

# Simulation eines Verkehrsnetzes mit GPSS/H

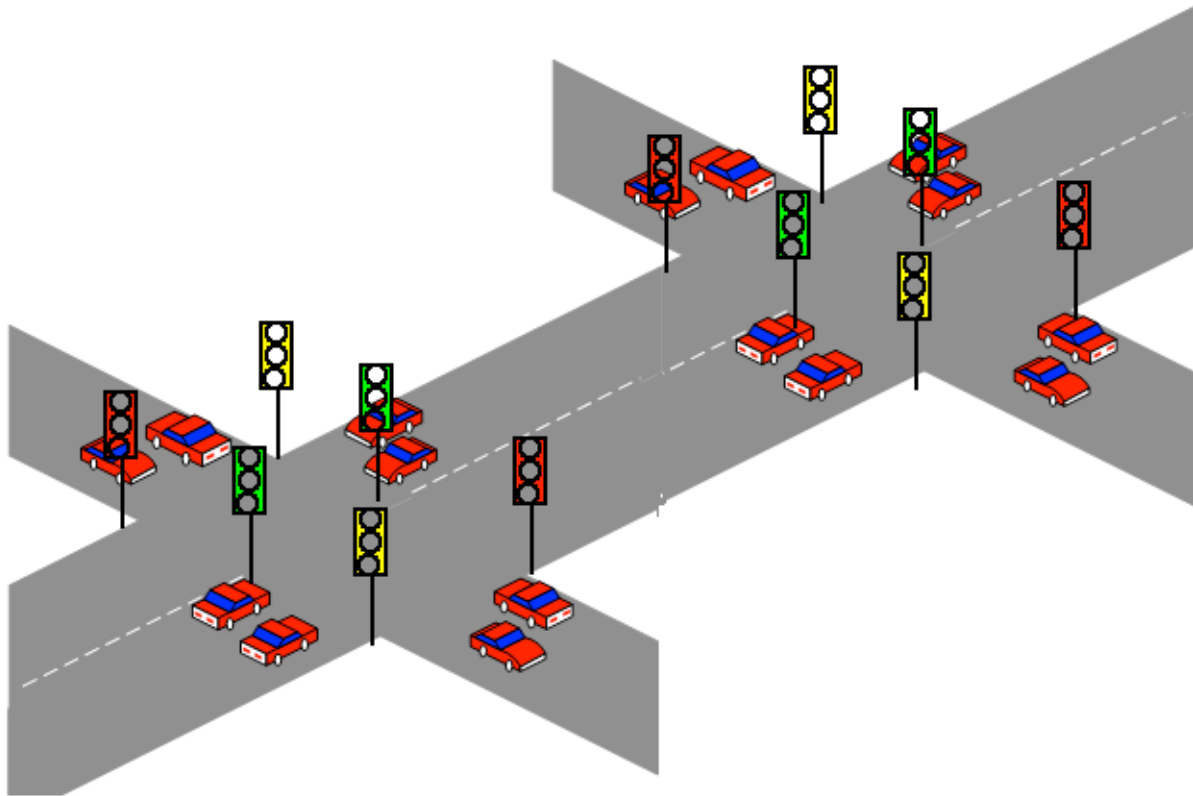


von  
**Andreas Lennartz**, Matrikelnr.: **164580**



## Zielsetzung und Projektbeschreibung

Ziel unseres Projektes war die Simulation von zwei aufeinanderfolgenden Ampelkreuzungen einer Hauptverkehrsstraße:



Für die Autos, die von rechts oben bzw. von links unten kommen, gingen wir von einer einspurigen Fahrspur aus, bei der aber zu den Ampeln ein Linksabbiegerstreifen hinzukam. Für die Autos von unten rechts bzw. oben links nahmen wir nur eine einspurige Fahrspur ohne zusätzlichen Linksabbieger an.

Die Ziele unseres Projektes waren wie folgt:

- 1) Möglichst reale Nachbildung einer bestehenden Ampelkreuzung
- 2) Optimierung der Ampelschaltung, sodass die Wartezeiten vor der Ampel möglichst gering wird

Bei der Umsetzung dieser Ziele traten allerdings größere Probleme auf

- 1) Zuerst versuchten wir, realistische Werte zu bekommen. Wir setzten uns mit der Stadt Fulda/Büro Verkehrsplanung/Herrn Thaler in Verbindung. Dieser sicherte uns mehrmals telefonisch zu, er würde uns Daten aus einer letzten Verkehrszählung zukommen lassen, was allerdings leider bis heute noch nicht passiert ist. Somit mussten wir mit angenommenen Werten arbeiten.

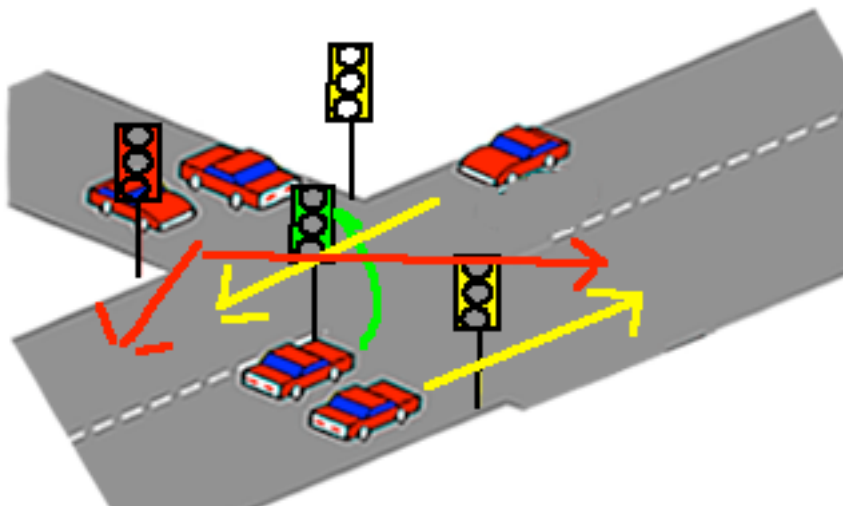


- 2) Anschließend wollten wir die komplette Kreuzung in GPSS/H umsetzen (die einzelnen Teile des Programms werden noch zu einem späteren Zeitpunkt näher erläutert). Zuerst programmierten wir die Ampelschaltung, danach unterteilten wir die Kreuzung wie folgt: oberer, unterer, linker und rechter Teilabschnitt. Dann programmierten wir den linken, den rechten, den oberen und hatten auch schon den unteren fertig programmiert, als der Compiler der GPSS/H Student Version leider die folgende Meldung ausgab:  
„STUDENT VERSION IS LIMITED TO 125 BLOCKS  
LIMITS OF STUDENT VERSION EXCEEDED – RUN TERMINATED”

Somit mussten wir unser Programm kürzen, unseren Projektentwurf umstellen und das Gesamtprojekt überarbeiten. (Aus diesem Grund sind in unserem Programmcode noch Teile enthalten, die wir nur auskommentiert hatten und eigentlich für den unteren Teil der Kreuzung vorgesehen waren.)

Es ergab sich eine neue Zielsetzung, bedingt aus den Einschränkungen des Compilers:

- 1) Nachbildung einer bestehenden T-Kreuzung mit Ampeln (s. Bild)
- 2) Optimierung der Ampelschaltung, so dass die Wartezeiten vor der Ampel möglichst gering werden



Durch die genannte Einschränkung stellten wir eine Ampel-T-Kreuzung dar, und optimierten deren Schaltung. (Im weiteren Verlauf dieses Textes werden zunächst die Eingangsdaten behandelt, danach die programmtechnische Umsetzung und dann der eigentliche Kern unseres Projektes, sowie die erhaltenen Simulationsdaten mit der optimierten Ampelschaltung.)



## Eingangsdaten und Modellbeschreibung

Autos erreichen die T-Kreuzung von:

- Links alle 12 +/-3 sec.
- Rechts alle 10 +/-2 sec.
- Oben alle 17 +/-4 sec.

Autos, die von links kommen, wollen auch mit einer Wahrscheinlichkeit von 10% links abbiegen und ordnen sich auf dem Linksabbieger ein.

Autos die von oben kommen, biegen mit einer Wahrscheinlichkeit von 50% rechts bzw. links ab.

Wenn ein Auto die Kreuzung überqueren will, so dauert dies auch unterschiedlich lange, je nachdem, ob es grün oder rot hatte. Je Spur kann nur ein Auto auf die Kreuzung (Linksabbieger haben eine eigene Spur auf der Kreuzung).

Sollte ein Auto in der Schlange vor sich noch mehr als drei weitere Autos haben, so wird angenommen, es stehe ebenfalls vor einer roten Ampel. Dadurch soll simuliert werden, dass das Auto, sollte es grün haben und kein weiteres Auto vor sich, ohne Verzögerung durchfahren, es allerdings erst abbremsen und anfahren muss, wenn es grün hat aber noch eine Autoschlange vor sich. (Die natürlich eine kumulative Zeit braucht, sich über die Kreuzung zu bewegen.)

Die Zeiten sind:

- 4 sec. für eine Rote Ampel oder eine Schlange von mehr als drei Autos
- 1 sec. bei einer grünen Ampel mit einer Schlange von weniger als drei Autos.

Erscheint 1 sec. bei einer grünen Ampel und einer Schlange von ein oder zwei Autos auf den ersten Blick noch recht wenig, so muss berücksichtigt werden, dass bei Überquerung der Ampel die Autos vor dem anfahrenden Auto ebenfalls 1 sec. zum überqueren brauchen, sodass sich bei einer grünen Ampel und einer Schlange von 2 Autos eine Wartezeit von 3 sec. ergibt.

Zusätzlich gibt es eine zusätzliche Wartezeit für Links- und Rechtsabbieger.

- Rechtsabbieger brauchen 1 sec. länger
- Linksabbieger brauchen 2 sec. länger



Die Ampelschaltung, nach welcher die Rot, Grün bzw. Gelb-Phase geschaltet wird, hatte folgenden Zeiten, mit denen wir zuerst statisch gearbeitet haben, die danach aber zu Optimierungszwecken dynamisch zur Laufzeit verändert werden können

- Grünphase für die obere Ampel von 50 sec.
- 5 sec. Gelbphase für alle Ampeln
- Grünphase für die linke und rechte Ampel von 60 sec.
- 5 sec. Gelbphase für alle Ampeln
- 20 sec. Grünphase für die Linksabbieger des linken Kreuzungsteil
- 5 sec. Gelbphase für alle Ampeln

Danach beginnt die Schaltung wieder von vorne, sie dauert somit insgesamt 145 sec. Ist eine Ampel in einer Grünphase, sind alle anderen Ampeln für den Querverkehr auf rot. In der Gelbphase ist kein Verkehr zugelassen.

*Zunächst hatten wir noch mehr Kriterien für eine „normale“ Kreuzung, diese wurden allerdings für die T-Kreuzung hinfällig.*

Da das modellierte System zu Beginn der Simulation noch leer ist und um Verfälschungen zu vermeiden, gibt es eine sogenannte „Warmlaufphase“, da am Anfang der Simulation das System noch nicht richtig ausgelastet ist. Dies bedeutet, dass die Simulation zuerst ein Stunde läuft, dann aber alle bisher gesammelten Werte verworfen und die Simulation mit dem aktuellen Zustand weiterläuft. Somit können bessere Durchschnittswerte ermittelt werden.

Im weiteren ließen wir zuerst eine Simulation über 2 Stunden ablaufen, bei der allerdings die Ampelschaltung nicht verändert wurde. (Name: Gabel1)  
Anschließend ließen wir einer weitere Simulation ablaufen, bei der es wieder eine Stunde Warmlaufphase gab, danach eine Optimierungsphase von 10 Stunden, bei der die Ampelschaltung optimiert wurde, gefolgt von weiteren 2 Stunden „normale“ Simulation.



## Beschreibung des Programms:

Beiliegend gibt es zwei Programmteile, Gabel1 und Gabel2. Gabel1 arbeitet mit einer statischen Ampelschaltung, Gabel2 mit einer zur Laufzeit veränderten Schaltung.

An dieser Stelle wird verzichtet, auf Einzelheiten der Programme einzugehen, da der Code an sich recht ausführlich kommentiert und mit den obigen Vorwissen relativ verständlich ist. Es werden hier nur ein paar grundsätzliche Anmerkungen zum allgemeinen Verständnis gemacht, ohne ins Detail gehen zu wollen.

Jede Transaktion stellt ein Auto dar, welche gleichzeitig in verschiedenen GENERATE-Blöcken erstellt werden. Jeder dieser Blöcke stellt auch gleichzeitig die Richtung dar, aus welcher das Auto die T-Kreuzung erreichen soll.

Die Ampelschaltung ist ein eigener Abschnitt mit einem GENERATE und TERMINATE, wobei hier die Transaktion eine komplette Schaltung aller Ampeln darstellt. Die Ampeln selber sind als GATES realisiert worden, sodass bei roter Ampel die Autos von diesem GATE blockiert werden. Ist das GATE durchlässig, so müssen die Autos erst eine FACILITY durchqueren, mit der erreicht werden soll, dass nur ein Auto pro Spur über die Kreuzung fahren kann. Die Wartezeit in dieser FACILITY ergibt sich daraus, ob das Auto die Ampel bei grün (und einer Schlange von weniger als drei Autos) oder bei rot erreicht hat.

Um den zeitlichen Ablauf des Programms besser steuern zu können, gibt es einen zusätzlichen Block, bestehend aus den folgenden zwei Statements:

```
GENERATE 60
```

```
TERMINATE 1
```

Dieser Block bewirkt, dass in der START 60-Anweisung 3600 sec., also 1 Stunde lang simuliert wird.

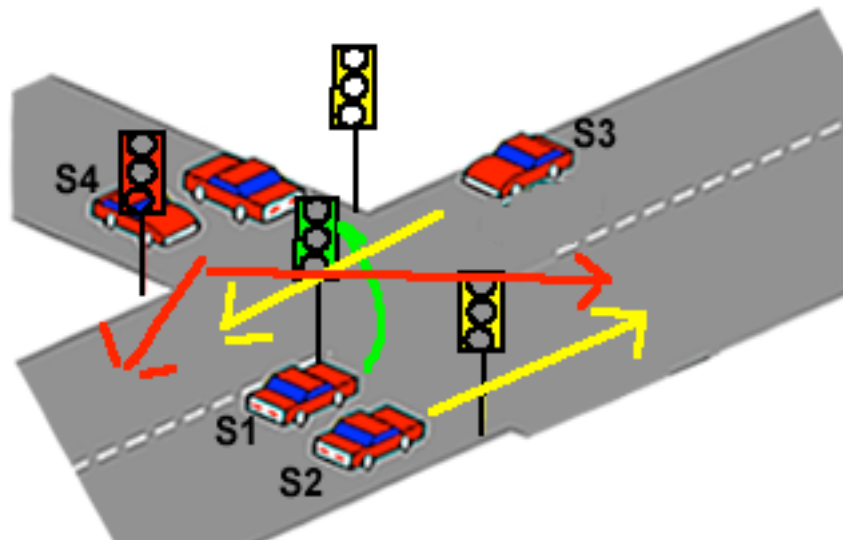
Die beiden Programme Gabel1 und Gabel2 unterscheiden sich prinzipiell nur in ihren Control Statements. In Gabel1 sind die Zeiten für die Ampelschaltung festgelegt, in Gabel2 werden die Zeiten bzw. die Variablen, in denen die Zeiten gespeichert und abgefragt werden, beim ausführen des Programms verändert. Diese Veränderung richtet sich nach der durchschnittlichen Wartezeit eines Autos vor einer Ampel: Alle 10 min werden die durchschnittlichen Wartezeiten an dem Ampeln überprüft. Bei einer hohen Wartezeit kriegt die zu diesem Teil der Kreuzung gehörende Ampelschaltung eine um 1sec. verlängerte Grünphase; entsprechend wird bei einem anderen Teil der Kreuzung die Rotphase um 1sec. verlängert. Nach 10 Std. ist diese Optimierungsphase abgeschlossen, danach werden für 2 Stunden die Ausgangsdaten gesammelt.



## Ausgangsdaten:

Die kompletten GPSS/H Ausgangsdaten sind im Anhang zu finden. In diesem Teil findet die Analyse und Auswertung dieser Daten statt.

Es folgt eine Auswertung des Programms **Gabel1** (feste Schaltung) und **Gabel2** (optimiert).



Aus der Simulation Gabel2 ergaben sich zunächst neue Zeiten für die Ampelschaltung. Diese lauten wie folgt:

- Grünphase für die obere Ampel von 50 sec.
- 5 sec. Gelbphase für alle Ampeln
- Grünphase für die linke und rechte Ampel von 46 sec.
- 5 sec. Gelbphase für alle Ampeln
- 34 sec. Grünphase für die Linksabbieger des linken Kreuzungsteil
- 5 sec. Gelbphase für alle Ampeln

Somit ist die Ampel für Linksabbieger 14 sec. Länger geschaltet, die anderen Ampeln haben sich ebenfalls stark verändert.

Im folgenden werden immer zwei ähnliche Tabellen untereinander abgebildet – erstere steht für die vorherige Ampelschaltung, die zweite gibt die veränderten Werte für die verbesserte Schaltung wieder.



Folgende Ergebnisse erhielten wir für die Autoschlangen **S1**, **S2**, **S3** und **S4**:

*Tabelle 1:*

	Max. Länge	Durschn. Anzahl Autos	Totale Anzahl durchgefahrener Autos	Bei grün durchgef. Autos (in %)	Durschn. Wartezeit pro Auto [sec.]	Durschn. WZ ohne durchgef. Autos pro Auto
Schlange						
<b>S1</b>	11	4,483	802	99 (12,3%)	40.2	46
<b>S2</b>	5	0,895	99	7(7,1%)	65,1	70
<b>S3</b>	12	5,511	902	67(7,4%)	44	47,5
<b>S4</b>	7	3,007	483	25(5,2%)	44.8	47,2

	Max. Länge	Durschn. Anzahl Autos	Totale Anzahl durchgefahrener Autos	Bei grün durchgef. Autos (in %)	Durschn. Wartezeit pro Auto [sec.]	Durschn. WZ ohne durchgef. Autos pro Auto
Schlange						
<b>S1</b>	9	3,22	548	70(12,8%)	42,3	48,5
<b>S2</b>	3	0,36	50	6(12%)	52	59
<b>S3</b>	11	4,87	728	38(5,2%)	48,1	50,8
<b>S4</b>	7	2,71	420	20(4,8%)	46,5	48,8

*Tabelle 1* gibt die eigentlich Auslastung der Kreuzung wieder. Zu jeder Schlange ist jeweils dargestellt:

- die maximale Länge jeder Autoschlange –
- die durchschnittliche Anzahl an Autos in der Schlange
- die totale Anzahl an Autos, die die Schlange durchlaufen haben
- Anzahl der Autos, die ohne zu warten die Kreuzung passieren konnten
- Die durchschnittliche Wartezeit, die ein Auto in der Schlange warten musste, einmal inklusive der Anzahl der bei grün durchgefahrenen Autos sowie einmal exklusive der Anzahl bei grün durchgefahrenen Autos.





*Tabelle 2:*

<b>Wartezeit- Intervall</b>	<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>S3</b>	<b>S4</b>
0 bis 9.9	7	99	67	25
10 bis 19.9	3	67	68	47
20 bis 29.9	9	54	71	42
30 bis 39.9	6	72	71	42
40 bis 49.9	5	76	72	52
50 bis 59.9	5	94	121	56
60 bis 69.9	7	103	124	50
70 bis 79.9	7	96	128	52
80 bis 89.9	3	99	129	55
mehr als 90	45	36	42	61

<b>Wartezeit- Intervall</b>	<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>S3</b>	<b>S4</b>
0 bis 9.9	6	70	38	20
10 bis 19.9	4	43	51	46
20 bis 29.9	2	43	57	31
30 bis 39.9	1	46	53	36
40 bis 49.9	3	57	75	42
50 bis 59.9	5	48	84	45
60 bis 69.9	5	56	92	46
70 bis 79.9	4	55	83	42
80 bis 89.9	7	54	83	37
mehr als 90	11	75	111	72



*Tabelle 3:*

Wartezeit- Intervall	Wartezeit in %			
	S1	S2	S3	S4
0 bis 9.9	7,22%	12,44%	7,50%	5,19%
10 bis 19.9	3,09%	8,42%	7,61%	9,75%
20 bis 29.9	9,28%	6,78%	7,95%	8,71%
30 bis 39.9	6,19%	9,05%	7,95%	8,71%
40 bis 49.9	5,15%	9,55%	8,06%	10,79%
50 bis 59.9	5,15%	11,81%	13,55%	11,62%
60 bis 69.9	7,22%	12,94%	13,89%	10,37%
70 bis 79.9	7,22%	12,06%	14,33%	10,79%
80 bis 89.9	3,09%	12,44%	14,45%	11,41%
mehr als 90	46,39%	4,52%	4,70%	12,66%

Wartezeit- Intervall	Wartezeit in %			
	S1	S2	S3	S4
0 bis 9.9	12,50%	12,80%	5,23%	4,80%
10 bis 19.9	8,33%	7,86%	7,02%	11,03%
20 bis 29.9	4,17%	7,86%	7,84%	7,43%
30 bis 39.9	2,08%	8,41%	7,29%	8,63%
40 bis 49.9	6,25%	10,42%	10,32%	10,07%
50 bis 59.9	10,42%	8,78%	11,55%	10,80%
60 bis 69.9	10,42%	10,24%	12,65%	11,03%
70 bis 79.9	8,33%	10,06%	11,42%	10,07%
80 bis 89.9	14,58%	9,87%	11,42%	8,87%
mehr als 90	22,91%	13,71%	15,27%	17,26%

*Tabellen 2 und 3* geben die Verteilung der unterschiedlichen Wartezeit-Intervallen wieder. In *Tabelle 2* wird dabei die Anzahl der Autos angegeben, die jeweils 0 bis 9,99 sec, 10 bis 19,99 sec usw. warten mussten. In *Tabelle 3* sind diese Werte dann in Prozent angegeben.



*Tabelle 4*

<i>Anzahl Autos in Schlange</i>	<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>S3</b>	<b>S4</b>
0	48	161	122	90
1	33	55	57	59
2	11	58	52	83
3	4	66	62	84
4	2	76	68	73
5		94	92	73
6		87	103	17
7		87	98	
8		57	106	
9		43	96	
10 oder mehr		17	46	

<i>Anzahl Autos in Schlange</i>	<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>S3</b>	<b>S4</b>
0	36	129	93	85
1	12	63	53	72
2	2	65	52	70
3		69	69	73
4		74	86	70
5		64	86	45
6		53	81	1
7		24	85	
8		3	86	
9			30	
10 oder mehr			1	



*Tabelle 5*

<i>Anzahl Autos in Schlange</i>	S1	S2	S3	S4
0	49,0%	20,1%	13,5%	18,8%
1	33,7%	6,9%	6,3%	12,3%
2	11,2%	7,2%	5,8%	17,3%
3	4,1%	8,2%	6,9%	17,5%
4	2,0%	9,5%	7,5%	15,2%
5		11,7%	10,2%	15,2%
6		10,9%	11,4%	3,5%
7		10,9%	10,9%	
8		7,1%	11,8%	
9		5,4%	10,6%	
10 oder mehr		2,1%	5,1%	

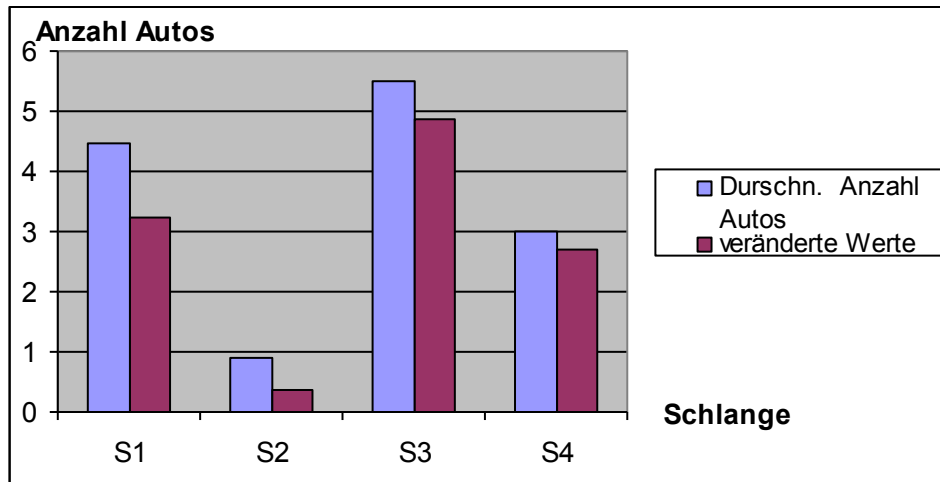
<i>Anzahl Autos in Schlange</i>	S1	S2	S3	S4
0	72,00%	23,71%	12,89%	20,43%
1	24,00%	11,58%	7,34%	17,31%
2	4,00%	11,95%	7,20%	16,83%
3		12,68%	9,56%	17,55%
4		13,60%	11,91%	16,83%
5		11,76%	11,91%	10,81%
6		9,74%	11,21%	0,24%
7		4,41%	11,77%	
8		0,55%	11,91%	
9			4,15%	
10 oder mehr			0,14%	

*Tabelle 4 und 5* zeigen die Verteilung der Warteschlangenlängen. So war z.B. die Warteschlange S1 (linker Teil der Kreuzung, Linksabbiegerspur) mit einer Häufigkeit von 11,2% 2 Autos lang.

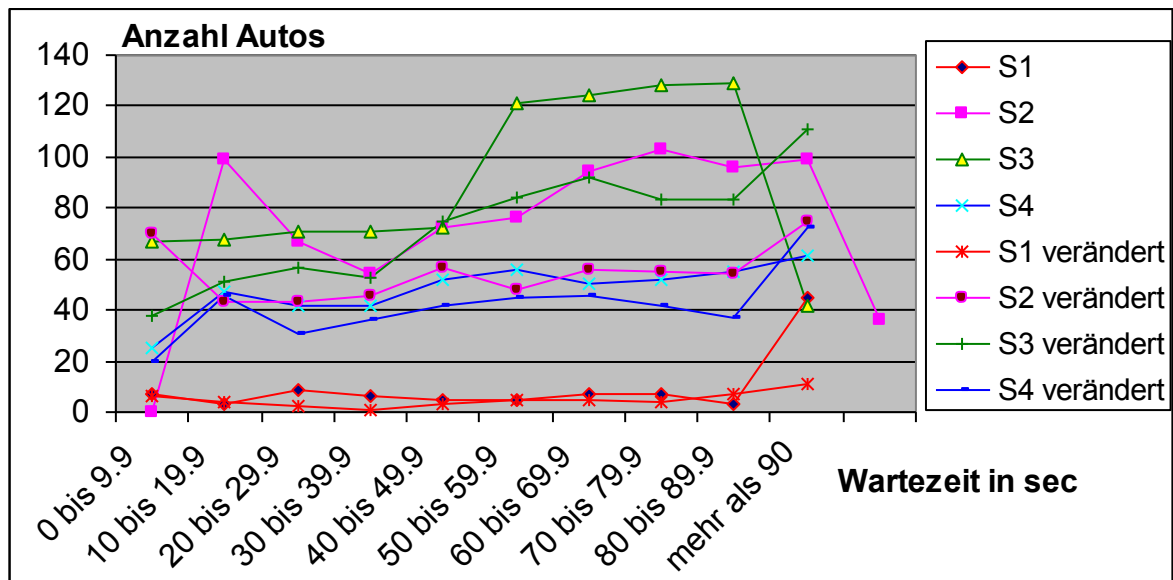


## Grafische Auswertung der Ergebnisse:

Durch die Verbesserung der Ampelschaltung ergibt sich die folgende durchschnittliche Länge der Warteschlangen:



Insgesamt ist ebenfalls zu erkennen, dass die durchschnittliche Wartezeit vor den Ampeln durch die Verbesserung gesunken ist. Dies wird auch im folgenden Diagramm deutlich:





## Fazit:

Aufgrund der Beschränkungen der Student Version konnten wir keine zwei aufeinander folgende Vollkreuzungen erstellen, sondern „nur“ eine T-Kreuzung simulieren. Doch schon diese T-Kreuzung hatte es in sich – allein die Programmierung des Algorithmus zur Optimierung der Schaltung war sehr zeitintensiv und komplex. Wie aus unseren Ergebnissen ersichtlich ist, haben wir die Kreuzung relativ realitätsnah programmieren können und ebenso realitätsnahe Ergebnisse erhalten. So zeigen unsere Tabellen und Diagramme, dass eine Ampelschaltung, wenn sie verbessert wird, noch lange nicht bewirkt, dass Fahrzeuge jederzeit durchfahren können; nur die Verteilung der durchschnittlichen Wartezeiten auf die einzelnen Spuren wird „fairer“ – die Wartezeiten für die einzelnen Spuren werden im Prinzip einfach nur anders verteilt.