

February 2007

# Zum Einsatz von RFID in der Filiallogistik eines Einzelhändlers: Ergebnisse einer Simulationsstudie

Frédéric Thiesse

*Universität St. Gallen, frederic.thiesse@unisg.ch*

Elgar Fleisch

*Universität St. Gallen, elgar.fleisch@unisg.ch*

Follow this and additional works at: <http://aisel.aisnet.org/wi2007>

---

## Recommended Citation

Thiesse, Frédéric and Fleisch, Elgar, "Zum Einsatz von RFID in der Filiallogistik eines Einzelhändlers: Ergebnisse einer Simulationsstudie" (2007). *Wirtschaftsinformatik Proceedings 2007*. 9.  
<http://aisel.aisnet.org/wi2007/9>

This material is brought to you by the Wirtschaftsinformatik at AIS Electronic Library (AISeL). It has been accepted for inclusion in Wirtschaftsinformatik Proceedings 2007 by an authorized administrator of AIS Electronic Library (AISeL). For more information, please contact [elibrary@aisnet.org](mailto:elibrary@aisnet.org).

In: Oberweis, Andreas, u.a. (Hg.) 2007. *eOrganisation: Service-, Prozess-, Market-Engineering*; 8. Internationale Tagung Wirtschaftsinformatik 2007. Karlsruhe: Universitätsverlag Karlsruhe

ISBN: 978-3-86644-094-4 (Band 1)

ISBN: 978-3-86644-095-1 (Band 2)

ISBN: 978-3-86644-093-7 (set)

© Universitätsverlag Karlsruhe 2007

# **Zum Einsatz von RFID in der Filiallogistik eines Einzelhändlers**

## **Ergebnisse einer Simulationsstudie**

Frédéric Thiesse, Elgar Fleisch

Institut für Technologiemanagement (ITEM-HSG)

Universität St. Gallen

9000 St. Gallen, Schweiz

{frederic.thiesse, elgar.fleisch}@unisg.ch

### **Abstract**

Vor dem Hintergrund des bis heute bestehenden Problems der unzureichenden Regalverfügbarkeit im Handel eröffnet RFID durch eine automatische Erfassung von Warenbewegungen in der Filiale die Möglichkeit, den Prozess der Regalnachbefüllung neu zu gestalten. Dieser Beitrag vergleicht im Rahmen einer Simulationsstudie den herkömmlichen Prozess der Nachbefüllung mit manueller Bestandskontrolle mit einem RFID-gestützten Prozess und analysiert den Einfluss einzelner Kostenfaktoren auf das Gesamtergebnis. Dabei zeigt sich, dass der neue Prozess in Abhängigkeit von Leserate und Hardwarekosten in der Lage ist, die Leistungsfähigkeit des bisherigen Prozesses bezüglich Kosteneffizienz und Warenverfügbarkeit zu übertreffen.

## **1 Einleitung**

### **1.1 Hintergrund und praktische Relevanz**

Trotz umfassender Anstrengungen des Handels und seiner Lieferanten in Form von Initiativen wie „Efficient Consumer Response (ECR)“ konnte eine ganze Reihe von Ineffizienzen in der logistischen Kette bislang nur unzureichend gelöst werden. Zu den aktuellen Problemen der Branche zählt neben Schwund [HoDa02], unverkäuflichen Produkten aufgrund von Beschädigung oder Verderb [Ligh03], Lagerbestandsungenauigkeiten [Rama00] und Fehlern bei der Rechnungsstellung [GMA02] auch das Phänomen der unzureichenden Warenverfügbarkeit in der Filiale, der sog. „Stockouts“ [GrCB02].

Während die Servicegrade in der Retail-Supply-Chain bei den Herstellern bzw. Verteilzentren üblicherweise über 98 % liegen, werden letztlich auf der Verkaufsfläche nur ca. 90-93 % erreicht [ECR03]. Die Ursachen hierfür sind vielfältig und sind sowohl in der Filiale selbst als auch in den vorgelagerten logistischen Prozessen zu suchen [GrCB02]. Wie in Abb. 1 dargestellt ist dabei insb. bei europäischen Einzelhändlern der Prozess der Regalnachbefüllung überdurchschnittlich stark für Stockouts verantwortlich. Ein ähnliches Bild ergab sich auch in einer aktuellen Studie zum Supply Chain Management des Handels in Europa, bei der Regalverfügbarkeiten zwischen 90 und 98,7 % ermittelt wurden [TBKM05]. Bei einzelnen der untersuchten Unternehmen konnte an Tagen mit starker Nachfrage sogar ein Absinken auf nur 80 % beobachtet werden. Dabei wurde die Filiallogistik als wichtigster Ansatzpunkt zur Verbesserung identifiziert, wobei die befragten Retailer gleichzeitig angaben, hier bei der Umsetzung im Vergleich zu anderen Aspekten der logistischen Kette am wenigsten weit fortgeschritten zu sein.

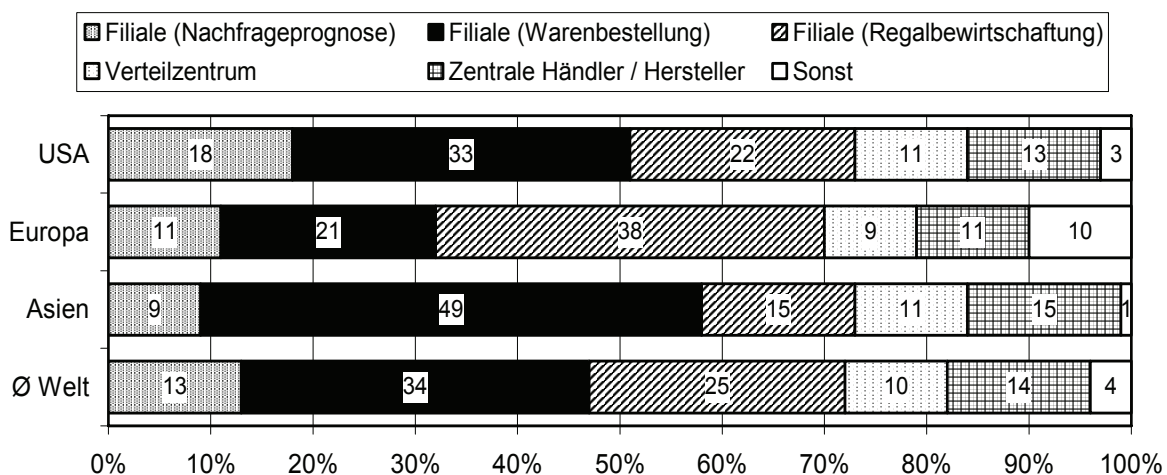


Abb. 1: Ursachen für unzureichende Regalverfügbarkeit [GrCB02]

Von der Reaktion des Konsumenten auf Stockouts sind Handel und Hersteller gleichermaßen betroffen. Je nach Art des Produkts, der Marke oder der konkreten Kaufsituation des Kunden reicht die Palette möglicher Handlungen von einem Aufschub des Kaufs über einen Wechsel von Marke oder Laden bis zum völligen Verzicht auf das Produkt [EmSE91; CoGr04]. Die Folgen sind einerseits verlorene Umsätze – der Kunde entscheidet sich meist für ein kleineres und/oder billigeres Produkt – sowie erhöhte Kosten für unvorgesehene Nachbestellungen, aber andererseits auch langfristige Schäden für das Markenimage und eine Erosion der Kundenbindung [Ange04; CoGr04].

Vor diesem Hintergrund erklärt sich das in den letzten Jahren rapide gewachsene Interesse am Einsatz der Radiofrequenzidentifikation (RFID) zur Erhöhung der Warenverfügbarkeit. Die grundsätzliche Idee besteht hier darin, durch eine verbesserte Sichtbarkeit von Produkten und Lagerbeständen den Nachbefüllungsprozess in der Filiale genauer steuern zu können [CDGG03]. In den zahlreichen Studien und White Papers zum RFID-Einsatz im Handel finden sich unterschiedlichste Abschätzungen über das sich daraus ergebende Potenzial: Bspw. nennt A.T. Kearney eine Reduktion von Stockouts in Höhe von 0,07 % des Umsatzes [ATKe04]. SAP vermutet eine Verbesserung der Warenverfügbarkeit um 5-10 %, die sich in eine Umsatzsteigerung von 3-7 % übersetzen lässt [SAP03]. Accenture erwartet eine Umsatzsteigerung von 1-2 % [Boot03]; eine andere Untersuchung geht hingegen von 2-3 % aus [Pise04]. Die überwiegende Mehrheit derartiger Zahlen hat den Charakter von „educated guesses“, denen keine genauere Analyse der Auswirkungen von RFID auf Prozesse und der relevanten Einflussfaktoren zugrunde liegt [LeÖz05]. Die Verlässlichkeit der genannten Schätzungen ist somit eher gering und lässt keine Aussage zur Übertragbarkeit auf den realen Einzelfall zu.

## **1.2 Verwandte Arbeiten**

In der aktuellen wissenschaftlichen Literatur finden sich verschiedene Arbeiten, die sich mit den Potenzialen und Auswirkungen der RFID-Technologie in der Filiallogistik auseinandersetzen. Dabei handelt es sich einerseits um qualitative Beiträge, die auf der Grundlage von Fallstudien, Experteninterviews oder Umfragen den RFID-Einsatz in der Filiale strukturieren und bewerten. Andererseits liegen auch quantitative Beiträge vor, die erste Ergebnisse aus Pilotprojekten vorstellen oder RFID-gestützte Prozesse anhand mathematischer Modelle untersuchen.

Die Untersuchung von Wong und McFarlane [WoMc03] ist ein Beispiel für die erstgenannte Kategorie. Die Autoren beschreiben zunächst den Ablauf des traditionellen Regalbefüllungsprozesses, wobei zwischen einer „Pull Policy“ mit Prüfung der Regalbestände und einer „Push Policy“ mit Prüfung der Bestände im Lagerraum der Filiale unterschieden wird. Anschließend werden die wesentlichen Einflussfaktoren analysiert, die in der Realität zu einer suboptimalen Prozessperformance führen, u. a. Verzögerungen bei der Bestandskontrolle oder veraltete Pick-Listen. Vor diesem Hintergrund identifizieren die Autoren Ansatzpunkte zur Verbesserung mittels RFID wie bspw. die automatische Identifikation von Regalbeständen und Warenbewegungen sowie die automatische Generierung von Pick-Listen auf mobilen Endgeräten.

In der Simulationsstudie von Lee, Cheng und Leung [LeCL04] wird anhand eines einfachen Supply-Chain-Modells analysiert, welche Effekte sich durch (a) die Vermeidung von Bestandsungenauigkeiten, (b) die Neugestaltung des Regalbefüllungsprozesses und (c) den Austausch von Bestandsinformationen zwischen Hersteller und Händler ergeben. Im zweiten Fall wird der bisherige Prozess des periodischen Bestandsmanagements mit einer kontinuierlichen Kontrolle, z.B. durch RFID-Leser in den Verkaufsregalen, verglichen. Die Ergebnisse der Studie zeigen auf, dass durch RFID der Befüllungsprozess häufiger und besser an die Nachfrage angepasst durchgeführt wird, wobei gleichzeitig geringere Bestände in den Regalen erforderlich sind. Die Aussagekraft der Studie wird dadurch relativiert, dass für beide Prozesse die wesentlichen Parameter „Regalfläche“ und „Sicherheitsbestand“ nicht optimal, sondern willkürlich gewählt werden, so dass keine eindeutige Bewertung zur Vorteilhaftigkeit abgegeben werden kann. Darüber hinaus verwenden die Autoren ausschließlich Bestände und Stockouts als Kenngrößen ihrer Analyse und verzichten auf eine Gesamtbetrachtung von Kosten und Nutzen.

Hardgrave, Waller und Miller [HaWM05] berichten über die Ergebnisse eines Pilotprojekts bei Wal-Mart, bei dem von Februar bis September 2005 in 12 Filialen unterschiedlicher Formate 4554 verschiedene Produkte auf der Kartonebene „getaggt“ wurden, um eine Erfassung der Warenverräumung beim Übergang vom Lagerraum zur Verkaufsfläche zu ermöglichen. Der RFID-Einsatz führte hier zu einer durchschnittlichen Reduktion der Stockouts um 16 % im Vergleich zu einer Kontrollgruppe aus 12 weiteren Filialen, wobei im besten Fall bis zu 62 % Reduktion bei Produkten mit einem täglichen Absatz von 6 bis 15 Einheiten erzielt werden konnten [Coll06]. Als wesentlichen Treiber für diese Verbesserung identifizieren die Autoren die automatisch generierte Pick-Liste, die die manuelle Bestandskontrolle ersetzt.

### **1.3 Zielsetzung und Vorgehen**

Ziel dieses Beitrags ist es, die Leistungsfähigkeit des traditionellen Prozesses der Regalbefüllung in der Filiale mit einem RFID-gestützten Prozess zu vergleichen und Schlussfolgerungen für den Einsatz in der Praxis abzuleiten. Da europäische Händler meist auf Einzelproduktebene kommissionieren, gehen wir von einer RFID-Kennzeichnung einzelner Verkaufseinheiten aus. Im Gegensatz zu den zuvor genannten Arbeiten vergleichen wir dabei nicht nur Hilfsindikatoren, sondern die effektiven Kosten und Nutzen. Aufgrund der Komplexität des Prozesses greifen wir dazu im nächsten Abschnitt auf das Werkzeug der Simulation zurück (vgl. [AlMa92]). Der Beitrag endet mit einer Zusammenfassung und Vorschlägen für die weitere Forschung.

## 2 Simulationsstudie

Im Folgenden entwickeln wir in einem ersten Schritt die Struktur des zugrunde liegenden Simulationsmodells und der beiden Nachbefüllungsprozesse. Anschließend präsentieren und diskutieren wir Ergebnisse verschiedener Simulationsläufe inklusive einer Sensitivitätsanalyse. Die dabei verwendeten Modellparameter sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Die Implementierung des Simulationsmodells und die anschließende Outputanalyse erfolgten in Microsoft Excel bzw. Visual Basic for Applications (VBA).

$R$	Zeitlicher Abstand zwischen zwei Kontrollen
$s$	Sicherheitsbestand im Regal („Base Stock“)
$S$	Reservierter Regalplatz für das Produkt („Shelf Space“)
$p$	Marge pro Verkaufseinheit exkl. Kosten für Filiallogistik
$c^{Inv}$	Lagerkosten pro Verkaufseinheit und Tag
$c^{Rev}$	Personalkosten pro Bestandskontrolle („Review“)
$c^{Rep}$	Personalkosten pro Nachbefüllungsvorgang („Replenishment“)
$c^{Tag}$	Kosten eines Transponder-Labels („Tag“)
$N$	Anzahl Simulationsläufe
$T$	Länge des Untersuchungszeitraums
$V^{Sales}$	Anzahl verkaufter Produkte im Untersuchungszeitraum
$V^{OOS}$	Anzahl Stockouts im Untersuchungszeitraum
$V^{Rev}$	Anzahl Bestandskontrollen im Untersuchungszeitraum
$V^{Rep}$	Anzahl Regalnachbefüllungen im Untersuchungszeitraum
$OOS$	Stockout-Quote im Untersuchungszeitraum
$d$	Zeitliche Verzögerung zwischen Bestandskontrolle und Nachbefüllung
$I_t^P$	Physischer Regalbestand zum Zeitpunkt $t$
$I_t^{IS}$	Regalbestandsinformation im Warenwirtschaftssystem zum Zeitpunkt $t$
$\varphi$	Leserate der RFID-Hardware
$r_i$	Erkennung des Produkts $i$ durch die RFID-Hardware beim Warenübergang (ja/nein)
$t_k$	Zeitpunkt der Ankunft des Kunden $k$ am Regal
$\lambda$	Kundenankunftsrate
$F^{PR}$	Zielfunktion für den Prozess mit periodischer Bestandskontrolle
$F^{RFID}$	Zielfunktion für den RFID-gestützten Prozess

Tab. 1: Referenzliste der verwendeten Modellparameter

## 2.1 Modellformulierung

Das in diesem Abschnitt beschriebene Simulationsmodell dient als Grundlage für die Analyse der RFID-gestützten Regalbewirtschaftung. Es stellt insofern eine Vereinfachung der realen Gegebenheiten dar, als wir eine fehlerfreie Identifikation am Wareneingang und am POS voraussetzen, so dass der Bestand eines Produkts für die Gesamtfiliale stets bekannt ist. Dies schließt insb. auch den Schwund durch Diebstahl und andere Faktoren, die zu Fehlern bei den Lagerbestandsinformationen im Warenwirtschaftssystem führen, aus. Für eine genauere Betrachtung des RFID-Einsatzes im Zusammenhang mit Bestandsungenauigkeiten in der Lieferkette sei der Leser auf [AtLÖ05; FITe05; KöSh06] verwiesen.

### 2.1.1 Prozess auf Grundlage periodischer Bestandskontrolle

Der traditionelle Prozess der Regalnachbefüllung entspricht einem Bestandsmanagement mittels periodischer Kontrolle der Verkaufseinheiten im Regal („Periodic Review“). Dabei prüft ein Mitarbeiter in regelmäßigen zeitlichen Abständen  $R$ , ob noch genügend Produkte im Regal vorhanden sind. Unterschreitet der Regalbestand einen bestimmten Schwellwert  $s$ , wird eine Nachbefüllung ausgelöst, die den Bestand mit einer zeitlichen Verzögerung  $d$  wieder auf den Maximalwert  $S$  – d.h. bis zur für das Produkt reservierten Regalfläche – auffüllt. Dieses Vorgehen wird in der Literatur als „(R, s, S)-Regel“ bezeichnet [SiPP98, 240].

Durch die Bestandskontrolle und die Nachbefüllung entstehen jeweils Personalkosten in Höhe  $c^{Rev}$  bzw.  $c^{Rep}$ . Darüber hinaus sind Lagerkosten  $c^{Inv}$  für die Reservierung von Regalfläche pro Verkaufseinheit zu berücksichtigen. Andererseits verdient der Händler vor Abzug der erwähnten Kosten für die Filiallogistik einen Betrag  $p$  pro verkaufter Einheit. Ziel ist es nun, durch die Wahl geeigneter Werte für  $R$ ,  $s$  und  $S$  den Nachbefüllungsprozess so zu steuern, dass der sich ergebende Profit  $F^{PR}$  für den Händler maximal wird. Während  $R$  unmittelbar die Zahl der Bestandskontrollen  $V^{Rev}$  in einem Untersuchungszeitraum  $T$  bestimmt, wird die Zahl der notwendigen Nachbefüllungen  $V^{Rep}$  bzw. der verkauften Einheiten  $V^{Sales}$  auch von  $s$  und  $S$  beeinflusst. Das Zielkriterium setzt sich somit wie folgt aus den Verkaufserlösen abzüglich der Kosten für Bestandskontrollen, Nachbefüllungen und Regalfläche im Zeitraum  $T$  zusammen:

$$\max_{R,s,S} F^{PR} = \max_{R,s,S} \left( pV^{Sales} - c^{Rev}V^{Rev} - c^{Rep}V^{Rep} - c^{Inv}S \cdot T \right) \quad (1)$$



### 2.1.2 RFID-gestützter Prozess

Die Idee hinter dem Konzept des RFID-gestützten Prozesses ist es, durch eine automatische Erfassung von Warenbewegungen zwischen Lagerraum und Verkaufsfläche die manuelle Bestandskontrolle überflüssig zu machen. Mit Hilfe der RFID-generierten Information über Produkte, die zum Regal gebracht werden, und den Abverkaufsdaten aus dem POS-System kann zu jedem Zeitpunkt  $t$  im Warenwirtschaftssystem eine Schätzung  $I_t^{IS}$  für den tatsächlichen Regalbestand  $I_t^P$  errechnet werden, auf deren Grundlage eine Nachbefüllung ausgelöst wird.

Die Qualität dieser Schätzung ist abhängig von der Lesegenauigkeit der RFID-Infrastruktur am Ausgang des Lagerraums, die real nur selten 100 % erreicht. So können sich in der Praxis je nach Transponder- und Produkttyp bei der Pulkerfassung auch Leseraten von weniger als 30 % ergeben [GS1F05]. Aus diesem Grund beinhaltet unser Modell explizit die RFID-Leserate in Form des Parameters  $\varphi \in [0 \dots 100]$ . Die Zufallsvariable  $r_i \in [0,1]$  bezeichnet dementsprechend die Erfassung ( $r_i = 1$ ) oder Nicht-Erfassung ( $r_i = 0$ ) einer Verkaufseinheit  $i$  beim Übergang vom Lagerraum auf die Verkaufsfläche, wobei die Wahrscheinlichkeit der Erfassung durch

$$p(r_i = 1) = \frac{\varphi}{100} \quad (2)$$

gegeben ist. Bezeichnen  $t'$  und  $t$  die Zeitpunkte unmittelbar vor bzw. nach dem Wechsel eines Produkts  $i$  auf die Verkaufsfläche, so wird die Regalbestandsinformation im System folgendermaßen aktualisiert:

$$I_t^{IS} := I_{t'}^{IS} + r_i \quad (3)$$

Umgekehrt wird bei der Erfassung an der Kasse ein Produkt  $i$  auch nur dann vom Regalbestand  $I_t^{IS}$  abgezogen, falls zuvor  $r_i = 1$  galt, damit im System nicht kontinuierlich mehr Einheiten aus- als eingebucht werden. Zu diesem Zweck ist es notwendig, dass im Warenwirtschaftssystem nicht nur zwei getrennte Lagerbestände, sondern auch die ID-Codes der erfassten Artikel im Regal bis zum Check-Out vorgehalten werden. Somit gilt zu jedem Zeitpunkt  $t$ :

$$0 \leq I_t^{IS} \leq I_t^P \leq S \quad (4)$$

Beim RFID-gestützten Prozess entfallen manuelle Bestandskontrollen und damit auch die entsprechenden Personalkosten vollständig. Andererseits fallen für die Ausstattung jeder Verkaufseinheit Transponderkosten  $c^{Tag}$  an, die die Marge des Händlers schmälern. Der Entscheidungsraum beschränkt sich daher auf die Parameter  $s$  und  $S$ , durch deren Wahl der Profit  $F^{RFID}$  maximiert werden soll:

$$\max_{s,S} F^{RFID} = \max_{s,S} \left( (p - c^{Tag}) V^{Sales} - c^{Rep} V^{Rep} - c^{Inv} S \cdot T \right) \quad (5)$$

## 2.2 Simulationsergebnisse

Ausgangspunkt unserer Simulationsexperimente ist der Fall eines typischen „Mitteldrehers“ mit einer Nachfrage von 10 Einheiten pro Tag bei einem Verkaufspreis von 10 €, z.B. einer Packung Babywindeln. Wir betrachten pro Simulationslauf eine Filiale, die  $T = 365$  Tage à 10 Stunden geöffnet ist. Die Ankunft der Kunden modellieren wir entsprechend als Poisson-Prozess mit Ankunftsrate  $\lambda = 10$  und berechnen für jeden Simulationslauf eine Folge von Kundenankunftszeiten  $t_k$  für alle im Untersuchungszeitraum eintreffenden Kunden ( $0 \leq t_k \leq T$ ).

Für diese Filiale nehmen wir Kosten pro Bestandskontrolle von  $c^{Rev} = 0,5$  €, Kosten pro Nachbefüllung von  $c^{Rep} = 2$  € und Regalkosten von  $c^{Inv} = 0,1$  € pro Einheit und Tag an. Wir gehen weiter davon aus, dass vor Abzug der Kosten für die Filiallogistik dem Händler ein Gewinn von  $p = 1$  € verbleibt. Wie wir weiter unten sehen werden, führt dies letztlich zu einer realistischen Marge von 6,3 %. Außerdem unterstellen wir, dass wie in der Realität die Nachbefüllung nicht in Nullzeit, sondern mit einer Verzögerung von 30 Minuten ( $d = 0,05$  Tage) geschieht.

### 2.2.1 Prozess auf Grundlage periodischer Bestandskontrolle

Um die kostenoptimalen Werte für  $R$ ,  $s$  und  $S$  zu ermitteln, wurden alle Kombinationen für  $0 < R \leq 3$  und  $0 < s \leq S \leq 50$  mit jeweils  $N = 50$  Durchläufen simuliert. Wie in Tabelle 2 dargestellt ergibt sich für  $R = 1,6$ ,  $s = 15$  und  $S = 20$  der maximale Durchschnittswert der Zielfunktion von 2254,82 €. Bei durchschnittlich 3555,86 verkauften Einheiten pro Jahr bleibt dem Händler somit ein Gewinn von 0,63 € pro Stück. Zum Vergleich geben wir in der Tabelle auch die Ergebnisse für leicht variierte Werte von  $R$ ,  $s$  und  $S$  an sowie für ganzzahlige  $R$ , da in

die Ergebnisse für leicht variierte Werte von  $R$ ,  $s$  und  $S$  an sowie für ganzzahlige  $R$ , da in der Praxis der rechnerisch korrekte Kontrollzyklus von 1,6 Tagen kaum implementierbar wäre.

$R$	$s$	$S$	$\overline{F^{PR}}$ [€]	$\overline{V^{Sales}}$	$\overline{V^{Rev}}$	$\overline{V^{Rep}}$	$\overline{V^{OOS}}$	$\overline{OOS}$ [%]	$\overline{F^{PR}/V^{Sales}}$ [€]
1,6	15	20	2254,82	3555,86	228,00	227,52	85,18	2,33	0,63
1,6	16	20	2254,62	3556,26	228,00	227,82	84,78	2,33	0,63
1,6	14	20	2254,10	3553,70	228,00	226,80	87,34	2,40	0,63
1,7	15	21	2251,56	3553,62	214,00	213,28	87,42	2,40	0,63
1,6	15	19	2249,14	3514,28	228,00	227,82	126,76	3,48	0,64
1,5	15	20	2248,72	3586,22	243,00	242,00	54,82	1,51	0,63
1,6	15	21	2247,52	3583,62	228,00	226,80	57,42	1,58	0,63
2,0	20	24	2216,74	3549,74	182,00	182,00	91,30	2,51	0,62
1,0	11	21	2180,62	3567,80	364,00	218,34	73,24	2,01	0,61
1,2	19	24	2018,68	3641,04	304,00	296,00	0,00	0,00	0,55

Tab. 2: Resultate der (R,s,S)-Regel für verschiedene Parameterkombinationen

Wie sich an dieser Stelle zeigt, führt der kostenoptimale Fall keineswegs zu einer 100-%igen Regalverfügbarkeit, sondern zu einer Stockout-Quote  $OOS$  von durchschnittlich 2,33 %. Diese ist definiert als

$$OOS = 100 \cdot \frac{V^{OOS}}{V^{Sales} + V^{OOS}} \quad (6)$$

Eine Vermeidung der Stockouts wäre zwar durch mehr Regalfläche oder häufigere Kontrolle möglich, der daraus resultierende zusätzliche Umsatz würde aber durch die ebenfalls höheren Lager- oder Personalkosten mehr als wettgemacht: Der bestmögliche Wert für  $\overline{F^{PR}}$  unter der Bedingung  $OOS < 0,01$  % beträgt 2018,68 €, d.h. 10,5 % weniger als im optimalen Fall.

### 2.2.2 RFID-gestützter Prozess

Die Simulationen des RFID-gestützten Prozesses wurden für verschiedene Kosten und Fähigkeiten der Technologie durchgeführt: Einerseits wurde die Leserate  $\varphi$  von 0 bis 100 % in 10er-Schritten variiert, andererseits wurden unterschiedliche Preise für Transponder-Labels  $c^{Tag}$  an-

genommen. Den heute am Markt üblichen Kosten von 0,2 € pro Tag wurden die für die nächsten Jahre zu erwartenden Preise von 0,1 € und 0,05 € sowie der mit heutiger Chip- und Fertigungstechnik noch nicht erzielbare Preis von 0,01 € gegenübergestellt. Die übrigen Parameter  $s$  und  $S$  wurden wie zuvor variiert.

Die für jede Wertekombination jeweils maximalen Werte für  $\overline{F}^{RFID}$  sind im Vergleich zum Optimum für  $\overline{F}^{PR}$  in Abbildung 2 dargestellt. Wie sich hier zeigt, schneidet der RFID-Prozess bei  $c^{Tag} = 0,2$  € und  $c^{Tag} = 0,1$  stets schlechter ab als der manuelle Prozess. Eine Verbesserung ist demgegenüber für niedrigere Tagkosten möglich. Bspw. ergibt sich für eine 90-%ige Leserate und  $c^{Tag} = 0,05$  € ein Optimum in Höhe von 2319,07 € (d.h. +2,85 % gegenüber Periodic Review) bei  $s = 4$  und  $S = 17$ .

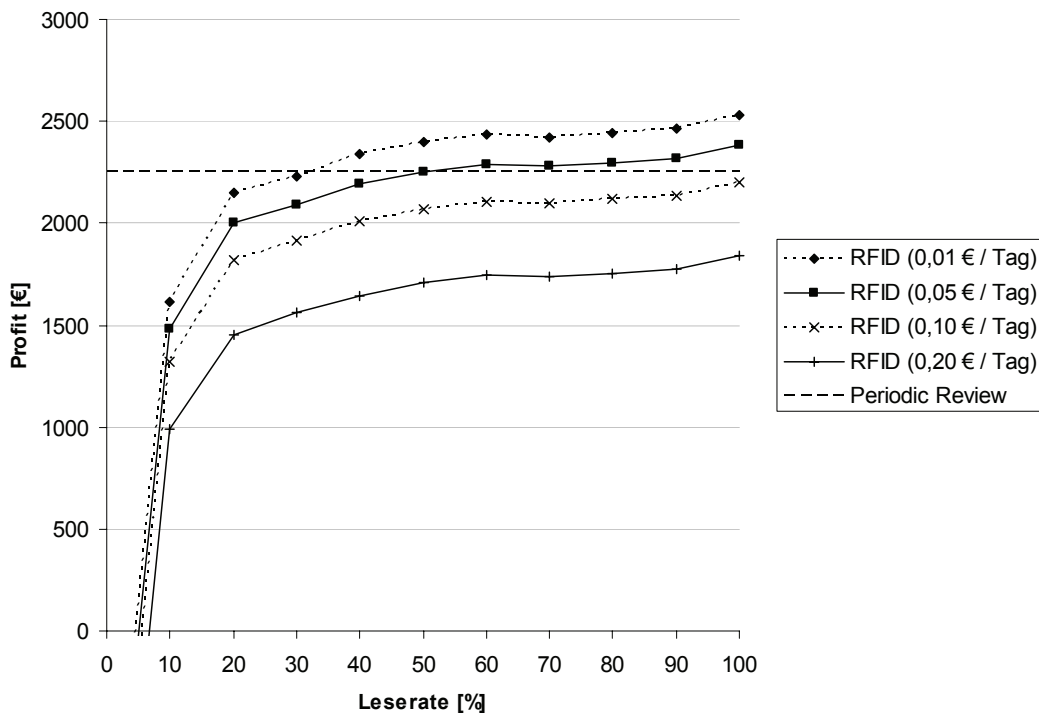


Abb. 2: Resultate des RFID-gestützten Prozesses in Abhängigkeit der Leserate

Bezüglich der Auswirkungen schlechter werdender Leseraten ergeben die Simulationen ein eher kontraintuitives Resultat: Während scheinbar eine deutliche Abhängigkeit der Prozessleistung von der Anzahl der bei der Warenverräumung erfassten Einheiten zu erwarten gewesen wäre, verhält sich  $\overline{F}^{RFID}$  im Modell vergleichsweise insensitiv gegenüber verändertem  $\varphi$ . Erst für Leseraten unter 50 % lässt der Profit des Händlers deutlich nach, um schließlich bei weniger als 20 % ganz einzubrechen.

Wie in Tabelle 3 dargestellt, führen schlechte Leseraten zu einem Optimum mit erhöhtem Regalplatzbedarf als Ausgleich. So steigt bei  $\varphi = 50\%$  der Regalplatz  $S$  gegenüber  $\varphi = 100\%$  von 15 auf 19 Einheiten während die Umsätze  $pV^{Sales}$  und Nachbefüllungskosten  $c^{Rep}V^{Rep}$  annähernd konstant bleiben. Die Minderung des Profits bei sinkendem  $\varphi$  wird also praktisch ausschließlich durch die höheren Lagerkosten  $c^{Inv}S \cdot T$  verursacht.

$\varphi$ [%]	$s$	$S$	$\overline{F^{RFID}}$ [€]	$\overline{pV^{Sales}}$ [€]	$\overline{c^{Rep}V^{Rep}}$ [€]	$\overline{c^{Inv}S \cdot T}$ [€]	$\overline{OOS}$ [%]	$\overline{F^{PR}/V^{Sales}}$ [€]
0	1	3	-1550,17	3422,53	4863,20	109,50	1.55	-0.64
10	1	33	1484,20	3111,02	422,32	1204,50	10.06	0.45
20	2	27	2000,47	3458,17	472,20	985,50	0.02	0.55
30	2	22	2089,41	3332,01	439,60	803,00	3.67	0.60
40	3	21	2192,56	3458,74	499,68	766,50	0.01	0.60
50	3	19	2250,06	3445,88	502,32	693,50	0.38	0.62
60	3	18	2287,57	3446,05	501,48	657,00	0.37	0.63
70	3	19	2278,60	3420,86	448,76	693,50	1.10	0.63
80	4	18	2299,06	3458,82	502,76	657,00	0.00	0.63
90	4	17	2319,07	3458,65	519,08	620,50	0.01	0.64
100	2	15	2382,53	3433,07	503,04	547,50	0.75	0.66

Tab. 3: Umsatz und Kosten in Abhängigkeit der Leserate bei einem Tagpreis von 0,05 €

Der Grund für dieses überraschende Verhalten ist in der Eigenschaft von RFID als Technik zur eindeutigen Identifikation zu suchen. Während über den klassischen Barcode nur eine Erkennung des Produkttyps – und damit nur eine Mengenerfassung – möglich ist, erlaubt RFID die individuelle Erkennung jeder Verkaufseinheit (vgl. Abschnitt 2.1.2). Die beim Übergang zur Verkaufsfläche und später an der Kasse erfassten Produkte bilden damit eine Stichprobe, über deren Entwicklung eine auch bei schlechten Leseraten hinreichend gute Aussage über den Verlauf des Gesamtbestands getroffen werden kann. Abbildung 3 zeigt beispielhaft für  $\varphi = 50\%$ , wie sich der physische Regalbestand  $I_t^P$  und der im Warenwirtschaftssystem abgebildete Bestand der mittels RFID erfassten Einheiten  $I_t^{IS}$  im Zeitverlauf entwickeln.

Nicht zuletzt lässt sich an den Ergebnissen auch ablesen, dass die Stockout-Quoten für den RFID-Prozess auch für suboptimale Leseraten fast durchweg deutlich besser ausfallen als für den Fall der manuellen Bestandskontrolle. Die Technologie hat somit das Potenzial, die Regalverfügbarkeit bei gleichzeitig niedrigeren Kosten zu erhöhen.

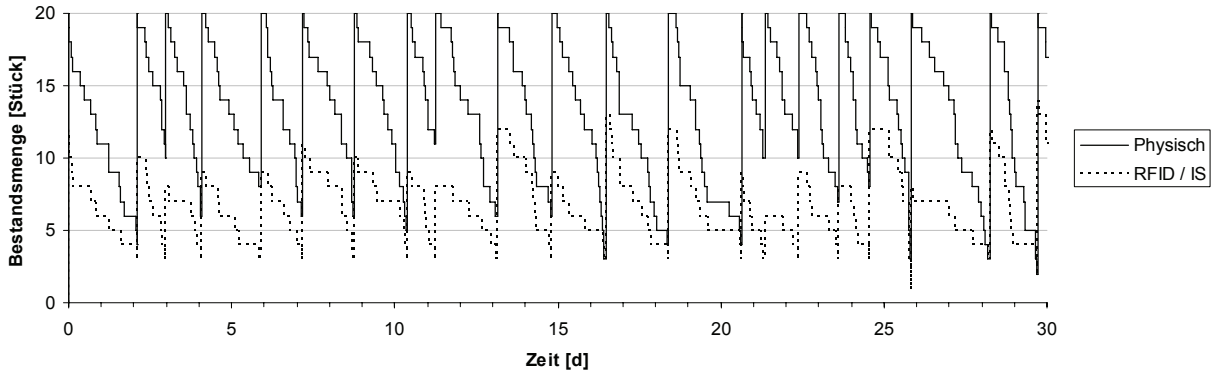


Abb. 3: Bestandsmengen im Regal und im Warenwirtschaftssystem bei 50-%iger Leserate (Beispiel)

Wie wir zuvor gesehen haben, profitiert der RFID-gestützte Prozess von der geringeren Regalfläche, so dass weniger Lagerkosten anfallen. In der Praxis ist eine solche dynamische Anpassung von Regalfläche jedoch meist nur begrenzt möglich. Aus diesem Grund stellt sich die Frage, inwieweit sich RFID auch sinnvoll einsetzen lässt, wenn die Regalfläche  $S$  als konstant angenommen wird. Abbildung 4 zeigt für das Beispiel  $c^{Tag} = 0,05 \text{ €}$ , dass sich die Durchschnittswerte für  $F^{RFID}$  bei guten Leseraten nicht drastisch unterscheiden. So ist  $\overline{F^{RFID}} = 2299,80 \text{ €}$  bei  $\varphi = 90 \text{ %}$  und  $S = 20$  und damit 0,83 %-Punkte schlechter als im optimalen Fall.

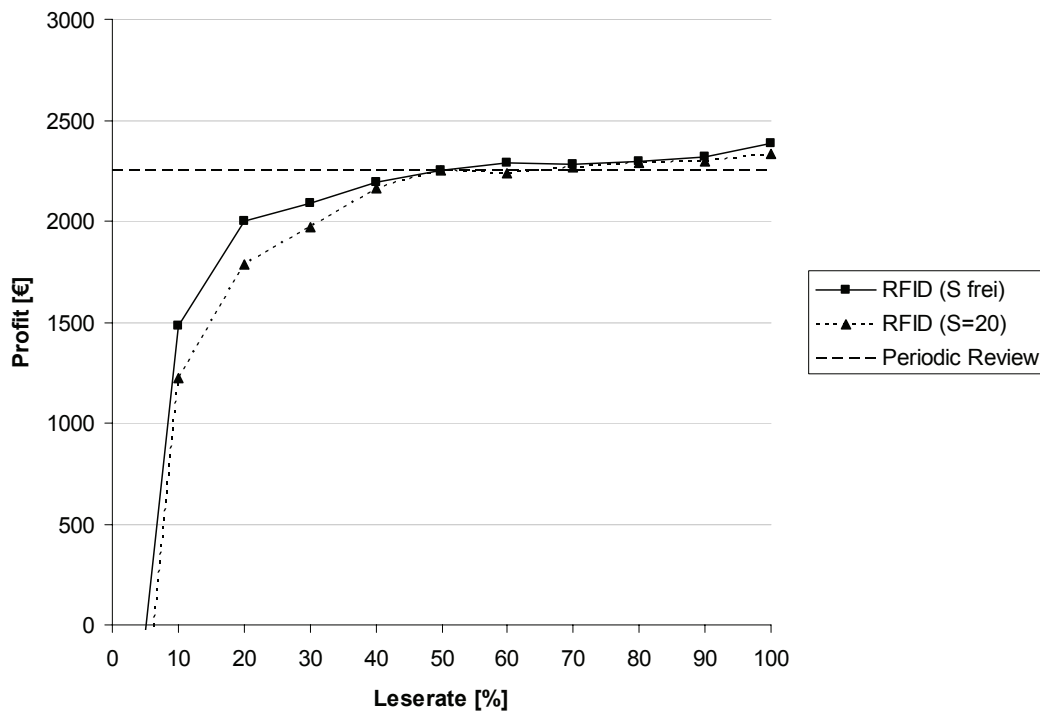


Abb. 4: Vergleich des RFID-gestützten Prozesses bei fixer und bei optimierter Regalfläche

### 2.3 Sensitivitätsanalyse

Die Leistung der beiden zuvor betrachteten Prozesse wird von verschiedenen Kostengrößen bestimmt, die wir bisher als konstant vorausgesetzt haben. In der Praxis unterscheiden sich Personal- und Lagerkosten jedoch deutlich je nach Ladenformat (Hypermarkt vs. Tante-Emma-Laden), Art des Retailers (Discounter vs. Feinkostgeschäft), Lage (Grüne Wiese vs. Innenstadt), Region (Großstadt vs. ländlicher Raum) usw. Aus diesem Grund analysieren wir in diesem Abschnitt die Auswirkungen veränderter Kosten  $c^{Rev}$ ,  $c^{Rep}$  und  $c^{Inv}$  auf das sich ergebende Optimum der Zielfunktionen und die jeweiligen Stockout-Quoten. Dabei variieren wir jede Kostengröße separat um den Faktor  $\frac{1}{4}$  und  $\frac{1}{2}$  bzw. 2 und 4. Dem Prozess der periodischen Bestandskontrolle stellen wir einen RFID-Prozess mit  $c^{Tag} = 0,05$  € und  $\varphi = 90$  % gegenüber.

#### 2.3.1 Kosten für die Bestandskontrolle

Tabelle 4 fasst die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse bei unterschiedlichen Kosten für die Bestandskontrolle  $c^{Rev}$  zusammen. Da der RFID-Prozess keine Reviews benötigt, bleiben hier die Werte jeweils unbeeinflusst. Wie zu erwarten, leidet die Performance des herkömmlichen Prozesses unter den hohen Personalkosten, die zu weniger Kontrollen und Nachbefüllungen führen und durch größere Regalflächen ausgeglichen werden müssen. Die Zahl der Stockouts bewegt sich hingegen in allen Fällen auf einem ähnlichen Niveau.

$c^{Rev}$ [€]	Regel	$R$	$s$	$S$	$\bar{F}$ [€]	$\bar{V}^{Sales}$	$\bar{V}^{Rev}$	$\bar{V}^{Rep}$	$\bar{V}^{OOS}$	$\bar{OOS}$ [%]
0,125	P.Rev.	0,5	6	17	2369,98	3567,60	729	242,00	73,44	2,02
	RFID		4	17	2319,07 (-2,15 %)	3640,68		259,54	0,36	0,01
0,25	P.Rev.	1,4	13	18	2318,26	3558,66	260	258,20	82,38	2,26
	RFID		4	17	2319,07 (+0,03 %)	3640,68		259,54	0,36	0,01
0,5	P.Rev.	1,6	15	20	2254,82	3555,86	228	227,52	85,18	2,34
	RFID		4	17	2319,07 (+2,85 %)	3640,68		259,54	0,36	0,01
1,0	P.Rev.	1,7	15	21	2144,56	3553,62	214	213,28	87,42	2,40
	RFID		4	17	2319,07 (+8,14 %)	3640,68		259,54	0,36	0,01
2,0	P.Rev.	2,1	19	25	1944,98	3551,36	173	172,94	89,68	2,46
	RFID		4	17	2319,07 (+19,23 %)	3640,68		259,54	0,36	0,01

Tab. 4: Auswirkungen unterschiedlicher Kostensätze für die Bestandskontrolle

### 2.3.2 Kosten für die Nachbefüllung

Die in Tabelle 5 aufgeführten Resultate demonstrieren erwartungsgemäß, dass beide Prozesse unter steigenden Nachbefüllungskosten  $c^{Rep}$  leiden. Dabei zeigt sich, dass interessanterweise der relative Abstand zwischen  $\overline{F}^{PR}$  und  $\overline{F}^{RFID}$  sowohl für kleinere als auch für größere Werte von  $c^{Rep}$  zunimmt. Dieses Ergebnis kann dadurch erklärt werden, dass einerseits der RFID-Prozess von niedrigen Befüllungskosten profitiert, da dort die Anzahl der Nachbefüllungen tendenziell größer ist: So werden im Fall  $c^{Rep} = 0,5$  € durchschnittlich 521,58 Befüllungen bei RFID im Vergleich zu 400,90 bei periodischer Kontrolle durchgeführt. Bei hohen Befüllungskosten wiederum profitiert der RFID-Prozess von seiner gezielteren Reaktion auf die Nachfrage, so dass bei weniger Nachbefüllungen dennoch eine bessere Regalbewirtschaftung erreicht wird. Dies schlägt sich in einer höheren Zahl verkaufter Einheiten (3639,16 im Gegensatz zu 3509,96) bzw. einer niedrigeren Stockout-Quote (0,05 % im Gegensatz zu 3,60 %) nieder.

$c^{Rep}$ [€]	Regel	$R$	$s$	$S$	$\overline{F}$ [€]	$\overline{V}^{Sales}$	$\overline{V}^{Rev}$	$\overline{V}^{Rep}$	$\overline{V}^{OOS}$	$\overline{OOS}$ [%]
0,5	P.Rev.	0,9	11	13	2696,65	3574,60	405	400,90	66,44	1,82
	RFID		4	10	2832,76 (+5,05 %)	3640,58		521,58	0,46	0,01
1,0	P.Rev.	1,2	13	16	2525,64	3565,62	304	302,98	75,42	2,07
	RFID		4	13	2620,61 (+3,76 %)	3640,62		363,48	0,42	0,01
2,0	P.Rev.	1,6	15	20	2254,82	3555,86	228	227,52	85,18	2,34
	RFID		4	17	2319,07 (+2,85 %)	3640,68		259,54	0,36	0,01
4,0	P.Rev.	2,1	18	25	1856,70	3550,98	173	172,82	90,06	2,47
	RFID		3	23	1903,23 (+2,51 %)	3608,52		171,34	32,52	0,89
8,0	P.Rev.	2,5	18	28	1249,70	3509,96	145	144,72	131,08	3,60
	RFID		3	30	1324,92 (+6,02 %)	3639,16		129,66	1,88	0,05

Tab. 5: Auswirkungen unterschiedlicher Kostensätze für die Nachbefüllung

### 2.3.3 Kosten für die Regalfläche

In Tabelle 6 sind die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse für verschiedene Kosten der Regalfläche pro Einheit  $c^{Inv}$  zusammengefasst. Bei niedrigen Lagerkosten erweist sich der herkömmliche Prozess als effizienter, da höhere Regalbestände als Puffer aufgebaut werden können. Die bei hohen Lagerkosten zwangsläufig kleineren Regalbestände hingegen führen zu geringeren Umsätzen bzw. zu einer höheren Stockout-Quote im Fall der periodischen Bestandskontrolle.



$c^{Inv}$ [€]	Regel	$R$	$s$	$S$	$\bar{F}$ [€]	$\bar{V}^{Sales}$	$\bar{V}^{Rev}$	$\bar{V}^{Rep}$	$\bar{V}^{OOS}$	$\bar{OOS}$ [%]
0,025	P.Rev.	2,5	26	33	2952,60	3618,22	145	145,00	22,82	0,63
	RFID		3	30	2924,13 (-0,96 %)	3639,16		129,66	1,88	0,05
0,05	P.Rev.	2,1	21	27	2672,85	3599,98	173	172,94	41,06	1,13
	RFID		4	22	2674,08 (+0,05 %)	3640,78		191,58	0,26	0,01
0,1	P.Rev.	1,6	15	20	2254,82	3555,86	228	227,52	85,18	2,34
	RFID		4	17	2319,07 (+2,85 %)	3640,68		259,54	0,36	0,01
0,2	P.Rev.	1,1	10	14	1669,58	3507,28	331	324,1	133,76	3,67
	RFID		4	13	1782,63 (+6,77 %)	3640,62		363,48	0,42	0,01
0,4	P.Rev.	0,8	7	9	868,10	3306,78	456	447,34	334,26	9,18
	RFID		4	10	955,39 (+10,06 %)	3640,58		521,58	0,46	0,01

Tab. 6: Auswirkungen unterschiedlicher Kostensätze für die Regalfläche

## 2.4 Diskussion

Wie auch bei anderen Simulationsstudien sind die in den vorangegangenen Abschnitten vorgestellten Ergebnisse bezüglich Ihrer Übertragbarkeit auf die Praxis mit Vorsicht zu interpretieren. Einerseits beinhaltet das zu Anfang entwickelte Modell eine Reihe von Vereinfachungen gegenüber dem realen Prozess. Ein Beispiel hierfür ist der bereits erwähnte Schwund in der Filiale durch Verderb, Diebstahl oder „Product Misplacement“, d.h. Fehler bei der Warenverräumung. Ein anderes Beispiel ist die Abhängigkeit der Nachfrage nach einem Produkt vom aktuellen Regalbestand bzw. der Präsentation der Ware im Regal [LaDe99]. Andererseits werden im Modell verschiedene Randbedingungen und Einflussfaktoren ausgeblendet, die bei einer Implementierung zu berücksichtigen wären. Hierzu zählen vertragliche Vereinbarungen über Regalflächen mit den Lieferanten, vorgegebene Layouts der Filialräume sowie Aspekte der Sortimentsgestaltung und der Konsumentenpsychologie.

Nichtsdestotrotz lassen die Simulationsergebnisse einige Schlussfolgerungen zum RFID-Einsatz zu, die auch praktisch relevant sind. Es konnte gezeigt werden, dass RFID eine Neugestaltung von Filialprozessen ermöglicht, die in Abhängigkeit der Kostengrößen und der RFID-Leserate als wesentlichem Indikator für die Leistungsfähigkeit der Technologie effizienter arbeiten kann als der bisherige Prozess. Dabei erwies sich auch, dass die Leserate keine so große Rolle für den Prozess spielt, wie intuitiv zu erwarten gewesen wäre. Darüber hinaus deuten die Ergebnisse darauf hin, dass der maximale Nutzen aus Technologieeinsatz erst gezogen werden kann, wenn parallel auch eine Optimierung der Regalflächen vorgenommen wird.

### 3 Zusammenfassung

Ziel dieses Beitrags war es, am Beispiel eines typischen Supermarktprodukts mittels eines Simulationsmodells eine Aussage zur Vorteilhaftigkeit eines RFID-gestützten Prozesses zur Regalnachbefüllung in der Filiale im Vergleich zum heutigen Prozess periodischer Bestandskontrolle abzuleiten. Dabei konnte gezeigt werden, dass auch beim kostenintensiven Tagging von Einzelprodukten RFID das Potenzial zur Effizienzsteigerung in der Filiallogistik bei gleichzeitiger Verbesserung der Regalverfügbarkeit bietet. Für den Praktiker bietet das vorgestellte Modell einen ersten Ansatz zur Bewertung der Sinnhaftigkeit des RFID-Einsatzes in der Filiallogistik, in die auch weitere Faktoren wie Infrastrukturkosten, Fragen der Sortimentspolitik usw. miteinbezogen werden müssen. Aus Sicht der Forschung ergeben sich aus unseren Ergebnissen verschiedene Ausgangspunkte für die weitere Arbeit. Dies betrifft zunächst eine Verfeinerung des Modells, z.B. durch Miteinbeziehung von Schwund. Daneben bietet sich eine Analyse für weitere Produkttypen und unterschiedliche Nachfrageverläufe an sowie ein Vergleich mit der bereits heute in Pilotprojekten praktizierten RFID-Kennzeichnung auf Kartonebene.

### Literaturverzeichnis

- [AlMa92] Alstrøm, Poul; Madsen, Per: Simulation of inventory control systems. International Journal of Production Economics 26 (1992) 1-3, S. 125-134.
- [Ange04] Angerer, Alfred: Out of Stock: Ausmaß, Ursachen und Lösungen. Logistik Inside 2 (2004) 7, S. 16.
- [ATKe04] RFID/EPC: Managing the Transition (2004-2007). A.T. Kearney, Chicago (IL) 2004.
- [AtLÖ05] Atali, Aykut; Lee, Hau; Özer, Özalp: If the Inventory Manager Knew: Value of RFID Under Imperfect Inventory Information. MSOM Conference, Evanston (IL) 2005.
- [Boot03] Booth-Thomas, C.: The See-It-All Chip. Time Magazine, September 14, 2003.

- [CDGG03] Chappell, Gavin; Durdan, David; Gilbert, Greg; Ginsburg, Lyle; Smith, Jeff; Tobolski, Joseph: Auto-ID in the Box: The Value of Auto-ID Technology in Retail Stores. Auto-ID Center, MIT, Cambridge (MA) 2003.
- [CoGr04] Corsten, Daniel; Gruen, Thomas W.: Stock-Outs cause Walkouts. Harvard Business Review 82 (2004) 5, S. 26-28.
- [Coll06] Collins, Jonathan: RFID's Impact at Wal-Mart Greater Than Expected. RFID Journal, May 4, 2006.
- [ECR03] Optimal Shelf Availability: Increasing Shopper Satisfaction at the Moment of Truth. ECR Europe, Brüssel 2003.
- [EmSE91] Emmelhainz, Margaret A.; Stock, James R.; Emmelhainz, Larry W.: Consumer Responses to Retail Stockouts. Journal of Retailing 67 (1991) 2, S. 138-147.
- [FITe05] Fleisch, Elgar; Tellkamp, Christian: Inventory Inaccuracy and Supply Chain Performance: A Simulation Study of a Retail Supply Chain. International Journal of Production Economics 95 (2005) 3, S. 373-385.
- [GMA02] Invoice Accuracy: 2002 Industry Survey & Benchmarks. Grocery Manufacturers of America, Washington DC 2002.
- [GrCB02] Gruen, Thomas W.; Corsten, Daniel; Bharadwaj, Sundar: Retail Out-of-Stocks: A Worldwide Examination of Extent, Causes and Consumer Responses. Grocery Manufacturers of America / The Food Marketing Institute / CIES - The Food Business Forum, Washington DC 2002.
- [HaWM05] Hardgrave, Bill C.; Waller, Matthew; Miller, Robert: Does RFID Reduce Out of Stocks? A Preliminary Analysis. Information Technology Research Institute, University of Arkansas, Fayetteville (AR) 2005.
- [HoDa02] Hollinger, Richard C.; Davis, Jason L.: National Retail Security Survey 2001. Department of Sociology and the Center for Studies in Criminology and Law, University of Florida. Gainesville (FL) 2002.

- [KöSh06] Kök, A. Gürhan; Shang, Kevin H.: Inspection and Replenishment Policies for Systems with Inventory Record Inaccuracy. Fuqua School of Business, Duke University, Durham (NC) 2006.
- [LaDe99] Larson, Paul D.; DeMarais, Robert A.: Psychic stock: an independent variable category of inventory. *International Journal of Physical Distribution & Materials Management* 20 (1999) 7, S. 495-507.
- [LeCh04] Lee, Young M.; Cheng, Feng; Leung, Ying T.: Exploring the Impact of RFID on Supply Chain Dynamics. Winter Simulation Conference, Washington DC 2004.
- [LeÖz05] Lee, Hau; Özer, Özalp: Unlocking the Value of RFID. Graduate School of Business, Stanford University, Palo Alto 2005.
- [Ligh03] Lightburn, Anne: Unsaleables Benchmark Report. Joint Industry Unsaleables Steering Committee, Food Distributors International / Food Marketing Institute / Grocery Manufacturers of America. Washington DC 2003.
- [Pise04] Pisello, T.: The Three Rs of RFID: Rewards, Risk and ROI. *Technology-Evaluation.com*, September 27, 2004.
- [Rama00] Raman, Ananth: Retail-Data Quality: Evidence, Causes, Costs, and Fixes. *Technology in Society* 22 (2000) 1, S. 97-109.
- [SAP03] SAP Auto-ID Infrastructure. SAP AG, Walldorf 2003.
- [SiPP98] Silver, Edward A.; Pyke, David F.; Peterson, Rein: Inventory management and production planning and scheduling. Wiley, New York (NY) 1998.
- [TBKM05] Thonemann, Ulrich; Behrenbeck, Klaus; Küpper, Jörn; Magnus, Karl-Hendrik: Supply Chain Excellence im Handel. Gabler, Wiesbaden 2005.
- [WoMc03] Wong, C.Y.; McFarlane, Duncan: The Impact of Auto-ID on Retail Shelf Replenishment Policies. Auto-ID Center, MIT, Cambridge (MA), 2003.