

DISSERTATION

Advancing Price Comparison Sites by Forecasting Prices of Consumer Goods

Anne Falkenberg

Kumulative Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades
eines Doktors der Wirtschaftswissenschaften
Doktor rerum politicarum (Dr. rer. pol.)
an der Wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät
der Katholischen Universität Eichstätt-Ingolstadt

Advancing Price Comparison Sites by Forecasting Prices of Consumer Goods

vorgelegt von
Anne Falkenberg

Erstgutachter
Prof. Dr. Ulrich Küsters

Zweitgutachter
Prof. Dr. Thomas Setzer



Tag der mündlichen Prüfung
21. Oktober 2021

Überblick

Die vorliegende kumulative Dissertation wurde am Lehrstuhl für Statistik und Quantitative Methoden an der Wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät der Katholischen Universität Eichstätt-Ingolstadt verfasst und beschäftigt sich mit der Erweiterung von Services im Kontext von Preisvergleichsseiten auf Basis von prognostizierten Produktpreisen. Im Rahmen der Promotion wurden die folgenden drei Forschungsbeiträge angefertigt:

1. Falkenberg, Anne; Buchwitz, Benjamin (2019): **Enhancing Price Alert Recommendation Services – A Comparative Study**, Proceedings of the 27th European Conference on Information Systems 2019, Stockholm & Uppsala, Sweden (Ranking: VHB-JQ2: B, VHB-JQ3: B, CORE2018: A).
2. Buchwitz, Benjamin; Falkenberg, Anne; Küsters, Ulrich (2019): **Time Series Event Forecasting in Consumer Electronic Markets using Random Forests**, Proceedings of the 2019 Pre-ICIS SIGDSA Symposium, Munich, Germany.
3. Falkenberg, Anne (2020): **Performance of Core Methodologies for Consumer Price Prediction Services**, Proceedings of the 5th International Conference on Big Data Analytics, Data Mining and Computational Intelligence 2020 (BigDaCI), Zagreb, Croatia (ausgezeichnet mit dem Outstanding Paper Award).

Preisvergleichsseiten (PCS) sind Plattformen, die durch die Aggregation von Preisinformationen vertrauenswürdiger Händler, ihre Kunden bei der Kaufentscheidung unterstützen. Dabei generieren die meisten Preisvergleichsseiten ihre Umsätze auf drei Arten: pro Auftrag bzw. erfolgreichem Verkauf, pro Klick (revenue-per-click) und durch das Listen von Händlern (listing revenue). Umsatz für einen Verkauf entsteht, wenn ein Kunde, der auf die Website eines Einzelhändlers weitergeleitet wurde, dort ein Produkt kauft. Infolgedessen erhält die PCS eine Provision in Form eines festgelegten Prozentsatzes des Verkaufspreises. Dieser Teil des Umsatzmodells allein ermutigt die Aggregationsplattform jedoch nicht, den besten Preis für ihre Kunden zu finden und bereitzustellen, denn je höher der Preis des gekauften Produktes, desto höher die Provision, die die PCS erhält. Folglich ist es wichtig, den zweiten Teil des Erlösmodells zu berücksichtigen, welcher der PCS einen gewissen Betrag für jeden Kunden garantiert, der auf das Angebot eines Händlers klickt und dadurch auf dessen Website weitergeleitet wird, unabhängig, ob dort ein Kauf erfolgt oder nicht. Übliche cost-per-click aus Sicht der Anbieter (auf dem deutschen Markt) belaufen sich auf 0,19€ bis 0,42€. Die dritte Einnahmequelle für Preisvergleichsplattformen ergibt sich unabhängig vom Verhalten der Kunden, ausschließlich für die Bereitstellung der Plattforminfrastruktur und die Möglichkeit für Verkäufer Produkte auf der Vergleichsseite listen zu dürfen. Bei der Auswahl einer geeigneten Preisvergleichsseite stellen Verkäufer die entstehenden Kosten der Reichweite der PCS, vor allem in Form von Besucherzahlen sowie Kennzahlen, wie Verweildauer, Klickrate und/oder Verkaufsrate, gegenüber. Folglich ergibt sich als Ziel von PCS das Attrahieren wiederkehrender Verbraucher sowie die Generierung einer hohen Anzahl Verkaufstransaktionen. Voraussetzung dafür ist indes eine große Marktdeckung mit vielen Einzelhändlern und einer Vielzahl an Produkten. Daraus ergibt sich ein Kreislauf zwischen Besuchs- und Verkaufszahlen sowie Angebotsqualität und -vielfalt der Preisvergleichsseite, wobei die Wettbewerbsfähigkeit, Aktualität und Dynamik der Produktangebote eine entscheidende Voraussetzung bildet, um Nutzer zum regelmäßigen Besuch der Vergleichsseite zu bewegen, wodurch wiederum die Attraktivität für Verkäufer gesteigert wird.

Um den Traffic, die Klick- und Kundenbindungsrate (Retention) zu erhöhen, haben sich PCS daher in den letzten Jahren von reinen Aggregationsplattformen für Einzelhändler, zu Entscheidungsunterstützern für Kunden gewandelt. Dabei versuchen sie den Entscheidungs- und Kaufprozess zu begleiten und den Besuchern Services und Informationen zusätzlich zu reinen Preisinformationen als Entscheidungshilfen zur Verfügung zu stellen. Betrachtet man diese Services im Detail fällt auf, dass damit spezifische Schritte im Kaufprozess – also was, wann und wo gekauft wird – adressiert werden, die darauf abzielen in ihrer Gesamtheit den ganzen Entscheidungs- und Abwicklungsprozess abzudecken. So wird der Kunde zum Beispiel bei der Auswahl des Produktes durch strukturierte, kategorie-spezifische Filteroptionen und die aggregierte Bereitstellung von Produktbewertungen bei der Beantwortung der Frage, was er kauft, unterstützt. Der dargestellte Überblick über die verfügbaren Verkäufer sowie deren Preis- und Lieferkonditionen inklusive Erfahrungsberichten und Zufriedenheitsindikatoren ermöglicht dem Kunden die Differenzierung zwischen unterschiedlichen Anbietern. Die Auswahl des besten Händlers hilft demnach bei der Beantwortung der Frage, wo der Kunde kaufen soll. Der verbleibende dritten Service-Bereich geriet in jüngster Vergangenheit zunehmend in den Fokus von PCS und umfasst die Bereitstellung von Preishistorien und die Möglichkeit Preisalarme einzurichten. Als Preisalarme bezeichnet man Erinnerungen, die automatisiert Nutzer benachrichtigen, sobald ein bestimmtes Produkt verfügbar ist oder der gewünschte Preis für ein Produkt erreicht wurde. Sowohl Preisalarme als auch die Darstellung historischer Produktpreise zielen auf die Bestimmung des (optimalen) Kaufzeitpunktes und damit auf die Entscheidung, wann

gekauft werden soll, ab. Speziell bei dieser Dienstleistung zeigt sich, dass die zur Verfügung gestellten Informationen allein, den Kunden nicht dazu befähigen den optimalen Kaufzeitpunkt zu bestimmen.

Viele Preisvergleichsseiten für Flugreisen stellen aus diesem Grund explizite Empfehlungen bezüglich des Kaufzeitpunktes – also z.B. „Abwarten“ oder „Direkt Kaufen“ – bereit, wohingegen PCS für andere Konsumgüter, wie Smartphones, einen solchen Service nicht anbieten. Folgerichtig ergibt sich die Frage, ob der Transfer einer solchen Entscheidungsunterstützung auf elektronische Konsumgüter möglich ist, obgleich Flugpreise und Preise für elektronische Konsumgüter anderen Preissetzungsmechanismen und Marktstrukturen unterliegen. Im Gegensatz zu Verbraucherelektronik besitzen Flüge ein wiederkehrendes Element, dies bedeutet, dass ein Flug zwischen zwei Destinationen durch eine einzige Fluggesellschaft teilweise mehrmals täglich angeboten wird oder sich zumindest jede Woche wiederholt. Außerdem wird eine bestimmte Flugstrecke nur von einer überschaubaren (und relativ konstanten) Anzahl an Fluggesellschaften bedient und deren Preissetzung immer von der gleichen Revenue Management Engine gesteuert. Dieses Wissen wird von Preisvergleichsseiten, wie AirHint.com, genutzt, um Muster in den Preisverläufen zu erkennen und daraus Vorhersagen über den künftigen Preisverlauf zu generieren. Dieser Ansatz ist allerdings nicht für elektronische Konsumgüter geeignet, da die Verweildauer von Konsumgütern im Markt länger ist und Produktnachfolger oftmals andere Merkmale als das Originalprodukt besitzen, sodass ähnlichkeitsbasierte Prognoseansätze nicht effektiv genutzt werden können. Hinzu kommt, dass die Anzahl der Anbieter eines Konsumgutes oft deutlich größer und nicht zwingend zeitkonstant ist. Ferner erfolgt die Preissetzung jedes Händlers nicht durch ein Revenue Management System, sondern wird deutlich intransparenter durch Marktpositionierungs- oder Lagerhaltungsüberlegungen beeinflusst, weswegen sie einen nicht zu vernachlässigenden Anteil probabilistischer Strukturen aufweisen. In der Service-Landschaft von Preisvergleichsseiten bleibt das Angebot in Bezug auf Entscheidungsunterstützung bei der Bestimmung des bestmöglichen Kaufzeitpunktes unvollständig und ausbaufähig, wobei aufgrund der Beispiele aus der Reiseindustrie sichtbar wird, dass vergleichbare Services von Kunden genutzt und geschätzt werden.

Die vorliegende Dissertation entwickelt methodische Ansatzpunkte zur Erweiterung des beschriebenen Dienstleistungsspektrums von Preisvergleichsseiten für elektronische Konsumgüter im Hinblick auf die Bestimmung des besten Kaufzeitpunktes. Die Herausforderungen bei der Erweiterung potenzieller Services resultieren jedoch nicht nur aus den beschriebenen strukturellen Unterschieden im Vergleich zu Flugvergleichsportalen, sondern auch aus der zur Verfügung stehenden Datenbasis, welche lediglich Produkt- und Preisinformationen umfasst, sowie der Produktvielfalt, die Preisvergleichsseiten – im Bereich der elektronischen Konsumgüter – bedienen. Des Weiteren ist es bei der kundenzentrierten Weiterentwicklung von Services zur Bestimmung des optimalen Kaufzeitpunktes essentiell, das zentrale Entscheidungskriterium der Kunden von Preisvergleichsseiten zu berücksichtigen: Geht man davon aus, dass der Kunde sich bereits für ein Produkt entschieden hat und einen passenden Händler bzw. bestmöglichen Kaufzeitpunkt sucht, ergibt sich für Produkte mit hoher Standardisierung (wie elektronische Konsumgüter) nur ein relevantes Entscheidungskriterium – der (erwartete) Minimumpreis.

Diese Arbeit stellt daher die Prognose von Minimumpreisen und daraus abgeleitete Ereignisse in den Mittelpunkt ihrer Analysen und beantwortet drei Fragen, die die Voraussetzung schaffen, um Services von Preisvergleichsseiten zu erweitern:

1. Wie lange muss man voraussichtlich warten, bis man sein Wunschprodukt kaufen kann, wenn man ein Budget bzw. einen Wunschpreis festgelegt hat?
2. Wann sollte man kaufen, damit man den niedrigsten Preis innerhalb eines kurzen, vordefinierten Entscheidungshorizontes bezahlt?
3. Wie kann eine Preisvergleichsseite Preisprognosen für eine große, heterogene Menge an Produkten über unterschiedliche Horizonte erstellen und welche Methoden eignen sich dafür am besten?

Die zur Analyse herangezogene Datenbasis ergibt sich aus den spezifischen Anforderungen des Untersuchungskontexts. Während in den ersten beiden Veröffentlichungen auf eine Untergruppe der elektronischen Konsumgüter – Smartphones – fokussiert wird, um die Anwendung der entwickelten Methodik zu demonstrieren, beschäftigt sich der dritte Beitrag mit den Herausforderungen bei der Preisvorhersage für die heterogene Produktlandschaft auf Preisvergleichsseiten und bezieht daher multiple Produktkategorien in die Analyse ein.

Beitrag 1: Enhancing Price Alert Recommendation Services – A Comparative Study

Dieser Beitrag zielt auf die Erweiterung und Verbesserung von Preisalarmen auf Preisvergleichsseiten ab und fokussiert auf die Erstellung mittelfristiger Prognosen von Minimumpreiszeitreihen von 151 Smartphones mit Preishistorien zwischen 2010 und 2017. Die drei wesentlichen Beiträge, die dieser Artikel leistet, sind der Vergleich von Prognosemethoden hinsichtlich ihrer Eignung bei der Zeitpunktprognose von Preisevents für elektronische Konsumgüter, die automatische Kalibrierung des ex-post optimalen Quantils zur Erweiterung des entwickelten Ensemble-Ansatzes für

die Zeitreihenprognose sowie der Vergleich der Prognosequalität der resultierenden acht Prognosekonfigurationen (mit und ohne Ensembleprognose).

Preisalarme – in ihrer derzeit verfügbaren Form – sind personalisierte Benachrichtigungsdienste, die Benutzer dabei unterstützen, ihren optimalen Kaufzeitpunkt zu finden. Normalerweise aktivieren Kunden Alarme, wenn sie sich in ihrer Kaufabsicht festgelegt haben und das Wunschprodukt als Kaufkandidat identifiziert wurde. Dann geben sie ihren Ziel- bzw. Wunschpreis auf der Preisvergleichsseite ein, um bei Erreichung oder Unterschreitung durch das Auslösen einer mobilen Push-Benachrichtigung oder per E-Mail von der Preisvergleichsplattform informiert zu werden. Bei der Analyse der Preisalarmfunktion wird deutlich, dass der Dienst zwar zukunftsorientiert ist, die vergangene Preisentwicklung aber völlig ignoriert, obwohl diese Daten eine zentrale Informationsquelle für den Nutzer darstellen, um Erwartungen über die zukünftige Preisentwicklung zu bilden. Das Einrichten des Preisalarmdienstes ist daher nicht direkt mit der Bestimmung des Kaufzeitpunktes gekoppelt und wird allein dem Nutzer überlassen.

In dieser Arbeit wird ein methodischer Rahmen entwickelt, der es erlaubt, den Zeitpunkt, zu dem der Minimumpreis eines bestimmten Produktes erstmals einen benutzerdefinierten Schwellenwert erreicht oder unterschreitet, abzuschätzen und vorherzusagen. Dies bietet Nutzern eine zusätzliche Informationsquelle, die ihre subjektiven, von Erwartungen beeinflussten Vorhersagen entgegensteht, und reduziert so die Verzerrung, die normalerweise bei von Menschen erstellten Prognosen zu finden ist. Zusätzlich wird eine deutliche Verbindung zwischen zukünftigen Kaufzeitpunkten und vergangenen Preisentwicklungen hergestellt. Da Kunden mit individuellen Kosten-Nutzen-Funktionen ausgestattet sind, bietet der entwickelte Service ein sofortiges Feedback zum erstellten Preisalarm, wodurch sichergestellt werden kann, dass eine individuelle Abwägung zwischen der erzielten Einsparung und dem Nutzengewinn aus einem früheren Kauf erfolgen kann. Diese Feedback-Schleife ermöglicht es dem Kunden seinen Schwellenpreis dynamisch und in Abhängigkeit der erwarteten Wartezeit anzupassen.

Die vorgeschlagene Methodik kombiniert Prognoseverfahren mit statistischen Ansätzen und zeigt Möglichkeiten für den Übergang zu datengetriebenen Geschäftsmodellen für PCS auf. Um dabei die Vergleichbarkeit der Ergebnisse sicherzustellen und um Effekte zu vermeiden, die durch unterschiedliche Ausgangspreise oder Produktsegmente entstehen, wird der Preisalarm für eine 5%-Preissenkung konfiguriert. Die Ergebnisse sind jedoch sowohl für größere oder kleinere Preissenkungen als auch für absolute Preissenkungen konsistent.

Der Beitrag verdeutlicht im ersten Schritt durch den Vergleich von vier traditionellen Ansätzen der Zeitreihenprognose, dass die Preisprognose von elektronischen Konsumgütern eine große Herausforderung darstellt und dass aus den resultierenden Punktprognosen oft keine Vorhersagen für das Eintreten wirtschaftlich sinnvoller Preisereignisse abgeleitet werden können, da aufgrund von Fehleinschätzungen des Verlaufes der Minimumpreiszeitreihe, die untersuchte Preisreduktion von 5% in vielen Fällen niemals erreicht wird. Um diesen Problemen zu begegnen, wird im zweiten Schritt ein Residual-Bootstrap-Resampling Schema verwendet, welches mehrere Zukunftsszenarien möglicher Preisentwicklungspfade (Prognoseensembles) erzeugt und dadurch die Unsicherheit zukünftiger Preise berücksichtigt. Einige dieser simulierten Zukunftsszenarien unterschreiten in ihrem Verlauf den betrachteten Schwellenwert, wodurch sich eine diskrete Dichte der Erreichungszeitpunkte ergibt. Durch die systematische Reduktion des zukünftigen Pfadraums mit Hilfe der Kalibrierung eines speziell entwickelten ex-post optimalen Quantils basierend auf den bereits bekannten wahren Eintrittszeitpunkten als Entscheidungskriterium wird eine Vorhersage für den Eventzeitpunkt erzeugt – also den Zeitpunkt, an dem der Zielpreis erstmals erreicht bzw. unterschritten wird. Die so generierten Prognosen sind nicht nur hinsichtlich ihrer Qualität den traditionellen Ansätzen der Zeitreihenprognose überlegen, sondern ermöglichen es auch Vorhersagen für nahezu alle Produkte und jeden Zeitpunkt zu erstellen.

Beitrag 2: Time Series Event Forecasting in Consumer Electronic Markets using Random Forests

Die zweite Veröffentlichung beschäftigte sich mit kurzfristigen Kaufzeitpunktempfehlungen, die im Zusammenhang mit einem direkt bevorstehenden Kaufabschluss stehen. Die drei wesentlichen Beiträge, die dieser Artikel leistet, bestehen

- in der Adaption eines Klassifikationsalgorithmus für den Gebrauch im Zeitreihenkontext und der damit verbundenen Verwendung von Zeitreihencharakteristika als Einflussfaktoren,
- in der Reduzierung des benötigten Dateninputs für die Generierung von Prognosen bei Markteintritt und somit in der Verkürzung der Wartezeit bis erstmalig eine Prognose generiert werden kann sowie
- in der Analyse der Abhängigkeitsstrukturen zwischen unterschiedlichen Produkten und die daraus folgende Übertragbarkeit der Zusammenhänge auf neue Zeitreihen.

Dafür wird von der folgenden Situation ausgegangen: Ein Kunde hat seine Kaufentscheidung getroffen und plant das Wunschprodukt zeitnah zu erwerben. Dabei wird angenommen, dass der Kunde innerhalb eines kurzen Zeitraumes (7 Tage) indifferent bezüglich des Kaufzeitpunktes ist und nun den bestmöglichen Preis innerhalb dieser 7 Tage erzielen

möchte. Der vorgeschlagene Service ist angelehnt an die bereits für Flugpreisvergleichsseiten vorhandene Funktionalität, die Kunden eine Empfehlung „direkt zu kaufen“ oder mit ihrem Kauf „zu warten“ bereitstellt. Aufgrund des sich daraus ergebenden binären Klassifikationsproblems wird auf einen modernen Klassifikationsalgorithmus, den Random Forest, zurückgegriffen. Anhand einer Stichprobe mit 173.740 täglichen Mindestpreisbeobachtungen von 238 Smartphones aus dem deutschen Konsumgütermarkt mit Preishistorien zwischen 2008 und 2017 wurde getestet, ob sich mit Hilfe dieses Klassifikationsverfahren zuverlässige Vorhersagen über zukünftige Preisereignisse generieren lassen. Eine Herausforderung stellt dabei die Extraktion der benötigten erklärenden Einflussfaktoren aus der Informationsbasis dar. Dafür wurden ausgehend von der bereits erwähnten Minimumpreiszeitreihe Variablen konstruiert, welche sowohl die Historie des Preisverlaufes – anhand der Renditen der letzten sieben Tage – als auch generelle Preistendenzen und Eigenschaften der Zeitreihe, wie das Preisniveau, der Anteil der Nullbeobachtungen oder das Verhältnis des aktuellen Preises zum durchschnittlichen Preis, abbilden. Zusätzlich zu diesen produktspezifischen Einflussfaktoren können bei einer multivariaten Betrachtung Markt- und Markenindikatoren wie die Anzahl der Produkte im Markt und der mittlere Preis der Produkte desselben Herstellers in die Analyse einbezogen werden.

Es wird gezeigt, dass die Nutzung von Random Forests zur Generierung binärer Kaufempfehlungen aussagekräftige und genaue Ergebnisse liefert. Das Erweitern und Aggregieren von Informationen aus der isolierten univariaten Perspektive, bei der jedes Produkt individuell analysiert und prognostiziert wird, mit multivariaten Merkmalen, die die Marken- und Marktdynamik beschreiben, verbessert die Qualität und Leistung von Vorhersagemodellen erheblich. Dabei zeigen sowohl die Receiver-Operator-Charakteristik als auch die Auswertung des Binärklassifikators, dass die Vorhersagegenauigkeit signifikant steigt, wenn die Random Forest-Konfiguration für mehrere Zeitreihen zeitgleich durchgeführt wird. Dies veranschaulicht, dass die Abhängigkeitsstrukturen zwischen den Produkten ähnlich sind und auf andere Zeitreihen übertragen werden können. Dieses Ergebnis wird durch die Feature Importance unterstützt, die zeigt, dass multivariate Variablen stark zur Vorhersagegenauigkeit beitragen. Darüber hinaus ist der multivariate Ansatz in der Lage, eine größere Anzahl Vorhersagen zu generieren als der univariate Ansatz, da er es ermöglicht, Empfehlungen für Produkte abzugeben, die neu auf dem Markt sind (nur 7 Renditen müssen vorliegen). Im Einklang mit dem Gesamtbild stimmen diese Prognosen in der Genauigkeit mit der Leistung des multivariaten Modells überein und liefern so einen weiteren Beleg für den Mehrwert, der durch die Verallgemeinerung der Prognosefunktion entsteht.

Beitrag 3: Performance of Core Methodologies for Consumer Price Prediction Services

Der dritte Beitrag befasst sich mit Prognosemöglichkeiten für ein breiteres Spektrum von Produkten bzw. Produktkategorien und der generalisierten Verwendbarkeit von Prognosesystemen für unterschiedliche Vorhersagehorizonte. Die zwei wesentlichen Beiträge dieses Artikels bestehen in der Analyse der Prognosegüte von Minimumpreiszeitreihen über verschiedene Produktkategorien hinweg, wodurch die Untersuchung einen Performance-Benchmark für komplexere Methoden darstellt und einen Ansatzpunkt für ein verallgemeinertes analytisches Prognosesystem, welches Preisvergleichsseiten weitläufig implementieren können, liefert. Zum zweiten verdeutlicht die Arbeit, dass verschiedene Methodiken für unterschiedliche Prognosehorizonte geeignet sind, sodass der Anwendungskontext, in dem eine Preisvergleichsseite ihr Dienstleistungsspektrum erweitern möchte, von entscheidender Relevanz ist.

In dieser Arbeit wird die Prognosegüte verfügbarer und skalierbarer Prognoseverfahren für Analytics-Services von Preisvergleichsseiten untersucht, wenn sie auf Minimumpreiszeitreihen von unterschiedlichen elektronischen Konsumgütern angewendet werden. Dabei werden 16 Methoden für einen Prognosehorizont von acht Wochen exemplarisch für 2000 Produkten aus vier Produktgruppen: Kühlschränke, Computerspeicher, Grafikkarten und Smartphones bewertet, verglichen und die Resultate sowohl nach Prognosemodell und Produktkategorie als auch nach Prognosehorizont differenziert. Herausforderung hierbei ist, dass die Zeitreihencharakteristika sowohl zwischen als auch innerhalb der unterschiedlichen Produktarten teilweise sehr heterogen sind und die unterliegenden Marktdynamiken sich stark unterscheiden. Zur Untersuchung wird ein rollierende Prognosesetting genutzt, welches den Vergleich unterschiedlicher Prognosehorizonte erlaubt. Dabei wird im Unterschied zu den Untersuchungen in den Beiträgen 1 und 2 auf die Prognosegüte über die Horizonte fokussiert.

Mit dieser Arbeit wird gezeigt, dass univariate Zeitreihenvorhersagemethoden für den Verlauf von Minimumpreiszeitreihe eine geeignete Prognosegüte liefern und dass diese Methoden eine valide Option zur Planung und Gestaltung von Dienstleistungen von Preisvergleichsseiten bilden. Aufgrund des großen Stichprobenumfangs und der Heterogenität von Produkten und Prognosehorizonten können die Leistungsfähigkeit und Passgenauigkeit bestimmter Prognosekonfigurationen für unterschiedliche Anwendungsbereiche aus der Analyse abgeleitet werden. Im Allgemeinen konnte festgestellt werden, dass einfache Methoden hinsichtlich ihrer Güte im Allgemeinen schwer zu übertreffen sind, was darauf hindeutet, dass komplexere Standardverfahren die spezifischen Datenmerkmale nicht voll

ausschöpfen können. Auch wird gezeigt, dass, obwohl Methoden wie Theta-Modelle in vielen Fällen gut funktionieren, es keine Patentlösung gibt - weder für jede Produktkategorie noch für jeden Prognosehorizont. Bei der Gestaltung eines auf Preisvorhersagen basierenden Empfehlungsdienstes muss dies berücksichtigt und die Methodik für den Anwendungskontext individualisiert werden.

Fazit

Die vorliegende Arbeit stellt den methodischen Rahmen für prototypische Verbesserungen und Erweiterungen von Services von Preisvergleichsseiten bereit, die aus Minimumpreiszeitreihen von elektronischen Konsumgütern Empfehlungen ableiten bzw. Entscheidungsunterstützungen anbieten. Durch die Forschungsbeiträge werden dabei Ansätze für Dienstleistungen beziehungsweise Anwendungsbereiche entwickelt, wobei sowohl kurz- als auch mittelfristige Entscheidungshorizonte adressiert werden.

Beitrag 1

Enhancing Price Alert Recommendation Services – A Comparative Study

Anne Falkenberg, Benjamin Buchwitz

Abstract: Both online shoppers and e-commerce retailers benefit from price aggregation platforms that reduce searching costs for consumers and marketing expenses for businesses. The business model of Price Comparison Sites requires customers to frequently revisit their site. Therefore, they offer a range of services that support users in all pre-purchase stages of the buying process. A frequently used offer is the price alert service that notifies users when a customer-specific threshold price is reached. However, users are not assisted with configuring this service to find the best trade-off between waiting time and the amount of the defined saving. We use a large data set with 110,230 daily price observations for electronic consumer goods to develop a method that predicts when price alarms are triggered. The presented algorithm combines approaches from multiple fields and extends time series forecasting methodologies with a bootstrapped forecasting ensemble to generate various price development scenarios. We systematically reduce the uncertainty in the bootstrapped path space by dynamically calibrating a customised decision criterion and generate 62,061 automated predictions. Our proposed approach not only outperforms the benchmark forecasting models significantly in terms of accuracy but also produces precise estimates in cases where traditional approaches fail.

Falkenberg, Anne; Buchwitz, Benjamin (2019): **Enhancing Price Alert Recommendation Services – A Comparative Study**, Proceedings of the 27th European Conference on Information Systems 2019, Stockholm & Uppsala, Sweden.

Beitrag 2

Time Series Event Forecasting in Consumer Electronic Markets using Random Forests

Benjamin Buchwitz, Anne Falkenberg, Ulrich Küsters

Abstract: Consumers are price-sensitive and opportunistic about the place of purchase when buying electronic goods. However, services that advise customers on purchase time decisions for electronic consumer goods are missing. Given the objective to provide a signal to customers to either wait or purchase immediately, classification algorithms are a direct methodological choice. Approaches like random forests allow for the derivation of a probability and class prediction but are usually not used in time series contexts. This is due to missing or non-time variant regressors and unclear prediction settings. We show how classification methods can be used to generate reliable predictions of price events and analyze if these are subject to common market dependencies. Pooling univariate random forests and enhancing them with multivariate features shows that our approach generates stable and valuable recommendations. Because dependency structures between products are transferable, multivariate forecasting increases accuracy and issues recommendations where univariate approaches fail.

Buchwitz, Benjamin; Falkenberg, Anne; Küsters, Ulrich (2019): **Time Series Event Forecasting in Consumer Electronic Markets using Random Forests**, Working Paper, Catholic University of Eichstätt-Ingolstadt.

Beitrag 3

Performance of Core Methodologies for Consumer Price Prediction Services

Anne Falkenberg

Abstract: The need to monitor prices gave rise to price comparison sites that have not yet adopted recommendation services to support customers in scheduling buying decisions. Using a large data set with 1.46 million daily minimum price observations for four product categories of electronic consumer goods, we outline reasons for the slow adoption of recommendation services, evaluate almost 1.1 billion price forecasts, and show that product prices are forecastable. We compare 16 different methods that can act as the core of price prediction services and give detailed insights on performance as well as advice on model selection for different product categories and advocate the transition towards prescriptive price analytics services.

Falkenberg, Anne (2020): **Performance of Core Methodologies for Consumer Price Prediction Services**, Proceedings of the 5th International Conference on Big Data Analytics, Data Mining and Computational Intelligence 2020, Zagreb, Croatia (ausgezeichnet mit dem Outstanding Paper Award).