
Prognose der Restwerte Gebrauchter Kraftfahrzeuge basierend auf künstlichen Neuronalen Netzen

Masterarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades „Master of Science (M.Sc)“ im Masterstudiengang
Wirtschaftswissenschaft der Wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät der Leibniz Universität
Hannover

vorgelegt von

Name: Hasic

Vorname: Elvis



Prüfer: Prof. Dr. Michael H. Breitner

Betreuer: Jun.-Prof. Dr. Hans-Jörg von Mettenheim

Hannover, den 1. Oktober 2012

Inhaltsverzeichnis

Sperrvermerk	VI
Abbildungsverzeichnis	VII
Tabellenverzeichnis	VIII
1 EINLEITUNG	1
1.1 Einführung in die Thematik	1
1.2 Aufbau der Arbeit	3
2 AUSGANGSSITUATION UND PROBLEMATIK	4
2.1 Das Leasinggeschäft – Potenziale und Risiken in Deutschland	4
2.2 Restwertabsicherungsmodell „RAN“	7
2.3 Ermittlung der Marktwerte und der Restwertkurve	10
2.4 Ermittlung der EVA-Restwerte und der Prognosekurve	13
2.5 Beurteilung der Prognosequalität der FS AG	16
2.6 Zusammenfassung	20
3 THEORETISCHE GRUNDLAGEN	22
3.1 Einleitung	22
3.2 Neuronale Netze	23
3.3 Neurosimulator FAUN	30
3.4 Optimierung des Simulationslaufs	33
3.5 Das Multiple Regressionsmodell	35
3.6 Beurteilung der Prognosequalität	37
3.7 Zusammenfassung	39

4	DATENGRUNDLAGE UND DATA PREPROCESSING	41
4.1	Einleitung	41
4.2	Interne Datenschnittstellen	42
4.3	Externe Datenschnittstellen.....	48
4.4	Datenauswahl- und vorverarbeitung.....	51
4.5	Deskriptive Datenanalyse und Vorgehensweise	53
4.6	Zusammenfassung	57
5	EMPIRISCHE VERGLEICHSANALYSEN AUSGEWÄHLTER MODELLE	59
5.1	Einleitung	59
5.2	Modellspezifikation des linearen Regressionsmodells.....	60
5.3	Modellspezifikation des neuronalen Modells.....	66
5.4	In-Sample-Prognose.....	75
5.5	Out-of-Sample-Prognose.....	79
5.6	Zusammenfassung der empirischen Resultate	84
6	SCHLUSSBETRACHTUNG UND AUSBLICK.....	87
	Literaturverzeichnis.....	92
	Anhang I: Ruby-Skripte	99
	Anhang II: VBA-Skript	116
	Anhang III: R-Code	123
	Tabellarischer Lebenslauf des Verfassers	126
	Ehrenwörtliche Erklärung	129

1.1 Einführung in die Thematik

Der deutsche Absatzmarkt für leichte Nutzfahrzeuge wuchs – ungeachtet europäischer Staatsschuldenkrise und anhaltender Turbulenzen auf den Geld- und Kapitalmärkten – im Geschäftsjahr 2011 um 18,3% zum Vorjahr auf 241 Tsd. Fahrzeuge.

Dennoch sind die Auswirkungen der Finanz- und Wirtschaftskrise noch nicht überwunden und die daraus resultierenden Turbulenzen führen auch auf den Automobilmärkten zu Diskontinuitäten und Unsicherheiten.

So ist in Deutschland der größte Preiskampf unter den Automobilherstellern der letzten fünf Jahre zu verzeichnen [vgl. F.A.Z. (2012), S.12].

Hinzu kommen die steigende Anzahl an Kurzzeitzulassungen beziehungsweise Werkdienstwagen, Überkapazitäten vieler Autohersteller sowie der Absatzrückgang in zahlreichen europäischen Ländern, [vgl. Schömann (2012), S. 4f.].

Ausdruck dieses Szenarios ist der verschärfte Wettbewerb um Marktanteile, sodass stark gestiegene Preisnachlässe auf Listenpreise mit einem Preisverfall auf dem Gebrauchtwagenmarkt einhergehen.

Zu diesem Ergebnis kommt die im März 2012 vorgestellte Studie des Zentrums für Automotive Research (CAR) der Universität Duisburg-Essen, [vgl. Welt online (2012)].

Gerade in diesen Zeiten wirtschaftlicher und finanzieller Herausforderungen ist für Unternehmen und Haushalte das Leasinggeschäft aktueller denn je geworden und stellt auch zukünftig immense Wachstumspotentiale für die Automobilindustrie dar, [vgl. Heitmüller (2012), S.242 – 249].

Auch die Absatzentwicklung der Geschäftssparte der Volkswagen Nutzfahrzeuge (VWN) wird maßgeblich vom Leasinggeschäft bestimmt. Mittlerweile werden circa 35% der verkauften Nutzfahrzeuge in Deutschland verleast.

Das Leasing für VWN wird von der Volkswagen Leasing GmbH (VWL) angeboten, die als Tochtergesellschaft der Volkswagen Financial Services AG (FS AG) und als eigene Hausbank das Bindeglied zwischen Hersteller, Handel und Kunden darstellt.

In dieser Konstellation sind die Vertragshändler verpflichtet das Leasingfahrzeug nach Ablauf der Vertragslaufzeit zu einem vorher festgelegten Restwert anzukaufen.

Dieser Restwert wird zu Beginn des Leasingvertrages von der FS AG beziehungsweise von der VWL festgesetzt und soll eine realistische Marktpreiseinschätzung zum Vertragsende darstellen.

Bei der anschließenden Vermarktung der Leasingrückläufer durch den Handel kann es jedoch vorkommen, dass der dieser Restwert nicht realisiert werden kann.

Für den Handel können diese Vermarktungsrisiken existenzbedrohlich sein, die für den Hersteller genauso zu Absatzeinbußen und sogar zur Gefährdung weitreichender Händlernetze und Vertriebswege führen können.

Zur Eingrenzung dieser Risiken ist seit 2010 das Restwertabsicherungsmodell „RAN“ entstanden, an dem VWN sowie die Vertragshändler anteilig und die VW Leasing mit einem Fixum beteiligt werden.

Genau zu dieser Problematik soll die vorliegende Masterarbeit unterschiedliche mathematische Modelle evaluieren, damit die Prognose der Restwerte sowie die dadurch potenziell entstehenden Vermarktungsrisiken adäquat beurteilt werden können.

Vielversprechend sind in diesem Zusammenhang vor allem *Künstliche Neuronale Netze (KNN)*, die „*das technisch ausgefeilteste hochdimensionale, nichtlineare Modellbildungssystem seiner Art*“ sind, so Dr. Hans-Georg Zimmermann leitender Entwickler der Forschungsabteilung der Siemens AG, [vgl. Siemens AG (2011), S. 53].

Ein neuronales Netz ist ein adaptives System von verbundenen künstlichen Neuronen, das ähnlich der Funktionsweise des menschlichen Gehirns funktioniert, [vgl. Breitner (2003), S. 1 – 3].

Inwieweit eine Prognose basierend auf neuronalen Netzen als Benchmark angesehen werden kann, lässt sich a priori nicht beantworten und kann erst durch die ausführliche empirische Auswertung im Laufe der Masterarbeit beurteilt werden.

1.2 Aufbau der Arbeit

Die inhaltliche Gliederung der Arbeit besteht aus sechs Kapiteln.

Zunächst werden im **Kapitel Zwei** die Bedeutung und die Risiken aus dem Leasinggeschäfts in Deutschland aufgezeigt. Gleichzeitig wird die Problematik der Restwertrisiken und des daraus entstandenen Restwertabsicherungsmodells „RAN“ von VWN dargestellt und in die Systematik der VW AG eingeordnet.

Das zurzeit verwendete Prognoseverfahren der VW FS AG für Restwerte wird kritisch analysiert und die Potentiale sowie die Zielsetzung der Masterarbeit aufgezeigt.

Das **dritte Kapitel** umfasst neben den theoretischen Grundlagen ausgewählter Modelle auch die Definition von qualitativen und quantitativen Prognosebeurteilungskriterien.

Ziel ist es nicht, einen unerschöpflichen Überblick über sämtliche Netztypologien und möglicher Prognosemodelle zu geben, sondern einen problembezogenen Ansatz zu rechtfertigen.

Zudem wird der Neurosimulator FAUN 1.1 vorgestellt sowie die Vorgehensweise bei der Anbindung an Microsoft EXCEL geschildert.

Kapitel Vier stellt daraufhin das verwendete Datenmodell und die unterschiedlichen Methoden des Data Preprocessings vor. Darunter werden unter anderem Verfahren zur Variablenselektion sowie deskriptive Statistiken vorgestellt, die dem Leser einen Überblick über die Datengrundlage verschaffen sollen.

Schwerpunkt der vorliegenden Masterarbeit bildet das **fünfte Kapitel**, indem die empirischen Ergebnisse unterschiedlicher Modellkonstellationen beurteilt und validiert werden.

Zu diesem Zweck erfolgt eine differenzierte Einteilung der Datensätze in eine Trainings-, Validierungs- und Generalisierungsmenge.

Kapitel Sechs enthält als Zusammenfassung die Hauptergebnisse der Arbeit und wirft einen Blick auf zukünftige Implikationen und notwendige Erweiterungen.

Im Endeffekt lässt sich sagen, dass durch die Simulation neuronaler Netze mit FAUN 1.1 ein im Rahmen der Vergleichsanalysen besseres empirisches Modell spezifiziert werden konnte. Als Fazit kann festgehalten werden, dass neuronale Netze die komplexen Wirkungszusammenhänge auf den Absatzmarkt für Leasingrückläufer besser abbilden können und somit zu qualitativ besseren Prognoseergebnisse führen.

6 Schlussbetrachtung und Ausblick

Das Leasinggeschäft von VWN sichert auch in Phasen wirtschaftlichen Abschwungs einen sicheren Absatzkanal über den Handel.

Der zu Beginn eines Leasingvertrags festgesetzte Restwert ist für die anschließende Vermarktung der Leasingrückläufer auf dem Gebrauchtwagenmarkt maßgeblich.

Auf Basis von außerplanmäßigen Marktschwankungen kann es vorkommen, dass die festgelegten Restwerte von den realen Transaktionspreisen abweichen und das Absatzpotential verringern.

Um diese Vermarktungsrisiken für die Vertragshändler zu begrenzen, hat VWN seit 2010 ein Restwertabsicherungsmodell für geleaste Nutzfahrzeuge etabliert und beteiligt sich anteilig am Wiedervermarktungsrisiko der Leasingrückläufer im deutschen Handel.

Daher sind möglichst treffsichere Prognosen, mit denen eine adäquate Analyse und Quantifizierung der Risiken erfolgen kann, maßgeblich.

Die vorliegende Masterarbeit untersuchte für die Prognose von Restwerten der Leasingrückläufer von VWN unterschiedliche theoretische Modelle.

Betrachtet wurden künstliche neuronale Netze, multiple lineare Regressionsmodelle sowie das Prognoseverfahren der FS AG.

Das multiple lineare Regressionsmodell wird dabei als klassisches Verfahren zur Prognose der Restwerte eingesetzt.

Der dadurch postulierte Zusammenhang zwischen den Einflussgrößen und der Zielgröße ist grundsätzlich linear.

Ähnlich dieser Systematik funktioniert das Prognoseverfahren der FS AG, wobei die lineare Struktur durch Interpolation ausgehend von einem vorher definierten Ankerrestwert erzeugt wird.

Dieser Ankerrestwert leitet sich aus den realen Transaktionspreisen ab und spiegelt einen durchschnittlichen, approximativen Marktpreis für eine homogene Modellgruppe (Marktpreiswertgruppe) bei einer Vertragslaufzeit von 36 Monaten sowie einer vereinbarten Gesamtleistung von 60.000 km wieder.

Ausgehend von diesem Richtwert werden für weitere Laufzeit-/Leistungskombinationen die Marktwerte synthetisch durch festgelegte Auf- und Abschläge bestimmt beziehungsweise interpoliert.

Für die anschließende Bestimmung der Prognosewerte werden zusätzliche Auf- und Abschläge in der gleichen Methodik angesetzt, die neben makroökonomischen Größen auch Korrekturfaktoren zum Lebenszyklus, der Gesetzgebung sowie fahrzeugindividueller Besonderheiten berücksichtigen.

Nachteilig an dieser Herangehensweise ist einerseits, dass die Korrekturfaktoren für jede Modellgruppe einheitlich sind und andererseits auf subjektive Einschätzungen beruhen, mit denen die komplexen Zusammenhänge zwischen den Ein- und Ausgabegrößen kaum zu quantifizieren sind.

Folglich sind die Restwertprognosen der FS AG als Diskussionsgrundlage für die Festsetzung der endgültigen Restwerte in der Restwertkommission nur bedingt geeignet.

Verstärkt wird die Ungenauigkeit der Prognose noch dadurch, dass aufgrund der komplexen Wirkungszusammenhänge auf den Absatzmärkten für Leasingrückläufer grundsätzlich keine lineare Relation postuliert werden kann.

Gerade in diesem Zusammenhang sind künstliche neuronale Netze zur Abbildung nichtlinearer Strukturen besonders geeignet. Anhand von Musterbeispielen ist es einem neuronalen Netz daher selbstständig möglich, einen funktionalen Zusammenhang beliebig genau zu approximieren. Zusätzlich wurden die jeweiligen besten Perzeptrons zu einem *Network Ensemble* kombiniert.

Nach einer Darstellung theoretischen Grundlagen neuronaler Netze und linearer Regressionsmodelle wurden empirische Vergleichsanalysen durchgeführt.

Für die Simulation neuronaler Netze wurde der FAUN Neurosimulator des Instituts für Wirtschaftsinformatik der Leibniz Universität Hannover in der Version 1.1 verwendet.

Die dafür notwendigen Ruby-Skripte wurden größtenteils bereitgestellt.

Für die Optimierung des Simulationslaufs sind die jeweiligen Skripte im Anhang zu finden beziehungsweise die spezifischen Änderungen sind in den vorhandenen Skripten kenntlich gemacht worden.

Für die Beurteilung der Modellgüte wurden in einer *In-Sample-Prognose* und einer *Out-of-Sample-Prognose* unterschiedliche Fehlermaße definiert.

Die empirischen Ergebnisse in der *In-Sample-Prognose* weisen keine wesentliche Diskrepanz unter den Modellen auf, sodass jeweils eine gute Anpassungsfähigkeit erreicht wird. Eine Ausnahme bilden hierbei die Prognosewerte der FS AG.

Sowohl im *In-Sample* Bereich als auch im *Out-of-Sample* Bereich führt das dreilagige Perzeptron mit Direktverbindungen, das *Network Ensemble* sowie die lineare Regression zu einer systematischen Überschätzung der Marktwerte.

Demgegenüber sind die prognostizierten Marktwerte der FS AG von einer systematischen Unterschätzung und einer größeren Schwankungsbreite gekennzeichnet.

Um die Vorteilhaftigkeit eines Modells zur Prognose zu beurteilen, ist es wichtig, dass die Prognosegüte auf einer unbekanntem Datenmenge validiert wird.

Innerhalb der *Out-of-Sample-Prognose* (**pseudo-ex-ante-Prognose**) kann die Effizienz neuronaler Netze unter den Vergleichsmodellen bestätigt werden.

Hierbei werden signifikant bessere Prognoseergebnisse erzielt, die darüber hinaus geringere Schwankungsbreiten aufweisen.

Die Kombination ausgewählter Perzeptrons zu einem *Network Ensemble* stellt dabei die besten Ergebnisse dar.

Die Einsatzfähigkeit neuronaler Netze bei der Prognose von Restwerten gegenüber linearer Modelle kann durch die vorliegende Masterarbeit auf Basis der Datengrundlage damit bestätigt werden.

In zukünftigen Anwendungen sind die Ergebnisse dieser Masterarbeit durch die Verwendung realer Transaktionspreise aus der DMS-Schnittstelle akribisch zu prüfen und empirisch zu validieren.

Die vorliegenden Ergebnisse besitzen ihre Gültigkeit nur für den verwendeten Datensatz der FS AG, der lediglich eine Approximation an die realen Marktwerte darstellt.

Erst durch diese Gegenüberstellung, die auf Basis synthetischer und realer Marktwerte aufbaut, wird eine allgemeingültige Aussage von neuronalen Netzen zur Restwertprognose geleaster Nutzfahrzeuge möglich.

Um alle wesentlichen Informationen für die Restwertprognose zu berücksichtigen, ist es daher erforderlich die Informationen zu den Sondermodellen in die Vergleichsanalysen mit aufzunehmen.

Werden Sondermodelle als Gebrauchtwagen verkauft, erzielen sie tendenziell einen höheren Restwert als vergleichbare Fahrzeuge.

Da das gesamte RAN-System auf Restwerten beruht, verfälschen die erhöhten Restwerte der Sondermodelle die empirischen Ergebnisse und führen zu einer systematischen Überschätzung.

Für zukünftige Forschungsinteressen könnten als weiterer Anhaltspunkt unterschiedliche Modelle kombiniert werden.

Denkbar wären hierbei lineare und nichtlineare Modelle oder auch die Kombination des Prognoseverfahrens der FS AG mit neuronalen Netzen.

In diesem Zusammenhang könnte auch das bereits erwähnte Verfahren der *Ensamble Cross Input* näher betrachtet werden.

Interessant wäre auch zudem die Fragestellung zu untersuchen, inwieweit sich die Prognoseergebnisse durch die Methoden der Datenverarbeitung unterscheiden würden.

Abschließend bleibt zu sagen, dass die Forschungsaufgaben im Bereich der Prognose von Restwerten bei weitem nicht ausgeschöpft sind und daher zahlreiche Anhaltspunkte für zukünftige Fragestellungen implizieren.

Die Masterarbeit konnte im Rahmen der empirischen Ergebnisse die Vorteilhaftigkeit neuronaler Netze darstellen, mit denen verhältnismäßig zu den Vergleichsmodellen, bessere Prognoseergebnisse erzielt werden.

Als wesentliche Erkenntnis und Abschluss dieser Masterarbeit mag die These von Niels Bohr, einem dänischen Physiker und Nobelpreisträger gelten, die ich nach umfangreichen Analysen mit Prognosemodelle auf Basis von neuronalen Netzen gemacht habe:

„Prediction is very difficult, especially if it's about the future.“