

Diskussionspapier

Bedarfsmodellierung im
Telekommunikationsbereich aus
verkehrswissenschaftlicher Sicht

Marc Gaudry ^{2 3}

Benedikt Mandel ^{1 2}

Jörg Last ¹

Juni 1995

©Copyright bei den Autoren, 1995

¹MKmetric Gesellschaft für Systemplanung mbH, Karlsruhe

²Centre de recherche sur les transports (C.R.T.), Montreal (Kanada)

³Universität Montreal, Montreal (Kanada)

Zusammenfassung

In diesem Diskussionspapier wird die Übertragbarkeit verkehrsspezifischer Nachfragemodellierung zur Analyse der Telekommunikationsnachfrage untersucht.

Nach der Definition des zugrundeliegenden Planungsrahmens für eine Nachfrageanalyse werden verschiedene Modellentwicklungen beschrieben. Diese zeichnen sich durch eine flexible mathematische Form aus und können die zu untersuchenden Daten in sehr gutem Maße abbilden. Nichtlineare Transformationen und Kaptivitäten finden dabei ebenso Berücksichtigung wie auch spezielle Verfahren zur Extrahierung von Informationen aus den Regressionsresiduen.

Die Darstellung potentieller Anwendungen dieser Modelltechniken in einer Nachfrageanalyse der Telekommunikationsinfrastruktur und -dienste bildet den Abschluß.

Stichworte:

Angebot, Nachfrage, Markt, Funktionsform, Autokorrelation, räumliche Autokorrelation, Heteroskedastizität, Logit, Box-Cox-Logit, Asymmetrie der Nachfragekurve, Kaptivität, Quasi-direktes Format, Verkehr, Telekommunikation, Kanada, Bundesrepublik Deutschland

Inhaltsverzeichnis

1	Die Komponenten der Bedarfsanalyse	4
1.1	Das Marktverhalten	4
1.2	Das Anbieterverhalten	6
1.3	Die Kostenminimierung und die Produktion	7
1.4	Das Nachfrageverhalten	8
1.5	Die Modellierbarkeit der Komponenten	9
2	Die Struktur eines Nachfragemodells	12
2.1	Das Quasi-direkte Format	12
2.2	Querschnittsmodelle der räumlichen Nachfrageverteilung	15
2.3	Querschnittsmodelle der Marktanteile	17
2.4	Zeitreihenmodelle der Gesamtnachfrage	21
2.5	Mehrstufen-Zeitreihenmodelle der Gesamtnachfrage . . .	22
3	Modellierung der Telekommunikation	25
3.1	Produkte und Leistungen	25
3.2	Gesamtnachfrage (Zeitreihen)	25
3.3	Relationenbezogene Nachfrage (Querschnittsdaten) . . .	27
3.4	Marktanteile (aggregierte Datenbasen)	30
3.5	Modellzusammenführung	32
3.6	Konsumentenwahlverhalten (disaggregierte Datenbasen) .	33
3.7	Weitere Problemstellungen und Anmerkungen	35
4	Transparenz, Wissenstransfer, Training	37

Abbildungsverzeichnis

1.1	Ein einfaches Wirtschaftssystem	5
1.2	Ein Vier-Stufen-Modell für den Verkehr	10
2.1	Lin-LOGIT vs. Box-Cox-LOGIT	18
2.2	Lin-LOGIT vs. DOGIT	19
2.3	Lin-LOGIT vs. IPT-LOGIT	19
2.4	Lin-LOGIT vs. Box-Tukey-IPT-LOGIT	20

Tabellenverzeichnis

3.1 Produkte, Leistungen und Anbieter	26
Vorschlag 1: Gesamtnachfragemodelle	27
Vorschlag 2: Sequenz-Modelle (regionenspezifisch)	28
Vorschlag 3: Simultan-Modelle (regionenspezifisch)	29
Vorschlag 4: Erweiterte Simultan-Modelle	30
Vorschlag 5: Marktanteil (regionenspezifisch)	31
Vorschlag 6: Marktanteil (relationenspezifisch)	31
Vorschlag 7: Bedingte Marktanteile	31
Vorschlag 8: Aggregation der Modelle	32
Vorschlag 9: Koppelung der Modelle	32

Kapitel 1

Die Komponenten der Bedarfsanalyse

Auch wenn das Hauptaugenmerk dieses Textes die Nachfrageanalyse ist, so empfiehlt es sich doch die Grundidee eines Wirtschaftssystems, in dem Angebot und Nachfrage sich auf einem Markt begegnen, zu skizzieren.

Schon in den ersten Beschreibungen der wirtschaftlichen Verflechtungen innerhalb von Nationalökonomien lassen sich Regelmechanismen finden, die die Interessen der Marktteilnehmer ausgleichen. Ein solcher Mechanismus ist in Abbildung 1.1 auf Seite 5 dargestellt.

In dieser einfachen Systembeschreibung stehen sich zwei Arten wirtschaftlicher Interessen gegenüber: die Gruppe der Anbieter, die ein produziertes Gut feilbieten und die Gruppe der Nachfrager, die ihre Bedürfnisse mittels angebotener Güter befriedigen wollen. Letztere beabsichtigen für ihre vorhandenen Mittel (Einkommen) einen möglichst großen individuellen Wert (Nutzen) zu erhalten, dagegen sind die Anbieter daran interessiert, aus den angebotenen Leistungen einen möglichst großen Gewinn zu erwirtschaften. Der Ausgleich dieser widerstreitenden Interessen erfolgt in dem vorgestellten Modell auf einem Markt.

1.1 Das Marktverhalten

Unter der vereinfachenden Annahme, daß am Markt nur ein Gut gehandelt wird, oder aber für jedes Gut ein eigener Markt existiert, treten die Nachfrager mit einer Nachfrage N nach diesem Gut in den Markt ein.

Die Anbieter bieten ihre Güter feil, nachdem sie sich vorher für eine be-

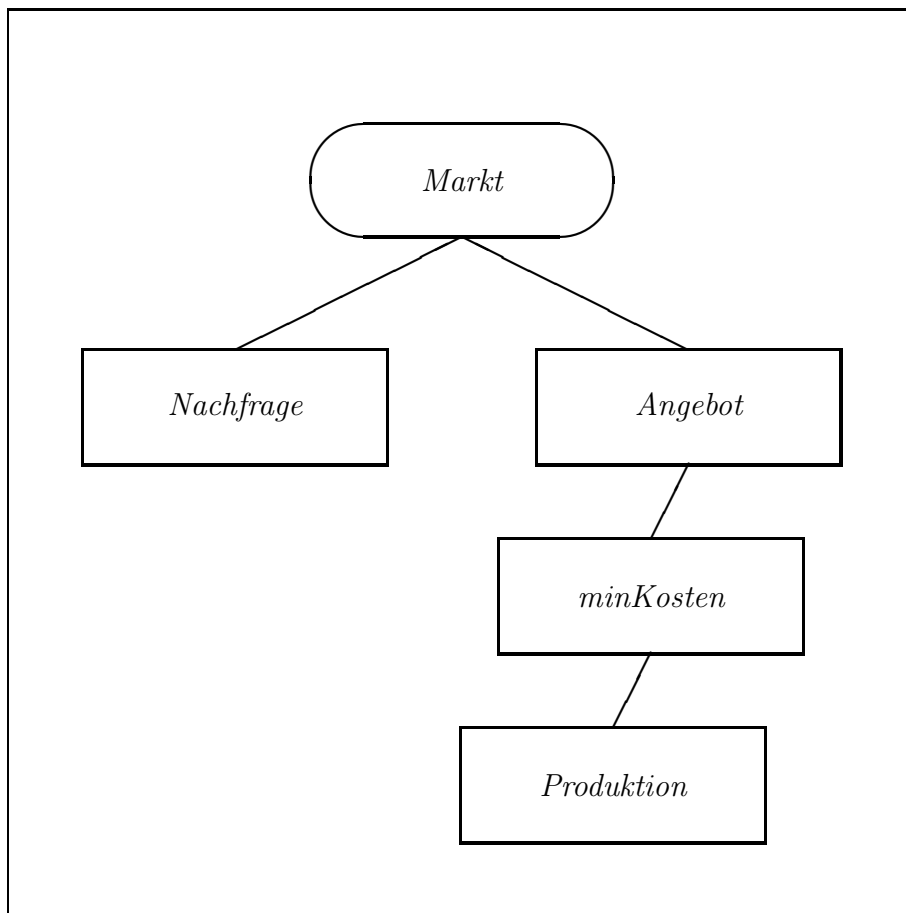


Abbildung 1.1: Ein einfaches Wirtschaftssystem

stimmte Menge M in geplanten Qualitäten des Gutes L und entsprechenden Preisgruppen T entschieden haben.

Das Marktgeschehen führt nun dazu, daß die zwei Parteien solange verhandeln, bis ein Preis P und eine Qualität Q feststeht, die dazu führen, daß der Markt „geräumt“ wird, d. h. daß sich Angebot und Nachfrage decken. Aufgrund von Bedingungen, die von beiden Marktseiten nicht beeinflußbar sind, kann sich eine Diskrepanz zwischen den bereitgestellten Gütern und den letztlich auch nachgefragten ergeben. Ein Maß dafür ist das effektive Angebot A . Das Marktverhalten ergibt sich somit zu

$$[P, Q, A] \leftarrow \text{Markt}(N, [M, L, T]) \quad . \quad (1.1)$$

Das effektive Angebot A wird betrachtet, um Güter zu berücksichtigen, die lediglich in vorgegebenen Mengen (Einheiten) angeboten werden können (Busladungen, Container) und deren gegenwärtig realisierte Auslastungen durch das aktuelle Verhalten bestimmt wird. Gleichfalls können auch nichtlagerbare Güter mit diesem Ansatz berücksichtigt werden. Darunter sind Güter zu verstehen, die nur in dem Moment konsumiert werden können, in dem sie auch produziert (bereitgestellt) werden. Zu solchen Gütern ist die Elektrizität zu zählen, die durch Turbinen erzeugt wird, die nur ein- oder ausgeschaltet sein können und deren Produktion in einer Periode verloren geht, wenn sie nicht 'simultan' verbraucht wird. Ein anderes Beispiel sind Dienstleistungen, wie die Telefonauskunft oder der Hotelzimmerservice .

1.2 Das Anbieterverhalten

Wie vorstehend dargelegt, bestimmen die Entscheidungen der Anbieter hinsichtlich der anzubietenden Menge M , den Produktqualitäten L und den zugehörigen Preisstrukturen T die Gleichgewichtspreise P und -qualitäten Q des Marktes mit. Dieses Set von Entscheidungen ist selbst auch Resultat verschiedener Einflußfaktoren.

Die angebotenen Güter ergeben sich für die Anbieter aus ihren individuellen Zielvorstellungen Z (z. B. hinsichtlich zu realisierenden Gewinnmargen) und Absatzerwartungen E sowie den Rahmenbedingungen B (Gesetzgebung) und Produktionskosten.

Die Produktionskosten werden durch eine Menge von Minimalkosten $\{W(M, L)\}$ repräsentiert, zu denen sich die gewünschten Angebotskombinationen aus Mengen und Qualitäten (\tilde{M}, \tilde{L}) kostengünstigst erzeugen lassen.

Das Anbieterverhalten läßt sich demnach wie folgt beschreiben:

$$[M, L, T] \longleftarrow \text{Angebot}(Z, B, \{W(\tilde{M}, \tilde{L})\}, E) \quad (1.2)$$

Die Absatzerwartungen E der Anbieter resultieren aus der Beobachtung des Marktes (in der Vergangenheit), wobei die beobachteten Preise \bar{P} und Qualitäten \bar{Q} ebenso berücksichtigt werden, wie die Nachfrage \bar{N} und das effektive Angebot \bar{A} :

$$E \longleftarrow \text{Absatzerwartung}(\bar{P}, \bar{Q}, \bar{N}, \bar{A}) \quad (1.3)$$

Die Gewinne der Anbieter sind abhängig von dem realisierten Absatz, den markträumenden Preisen sowie den steuerpolitischen Rahmenbedingungen. Die Anbieter können ihre Gewinne aber auch dadurch maximieren, daß sie die angebotenen Güter so kostengünstig wie möglich produzieren.

1.3 Die Kostenminimierung und die Produktion

Die Minimalkosten-Kombinationen, die die Anbieter in ihre Angebotsentscheidungen einfließen lassen, resultieren aus einer Kostenminimierungsfunktion MinKosten . Diese ermittelt zu einem geplanten Angebot einer bestimmten Menge \tilde{M} und Qualität \tilde{L} einen Satz von Minimalkosten $\{K(\tilde{M}, \tilde{L})\}$, wobei die Verfügbarkeit notwendiger Produktionsfaktoren R_n ebenso sichergestellt sein muß wie die technische Realisierbarkeit ($PR(\tilde{M}, \tilde{L})$).

$$\{W(\tilde{M}, \tilde{L})\} \longleftarrow \text{MinKosten}(K(R_n) | R_n \in \{PR(\tilde{M}, \tilde{L})\}) \quad (1.4)$$

Die Produktion liefert zu den verfügbaren Ressourcen R_v und der Produktionsplanung (\tilde{M}, \tilde{L}) einen Satz realisierbarer Produktionen $\{PR(\tilde{M}, \tilde{L})\}$.

$$\{PR(\tilde{M}, \tilde{L})\} \longleftarrow \text{Produktion}(R_v, \tilde{M}, \tilde{L}) \quad (1.5)$$

Das Ergebnis dieser Funktionen ist nicht notwendigerweise eindeutig. Ebenso kann nicht unterstellt werden, daß Anbieter notwendigerweise Kosten minimieren. Gerade in Märkten mit unvollkommener Konkurrenz können Unternehmen einen Gewinnüberhang – je nach Zielvorstellungen

und Rahmenbedingungen – unwirtschaftlich verwenden, d. h. es wird nicht produktivitätssteigernd reinvestiert. Eine Vielzahl von Verhaltensfunktionen können so aus den jeweiligen Rahmenbedingungen hervorgehen.

In monopolistischen Märkten kann der Anbieter getrennte Entscheidungen über Angebotsmenge M , -gütern L und -preise T fällen; ein hohes Maß an Wettbewerb schränkt dagegen die Freiheitsgrade ein, setzt marktkonforme Preise (bzw. Mengen-Güte-Kombinationen) und erzwingt eine Kostenminimierung um konkurrenzfähig zu bleiben. Der Fall vollkommenen Wettbewerbs ist ein in Gleichung 1.2 enthaltener Sonderfall.

Regulierte oder quasi-monopolistische Unternehmen sind darin ebenfalls darstellbar: typischerweise sind ihnen die Angebotsmengen M und die Güterpreise T vorgeschrieben, sie reagieren aber durch die Anpassung der Angebotsgüte – z. B. Wartezeiten – an die von ihnen geplanten Qualitäten L . In diesem Sinne ist die Wartezeit ein nicht monetäres Signal, das die Produktion beeinflusst, wie es im deregulierten Markt der von den Kunden tatsächlich bezahlte Preis \bar{P} ist.

1.4 Das Nachfrageverhalten

Die Marktnachfrage N resultiert aus den wirtschaftlichen Aktivitäten H , sozioökonomischen Charakteristika S und Budgets Y der Konsumenten, der Bedienungsqualität Q und den variablen Aufwendungen P für eine gegebene Infrastruktur I (z.B. Telekommunikationsausrüstung).

$$N \leftarrow \text{Nachfrage}(P, Q, I; S, H, Y). \quad (1.6)$$

Es ist vorteilhaft von einem möglichen spezifischen Modell für die Nachfrage nach bestimmten Gütern zu abstrahieren und eventuell reichhaltige Modellspezifikationen so zusammenzufassen. Es bleibt dem Leser jedoch überlassen, sich eine bevorzugte Nachfragefunktion vorzustellen, die lediglich einen Spezialfall darstellt.

Im Fall von Zwischenprodukten sind die wirtschaftlichen Aktivitäten, für die diese Güter ein Produktionsfaktor darstellt, als Einflußfaktoren berücksichtigt; bei Fertigprodukten werden wirtschaftlichen Aktivitäten H nicht betrachtet. Als Budget Y kann in Konsumgütermärkten das verfügbare Einkommen der Nachfrage verwendet werden. Bei Zwischenprodukten sind meßbare Größen für das Nachfragebudget die Steuerlast oder aber die Subventionierung der Unternehmen.

Bezüglich des als Nachfrage N betrachteten Güterbedarfs repräsentiert P gleichzeitig die Markt- als auch die Schattenpreise (Opportunitätskosten) eines betrachteten Produktes und seiner Substitute. In gleicher Weise berücksichtigt Q sowohl die Güte des Produktes als auch die seiner Substitute, insbesondere die gegenwärtige Wartezeit und andere qualitative Angebotskriterien.

1.5 Die Modellierbarkeit der Komponenten

Modelle sollen Auschnitte der Wirklichkeit hinsichtlich der Einflußfaktoren und Wirkungszusammenhänge beschreiben. Die Güte – und damit die Aussagefähigkeit – einer Modellierung wird bestimmt durch

- den Umfang und die Qualität der verfügbaren Daten,
- die Richtigkeit der formulierten Wirkungszusammenhänge (Theorien),
- die verwendeten Methoden und Modellier-’Werkzeuge’ sowie
- die Fähigkeiten des Modellierers, alles dieses konsistent zusammenzufügen.

Grundsätzlich gilt, daß eine Modellierung nur dort erfolgen kann, wo in hinreichendem Maße und genügender Qualität Datenmaterial verfügbar ist. Weiterführende Fragen sind: Wie typisch ist die durch die Daten beschriebene Situation (Ausnahme?), wie gut beschreibt die unterstellte Theorie die zu untersuchenden Wirkungen und sind alle dafür erforderlichen Einflußfaktoren in den Daten vorhanden? Als nächstes ist zu klären, ob die Modell-Philosophie angemessen ist und ob die verwendeten Werkzeuge aussagefähige Modellparameter liefern können. Sind alle diese Anforderungen erfüllt, dann liegt es in der Hand des Modellierers ein angemessenes Modell zu ’bauen’.

Für den verkehrswissenschaftlichen Bereich sind in den letzten Jahrzehnten zu den Vielzahl von Teilproblemen, die mit Modellen zu beschreiben sind, eine Reihe guter Modellkonzepte entwickelt worden, wobei die Potentiale noch lange nicht erschöpft sind.

Das Verkehrsgeschehen kann so z. B. als eine Folge von vier Teilmodellen beschrieben werden. Die Abbildung 1.2 auf Seite 10 zeigt dieses. Das

erste Modell liefert für eine Raumeinheit ein Reiseaufkommen, das alle Ortsveränderungen von Personen innerhalb einer Zeiteinheit darstellt (Verkehrserzeugung). Das zweite formuliert eine Verteilung dieser Reisen auf potentielle andere Raumeinheiten – die Reiseziele (Verkehrsverteilung). In einem dritten Modellschritt wird das für die Ortsveränderung notwendige Transportmittel gewählt (Verkehrsmittelwahl, 'modal split'). Im letzten Teilmodell wird die aus den vorhergehenden Schritten resultierende Benutzung der Infrastruktur nachgebildet (Netzbelastung). Um die Auswirkungen der Auslastung einer vorhandenen Infrastruktur mitzumodellieren, kann nun das letzte Teilmodell wieder Eingabedaten für die vorhergehenden Modellschritte liefern; dies führt zu einer Rekursivität innerhalb des Gesamtmodells. Ebenso können Teilmodelle zusammengefaßt werden, so daß z.B. das Aufkommen und die Zielwahl simultan modellierbar sind.

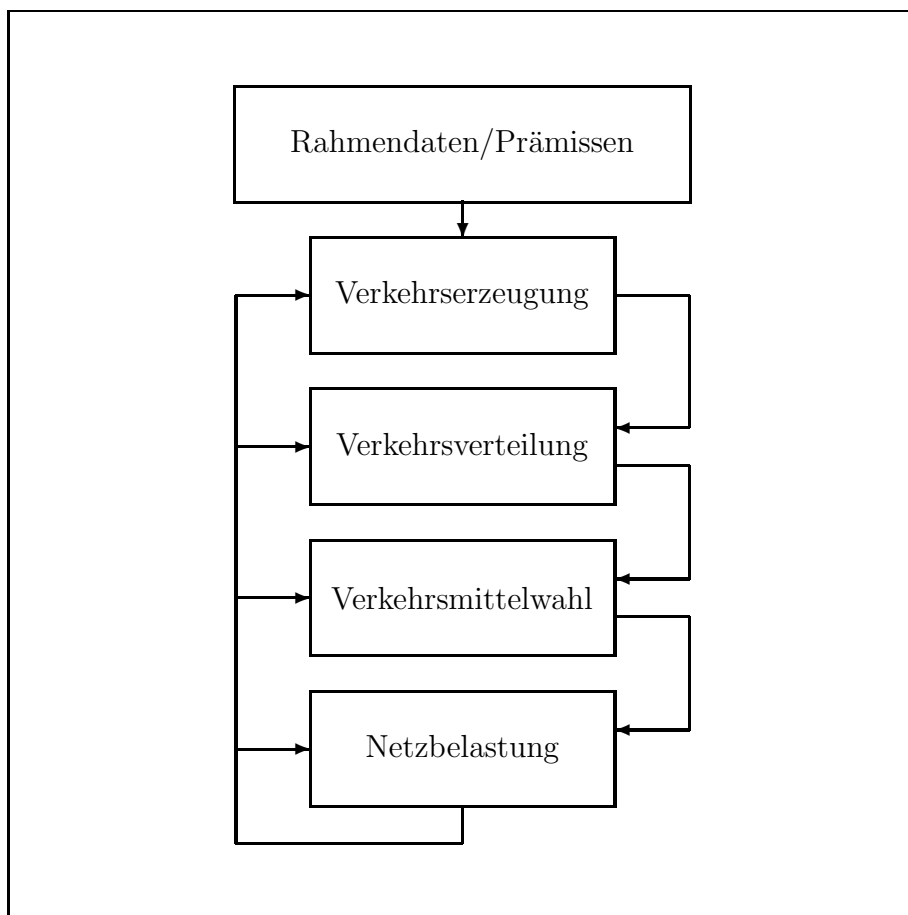


Abbildung 1.2: Ein Vier-Stufen-Modell für den Verkehr

Das Verknüpfen von Teilmodellen ergibt sich aus der Notwendigkeit, daß die Modellierbarkeit sehr komplexer Wirkungsgefüge in einer Einheit nicht realisierbar ist, die Wechselwirkungen zwischen deren Teilen aber nicht vernachlässigbar sind.

Es nun vorstellbar die Telekommunikation in Anlehnung einer oben skizzierten Modellstruktur oder Teilen dessen nachzubilden. Ebenso wie im Verkehrswesen ließen sich dann Modellaussagen zu Änderungen in der Nachfragecharakteristik (Bevölkerungsstruktur, Altersverteilung, etc.), in der Angebotscharakteristik (Infrastrukturmaßnahmen, Preisänderungen) oder auch allgemeiner Rahmenbedingungen ableiten.

Die nachfolgenden Kapitel beschäftigen sich mit der Zielgröße Nachfrage und deren Einflußfaktoren, um zu untersuchen welche Einflußnahme eines Anbieters auf das Konsumentenverhalten – wenn auch nur indirekt – möglich ist. Die in Kapitel 1 der Vollständigkeit halber mit dargestellten unternehmensinternen Wirkungszusammenhänge zwischen Kostenminimierung und Produktionstechnik werden im weitem nur noch mittelbar berücksichtigt, da sie in die Entscheidungen der Anbieter hinsichtlich ihres Angebot schon eingefloßen sind.

Literatur

Florian, M., Gaudry, M. und C. Lardinois: „A Two-Dimensional Framework for the Understanding of Transportation Planning Models“, *Transportation Research B* 22, 6, S. 411-419, 1988

Kapitel 2

Die Struktur eines Nachfragemodells

Da im folgenden Text die Nachfrage von zentralem Interesse ist, werden nun die in Gleichung (1.6) aufgeführten Einflußfaktoren zu Netzwerk- (NW) und sozioökonomischen Variablen (SO) zusammengefaßt:

$$N \leftarrow \text{Nachfrage}(P, Q, I; S, H, Y) \equiv d(NW, SO) \quad . \quad (2.1)$$

Mit welchen Daten oder in welchen Einheiten diese Einflußfaktoren beschrieben werden, soll zu diesem Zeitpunkt noch nicht interessieren.

Ökonometrische Modelle zur Beschreibung des Verkehrs basierten anfänglich ausschließlich auf dem direkten Format. Dieses verwendet alle als relevant erachteten Einflußgrößen unmittelbar zur Beschreibung der Zielgröße. Um daraus resultierende Schwierigkeiten zu vermeiden, wurde später das sequentielle Format bevorzugt. Zu den neueren Entwicklungen zählt das Quasi-direkte Format, das die Vorteile der beiden anderen in sich vereint.

2.1 Das Quasi-direkte Format

Das Quasi-direkte Format (QDF) erlaubt es, die Nachfrage nach einem Produkt p im Marktsegment m – N_m^p – als Multiplikation zweier Teilmodelle zu erklären:

$$N_m^p = N^p \cdot s_m^p \quad . \quad (2.2)$$

Das erste Teilmodell beschreibt die Gesamtnachfrage N_p nach Produkt p

$$N_m^p = g^p(\{SO\}, U) \quad (2.3)$$

und das zweite den Marktanteil s_m^p des Produktes p im Marktsegment m

$$s_m^p = U_m^p / \sum_{m=1}^M U_m^p \quad , \quad (2.4)$$

wobei

$$U_m^p = u_m^p(\{NW\}, \{SO\}) \quad (2.5)$$

gilt und NW und SO wiederum Netzwerk- bzw. sozioökonomische Variablen darstellen. U_m^p kann als der Nutzen eines Produktes p für einen Konsumenten des Marktes m interpretiert werden.

Die Verwendung des QDF erlaubt es, den Einfluß einer jeden Variable X_k auf die Nachfrage nach einem einzelnen Produkt in die Wirkungsanteile hinsichtlich der Gesamtnachfrage über alle Produkte und der bezüglich dieses speziellen Produktes aufzuteilen. Diese Anteile werden in Form von Elastizitäten ν ausgedrückt. Da das QDF ein Produkt ist, läßt sich leicht herleiten, daß

$$[\nu_{\text{Produkt}}] \equiv [\nu_{\text{Gesamtnachfrage}}] + [\nu_{\text{Marktanteil}}] \quad , \quad (2.6)$$

wobei die Elastizität einer Variable y bezüglich x klassisch als

$$\frac{\text{prozentuale Änderung von } y}{\text{prozentuale Änderung von } x} \quad (2.7)$$

definiert ist.

Es lassen sich drei Begründungen nennen, warum das QDF anderen Formaten überlegen ist:

1. Einige Variablen beeinflussen sowohl die Gesamtnachfrage als auch die Marktanteile, dieses gilt aber nicht notwendigerweise für alle Einflußfaktoren. Beim direkten Format können sich die Einflüsse ausgleichen, wodurch das Modell an Reagibilität verliert.
2. Ein mögliches alternatives direktes Format

$$N_m = g(\{SO\}, \{NW\}) \quad (2.8)$$

ist weniger komplex und entspricht eher mikroökonomischen Nachfragesystemen. Es treten aber häufig beträchtliche Kollinearitätsprobleme auf, z.B. wenn die Kosten und Angebotsgüte konkurrierender Produkte dazu neigen, ähnlich zu reagieren.

3. Ein sequentielles Format, das in räumlich verteilten Märkten Verwendung findet, kann meist nur unter Schwierigkeiten in konsistenter Weise benutzt werden, da in einem ersten Schritt das Aufkommen an der Quelle und/oder im Ziel erklärt und erst in einem zweiten Schritt eine (meist entfernungsabhängige) Verteilung im Raum erzeugt wird. Dies erfolgt meist mittels sogenannter Ausgleichsverfahren, deren Lösung dazu führen kann, daß die zuvor berechneten Quell- und Zielaufkommen nicht immer reproduziert werden können.

Die Modellierung einer Gesamtnachfrage gemäß Gleichung (2.2) hat sich in der Vergangenheit zudem anders entwickelt als die der Marktanteile (Gleichung (2.3)). Die erhöhte Aufmerksamkeit, die letzterer zuteil wurde, mag auch einem betriebswirtschaftlichen Bedürfnis (Marketing) entstammen.

Die weiteren Neuerungen sind

- die Verwendung nichtlinearer Transformationen sowohl auf Variablen als auch auf vollständige Funktionen. Dieses hat einen bedeutenden Einfluß auf die Modellergebnisse, da die Daten besser abgebildet werden als von den vorherigen Modellformen. Die mathematische Interpretierbarkeit der verwendeten Funktionen wird ebenfalls besser. Es konnte nachgewiesen werden, daß eine falsche Modellform zu einer Umkehrung des Vorzeichen der Modellkoeffizienten führen kann.

Der Grund für die langsame Einführung anpassungsfähigerer mathematischer Formen lag vor allem in erheblich größeren Berechnungsaufwendungen und der Schwierigkeit die geschätzten Ergebnisse statistisch abzusichern;

- die Einführung zusätzlicher Parameter in die Modellformen, um systematische Informationen aus den expliziten bzw. impliziten Fehlertermen zu extrahieren. Dabei waren diverse Probleme der Berechnung zu lösen.

Dem interessierten Leser sei die Arbeit von GAUDRY UND WILLS (1978) empfohlen, die drei Modelltypen (räumlich verteilte Gesamtnachfrage, Nachfragemarktanteile und Zeitreihen der Nachfrage) untersucht.

Literatur

GAUDRY, M. UND M. WILLS: „Estimating the Functional Form of Travel Demand Models“, *Transportation Research B* 12, 4, S. 257-269, 1978

2.2 Querschnittsmodelle der räumlichen Nachfrageverteilung

Stand der Entwicklung

Nach Einführung der Quell-Ziel-Indizes ij lautet das Modell für den Zeitpunkt t

$$N_{ijt} = g(\{SO_{ijt}\}, U_{ijt}) + u_{ijt} \quad , \quad (2.9)$$

wobei anzumerken ist, daß

- U_{ij} den Gesamtnutzen über alle verfügbaren Verkehrsmittel repräsentiert, die den ij -Markt bedienen; dieser Term dient dazu die Qualität der allgemeinen verkehrlichen Erschließung zu erfassen.
- unterstellt ist, daß nur ein Anbieter diese Leistungen zur Verfügung stellt, ein Anbieter-Wahlmodell kann – wie unten beschrieben – eingeführt werden.
- das Standardmodell für Gleichung (2.9) vergleichsweise einfach ist; üblicherweise

- ist die Variable “Bevölkerung“ die einzige sozioökonomische Größe und hat die Form

$$Pop_{ij} = [\sqrt{Pop_i} \sqrt{Pop_j}] \quad (2.10)$$

- ist in vielen Modellen U_{ij} keine explizite Funktion der Verkehrsträgerwahl, sondern entspricht lediglich der Variablen “Entfernung zwischen i und j “.
- ist die Regressionsgleichung multiplikativ:

$$N_{ij} = \beta_0 \cdot Pop_{ijt}^{\beta_1} \cdot U_{ijt}^{\beta_2} + u_{ijt} \quad (2.11)$$

Dies bedeutet, daß lineare Regressionsmethoden auf logarithmierte Variablenwerte angewendet werden müssen, um die Parameter zu berechnen (log-log-Regression);

- werden aus dem Fehlerterm keine weiteren Informationen extrahiert, da er als zufällig und mit konstanter Varianz betrachtet wird. Liegen zudem keine Daten für mehrere Zeitpunkte vor, so wird nur eine Teilmenge der positiven Flüsse D_{ij} berücksichtigt, da sich aus sehr kleinen Strömen und solchen vom Betrage Null nicht unerhebliche Modellierungsprobleme ergeben.

Neuerungen

Die Verwendung der Box-Cox-Transformation (BCT)

$$Z^{(\lambda)} = \begin{cases} \frac{Z^\lambda - 1}{\lambda} & , \lambda \neq 0 \\ \ln Z & , \lambda = 0 \end{cases} \quad (2.12)$$

erlaubt eine beliebige Wahl des Exponenten λ ; die lineare ($\lambda = 1$), die logarithmische ($\lambda = 0$) und die Quadrat-Transformation ($\lambda = 0.5$) sind Sonderfälle der obigen Gleichung.

In Gesamtnachfragemodellen erlaubt es dieser Modelltyp zu unterscheiden, welche Variablen die Zielgröße additiv oder generell beeinflussen.

Im weiteren wurden zwei mächtige Möglichkeiten implementiert, die es erlauben aus den Fehlertermen eventuell enthaltene Informationen extrahieren zu können. Im erste Fall wird ein funktionaler Zusammenhang gesucht, der zu einer konstanten Varianz des Fehlerterms (Homoskedastizität) führt:

$$u_{ij_t} = [f(Z_t)]^{1/2} \cdot v_{ij_t} \quad (2.13)$$

Und zweitens wurde ein Verfahren entwickelt, um die räumliche Korrelation zwischen den Fehlertermen zu untersuchen. Zu diesem Zweck wird eine Einflußmatrix R definiert, die die Zusammenhänge zwischen relationenbezogenen Fehlertermen über Regeln abbildet, z. B.

$$r_{ij,kl} = \begin{cases} 1 & , \text{ wenn der Strom von } k \text{ nach } l \text{ die} \\ & \text{gleiche Quelle } (k = i) \text{ oder das} \\ & \text{gleiche Ziel } (l = j) \text{ hat, wie der} \\ & \text{Strom von } i \text{ nach } j \\ 0 & , \text{ sonst} \end{cases} \quad (2.14)$$

und die Matrix R hat ebensoviele Zeilen und Spalten wie Relationen betrachtet werden.

Dieses Verfahren erlaubt die Beschreibung eines Flußes von i nach j mit Variablen, die andere Quell-Ziel-Paare betreffen und korrigiert damit ein

grundsätzliches strukturelles Defizit des Modells (2.9), in dem die einzelnen Relationen (Märkte) von einander unabhängig sind, da nur Variablen die zur Quelle i oder zum Ziel j gehören den Strom ij erklären.

Durch die Definition von R -Matrizen wird die räumliche Abhängigkeit (Wettbewerb) bewußt in die Modelle eingeführt. Dies hat den Effekt, daß eine Änderung der Netzwerkeigenschaften zwischen einem gegebenen Quell-Ziel-Paar andere Relationen ebenso betreffen kann. Der Umfang der betroffenen Relationen resultiert aus der Wahl einer geeigneten R -Matrix, die die Modellgüte auch signifikant verbessert. Eine Reihe solcher Matrizen wurde bei der Untersuchung deutscher und kanadischer Fernverkehrsströme analysiert (GAUDRY, MANDEL UND ROTHENGATTER (1994)).

Literatur

GAUDRY, M., MANDEL, B. UND W. ROTHENGATTER: „Introducing Spatial Competition through an Autoregressive Contiguous Distributed (AR-C-D) Process in Intercity Generation-Distribution Models within a Quasi-Direct Format (QDF)“, Veröffentlichung # 971, Centre de recherche sur les transports, Montreal, Kanada, Dezember 1994

2.3 Querschnittsmodelle der Marktanteile

Stand der Entwicklung

Seit nunmehr 20 Jahren ist das Logit-Modell das „Arbeitspferd“ der Modellanalyse. Es verwendet die Exponentialfunktion für den Term U_m in Gleichung (2.5):

$$U_m = e^{V_m} \quad (2.15)$$

mit

$$V_m = \beta_{0_m} + \sum_n \beta_n NW_n + \sum_s \beta_s SO_s \quad (2.16)$$

Im Verlaufe der Jahre wurden immer mehr Variablen in der Nutzenfunktion zur Beschreibung einer Alternative m verwendet (MANDEL (1992)). Eine angenehme Eigenschaft dieses Modells ist die Möglichkeit den Logarithmus des Nenners $-\ln(\sum_m U_m)$ als einen maximal von Konsumenten erreichbaren Nutzen über alle Alternativen zu interpretieren. Es ist deshalb von Interesse, diesen Nenner als aggregierten Index des Nutzen der

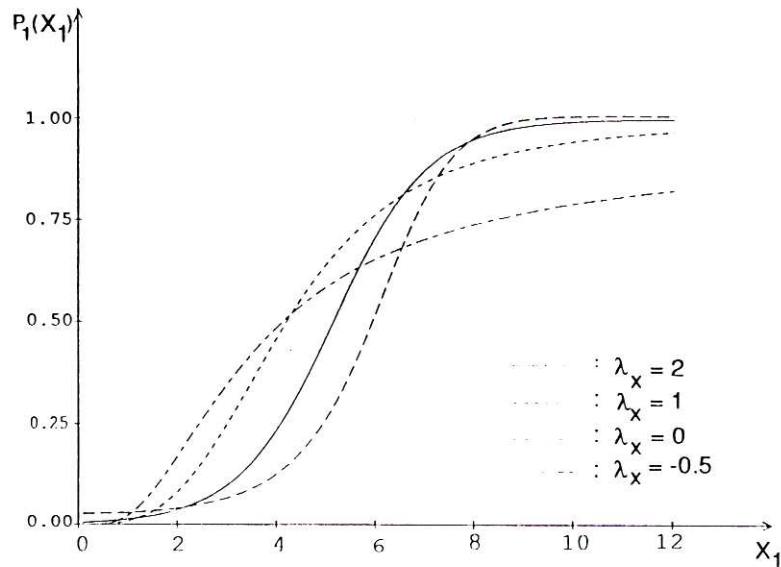


Abbildung 2.1: Lin-LOGIT vs. Box-Cox-LOGIT

verfügbaren Wahlmöglichkeiten im Gesamtnachfragemodell (2.3) zu verwenden.

Wenn dieser Index als erklärende Variable in einem weiteren Logit-Modell Verwendung findet, dann wird die daraus resultierende Struktur als 'nested'-Logit-Modell bezeichnet. In dem gewählten Ansatz muß der Logarithmus nicht die optimale Transformation des Nutzenindex sein, da ein anderer λ -Wert der Box-Cox-Transformation eine bessere Modellgüte liefern kann (vgl. dazu Gleichung (2.12) auf Seite 16).

Neuerungen

Der Schwerpunkt liegt auf zwei Bereichen,

- die Verwendung nichtsymmetrischer Reaktionskurven und
- die Beschäftigung mit Fehlern in der Modellphilosophie.

Lineare Logit-Modelle haben eine symmetrische Reaktionskurve auf die Veränderung einer Alternative. In der Realität ist dies meistens nicht zu beobachten, eine bessere Modellgüte ist deshalb durch die Zulassung von Nichtlinearität in den Variablen oder dem Gesamtmodell zu erreichen.

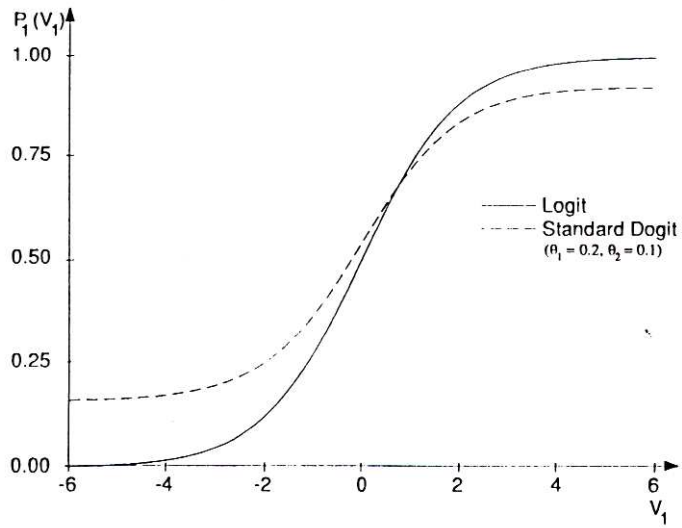


Abbildung 2.2: Lin-LOGIT vs. DOGIT

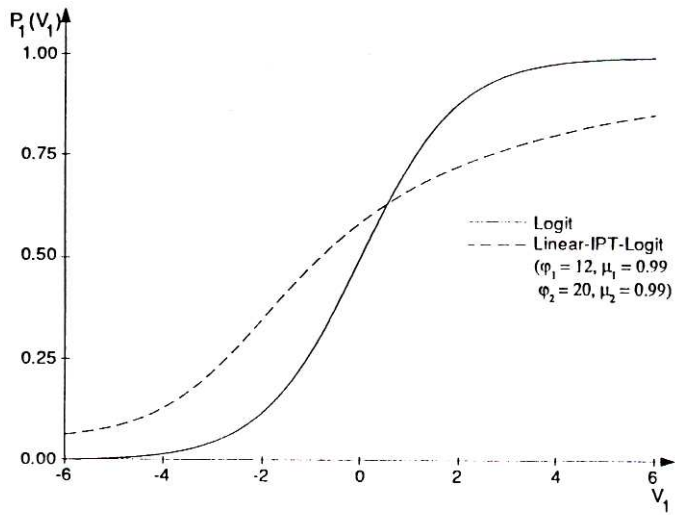


Abbildung 2.3: Lin-LOGIT vs. IPT-LOGIT

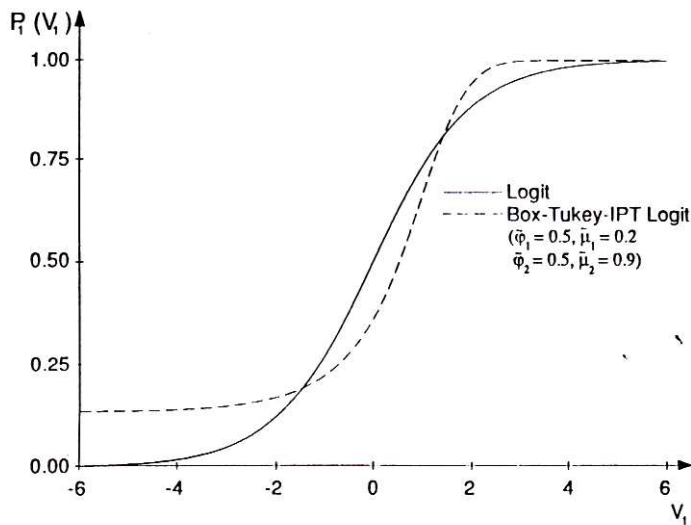


Abbildung 2.4: Lin-LOGIT vs. Box-Tukey-IPT-LOGIT

MANDEL, GAUDRY UND ROTHENGATTER (1993) haben den Einfluß der Asymmetrie am Beispiel einer Prognose für den spurgeführten Hochgeschwindigkeitsverkehr (IC/ICE) gezeigt, wobei disaggregierte Befragungsdaten Verwendung fanden. Die Abbildungen 2.1, 2.3 und 2.4 zeigen diese Asymmetrien sehr deutlich.

In der Realität sind Konsumenten in ihren Entscheidungen nicht „wahlfrei“, sondern häufig an bestimmte Verkehrsmittel gebunden oder bevorzugen bestimmte Produktmarken sowie -technologien. GAUDRY (1993) zeigt dies in einem aggregierten Marktanteilsmodell im kanadischen Personenfernverkehr. Die dabei entstehenden 'captivities' der Reaktionsfunktion sind in den Abbildungen 2.2, 2.3 und 2.4 zu erkennen.

Ein Algorithmus zur Modellierung solcher Kaptivitäten in disaggregierten Datenbasen wird zur Zeit entwickelt. Der dabei verwendete Parameter korrigiert den Verlauf der Reaktionskurve in den Randbereichen und verhindert so eine Über- oder Unterbewertung. Auf diese Weise werden ebenfalls Informationen aus dem Fehlerterm herausgefiltert.

Literatur

MANDEL, B.: „Schnellverkehr und Modal Split“, Nomos Verlag, Baden-Baden, 1992

MANDEL, B., GAUDRY, M. UND W. ROTHENGATTER: „Linear or Non-linear Utility Functions in Logit Models? The Impact on German High Speed Rail Demand Forecast“, *Transportation Research B* 28, 2, S. 91-101, 1993

GAUDRY, M.: „Asymmetric Shape and Variable Tail Thickness in Multinomial Probabilistic Responses to Significant Transport Service Level Changes“, *Centre de recherche sur les transports*, # 893, Montreal, Kanada, 1993

2.4 Zeitreihenmodelle der Gesamtnachfrage

Stand der Entwicklung

Üblicherweise sind in dieser Modellklasse alle Variablen für eine überregionale (z.B. nationale) Ebene definiert und besitzen Werte für aufeinander folgende Zeiträume. Häufig ist eine Struktur für Gleichung (1.6) der Form

$$N_t = d(P, Q, I; S, H, Y)_t + u_t \quad (2.17)$$

für monatliche Daten gesucht. Monatsdaten stellen einen guten Kompromiss zwischen Datenvarianz und -verfügbarkeit dar.

Solche Modelle finden oft Verwendung zu strategischen und finanzplanerischen Zwecken und sind daher für Prognoseaufgaben von besonderem Interesse für das Management großer Unternehmen.

Ein Standardmerkmal dieser Modelle ist die Untersuchung der Korrelation der Fehlerterme im Zeitablauf, meist mittels einfacher Autokorrelationsstrukturen. Ein anderer Ansatz verwendet beispielsweise Box-Jenkins-Techniken, wobei Strukturvariablen nicht berücksichtigt werden und dann die verzögerten Werte der abhängigen Variable und der Fehlerterme zu untersuchen sind.

Neuerungen

Der Algorithmus LEVEL-1.4 berücksichtigt obige Ansätze gleichermaßen und schließt gleichzeitig die flexible Modellform und die Fehlervarianz-

Korrektur ein. Die Struktur lautet dabei

$$Y_t^{(\lambda_Y)} = \beta_0 + \sum_k \beta_k X_{k_t}^{(\lambda_k)} + u_t \quad (2.18)$$

mit

$$u_t = [f(Z_t)]^{1/2} \cdot v_t \quad (2.19)$$

sowie

$$v_t = \sum_l \rho_l v_{t-l} + w_t \quad (2.20)$$

und erlaubt so eine reich strukturierte Modellspezifikation.

Eine Anwendung findet sich in FOOS UND GAUDRY (1986), worin der Gesamtstraßenverkehr in Westdeutschland seit Januar 1968 unter Verwendung von Preisen, Angebotsgüte, Motorisierungsgrad, Wetter, Einkommen und industrieller Aktivitäten modelliert wurde.

Literatur

FOOS, G. UND M. GAUDRY: „Ein Straßenverkehrsnachfragemodell für die Bundesrepublik Deutschland“, Zeitschrift für Verkehrswissenschaft, 57, 3, S. 156-176, 1986

2.5 Mehrstufen-Zeitreihenmodelle der Gesamtnachfrage

Stand der Entwicklung

In der Analyse von Straßenverkehrsunfällen versuchen die Modellierer üblicherweise die Anzahl der Verkehrstoten direkt in Abhängigkeit verschiedener Einflußfaktoren zu erklären:

$$OPFER \leftarrow (\text{Verkehrsaufkommen, andere Faktoren}) \quad (2.21)$$

Eine Vielzahl von Veröffentlichungen beschäftigt sich mit diesem Modellansatz, insbesondere solche zur Beschreibung von Todesfällen.

Neuerungen

Die Zerlegung der vorstehenden Abhängigkeit in ihre drei Komponenten wird als geeigneterer Ansatz beurteilt. Das Modellsystem

$$OPFER \leftarrow [Aufkommen] \cdot [Unfallhäufigkeit] \cdot [Unfallschwere] \quad (2.22)$$

berücksichtigt die Unfallmöglichkeit (Aufkommen, gefahrene Kilometer), die Häufigkeit (Unfälle je Kilometer) und Schwere geschehener Unfälle (Anzahl der Opfer je Unfall). Daraus folgt, daß die Zahl der Verkehrsoffer sich aus diesen drei Gleichungsteilen ableitet. Das nachfolgende DRAG-Modell wurde von GAUDRY (1993) formuliert:

$$OPFER \leftarrow \begin{bmatrix} \text{Aufkommen} & \leftarrow & [-, \text{andere Faktoren}] \\ (DR) & & (X_1) \\ \text{Unfallhäufigkeit} & \leftarrow & [DR, \text{andere Faktoren}] \\ (A) & & (X_2) \\ \text{Unfallschwere} & \leftarrow & [DR, \text{andere Faktoren}] \\ (G) & & (X_3) \end{bmatrix} \quad (2.23)$$

Die Neuerungen dieses Ansatzes sind

- Die Matrix der abhängigen Variablen des Systems ist trianguliert, selbst wenn jedes Teilmodell wiederum aus Teilmodellen besteht, die bestimmte Arten von Unfällen beschreiben. Ein solches rekursives System ist auch ohne die Berücksichtigung simultaner Gleichungen interpretierbar.
- Eine Variable, die in jedem der Teilmodelle Verwendung findet, beschreibt durch die Möglichkeit unterschiedlicher Parameter und Vorzeichen in jedem Teilmodell einen größeren Teil der zu erklärenden Variable, als es diese Variable in einem Modell wie in Gleichung (2.22) könnte. Dies ergibt sich aus dem Umstand, daß sich die Modellform für jedes Teilmodell unabhängig spezifizieren läßt und so die gewonnenen Werte von den Ergebnissen eines direkten Ansatzes erheblich abweichen können.

Sind alle Gleichungen des Systems multiplikativ (was vorteilhaft für log-log-Regressionen ist), dann sind die ermittelten Koeffizienten (Elastizitäten) der Regression (Gleichung (2.22)) gleich den summierten Koeffizienten der einzelnen Teilmodelle (Gleichung (2.23)).

- Eine Erweiterung der Datenbasis des ersten DRAG-Ansatzes führte zu einer Untersuchung über „Straßenverkehrsnachfrage, Unfälle und ihre Schwere“ (SNUS-1, GAUDRY UND BLUM, 1993).

Literatur

GAUDRY, M.: „Quid est DRAG“, Centre de recherche sur les transports, # 900, Montreal, Kanada, 1993

GAUDRY, M. UND U. BLUM: „Une présentation brève du modèle SNUS-1“, Modélisation de l'insécurité routière T. 1, S. 37-43, Collection Transports et Communication No 47, Paradigme, Caen, 1993

Kapitel 3

Modellierung der Telekommunikation

Zur Verdeutlichung der möglichen Anwendung eines verkehrswissenschaftlichen Ansatzes auf den Bereich der Telekommunikation sind einige vereinfachende Annahmen zu treffen. Diese werden sicherlich der Vielzahl möglicher Modellierungen nicht gerecht, erlauben es aber grundsätzliche Modellstrukturen herauszuarbeiten zu deren Realisation ökonomische Werkzeuge kurzfristig verfügbar sind oder in einem zweiten Schritt zu entwickeln sind.

3.1 Produkte und Leistungen

Eine vereinfachte Darstellung der von den Telekommunikationsanbietern vertriebenen Produkte und Dienstleistungen zeigt Tabelle 3.1. Die Produktpalette besteht aus zwei Teilen; einem fixen, der sowohl die Netzzugangsrechte als auch die dafür notwendigen Endgeräte umfaßt, sowie einem variablen Teil, der sich auf die vom Nutzer zugänglichen Netze und die verfügbaren Kommunikationsarten und Zusatzdienste, wie z.B. Fernsprechauskunft, erstreckt.

3.2 Gesamtnachfrage (Zeitreihen)

Eine vorwiegend für ökonomische und strategische Entscheidungen relevante Fragestellung betrifft die Abschätzung des Gesamtnachfragepotentials nach einem oder mehreren Produkten und/oder Dienstleistungen.

Produkte	Leistungen	Anbieter
Infrastruktur		
<ul style="list-style-type: none"> • Verbindung <ul style="list-style-type: none"> · analog · ISDN · Mobilfunk 	<ul style="list-style-type: none"> • Basisanschluß/ Netzzugang • Festverbindung 	<ul style="list-style-type: none"> • Deutsche Telekom • andere Anbieter
<ul style="list-style-type: none"> • Endgeräte <ul style="list-style-type: none"> · Telefon · Telefax · Datenterminal 	<ul style="list-style-type: none"> • Mietgerät • Kaufgerät 	
Nutzung der Infrastruktur		
<ul style="list-style-type: none"> • Verbindung <ul style="list-style-type: none"> · analog · ISDN · Mobilfunk 	<ul style="list-style-type: none"> • Stimmübertragung • Faxübertragung • Datenübertragung • Zusatzdienste <ul style="list-style-type: none"> · Auskunft · Weckdienst · etc. 	<ul style="list-style-type: none"> • Deutsche Telekom • andere Anbieter

Tabelle 3.1: Produkte, Leistungen und Anbieter

gen. Für die in Tabelle 3.1 aufgeführten Produkte sind die nachfolgenden Zeitreihenmodelle zur Bestimmung der Gesamtnachfrage zu einem Zeitpunkt t denkbar.

Anzahl der Endgeräte E_t :	$E_t \leftarrow f(\{QE_t\}, \{SO_t\}, X_{1t})$
Anzahl der Netzzugänge L_t :	$L_t \leftarrow f(\{QL_t\}, \{SO_t\}, X_{1t})$
Anzahl der Gespräche (Frequenz) F_t :	$F_t \leftarrow f(\{QE_t, QL_t\}, X_{2t})$
Durchschnittliche Gesprächsdauer D_t :	$D_t \leftarrow f(\{QE_t, QL_t\}, X_{3t})$
Verkehrsmenge [Erlang/Zeit] Z_t :	$Z_t \leftarrow F_t \cdot D_t$

Vorschlag 1:
Gesamt-
nachfrage-
modelle

Die erklärenden sowie die abhängigen Variablen sind dabei globale Größen für die gesamte Bundesrepublik Deutschland zu einem einheitlichen Zeitpunkt t . Für die Modellschätzung genügen Daten zu Kosten und Qualitäten von Netzzugängen QL_t bzw. Endgeräten QE_t sowie einige geeignete sozioökonomische Größen SO_t auf Monatsbasis.

Jedes dieser Modelle erlaubt es, die Reaktion der Gesamtnachfrage auf Veränderungen der erklärenden Variablen zu bestimmen. So kann – in Abhängigkeit von der Modellspezifikation – der Einfluß sozioökonomischer Größen wie z.B. Alter, Einkommen, Bruttowertschöpfung und Beschäftigung sowie auch der angebotsspezifischer Variablen, wie Gebühren oder Übertragungsqualität, geprüft werden. Aus den resultierenden Werten der abhängigen Variablen lassen sich anschließend betriebswirtschaftliche Daten wie z.B. Produktions- und Betriebskosten oder Erlöse berechnen.

3.3 Relationenbezogene Nachfrage (Querschnittsdaten)

Eine eher aus technischer Sicht relevante Fragestellung bezieht sich auf die räumliche Verteilung der Nachfrage. Im Mittelpunkt steht dabei die Bestimmung des Kommunikationsaufkommens zwischen zwei Regionen i und j bzw. die regionale Nachfrage nach Infrastruktur (Teile des Kommunikationsnetzes).

Zur Lösung dieser Problemstellung können zwei Modellansätze heran-

gezogen werden. Im ersten Fall wird die Gesamtnachfrage in Quell-Ziel-Anteile *aufgeteilt* (sequentieller Ansatz), im zweiten Fall werden die Quell-Ziel-Nachfragen *parallel geschätzt* (simultaner Ansatz).

Zur Umsetzung des sequentiellen Ansatzes stehen die notwendigen Algorithmen (SHARE-1/SHARE-5) zur Verfügung.

Der Anteil (*sh*) eines Quell-Ziel-Paares *ij* an einer Gesamtnachfrage zum Zeitpunkt *t* läßt sich mittels eines 'share'-Modells bestimmen, das in Abschnitt 3.4 erläutert wird.

Nachdem die Anteile am Gesamtmarkt bestimmt sind, ergeben sich die absoluten regionen- oder relationenspezifischen Größen für einen Zeitpunkt \bar{t} durch die multiplikative Verknüpfung mit der bekannten Gesamtnachfrage.

Anzahl der Endgeräte in <i>i</i> :	$E_{i\bar{t}} \leftarrow E_t \cdot sh(E_i)_{\bar{t}}$
Anzahl der Netzzugänge in <i>i</i> :	$L_{i\bar{t}} \leftarrow L_t \cdot sh(L_i)_{\bar{t}}$
Anzahl der Gespräche von <i>i</i> nach <i>j</i> :	$F_{ij\bar{t}} \leftarrow F_t \cdot sh(F_{ij})_{\bar{t}}$
Verkehrsmenge [Erlang/Zeit] von <i>i</i> nach <i>j</i> :	$Z_{ij\bar{t}} \leftarrow Z_t \cdot sh(Z_{ij})_{\bar{t}}$

Vorschlag 2:
Sequenz-
Modelle
(regionen-
spezifisch)

Die Berechnung der durchschnittlichen Gesprächsdauer zwischen zwei Regionen kann nicht mit Hilfe eines 'share'-Modells vorgenommen werden, da der räumliche Anteil einer Zeiteinheit nicht zu formulieren ist. Diese Größe läßt sich daher nur durch das Verhältnis von $Z_{ij\bar{t}}$ zu $F_{ij\bar{t}}$ herleiten.

$$D_{ij\bar{t}} \leftarrow \frac{Z_{ij\bar{t}}}{F_{ij\bar{t}}}$$

Auch bei diesen Modellen lassen sich die Auswirkungen einer Variation der Einflußgrößen auf die abhängigen Größen – hier die (Anteile der) Quell-Ziel-Nachfrage – bestimmen und für eine weitere betriebswirtschaftliche Auswertung bereitstellen.

Die alternative Vorgehensweise, die neben der bereits dargestellten Bestimmung der Gesamtnachfrage eine parallele Schätzung aller Quell-Ziel-Nachfragen umfaßt, benötigt ein die räumlichen Strukturen berücksichtigendes Nachfragemodell. Dementsprechend lassen sich die regionenbezogene Infrastruktur sowie die relationenbezogenen Größen Gesprächsfrequenz (*F*), Gesprächsdauer (*D*) und Verkehrsmenge ([Erlang/Zeit], *Z*) direkt durch eine Funktion bestimmen. Die Verwendung des Algorith-

mus LEVEL-2.0 berücksichtigt dabei gleichzeitig die funktionale Form, die Heteroskedastizität und die räumliche Korrelation der stochastischen Fehlerterme.

Anzahl Endgeräte in i :	$E_{i\bar{t}} \leftarrow f(\{QE_i\}, \{SO_i\}, X_1)_{\bar{t}}$
Anzahl Netzzugänge in i :	$L_{i\bar{t}} \leftarrow f(\{QL_i\}, \{SO_i\}, X_1)_{\bar{t}}$
Anzahl Gespräche von i nach j :	$L_{ij\bar{t}} \leftarrow f(\{QL_i, QL_j\}, \{SO_i, SO_j\}, X_2)_{\bar{t}}$
Mittl. Dauer zw. i und j :	$D_{ij\bar{t}} \leftarrow f(\{QL_i, QL_j\}, \{SO_i, SO_j\}, X_3)_{\bar{t}}$
Verkehrsmenge [Erlang/Zeit] von i nach j :	$Z_{ij\bar{t}} \leftarrow f(\{QL_i, QL_j\}, \{SO_i, SO_j\}, X_4)_{\bar{t}}$

Vorschlag 3:
Simultan-
Modelle
(regionen-
spezifisch)

Als erklärende Variablen dienen wiederum die Telekommunikationscharakteristika QL_i und QE_i sowie sozioökonomische Daten SO_i und weitergehende spezifische Informationen X_i . Wie bei den anderen Ansätzen lassen sich auch hier die Auswirkungen veränderter erklärender Variablen bestimmen, die Qualität der abgeleiteten Modellaussagen muß bei dem anspruchsvolleren Simultan-Ansatz jedoch als weit besser eingeschätzt werden.

Die Gefahr korrelierender Fehlerterme zwischen den einzelnen Modellgleichungen läßt sich bei keinem der vorgestellten Ansätze ausschließen. Ein Grund hierfür mag in den Modellspezifikationen liegen, ebenso kann dies aus der Güte der Daten resultieren (Meßfehler, nicht direkt meßbare oder qualitative Daten). Ferner können fehlende Einflußgrößen dafür verantwortlich sein.

Eine Fehlspezifikation der Nachfrage nach Endgeräten E_i läßt z.B. eine Korrelation mit der Nachfrage nach Netzzugängen erwarten (komplementäre Größen), eine Unterschätzung der Gesprächsfrequenz führt sehr wahrscheinlich zu einer Überschätzung der durchschnittlichen Gesprächsdauer (substitutive Größen).

Eine detaillierte Aufbereitung der Datenbasis und eine problemgerechte Modellspezifikation können diese Probleme verringern – aber nicht ausschließen!

Im Falle des Simultan-Ansatzes bietet sich die zusätzliche Einführung einer Varianz-Kovarianz-Matrix für die stochastischen Fehlerterme der einzelnen Modelle an, um die in der Korrelationsstruktur enthaltenen Informationen nutzbringend zu extrahieren. Diese Vorgehensweise erfordert eine Weiterentwicklung des Algorithmus LEVEL-2.0, so daß eine

'Gruppe' von Gleichungen parallel zu schätzen ist.

Sofern die notwendigen Daten in Form von Zeitreihen vorliegen, besteht auch die Möglichkeit die 'Gruppen' von Gleichungen über die Zeitperioden parallel zu schätzen. In diesem Fall wäre der Algorithmus LEVEL-1.4 Ausgangspunkt für die sukzessive Entwicklung eines simultanen relationsbezogenen Zeitreihenmodells.

Unabhängig vom gewählten Ansatz ist festzulegen, ob nationale und internationale Kommunikationsströme getrennt oder gemeinsam betrachtet werden. Um diese Entscheidung vorzubereiten, sind einige statistische Tests durchzuführen, damit beurteilt werden kann, ob die Struktur der Ströme wesentlich differiert und in wieweit die Problemstellung davon betroffen ist. Bei erheblichen Strukturunterschieden würde sich die Zahl der notwendigen Modelle verdoppeln (Inland-Inland, Inland-Ausland).

3.4 Marktanteile (aggregierte Datenbanken)

Wie schon in Tabelle 3.1 auf Seite 26 skizziert, werden von verschiedenen Anbietern mehrere Kommunikationsprodukte und -leistungen angeboten. Hieraus kann nun die Frage nach den Marktanteilen der Produkte, Leistungen und Anbieter an der Gesamtnachfrage entstehen.

Die prinzipielle Gestalt der Anteilsmodelle entspricht dem Verhältnis einer Alternative zu der Gesamtmenge der Alternativen, d.h. zu der Summe der auf dem Gesamtmarkt vorhandenen Produkte. Die Alternative selbst wird durch einen funktionalen Zusammenhang g zwischen den alternativenspezifischen Charakteristika AL (z.B. Preis und Qualität des Produktes) und den marktspezifischen Gegebenheiten bzw. sozioökonomischen Merkmalen SO der Region i oder der Regionen ij (z.B. Altersstruktur, Einkommen, Beschäftigung) beschrieben. Somit ergibt sich der Marktanteil eines Endgerätes E_1 in Region i zum Zeitpunkt \bar{t} wie folgt:

$$sh(E_{1_i})_{\bar{t}} = \frac{g_{E_{1_i}}(\{AL_{1_i}\}, \{SO_i\})_{\bar{t}}}{\sum_e g_{E_{e_i}}(\{AL_{E_{e_i}}\}, \{SO_i\})_{\bar{t}}} \quad (3.1)$$

wobei g zumeist eine Exponentialfunktion darstellt. Für die nachfolgenden Ausführungen verwenden wir eine Kurznotation und erhalten damit für den Anteil an Endgeräten bzw. Netzzugängen in einer Region i zum Zeitpunkt \bar{t}

$$sh(E_i)_{\bar{t}} \leftarrow f(\{AL_{E_i}\}, \{SO_i\})_{\bar{t}} \quad (3.2)$$

$$sh(L_i)_{\bar{t}} \leftarrow f(\{AL_{L_i}\}, \{SO_i\})_{\bar{t}} \quad (3.3)$$

Vorschlag 5:
Marktanteil
(regionenspezifisch)

Der Marktanteil von Gesprächen F auf einer Relation ij zum Zeitpunkt \bar{t} an der Gesamtanzahl von Gesprächen eines Gesamtmarktes ergibt sich durch

$$sh(F_{ij})_{\bar{t}} \leftarrow f(\{L_i, L_j\}, \{E_i, E_j\}, \{SO_i, SO_j\})_{\bar{t}} \quad (3.4)$$

Vorschlag 6:
Marktanteil (relationspezifisch)

In gleicher Weise ist der quell-ziel-bezogene Marktanteil an ausgelasteten Zeiteinheiten (Verkehrsmenge, [Erlang/Zeit]) $sh(Z_{ij})_{\bar{t}}$ zu bestimmen.

Als erklärende Variablen dienen neben telekommunikationsspezifischen Informationen über Netzzugänge L und Endgeräte E auch sozioökonomische Größen SO . Eine Variation dieser Einflußgrößen wie z.B. eine Erhöhung der fixen Kosten für einen Netzzugang, die Reduzierung der variablen Gesprächskosten, die Veränderung der Alters- oder Beschäftigungsstruktur – wirken durch den funktionalen Zusammenhang direkt auf die abhängigen Größen und führen somit zu einer Veränderung der jeweiligen Marktanteile. Die Summe aller Marktanteile ergibt dabei immer eine Gesamtnachfrage von 100 v.H. (Normierung). Wie bereits im vorhergehenden Abschnitt gezeigt, erfolgt durch die Verknüpfung der Gesamtnachfragemodelle mit den Marktanteilsmodellen die Berechnung der absoluten Anteilswerte (siehe Vorschlag 2).

Hinsichtlich der Annahmen aus Tabelle 3.1 stellen sich aber noch weitere Fragen, z.B. welchen Marktanteil ein einzelner Anbieter für sich in Anspruch nimmt.

Um den Marktanteil eines Anbieters c an den angebotenen Leistungen L zwischen zwei Regionen i und j zum Zeitpunkt \bar{t} ermitteln zu können, sind zwei Anteilsmodelle notwendig. Zuerst muß für jede Leistung ein Anbieteranteilsmodell formuliert werden. Anschließend ist dieses Modell mit einem Leistungsanteilsmodell zu kombinieren, das dann wiederum mit einem Leistungsnachfragemodell (vgl. Abschnitt 3.2) zusammenzuführen ist.

Vorschlag 7:
Bedingte Marktanteile

Jedes Problem für sich genommen, kann nach der am Anfang dieses Abschnittes genannten Vorgehensweise gelöst werden. Die komplexen Wirkungszusammenhänge kommen aber erst durch die Zusammenführung der Einzelmodelle zutage, die im nächsten Abschnitt erläutert wird.

3.5 Modellzusammenführung

Um ein zusammenhängendes Modellinstrumentarium zu entwickeln, müssen die einzelnen Modellkomponenten zusammengeführt werden. Durch die Kopplung der Modelle entsteht ein Prognoseinstrument, das den dargestellten Problemkomplex in sich geschlossen abbildet, so daß die Wirkungszusammenhänge ohne Konsistenzverlust zu erfassen sind. Die Zusammenführung der Komponenten kann auf zwei Wegen erfolgen.

Bei der Aggregation der Modelle wird ein Teil eines untergeordneten Modells in einem übergeordneten Modell als Variable verwendet. In den vorstehenden Beispielen wird der Nenner des Marktanteilmodells als Index für einen maximal erreichbaren Nutzen auch in den Modellen der Gesamtnachfrage berücksichtigt.

$$sh(F_{1ij})_{\bar{t}} \leftarrow \frac{g_1(SO, E, L)_{\bar{t}}}{\sum_s g_s(SO, E, L)_{\bar{t}}} \quad (3.5)$$

$$F_{ij\bar{t}} \leftarrow f(\{L_i, L_j\}, \{E_i, E_j\}, \sum_s g_s(SO, E, L)_{\bar{t}}) \quad , \quad (3.6)$$

wobei g z.B. eine Exponentialfunktion mit sozioökonomischen Variablen SO und den Infrastrukturvariablen E und L darstellt. Die Verwendung des Nutzenindex in einer übergeordneten Funktion entspricht einer Analogie zur bekannten 'nested'-Logit-Struktur (vgl. Seite 18).

Der zweite Fall besteht aus der bereits in Abschnitt 3.3 angesprochenen multiplikativen Koppelung der einzelnen Modelle:

$$F_{ij\bar{t}} \leftarrow F_{\bar{t}} \cdot sh(F_{ij})_{\bar{t}} \quad (3.7)$$

Beide Vorgehensweisen erlauben prinzipiell eine Anreicherung des Prognoseinstrumentariums um weitere Modelle, wie z.B. ein Modell $sh(c_{ijs})_{\bar{t}}$ zur Bestimmung des Marktanteils eines Anbieters c der Leistung s zwischen zwei Regionen i und j zum Zeitpunkt \bar{t} .

Anzumerken bleibt hier, daß die Aggregation von sehr vielen Modellen grundsätzlich zwar möglich ist, aber zu einer sehr komplexen Schätzfunktion führt. Bei einer Aktualisierung eines Teilmodells bedarf es daher auch einer Kalibration des Gesamtmodells. Das bei der Kombination von Modellen angewandte Quasi-direkte Format (QDF) erlaubt bislang die Verknüpfung zweier Modelle. Um eine Nachfrage bezüglich Leistungen und Anbietern kombiniert – wie in Abschnitt 3.4 dargestellt – abzubilden, ist eine Erweiterung dieses Formats notwendig. Die theoretischen

Vorschlag 8:
Aggregation der Modelle

Vorschlag 9:
Koppelung der Modelle

Arbeiten hierfür liegen teilweise bereits vor, eine abschließende Formulierung und Implementation erfolgt aber erst bei aktuellem Bedarf.

Das quasi-direkte Format unterstützt die Forderung nach einer übersichtlichen Zusammenführung verschiedener Modelle, wobei ein Teilmodell durch dessen aktualisierte Version einfach zu ersetzen ist – ohne eine Kalibration des Gesamtsystems durchführen zu müssen. Ferner können in diesem Format gleiche Variablen in den verschiedenen Teilmodellen ihre unterschiedliche Bedeutung beibehalten. Ebenso lassen sich die Eigenschaften der Anteilsmodelle, wie die Asymmetrie der Nachfragekurve aufgrund nichtlinearen Konsumentenverhaltens oder die Gebundenheit (Kaptivität) an eine Alternative, einfacher analysiert werden.

Durch die Aggregation bzw. Kombination der Modelle wird der modulare Charakter des gesamten Prognosemodells deutlich. Liegen beispielsweise neue Daten oder Erkenntnisse vor, so kann das entsprechende Modell aktualisiert und in der neuen Form wieder in das Gesamtsystem eingepaßt werden. Treten neue Fragestellungen auf oder diversifiziert sich die Produkt- oder Leistungspalette, so läßt sich das Prognoseinstrumentarium unter Beibehaltung der prinzipiellen Struktur um neue Modellkomponenten ergänzen bzw. anreichern. Somit ist sowohl die fortwährende Aktualisierbarkeit als auch die sukzessive Erweiterung des Prognosesystems hinsichtlich des jeweils aktuellen Anforderungsprofils gewährleistet.

3.6 Konsumentenwahlverhalten (disaggregierte Datenbasen)

Vor allem im Bereich des Marketing treten immer wieder Fragen nach dem Wahlverhalten der Konsumenten bezüglich einer Diversifikation der Produkte und Leistungen sowie der Einführung neuer Produkte und Leistungen auf. Beispielfür den Bereich der Telekommunikation sind die sogenannten 'value added services', wie Mailboxen, Gesprächsumleitung, Sekretariats- und Informationsdienste oder aber auch die Einführung interaktiver audiovisueller Kommunikationsterminals. Diese Leistungen und Produkte

- werden nicht überall angeboten oder sind von der Endgeräteausrüstung des Konsumenten abhängig,
- sind neu und damit hinsichtlich der Marktreaktion unbekannt und

- sprechen in bestimmten Ausstattungskombinationen bestimmte Konsumenten- bzw. Haushaltstypen an.

Die Modellierung des Wahlverhaltens auf dieser mikroökonomischen Ebene wird von vielen Marketing-Unternehmen angeboten, die in Kapitel 2 genannten Innovationen haben mit sehr großer Wahrscheinlichkeit aber noch keinen Niederschlag in diesen Modellen gefunden. Die hier dargestellten Modelltechniken können

- das nichtlineare Reaktionsverhalten der Konsumenten abbilden,
- Schwellenwerte erfassen, von denen an eine überproportionale Reaktion der Konsumenten eintritt,
- die Treue oder Gebundenheit eines Konsumenten an einen Anbieter oder ein Produkt ermitteln und
- den funktionalen Gesamtzusammenhang über Wirkungsketten unter Berücksichtigung der oben genannten Eigenschaften quantitativ abschätzen.

Hinsichtlich des Einflusses der Nichtlinearität durch die verwendete Box-Cox-Transformation in den Logit-Modellen ist anzumerken, daß bei einem Exponenten $\lambda = 0$ die logarithmische Form der Variablen hervortritt. Das Logit-Modell zur Erklärung der Wahlwahrscheinlichkeit einer Alternative d lautet (vgl. auch Gleichung (2.4) und (2.15)):

$$P(d) = \frac{e^{V_d}}{\sum_{d=1}^D e^{V_d}} \quad (3.8)$$

mit

$$V_d = \beta_{0_d} + \sum_k \beta_k X_{k_d}^{(\lambda X_k)} \quad , \quad (3.9)$$

wobei die Variablen X_{k_d} die Alternative beschreiben. Bei $\lambda = 0$ ergibt sich die in der Marketingliteratur wohlbekannte und vielfach verwendete Form

$$P(d) = \frac{\prod X_{k_d}^{\beta_k}}{\sum_h \prod X_{k_h}^{\beta_k}} \quad \begin{array}{l} d \in H = \{h_1, h_2, \dots\} \\ H := \{\text{Menge der Alternativen}\} \end{array} \quad (3.10)$$

Diese Modellform wurde entworfen um geeignete Gewichtungsfaktoren β_k für alle Charakteristika einer Leistung bzw. Alternative d zu bestimmen.

Die Struktur der Modellform soll dabei ausschließen, daß für Alternativen negative Wahrscheinlichkeiten oder gar Werte größer Eins – also größer 100 v.H. – auftreten. Zusätzlich stellt diese Form sicher, daß die Summe aller Wahrscheinlichkeiten Eins ergibt. Die verfügbaren Algorithmen erlauben auch die Bestimmung alternativenspezifischer Gewichtungsfaktoren (d.h. $\beta_{k_h} \neq \beta_{k_d}$), sofern diese existieren. Ferner können alle Algorithmen auf existierende Datenbasen ('revealed preference data') sowie Erhebungen zu potentielltem Nachfrageverhalten ('stated preference data') angewandt werden.

Ebenso bedeutsam ist die Erfassung einer potentiellen Komplementarität zwischen den Alternativen. Dies wird durch die Box-Cox-Transformation jeder einzelnen erklärenden (strikt positiven) Variablen in Gleichung (3.9) ermöglicht. Bei einer eindeutigen Zuordnung der Exponentialparameter λ zu den verschiedenen Variablen, können diese in die Nutzenfunktion jeder Alternative eingehen, wie das folgende Beispiel zeigt:

$$\begin{aligned} V_1 &= \dots + \beta_{11}(\text{Preis Produkt 1})^{(\lambda_{11})} + \beta_{12}(\text{Preis Produkt 2})^{(\lambda_{12})} + \dots \\ V_2 &= \dots + \beta_{21}(\text{Preis Produkt 1})^{(\lambda_{21})} + \beta_{22}(\text{Preis Produkt 2})^{(\lambda_{22})} + \dots \end{aligned} \quad (3.11)$$

Diese Form ($\lambda_{11} \neq \lambda_{12} \neq \lambda_{21} \neq \lambda_{22}$ oder $\lambda_{11} = \lambda_{12} \neq \lambda_{21} = \lambda_{22}$) wird als 'Generalized Box-Cox Logit' bezeichnet (Die Identität aller λ ist nicht erlaubt). Ebenso wie mit hierarchischen Logit-Modellen können mit ihr auch Entscheidungsbäume dargestellt werden.

Auch wenn Komplementarität nicht häufig zwischen Produkten und Leistungen vorliegt, so empfiehlt es sich doch in allen Wahlmodellen eine Preiskomponente der Basisaustattung zuberücksichtigen, um die Entscheidungen bezüglich zusätzlicher Leistungen oder Produkte erfolgreich abzubilden können.

3.7 Weitere Problemstellungen und Anmerkungen

Segmentation der Nachfrage

Eine Segmentierung der Konsumenten (in 'Have' und 'Have-not') bei einer breiten Palette von Kommunikationsleistungen erfordert eine klare Definition der von den Konsumentensegmenten in Anspruch genommenen Leistungen (z.B. Basisanschluß für Stimmenübertragung bei 'Have-not').

Zum einen besteht die Möglichkeit die Gebundenheit eines Segmentes an eine Leistung oder ein Produkt mittels der 'captivity'-Parameter direkt zu messen, andererseits kann eine Untersuchung der Preiselastizitäten verschiedener Konsumentengruppen vorgenommen werden. Die unterschiedlichen Konsumentengruppen ('Have' und 'Have-not') werden auf jeweils andere Weise auf Preisänderungen reagieren. Es ist zu erwarten, daß dies auch nach der Einführung der Nichtlinearität bei den Preis- und Einkommensvariablen weiterhin gilt. Generell ersetzt eine Marktsegmentation (z.B. nach Einkommen) jedoch nicht die Verwendung der Nichtlinearität, da auch innerhalb eines Segmentes keine Linearität des Konsumentenverhaltens ohne Prüfung vorab unterstellt werden kann.

Szenarienanalyse

'Wenn-dann'-Untersuchungen gehören zu den originären Aufgaben von Modellen. Die einheitslosen Elastizitäten vermitteln einen sehr präzisen Eindruck von der Reaktion der Nachfrage auf Veränderungen der erklärenden Variablen. Für alle Modelltypen stehen eine Reihe hochentwickelter Funktionen zur Verfügung, so daß die Auswirkungen der Veränderung einzelner Variablen direkt zu erfassen ist.

Im Falle von Preisänderungen lassen sich so im Voraus Über- oder Unterkompensationen hinsichtlich des Einflusses der Marktreaktion auf das Unternehmensergebnis ableiten. Bei nichtlinearen Modellen hängt die Nachfragereaktion von dem vorhandenen Preisniveau ab und variiert damit in unterschiedlichem Maße auf Preisänderungen. Bei linearen Modellen ruft eine Preisänderung von $DM\ 11$ auf $DM\ 12$ die gleiche Nachfragereaktion hervor, wie es eine Preisänderung von $DM\ 1$ auf $DM\ 2$ täte. Die Nichtlinearität eines Modells und die sich daraus ableitenden Elastizitäten zeichnen daher ein realistischeres Bild des Konsumentenverhaltens als es bei linearen Modellen der Fall sein kann.

Kapitel 4

Transparenz, Wissenstransfer, Training

Die Komplexität der zu modellierenden Problemstellungen erfordert eine detaillierte Darstellung der zu verwendenden Methoden, so daß eine Überprüfung einer realisierten Lösung gewährleistet ist. Die Dokumentation der einzelnen Modellierungsschritte und Teillösungen muß eine Evaluation - auch von unabhängiger Seite – ermöglichen.

Aus diesem Grunde werden

- alle entwickelten Methoden, Verfahren und Algorithmen vollständig dokumentiert und in wissenschaftlichen Journalen bzw. auf wissenschaftlichen Tagungen zur Diskussion gestellt. Eine Überprüfung der Theorie wie auch die Kritik einzelner praxisrelevanter Anwendungen ist somit auch auf internationaler Ebene möglich.
- alle genannten Algorithmen (ausgenommen LEVEL-2.0) stehen mit dem interaktiven Softwarepaket TRIO einem Anwender zur Verfügung. Dieses erlaubt die Reproduktion oder Weiterentwicklung aller Modelle, einen Vergleich verschiedener Modellversionen sowie die graphische und statistische Auswertung der verwendeten Datenbasen.

Eine ca. 1000 Seiten starke Softwaredokumentation (englisch) soll die Handhabung von TRIO erleichtern. Sie besteht aus

- einem Theorie-Teil, in dem die verfügbaren Modelltypen erklärt und mögliche Anwendungsfelder dargestellt werden,

- einem Tutorial, das den Benutzer anhand von Beispieldatenbasen durch die unterschiedlichen Programmteile führt sowie
- dem Programmhandbuch, das die Leistungen der Software erschließt.

Es besteht weiterhin die Möglichkeit Entwickler/Anwender

- auf der Software TRIO zu schulen,
- in die theoretischen Grundlagen einzuführen und
- 'on the job' zu trainieren.

Die für den Verkehrssektor entwickelte Software VIA kann – nach entsprechenden Anpassungen – dazu verwendet werden, vorhandene oder fiktive Telekommunikationsnetze zu modellieren und mit diesen Engpaßstudien durchzuführen oder Netzwerkoptimierungen algorithmisch zu realisieren.

Eine enge Zusammenarbeit zwischen Entwicklern und Anwendern in allen Phasen – von der Problemformulierung bis zu Auswertung der Ergebnisse – ist ebenso wünschenswert wie notwendig. Nur wenn beide Seiten gleichwertig in die Modellierung eingebunden sind, ist es möglich problemgenaue Lösungsverfahren zu entwickeln, die ebenso kompetent und problemgerecht angewendet und erweitert werden können.

Literatur

GAUDRY, M., LESTAGE, P., GUÉLAT J. UND PIERRE GALVAN: „TRIO Tutorial, Version 1.0“, Centre de recherche sur les transports, # 902, Montreal, Kanada, 1993

GAUDRY, M., DUCLOS, L.-P., DUFORT, F. UND TRAN LIEM: „TRIO Reference Manual, Version 1.0“, Centre de recherche sur les transports, # 903, Montreal, Kanada, 1993

GAUDRY, M., DAGENAIS, M., LAFERRIÈRE, R. UND TRAN LIEM: „TRIO Model Types, Version 1.0“, Centre de recherche sur les transports, # 904, Montreal, Kanada, 1993

LAST, J. UND B. MANDEL: „VIA Systemkomponenten Version 1.2 – Programmdokumentation“, Draftpaper, 1994

KLAR, R.-TH. UND B. MANDEL: „FL Version 1.4 – Programmdokumentation“, Draftpaper, 1995