



# LÜFTERSTEUERUNG TUNNEL ST. RUPRECHT

Stefan Weiss

Fachbereich Tunnelmanagement  
ASFINAG Service GmbH  
Mondsee, 09. November 2016



## Inhalt

- Auslegung Tunnel St. Ruprecht
- Brandversuch Tunnel St. Ruprecht GV 2015
- Umgesetzte Verbesserungsmaßnahmen
- Zusammenfassung
- Hinweise

# Auslegung Tunnel St. Ruprecht

## Daten Tunnel

- Daten

	Nordröhre	Südröhre
Tunnellänge [m]	619	619
Längsneigung in FR [%]	-0.6	1,3
Mittl. Seehöhe [m.ü.A.]	523	529
Fläche RQ [m <sup>2</sup> ]	52,5	
Hydr. Durchm. RQ [m]	7,6	

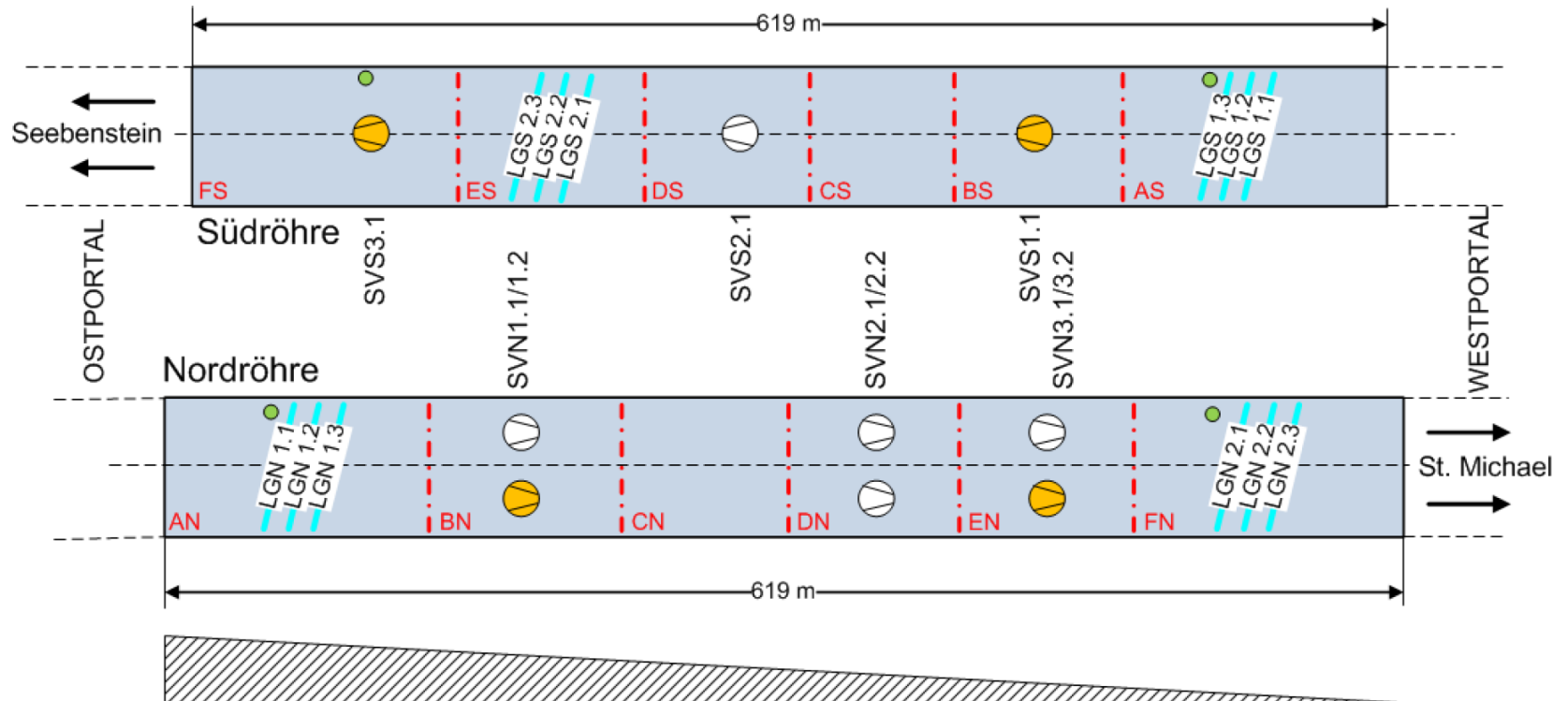
- Metrologie

	St. Ruprecht / Bruck a.d. Mur
Median	0,5 m/s
95 Perzentil	2,3 m/s
Maximum	5,3 m/s

- Auslegung auf eine Dimensionierungsgeschwindigkeit von 2,3 m/s

# Auslegung Tunnel St. Ruprecht

## Dimensionierung Lüftung



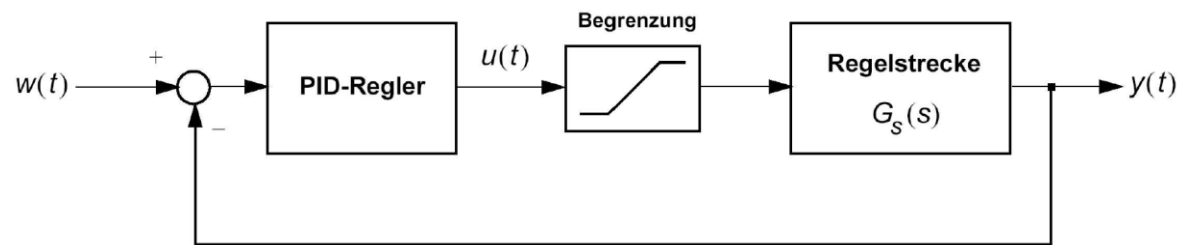
### Legende:

-  .....Strahlventilator
-  .....Strahlventilator inkl. FU
-  .....Längsströmungsmessgerät
-  .....Übergeordnete Brandzone
-  .....CO- / Trübemessung

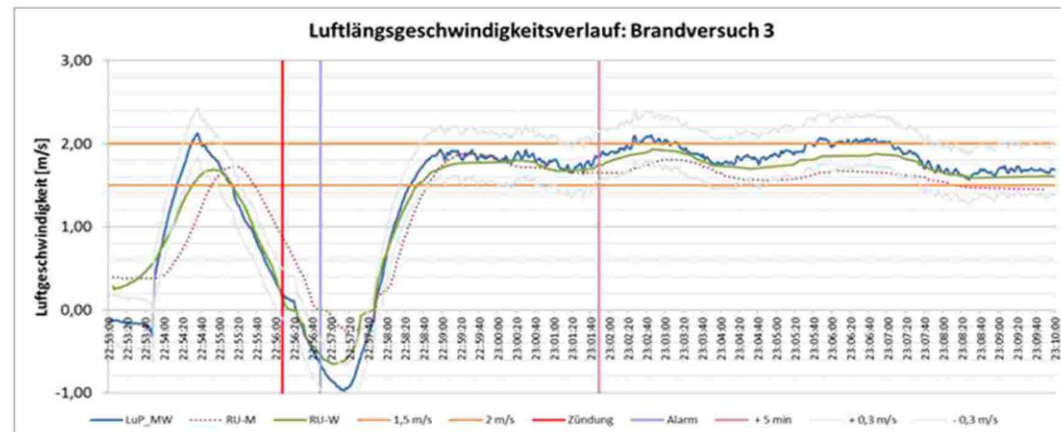
# Auslegung Tunnel St. Ruprecht

## Lüfterregelung

- PID Regler mit Anti-Windup
  - Blockschaltbild eines PID-Reglers in Standardform:



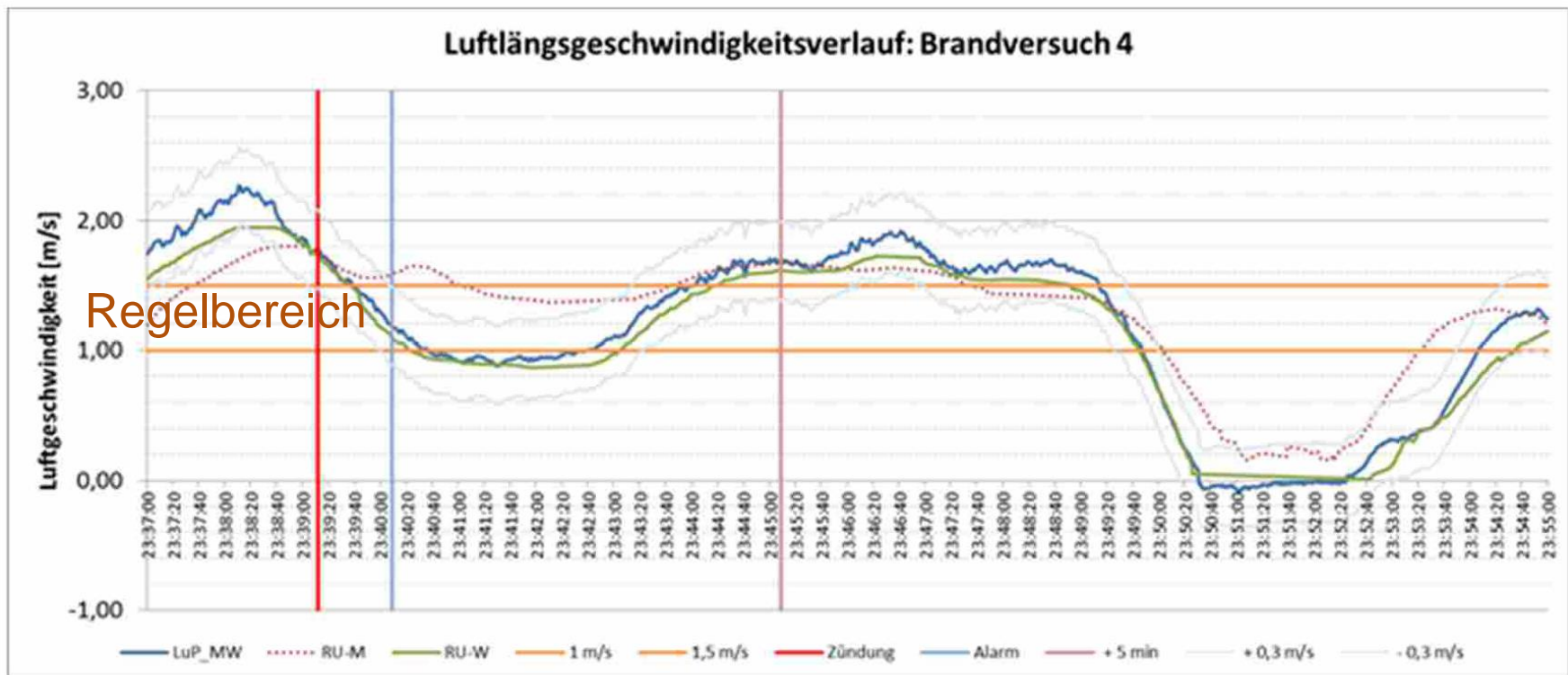
- Regelkurve:



# Brandversuch Tunnel St. Ruprecht GV 2015

## Lüfterregelung

- Aufgezeichneter Strömungsverlauf Brandversuch



# Brandversuch Tunnel St. Ruprecht GV 2015

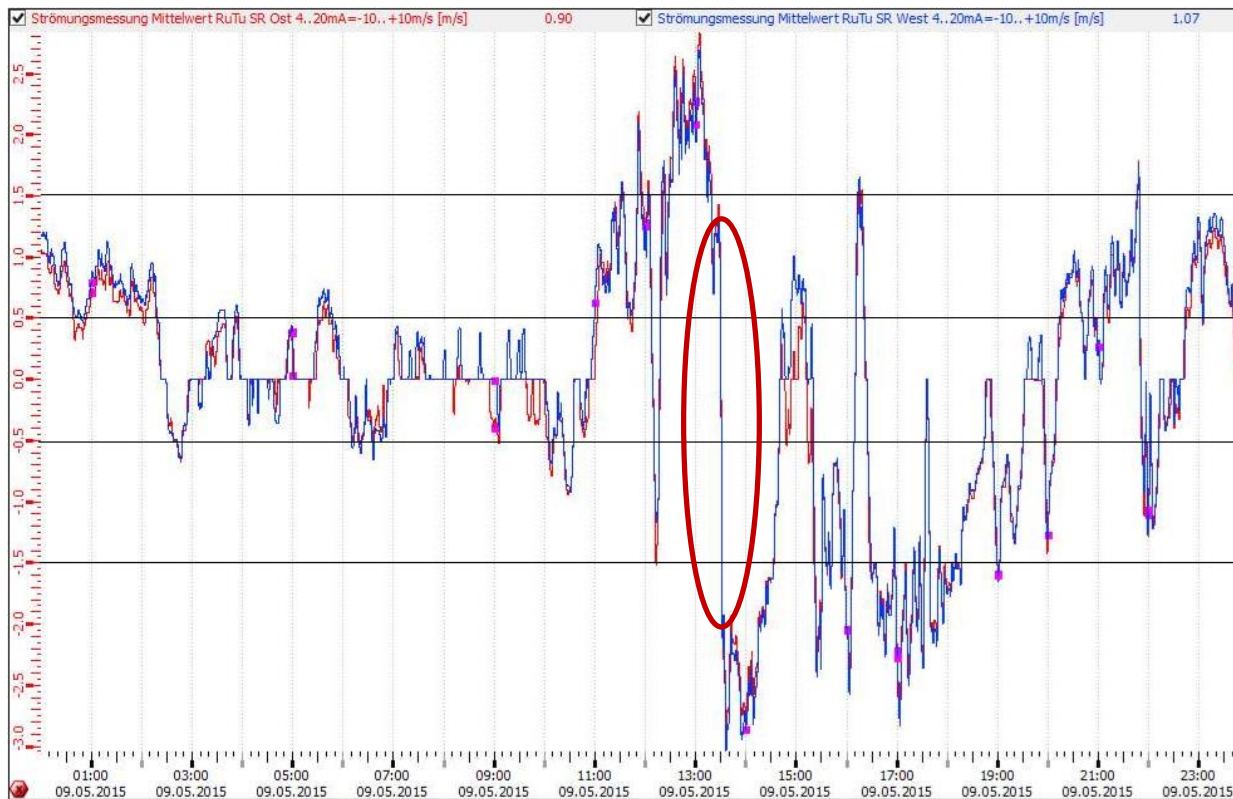
## Fehler und Analyse

- Gute äußere Verhältnisse
  - Keine erkennbaren meteorologischen Einflüsse
  - Kaum Wind
- Stabile Brandlast im Tunnel
  - Einbruch der Längsgeschwindigkeit nach 10 Minuten
  - Steuerung arbeite bis dahin stabil
- Ursachen
  - Schon geringe äußere Einflüsse wirken sehr schnell auf die Luftströmung im sehr kurzen Tunnel
  - Totzeiten der Messstrecke und Lüftung sind für die Regelung zu lange

# Brandversuch Tunnel St. Ruprecht GV 2015

## Äußere Einflüsse

- Aufgezeichnete Luftströmung im Tunnel ohne künstliche Einflüsse



Strömungsänderung  
von +1ms auf -1ms in  
unter 2 Minuten

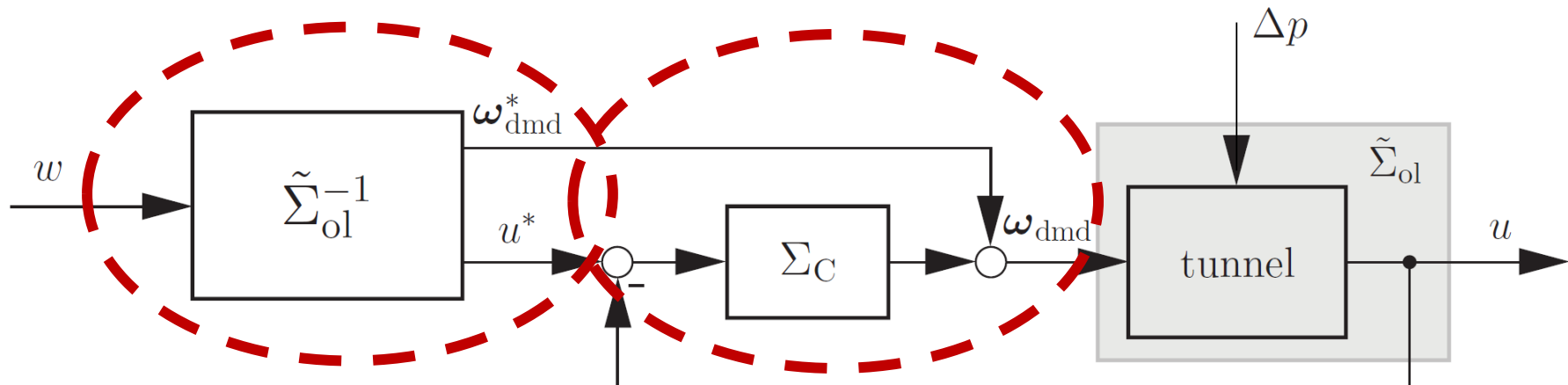
Änderungen von 0,5m  
unter 30s



# Umgesetzte Verbesserungsmaßnahmen

## Änderung der Lüftersteuerung

- Vorsteuerung
  - Kombination eines konventionellen PI Reglers mit einer auf dem Tunnelmodell basierenden Vorsteuerung



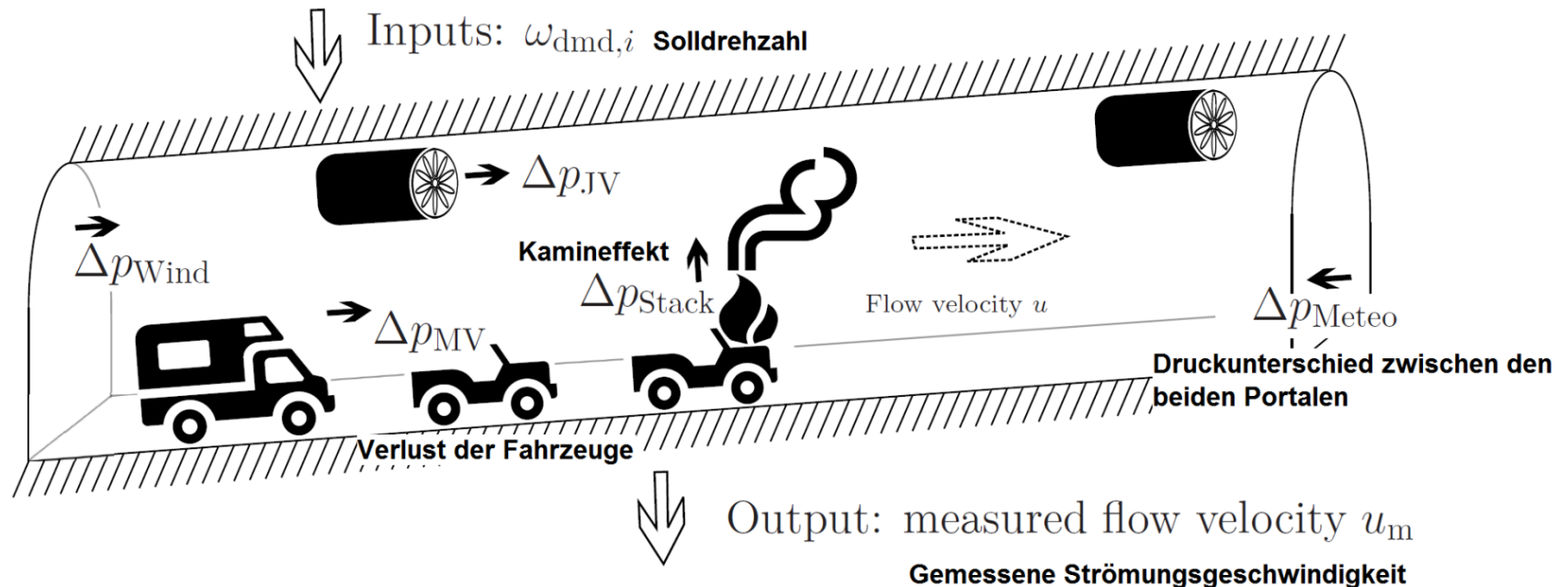
$\tilde{\Sigma}_{ol}$  ..... Streckenmodell  
 $\Sigma_C$  ..... klassischen PI Reglers  
 $w$  ..... soll Strömungsgeschwindigkeit

$u^*$  ..... Realisierbare Strömungsgeschwindigkeit  
 $\omega_{dmd}^*$  ..... Vorsteuerungsstellgröße für die Lüfter  
 $u$  ..... gemessene Geschwindigkeit

# Umgesetzte Verbesserungsmaßnahmen

## Tunnelmodell

- Modelldarstellung des Tunnels
  - mit allen bekannten und nicht bekannten Einflussfaktoren



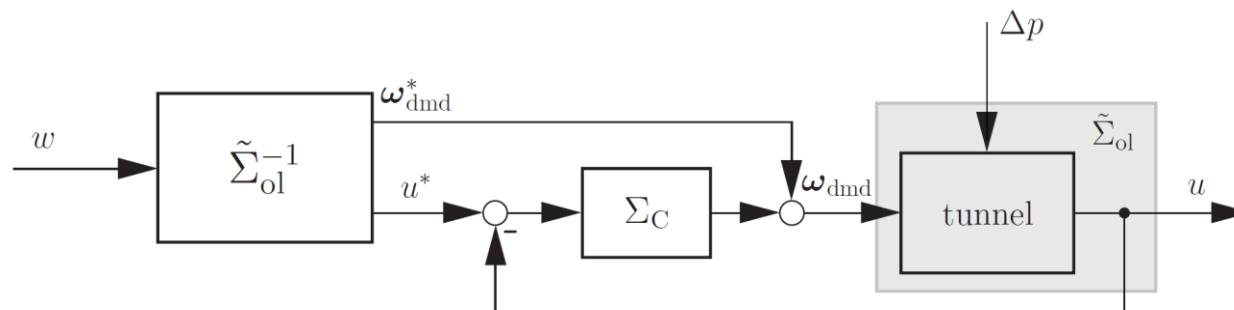
- Ergebnis ist das theoretische mathematische Modell (Trajektorie)

# Umgesetzte Verbesserungsmaßnahmen

## Funktion der Vorsteuerung

- Funktion

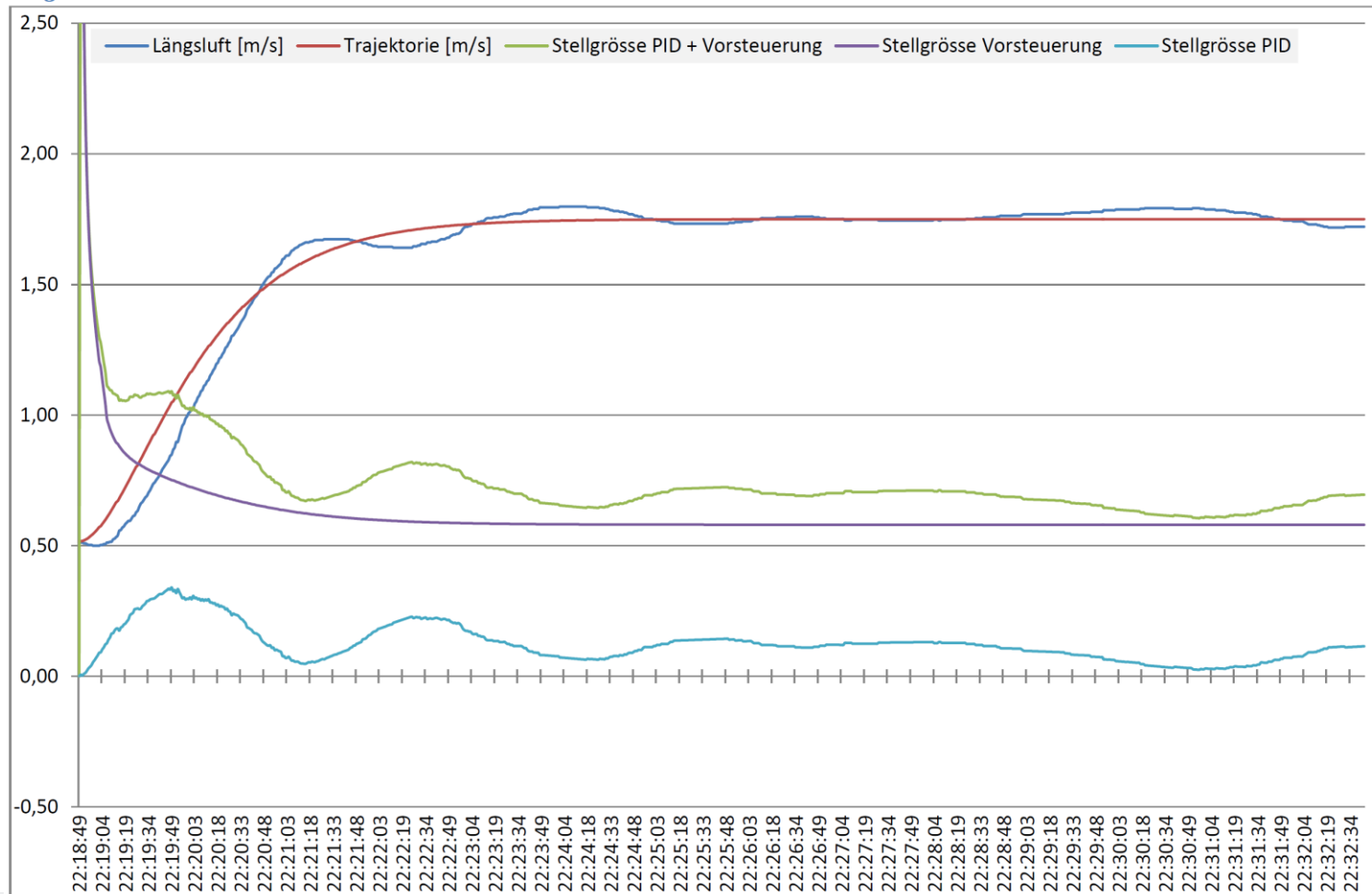
- Die Vorsteuerung berechnet dabei modellbasiert passende Stell- ( $u^*$ ) und Führungsgrößenverläufe ( $\omega_{\text{dmd}}^*$ )
- Der aktuelle Wert der Stellgröße  $\omega_{\text{dmd}}^*$  aus der modellbasierten Vorsteuerung bildet dann zusammen mit dem Regler  $\Sigma_C$  die Gesamt-Stellgröße
- Würde das Systemverhalten exakt beschrieben, wäre der Regelfehler null
- Nur die äußeren Einflüsse (Störungen)  $\Delta p$  müssen vom Regler ausgeglichen werden



# Umgesetzte Verbesserungsmaßnahmen

## Funktion der Vorsteuerung

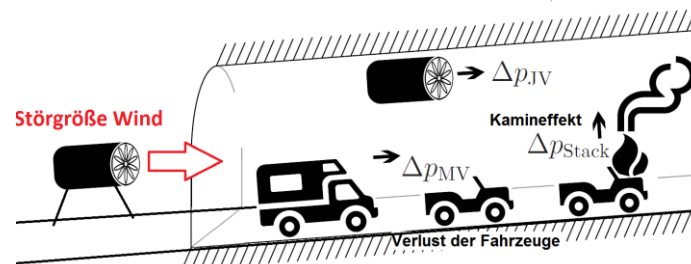
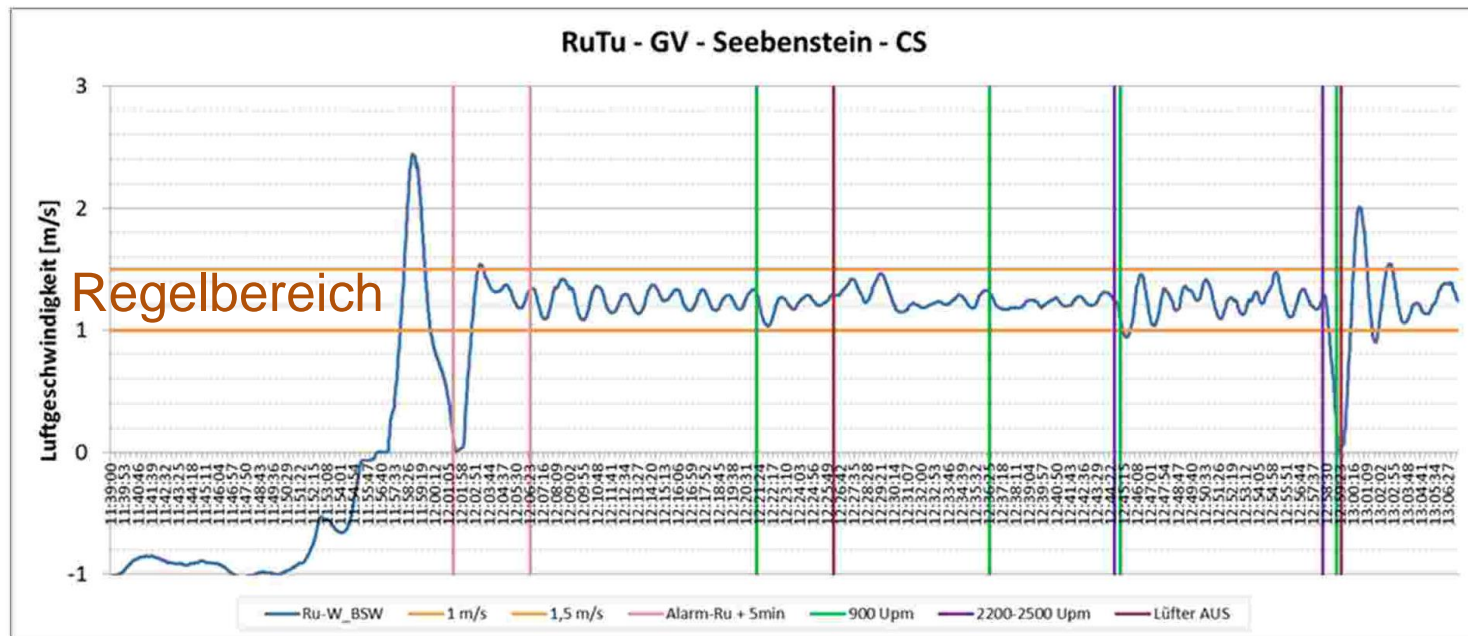
- Aufgezeichnete Steuerungskurve



# Umgesetzte Verbesserungsmaßnahmen

## Anlagentests mit Vorsteuerung

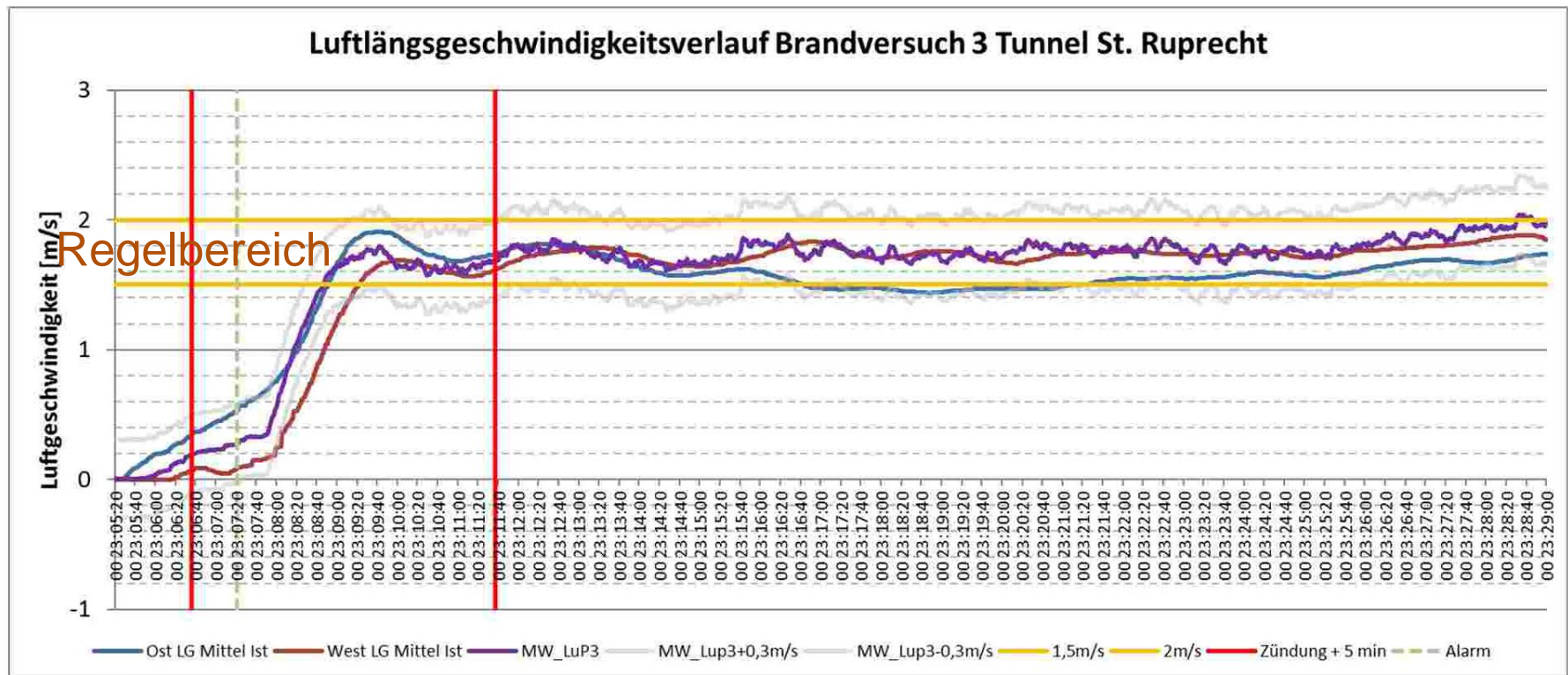
- Anlagentest mit Störgröße über dem 95 Perzentil und weit darüber



# Umgesetzte Verbesserungsmaßnahmen

## Neuer Brandversuch mit Vorsteuerung

- Aufgezeichneter Strömungsverlauf Brandversuch



# Zusammenfassung

## Problem kurze Tunnel

- Problematische Anlagen
  - Kurze Tunnel unter 1000m
  - Kurze Tunnel mit Wind ausgesetzten Portalen
  - Kurze Tunnel in Wind- oder Föhnlagen
- Äußere Einflüsse
  - In den kurzen Tunnelanlagen setzten sich äußere Einflüsse sehr schnell durch den Tunnel fort
- Steuerung
  - Es muss eine Steuerung eingesetzt werden die schnell genug für den Ausgleich, aber auch noch stabil genug ist

# Zusammenfassung

## Reglerdesign und Parametrierung

- Vorlage für das Reglerdesign von der ASFINAG
  - Beilage zum PLaBP Lüftung bis 12/2016
    - Reglerdesign (PI Regler mit Anti-Windup)
    - Das Verfahren zur Reglerparametrierung wird vorgegeben
- Vorlage für die Dokumentation der Reglerparametrierung und Lüftungstests von der ASFINAG
  - Mustereinreichunterlagen\_STSG\_2016 (ASFINAG.NET)
    - Dokumentation der Parametrierung des PI-Reglers
    - Tests zur Beurteilung des Reglerverhaltens
- Problematisch ist sicher die kurze Zeit für Anlagentests, wenn sich herausstellt, dass ein Regler nicht funktioniert



# Zusammenfassung

## Empfehlung

- Schon bei der Auslegung der Steuerung soll das Verhalten der Luftströmung im Tunnel bei äußeren Einflüssen bekannt sein
- Bestimmung der Sprungantwort der Tunnelstrecke
- Problematisch ist, wenn die Zeit der Strömungsänderung im Tunnel durch äußere Einflüssen nicht wesentlich größer als die Totzeit der Lüftung und Messstrecke ist

Bei diesen speziellen Tunnelanlagen empfiehlt sich der Einsatz einer Vorsteuerung wie im Tunnel Bruck und St. Ruprecht

# Hinweise

## Dokumente / Beilagen

- Expertisen und Publikationen der TU Wien
  1. Regelung der Tunnellüftung in der Tunnelkette Bruck/Mur
  2. Modelling and dynamic feedforward control of longitudinal tunnel ventilation
  3. Non-linear observation and disturbance rejection for longitudinal tunnel ventilation
- Bericht FVT Graz
  4. Reglereinstellung im Zeitbereich - vergleichende Untersuchungen von Einstellregeln an einer realen Tunnellüftungsanlage
  5. Musterunterlage Referenzmessungen und Reglerparametrisierung
- Publikationen ASTRA
  6. Regelung der Luftströmung in Straßentunneln im Brandfall



asfinag.at