

Bullwhip-Effekt im Supply Chain Planning und Möglichkeiten der Reduktion durch gemeinsame Datenhaltung

Seminararbeit im Rahmen des Seminars
Supply Chain Management
Sommersemester 00/01

vorgelegt am 15.03.2001

Inhalt

	Seite
1 Einleitung	1
2 Die Ursachen des Bullwhip-Effektes	3
1.1 Unsicherheit bei Nachfrageprognosen	3
2.2 Lange Lieferzeiten	3
2.3 Bestellgrößenplanung	3
2.4 Preisfluktuationen	4
2.5 Nachfrageüberhänge	5
3 Das mathematische Modell	5
3.1 Zwei-Stufen Modell	5
3.1.1 Moving Average Forecasts	6
3.1.2 Exponential Smoothing Forecasts	8
3.2 Mehrere Verkäufer und ein Produzent	9
4 Der Einfluss der gemeinsamen Datenhaltung	9
4.1 Gemeinsame Datenhaltung	10
4.2 Keine gemeinsame Datenhaltung	11
4.3 Schlussfolgerung	11
5 Zusammenfassung und Methoden zur Gegensteuerung	12
Literaturverzeichnis	14

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1 Varianzverstärkung der Bestellmengen entlang der Lieferkette	1
---	---

1 Einleitung

Eine wichtige Beobachtung im Supply Chain Management (SCM) ist der sogenannte *Bullwhip-Effekt* (Peitschenhieb), der eine Varianzerhöhung bei der Nachfrage entlang des Informationsflusses in der Lieferkette (Supply Chain) bedeutet.¹

Nach Lee, Padmanabhan und Whang wurde dieser Begriff von Procter & Gamble (P&G) geprägt. Vor einiger Zeit bemerkte P&G, dass Nachfrage nach ihren Windeln (Pampers) seitens der Endkunden nur unbedeutend schwankte, bei den Großhändlern jedoch bereits überraschend groß war. Als P&G ihre Materialbestellungen bei den Zulieferern, wie z.B. 3M, überprüfte, waren die Schwankungen am stärksten. Obwohl die Konsumenten, hier die Babies, die Windeln in gleichmäßigen Mengen verbrauchen, verstärkt sich die Varianz entlang der Lieferkette.²

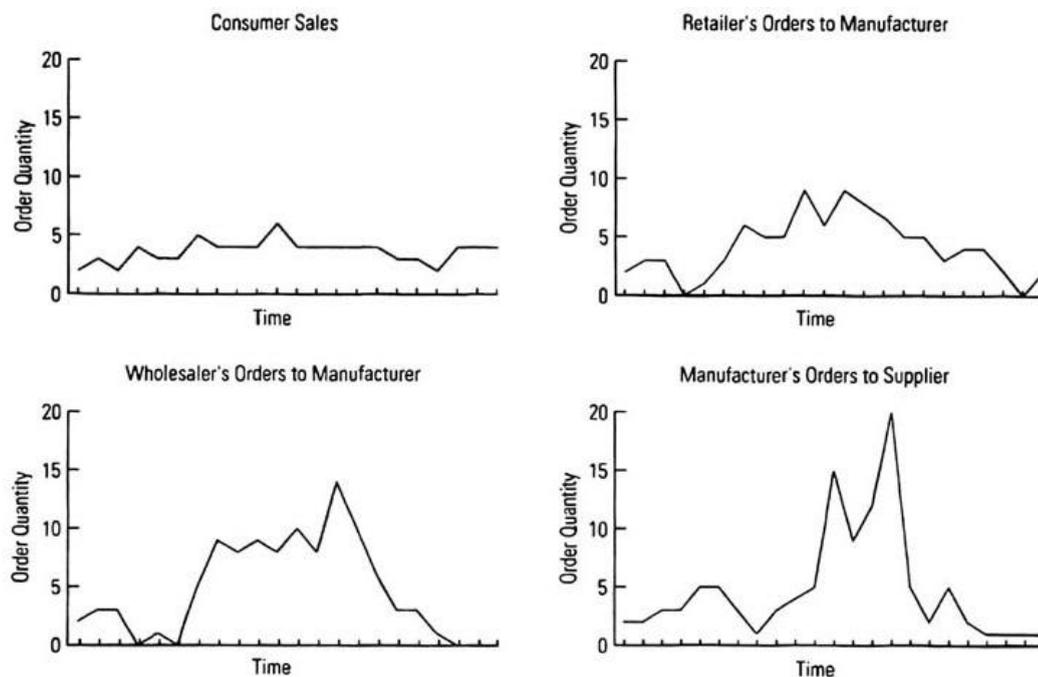


Abbildung 1.1 Varianzverstärkung der Bestellmengen entlang der Lieferkette³

¹ Vgl. Lawrenz, Hildebrant, Nenninger, *Supply Chain Management*, 2000, Seite 37

² Vgl. Lee, Padmanabhan, Whang, *The Bullwhip Effect*, 1997, Seite 93

³ Lee, Padmanabhan, Whang, *The Bullwhip Effect*, 1997, Seite 94

Ohne wirkliche Produktverkaufszahlen zu wissen, müssen sich die Firmen auf die Bestellmengenmuster der Weiterverkäufer verlassen, um die Produktnachfrage vorauszusagen, Kapazitätsplanung durchzuführen, Lagerbestände zu kontrollieren und den Produktionsplan aufzustellen. Die starken Nachfrageschwankungen sind ein großes Problem für das Management. Die Auswirkungen solcher Schwankungen könnten sein:

- große Lagerbestände
- mangelhafte Vorhersagen der zukünftigen Produktnachfrage
- uneffiziente Kapazitätsnutzung
- schlechter Kundenservice bei langen Rückständen
- unsichere Produktionsplanung und
- hohe Kosten im Falle von Änderungen (Schnellversand, Überstunden).⁴

Um das Problem der Informationsverzerrung zu lösen, müssen die Firmen zuerst verstehen, was den Bullwhip-Effekt erzeugt, um so Strategien entwickeln zu können, die ihm entgegenwirken. Moderne Firmen in verschiedenen Industriebranchen haben herausgefunden, dass sie diesen Aufschaukelungsprozess kontrollieren und ihr Performance durch die Koordination des Informationsaustausches und der Planung entlang der ganzen Lieferkette steigern können.⁵

In dieser Seminararbeit wollen wir die Möglichkeit der Reduktion durch gemeinsame Datenhaltung untersuchen. Zuerst werden im zweiten Kapitel die Ursachen des Bullwhip-Effektes diskutiert. Im dritten Kapitel wird ein mathematisches Modell zur Beschreibung des Effektes und der Einwirkung von Forecasting(Vorhersage)-Techniken und Lieferzeiten betrachten. Diese Ergebnisse helfen uns bei der Untersuchung der Reduktionsmöglichkeiten durch die gemeinsame Datenhaltung im vierten Kapitel. Zum Schluss, im fünften Kapitel, folgt eine Zusammenfassung der Ergebnisse und es werden einige Methoden zur Gegensteuerung vorgestellt.

⁴ Vgl. Lee, Padmanabhan, Whang, *The Bullwhip Effect*, 1997, Seite 93

⁵ Vgl. Lee, Padmanabhan, Whang, *The Bullwhip Effect*, 1997, Seite 95

2 Die Ursachen des Bullwhip-Effektes

Die beste Illustration des Bullwhip-Effektes ist das sogenannte „*Beer Distribution Game*“. In diesem Spiel übernehmen die Teilnehmer die Rollen von Konsumenten, Einzelhändlern, Großhändlern und Lieferanten einer populären Biermarke. Die Spieler können nicht miteinander kommunizieren und müssen ihre Bestellentscheidungen nur aufgrund der Bestellungen des in der Kette benachbarten Spielers treffen. Alle Bestellmuster erweisen eine gemeinsame Eigenschaft: als Konsequenz des rationalen Verhaltens der Spieler in der Lieferketteninfrastruktur nimmt die Varianz entlang des Informationsflusses immer zu.⁶ Es sind fünf wichtigen Ursachen, die den Bullwhip-Effekt erzeugen.

2.1 Unsicherheit bei Nachfrageprognosen

Jedes Unternehmen in der Lieferkette benutzt eine einfache Methode, wie z.B. *moving average* oder *exponential smoothing*, um die Nachfrage vorauszusagen und danach die Produktion-, Kapazitäten- und Materialplanung durchzuführen. Diese Vorhersagen basieren oft auf den vergangenen Bestellmengen der unmittelbaren Partnern in der Lieferkette und werden als ein Signal über die zukünftige Produktnachfrage betrachtet. Die Bestellungen zum Lieferanten spiegeln die Menge wieder, die man braucht um die zukünftige Nachfrage zu erfüllen und schließt wenn nötig damit verbundene Sicherheitsbestände ein.⁷

2.2 Lange Lieferzeiten

Die Lieferzeiten (*leadtimes*) sind definiert als Zeiten zwischen der Abgabe der Bestellung und dem Empfang der Lieferung. Bei langen Lieferzeiten ist es nicht ungewöhnlich, dass man größere Sicherheitsbestände braucht, was die Nachfrageschwankungen entlang der Lieferkette verstärkt.⁸

2.3 Bestellgrößenplanung

Jedes Betrieb in der Lieferkette macht seine Bestellungen nach einer Bestandüberwachungsmethode. Die Bestände werden kontinuierlich geleert, aber die Firmen machen nicht sofort ihre Bestellungen. Sie stapeln oder

⁶ Vgl. Sterman, *Modeling Managerial Behavior*, 1989, Seiten 321-339

⁷ Vgl. Lee, Padmanabhan, Whang, *The Bullwhip Effect*, 1997, Seite 95

⁸ Vgl. Lee, Padmanabhan, Whang, *The Bullwhip Effect*, 1997, Seite 95

akkumulieren ihre Nachfrage bevor sie eine Bestellung an den Lieferanten abgeben. Es existieren zwei Formen der Bestellgrößenplanung: „*periodic ordering*“ und „*push ordering*“.

Die periodischen Bestellungen können in einem Wochen-, Zweiwochen- oder sogar Monatszyklus erfolgen. Es gibt mehrere Gründe für diese Bestellzyklen. Oft können die Lieferanten häufige Bestellverarbeitung nicht durchführen, weil der Zeit- und Kostenaufwand dafür beträchtlich werden kann. Zum anderen, machen viele Produzenten ihre Einkaufsbestellungen erst dann, wenn sie eine Materialbedarfsplanung (*Material Requirements Planning*) durchführen. Dies geschieht oftmals nur einmal im Monat. Die Firmen mit kleinen Absatzmengen ziehen regelmäßige zyklische Bestellverhalten vor, aber wenn die Mehrheit der Firmen ihre Einkaufsbestellungen am Anfang (am Ende) des Monats vornehmen, vergrößert dieses Verhalten den Bullwhip-Effekt.. Noch ein Hindernis für die häufigere Bestellungen sind die Transportkosten. Hier sind wesentliche Unterschiede zwischen Preisen für die Vollbeladung (*Full-Truck-Load*) und die Teilbeladung (*Less-Than-Truck-Load*). Dadurch entsteht ein großer Anreiz bei der Materialbestellung Vollbeladung zu erzielen und es kann zu Verlängerung der Bestellzyklen führen.

Im Falle von „*push ordering*“, erfahren die Firmen einen Andrang in der Nachfrage von den Verkäufern, die ihre Verkaufsquote noch füllen müssen und auf Vorrat und vorzeitig bestellen. Für die Lieferanten sind solche Bestellungen noch unberechenbarer.⁹

2.4 Preisfluktuationen

In Folge der attraktiven Preispolitik der Produzenten (Preisnachlässe, Sonderangebote, Rabatte, Gutscheine usw.) kaufen die Kunden im voraus mehr als sie unmittelbar brauchen; sie kaufen in großen Mengen und decken sich für die Zukunft ein. Die Bestellungen der Kunden entsprechen dann nicht mehr ihrem eigenen Verbrauch, die Varianz wird größer und es tritt der Bullwhip-Effekt ein. Wenn die Preisfluktuation existiert, dann sind die Käufe im voraus eine rationale Entscheidung, solange die Kosten für die Lagerung der Produkte

⁹ Vgl. Lee, Padmanabhan, Whang, *The Bullwhip Effect*, 1997, Seite 96

niedriger als der Preisnachlass sind. Obwohl einige Firmen Preisfluktuation fördern, müssen sie meistens selbst darunter leiden. Im Angesicht großer Schwankungen, müssen die Firmen oft mit Überstunden große Nachfrage bewältigen und bei kleiner Nachfrage die Produktion einstellen. Alternativ können sie große Lagerbestände bilden, wenn sie Nachfrageschwankungen erwarten. In beiden Fällen erhöhen sich die Kosten, die sich aber auf die Preispolitik der Unternehmen zurückzuführen sind.¹⁰

2.5 Nachfrageüberhänge

Wenn die Nachfrage nach einem Produkt das Lieferpotential übersteigt, muss der Produzent seine Lieferungen rationieren. In einem Fall kann er seine Lieferungen proportional zu den Bestellmengen aufteilen. Wissend über diese Tatsache, versuchen die Kunden in größeren Mengen als sie brauchen zu bestellen. Später, wenn die Nachfrage nachlässt, bleiben die Bestellungen plötzlich aus und die Stornierungen häufen sich. Diese scheinbare Überreaktion der Kunden auf die Nachfrageüberhänge resultiert aus den vernünftigen, ökonomischen Entscheidungen der Konsumenten. Aufgrund solcher Verhaltensmuster (*Shortage Game*) können die Produzenten sehr wenig Informationen über die tatsächliche Produktnachfrage aus den Bestellungen der Kunden ableiten, besonders bei der Einführung eines neuen Produktes.¹¹

3 Das mathematische Modell

In diesem Abschnitt wird nicht nur der Ausmaß der Varianzsteigerung in jeder Stufe der Lieferkette demonstriert, sondern auch die Zusammenhänge zwischen Nachfrageverteilung, Forecasting-Techniken, Lieferzeiten und der Varianzsteigerung gezeigt.¹²

3.1 Zwei-Stufen-Modell

Zuerst gehen wir von einer einfachen Lieferkette aus. Diese besteht aus einem Verkäufer, der die Konsumentennachfrage D_t nach einem Produkt zum

¹⁰ Vgl. Lee, Padmanabhan, Whang, *The Bullwhip Effect*, 1997, Seite 97

¹¹ Vgl. Lee, Padmanabhan, Whang, *The Bullwhip Effect*, 1997, Seite 98

¹² Vgl. Chen, Drezner, Ryan, Simchi-Levi, *Managerial Insights*, 1998, Seite 422

Zeitpunkt t beobachtet und eine Menge q_t des Produktes bei dem Produzenten bestellt. Angenommen die Konsumnachfrage sei eine Zufallsvariable:

$$D_t = \mathbf{m} + \mathbf{r}D_{t-1} + \mathbf{e}_t,$$

wobei \mathbf{m} eine nichtnegative Konstante und \mathbf{r} der Korrelationsparameter mit $|\mathbf{r}| < 1$ ist. Die Fehlerterme \mathbf{e}_t sind unabhängig, identisch und symmetrisch verteilte Variablen mit der Erwartung 0 und der Varianz \mathbf{s}^2 . Wir setzen auch eine konstante Lieferzeit L voraus, d.h. dass der Verkäufer, der eine Bestellung an Ende der Periode t abgegeben hat, die Lieferung erst am Anfang der Periode $t+L$ bekommt. Leicht zu zeigen ist, dass $E(D_t) = \frac{\mathbf{m}}{1-\mathbf{r}}$ und $Var(D_t) = \frac{\mathbf{s}^2}{1-\mathbf{r}^2}$ (Übungsaufgabe!). Diese Nachfrageverteilung wird bei vielen Autoren, die den Bullwhip-Effekt analysieren, angenommen. Für $\mathbf{r} = 0$ ist die Nachfrage unabhängig und identisch verteilt (i.i.d) mit Erwartung \mathbf{m} und Varianz \mathbf{s}^2 .¹³

Eine weitere Voraussetzung ist auch, dass die Verkäufer für die Bestandskontrolle ein einfaches Verfahren, wie z.B. *order-to-up inventory policy*, anwenden. Nach diesem Verfahren wird der Bestellzeitpunkt durch die Menge y_t wie folgt bestimmt:

$$y_t = \hat{\mathbf{m}}_t^L + z\hat{\mathbf{s}}_t^L$$

wobei $\hat{\mathbf{m}}_t^L$ eine Schätzung für die erwartete Nachfrage während der Lieferzeit, $\hat{\mathbf{s}}_t^L$ eine Schätzung für die Standardabweichung der Fehlerterme während der Lieferzeit und z ein Parameter für das Erreichen des gewünschten Levels ist. Es ist bekannt, dass für die Normalverteilung und i.i.d Nachfrage diese Form der Bestandskontrolle optimal ist.¹⁴

3.1.1 Moving Average Forecasts

Um die Bestandskontrolle durchführen zu können, müssen die Verkäufer die Erwartung und die Standardabweichung der Nachfrage auf der Grundlage der beobachteten Kundennachfrage schätzen. Angenommen, die Verkäufer benutzen eine der einfachsten Vorhersagetechniken, *moving average*. Bei diesen Verfahren wird in jeder Periode die Erwartung der Nachfrage während

¹³ Vgl. Chen, Drezner, Ryan, Simchi-Levi, *Managerial Insights*, 1998, Seite 422,423

¹⁴ Vgl. Chen, Drezner, Ryan, Simchi-Levi, *Managerial Insights*, 1998, Seite 420

der Lieferzeit geschätzt als $\hat{\mathbf{m}}_t^L = L\hat{\mathbf{m}}_t$, wobei $\hat{\mathbf{m}}_t$ als der Durchschnitt der Nachfrage in den letzten p Perioden berechnet wird, also

$$\hat{\mathbf{m}}_t = \frac{\sum_{i=1}^p D_{t-i}}{p}.$$

Die Schätzung der Standardabweichung der Fehlerterme während der Lieferzeit L erfolgt mit Hilfe der Standardabweichung des Fehlertermes $\mathbf{e}_t = D_t - \hat{\mathbf{m}}_t$ in einzelnen Perioden, also

$$\hat{\mathbf{s}}_t^L = C_{L,r} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^p (\mathbf{e}_{t-i})^2}{p}}$$

wobei dann $C_{L,r}$ eine konstante Funktion von L und r ist. Um den Bullwhip-Effekt mathematisch zu beschreiben, müssen wir den Quotienten zwischen der Varianz von q_t (der Bestellmenge des Verkäufers) und der Varianz von D_t (beobachtete Kundennachfrage) betrachten. Zu diesem Zweck schreiben wir q_t als

$$q_t = y_t - y_{t-1} + D_{t-1}.$$

Man beachte, dass q_t auch negativ werden kann. In diesem Fall wird vorausgesetzt, dass die überschüssige Bestände ohne Kosten zurück geschickt werden. Diese Voraussetzung hat aber keine große Auswirkungen auf weitere Ergebnisse.¹⁵

Können $\hat{\mathbf{m}}_t^L$ und $\hat{\mathbf{s}}_t^L$ geschätzt werden, gelangt man nach einigen Rechenschritten (siehe Chen, Drezner, Ryan, Simchi-Levi) zum folgenden Ergebnis:

$$\frac{\text{Var}(q^{MA})}{\text{Var}(D)} \geq 1 + \left(\frac{2L}{p} + \frac{2L^2}{p^2} \right) (1 - r^p).$$

Die Gleichheit ist im Falle $z = 0$ erreicht. Die Betrachtung dieser Ungleichung ermöglicht einige Folgerungen: man sieht sofort, dass die Untergrenze des Quotienten eine Funktion mit drei Parameter L , p und r ist. Der Einfluss von L und p ist intuitive sofort klar. Mit größeren Lieferzeiten verstärkt sich die Varianz und mit dem größeren Beobachtungsraum verringert sie sich. Der

¹⁵ Vgl. Chen, Drezner, Ryan, Simchi-Levi, *Managerial Insights*, 1998, Seite 423

Korrelationskoeffizient r hat auch einen starken Einfluss auf die Verstärkung der Varianz. Ist $r = 0$, d.h. wenn die Nachfrage i.i.d ist, dann folgt:

$$\frac{\text{Var}(q^{MA})}{\text{Var}(D)} \geq 1 + \left(\frac{2L}{p} + \frac{2L^2}{p^2} \right)$$

Ist $r > 0$, d.h. die Nachfrage ist positiv korreliert, dann wird die Varianzverstärkung mit größeren r kleiner. Ist $r < 0$, dann ist $(1 - r^p) < 1$ für gerade p und $(1 - r^p) > 1$ für ungerade p . Dies bedeutet, dass Die Untergrenze für die Verstärkung der Varianz für gerade p ist kleiner als für ungerade p .¹⁶

3.1.2 Exponential Smoothing Forecasts

Obere Analyse kann auf jede andere Forecasting-Technik angewandt werden, z.B. auf exponentiales Glätten, die meist verbreitete Methode in der Praxis. Bei dieser Methode schätzt der Verkäufer die erwartete Nachfrage während der Lieferzeit als $\hat{m}_t^L = L\hat{m}_t$ mit $\hat{m}_t = aD_{t-1} + (1-a)\hat{m}_{t-1}$, wobei $0 < a \leq 1$ ist. In der Praxis ist $0 < a \leq 0.3$ üblich. Können wieder \hat{m}_t^L und \hat{s}_t^L geschätzt werden, dann können wir analoge Analyse durchführen und gelangen zum folgenden

Ergebnis:

$$\frac{\text{Var}(q^{ES})}{\text{Var}(D)} \geq 1 + \left(2La + \frac{2L^2a^2}{2-a} \right) \left(\frac{1-r}{1-br} \right),$$

wobei $b = 1 - a$ und die Gleichheit im Falle $z = 0$ erreicht ist. Auch hier ist die Untergrenze des Quotienten eine Funktion mit drei Parameter L , a und r . Der Einfluss der Lieferzeiten und des Glättungsparameters ist intuitiv verständlich. Mit größeren Lieferzeiten wird die Varianzverstärkung größer. Mit steigendem a wird die letzten beobachtete Nachfrage stärker gewichtet, was zur Varianzerhöhung führen kann. Der Korrelationskoeffizient r hat auch hier einen Einfluss auf die Varianzverstärkung. Ist $r = 0$, dann ist

$$\frac{\text{Var}(q^{ES})}{\text{Var}(D)} \geq 1 + 2La + \frac{2L^2a^2}{2-a}.$$

Für $r > 0$ ist $\left(\frac{1-r}{1-br} \right) < 1$ und für $r < 0$ ist $\left(\frac{1-r}{1-br} \right) > 1$.

¹⁶ Vgl. Chen, Drezner, Ryan, Simchi-Levi, *Managerial Insights*, 1998, Seite 424

Demnach ist für positiv korrelierte Nachfrage die Varianzerhöhung kleiner als bei der i.i.d Nachfrage und umgekehrt für negativ korrelierte Nachfrage größer.¹⁷

3.2 Mehrere Verkäufer und ein Produzent

Das oben betrachtete Modell ist zu einfach und spiegelt nicht die Komplexität einer realen Supply Chain. Die Ergebnisse können aber leicht z.B auf den Fall mehrerer Verkäufer übertragen werden. Sei eine Lieferkette mit n Verkäufern und einem Produzenten gegeben. Verkäufer k beobachtet zum Zeitpunkt $t-1$ die Kundennachfrage D_{t-1}^k , benutzt die moving average Methode mit p Perioden um die Erwartung \hat{m}_t^k und die Standardabweichung $\hat{s}_t^{L,k}$ der Nachfrage während der Lieferzeit vorherzusagen, bestimmt die order-up-to Menge y_t^k und macht eine Bestellung q_t^k beim Produzenten. Wenn wir wie in dem oberen Abschnitt voraussetzen, dass überschüssige Bestände ohne Kosten zurückgeschickt werden können, bekommt man $q_t^k = y_t^k - y_{t-1}^k + D_{t-1}^k$. Wir setzen hier gleiche Lieferzeiten L für alle Verkäufer voraus, obwohl die Rechnungen auch um verschiedene Lieferzeiten L_k für jeden Verkäufer erweiterbar sind. Der Produzent bekommt Bestellungen von n Verkäufern in der Periode t . Die gesamte, bestellte Menge ist dann $Q_t = \sum_{k=1}^n q_t^k$. Um den Bullwhip-Effekt in diesem Fall zu untersuchen, werden Varianz der gesamten bestellten Menge und die Varianz der gesamten Kundennachfrage gegenübergestellt. Unter der Annahme über i.i.d Nachfrage bekommt man als Ergebnis:

$$\frac{\text{Var}(Q)}{\text{Var}(\sum_{k=1}^n D^k)} \geq 1 + \frac{2L}{p} + \frac{2L^2}{p^2}.$$

Die Gleichheit ist im Falle $z = 0$ erreicht. Man sieht sofort, dass die Untergrenze der relativen Varianzerhöhung im Fall mehrerer Verkäufern identisch mit der Untergrenze im Fall eines einzigen Verkäufers ist.¹⁸

4 Der Einfluss der gemeinsamen Datenhaltung

Eine der häufigsten Vorschläge zur Reduktion des Bullwhip-Effektes ist die gemeinsame Datenhaltung der Nachfrageinformationen in der Lieferkette.

¹⁷ Vgl. Chen, Drezner, Ryan, Simchi-Levi, *Managerial Insights*, 1998, Seite 425,426

¹⁸ Vgl. Chen, Drezner, Ryan, Simchi-Levi, *Managerial Insights*, 1998, Seite 426

Wenn die Daten über die Nachfrage an jeder Stufe der Supply Chain bekannt sind, werden die Vorhersagen nicht mehr auf der Grundlage der Bestellmengen der unmittelbaren Geschäftspartner, die größere Schwankungen aufweisen können, sondern auf der Grundlage originärer Daten getroffen. Um den Einfluss der gemeinsamen Datenhaltung auf den Bullwhip-Effekt zu untersuchen, werden im folgenden zwei Fälle diskutiert: mit und ohne gemeinsame Datenhaltung.¹⁹

4.1 Gemeinsame Datenhaltung

Betrachten wir jetzt eine mehrstufige Lieferkette, in der die erste Stufe (z.B. Einzelhändler) die kompletten Nachfragedaten jeder anderen Stufe zur Verfügung stellt. Angenommen, dass alle Mitglieder der Supply Chain die moving average Methode mit p Perioden zur Schätzung der Nachfrageerwartung benutzen und dass wir eine i.i.d Nachfrage haben. Da alle die gleiche Nachfrageinformationen haben, bilden auch alle die gleiche Schätzung für die Nachfrageerwartung, und zwar

$$\hat{m}_t = \frac{\sum_{i=1}^p D_{t-i}}{p}$$

Anschließend wird noch vorausgesetzt, dass in jeder Stufe die folgende order-up-to Methode angewendet wird: Die order-up-to Menge y_t der Stufe k wird bestimmt als $y_t^k = L_k \hat{m}_t$. Dies ist der Spezialfall der vorherigen order-up-to Methode mit $z = 0$. Mit der bekannten Analyse bekommt man folgenden Zusammenhang zwischen der Varianz der Bestellmenge q^k in der Stufe k und der Varianz der Kundennachfrage D :

$$\frac{\text{Var}(q^k)}{\text{Var}(D)} = 1 + \frac{2\left(\sum_{i=1}^k L_i\right)}{p} + \frac{2\left(\sum_{i=1}^k L_i\right)^2}{p^2} \quad \forall k.$$

In diesem Fall ist die Gleichung ähnlich der aus dem Zwei-Stufen-Modell, allerdings sind die einfachen Lieferzeiten L durch die $\sum_{i=1}^k L_i$ ersetzt. Aber auch hier verstärkt sich die Varianz entlang der Lieferkette.²⁰

¹⁹ Vgl. Chen, Drezner, Ryan, Simchi-Levi, *Managerial Insights*, 1998, Seite 431

²⁰ Vgl. Chen, Drezner, Ryan, Simchi-Levi, *Managerial Insights*, 1998, Seite 431,432

4.2 Keine gemeinsame Datenhaltung

Betrachten wir jetzt eine Lieferkette wie oben, aber ohne gemeinsame Datenhaltung. In diesem Fall stellen die Einzelhändler die Informationen über Kundennachfrage den anderen Teilnehmern der Lieferkette nicht zur Verfügung. Dies bedeutet, dass jede Stufe der Supply Chain ihre Nachfrageprognosen auf der Grundlage der Bestellmuster ihrer unmittelbaren Partner macht. Angenommen, jede Stufe befolgt eine order-up-to Methode von der Form:

$$y_t^k = L_k \hat{m}_t^{(k)},$$

wobei L_k die Lieferzeit zwischen den Stufen k und $k+1$ ist,

$$\hat{m}_t^{(1)} = \frac{\sum_{i=1}^p D_{t-i}}{p} \quad \text{und} \quad \hat{m}_t^{(k)} = \frac{\sum_{j=1}^{p-1} q_{t-j}^{k-1}}{p} \quad \forall k \geq 2.$$

Hier ist q_t^k die Bestellmenge der Stufe k zum Zeitpunkt t . In diesem Fall bekommen wir folgende Untergrenze für die Varianzverstärkung:

$$\frac{\text{Var}(q^k)}{\text{Var}(D)} \geq \prod_{i=1}^k \left(1 + \frac{2L_i}{p} + \frac{2L_i^2}{p^2} \right) \quad \forall k.$$

Der Ausdruck für die Untergrenze ist ähnlich dem aus dem Zwei-Stufen-Modell, auch hier wird die Varianz entlang der Lieferkette immer größer, allerdings wird die Varianzvergrößerung in jeder Stufe multiplikativ verstärkt.²¹

4.3 Schlussfolgerung

Um den Einfluss der gemeinsamen Datenhaltung auf den Bullwhip-Effekt zu bestimmen, müssen wir die Varianzerhöhung in der Supply Chain in beiden Fällen miteinander vergleichen. Wie wir schon gesehen haben, erfolgt in jedem Fall eine Varianzerhöhung entlang der Lieferkette. Der Unterschied der beiden Systeme liegt in den Termen für die Varianzverstärkung von einer Stufe zur anderen. Bei der gemeinsamen Datenhaltung ist die Varianzzunahme in jeder Stufe eine *additive* Funktion von der Lieferzeit und dem Quadrat der Lieferzeit, andererseits, wenn keine gemeinsame Datenhaltung vorliegt, ist die untere Grenze für die Varianzzunahme eine *multiplikative* Funktion. Man kann abschließend sagen, dass die gemeinsame Datenhaltung den Bullwhip-Effekt bedeutend reduzieren kann, aber nicht komplett ausschließen, sogar wenn in

²¹ Vgl. Chen, Drezner, Ryan, Simchi-Levi, *Managerial Insights*, 1998, Seite 432,433

jeder Stufe einer Lieferkette gleiche Methoden für die Nachfrageprognosen und für die Bestandskontrolle benutzt wird.²²

5 Zusammenfassung und Methoden zur Gegensteuerung

In dieser Seminararbeit wurde demonstriert, dass der Phänomen, bekannt als der Bullwhip-Effekt, aus den ökonomisch rationalen Entscheidungen der Teilnehmer einer Lieferkette resultiert. Zum Teil wird er auch durch die mehrfachen Nachfrageprognosen verstärkt. Wenn die Unternehmen die Schätzungen für die Erwartung und die Varianz der Nachfrage basierend auf den Bestellmustern ihrer unmittelbaren Geschäftspartner periodisch aktualisieren, verstärkt sich die Varianz entlang der Kette. Weiterhin wurde gezeigt, dass die gemeinsame Datenhaltung den Bullwhip-Effekt bedeutend reduzieren (aber nicht vollkommen ausschließen) kann. Sogar wenn alle Stufen einer Lieferkette gleiche Forecasting-Techniken und gleiche Bestellpraktiken oder Bestandskontrollen benutzen, existiert der Bullwhip-Effekt immer noch.²³ Lee, Padmanabhan und Whang schlagen auch weitere Methoden zur Gegensteuerung des Bullwhip-Effektes vor.

Durch die Reduzierung der Nachfrageschwankungen schon bei den Endkunden kann der Aufschaukelungsprozess gehemmt werden. Geringere Varianz am Anfang der Kette bedeutet, dass die Schwankungen am Ende auch kleiner werden. Dies kann z.B. durch die Preisstabilisierung geschehen. Wenn die Einzelverkäufer „every day low pricing“ (EDLP) betreiben, dann bieten sie ein Produkt immer zu einem festen, niedrigen Preis an und nicht mehr zu einem regulären Preis mit periodischen Preisreduzierungen. Durch die Eliminierung der Preisschwankungen, werden die Anreize zu „Hamsterkäufen“ bei den Kunden genommen.²⁴

Bei den Nachfrageüberhängen, um den Shortage Gaming auszuschließen, können die Lieferanten nicht die Kunden mit den höchsten Bestellungen, sondern mit den höchsten Verkäufen in der Vergangenheit vorziehen. Die

²² Vgl. Chen, Drezner, Ryan, Simchi-Levi, *Managerial Insights*, 1998, Seite 433

²³ Vgl. Chen, Drezner, Ryan, Simchi-Levi, *Managerial Insights*, 1998, Seite 434

²⁴ Vgl. Lee, Padmanabhan, Whang, *The Bullwhip Effect*, 1997, Seite 101

Offenlegung der Material- und Kapazitätssituation gegenüber Kunden kann auch die Schwankungen in der Nachfrage reduzieren.²⁵

Unsere Ergebnisse zeigen, dass die langen Lieferzeiten einen großen Einfluss auf die Varianzerhöhung haben. Die Verkürzung der Lieferzeiten kann den Bullwhip-Effekt bedeutend reduzieren. Es wurde auch der Zusammenhang zwischen den Lieferzeiten und der Forecasting-Technik demonstriert. Bei der moving average Methode z. B. müssen bei längeren Lieferzeiten mehr Vergangenheitswerte der Bestellmengen für die Prognosen benutzt werden (L/p), um den Aufschaukelungsprozess zu hemmen.

Große Auswirkung auf die Lieferzeiten hat auch die Bestellgrößenplanung. Geringere Bestellmengen bei gleichzeitiger höherer Bestellfrequenz verringern den Bullwhip-Effekt. Die Kosten einer Bestellung können z.B. durch Einsatz von EDI (*Electronic Data Interchange*) und CAO (*Computer-Assisted Ordering*) reduziert werden. Diese Ersparnisse werden aber durch die Höhe der Kosten für die Less-Than-Truck-Load verschwendet. Deshalb bietet es sich bei kleineren Bestellmengen die Full-Truck-Load durch die Bestellung verschiedener Produkte bei einem Lieferanten zu erreichen. Andererseits können die Unternehmen FTL auch durch Third-Party-Logistic erreichen. Dabei lassen sich die Produkte unterschiedlicher, aber räumlich nahe liegenden Lieferanten zu einer Ladung zusammenführen.²⁶

Zum Schluss lässt sich zusammenfassen, dass höhere Kundenzufriedenheit und geringere Logistikkosten aus verbesserter *Kommunikation* und *Kooperation* zwischen den Betrieben innerhalb der Supply Chain resultieren. Z.B. bei VMI (*Vendor Managed Inventory*) oder CRP (*Continuous Replenishment Program*) führt der Produzent die Bestandskontrollen seines Produktes bei den Verkäufern durch. Die Verkäufer werden dabei zu passiven Partnern in der Kette. Die Produzenten müssen sich nicht mehr auf die Bestelldaten ihrer Kunden verlassen, und so den Bullwhip-Effekt fast gänzlich vermeiden.²⁷

²⁵ Vgl. Lee, Padmanabhan, Whang, *The Bullwhip Effect*, 1997, Seite 101

²⁶ Vgl. Lee, Padmanabhan, Whang, *The Bullwhip Effect*, 1997, Seite 100

²⁷ Vgl. Lee, Padmanabhan, Whang, *The Bullwhip Effect*, 1997, Seite 99

Literaturverzeichnis

Oliver Lawrenz; Knut Hildebrand; Michael Nenninger: Supply Chain Management, Vieweg, 2000, p. 37.

Hau L. Lee; V. Padmanabhan and Seungjin Whang: The Bullwhip Effect in Supply Chains, in: Sloan Management Review, Vol. 38, No.3, Spring, 1997, pp. 93-102.

John Sterman: Modeling Managerial Behavior: Misperception of Feedback in a Dynamic Decision-Making Experiment, in: Management Science, Vol. 35, No.3, 1989, pp. 321-339.

Frank Chen; Zvi Drezner; Jennifer K. Ryan and David Simchi-Levi: The Bullwhip Effect: Managerial Insights on the Impact of Forecasting and Information on Variability in a Supply Chain, in: Sridhar Tayur; Ram Ganeshan; Michael J. Magazine (Hrsg): Quantitative Models for Supply Chain Management, Kluwer Academic Pub, 1998, pp. 419-439.