

# Recherche und praktische Untersuchung über die Ausbreitung von Verspätungen in einem öffentlichen Verkehrsnetz als Folge einer Störung

## Bachelor's Thesis von Lukas Erkurt

### Mentor(in/innen/en):

Dr.-Ing. Antonios Tsakarestos  
Frederik R. Bachmann M.Sc.

FLIGHT	STD	AREA	Destination	GATE	REMARKS
HU7547	14:05	E, F	南昌Nanchang	B10	Cancelled
GA4706	14:30	E, F	合肥Hefei	B	Cancelled
GS7676	14:35	E, F	乌鲁木齐Urumqi	B	Cancelled
GS7676	14:35	E, F	赣州Ganzhou	B	Cancelled
GS7676	14:35	E, F	西安Xi'an	B	Cancelled
SC4694	15:35	E, F	天津Tianjin	B	Cancelled
GS8327					
CZ8186	15:45	G	重庆Chongqing	A02	Delayed
CZ3761	16:30	G	西安Xi'an	A09	Delayed
LT4302	16:35	E, F	合肥Hefei	B09	Cancelled
			哈尔滨Harbin		
HU7354	16:40	E, F	三亚Sanya	B14	Delayed
CZ3735	16:45	G	北京Beijing	A06	Delayed
MU3453					
MF8608	17:00	E, F	福州Fuzhou	A02	Door Closed
CZ3881	17:05	G	杭州Hangzhou	A01	Delayed
MF1094					
HU7364	17:20	E, F	海口Haikou	B12	Delayed
CZ3747	17:50	G	昆明Kunming	A04	Delayed
ZH1324	18:50	E, F	北京Beijing	B09	
HU7648	19:00	E, F	连云港		
			太原Taiyuan		
GJ8850	19:05	E, F	忻州Xinzhou	B13	
			哈尔滨Harbin		
CZ6582	19:20	G	南京Nanjing	A05	
			沈阳Shenyang		
NS3286	19:25	E, F	南京Nanjing	A03	
			石家庄		
DZ6311	19:30	E, F	海口Haikou	B15	
ZH4056	19:40	E, F	银川Yinchuan	B15	
DZ6275	19:45	E, F	泉州Quanzhou	B1	
			南通Nantong		
DR6584	20:10	E, F	沈阳Shenyang	A0	
MU9892	20:15	E, F	兰州Lanzhou		
HU3612	20:20	F	虹桥Shanghai	AC	
MF1651	20:25	G	浦东Shanghai	AC	
CZ3739	20:40	G	北京Beijing		

Abb. 1: Verspätete Flüge | Quelle: commons.wikimedia.org

Diese Bachelorarbeit beschäftigt sich zunächst mit Gründen und Faktoren, die zum Entstehen und zur Ausbreitung von Verspätungen in öffentlichen Verkehrsnetzen beitragen. Anschließend werden Analyse- und Simulationsansätze vorgestellt und eine eigene Simulation durchgeführt.

Verspätungen werden in Primär- und Sekundärverspätungen unterteilt. Primärverspätungen werden durch Außeneinwirkungen auf das Verkehrssystem verursacht. Sie können z.B. durch Fahrgäste, Infrastrukturprobleme, technische Störungen am Fahrzeug, außergewöhnliche Umstände oder durch Fehlentscheidungen beim Besteller bzw. Betreiber ausgelöst werden. Sekundärverspätungen sind Verspätungen die durch die Wechselwirkungen von verspäteten Fahrzeugen mit pünktlichen entstehen. Faktoren, die zum Aufbau dieser beitragen, sind unter anderem eine hohe Kapazitätsauslastung, ein hohes Passagieraufkommen und die Gestaltung der Knotenpunkte im Netz.

Es existieren verschiedene Ansätze Verspätungen zu simulieren oder zu analysieren. In der Arbeit werden fünf Ansätze vorgestellt. Bereits existierende Verspätungen können mittels Data-Mining Methoden und Assoziationsanalysen auf Zusammenhänge untersucht werden. Ein anderer analytischer Ansatz ist, die stochastischen Verteilungsfunktionen der Verspätungen zu ermitteln. Diese können dann für die zukünftige Fahrplanplanung eingesetzt werden. Simulatorische Ansätze haben den Vorteil, dass nicht auf bestehende Daten zurückgegriffen werden muss, es können auch fiktive Systeme simuliert werden. Dies kann auf Basis der Graphentheorie oder des Zellularautomaten geschehen, wobei der Hauptanwendungsbereich des Zellularautomaten nicht unbedingt bei öffentlichen Verkehrsnetzen liegt. Im praktischen Alltag wird jedoch meist kommerzielle Software genutzt, um Verkehrssysteme und Störfälle zu simulieren, da diese in der Handhabung simpel und auf den speziellen Anwendungsfall angepasst sind.

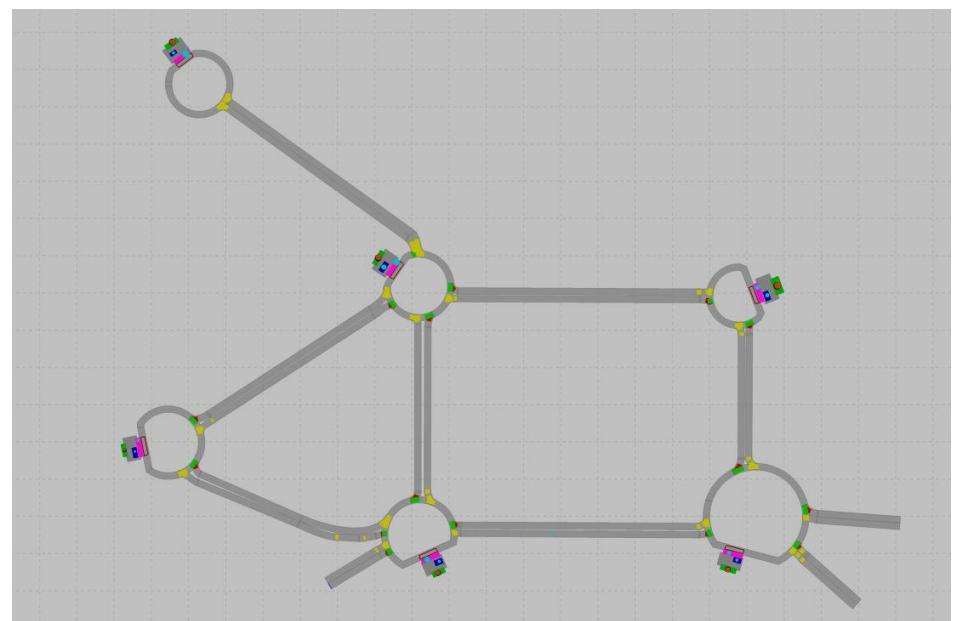


Abb. 2: In Vissim implementiertes Netz | Eigene Darstellung in Vissim 2020

Figure 8 – operating diagram of the trains (base case)

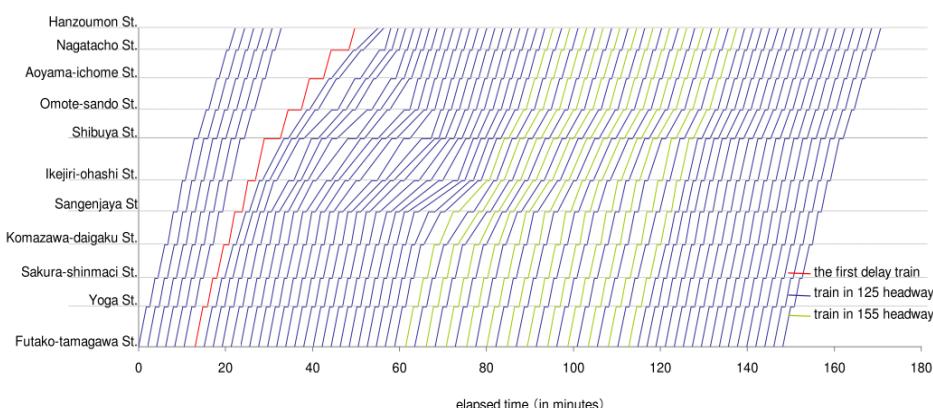


Abb. 3: Verspätungsaufbau einer U-Bahn Linie | Quelle: Kariyazaki Et.Al. [2016]: Simulation Analysis of Train Operation to Recover Knock-on Delay under High-Frequency Intervals. S.11

Die praktische Untersuchung wird mit Vissim, einer mikroskopischen Simulationssoftware der PTV AG, durchgeführt. Hierfür wird ein Netzausschnitt, siehe Abb. 2, im Programm modelliert. Der Netzausschnitt ist Teil eines größeren Netzes, von C. Mandl [1979]. Als Knotenpunkte sind Kreisverkehre gewählt, an welchen auch die Haltestellen angeordnet sind. Es werden drei Buslinien mit fester Taktung implementiert. Anschließend wird eine Störung verursacht, indem ein Fahrzeug länger als geplant an einer Haltestelle steht. Es werden drei Szenarien untersucht. Eines mit erhöhter Kapazität der Straßen, eines mit erhöhtem Passagieraufkommen und eines mit verbesserten Knotenpunkten und Haltestellen.

Die Auswertung der Ergebnisse der Simulation lässt den Schluss zu, dass alle drei untersuchten Faktoren einen Einfluss auf den Aufbau von Sekundärverspätungen besitzen.