



MEHRKRITERIELLE UNTERSUCHUNGEN BEIM BAU NEUER AUTOBAHNEN

Friedel Peldschus

*Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig,
 132 Karl-Liebknecht-Str., D-40277 Leipzig, Deutschland. E-mail: peldschu@htwk-leipzig.de*

Empfangen 6 Dezember 2004; angenommen 27 Januar 2005

Auszug. Für den Ausbau des Autobahnnetzes im Raum Thüringen (Deutschland) werden unterschiedliche Konstruktionsvarianten diskutiert. Die Auswahl der günstigsten Variante erfolgt nach mehreren Kriterien: Bauzeit, Kosten, Dauerhaftigkeit, Umweltschutz und Wirtschaftlichkeit. Nach der Beschreibung der untersuchten Konstruktionslösungen erfolgt ein numerischer Vergleich mit dem EDV-Programm LEVI 3.0. Dabei wird die optimale Variante unter Beachtung der genannten Kriterien ausgewählt und die Lösung erläutert.

Schlüsselwörter: Mehrkriterielle Entscheidung, Autobahnen, Software LEVI 3.0.

MULTIPLE-CRITERIA ANALYSIS IN THE CONSTRUCTION OF MOTORWAYS

Friedel Peldschus

*Leipzig University of Applied Sciences,
 132 Karl-Liebknecht-Str., D-40277 Leipzig, Germany. E-mail: peldschu@htwk-leipzig.de*

Received 6 December 2004; accepted 27 January 2005

Abstract. Several construction variants are discussed for the extension of the motorway network in Thuringia (Germany). The best variant is determined according to several criteria: construction period, costs, durability, environmental protection and economic viability. After the characterisation of the considered construction solutions a numerical comparison is made using the software LEVI 3.0. Thereby the optimal variant is chosen taking into account the mentioned criteria and the solution is explained.

Keywords: motorways, multi criteria analysis, software LEVI 3.0.

1. Einführung

Die ständige Zunahme des Straßenverkehrs in Deutschland erfordert den Ausbau des Straßen- bzw. Autobahnnetzes. Neben dem Bau neuer Trassen hat der Ausbau des vorhandenen Autobahnnetzes eine besondere Bedeutung. Dabei handelt es sich um die Sanierung beschädigter Autobahnabschnitte und eine Erweiterung von vier auf sechs Streifen. Für den sechsstreifigen Ausbau einer Autobahn im Raum Thüringen wurden unterschiedliche Konstruktionsvarianten untersucht. Die Auswahl erfolgte nach den Kriterien:

- Baukosten
- Bauzeit

- Dauerhaftigkeit
- Umweltschutz
- Wirtschaftlichkeit

Gesucht wurde die günstigste Lösung, die die genannten Kriterien am besten erfüllt.

2. Beschreibung der Kriterien

Baukosten

Oberster Grundsatz für die Projektierung muß sein, die Kosten für die Baumaßnahme so gering wie möglich zu halten. Dabei sollen aber die Qualität gesichert, eine große Dauerhaftigkeit angestrebt, eine kurze Bauzeit erreicht,

Behinderungen und Umleitungen möglichst eingeschränkt, Unfallrisiken in der Bau- und Nutzungsphase minimiert und die Belange der Anwohner und Grundstückseigentümer beachtet werden.

Bauzeit

Die Bauzeit für ein Autobahnlos unterliegt starken Zwängen, da Teilabschnitte in einem bestimmten Zeitraum realisiert werden müssen. Beschleunigungen verursachen zusätzliche Kosten, da mehr Kapazitäten (Arbeitskräfte und Maschinen) eingesetzt werden müssen und sollten deshalb nur in Erwägung gezogen werden, wenn sie unbedingt notwendig sind. Günstiger ist die Untersuchung von Konstruktionsvarianten, die eine Verringerung der Bauzeit ermöglichen.

Dauerhaftigkeit

Die Dauerhaftigkeit ist eines der wichtigsten Kriterien zur Beurteilung beim Autobahnbau. Bei Langzeitbetrachtungen wird der Gesamtpreis durch die Dauerhaftigkeit wesentlich beeinflusst. Deshalb muss die hergestellte Fahrbahn solange, wie möglich ohne aufwändige Sanierungen nutzbar sein. Billige Lösungen verursachen einen hohen Sanierungsaufwand und werden damit insgesamt teurer. Zum Einsatz kommen Fahrbahnen aus Asphalt und Beton.

Asphaltfahrbahnen sind flexibel gebunden. Sie bestehen aus der Deckschicht, der Binderschicht und der Tragschicht. Wetter und Temperaturschwankungen während des Einbaues können die Qualität und damit die Lebensdauer der verschiedenen Asphaltvarianten (Heißeinbau, Splittmastix, Gußasphalt, offenporiger Asphalt) beeinflussen.

Betonfahrbahnen sind starre Schichtenkonstruktionen. Sie bestehen aus der Verschleißschicht und dem Unterbeton. Auch bei dieser Bauweise können Wetter und Temperaturschwankungen den Abbindeprozeß und damit die Qualität beeinflussen. Im Gegensatz zu Asphaltfahrbahnen müssen Betondecken nachbehandelt werden.

Für die heutige Verkehrssituation haben Betonfahrbahnen als starre Schichtkonstruktion einige Vorteile, da sie unabhängig von der Belastung und der Temperatur immer verformungsstabil sind. Damit entstehen keine Spurrillen und Wellen durch Bremsvorgänge. Auch bei Einflüssen aus Wasser sind Betonfahrbahnen wesentlich unempfindlicher. Während Asphalt altert, nimmt die Druckfestigkeit von Beton durch den Einfluß des Oberflächenwassers sogar zu. Damit erreichen Betonfahrbahnen eine Lebensdauer von 20 bis 30 Jahren. Bei Asphaltfahrbahnen werden bereits nach 15 bis 20 Jahren Sanierungsmaßnahmen erforderlich.

Umweltschutz

Der Neu- oder Ausbau von Autobahnen stellt immer einen Eingriff in die Natur dar. Beeinträchtigungen der Umwelt sowohl während der Bauphase als auch später unter

Nutzungsbedingungen sollen daher auf ein notwendiges und damit unvermeidbares Maß reduziert werden. Das Bauwerk Straße ist Bestandteil der Landschaft. Die Gradienten sollte an die vorhandene Geländestruktur angepaßt werden, damit die Erdarbeiten minimiert und die Bauzeit optimiert werden können.

In der Europäischen Union wurde die strategische Umweltprüfung eingeführt. Dazu muß vor Fertigstellung der Entwürfe und Pläne eine Umwelterklärung abgegeben werden. In dieser müssen die Auswirkungen auf Flora und Fauna, Boden, Wasser, Luft, Klima, Landschaft, Sach- und Schutzgüter sowie deren Wechselwirkungen beschrieben und bewertet werden. Außerdem werden der Verbrauch natürlicher Ressourcen, die CO₂- und Ozonbelastung und die Lärmbelastung erfaßt.

Wirtschaftlichkeit

Die Wirtschaftlichkeit der Bauausführung wird entscheidend durch die mittlere Transportentfernung des Erdbaues bestimmt. Deshalb sollten die Entfernungen zwischen den Auf- und Abtragsbereichen bei der Bearbeitung des Streckenprofils berücksichtigt werden. Die Transportentfernung und die bewegte Masse wirken sich auf den Baupreis und die Bauzeit aus.

3. Konstruktionsvarianten

Variante 1 – Neubau in veränderter Achsenlage und Gradienten mit einer Betonfahrbahn.

Die geänderte Gradienten der Variante 1 erfordert große Einschnitte und Dammschüttungen und beinhaltet damit einen umfangreichen Erdbau. Es ergibt sich eine durchschnittliche Massenbewegung von 70,74 m³/m.

Variante 2 – Neubau in veränderter Achsenlage und Gradienten mit einer Asphaltfahrbahn.

Die Variante 2 entspricht in der Achsenlage und der Gradienten der Variante 1. Sie unterscheidet sich nur durch eine andere Fahrbahn.

Variante 3 – Neubau in veränderter Achsenlage und gleicher Gradienten mit einer Betonfahrbahn.

Durch die Beibehaltung der Gradienten bei der Variante 3 wird der Aufwand für den Erdbau wesentlich geringer. Die durchschnittliche Massenbewegung reduziert sich damit auf 36,20³/m.

Variante 4 – Neubau in veränderter Achsenlage und gleicher Gradienten mit einer Asphaltfahrbahn.

Die Variante 4 entspricht der Variante 3. Sie unterscheidet sich nur durch eine andere Fahrbahn.

Variante 5 – Neubau in gleicher Achsenlage und gleicher Gradienten mit einer Betonfahrbahn.

Der Aufwand für den Erdbau ist bei dieser Variante vergleichbar mit dem der Variante 3. Geändert wurde hier der zeitliche Ablauf.

Variante 6 – Neubau in gleicher Achsenlage und gleicher

Gradiente mit einer Asphaltfahrbahn.

Die Variante 6 entspricht der Variante 5. Sie unterscheidet sich durch eine andere Fahrbahn.

4. Auswahl der günstigsten Variante

4.1. Ausgangswerte

Die Werte für die Kriterien Kosten, Bauzeit, Transportweg und Lärmschutz stammen aus betrieblichen Unterlagen. Diese Werte wurden zusammen mit einer statistischen Auswertung für die Dauerhaftigkeit in einer Forschungsarbeit zusammengetragen [1]. Die Tabelle 1 enthält die Ergebnisse .

4.2. Berechnung der Lösung

4.2.1. Primäre Lösung

Die numerische Lösung erfolgt mit dem von der HTWK Leipzig und der VGTU Vilnius gemeinsam erarbeiteten EDV-Programm LEVI [2–5]. Die Werte der Tabelle 1 werden auf ein dimensionsloses Intervall abgebildet. Dabei wird die nichtlineare Transformation benutzt: Formel (1).

$$b_{ij} = \left(\frac{\text{Min}_i a_{ij}}{a_{ij}} \right)^3 \text{ wenn } \text{Min}_i a_{ij} \text{ günstig ist,}$$

$$b_{ij} = \left(\frac{a_{ij}}{\text{Max}_i a_{ij}} \right)^2 \text{ wenn } \text{Max}_i a_{ij} \text{ günstig ist.} \quad (1)$$

Tabelle 1

Variante	Kosten (Min)	Dauerhaftigkeit (Max)	Lärmpegel (Min)	Transportweg (Min)	Bauzeit (Min)
1	12.487.116,10 •	30 Jahre	62,61 db(A)	1088 m	761 Tage
2	12.372.394,32 •	20 Jahre	59,61 db(A)	1088 m	746 Tage
3	11.096.556,48 •	27 Jahre	62,62 db(A)	992 m	669 Tage
4	10.982.564,89 •	18 Jahre	59,62 db(A)	992 m	654 Tage
5	11.017.136,35 •	24 Jahre	62,83 db(A)	998 m	700 Tage
6	10.903.129,60 •	16 Jahre	59,83 db(A)	998 m	685 Tage

Tabelle 2

Variante	Kosten (Min)	Dauerhaftigkeit (Max)	Lärmpegel (Min)	Transportweg (Min)	Bauzeit (Min)
1	0.666	1.000	0.863	0.758	0.635
2	0.684	0.444	1.000	0.758	0.674
3	0.949	0.810	0.863	1.000	0.934
4	0.978	0.360	0.999	1.000	1.000
5	0.969	0.640	0.854	0.982	0.816
6	1.000	0.282	0.989	0.982	0.870

Nach der nichtlinearen Transformation erhält man die Werte in Tabelle 2.

Die Lösung erfolgt nach dem erweiterten Min - Max - Prinzip:

$$\max_i \min_j A(s_1, s_2) = \min_i \max_j A(s_1, s_2) = A(s_1^*, s_2^*) = v. \quad (2)$$

Als Lösungsvektoren erhält man:

$$S_1 = (0,2536; 0; 0,7464; 0; 0; 0) \text{ und}$$

$$S_2 = (0; 0,6115; 0; 0; 0,3885).$$

Die Variante 3 erhält die höchste Bewertung und kann damit als optimale Variante ausgewiesen werden. Eine Vergleichsrechnung mit dem Laplace - Kriterium, bei dem alle Kriterien als gleichwertig behandelt werden, bestätigt dieses Ergebnis.

Der spieltheoretische Gleichgewichtspunkt wird gebildet durch die Kriterien Dauerhaftigkeit und Bauzeit. Die anderen Kriterien sind von geringerer Bedeutung.

4.2.2. Vergleichsrechnung mit reduzierter Matrix

Vergleichsweise soll eine Untersuchung durch das Auslassen von Kriterien mit einer reduzierten Matrix durchgeführt werden. Das Auslassen der Kriterien Kosten, Lärmpegel oder Transportfernung verändert die Lösung nicht. Läßt man jedoch das Kriterium Bauzeit aus, dann erhält man eine neue Lösung:

$$S_1 = (0,3012; 0; 0,6916; 0,0072; 0; 0) \text{ und}$$

$$S_2 = (0,1388; 0,2065; 0,6545; 0).$$

Die Aussage Variante 3 ist besser als Variante 1 bleibt erhalten. Aber die Varianten haben eine veränderte Bewertung.

Die Lösung verändert ich jedoch, wenn man auf die Bewertung der Dauerhaftigkeit verzichtet.

$$S_1 = (0; 0; 0; 0,8553; 0; 0,1447) \text{ und}$$

$$S_2 = (0,8553; 0; 0; 0,1447).$$

Ohne die Bewertung der Dauerhaftigkeit ist die Variante 4 die günstigste. Die beiden an der Lösung beteiligten Varianten (Variante 1 und Variante 4) sind Asphaltbauweisen, die gegenüber den Betonbauweisen kostengünstiger sind und auch eine geringfügig kürzere Bauzeit haben.

4.2.3. Untersuchung mit Wichtungsfaktoren

Um auch eine Antwort auf den Einfluß von Wichtungsfaktoren bei dieser Anwendung der mehrkriteriellen Entscheidung zu geben, wurden Vergleichsrechnungen mit unterschiedlichen Wichtungsfaktoren durchgeführt. Eine weitverbreitete Auffassung ist, daß die Kosten das Hauptkriterium sind. Bei den durchgeführten Untersuchungen konnte festgestellt werden, dass erst bei einem Verhältnis von: Kosten 70 %, Dauerhaftigkeit 7,5 %, Lärmpegel 7,5 %, Transportweg 7,5 % und Bauzeit 7,5 % eine Änderung der Lösung erfolgt. Nach dem Laplace-Kriterium erhält man folgende Rangfolge:

Variante 4 > Variante 3 > Variante 6 > Variante 5 > Variante 1 > Variante 2.

Die Variante mit der größten Dauerhaftigkeit wird die günstigste Variante wenn man folgende Wichtungsfaktoren wählt: Kosten 11,75 %, Dauerhaftigkeit 53 %, Lärmpegel 11,75 %, Transportweg 11,75 % und Bauzeit 11,75 %. Die Rangfolge nach dem Laplace-Kriterium lautet dann:

Variante 1 > Variante 3 > Variante 5 > Variante 4 > Variante 6 > Variante 2.

5. Auswertung

Mit den durchgeführten Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass mehrkriterielle Untersuchungen auf mathematisch theoretischer Basis eine gute Unterstützung für praktische Aufgaben der Bauausführung sind. Die weitverbreitete Auffassung, dass die Kosten immer das Hauptkriterium sind, konnte bei dieser Auswahl von Konstruktionsvarianten für den Autobahnbau nicht bestätigt werden, denn eine Veränderung der optimalen Variante tritt erst beim Einsatz von Wichtungsfaktoren ein, bei denen der Einfluß der Kosten mit 70% oder mehr bewertet wird. Diese Tatsache tendiert schon stark in Richtung einkriterielle Entscheidung. Überzeugende dauerhafte Lösungen lassen sich nur durch die Berücksichtigung mehrerer Kriterien bestimmen.

Literatur

1. Zeise, T. Untersuchungen von Konstruktionsvarianten zum Bau neuer Autobahnen nach mehreren Kriterien. HTWK Leipzig, Fachbereich Bauwesen, Diplomarbeit 2003, 57 S., 6 Anlagen.
2. Ustinovičius, L.; Zavadskas, E. K. Assessment of investment profitability in construction from technological perspectives (Statybos investicijų efektyvumo sistemotechninis įvertinimas). Vilnius: Technika, 2004 (in Lithuanian).
3. Zavadskas, E. K.; Ustinovičius, L.; Peldschus, F. Development of Software for Multiple Criteria Evaluation. *Informatica*, Vol 14, No 2, 2003, p. 259–272.
4. Zavadskas, E. K.; Ustinovičius, L.; Turskis, Z.; Peldschus, F.; Messing, D. LEVI 3.0 – Multiple criteria evaluation program for construction solutions. *Journal of Civil Engineering and Management (Statyba)*, Vol 8, No 3. Vilnius: Technika, 2002, p. 184–191.
5. Zavadskas, E. K.; Peldschus, F.; Ustinovičius, L.; Turskis, Z. Game theory in building technology and Management (Lošimų teorija statybos technologijoje ir vadyboje). Vilnius: Technika, 2004 (in Lithuanian).

GREITKELIŲ STATYBOS DAUGIAKRITERINĖ ANALIZĖ

F. Peldschus

Santrauka. Straipsnyje nagrinėjami keli greitkelių statybos variantai, skirti Tiuringijos (Vokietija) kelių tinklo plėtrai. Geriausias variantas yra nustatomas pagal šiuos rodiklius: statybos trukmę, išlaidas, ilgaamžiškumą, aplinkosaugą ir ekonominį pagrįstumą. Apibūdinus vertinamus statybos variantus, atliktas jų skaitmeninis lyginimas programa LEVI 3.0. Atsižvelgiant į minėtus rodiklius, parinktas ir paaiškintas optimalus sprendinys.

Raktažodžiai: greitkeliai, daugiakriterinė analizė, programinė įranga LEVI 3.0.

Friedel PELDSCHUS is a Dr habilius, professor, Dr honoris causa of Vilnius Gediminas Technical University, Department of Civil Engineering and Building construction, Leipzig University of Applied Sciences. F. Peldschus studied building construction, welding and data processing at Leipzig Building School. He has defended the theses of Dr engine and Dr habilius techn., both of them deal with the application of the game theory to building technology problems. Author of 55 publications. Research interests: optimization of planning, multicriteria solutions and building processes.