

# **Netzwerkstaukontrolle und die Arbeitsweise von verschiedenen Algorithmen in TCP**

von

Michał Roziel

Ein wissenschaftlicher Bericht im Rahmen der Vorlesung  
„Wissenschaftliches Arbeiten“  
an der htw saar im Studiengang Informatik

Saarbrücken, den 15. Juni 2025

# Abstract

Dieser Bericht zielt darauf ab, aktuell benutzte Algorithmen der Netzwerkstaukontrolle in Computernetzwerken zu vergleichen. In dem heutigen Stand von Rechnernetzen werden verschiedene Protokolle zur Netzwerkstaukontrolle genutzt, Ich werde mich im Rahmen dieses Berichts allerdings auf das Transmission Control Protocol beschränken, da dies das am meisten verbreitete ist.

Die Algorithmen der Staukontrolle, welche in diesen Vergleich einfließen sind : TCP Reno, TCP BBR, TCP Vegas, und TCP ECN.

Mittels des Netzwerk Emulators *MiniNet* wird ein virtuelles Netzwerk zwischen zwei Endpunkten aufgestellt, über welches ein Künstlicher Datenverkehr erzeugt wird. Der genannte Datenverkehr wird anschließend aufgezeichnet und dient somit als Basis für den Vergleich der Staukontrolle durch die verschiedenen Algorithmen. Die Auswertung, welche aus den Aufzeichnungen stammt, ermöglicht dem Leser ein tieferes Verständnis über Staukontrolle in Computernetzwerken zu erhalten.

# Selbstständigkeitserklärung

Ich versichere, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Insbesondere habe ich alle KI-basierten Werkzeuge angegeben, die ich bei der Erstellung, Übersetzung oder Überarbeitung des Textes verwendet habe.

Ich erkläre hiermit weiterhin, dass die vorgelegte Arbeit zuvor weder von mir noch von einer anderen Person an dieser oder einer anderen Hochschule eingereicht wurde.

Darüber hinaus ist mir bekannt, dass die Unrichtigkeit dieser Erklärung eine Benotung der Arbeit mit der Note „nicht ausreichend“ zur Folge hat und einen Ausschluss von der Erbringung weiterer Prüfungsleistungen zur Folge haben kann.

Saarbrücken, den 15. Juni 2025

Unterschrift Michal Roziel

# Inhaltsverzeichnis

|                                                 |          |
|-------------------------------------------------|----------|
| <b>1. Einleitung</b>                            | <b>1</b> |
| 1.1. Grundlagen und Begriffe . . . . .          | 1        |
| 1.1.1. Transmission Control Protocoll . . . . . | 1        |
| 1.2. Algorithmen zur Staukontrolle . . . . .    | 1        |
| 1.2.1. TCP Reno . . . . .                       | 1        |
| 1.2.2. TCP BBR . . . . .                        | 1        |
| 1.2.3. TCP Vegas . . . . .                      | 1        |
| 1.2.4. TCP ECN . . . . .                        | 1        |
| 1.3. Definitionen . . . . .                     | 1        |
| <b>2. Analyse und Bewertung</b>                 | <b>2</b> |
| 2.1. Die Verwandlung . . . . .                  | 2        |
| <b>3. Ergebnisse und Diskussion</b>             | <b>2</b> |
| <b>4. Fazit und Schlussfolgerungen</b>          | <b>3</b> |
| 4.1. Offene Fragen . . . . .                    | 3        |
| 4.2. Diskussion . . . . .                       | 4        |
| <b>Literaturverzeichnis</b>                     | <b>5</b> |
| <b>Anhang</b>                                   | <b>6</b> |
| <b>A. Datenmaterial</b>                         | <b>6</b> |
| <b>B. Web-Standards</b>                         | <b>6</b> |

# 1. Einleitung

Netzwerkstaukontrolle (Englisch : *Network congestion control*, *CC* ) ist ein essentieller Bestandteil der meisten modernen Computernetzwerke. Wenn eine Netzwerkschnittstelle zu einem Zeitpunkt versucht eine zu große Menge an Datenpaketen aufzunehmen, kommt es zu Stau von Datenverkehr und zu einem potentiellen Verlust von Datenpaketen. Aufgrund diesem Vorkommen werden Algorithmen innerhalb von Netzwerkprotokollen verwendet, diese erkennen den Anstau von Datenverkehr im Netzwerk, und helfen den Fluss von Datenpaketen zu steuern. Neben dem effizienten Durchfluss von Informationen ist zeitgleich auch die Fairness, was die Verteilung von Ressourcen einer Netzwerkschnittstelle an ihre Hosts angeht, wichtig. Auch dies wird von CC-Algorithmen gewährleistet.

Mit stets weiterentwickelten Rechnernetzen, und einem jährlich zunehmenden Datenverkehr, wie auch in der Deutschen Internetschnittstelle *DE-CIX* [DC25] in Frankfurt gewinnen diese Algorithmen an Bedeutung.

## 1.1. Grundlagen und Begriffe

### 1.1.1. Transmission Control Protocoll

Das Transmission Control Protocoll (Deutsch : *Übertragungssteuerungsprotokoll*, *TCP*) ist ein weit verbreitetes Netzwerkprotokoll. TCP lässt sich in zu der Schicht 4 (Transportschicht) in dem OSI-Modell einordnen, hierbei liegt es zwischen der Vermittlungs- und Kommunikationsschicht.

Es wurde 1981 unter RFC 793 erstmals standardisiert.

Die Aufgabes des TCP Protokolls ist es, zwischen mindestens zwei Hosts eine Verbindung aufzubauen, welche anschließend dazu genutzt wird, Nachrichten in zu verschicken und zu empfangen.

'A transport-layer protocol [...] from an application's perspective, it is as if the hosts running the processes were directly connected;' [JF22, 241]. Dies Bedeutet, dass TCP ebenfalls eine gewisses Abstraktionsniveau abnimmt.

## 1.2. Algorithmen zur Staukontrolle

### 1.2.1. TCP Reno

### 1.2.2. TCP BBR

### 1.2.3. TCP Vegas

### 1.2.4. TCP ECN

## 1.3. Definitionen

Auch gibt es niemanden, der den Schmerz an sich liebt, sucht oder wünscht, nur, weil er Schmerz ist, es sei denn, es kommt zu zufälligen Umständen, in denen Mühen und Schmerz ihm große Freude bereiten können. Um ein triviales Beispiel zu nehmen, wer von uns unterzieht sich je anstrengender körperlicher Betätigung, außer um Vorteile daraus zu ziehen?

Aber wer hat irgend ein Recht, einen Menschen zu tadeln, der die Entscheidung trifft, eine Freude zu genießen, die keine unangenehmen Folgen hat, oder einen, der Schmerz vermeidet, welcher keine daraus resultierende Freude nach sich zieht? Auch gibt es niemanden, der den Schmerz an sich liebt, sucht oder wünscht, nur, weil er Schmerz ist, es sei denn, es kommt zu zufälligen Umständen, in denen Mühen und Schmerz ihm große Freude bereiten können. Um ein triviales Beispiel zu nehmen, wer von uns unterzieht sich je anstrengender körperlicher Betätigung, außer um Vorteile daraus zu ziehen? Aber wer hat irgend ein Recht, einen Menschen zu tadeln, der die Entscheidung trifft, eine Freude zu genießen, die keine unangenehmen Folgen hat, oder einen, der Schmerz vermeidet, welcher keine daraus resultierende Freude nach sich zieht? Auch gibt es niemanden, der den Schmerz an sich liebt.

## 2. Analyse und Bewertung

Phasellus viverra nulla ut metus varius laoreet. Quisque rutrum. Aenean imperdiet. Etiam ultricies nisi vel augue [AB94]. Curabitur ullamcorper ultricies nisi. Nam eget dui.

$$\sum_{n=0}^N g_n(x) = \sum_{n=0}^N g_n(x) = \int_a^b f(x) dx = \int_a^b f(x) dx \quad (1)$$

Etiam rhoncus. Maecenas tempus, tellus eget condimentum rhoncus, sem quam semper libero, sit amet adipiscing sem neque sed ipsum. Nam quam nunc, blandit vel, luctus pulvinar, hendrerit id, lorem. Maecenas nec odio et ante [AH06] tincidunt tempus. Donec vitae sapien ut libero venenatis faucibus. Nullam quis ante. Etiam sit amet orci eget eros faucibus tincidunt. Duis leo. Sed fringilla mauris sit amet nibh. Donec sodales sagittis magna. Sed consequat, leo eget bibendum sodales, augue velit cursus nunc, quis gravida magna mi a libero. Fusce vulputate eleifend sapien.

### 2.1. Die Verwandlung

„Jemand musste Josef K. verleumdet haben, denn ohne dass er etwas Böses getan hätte, wurde er eines Morgens verhaftet. Wie ein Hund! sagte er, es war, als sollte die Scham ihn überleben. Als Gregor Samsa eines Morgens aus unruhigen Träumen erwachte, fand er sich in seinem Bett zu einem ungeheueren Ungeziefer verwandelt. Und es war ihnen wie eine Bestätigung ihrer neuen Träume und guten Absichten, als am Ziele ihrer Fahrt die Tochter als erste sich erhob und ihren jungen Körper dehnte. Es ist ein eigentümlicher Apparat, sagte der Offizier zu dem Forschungsreisenden und überblickte mit einem gewissermaßen bewundernden Blick den Rest.“ (aus: [Kaf05])

## 3. Ergebnisse und Diskussion

Vestibulum purus quam, scelerisque ut, mollis sed, nonummy id, metus. Nullam accumsan lorem in dui. Cras ultricies mi eu turpis hendrerit fringilla. Vestibulum ante ipsum primis in faucibus orci luctus et ultrices posuere cubilia Curae; In ac dui quis mi consectetuer lacinia. Nam pretium turpis et arcu. Duis arcu tortor, suscipit eget,

imperdiet nec, imperdiet iaculis, ipsum. Sed aliquam ultrices mauris. Integer [Mas85] ante arcu, accumsana, consectetur eget, posuere ut, mauris. Praesent adipiscing. Phasellus ullamcorper ipsum rutrum nunc. Nunc nonummy metus. Vestibulum volutpat pretium libero. Cras id dui. Aenean ut eros et nisl sagittis vestibulum. Nullam nulla eros, ultricies sit amet, nonummy id, imperdiet feugiat, pede.

## 4. Fazit und Schlussfolgerungen

Sed lectus. Donec mollis hendrerit risus. Phasellus nec sem in justo pellentesque facilisis. Etiam imperdiet imperdiet orci. Nunc nec neque. Phasellus leo dolor, tempus non, auctor et, hendrerit quis, nisi. Curabitur ligula sapien, tincidunt non, euismod vitae [Arr48], posuere imperdiet, leo. Maecenas malesuada. Praesent congue erat at massa. Sed cursus turpis vitae tortor. Donec posuere vulputate arcu. Phasellus accumsan cursus velit. Vestibulum ante ipsum primis in faucibus orci luctus et ultrices posuere cubilia Curae; Sed aliquam, nisi quis porttitor congue, elit erat euismod or-

| Primzahlen | Tiere      | Werkzeuge       |
|------------|------------|-----------------|
| 17         | Elefant    | Schraubenzieher |
| 23         | Stechmücke | Zange           |

Tabelle 1: Beispiel

ci, ac placerat dolor lectus quis orci. Phasellus consectetur vestibulum elit. Aenean tellus metus, bibendum sed, posuere ac, mattis non, nunc. Vestibulum fringilla pede sit amet augue. In turpis. Pellentesque posuere. Praesent turpis. Aenean posuere, tortor sed cursus feugiat, nunc augue blandit nunc, eu sollicitudin urna dolor sagittis lacus (siehe Abbildung ??). Donec elit libero, sodales nec, volutpat a, suscipit non, turpis. Nullam sagittis. Suspendisse pulvinar, augue ac venenatis condimentum, sem libero volutpat nibh, nec pellentesque velit pede quis nunc. Vestibulum ante ipsum primis in faucibus orci luctus et ultrices posuere cubilia Curae; Fusce id purus. Ut varius tincidunt libero. Phasellus dolor. Maecenas vestibulum mollis

### 4.1. Offene Fragen

Li European languages es membres del sam familie. Lor separat existentie es un myth. Por scientie, musica, sport etc, litot Europa usa li sam vocabular. Li languages differ solmen in li grammatica, li pronunciation e li plu commun vocabules. Omnicos directe al desirabilite de un nov lingua franca: On refusa continuar pagar custosi traductores.

At solmen va esser necessari far uniform grammatica, pronunciation e plu sommun paroles. Ma quande languages coalesce, li grammatica del resultant lingue es plu simplic e regulari quam ti del coalescent languages. Li nov lingua franca va esser plu simplic e regulari quam li existent European languages. It va esser tam simplic quam Occidental in fact, it va esser Occidental. A un Angleso it va semblar un simplificat Angles, quam un skeptic Cambridge amico dit me que Occidental es. Li European languages es membres del sam familie. Lor separat existentie es un myth. Por scientie, musica,

## 4.2. Diskussion

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Aenean commodo ligula eget dolor. Aenean massa. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Donec quam felis, ultricies nec, pellentesque eu, pretium quis, sem. Nulla consequat massa quis enim. Donec pede justo, fringilla vel, aliquet nec, vulputate eget, arcu.

In enim justo, rhoncus ut, imperdiet a, venenatis vitae, justo. Nullam dictum felis eu pede mollis pretium. Integer tincidunt. Cras dapibus. Vivamus elementum semper nisi. Aenean vulputate eleifend tellus. Aenean leo ligula, porttitor eu, consequat vitae, eleifend ac, enim. Aliquam lorem ante, dapibus in, viverra quis, feugiat a, tellus. Phasellus viverra nulla ut metus varius laoreet. Quisque rutrum. Aenean imperdiet. Etiam ultricies nisi vel augue. Curabitur ullamcorper ultricies nisi. Nam eget dui. Etiam rhoncus. Maecenas tempus, tellus eget condimentum rhoncus, sem quam semper libero, sit amet adipiscing sem neque sed ipsum. Nam quam nunc, blandit vel, luctus pulvinar.



## Literaturverzeichnis

- [AB94] Charalambos D. Aliprantis and Kim C. Border. *Infinite Dimensional Analysis*. Springer, Berlin, 1994.
- [AH06] Gagan Aggarwal and Jason D. Hartline. Knapsack auctions. In *Proceedings of the 17th Annual ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms*, pages 1083–1092, New York, 2006. Association for Computing Machinery.
- [Arr48] Kenneth J. Arrow. The possibility of a universal social welfare function. Report P-41, RAND Corporation, 1948.
- [DC25] DE-CIX. Traffic statistics frankfurt, 2025. Letzter Zugriff: 15. Juni 2025.
- [JF22] Keith W. Ross James F. Kurose. *Computer Networking: A Top-Down Approach*. Pearson, London, 8th edition, 2022.
- [Kaf05] Franz Kafka. *Die Verwandlung*. Anaconda Verlag, Köln, 2005.
- [Mas85] Eric S. Maskin. The theory of implementation in Nash equilibrium: a survey. In Leonid Hurwicz, David Schmeidler, and Hugo Sonnenschein, editors, *Social Goals and Social Organization*, pages 173–204. Cambridge University Press, Cambridge, 1985.

# Anhang

## A. Datenmaterial

Li European lingues es membres del sam familie. Lor separat existentie es un myth. Por scientie, musica, sport etc, litot Europa usa li sam vocabular. Li lingues differe solmen in li grammatica, li pronunciation e li plu commun vocabules.

## B. Web-Standards

Omnicos directe al desirabilite de un nov lingua franca: On refusa continuar payar custosi traductores. At solmen va esser necessari far uniform grammatica, pronunciation e plu sommun paroles. Ma quande lingues coalesce, li grammatica del resultant lingue es plu simplic e regulari quam ti del coalescent lingues. Li nov lingua franca va esser plu simplic e regulari quam li existent European