



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA
BARCELONATECH



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

RI.
SE

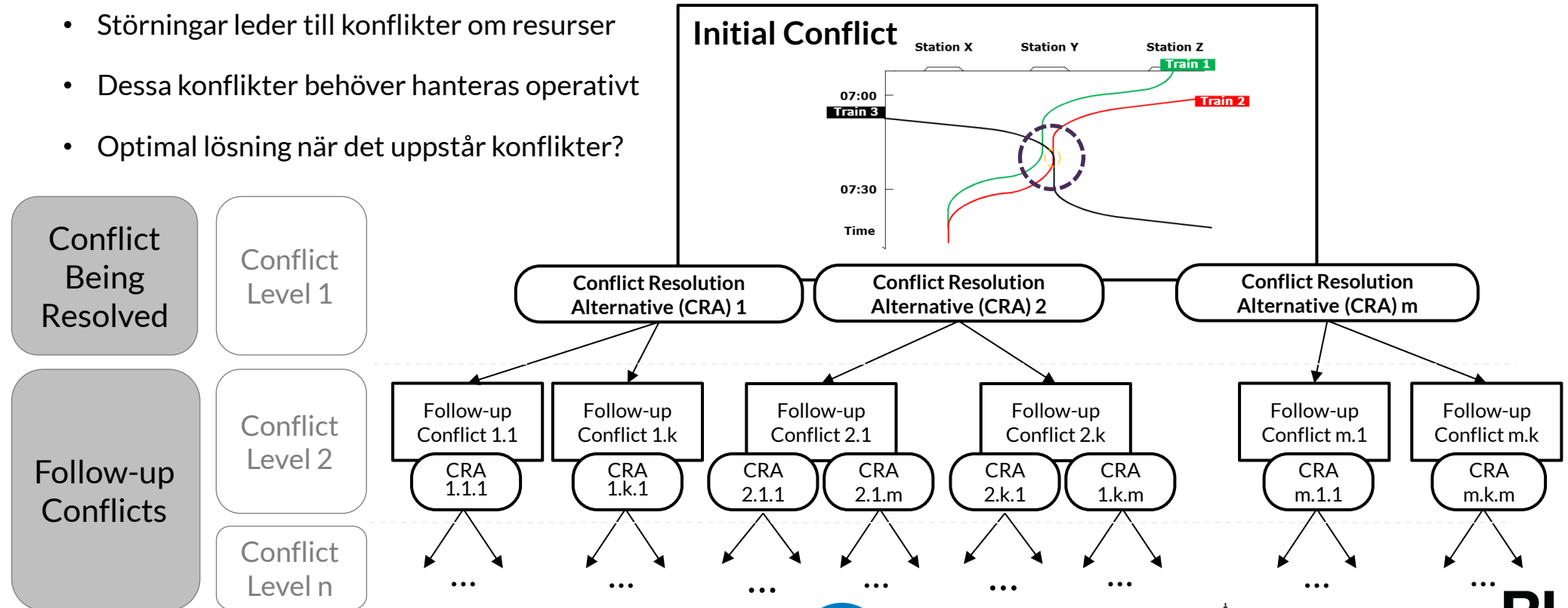
AI-baserad tågtrafikledning*

**Crespo M A, Chai S, Högdahl J, Weidinger F, Steinbach C, Cervelló-Pastor C,
Oetting A, Sallent S, Ma Z.**

* Crespo M A, Chai S, Högdahl J, Weidinger F, Steinbach C, Cervelló-Pastor C, Oetting A, Sallent S, Ma Z (2025). An integrated deep reinforcement learning and heuristic approach for railway dispatching. In *11th International Conference on Railway Operations Modelling and Analysis, RailDresden 2025*.

Bakgrund

- Störningar leder till konflikter om resurser
- Dessa konflikter behöver hanteras operativt
- Optimal lösning när det uppstår konflikter?



Crespo M A, Steinbach C, Chai S, and Oetting A (2023). Towards a generic heuristic approach for the real-time and automatic schedule adjustment. In *10th International Conference on Railway Operations Modelling and Analysis, RailBelgrade 2023*.



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA
BARCELONATECH

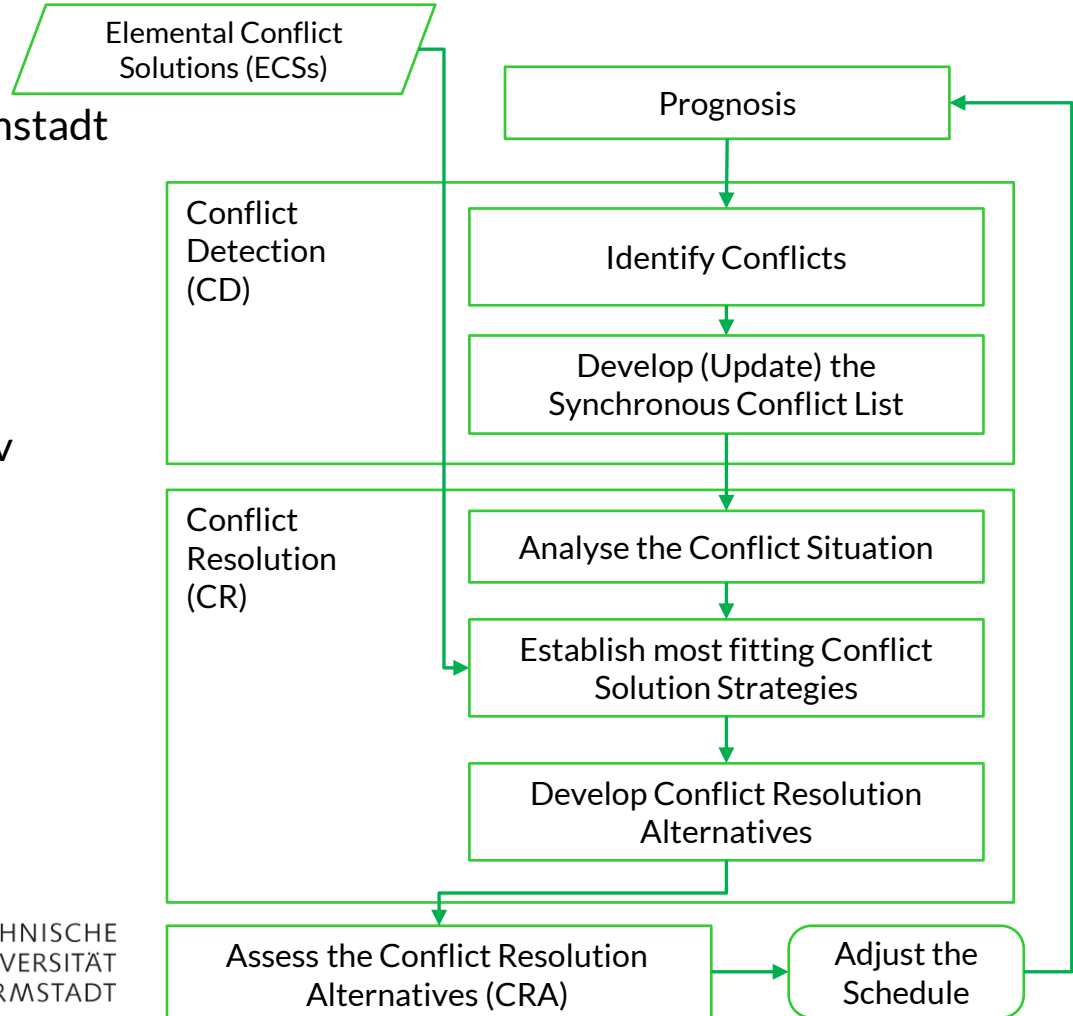


TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

RI
SE

CDCR-metoden

- Heuristisk metod utvecklad vid TU Darmstadt
- Uppbyggd runt fyra generiska moduler
 - Prognos över trafikläge
 - Detektera konflikter
 - Konstruera konfliktlösningalternativ
 - Utvärdera konfliktlösningalternativ



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA
BARCELONATECH

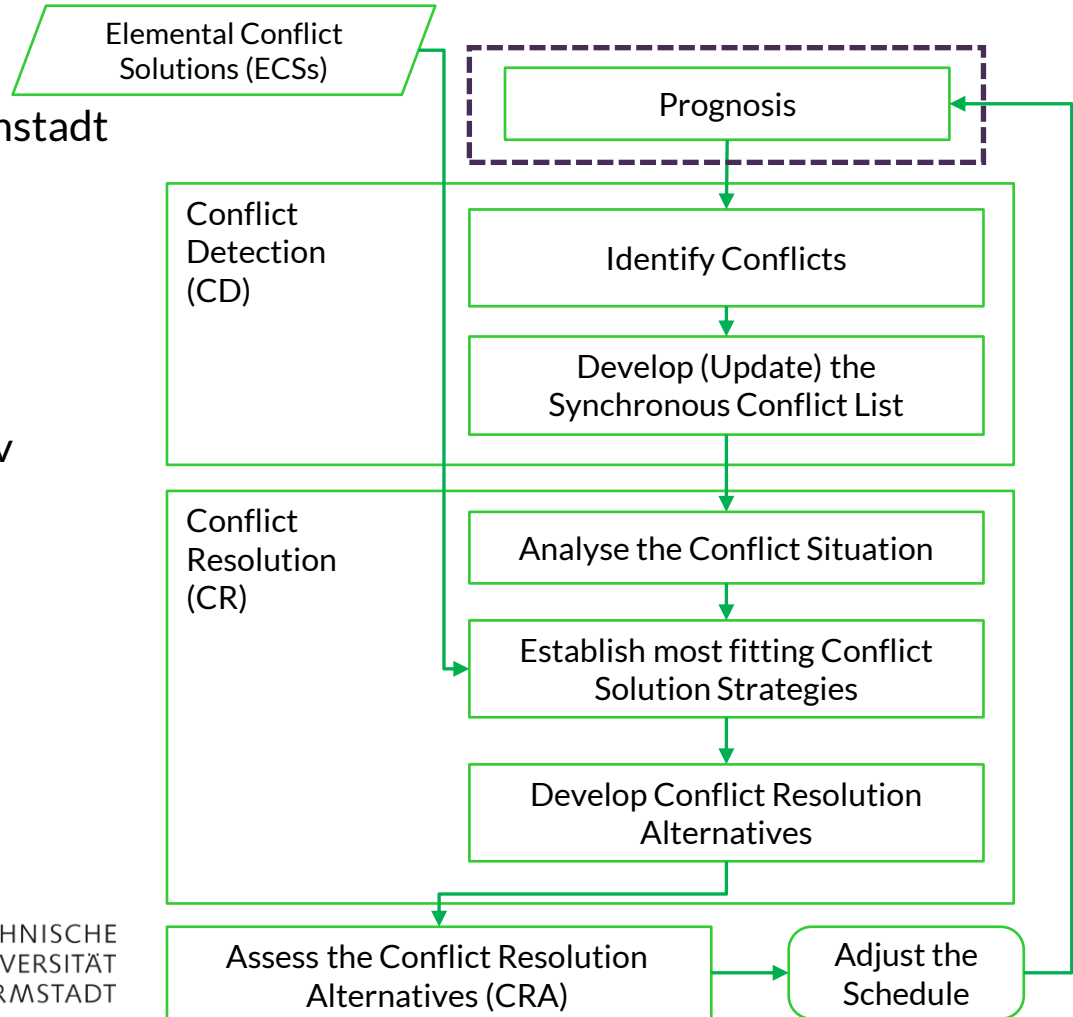


TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

RI
SE

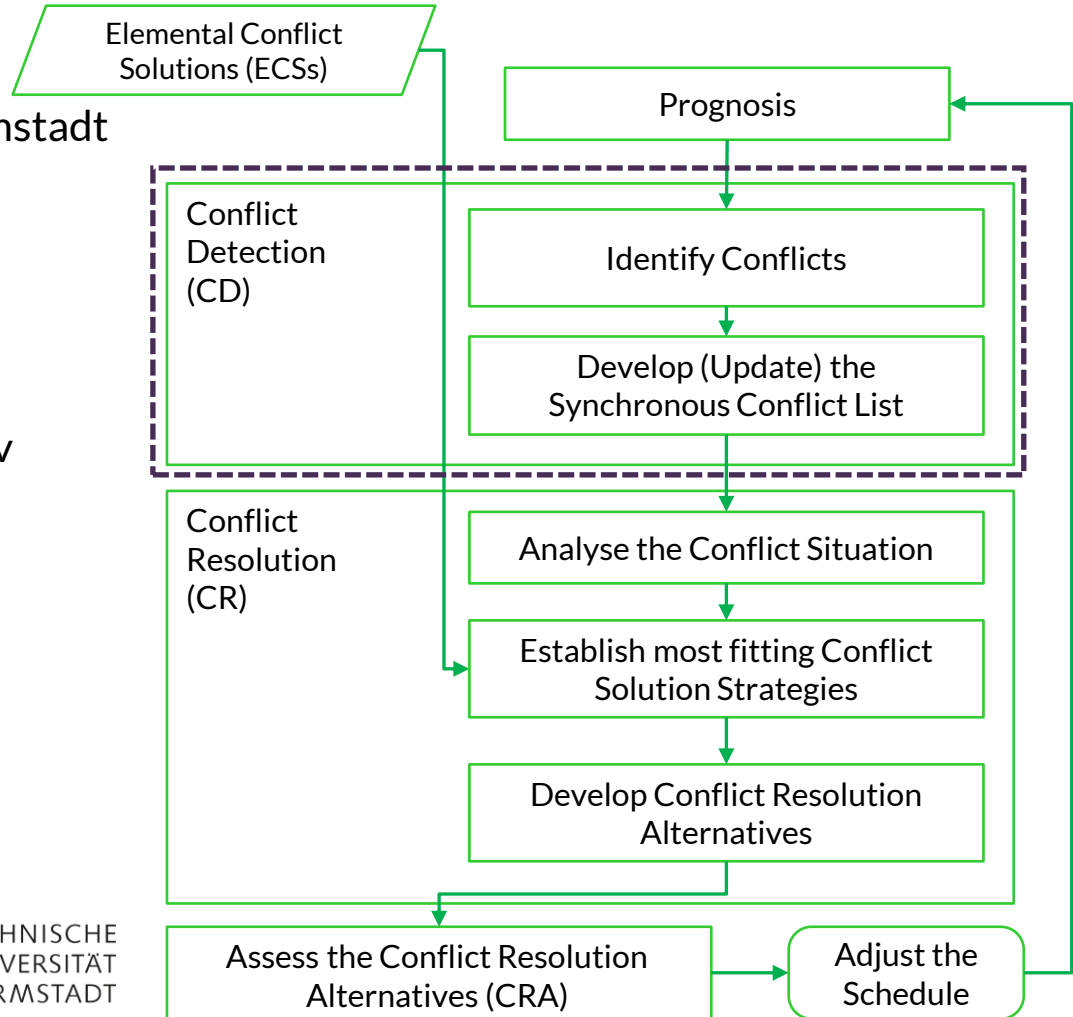
CDCR-metoden

- Heuristisk metod utvecklad vid TU Darmstadt
- Uppbyggd runt fyra generiska moduler
 - Prognos över trafikläge
 - Detektera konflikter
 - Konstruera konfliktlösningalternativ
 - Utvärdera konfliktlösningalternativ



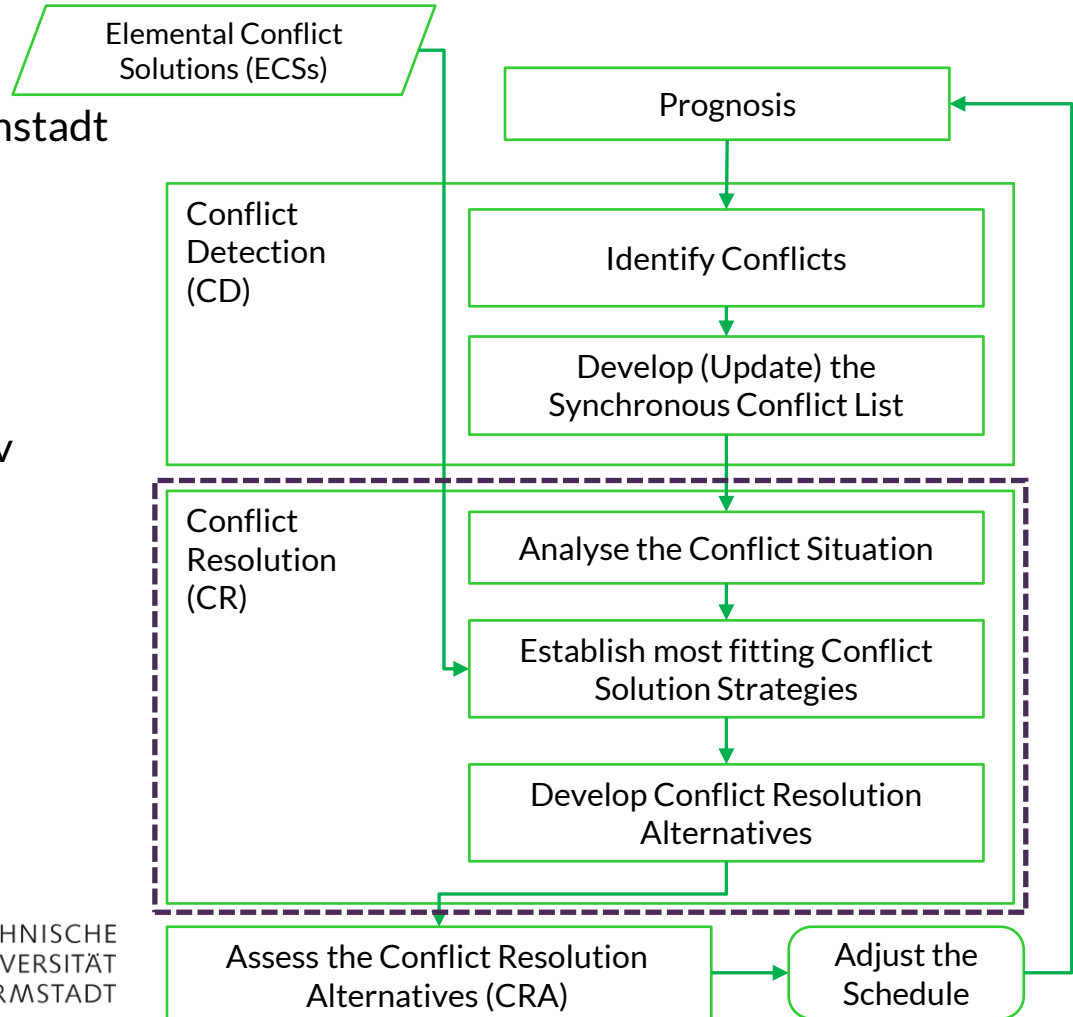
CDCR-metoden

- Heuristisk metod utvecklad vid TU Darmstadt
- Uppbyggd runt fyra generiska moduler
 - Prognos över trafikläge
 - Detektera konflikter
 - Konstruera konfliktlösningalternativ
 - Utvärdera konfliktlösningalternativ



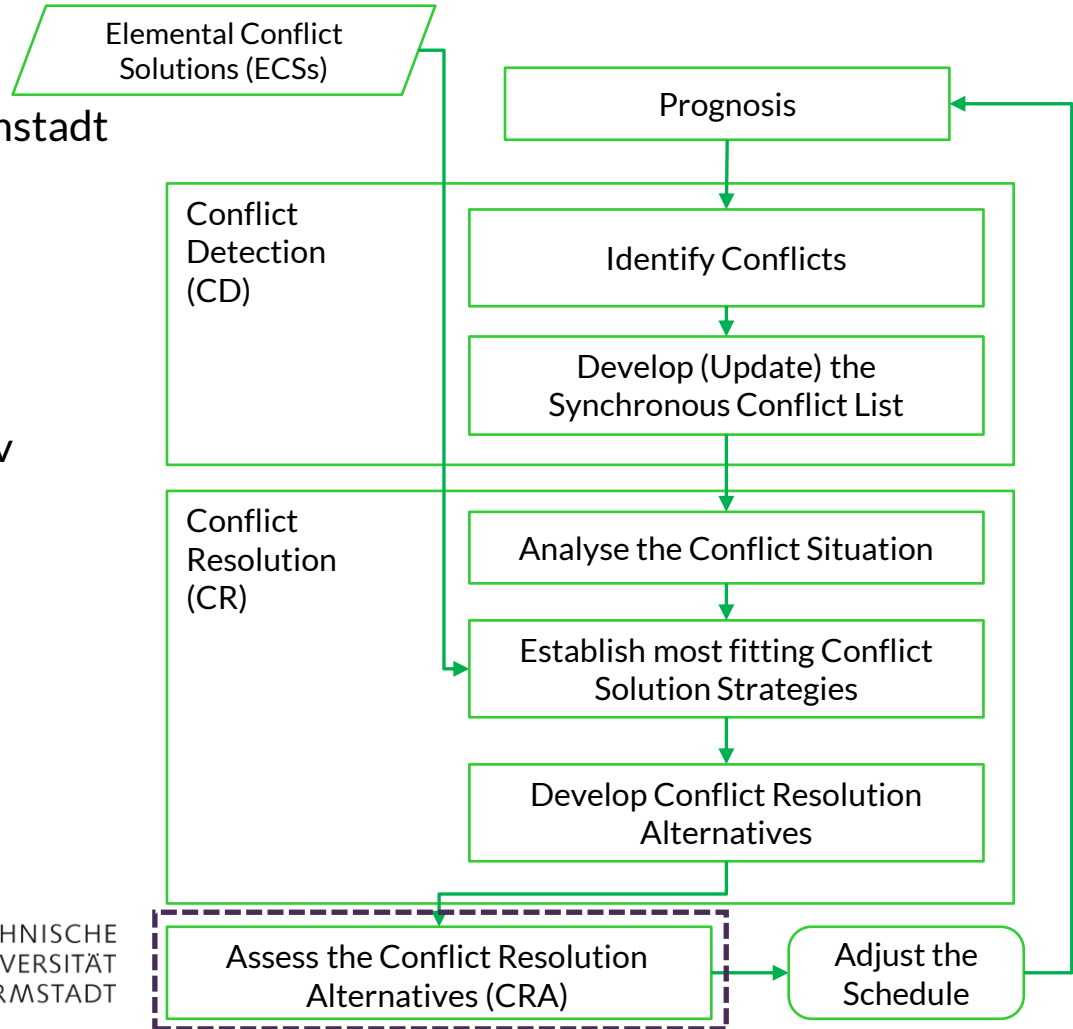
CDCR-metoden

- Heuristisk metod utvecklad vid TU Darmstadt
- Uppbyggd runt fyra generiska moduler
 - Prognos över trafikläge
 - Detektera konflikter
 - Konstruera konfliktlösningalternativ
 - Utvärdera konfliktlösningalternativ



CDCR-metoden

- Heuristisk metod utvecklad vid TU Darmstadt
- Uppbyggd runt fyra generiska moduler
 - Prognos över trafikläge
 - Detektera konflikter
 - Konstruera konfliktlösningalternativ
 - Utvärdera konfliktlösningalternativ



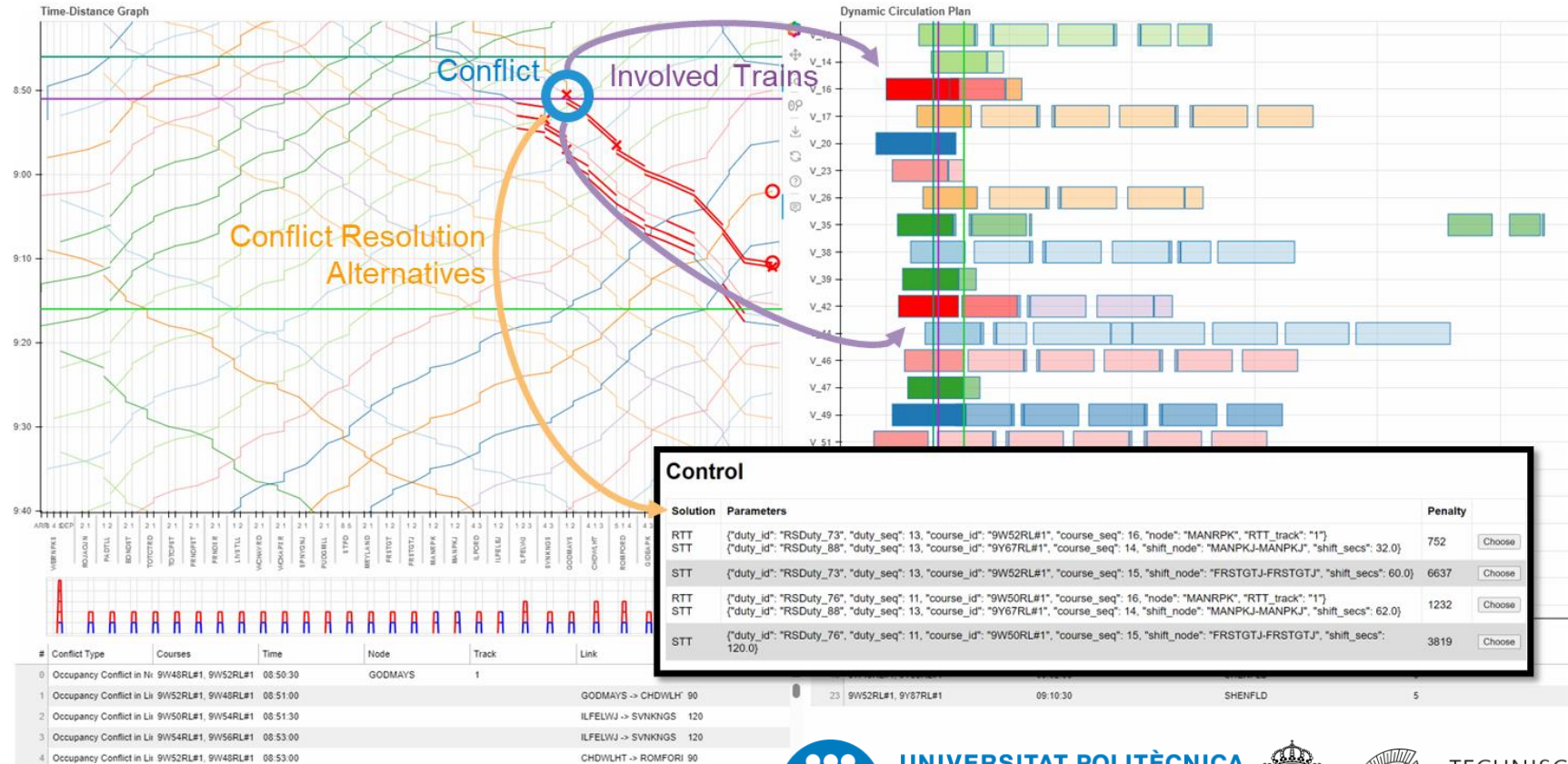
UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA
BARCELONATECH



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

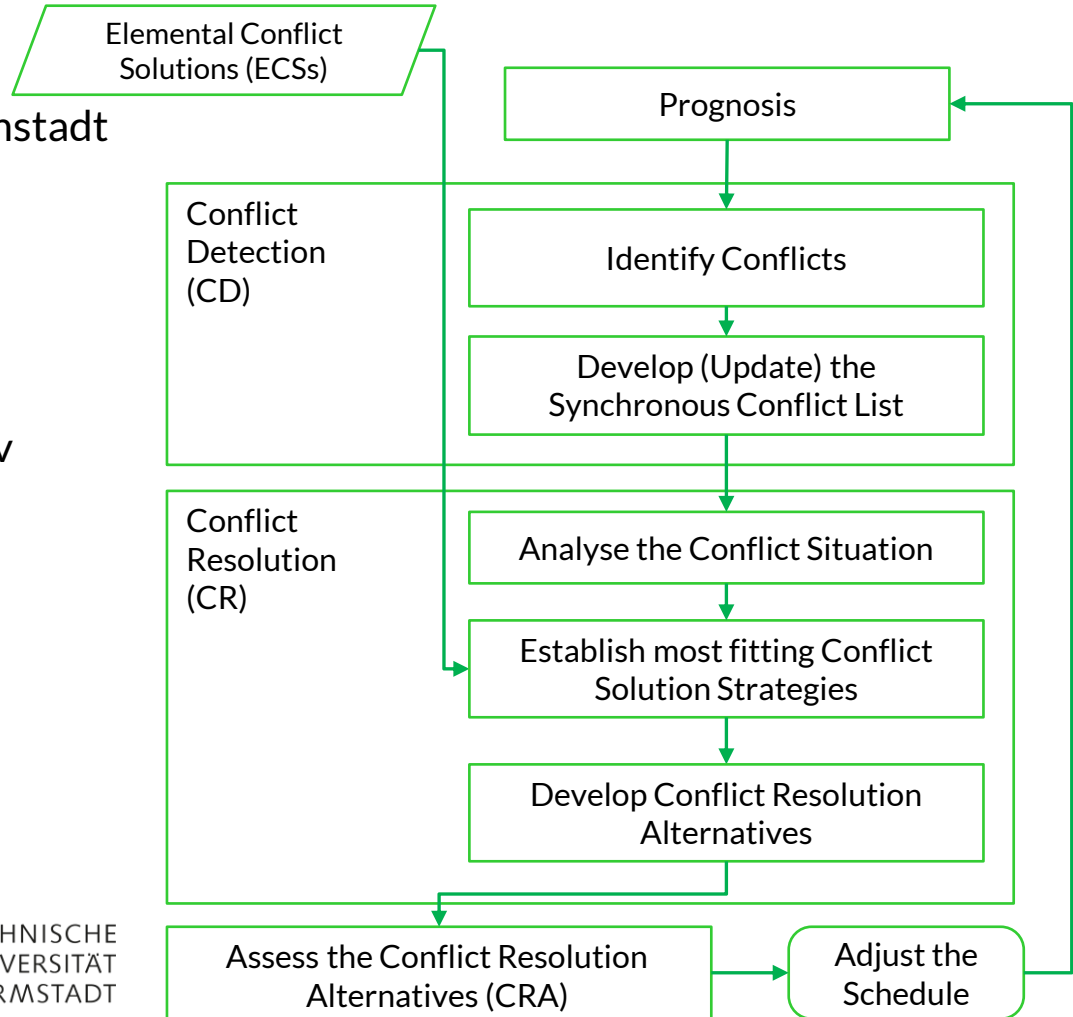
RI
SE

CDCR-metoden



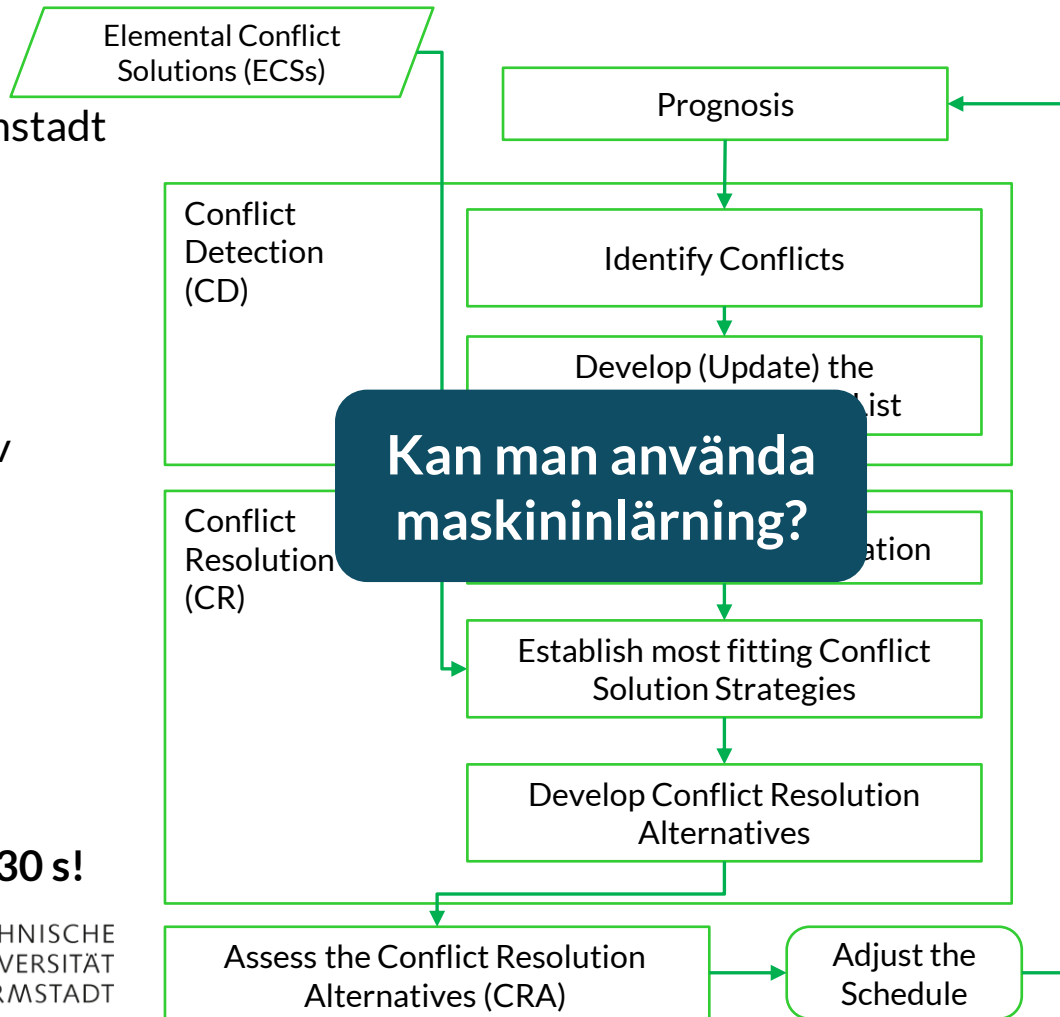
CDCR-metoden

- Heuristisk metod utvecklad vid TU Darmstadt
- Uppbyggd runt fyra generiska moduler
 - Prognos över trafikläge
 - Detektera konflikter
 - Konstruera konfliktlösningalternativ
 - Utvärdera konfliktlösningalternativ
- Transparent lösningsmetod
- Kan lösa olika typer av konflikter

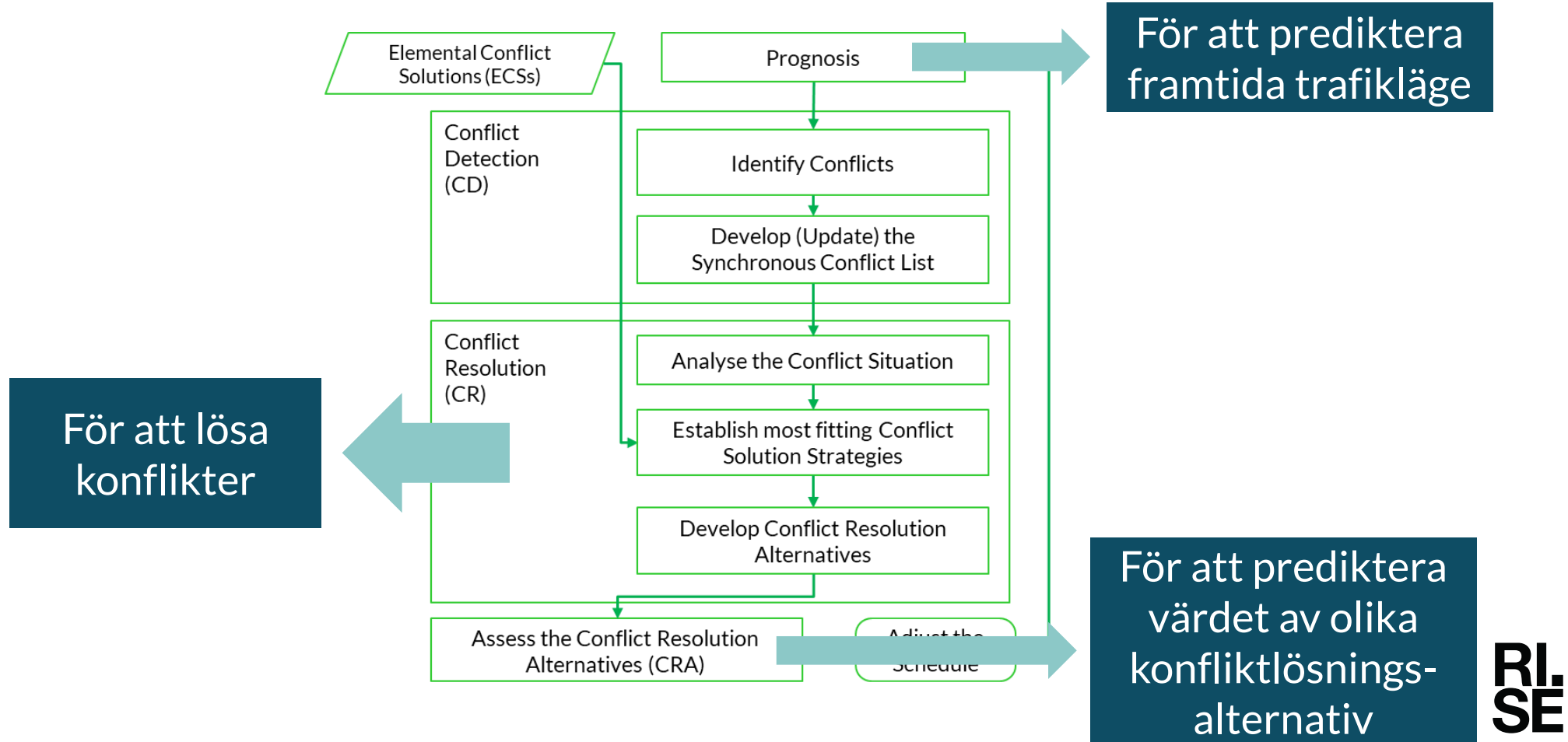


CDCR-metoden

- Heuristisk metod utvecklad vid TU Darmstadt
- Uppbyggd runt fyra generiska moduler
 - Prognos över trafikläge
 - Detektera konflikter
 - Konstruera konfliktlösningalternativ
 - Utvärdera konfliktlösningalternativ
- Transparent lösningsmetod
- Kan lösa olika typer av konflikter
- Lösningstid oftast under 1 s
 - **Svåra konflikter kan behöva mer än 30 s!**

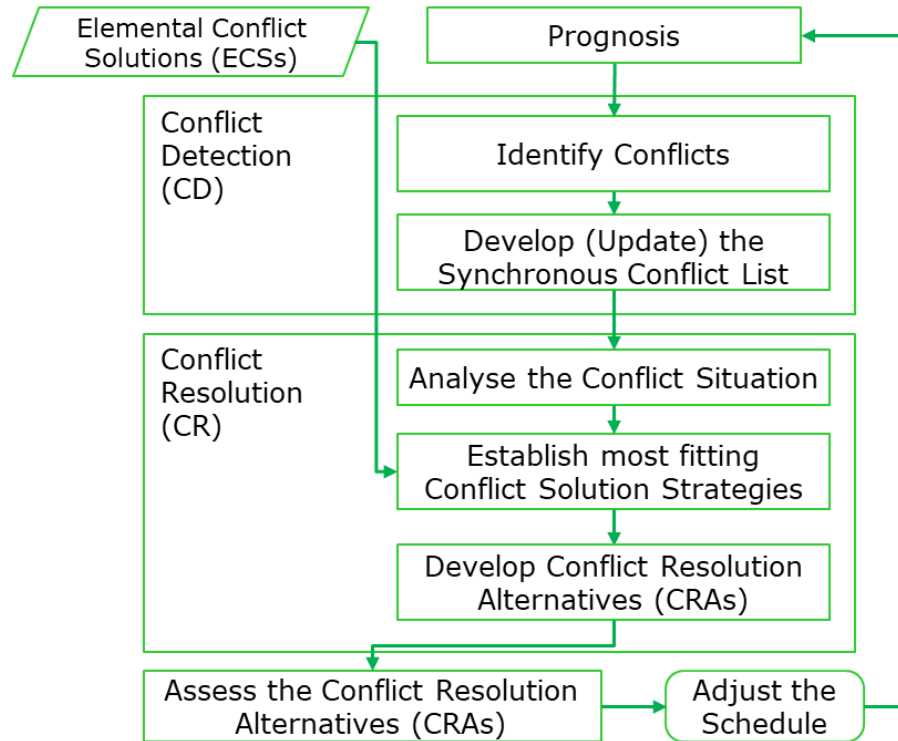


Tillämpning av ML i CDCR-metoden?

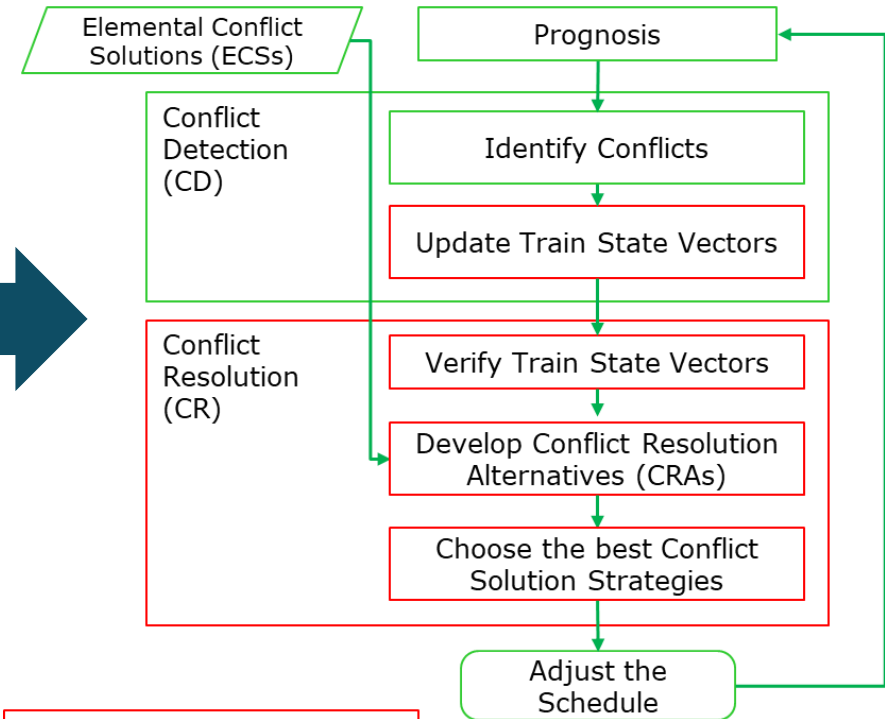


Reinforcement learning-CDCR metot

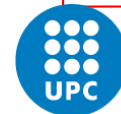
Heuristic CDCR



RL-CDCR



Note: Changes to the Heuristic in Red



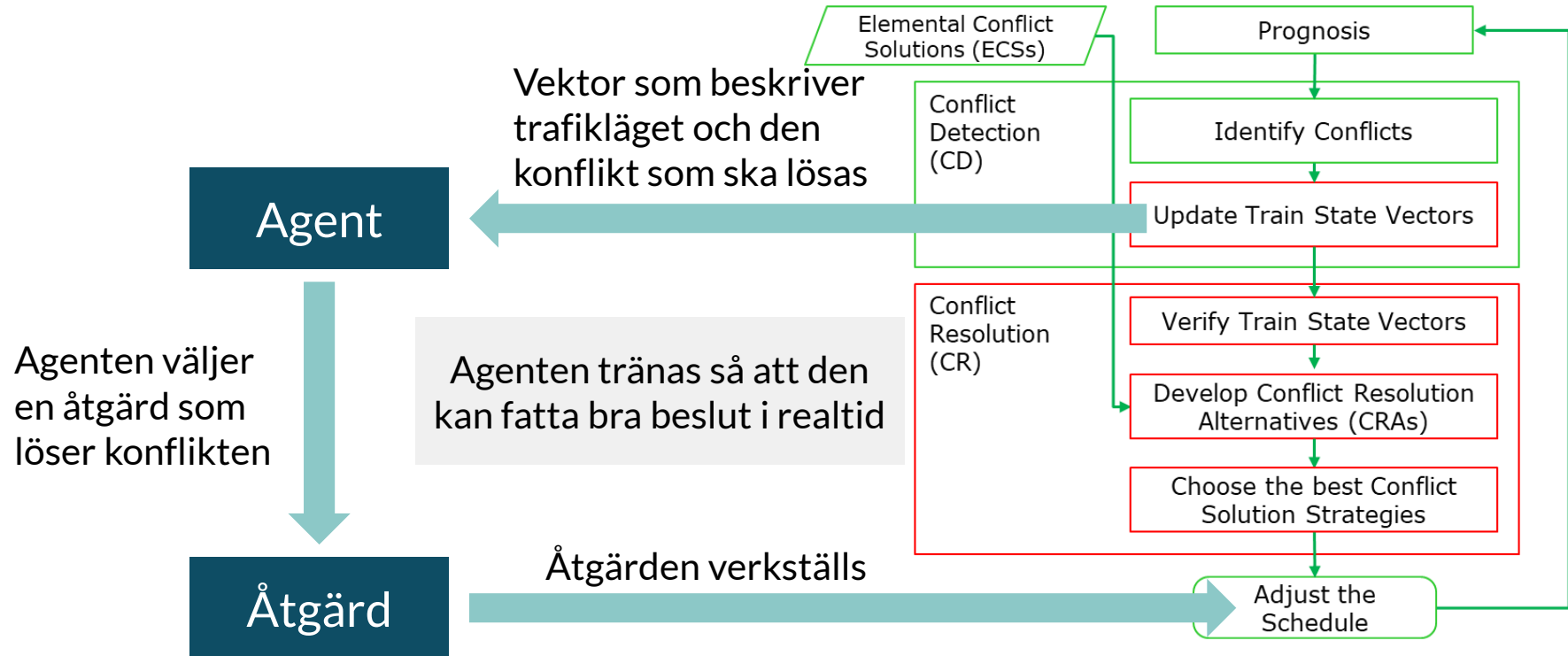
UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA
BARCELONATECH



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

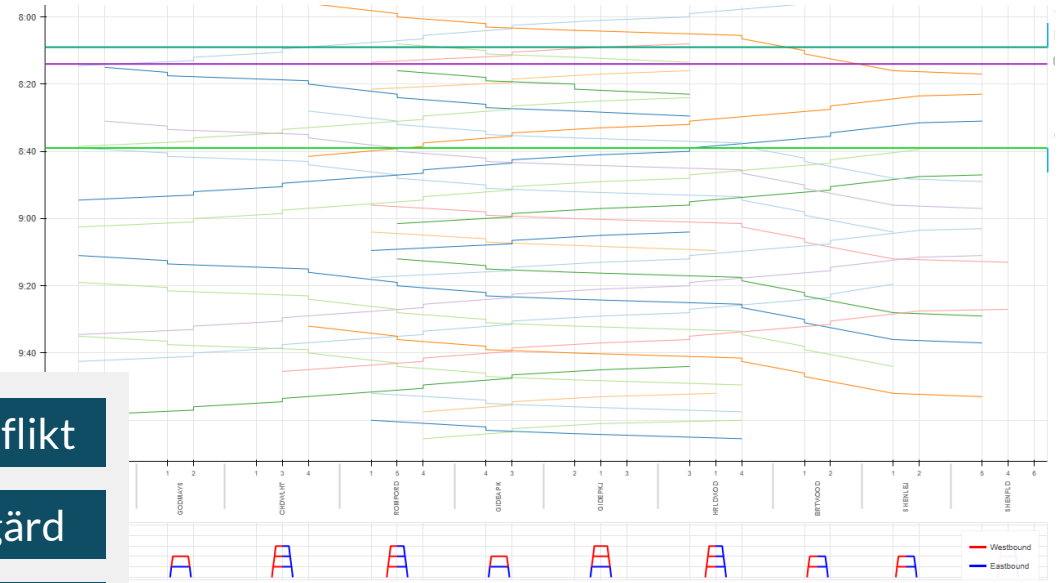
RL
SE

Reinforcement learning-CDCR metod



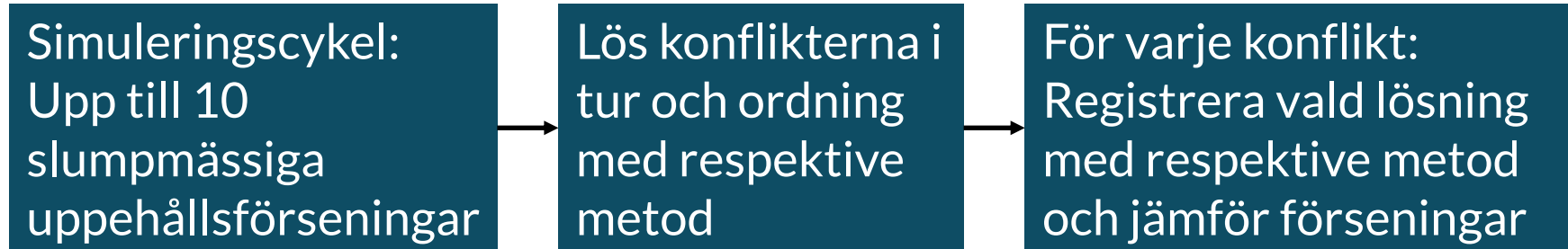
Träning av RL-CDCR metoden

- Makrosimulering på Elizabeth Line (London)
- Semi-periodisk tidtabell med 10 tågsätt
- Syntetiska uppehållsförseningar (60 % sannolikhet, medel 4,5 min, max 30 min)
- Antal träningsepisoder: 2 400



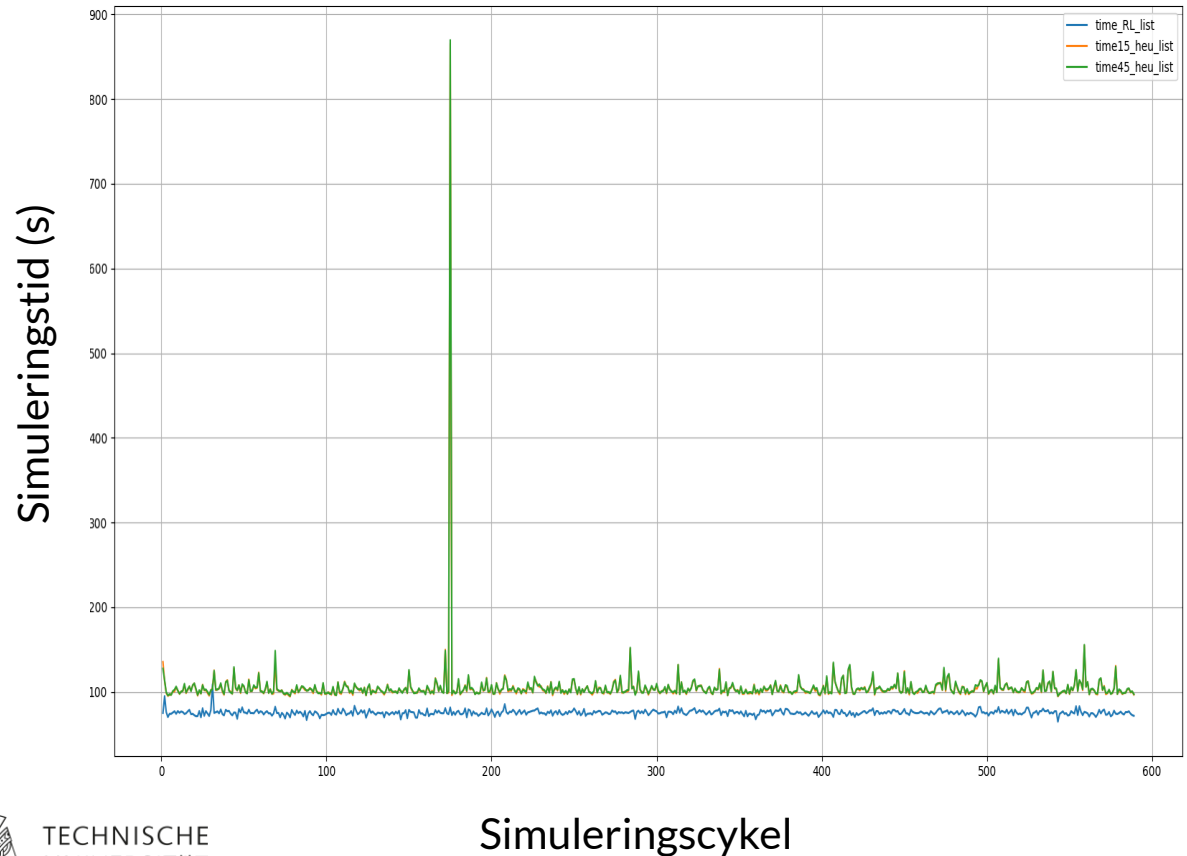
Utvärdering

- Heuristisk CDCR vs RL-CDCR
 - Heuristisk CDCR: 15 resp. 45 minuters tidshorisont
- Samma tidtabell som RL-CDCR metoden tränats på.
- 600 simuleringscykler



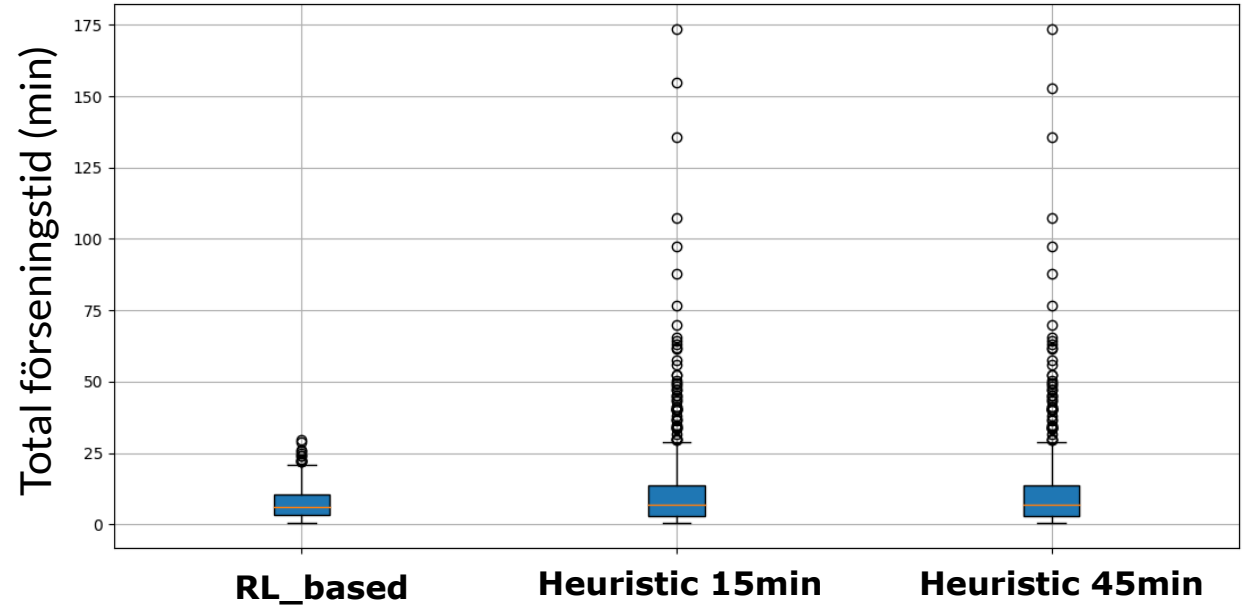
Resultat

- Simuleringstid till trafiken befinner sig i konfliktfritt tillstånd.
- RL-CDCR är alltid snabbare än de heuristiska CDCR metoderna



Resultat

- RL-CDCR ger mindre förseningar än de heuristiska metoderna.
- Färre stora förseningar med RL-CDCR -> mer robusta lösningar



Resultat

- RL-CDCR metoden är snabbare och leder till mindre förseningar än de heuristiska metoderna

	RL-CDCR	Heuristisk 15 min	Heuristisk 45 min
Simuleringstid (s)	75,4	104,9	105,4
Svarstid (ms)	4	500	500
Antal konflikter	4,0	6,1	6,1
Deadlocks	0	0	0
Försening (min)	7,5	11,9	11,9

Har vi övertränat RL-CDCR på det givna scenariot?



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA
BARCELONATECH

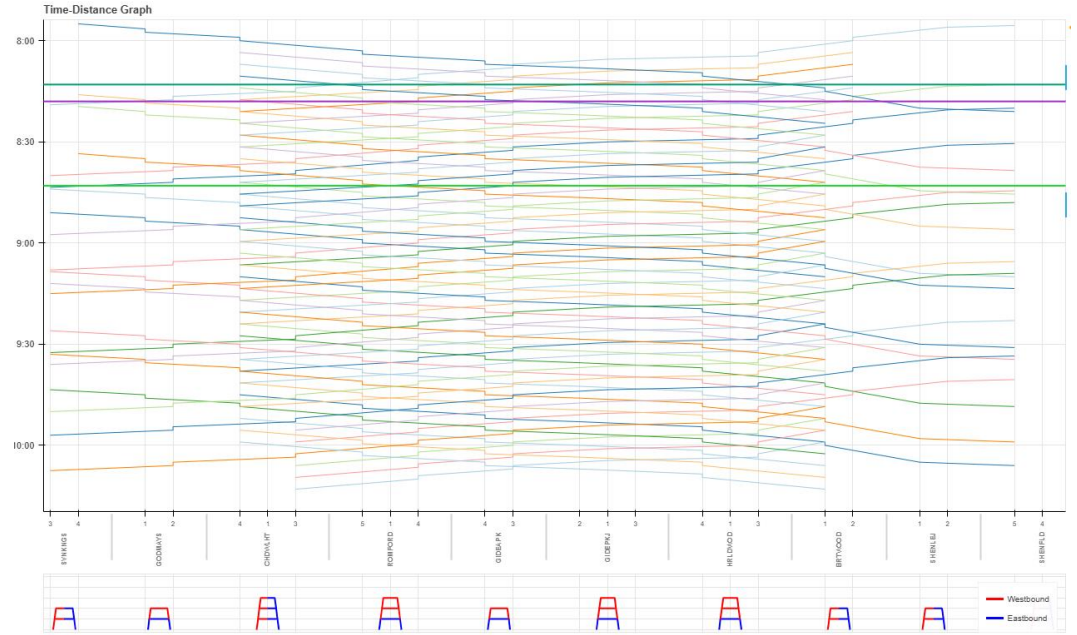


TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

RI.
SE

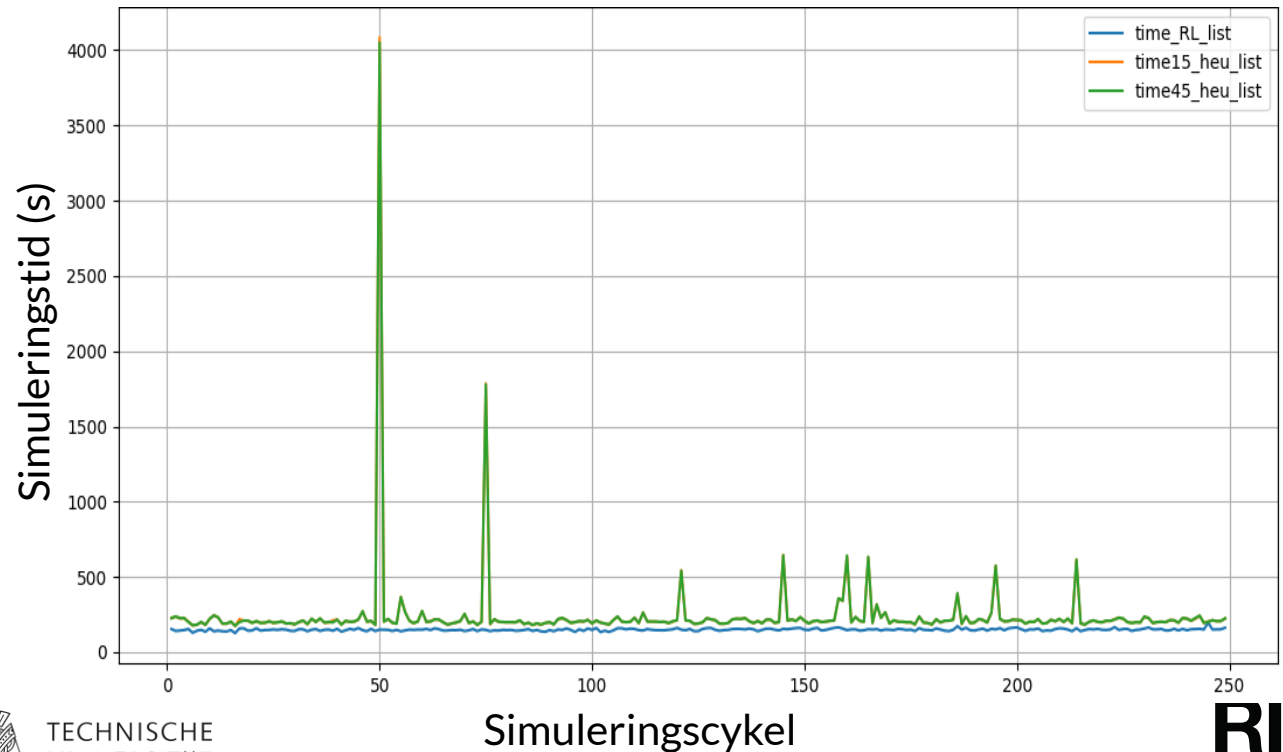
Har vi övertränat RL-CDCR på det givna scenariot?

- Skapade en ny tidtabell med tätare trafik.
- 250 nya simuleringscykler
 - RL-CDCR utan att träna på den nya tidtabellen
 - Heuristisk CDCR med 15 och 45 min tidshorisont.



Resultat

- RL-CDCR är alltid snabbare än den heuristiska metoden.
- Den heuristiska metoden får det ibland svårt



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA
BARCELONATECH



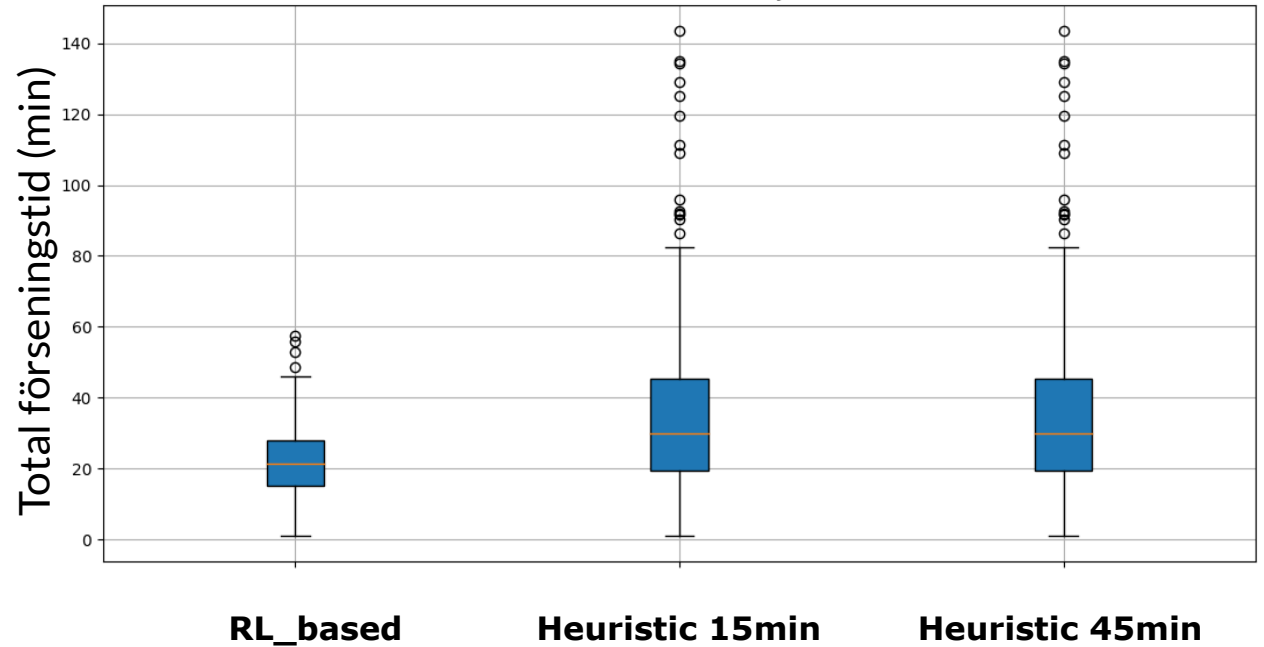
TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



Resultat

Även i detta fall:

- RL-CDCR ger mindre förseningar än de heuristiska metoderna.
- Färre stora förseningar med RL-CDCR -> mer robusta lösningar



Resultat

- Även med en annan tidtabell än den som användes i träningen är RL-CDCR metoden är snabbare och leder till mindre förseningar än de heuristiska metoderna

	RL-CDCR	Heuristisk 15 min	Heuristisk 45 min
Simuleringstid (s)	149,2	240,6	240,9
Svarstid (ms)	3	1900	1900
Antal konflikter	14,6	21,7	21,7
Deadlocks	0	0	0
Försening (min)	21,9	36,5	36,5

Slutsatser och framtida forskning

- Den RL-baserade CDCR-metoden presterar bättre än heuristiska:
 - Mindre förseningar och lägre spridning
 - Snabbare svarstid
- Den RL-baserad metoden generaliserar till tidtabeller som inte ingick i dess träning!

Nästa steg

- Förbättra kvaliteten på RL-metoden
- Utöka och skala upp metoden på större scenarier
- Utforska alternativa ML-integrationer
- Implementera stöd för att hantera andra konflikttyper (ex. omlopp, byten, etc.)



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA
BARCELONATECH



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

RI.
SE

Slutsatser och framtida forskning

- Den RL-baserade CDCR-metoden presterar bättre än heuristiska:
 - Mindre förseningar och lägre spridning
 - Snabbare svarstid
- Den RL-baserad metoden generaliserar till tidtabeller som inte ingick i dess träning!

Nästa steg

- Förbättra kvaliteten på RL-metoden
- Utöka och skala upp metoden på större scenarier
- Utforska alternativa ML-integrationer
- Implementera stöd för att hantera andra konflikttyper (ex. omlopp, byten, etc.)

**Tack för att ny
lyssnade!**



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA
BARCELONATECH



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

**RI.
SE**