



Doctoral Thesis

The value of sensor information for managing perishable goods

Author(s):

Ilic, Alexander

Publication Date:

2010

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-006031052> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. ETH No. 18916

The Value of Sensor Information for Managing Perishable Goods

A DISSERTATION SUBMITTED TO

ETH ZURICH

for the degree of

DOCTOR OF SCIENCES

presented by

ALEXANDER ILIC

DIPL.-INF. UNIV. TU MUNICH

born April 3rd, 1981

citizen of Germany

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Elgar Fleisch, ETH Zurich and University of St. Gallen, examiner

Prof. Dr. Stephan M. Wagner, ETH Zurich, co-examiner

2010

Abstract

The literature sends a clear message that loss rates in supply chains of perishable goods are significant. Statistics by the U.S. Department of Agriculture report that average yearly loss rates at the retail level alone can be as high as 51% for specific commodities. When reviewing the loss figures from a quality management perspective, it is hard to think of any industry that could survive with such high defect rates.

The limited shelf-life of perishable goods and their susceptibility to fluctuations in environmental parameters often force managers to make decisions under uncertainty, leading to high loss rates. In order to achieve the same desired output, additional input resources are often required for compensation.

Low-cost measurement technologies such as Radio Frequency Identification tags and sensors could provide the necessary information to make the quality deterioration process more predictable and to make problems visible.

This dissertation focuses upon gaining more knowledge of the value of sensor information in this context and aims to lay the groundwork for future research. The main hypothesis postulates that a significant part of compensatory additional input resources can be substituted with better information.

As an introduction of sensors into supply chains must be economically justified, the value of information and its determining factors must be fully understood. The research process of this thesis applies a multi-method perspective by combining simulation modeling, linear programming, and design science. A quantitative approach was selected to benchmark sensor-based models against their state-of-the-art counterparts. The simulation models are based on characteristics of real supply chains and data from Switzerland and the United States. The comparison focuses primarily on profits, greenhouse gas emissions, and perceived quality.

The results show that sensor information help increasing efficiency in retail operations and sourcing planning.

In retail operations, active removal and sorting decisions at the store level can lead to significant waste reduction and an increase of perceived quality. Moreover, if these sensor-based decisions are moved upstream the supply chain, significant

reductions of greenhouse gas emissions can materialize due to better load utilization.

When looking at sourcing decisions, sensor information provides means to reveal hidden costs associated with route-specific loss rates. This ultimately improves sourcing decisions by disclosing and thus preventing otherwise hidden problems. The result is a maximization of resource efficiency, clear incentives for improved cool chain handling, and a reduction of waste.

In addition to the quantitative studies above, this thesis also provides design science results on how automated data analysis and visualization based on standards can support the management process.

As a key contribution to theory, these results confirm that sensor information can improve the management of perishable goods and can replace additional input resources with better information. This result underlines the relevance of integrating item-level quality modeling into the research stream of operations research. It also opens up new research fields on questions such as the accountability of losses along supply chains and their implications for contracts and buy-back options.

For practitioners, this thesis can be seen as a framework to review their operations and planning processes, to establish new key performance indicators, and to identify critical product groups for an evaluation with sensor-based monitoring. Moreover, this thesis highlights the relevance for retail supply chains to rethink their data management strategies and to consider environmental externalities.

For governments and public organizations, this thesis provides recommendations on increasing their data intelligence. Federal organizations such as the USDA should switch from collecting yearly average loss rates to geospatial figures with monthly resolution. This change would also incentivize agricultural belts to improve their performance. As a consequence, federal funds for building up economic areas can be distributed in a more effective way, leading to increased food system security and potentially a rebirth of regional food systems.

Zusammenfassung

In der Literatur finden sich klare Hinweise darauf, dass Verlustraten von verderblichen Waren im Einzelhandel eine signifikante Größe darstellen. Statistische Erhebungen des U.S. Landwirtschaftsministeriums (USDA) ergaben für den Lebensmitteleinzelhandel durchschnittliche jährliche Verlustraten von bis zu 51% für bestimmte Produktgruppen. Betrachtet man diese Zahlen aus der Perspektive des Qualitätsmanagements, so lässt sich schwer eine Branche finden, die mit derart hohen Verlustraten nachhaltig überlebensfähig wäre.

Die Komplexität im Umgang mit verderblichen Waren ist vor allem auf deren Empfindlichkeit gegenüber Umwelteinflüssen zurückzuführen. Insbesondere in frühen Stufen der Lieferkette ist die tatsächliche Qualität der Produkte und die daraus resultierende Zeitspanne der Verkäuflichkeit nicht für menschliche Sinne erkennbar. Oft müssen daher logistische Entscheidungen auf Basis von groben Annahmen oder Schätzungen gemacht werden, die schlussendlich zu hohen Verlustraten führen. Um eine bestimmte Nachfrage zu erfüllen werden deshalb kompensatorisch oft zusätzliche Waren aufgeboden.

Einen alternativen Lösungsansatz stellen kostengünstige Messtechnologien wie beispielsweise Sensoren mit RFID (Identifikation durch Radiowellen) Technologie dar. Diese Sensoren können automatisch Informationen über Umwelteinflüsse wie z.B. Temperaturschwankungen aufzeichnen um damit Qualitätsveränderungen von Produkten sichtbar zu machen.

Die vorliegende Arbeit untersucht das Potenzial von Sensorinformationen das Management von verderblichen Waren zu verbessern. Die zentrale Hypothese ist, dass ein signifikanter Anteil des heute benötigten zusätzlichen Wareneinsatzes durch einen Managementprozess basierend auf genaueren Informationen und damit resultierenden niedrigeren Verlustraten ersetzt werden kann.

Da die Einführung von Sensortechnik in eine Lieferkette wirtschaftlich gerechtfertigt sein muss, ist es von essentieller Bedeutung mögliche Verbesserungen zu quantifizieren. Um dies zu Erreichen vereint diese Arbeit Methoden der Computersimulation, linearen Programmierung und Design Science. Der quantitative Ansatz beruht dabei auf einem Vergleich von sensorbasierten mit herkömmlichen Managementprozessen. Die Simulationsmodelle beruhen

hauptsächlich auf Charakteristika realer Lieferketten aus der Schweiz und den USA. Als Vergleichsgröße werden primär Profite, CO₂-Emissionen und wahrgenommene Qualität für den Endkunden verwendet.

Die Ergebnisse zeigen, dass Sensorinformationen dazu beitragen können die Effizienz im Ablauf und der Steuerung von Lieferketten im Lebensmitteleinzelhandel deutlich zu erhöhen.

Am Ende der Lieferkette, z.B. den Supermärkten, kann gezieltes Sortieren und Verwerfen von Waren basierend auf Sensorinformation Verluste deutlich reduzieren und die vom Kunden wahrgenommene Qualität steigern. Verlagert man diese Veränderungen weiter nach hinten in der Lieferkette, so können durch eine bessere Auslastung von Transportkapazitäten auch deutliche Einsparungen von Treibhausgasemissionen realisiert werden.

Betrachtet man das Problem aus einer Planungsperspektive, so lassen sich bei der Beschaffung und der Lieferantwahl für verderbliche Waren durch Sensorinformationen versteckte Kosten in Bezug auf routenabhängige Verlustraten aufdecken. Das Ergebnis ist eine verbesserte Ressourceneffizienz mit klaren Anreizen für das Lieferantennetzwerk.

Zusätzlich zu den oben erwähnten quantitativen Untersuchungen, liefert diese Arbeit auch wichtige Beiträge um den Managementprozess zu unterstützen. Konkret wurde ein auf Standards beruhendes Werkzeug entwickelt und evaluiert, welches automatisiert Sensordaten analysiert und deren Ergebnisse grafisch darstellt.

Einer der wichtigsten Beiträge dieser Arbeit zum Stand der Forschung ist der Nachweis, dass Sensorinformationen das Management von verderblichen Waren verbessern können und ein erhöhter Wareneinsatz durch bessere Information ersetzt werden kann. Dieses Ergebnis unterstreicht die Relevanz der Integration von Qualitätsmodellierung auf Ebene von Einzelprodukten und Kleinladungsträgern in den Forschungsfluss des Operations Research. Ebenso eröffnet es neue Forschungsgebiete im Bereich von Transportversicherungen und Haftungsfragen, sowie bezüglich der Konsequenzen für Verträge und Rückkaufoptionen.

Für die Praxis stellt diese Arbeit ein Werkzeug dar um Prozessabläufe und Managementprozesse zu überdenken, neue relevante Kennzahlen zu etablieren und

kritische Produktgruppen für eine Evaluierung mit sensorbasierten Managementprozessen zu identifizieren. Zudem belegt diese Arbeit die Relevanz der Berücksichtigung von Umweltexternalitäten, sowie des Erfassens und Verwaltens hochauflösender Daten.

Regierungsassoziierten und öffentlichen Organisationen liefert die vorliegende Dissertation Empfehlungen zur Verbesserung der gesamtwirtschaftlich bereitgestellten Datenbasis. Staatliche Organisationen, wie beispielsweise die USDA, sollten eine Umstellung von durchschnittlichen jährlichen Verlustaten auf Daten mit monatlicher Auflösung und geographischer Differenzierung erwägen. Infolgedessen könnten staatliche Finanzhilfen zum Aufbau bestimmter wirtschaftlicher Gebiete effektiver verteilt werden.