten gegeben ist, erscheint der Einsatz von GPS auf Stückgutebene als nicht zielführend. In der Praxis wird dieses Dilemma sehr oft durch eine logische Zuordnung der Stückgüter zu Verkehrsmitteln und die Ortung der Position letzterer gelöst. Dies jedoch widerspricht wiederum der Anforderung von offenen Logistiknetzwerken, nicht an technische Einrichtungen oder Datenaustausch von Partnern gebunden zu sein.

Somit können für den beschriebenen Einsatzzweck nur derartige Verfahren zum Einsatz kommen, die einzelne Kollis direkt und unabhängig von den Charakteristika des Standortes lokalisieren können. Vor diesem Hintergrund wird im folgenden Abschnitt ein Lösungsansatz für die stetige Sendungsverfolgung auf Stückgutebene auf der Basis von endgerätebasierter Ortung mittels GSM vorgestellt. Darauf aufbauend werden die Möglichkeiten und Grenzen dieser Technologie auf Basis der Ergebnisse eines Feldversuches dieser Lösung dargestellt.

#### **3.1 Technologische Grundlagen**

Die technologische Grundlage für die Ortung mittels GSM-Endgeräten bietet der zellulare Aufbau eines derartigen Mobilfunknetzes. Dieser wird durch das begrenzte Frequenzband von 25 MHz bedingt, das für GSM reserviert ist und was eine räumliche Wiederverwendung (spatial frequency reuse) von Kanälen notwendig macht. Als direkte Folge daraus wird das abzudeckende Gebiet in einzelne Funkzonen mit jeweils gleicher Sendefrequenz aufgeteilt, die vereinfacht als Hexagone modelliert werden [EVB01]. Eine GSM-Zelle be-

steht demnach aus mindestens einer Sendeanlage oder Base Transceiver Station (BTS), die Funksignale aussendet sowie Signale der in ihrer Reichweite befindlichen Endgeräte empfängt und in ein Telefonnetz weiter leitet. Um eine durchgängige Netzabdeckung zu gewährleisten, überlappen sich Sendebereiche von GSM-Zellen in deren Randzonen. Dadurch kann gerade in Gebieten mit sehr hoher Senderdichte die „Zellkonkurrenz“ zu erheblichen Deformationen der Zellen führen [Koh04].

Ein mobiles Endgerät ist immer einer bedienenden Zelle (serving cell) zugeordnet, mit der der Signalaustausch über die Luftschnittstelle abgewickelt wird. Dabei werden jedoch in regelmäßigen Abständen die Empfangspegel (RxL) der benachbarten Zellen gemessen. Wird das Endgerät in Richtung einer Nachbarzelle bewegt, so übersteigt deren RxL denjenigen der bedienenden Zelle und das Mobilteil wird in die neue Zelle „umgebucht“ (Hand-Off).

Da jede GSM-Zelle durch eine weltweit eindeutige Kennung - den Global Cell Identifier (GCI) - identifiziert werden kann, kann die Position eines Endgerätes durch Ermittlung der jeweils bedienenden Zelle auf deren Sendegebiet eingeschränkt werden. Damit ist die Ortungsgenauigkeit dieses Verfahren einzig determiniert durch die Zellradien im betreffenden Gebiet, welche zwischen 100m und 35km variieren können. In der einschlägigen Literatur sind zahlreiche netzbasierte Verfahren bekannt, um die Ortungsgenauigkeit zu optimieren. Dabei werden zusätzliche - nur dem Netzbetreiber zugängliche - Daten wie Signallaufzeit oder Signalwinkel mit einbezogen (vgl. z.B. [Dor01]). Die Abhängigkeit von einzelnen Mobilfunkanbietern erschwert jedoch den Einsatz dieser Verfahren in offenen Logistiknetzwerken, deren Hauptaugenmerk auf der Verfolgung internationaler Sendungen liegt. Der Fokus des in diesem Abschnitt dargestellten Ansatzes liegt deshalb, folgend den oben aufgestellten Anforderungen, auf der endgerätebasierten Ortung von Stückgütern. Er beschreibt eine konkrete Lösung, die unter dem Arbeitstitel „Shipment Localization Kit“ (SLK) für ein großes österreichisches Transportunternehmen erarbeitet sowie erfolgreich getestet wurde und derzeit auf den operativen Einsatz vorbereitet wird.

### **3.2 Endgerätebasierter Ortungsansatz**

Eine direkte Folge aus der Notwendigkeit der endgerätebasierten Ortung ist, dass die mobilen Einheiten mit zusätzlichen Mechanismen auszustatten sind, um die erforderlichen Zellinformationen zu erfassen, aufzubereiten und an ein zentrales Informationssystem zu übermitteln. So umfasst ein derart erweitertes Endgerät (GSM-SLK) neben der üblichen Sende- und Empfangseinheit auch ein dezentrales Steuerungsmodul. Dieses kann über die Luftschnittstelle (z.B. mittels SMS) konfiguriert werden und führt in regelmäßigen Abständen oder bei Eintreten bestimmter Ereignisse (z.B. Einbuchen in ein neues Mobilfunknetz, Auftreten bestimmter GSM-Zellen, ) die Ermittlung der Zell- und Netzcharakteristika durch. Anschließend werden die erfassten Daten über ein geeignetes Verfahren (SMS, GPRS o.ä.) an ein zentrales Informationssystem übermittelt. Die Steuerungseinheit implementiert zusätzlich verschiedene Filter, die eine Datenreduktion und -plausibilisierung ermöglicht. So wird überprüft, ob sich die mobile Einheit seit längerer Zeit in derselben bedienenden Zelle befindet, wodurch die Position nicht erneut übermittelt

werden muss. Ebenso beinhaltet die beschriebene Lösung einen sogenannten „Flackerfilter“. Damit lässt sich erkennen, wenn das mobile Endgerät im Überlappungsbereich zwischen zwei oder mehr Zellen wiederholt hin und her gebucht wird.

Das zentrale Informationssystem empfängt die vom mobilen Endgeräten versandten Daten über ein GSM-Modem und eine Eingangsschnittstelle. Die empfangenen Zellinformationen werden anschließend aufbereitet und in einer zentralen Datenbank abgelegt. Darin ist jede Positionsinformation gekennzeichnet durch ein Datentripel, welches die Identifikation des Endgerätes (IMEI), sowie der bedienenden GSM-Zelle (GCI) und einen Zeitstempel enthält. Eine weitere Datenbank enthält die Standorte der GSM-Zellen in geocodiertem Format (WGS84). Durch eine Verknüpfung dieser beiden Datenbestände kann so zu einem definierten Zeitpunkt die geographische Position des Endgerätes ermittelt werden.

Die geographischen Standorte und räumliche Ausbreitung der einzelnen GSM-Zellen, die für den Abgleich mit den endgerätebasierten Zellinformationen herangezogen werden, können aus unterschiedlichen Quellen stammen: Einerseits können Mobilfunkanbieter diese Daten mit sehr hoher Genauigkeit zur Verfügung stellen. Da es sich jedoch dabei um höchst wettbewerbsrelevante Informationen handelt, erscheint dieser Weg jedoch in der Praxis als schwierig oder gar unmöglich. Eine andere Möglichkeit besteht darin, diese zellspezifischen Positionsangaben mittels eigener hybrider Lerngeräte auf Basis von GPS und GSM (GPS-SLK ) zu ermitteln, um daraus Rückschlüsse auf die tatsächlichen Zellpositionen und -ausmaße zu ziehen. Die Unschärfe dieses Positionierungsverfahrens ist jedoch wie bereits erwähnt durch die Größe der zum Erfassungszeitpunkt bedienenden GSM-Zelle bestimmt. Für Anwendungen in der Transportlogistik mit üblichen Ortungsintervallen in der Größenordnung von einer Stunde oder mehr kann dieser Zuverlässigkeitsgrad jedoch als ausreichend angesehen werden. Darüber hinaus sind weitergehende Ansätze zur Optimierung der Ortungsgenauigkeit denkbar.

### **3.3 Ergebnisse**

Der in diesem Abschnitt beschriebene Ansatz zur endgerätebasierten stetigen Sendungsverfolgung wurde im Rahmen eines Feldversuches bei einem großen österreichischen Transportunternehmen unter anderem auf dessen Einsatztauglichkeit in der Stückgutlogistik getestet. Über einen Zeitraum von zwei Monaten im Frühjahr 2005 wurden mehrere LKWs des Unternehmens mit zwei hybriden GPS-SLKs ausgestattet, die sowohl die jeweils bedienende Mobilfunkzelle mittels eines GSM-Empfängers sowie auch die tatsächliche Geoposition mittels GPS ermitteln können. Die aufgenommenen 55.120 Datenpunkte in 2.775 österreichischen, deutschen, schweizerischen und italienischen GSM-Zellen weisen zu einem überwiegenden Teil eine sehr hohe Ortungsqualität auf: Für nahezu 90% aller Fälle konnte eine zuverlässige Position mit mehr als fünf GPS-Satelliten bestimmt und ein Empfangspegel der bedienenden GSM-Zelle von über -80dB sicher gestellt werden.

Aus dem Vergleich der tatsächlich ermittelten Geoposition einer Ortung mit dem Mittelpunkt der jeweils bedienenden GSM-Zelle kann so für jeden Datenpunkt eine Abweichung

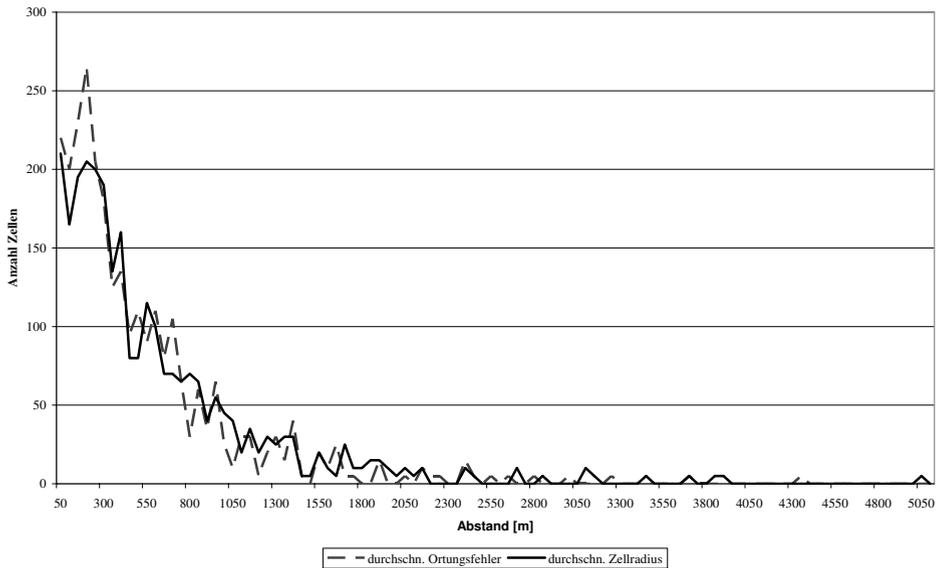


Abbildung 2: Durchschnittliche Zellradien und Ortungsfehler in GSM-Zellen

errechnet werden, die den Ortungsfehler bei reiner Zellortung wieder gibt. Die Verteilung dieser Ortungsfehler ist in Abbildung 2 als unterbrochene Linie dargestellt. Wie daraus ersichtlich ist, liegt eine sehr schiefe Verteilung der Abstände vor: 90% aller errechneten Lokalisierungsfehler zwischen Zellortung und exakter Positionsbestimmung liegt im Bereich unter 1.100m. Der Median der Ortungsabweichung liegt bei 268 Metern (Mittelwert: 443m). Die theoretische Begrenzung einer Zelle ergibt sich aus einer Selektion der geographisch außen liegenden Datenpunkte. Wie in einer geographischen Visualisierung in Abbildung 3 dargestellt, können so die theoretischen Grenzen einer GSM-Zelle, an der ein Hand-Off an eine andere Zelle erfolgt, heuristisch nachvollzogen werden.

Bei der Identifikation einer ausreichenden Anzahl von Begrenzungspunkten kann ein durchschnittlicher Radius der Mobilfunkzelle rekonstruiert werden. Wie die durchgehende Linie in Abbildung 2 zeigt, ist der empirisch rekonstruierte durchschnittliche Radius der im Feldversuch erfassten GSM-Zellen einer ähnlich schiefen Verteilung unterworfen wie der mittlere Ortungsfehler selbst. Der Median der durchschnittlichen Zellradien beträgt 302m (Mittelwert: 508m).

Die Beobachtungen des Feldversuches lassen somit den Schluss zu, dass eine ausreichende Ortungsgenauigkeit mittels GSM-Zellortung von unter einem Kilometer nahezu flächendeckend gegeben ist. Ein auf Stückgutenebene angebrachtes GSM-SLK liefert somit eine Positionsangabe mit einer zu erwartenden Abweichung von 268 Metern. Im worst case beträgt dieser zu erwartende Ortungsfehler im untersuchten Gebiet knapp über 5.000m. Selbst in diesem Fall ist es bei Unterstellung einer durchschnittlichen Transportgeschwindigkeit von 50 km/h möglich, die geforderte zeitliche Auflösung der Verfolgungsupdates



sondere höheren Sicherheitsanforderungen gerecht werden. So kann etwa der genaue Sendungsverlauf aufgezeichnet werden, was insbesondere für eine etwaige spätere Schadensrekonstruktion von besonderer Bedeutung sein kann. Über die aktive Ortung einzelner Kollis hinaus besteht aber auch die Möglichkeit der Definition und Überwachung von Raum-Zeit-Korridoren für die Stückgutsendungen. Dabei gibt der Empfänger oder Versender vor, zu welchen Zeitpunkten sich die Sendung an definierten Orten befinden bzw. diese bereits passiert haben muss. Das System überwacht nun automatisch die Übereinstimmung dieser Vorgaben mit den tatsächlichen Ortungsergebnissen und veranlasst bei Abweichungen weitere Maßnahmen wie beispielsweise Benachrichtigungen (proaktives Aviso).

Gemeinsam mit einer Prognosefunktionalität für die Ankunft der Sendung kann diese passive Sendungsverfolgung direkt in die Geschäftsprozesse des Empfängers integriert werden. Dieser lässt sich dadurch optimaler auf die Verfügbarkeit der transportierten Güter zum prognostizierten Zeitpunkt abstimmen. So kann beispielsweise auch durch eine rechtzeitige Benachrichtigung im Falle einer verspäteten Ankunft ein echter Mehrwert für den Empfänger entstehen, da er in diesem Fall Alternativmaßnahmen vorbereiten kann.

Alternativ oder ergänzend zur passiven Sendungsverfolgung können mit dem vorgeschlagenen Ansatz auch so genannte „virtuelle Tore“ eingerichtet werden. Dabei werden ausgesuchte GSM-Zellen entlang der vorgesehenen Transportstrecke definiert, die als Eventpunkte dienen. Sobald das GSM-SLK mit dem die Sendung ausgestattet ist eine derartige Zelle erkennt, wird eine Meldung an das zentrale Informationssystem gesandt, welches weitere Maßnahmen einleitet.

## **4 Integration von stetiger und diskreter Sendungsverfolgung**

Die bisherigen Erfahrungen mit dem GSM-SLK-Agenten haben gezeigt, dass durch ständiges Übertragen der Ortungsdaten per SMS oder GPRS an das zentrale Datenverarbeitungssystem die Serviceproviderkosten schnell anwachsen können und der Energieverbrauch auf Seiten des mobilen Endgerätes verhältnismäßig hoch ist. Eine weitere Erkenntnis, basierend auf den untersuchten Testfällen, zeigt, dass GSM-SLKs keine vernünftige Buchführung in Echtzeit während des Transportprozesses ermöglichen, da Ein- und Ausgang der Waren an deren Umschlaglagern aus technischen Gründen nur zeitverzögert feststellbar ist. Des Weiteren ist aufgrund des Sicherheitsaspektes im Luftfrachtverkehr die Deaktivierung des mobilen Endgerätes zu berücksichtigen. Durch Integration von stetiger und diskreter Ortung wird größtenteils das Verbesserungs- und Optimierungspotential des GSM-SLK-Agenten ausgeschöpft. Die Datenredundanz und die Anzahl der Datentransfers zum Datenverarbeitungssystem reduzieren sich erheblich. Das RFID-System (RFID-SLK) ermöglicht eine aktuelle Protokollierung der Stückgutverwaltung an den jeweiligen Umschlagplätzen. Zusätzlich deaktiviert die Eingangsbuchung, ausgelöst durch das RFID-SLK den GSM-SLK-Agenten. Die anschließende Ausgangsbestätigung reaktiviert das GSM-SLK, das eine Überwachung der Sendung bis zum nächsten Umschlaglager oder Zielort zur Folge hat.

Aus Sicht der Anwendung sind die beiden Agenten GSM-SLK und RFID-SLK das Bin-

deglied zwischen der einzelnen Sendung und dem bestehenden Informationssystem. Der GPS-SLK-Agent stellt der IT-Landschaft lediglich die nötigen Ortungsdaten zur Verfügung. Die Einbettung aller SLK-Agenten in die Systemlandschaft erfordert zusätzliche Bausteine wie das Gateway-SLK und die Middlewarekomponente.

Das Gateway-SLK bewirkt eine unmittelbare Integration der anfallenden SLK-Rohdaten in das bestehende IT-Netzwerk. Es sammelt die Rohdaten von den SLK-Agenten ein und leitet diese in digitaler Form der Middlewarekomponente weiter. Die Hauptaufgabe letzterer ist das Filtern und Parsen der generierten SLK-Rohdaten, damit diese anschließend den diversen Informationsservices (z.B. Distributionslogistik) des Logistikservers zur Verfügung gestellt werden können, ohne diesen mit großen Datenmengen zu überlasten. Darüber hinaus sorgt die Middleware für Basisservices, die eine Überwachung von Zeit- oder Routenabweichungen während des Transportprozesses durchführen.

Im oben dargestellten Feldversuch wurde ein Warenumschlagslager mit mehreren RFID-Readern ausgestattet. Die Ladungsträger (z.B. Behälter, Gitterboxen) erhielten eine Bestückung der SLK-Agenten (RFID und GSM), und der IT-Bereich eine Ergänzung mit Software-Prototypen der Gateway-SLK und der Middleware.

Die Versuchsreihe zeigte überwiegend positive Ergebnisse: So verlief etwa die Pulkdatenerfassung von Metallboxen erfolgreich. Die automatische Ein- und Ausgangserkennung der Ware (Richtungserkennung) an Laderampen war jedoch aus technischen Gründen nicht immer möglich, da der Verladeprozess un stetig ablief. Interessant sind die Aufzeichnungen der Benützung des „virtuellen Tores“ im Transportprozess, welche der GSM-SLK-Agent initiierte. Der Energieverbrauch des GSM-SLKs ist hoch und deswegen als kritisch zu beurteilen. Schon nach wenigen Transportkreisläufen war ein Aufladen der Batterie nötig. Das grenzüberschreitende Lernen der Ortungsdaten mit dem GPS-SLK war nach anfänglichen Schwierigkeiten erfolgreich. Jedoch können in grenznahen Gebieten ständig die Serviceprovider wechseln und damit war eine saubere Abgrenzung der Lerndaten nicht durchgängig gegeben. Das Ziel des Feldversuches, die Technologie der diskreten und stetigen Verfolgung auf Stückgutebene zu erproben und die protokollierten Transportkreisläufe in diversen Informationsservices abzubilden, wurde jedoch eindeutig erreicht.

## **5 Zusammenfassung und Ausblick**

Gängige Lösungen im Bereich der Sendungsverfolgung wie beispielsweise Barcodes oder RFID konzentrieren sich vornehmlich auf diskrete Erfassungszeitpunkte, an denen die Sendung identifiziert wird. Weitergehende Konzepte mit der Zielsetzung einer kontinuierlichen Überwachung einer Gütersendung orientieren sich vor allem am Einsatz von GPS. Ausgangsvoraussetzung für diese Arbeit ist, dass dieser Ansatz in der Stückgutlogistik im praktischen Einsatz mit zu vielen Restriktionen (z.B. freie Sicht zum Himmel) verbunden ist. Darüber hinaus sind im Bereich des Stückguttransports sehr oft offene Logistiknetzwerke anzutreffen, die den Einsatz standardisierter Technologien erschwert. Vor diesem Hintergrund stellt diese Arbeit einen neuartigen Ansatz für die Sendungsverfolgung auf Stückgutebene vor, der auf der Kombination diskreter Güteridentifikation mittels

RFID und stetiger Sendungsverfolgung mittels GSM-Ortung beruht. Die Ergebnisse eines Feldversuches, der im Zuge der prototypischen Implementierung bei einem großen österreichischen Logistikkonzern durchgeführt wurde, zeigen zufrieden stellende Ergebnisse.

Weitergehender Forschungsbedarf besteht insbesondere hinsichtlich der Verbesserung der Genauigkeit mittels endgerätebasierter GSM-Ortung. Dabei sind unterschiedliche zusätzliche Zellcharakteristika wie Nachbarschaftsinformationen, Profile von Signalpegeln oder Überlappungsbereiche zu analysieren, um eine zuverlässigere Positionsbestimmung zu ermöglichen. Darüber hinaus sind Algorithmen zu entwerfen, die Aus- und Einbuchungsvorgänge der RFID-SLKs unterstützen, um die unzuverlässige Ein- und Ausgangserkennung auf Hardware-Seite zu ersetzen.

## Literatur

- [BK05] W.R. Bretzke und M. Klett. Logistikdienstleister: Treiber oder Getriebene der RFID-Technologie? <http://mylogistics.net/de/news/themen/key/news163462/jsp>, 2005. download: 10/17/2005.
- [Day91] A. Day. Who cares about international freight? *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 21(4):29 – 31, 1991.
- [Dor01] P. Dornbusch. *Location-based Services in zellularen Netzen*. Diplomarbeit, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, Aachen, 2001.
- [EVB01] J. Eberspächer, H.-J. Vögel und C. Bettstetter. *GSM - Global System for Mobile Communication*. Teubner Verlag, Stuttgart et al., 3., aktualisierte und erweiterte. Auflage, 2001.
- [HGF02] E. Huvio, J. Grönvall und K. Främling. Tracking and tracing parcels using a distributed computing approach. In *NOFOMA'2002 Conference*, Trondheim, 13-14 June 2002.
- [Jos00] Y.V. Joshi. *Information Visibility And Its Effects On Supply Chain Dynamics*. Master thesis, Massachusetts Institute of Technology, Boston, MA, June 2000.
- [JW97] M. Janah und C. Wilder. FedEx special delivery. *Information Week*, 654:42 – 60, 27 October 1997.
- [KARF04] M. Kärkkäinen, T. Ala-Risku und K. Främling. Efficient tracking for short-term multi-company networks. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 34(7):545 – 564, 2004.
- [Koh04] R. Kohlen. *Routenidentifikation in Verkehrsnetzen auf der Grundlage unscharfer Ortungsinformationen (GSM)*. Shaker Verlag, Aachen, 2004.
- [TL04] M. Ten Hompel und V. Lange. *Radio Frequenz, Identifikation 2004. Logistiktrends für Industrie und Handel*. Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik, Dortmund, 2004.
- [WT98] L. Williams und K. Tao. Information technology adoption: using classical adoption models to predict AEI software implementation. *Journal of Business Logistics*, 19(1):5 – 16, 1998.