



Thema:

**„BAB A12 – Straßengrenzübergang Swiecko I
Kapazitätsanalyse mit Schlussfolgerungen“**

**Auftraggeber: LS Landesbetrieb Straßenwesen Brandenburg
Niederlassung Autobahn
Bernd Bussewitz
Stolpe, an der BAB A111
D-16540 Hohen Neuendorf**

**Ansprechpartner
des Auftraggebers: Klaus Packroff**

**Verfasser: Krzysztof Kolanowski, Europa Universität Viadrina
Karl-Heinz Boßan, CLIENT CONSULT**

Frankfurt (Oder), 28. Juli 2006

Gliederung

Thema: „BAB A 12 – Straßengrenzübergang Swiecko I – Kapazitätsanalyse mit Schlussfolgerung“

0. Vorbemerkungen
1. Theoretische Grundlagen
2. Straßengrenzübergang Swiecko I als ein Wartesystem
3. Berechnung der relevanten Warteschlangenparameter
 - 3.1. Bedienungsanleitungen und Interpretation
 - 3.1.1. Bedienungsanleitung für die Modellierung
 - 3.1.2. Interpretation der Werte
 - 3.2. Zur Handhabung der Exeldateien
 - 3.2.1. Datei: SwieckoI_Wartezeiten.xls
 - 3.2.1.1. Stabile Systeme (Zeilen 15 bis 38)
 - 3.2.1.2. Instabile Systeme (Zeilen 41 bis 64)
 - 3.2.1.3. Hilfsrechnung für die Bedienungszeit
 - 3.2.2. Datei: SwieckoI_2.Wartespuren
 - 3.2.2.1. Tabellenblatt „gemeinsame Abfertigung“
 - 3.2.2.2. Tabellenblatt „nur EU“
 - 3.2.2.3. Tabellenblatt „non-EU“
4. Getrennte Abfertigung von Fahrzeugen mit Fahrern aus der EU und aus Drittstaaten
 - 4.1. Beschreibung, Berechnung, Interpretation des Vorschlages
 - 4.2. Das Modell – Aufteilung der acht Fahrspuren
 - 4.3. Schlussfolgerungen zu den aufgeteilten Abfertigungsspuren
 - 4.4. Beispielrechnung
5. Zusammenfassung

Thema: „BAB A 12 – Straßengrenzübergang Swiecko I – Kapazitätsanalyse mit Schlussfolgerung“

0. Vorbemerkungen

Eine intakte, benutzerfreundliche und sichere Verkehrsinfrastruktur bildet nach wie vor das Rückgrat für wirtschaftliche Entwicklung, denn Mobilität ist die Quelle von Wohlstand. In der jetzigen Zeit sind nur Standorte für Investoren interessant, wenn sie bei einer Fahrtdauer von 20 Minuten eine Autobahn erreichen. Die BAB A12 ist Teil des deutschen Autobahnnetzes, aber zugleich ein Teilstück der europäischen Ost-West-Achse, Europastraße Nr. 30 von Cork (IRL) bis nach Tscheljabinsk (RUS), im Rahmen des Transeuropäischen Netzes (TEN). Das bedeutet, dass dieses Autobahnstück mit europäischen Maßstäben gemessen werden muss. Angebotene Leistungen auf, an und um die BAB A 12 sollen sich so entwickeln, dass sie europäischen Anforderungen genügen. Das betrifft z. B. angebotene Dienstleistungen, die Beschilderung, die Ansiedlungsaktivitäten und die Sicherheitsanforderungen und Kontrollen. Die Regelung des Lkw-Überholverbotes ist eine erste erfolgreiche Maßnahme zur Verbesserung der Verkehrssicherheit auf der BAB A12. Sehr positiv war dabei, dass die Abstimmung und die Umsetzung zwischen den dafür zuständigen Behörden schnell und unkompliziert erfolgt ist. Weitere Maßnahmen in diese Richtung sind in Vorbereitung und werden zur Erhöhung der Identifizierung der Anwohner und Nutzer mit der BAB A12 beitragen.

Analysen der letzten Monate haben gezeigt, dass die bei der Ausreise der LKW entstehenden Warteschlangen den größten Gefahrenherd darstellen und auch die Mobilität in und um die Stadt Frankfurt (Oder) dadurch maßgeblich negativ beeinflussen.

Mit der Durchführung der Kapazitätsanalyse am Grenzübergang Frankfurt (Oder) / Schwetig (Swiecko I) für den Warenverkehr – Ausfuhr (LKW) wird anhand der aus der Warteschlangentheorie bekannten mathematischen Modelle ermittelt, inwieweit es zu einer übermäßigen Auslastung der einzelnen Grenzabfertigungsetappen kommt. Darüber hinaus lassen sich die Engpässe identifizieren und die durchschnittliche Wartezeit der Fahrzeuge ermitteln.

Auf der Basis dieser Ergebnisse können Schlussfolgerungen und Empfehlungen für die Verbesserung des Wartesystems (Gestaltung der einzelnen Kontrollstapen) ausformuliert werden.

Die Modellierung der Abfertigungsprozesse soll dazu beitragen, durch organisatorische und strukturelle Veränderungen auf Basis der Ergebnisse des entwickelten mathematischen Modells mit hoher Wahrscheinlichkeit dafür zu sorgen, dass die Warteschlangen in erträglichen Grenzen gehalten werden bzw. gar nicht mehr auftreten.

Die Lösung für dieses Problem ist aber nur in enger Zusammenarbeit mit der polnischen Seite zu erreichen, da alle Infrastrukturmaßnahmen und alle Aktivitäten im Kontrollregime gemeinsam gestaltet werden müssen. Der Grenzübergang liegt auf polnischem Territorium.

Die Verantwortung für die Aktivitäten zur Erhöhung der Sicherheit auf der gesamten deutschen Strecke der BAB A12 liegt nach den Artikeln 90 und 85 des Grundgesetzes auf deutscher Seite beim Land Brandenburg. Diese Arbeit soll dazu mit beitragen dieser Verantwortung gerecht zu werden

Zu diesem Themenkomplex liegen Erfahrungen vor. Für das Investorcenter Ostbrandenburg wurden von Karl-Heinz Boßan für das Projekt „Analyse und Modellrechnungen grenzüberschreitender wirtschaftlicher Tätigkeit“ das Thema: „Grenzübergänge - Bewertung des Bestandes und Empfehlungen“ bearbeitet.

Im Rahmen einer Diplomarbeit im Jahre 2002 wurde eine ähnliche Kapazitätsanalyse für den polnisch-weißrussischen Grenzübergang Kukuryki-Koslowitschi von Krzysztof Kolanowski durchgeführt. Damals war er zum Schluss gekommen, dass eine Einführung gemeinsamer Zoll- und Passabfertigung (one-stop border) zu erheblichen Zeitersparnissen führen würde. Diese Diplomarbeit wurde 2003 mit einem Preis des Oberbürgermeisters von Frankfurt (Oder) ausgezeichnet.

1. Theoretische Grundlagen

Zur Berechnung der Kapazitätsauslastung sowie der durchschnittlichen Länge der Warteschlange am Grenzübergang Świecko I wurde die in der Statistik bekannte Warteschlangentheorie (*queueing theory*) angewendet. Hier werden die Warteschlangen als ein stochastischer Prozess betrachtet; d.h. stochastisch sind sowohl die Bedienungszeiten als auch die Ankunftszeiten der Anfragen (Kunden). Da die Wartesysteme unterschiedlich gestaltet werden können, sind folgende Informationen notwendig, um zuverlässige Aussagen über die Kapazitätsauslastung und Wartezeit zu erlangen:

1. erwartete (durchschnittliche) Zahl der ankommenden Kunden pro Zeiteinheit (z.B. pro Stunde), sog. **Ankunftsrate**

2. Anzahl der Kunden, die durchschnittlich pro Zeiteinheit bedient werden können (erwartete Bedienungsrate oder Bedienungskapazität – diese kann sehr leicht aus der erwarteten Bedienungszeit berechnet werden)

3. Bedienungspriorität

Hierbei handelt es sich darum, in welcher Reihenfolge die ankommenden Kunden bedient werden. Die einfachste Prioritätsregel ist FCFS (*first come, first served* – *zuerst gekommen, zuerst bedient*). Allerdings sind auch andere Regeln denkbar, nach denen einige Kundengruppen gegenüber sonstigen diskriminiert bzw. bevorzugt werden.

4. Anzahl der tätigen Bedienungsstellen

Es kann sich beispielsweise um die Anzahl der tätigen Kontrollschalter handeln. Hier muss jedoch Folgendes beachtet werden: die Wartenden formen nur eine Warteschlange und werden nach der oben genannten Prioritätsregel bedient. Bei mehreren Warteschlangen ist es möglich, jede von ihnen als getrenntes Wartesystem zu betrachten.

5. Verteilung der Zwischenankunftsrate

Es wird unterstellt, dass neue Ankünfte der Kunden stochastisch erfolgen. So wird die Zwischenankunftsrate als eine Zufallsvariable betrachtet. Neben dem Erwartungswert (s. oben) sind hier deswegen weitere Informationen nötig, d.h. wie ist die Zufallsvariable verteilt und ggf. die Varianz. Es wird oft unterstellt, dass die Zwischenankunftsrate einer Poisson-Verteilung unterliegt.

6. Verteilung der Bedienungskapazität

Auch die Bedienungszeit wird als eine Zufallsvariable betrachtet. Daher sind neben der erwarteten Bedienungszeit ebenfalls andere Daten notwendig, wie die Verteilung und ggf. die Varianz. Es wird oft unterstellt, dass die Bedienungszeit einer Exponentialverteilung unterliegt (bzw. dass die Bedienungskapazität Poisson-verteilt ist).

In der Praxis lassen sich die in Punkten 3-4 erhaltenen Daten (Anzahl der Kontrollstellen, Bedienungspriorität) sofort festlegen und die in Punkten 1-2 genannten Zahlen (Durchschnittswerte für die Ankunfts- und Bedienungsrate) können nach einigen Stichprobenerhebungen zumindest näherungsweise berechnet werden. Anhand dieser Daten kann man bereits die Kapazitätsauslastung des Systems bestimmen – hier wird einfach die Ankunftsrate mit der Bedienungsrate verglichen. Diese Kapazitätsauslastung sollte unter 100% liegen, weil sonst – wenn die Zahl der kommenden Kunden die vorhandene Kapazität übersteigt – würde sich die Warteschlange ständig vergrößern und wäre „im Durchschnitt“ unendlich lang. Würde man annehmen, dass die Kapazität nicht völlig ausgelastet ist und die Ankunfts- und Bedienungszeiten nicht stochastisch, sondern deterministisch sind (d.h. jeder neue Kunde kommt genau nach Ablauf von z.B. 30 Sekunden, die Bedienungszeit beträgt dagegen immer z.B. 20 Sekunden), so gäbe es keine Warteschlange. Die Warteschlangen entstehen daher nur deswegen, weil es in der Praxis diese Deterministik nicht gibt.

Es ist schwierig, Aussagen über die Verteilungsfunktionen zu bekommen (Punkte 5-6). Es wäre natürlich denkbar, nach umfangreichen Stichprobenerhebungen anhand Regressionsmodelle diese Funktionen näherungsweise zu bestimmen. Einerseits sollte man jedoch die ermittelten Funktionen mit Vorsicht betrachten, da sie nur an einer Stichprobenerhebung basieren und daher kann ein nicht unbeträchtlicher statistischer Fehler nicht ausgeschlossen werden. Andererseits steigt der Rechenaufwand deutlich, soweit es sich nicht um standardisierte Verteilungsfunktionen handelt.

Aus diesen Gründen unterstellt man sehr oft, dass die Ankunfts- und Bedienungsrate einer Poisson-Verteilung unterliegt. Diese Poisson-Funktion ist diskret und hat folgende Dichte:¹

$$f(x) = \begin{cases} \frac{\lambda^x}{x!} e^{-\lambda} & \text{für } x = 0, 1, 2, \dots \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

¹ Anhand dieser Formel lässt sich ermitteln, mit welcher Wahrscheinlichkeit die Zufallsvariable einen bestimmten Wert x annimmt.

wobei λ der Erwartungswert ist. Die Poisson-Verteilung eignet sich für große Stichproben von Binomialereignissen („Erfolg“ oder „Misserfolg“). Dies ist bei Wartesystemen gegeben, wobei sich als „Erfolg“ die Zeit der Ankunft eines neuen Kunden oder des Beginns einer Bedienung bezeichnen lässt.

Unterstellt man, dass nur eine Bedienungsstelle zur Verfügung steht, so lassen sich folgende Größen sehr leicht ermitteln: erwartete Zahl der Wartenden $E(Q)$, erwartete Zahl der Kunden im System $E(N)^2$, erwartete Wartezeit $E(W)$ und die durchschnittliche Verweildauer der Kunden im System $E(V)$.³

Symbole:

λ – Ankunftsrate, μ – Bedienungsrate,

ρ – Kapazitätsauslastung, ($\rho = \lambda / \mu$)

$$E(Q) = \frac{\rho^2}{1 - \rho}$$

$$E(N) = \frac{\rho}{1 - \rho}$$

$$E(W) = \frac{\rho}{\mu(1 - \rho)} = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)}$$

$$E(V) = \frac{1}{\mu(1 - \rho)} = \frac{1}{\mu - \lambda}$$

Im allgemeinen Fall, bei beliebiger Zahl von Bedienungsstellen s , lassen sich diese Größen folgendermaßen ermitteln:

Zusätzliches Symbol:

p_0 – Leerwahrscheinlichkeit, d.h. Wahrscheinlichkeit, dass sich gerade kein Kunde im System befindet.

v - durchschnittliche Bedienungszeit ($v = 1 / \mu$)

$$p_0 = \left[\sum_{n=0}^{s-1} \frac{1}{n!} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^n + \frac{1}{s!} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^s \left(\frac{\mu s}{\mu s - \lambda} \right) \right]^{-1}$$

² Darunter werden sowohl die Wartenden als auch der gerade bediente Kunde verstanden.

³ Wartezeit + Bedienungszeit.

$$E(Q) = \left[\frac{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^s \lambda \mu}{(s-1)!(s\mu - \lambda)^2} \right] \cdot p_0$$

$$E(W) = \frac{E(Q)}{\lambda} = \left[\frac{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^s \mu}{(s-1)!(s\mu - \lambda)^2} \right] \cdot p_0$$

$$E(V) = v + E(W) = \frac{1}{\mu} + \left[\frac{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^s \mu}{(s-1)!(s\mu - \lambda)^2} \right] \cdot p_0$$

$$E(N) = \lambda \cdot E(V) = \frac{\lambda}{\mu} + \left[\frac{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^s \lambda \mu}{(s-1)!(s\mu - \lambda)^2} \right] \cdot p_0$$

2. Straßengrenzübergang Swiecko I als ein Wartesystem

Nach dem Beitritt Polens zur EU findet am Grenzübergang keine Zollkontrolle mehr statt. Deswegen war es möglich, die Grenzabfertigung der LKW auf eine einfache Ausweiskontrolle zu beschränken. Da die Fahrzeuge vor dem Grenzübergang nicht mehr angehalten werden, kann man es sich als ein einfaches Wartesystem mit mehreren Bedienungsstellen vorstellen. Es ist auch plausibel davon auszugehen, dass die Ankunfts- und Bedienungsrate Poissonverteilt ist. Die Ankunftszeiten werden nämlich nicht durch andere endogene Faktoren (wie z.B. *Verkehrsführung mittels einer Ampel*) beeinflusst.

Vor dem Grenzübergang warten die Lastkraftwagen auf zwei rechten Spuren der Autobahn. Diese werden weiterhin als „Wartespuren“ bezeichnet. Am Grenzübergang können jedoch bis vier Kontrollstellen für die nach Polen fahrenden LKW tätig sein – für diese wird im Folgenden der Begriff „Kontrollspuren“ verwendet.

Anhand der durchgeführten Beobachtungen kann man von folgenden Durchschnittswerten für die Bedienungszeit ausgehen:

- falls ein LKW aus einem EU-Land kommt, dauert die Ausweiskontrolle im Schnitt ca. **15 Sekunden**;
- falls ein LKW nicht aus einem EU-Land kommt, so muss die Aus- und Einreise auf den Visa des Fahrers vermerkt werden. Diese Tätigkeiten dauern entsprechend länger und nehmen ca. **90 Sekunden** in Anspruch.

Der Anteil der Fahrzeuge, die aus den jeweiligen geographischen Gebieten kommen, variiert stark. Jedoch stammt die Mehrheit aus dem EU-Bereich, vor allem aus Polen. Die verfügbaren Daten zeigen, dass dieser Anteil von 68% bis 82% betragen kann.

Aus Vorsichtsgründen wird bei der Berechnung die niedrigste Zahl berücksichtigt. So kommt man zum folgenden Ergebnis:

$$68\% * 15 + 32\% * 90 = 39 \text{ Sekunden}$$

Daraus lässt sich sehr leicht ableiten, wie viele Fahrzeuge pro Stunde bei gegebener Zahl der Kontrollspuren bedient werden können. Am Grenzübergang können maximal vier Kontrollstellen eingesetzt werden.

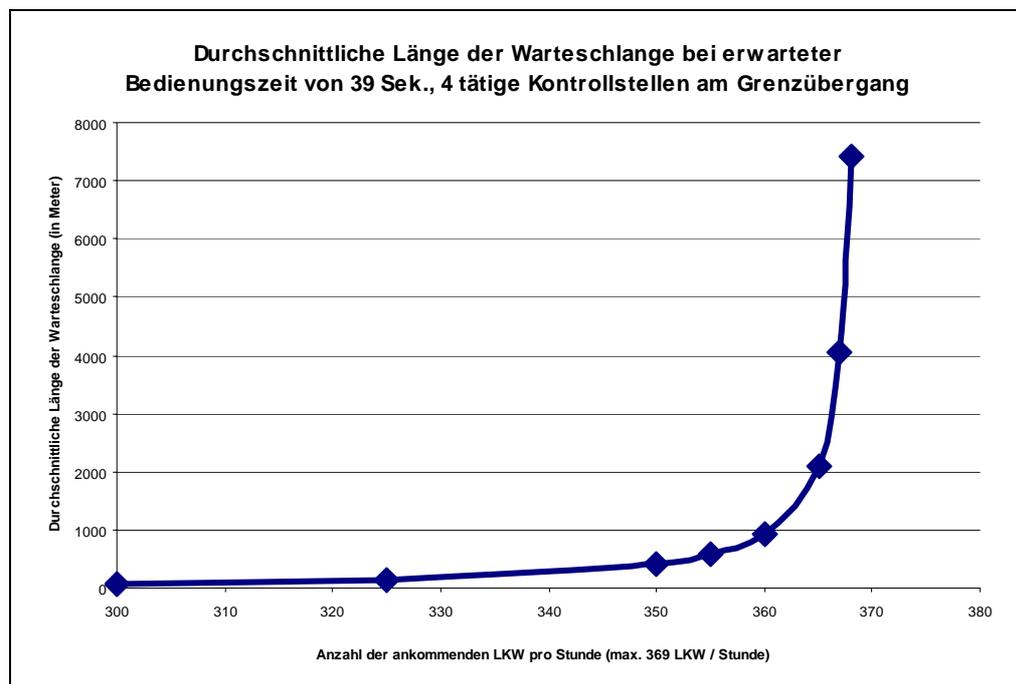
Anzahl der Kontrollspuren	1	2	3	4
Max. Zahl der LKW pro Std.	92	184	276	369

Konfrontiert man die obigen Zahlen mit der tatsächlichen Ankunftsrate, so lässt sich leicht die prozentuale Kapazitätsauslastung der oben dargestellten Formel für ρ ermitteln.

Anhand der Formel für $E(Q)$ lässt sich die durchschnittliche Länge der Warteschlange ermitteln. Nimmt man wie oben an, dass alle vier Kontrollspuren zur Verfügung stehen und dass die gewogene durchschnittliche Bedienungszeit 39 Sekunden beträgt, so lässt sich folgender Zusammenhang zwischen der Ankunftsrate und erwarteten Anzahl der wartenden Fahrzeuge ermitteln.

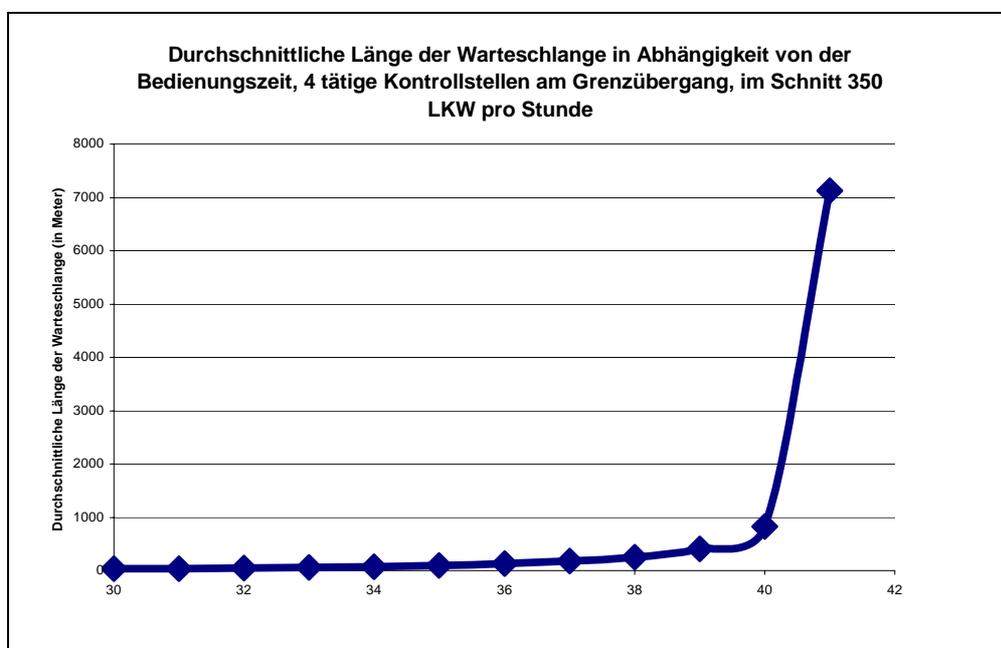
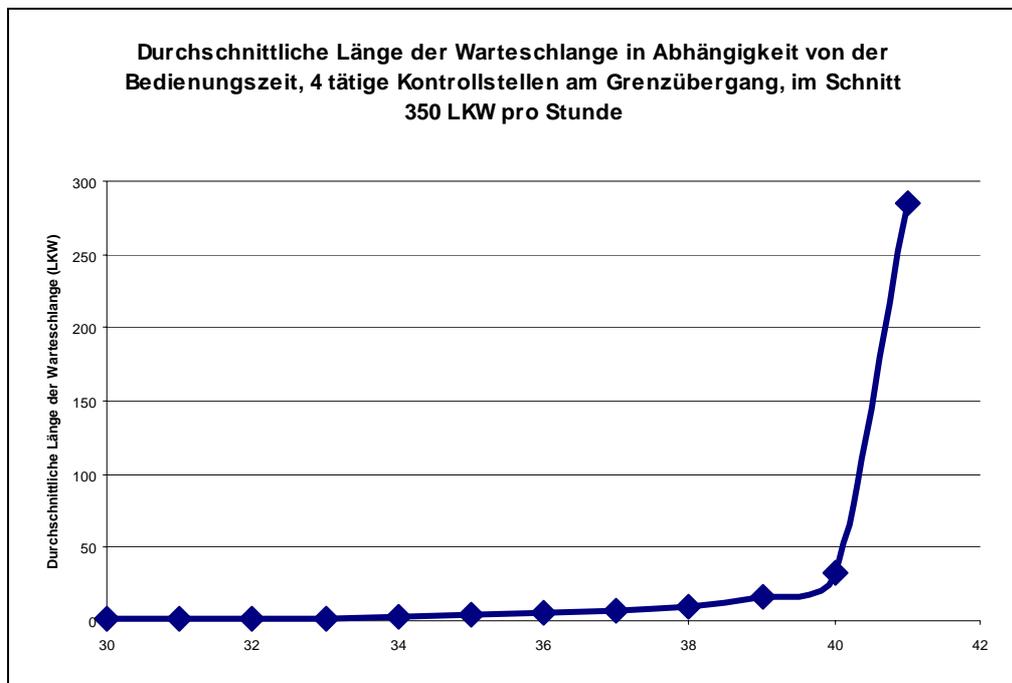


Man kann darüber hinaus festhalten, dass vier wartenden LKW ca. 100 m der Autobahn in Anspruch nehmen. Die folgende Zeichnung stellt den Zusammenhang zwischen der erwarteten Länge der Warteschlange.



Wichtig ist, dass sich die obigen Werte auf beide Wartespuren beziehen. Um die durchschnittliche Länge der Warteschlange auf einer Wartespur zu ermitteln, sollten diese Zahlen durch zwei geteilt werden.

Die beiden weiteren Zeichnungen zeigen den Zusammenhang zwischen der durchschnittlichen Bedienungszeit und der Länge der Warteschlange bei einer stündlichen Ankunftszeit von **350 Fahrzeugen** und vier Kontrollspuren.



Zahlenbeispiel:

Unterstellt man, dass – wie in obigen Zeichnungen – **350 Fahrzeuge pro Stunde** zum Grenzübergang kommen, die gewogene durchschnittliche Dauer der Grenzkontrolle **90 Sekunden** beträgt und **vier Kontrollspuren** tätig sind, so kommt man zu folgenden Ergebnissen:

Kapazitätsauslastung: $\rho = 94,79 \%$

Leerwahrscheinlichkeit: $p_0 = 0,0054$

Durchschnittliche Länge der Warteschlange:

$$E(Q) = 16 \text{ Fahrzeuge (insgesamt 404 Meter)}$$

Durchschnittliche Wartezeit:

$$E(W) = 0,046 \text{ Stunden} = 2 \text{ Min. 46 Sek.}$$

Durchschnittliche Verweildauer:

$$E(V) = 0,057 \text{ Stunden} = 3 \text{ Min. 25 Sek.}$$

3. Berechnung der relevanten Warteschlangenparameter

3.1. Bedienungsanleitungen und Interpretation

3.1.1. Bedienungsanleitung für die Modellierung

Anhand der vorliegenden Excel-Datei lassen sich folgende Daten für den Grenzübergang Świecko I ermitteln:

- **Durchschnittliche Länge der Warteschlange**
Diese kann als Anzahl der wartenden Fahrzeuge verstanden oder in Metern gemessen werden.
- **Durchschnittliche Anzahl der im System befindlichen Fahrzeuge** (*d.h. Anzahl der Fahrzeuge, die warten oder gerade bedient werden*)
- **Durchschnittliche Wartezeit** - für ein neu ankommendes Fahrzeug
- **Durchschnittliche Verweildauer** für ein neu ankommendes Fahrzeug (*Wartezeit + Bedienungszeit*)

Darüber hinaus lassen sich noch folgende Kennzahlen ermitteln:

- **maximale Bedienungskapazität**, also die maximale Anzahl von Fahrzeugen, die innerhalb einer Stunde bei gegebener Anzahl von Kontrollspuren und durchschnittlicher Bedienungszeit abgefertigt werden können.
- **Kapazitätsauslastung des Systems**
Die Kapazitätsauslastung ist der Quotient der durchschnittlichen Anzahl der ankommenden Fahrzeuge in einer Zeitperiode (z.B. Stunde) und der maximalen Zahl der Fahrzeuge, die innerhalb dieser Zeit bedient werden können.
- **empfohlene Anzahl der tätigen Kontrollspuren**
Hier wird die kleinste Zahl der Kontrollspuren ermittelt, bei der die Kapazitätsauslastung eine gegebene Schwelle nicht überschreitet.

Als Ausgangsdaten benötigt man folgende Größen:

- **Durchschnittliche Anzahl der ankommenden Fahrzeuge pro Stunde**
- **Durchschnittliche Bedienungszeit** (in Minuten und Sekunden)

Anhand dieser Zahl wird die maximale Anzahl der Fahrzeuge berechnet, die pro Stunde bedient werden können.

- **Anzahl der tätigen Kontrollspuren**

3.1.2. Interpretation der Werte

Es muss betont werden, dass es sich sowohl bei den Ausgangsgrößen als auch bei den ermittelten Kennzahlen stets um Erwartungswerte (Durchschnittswerte) für zufallsbedingte Größen handelt. Dies bedeutet, dass bei allen dieser Werte **Schwankungen um den Durchschnitt** erlaubt sind. Die ermittelten Größen für die Länge der Warteschlange sowie für die Wartezeit sind diejenigen, die mit größter Wahrscheinlichkeit vorkommen können.

Falls sich die Ausgangswerte nicht ändern und die Kapazitätsauslastung unter 100% liegt, so kann das System als stabil angesehen werden. Dies hat zur Folge, dass die durchschnittliche Länge der Warteschlange und andere Kennzahlen stets gleich bleiben. Es lässt sich am folgenden Beispiel verdeutlichen:

Betrachtet wird der Zeitraum von 10:00 bis 18:00 Uhr eines Tages. Es kommen im Schnitt **360 LKW pro Stunde** und die Bedienung nimmt durchschnittlich **39 Sekunden** in Anspruch. Es sind ständig alle **vier Kontrollspuren** tätig. Diese Durchschnittswerte gelten für den gesamten betrachteten Zeitraum. So lässt sich anhand der verwendeten Formeln festlegen, dass im Schnitt **37 Fahrzeuge** vor dem Grenzübergang in einer Warteschlange stehen. Dieser Durchschnittswert gilt in diesem Fall genauso für 11:00, wie für 17:00 Uhr.

Falls die Kapazitätsauslastung über 100% liegt, dann kann das System keineswegs stabil sein. Es kommen ständig mehr Fahrzeuge, als bedient werden können. Die Warteschlange vergrößert sich andauernd. Jedes neue ankommende Fahrzeug muss mit einer längeren Aufenthaltszeit rechnen, als seine Vorgänger.

In einem solchen Fall lassen sich keine Durchschnittswerte für die Länge der Warteschlange oder für die Wartezeit berechnen. Aus arithmetischer Sicht sollten diese Durchschnittswerte

$+\infty$ betragen. Die üblichen Formeln haben hier jedoch keine Anwendung und liefern negative Werte als Ergebnis.

Jedoch lässt sich die Länge der Warteschlange für einen gegebenen Zeitpunkt ermitteln. Falls man auf das obige Beispiel zurückgreift, jedoch mit einer Ankunftsrate von **500 LKW pro Stunde**, dann erhält man folgende Werte für die Länge der Warteschlange:

- um 11:00 Uhr (nach 1 Stunde): **228 LKW**
- um 12:00 Uhr (nach 2 Stunden): **358 LKW**
- um 14:00 Uhr (nach 4 Stunden): **620 LKW**
- um 16:00 Uhr (nach 6 Stunden): **881 LKW**

Hier wurde jedoch eine zusätzliche Annahme getroffen: erst um 10:00 Uhr überschritt die Kapazitätsauslastung die 100%-Schwelle. Vorher war sie niedriger und betrug 99%. Dieser Wert muss entsprechend eingetragen werden, um die ursprüngliche Länge der Warteschlange (in diesem Fall: 97 LKW) zu berechnen.

3.2. Zur Handhabung der Exel - Dateien

3.2.1 DATEI: Swiecko_Wartezeiten.xls

Die einzelnen Felder werden mit ihren Koordinaten gekennzeichnet, z.B. A1, A2, A3, (...), B1, B2, B3 usw.

Eingabefelder:

***Hinweis!** Dieses kalkulatorische Schema ist nicht gegen unzulässige Werte „gesichert“. So kann man z.B. als durchschnittliche Bedienungszeit -138675 Sekunden eintragen. Es wird dann keine Meldung gezeigt, dass der eingetragene Wert unzulässig ist – dieser wird einfach in die Formeln übernommen. Natürlich sind dann die Rechenergebnisse unplausibel.*

Eingabefeld B4:

Anzahl der Fahrzeuge, die innerhalb einer Stunde zum Grenzübergang kommen. Bitte eine positive und ganze Zahl eintragen.

Eingabefelder B6 und D6:

Durchschnittliche Bedienungszeit in Minuten (B6) und Sekunden (D6). Bitte positive Zahlen eintragen.

Eingabefeld B8:

Anzahl der im Moment zur Verfügung stehenden Kontrollspuren. Am Grenzübergang Świecko können maximal 4 Kontrollspuren zur Verfügung stehen. Bitte eine ganze Zahl zwischen 1 und 4 eintragen (*die Rechenformeln sind hier so erstellt, dass andere Werte zu unplausiblen Ergebnissen führen!*).

Es kann ebenfalls der Buchstabe „A“ eingetragen werden – in diesem Fall wird die für den jeweiligen Fall optimale Anzahl von Kontrollspuren ermittelt. (s. Feld B22)

Eingabefeld B43: (Beschreibung im Teil „überlastete Kapazität“)

Ausgabefelder:

3.2.1.1. Stabile Systeme (Zeilen 15-38)

Feld B16:

Hier wird die maximale Anzahl der LKW ermittelt, die – bei gegebener durchschnittlichen Bedienungszeit und gegebener Zahl der Kontrollspuren – pro Stunde bedient werden können.

Feld H16:

Hier wird die maximale Anzahl der LKW ermittelt, die – bei gegebener durchschnittlichen Bedienungszeit und maximal zulässigen Zahl der Kontrollspuren (d.h. unter der Annahme, dass alle vier Spuren tätig sind) – pro Stunde bedient werden können.

Feld B18:

Hier wird die prozentuale Kapazitätsauslastung des Wartesystems ermittelt. Wenn die Anzahl der ankommenden Fahrzeuge (Feld B4) die Kapazität (B16) übersteigt, dann beträgt die Kapazitätsauslastung mehr als 100%. In einem solchen Fall ist das Wartesystem instabil und überlastet.

Feld B22:

Hier wird die empfohlene Zahl der Kontrollspuren angegeben. Es wird nach der minimalen Zahl gesucht, bei der die Kapazitätsauslastung (B18) unter 98% liegt. Als Werte sind nur ganze zwischen 1 und 4 möglich.

Hinweis:

Falls die Kapazitätsauslastung (B18) über 100% beträgt, dann werden die Zeilen 27-38 ausgeblendet. In diesem Fall lassen sich nämlich keine Erwartungswerte für die Warteschlangenparameter ermitteln, d.h. sowohl die durchschnittliche Wartezeit, als auch die durchschnittliche Länge der Warteschlange $+\infty$ betragen. In solchen Situationen sollte man stattdessen Werte der Zeilen 41-64 untersuchen. („überlastete Kapazität“)

Feld B28:

Hier wird die durchschnittliche Länge der Warteschlange (*Anzahl der wartenden LKW*) berechnet.

Feld E28:

Hier wird die durchschnittliche Länge der Warteschlange in Metern angegeben. Diese Zahl bezieht sich auf beide Wartespuren!

Feld H28:

Da die LKW vor dem Grenzübergang Świecko auf zwei Autobahnspuren warten, wird hier die Zahl vom Feld E28 durch 2 geteilt. Somit lässt sich die Länge der Warteschlange pro Wartespur festlegen.

Feld B30:

Hier wird die durchschnittliche Zahl der z.Z. im Wartesystem befindlichen Fahrzeuge ermittelt. Es werden sowohl die wartenden, als auch die gerade bedienten LKW berücksichtigt.

Felder B34 und D34:

Hier wird die durchschnittliche Wartezeit in Minuten und Sekunden angegeben.

Felder B38 und D38:

Hier wird die durchschnittliche Verweildauer der Fahrzeuge im Wartesystem festgelegt.
(*Verweildauer = Wartezeit + Abfertigungszeit*).

Hinweis:

Die für die obigen Berechnungen verwendeten Formeln finden Sie in der Datei Swiecko_Kapazitätsanalyse.doc. Wie Sie bestimmt bemerkt haben, wurden im Schema einige Zeilen ausgeblendet. Diese Zeilen enthalten Hilfsrechnungen. Auf Wunsch können Sie zusätzliche Informationen diesbezüglich erhalten.

3.2.1.2. Instabile Systeme (Zeilen 41-64)

Bei überlasteten Systemen wird angenommen, dass der vorherige stabile Zustand des Systems bekannt ist. Es wird auf dieser Grundlage die ursprüngliche Länge der Warteschlange ermittelt. Nachdem die Kapazitätsauslastung die 100%-Schwelle überschritten hat, lassen sich keine durchschnittlichen Werte ermitteln. Es ist jedoch bekannt, dass sich die Warteschlange stets vergrößert. Daher lassen sich Aussagen zum Systemzustand in unterschiedlichen Zeitpunkten (z.B. nach 1, 2, 4, 6 und 10 Stunden) formulieren.

Eingabefeld B43:

Hier soll die vorherige prozentuale Kapazitätsauslastung eingetragen werden. Bitte eine positive Zahl zwischen 0 und 100% eintragen. Es kann behauptet werden, dass der Übergang vom stabilen System zum instabilen zügig verläuft - daher sind Werte zwischen 90% und 100% plausibel.

Feld B46:

Hier wird die vorherige Ankunftsrate anhand der gegebenen Kapazitätsauslastung (B43) ermittelt.

Feld B50:

Hier wird die neue Kapazitätsauslastung aus der Zelle B18 übernommen.

Felder B52 – B62:

Hier wird die Länge der Warteschlange:

- direkt vor der Überlastung der Kapazität
- nach Ablauf von 1, 2, 4, 6 und 10 Stunden ab der Überschreitung der 100%-Schwelle ermittelt

Felder E52 – E62:

Hier wird die jeweilige Länge der Warteschlange in Metern gezeigt. Diese Werte beziehen sich auf beide Wartespuren!

Felder H52 – H62:

Die Länge der Warteschlange pro Wartespur.

3.2.1.3. Hilfsrechnung für die Bedienungszeit

Es ist bekannt, dass die Abfertigung der Fahrzeuge aus der Europäischen Union deutlich weniger Zeit in Anspruch nimmt als bei den anderen LKW. Daher ist es sinnvoll, jeweils zwei Durchschnittswerte für die Bedienungszeit zu erfassen. Diese können in die Felder B17 und D71 in Sekunden eingetragen werden. Darüber hinaus müssen die prozentualen Anteile der aus den zwei geographischen Bereichen kommenden Fahrzeuge bekannt sein. Diese sollten in die Felder C71 und E71 angegeben werden.

Als Ergebnis erhält man eine gewogene Bedienungszeit in Sekunden im Feld B73.

3.2.2. DATEI: Swiecko_2Wartespuren.xls

In diesem Arbeitsblatt lässt sich die Länge der Warteschlange bei zwei unterschiedlichen Systemkonfigurationen vergleichen:

- Normalfall (1-4 Kontrollspuren, gemeinsame Abfertigung aller Fahrzeuge)
- Unterteilung der ankommenden Fahrzeuge in zwei Kategorien: „EU“ und „Non-EU“

3.2.2.1. Tabellenblatt „gemeinsame Abfertigung“

In diesem Blatt werden alle Parameter für den Fall einer gemeinsamen Abfertigung (d.h. ohne Unterteilung in zwei Kategorien) ermittelt. Es sind folgende Eingabefelder vorgesehen.

Eingabefeld B6:

Gesamtzahl der Fahrzeuge, die innerhalb einer Stunde zum Grenzübergang kommen. Bitte eine positive und ganze Zahl eintragen.

Eingabefeld B8:

Prozentualer Anteil der LKW, die aus der EU kommen. Bitte eine Zahl zwischen 0 und 100% eintragen.

Eingabefelder B10 und D10:

Durchschnittliche Bedienungszeit für die Fahrzeuge aus der Europäischen Union in Minuten (B10) und Sekunden (D10). Bitte positive Zahlen eintragen.

Eingabefelder B12 und D12:

Durchschnittliche Bedienungszeit für Fahrzeuge aus Drittländern (non-EU) in Minuten (B12) und Sekunden (D12). Bitte positive Zahlen eintragen. Um plausible Ergebnisse zu bekommen, sollte diese Bedienungszeit nicht kleiner sein als in den Zellen B10 und D10.

Eingabefeld B14:

Anzahl der im Moment zur Verfügung stehenden Kontrollspuren. Bitte eine ganze Zahl zwischen 1 und 4 eintragen (die Rechenformeln sind hier so erstellt, dass andere Werte zu unplausiblen Ergebnissen führen!)

Es kann ebenfalls der Buchstabe „A“ eingetragen werden – in diesem Fall wird die für den jeweiligen Fall optimale Anzahl von Kontrollspuren ermittelt. (s. Feld B28)

3.2.2.2. Tabellenblatt „nur EU“

In dieser Tabelle werden alle Parameter für den Fall berechnet, dass zwei getrennte Warteschlangen gebildet werden. Diese Werte beziehen sich dann nur auf die Fahrzeuge, die aus den Mitgliedstaaten der Europäischen Union kommen. Um einen Vergleich mit dem Standardfall zu ermöglichen, werden sämtliche Ausgangswerte werden aus der Tabelle „gemeinsame Abfertigung“ übernommen. Der Anwender kann lediglich die Anzahl der zur Verfügung stehenden Kontrollspuren für EU-Fahrzeuge bestimmen (Zelle B11 – bitte 1, 2 oder A eintragen!).

3.2.2.3. Tabellenblatt „non-EU“

In dieser Tabelle werden ebenfalls die Parameter unter der Annahme, dass zwei getrennte Warteschlangen gebildet werden, ermittelt. Sie beziehen sich aber ausschließlich auf die Fahrzeuge aus Drittländern. Um einen Vergleich mit dem Ursprungsfall zu ermöglichen, werden sämtliche Ausgangswerte werden aus der Tabelle „gemeinsame Abfertigung“ übernommen.

Der Anwender kann hier auch die Anzahl der zur Verfügung stehenden Kontrollspuren bestimmen. Falls der Buchstabe „A“ eingetragen wurde, wird diese Zahl automatisch ermittelt. Im Normalfall sind es 1 oder 2 Spuren.

Jedoch wird durch das Programm auch in Ausnahmefällen zugelassen, dass nur eine Spur für die EU-Fahrzeuge, daher aber 3 Spuren für sonstige LKW vorgesehen sind. Dies wird jedoch nur dann der Fall sein, wenn die Anzahl der Fahrzeuge aus der EU so niedrig ist, dass man nur eine Kontrollspur braucht und die Zahl der sonstigen Fahrzeuge so hoch, dass zwei Spuren nicht ausreichen. Diese Situation kann z.B. dann auftreten, wenn der Anteil der Fahrzeuge aus Nicht-EU-Staaten überdurchschnittlich hoch ist.

4. Getrennte Abfertigung von Fahrzeugen mit Fahrern aus der EU und aus Drittstaaten

4.1. Beschreibung, Berechnung, Interpretation des Vorschlages

Um Staus von Lastkraftwagen an der Autobahn zwischen Berlin und Frankfurt (Oder) zu reduzieren bzw. zu steuern, wäre die folgende Maßnahme denkbar: Einführung von getrennten Kontrollspuren für Fahrzeuge aus der Europäischen Union und außerhalb. So würden für jede Kategorie zwei Kontrollspuren zur Verfügung stehen. Die Fahrzeuge aus Drittländern würden die rechte Wartespur der Autobahn belegen und diejenigen, die aus der Europäischen Union kommen, die mittlere.

Diese Lösung hätte folgende Vorteile:

- Die Abfertigung der Fahrzeuge aus der EU (mit Fahrern, die die Staatsbürgerschaft eines EU-Staates besitzen) dauert im Schnitt deutlich kürzer, als bei den anderen LKW. So lässt sich vermuten, dass die mittlere Spur in meisten Fällen frei sein soll. Diese Tatsache lässt sich auch durch Berechnungen belegen.
- Es kann in diesem Fall mit positiven Lern- und Spezialisierungseffekten gerechnet werden. Da die jeweiligen Beamten bei der Dokumentenkontrolle nun weitgehend homogene Tätigkeiten durchführen würden, lässt sich behaupten, dass die durchschnittliche Abfertigungszeit somit *verkürzt* werden kann.

Als Nachteil dieser Lösung kann erwähnt werden, dass die Warteschlange der Fahrzeuge aus Drittländern im Schnitt länger (manchmal auch deutlich länger) wäre als im ursprünglichen Fall. Es kann auch häufiger zu Kapazitätsüberlastungen kommen, d.h. zu Situationen, bei denen in gegebenem Zeitraum mehr Fahrzeuge ankommen als abgefertigt werden können. Diese Aussage würde sich jedoch ausschließlich auf die rechte Wartespur der Autobahn beziehen.

Ein weiterer Nachteil wäre, dass es bei unterdurchschnittlichen Ankunftsahlen zu Kapazitätsverschwendungen kommen kann. Nimmt man an, dass in einer Stunde lediglich 50 Fahrzeuge kommen – dann würde im Normalfall nur eine Kontrollspur ausreichen. Falls die Fahrzeuge in zwei Kategorien unterteilt werden, dann sind zwangsweise mindestens zwei Kontrollspuren nötig. Es muss jedoch betont werden, dass solche Situationen sehr selten, vor allem nachts und an Feiertagen (an denen das Fahrverbot in beiden Ländern gilt) auftreten.

Die folgende Tabelle zeigt die Kapazitätsauslastung für unterschiedliche Ankunftsahlen. Es wird dabei angenommen, dass jeweils 68% der Fahrzeuge aus der Europäischen Union kommen. Die Abfertigung dieser LKW dauert *15 Sekunden*, für andere Fahrzeuge dagegen *90 Sekunden*. Ferner wird unterstellt, dass alle Kontrollspuren zur Verfügung stehen.

Tabelle 1:

<i>Ankunftsahl pro Stunde</i>	<i>Gemeinsame Abfertigung</i>	<i>Getrennte Abfertigung</i>	
	<i>Kapazitätsauslastung in % (4 Spuren)</i>	<i>Kapazitätsauslastung (Wartespur EU) in % (2 Spuren)</i>	<i>Kapazitätsauslastung (Wartespur Drittländer) in % (2 Spuren)</i>
50	13,54%	7,08%	20,00%
100	27,08%	14,17%	40,00%
150	40,63%	21,25%	60,00%
200	54,17%	28,33%	80,00%
250	67,71%	35,42%	100,00%
300	81,25%	42,50%	120,00%
350	94,79%	49,58%	140,00%
400	108,33%	56,67%	160,00%
450	121,88%	63,75%	180,00%
500	135,42%	70,83%	200,00%
550	148,96%	77,92%	220,00%
600	162,50%	85,00%	240,00%

Die Ergebnisse sind wie erwartet: im Vergleich zur ursprünglichen Lage bei getrennter Abfertigung ist die Kapazitätsauslastung jeweils höher auf der Wartespur für Fahrzeuge aus

Drittländern und niedriger auf der Spur für Fahrzeuge aus der EU. Außerdem kommt es auf der „Wartespur Drittländer“ deutlich schneller zur Kapazitätsüberlastung als im Normalfall.

Die untere Tabelle zeigt die Länge der Warteschlange für die gleiche Konfiguration. Bei den Ankunftsahlen, bei denen die Kapazität nicht überschritten worden ist, handelt es sich um die **durchschnittliche (erwartete) Länge der Warteschlange**. In anderen Fällen wird die prognostizierte Warteschlangenlänge nach **6 Stunden** ab dem Moment, als die 100%-Schwelle überschritten wurde (es wurde also unterstellt, dass es sich um keinen vorübergehenden, z.B. zweistündigen Engpass handelt), ermittelt und kursiv gezeigt.

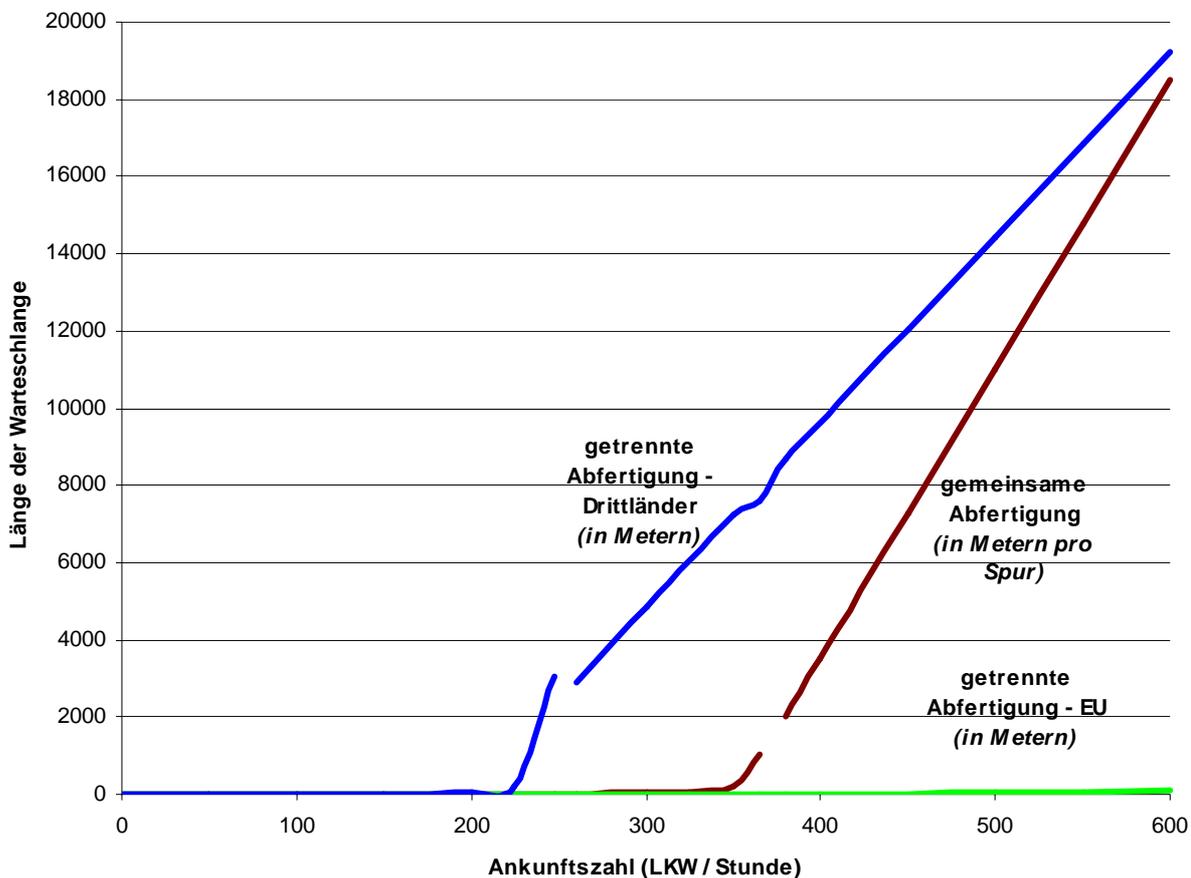
Die Länge der Warteschlange ist in Metern angegeben. Für den Fall einer gemeinsamen Abfertigung beziehen sich die Zahlen jeweils auf eine Wartespur der Autobahn – der Wert 10000 bedeutet also, dass die Warteschlange auf beiden Wartespuren je 10 Kilometer lang ist (die „Gesamtlänge“ wäre also 20 km). Bei getrennter Abfertigung wird die Länge der Warteschlange sowohl für die rechte (Drittländer), als auch für die linke Wartespur (EU) angegeben.

Tabelle 2:

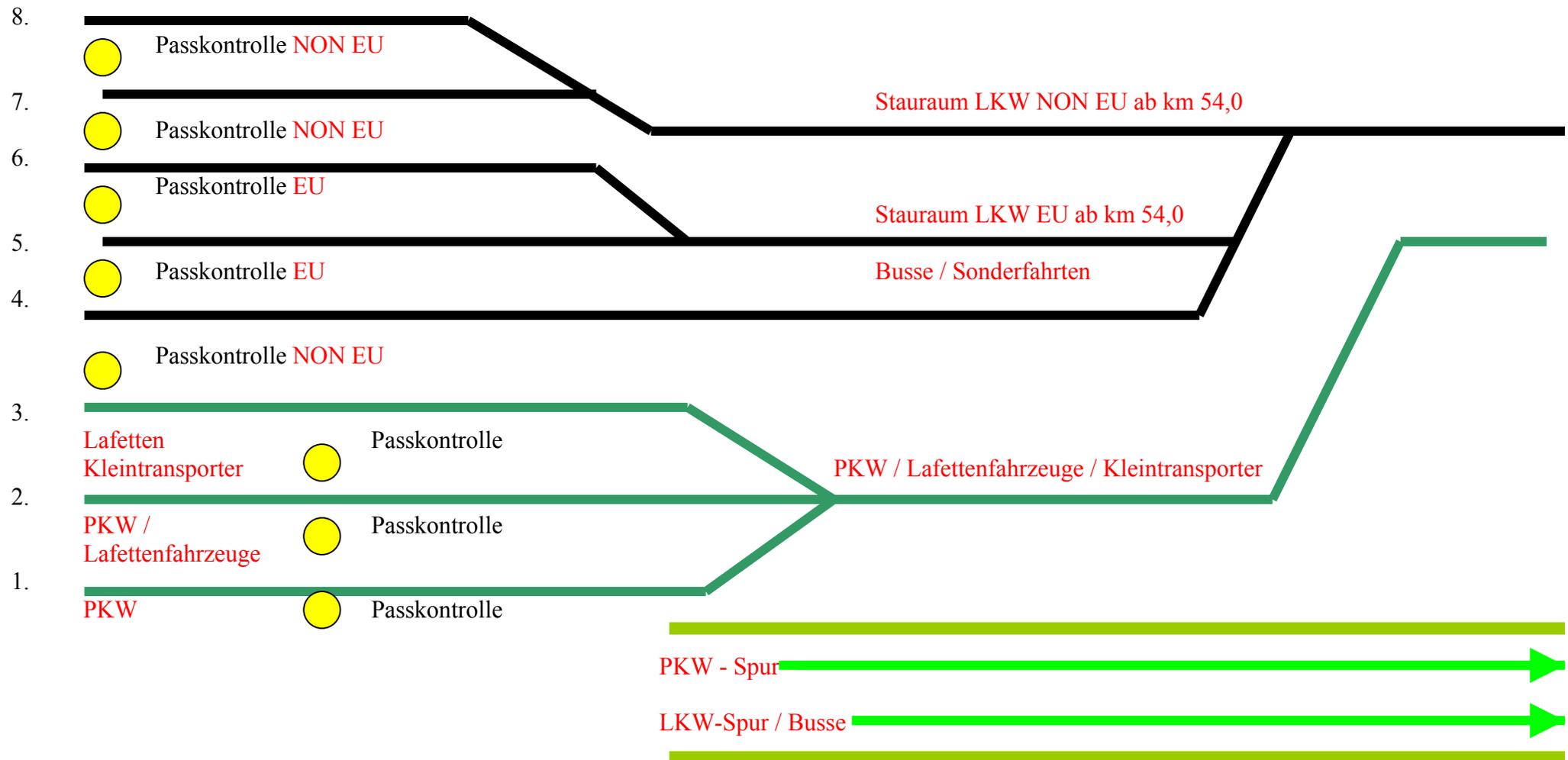
<i>Ankunftsahl pro Stunde</i>	<i>Gemeinsame Abfertigung</i>		<i>Getrennte Abfertigung</i>	
	<i>Länge der Warteschlange auf jeder Wartespur (in Metern)</i>	<i>Länge der Warteschlange - Wartespur EU (in Metern)</i>	<i>Länge der Warteschlange - Wartespur Drittländer (in Metern)</i>	
50	0	0	0	
100	0	0	4	
150	1	1	17	
200	3	1	71	
225	6	2	192	
248	10	2	3063	
260	13	3	2918	
300	34	5	4838	
325	69	6	6038	
350	202	8	7238	
365	1051	9	7598	
380	2018	11	8678	
400	3518	13	9638	
450	7268	22	12038	
500	11018	36	14438	
550	14768	60	16838	
600	18518	111	19238	

Diese Werte lassen sich auch in Form eines Diagramms erstellen (die Unterbrechungen der Kurven treten dort auf, wo die Kapazitätsauslastung die Schwelle von 100% überschreitet – ab dieser Schwelle wird nicht mehr die durchschnittliche Länge der Warteschlange gezeigt, sondern die prognostizierte Länge nach 6 Stunden ab dem Eintritt des jeweiligen Zustandes).

Länge der Warteschlange in Abhängigkeit von der Ankunftsanzahl



4.2. Das Modell – Aufteilung der acht Fahrspuren / Ausreise



Unter Berücksichtigung der ermittelten Werte der Verkehrsmengen der Fahrzeuge, der vor Ort gegebenen Infrastruktur und der Abfertigungsregime werden folgende organisatorische Maßnahmen für die Nutzung der vorhandenen autobahnbaulichen und abfertigungstechnischen Substanz vorgeschlagen, die überschaubare Investitionen erfordern und die auch nach dem Beitritt Polens zum Schengen Abkommen (möglich 10/2007) noch ihren Nutzen haben.

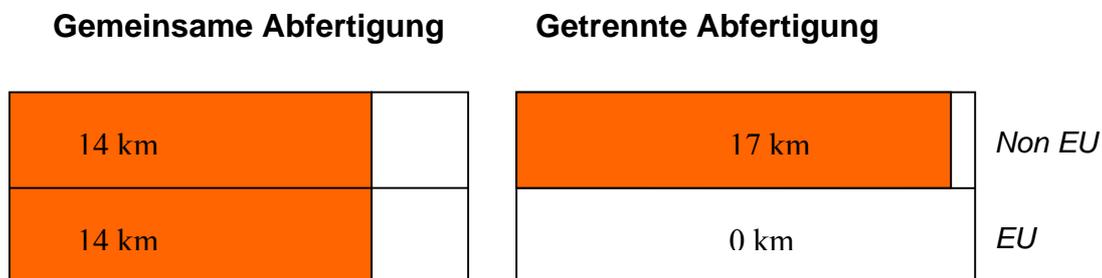
1. Trennung der Ausreisespuren für Schwerverkehr / Bußverkehr / Sonderverkehr von Individualverkehr (PKW, Kleinbusse und Lafetten) durch Umleitung dieses Verkehrsstromes am km 54,0 auf die Gegenfahrbahn der BAB A12.
2. Trennung des Schwerverkehre nach Herkunft der Fahrer in EU-Bürger und Bürger eines Drittstaates. Das führt zu zwei Spuren ab km 54,0.
3. Einrichtung der Passkontrolle für „EU“ und „Non EU“ auf je zwei Kontrollspuren und Organisation der Abfertigung je nach Anzahl der ankommenden Fahrzeuge.
4. Aufbau eines intelligenten Verkehrsleitsystems zur Steuerung der Verkehrsströme in Abhängigkeit von der Verkehrsdichte ab km 54,0.
5. Grundlage für die intelligente Steuerung der Verkehrsströme sollte eine Vernetzung der bereits vorhandenen Erfassungen mit den zukünftigen erforderlichen Überwachungs- und Sicherungsaktivitäten in einer Leitzentrale sein, die möglicherweise bei der Bundespolizei angesiedelt ist.

4.3. Schlussfolgerungen zu den aufgeteilten Abfertigungsspuren

Die obige Rechnung zeigt deutlich, dass die Einführung einer getrennten Abfertigung tatsächlich eine Autobahnspur entlasten würde. Die Warteschlange auf der linken Wartespur (EU-Fahrzeuge) wäre bei allen Konstellationen sehr kurz. Problematisch wäre die Warteschlange auf der rechten Wartespur (Drittländer) – hier kommt es deutlich früher zur Kapazitätsüberlastung (d.h. zu der Situation, in der sich die Warteschlange nur ständig vergrößert). Andererseits kann man bei sehr großen Ankunftsahlen beobachten, dass diese Maßnahme gute Ergebnisse liefert. So ist z.B. bei einer stündlichen Ankunftsanzahl von **550 Fahrzeugen nach 6 Stunden** im Falle einer gemeinsamen Abfertigung mit einer Warteschlangenlänge von ca. **14 Kilometer auf beiden Wartespuren** zu rechnen. Nach der Einführung einer getrennten Abfertigung gäbe es in diesem Fall nur wenige wartenden

Fahrzeuge auf der linken Spur (EU), und Warteschlange auf der rechten Spur hätte ca. **17 Kilometer**, also nicht viel mehr als im Ursprungsfall.

Die untere Zeichnung macht es deutlich.



Aus Flexibilitätsgründen ist zu empfehlen, dass die Unterteilung der Fahrzeuge in zwei Kategorien nur dann vorgenommen werden soll, wenn es tatsächlich zu größeren Wartezeiten kommt. Außerdem muss betont werden, dass die Zahl von Kontrollspuren für jede Kategorie von Fall zu Fall unterschiedlich sein sollte. So ist z.B. zu raten, dass im Falle eines überdurchschnittlich hohen Anteils von Fahrzeugen aus Drittländern diese an drei Kontrollspuren bedient werden und die EU-Fahrzeugen lediglich an einer.

4.4. Beispielrechnung

Es wird auf die Werte aus den Tabellen 1 und 2 zurückgegriffen. Früher wurde unterstellt, dass beiden Gruppen der Fahrzeuge jeweils zwei Kontrollspuren zur Verfügung stehen. Bei einer Ankunftsanzahl von **300 LKW pro Stunde** liegt die Kapazitätsauslastung bei der Abfertigung der EU-Fahrzeugen unter 50% (sie beträgt 42,50%), wogegen bei der anderen Gruppe überschreitet diese Kennzahl 100%. Die Warteschlange auf der rechten Wartespur wäre betrage fast **5 Kilometer!**

Nun werden die Fahrzeuge **aus der EU nur auf einer Kontrollspur** abgefertigt würden und die **aus anderen Ländern – auf übrigen drei Kontrollspuren**. Die Kapazitätsauslastung bei der Kontrolle der EU-Fahrzeuge betrage 85% und die durchschnittliche Länge der Warteschlange - 5 LKW. Bei der Abfertigung sonstiger LKW läge die Kapazitätsauslastung unter 100% (d.h. sie wäre gleich 80%) und die Anzahl der wartenden LKW betrage 3. *Somit wären beide Wartespuren entlastet!*

5. Zusammenfassung

Es ist ersichtlich, dass die dargestellte Lösung sowohl Vorteile, als auch Nachteile aufweist. Daher sollte sie nur in Abhängigkeit vom gestellten Ziel eingesetzt werden. Wenn die Zielstellung ist, eine Autobahnspur zu entlasten, so eignet sich diese Lösung sehr gut. Falls jedoch eine Erhöhung der Gesamtkapazität des Grenzüberganges angestrebt ist, dann wird diese Kategorisierung auf Basis der angesetzten Abfertigungszeiten bei „NON EU“ Kontrollen keine besseren Ergebnisse bringen.

Es muss betont werden, dass der Umfang der Kontrolltätigkeiten am Grenzübergang Świecko nach dem EU-Beitritt Polens auf das notwendige Minimum beschränkt wurde. So besteht nun nur wenig Spielraum für eine Verbesserung des Wartesystems.⁴ Jedoch sind noch andere Möglichkeiten denkbar, wie z.B. unterschiedliche Vorbereitungsmaßnahmen im Vorfeld zum Beitritt Polens zum Schengen-Raum. Eine von diesen Maßnahmen wäre ein vollständiger Verzicht auf Ausreisekontrollen, d.h. jede Person wird beim Grenzübertritt nur von den Beamten des Einreiselandes kontrolliert. Diese Situation hat man bereits an den Grenzen zwischen Österreich / Slowenien, Lettland / Estland und teilweise Polen / Tschechien oder Deutschland / Schweiz (die gar kein Mitglied der Europäischen Union ist). Es spricht wenig gegen eine solche Vereinfachung der Personenkontrollen an der deutsch-polnischen Grenze. Jedoch ist hierfür der politische Wille notwendig – der erste Schritt gehört den zuständigen Ministerien der Regierungen beider Staaten.

Literatur:

- Gross, D.; Harris, C.M.: „*Fundamentals of Queueing Theory*“, Second Edition, John Wiley and Sons Inc., New York u.a., 1985.
- Kolanowski, K.: „*Wartezeitanalyse bei der Abfertigung am Grenzübergang Kukuryki – Koslowitschi (Polen – Belarus)*“, Diplomarbeit an der Europa-Universität Viadrina, Frankfurt (Oder), 2002.
- Nelson, R.: „*Probability, Stochastic Processes, and Queueing Theory*“, Springer-Verlag, New York u.a., 1995.
- Prabhu, N.U.: „*Foundations of Queueing Theory*“, Kluwer Academic Publishers, Boston, 1997.
- Prabhu, N.U.: „*Stochastic Storage Processes - Queues, Insurance Risks, Dams and Data Communication*“, Second Edition, Springer, New York, 1998.

⁴ In anderen Fällen könnte eine deutliche Reduzierung der Wartezeit alleine durch Zusammenlegung mehrerer bisher unabhängiger Tätigkeiten bzw. Verzicht auf unnötige Prozeduren erreicht werden. Siehe dazu Kolanowski (2002).