

Real-time voorspellen van drukte op treinperrons op basis van actuele vertragingen

Rik Schakenbos – NS Stations – rik.schakenbos@nsstations.nl

Isabel Bevort – NS Stations – isabel.bevort@nsstations.nl

Jan Hoogenraad – Spoorgloren – jan.hoogenraad@spoorgloren.nl

Bijdrage aan het Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk 13 en 14 oktober 2022, Utrecht

Samenvatting

In 2019 werd op drie treinstations in Nederland (Utrecht Centraal, Amsterdam Zuid, Schiphol Airport) structureel crowd-control op de perrons toegepast vanwege de drukte op het perron. Door inzet van crowd-control worden risico's van potentieel gevaarlijke situaties gemitigeerd. In dit onderzoek verkennen we of we kort van tevoren (15 – 30 minuten) kunnen voorspellen wanneer deze piekdruktes voorkomen. Wanneer we dit kunnen voorspellen creëren we enige reactietijd voor de operatie zonder veel in te leveren op actuele beschikbare informatie.

We presenteren een aantal hypothesen, die we toetsen aan de gegevens van de werkelijke drukte op de perrons in 2019. We tonen het tijdsverloop op een aantal drukke momenten, en op basis van exploratieve analyse kiezen we ervoor om twee hypothesen van oorzaken van grote drukte, namelijk vertraagde treinen en opgeheven treinen verder uit te diepen.

We introduceren een model dat op basis van historische aantallen instappers per trein en historische vertrektijden in combinatie met de actuele vertrektijden een inschatting geeft van het actuele aantal reizigers op het perron. Het doel van het model is om een trigger af te laten gaan wanneer het aantal reizigers op het perron zo hoog is dat crowd-control maatregelen gewenst zijn, het doel is niet om het exacte aantal reizigers te voorspellen.

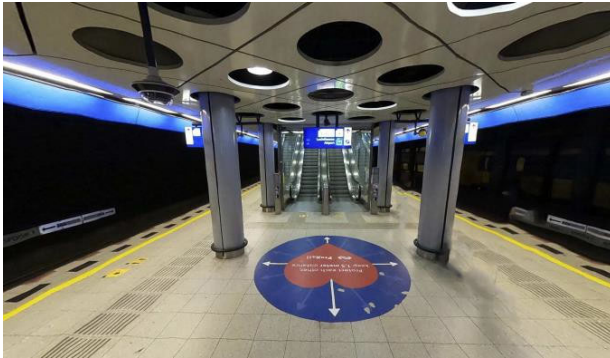
In onze showcase (Utrecht Centraal spoor 5) was het in driekwart van de gevallen dat het model triggerde ook daadwerkelijk druk op het perron (true positive). Van de 10 drukste momenten op het perron werd slechts één moment niet door het model als druk gemarkeerd (false negative). De drukste momenten op het perron blijken daarmee al goed te worden gereproduceerd.

Tot slot onderzoeken we in hoeverre de modelresultaten ook al 15 minuten voorafgaand aan het optreden van de drukte op het perron bekend hadden kunnen zijn. Hieruit blijkt dat het model al voor meer dan 80% van de meest drukke gevallen dit vooraf had kan voorspellen op basis van vertragingen die eerder in het treinnetwerk optreden.

Het model maakt alleen gebruik van databronnen die al beschikbaar zijn en zou daarom ook in de praktijk te implementeren zijn. Het toepassen hiervan geeft de mogelijkheid om niet 100% van de tijd crowd-control op deze perrons uit te voeren, maar taken te delen tussen perrons of zelfs met andere taken. Hiermee kunnen de kosten beperkt worden die voor het waarborgen van veiligheid gemaakt moeten worden.

1. Introductie

In 2019 werd op drie treinstations in Nederland (Utrecht Centraal, Amsterdam Zuid, Schiphol Airport) structureel crowd-control op de perrons toegepast vanwege de drukte op het perron. Door inzet van crowd-control mitigeren we de risico's van potentieel gevaarlijke situaties, zie ook ProRail (2019). Denk hierbij aan maatregelen zoals reizigers actief beter over het perron verspreiden om lokale drukte te voorkomen of zelfs het tijdelijk afsluiten van een stijgpunt om de aanvoer van reizigers naar het perron te doseren.



Figuur 1: Spoor 1-2 station Schiphol Airport. Op dit perron treedt soms grote drukte op vanwege het grote aantal instappers (onder andere toeristen met koffers) richting Amsterdam Centraal, met name rondom de roltrappen.



Figuur 2: Amsterdam Zuid. Op beide treinperrons treedt met name rondom de stijgpunten soms grote drukte op.



Figuur 3: Utrecht spoor 5/7. De beschikbare ruimte voor reizigers op spoor 5 (links) is klein terwijl de beschikbare ruimte bij spoor 7 (rechts) juist groot is. Hierdoor treedt op spoor 5 grote drukte op.

Het aantal reizigers op deze perrons verschilt per dag en tijdstip en is vooraf nog niet goed te voorspellen. Op veel dagen en momenten is geen crowd-control nodig, maar het is van tevoren onbekend op welke momenten crowd-control wel nodig is. Vaak is dit het geval bij onverwacht hoge piekdruktes. In dit onderzoek verkennen we of we kort van tevoren (15 – 30 minuten) kunnen voorspellen wanneer deze piekdruktes optreden.

We kiezen voor een korte termijn voorspelling van 15 – 30 minuten omdat we hiermee een balans denken te hebben om voor de operatie enige reactietijd creëren, en tegelijkertijd wel de meest actuele beschikbare informatie mee te nemen. Wanneer we langer vooruit proberen te voorspellen (bijvoorbeeld 1 uur) voegt dit weinig toe aan het handelingsperspectief van de operatie, maar leveren we wel in op beschikbare data (bijvoorbeeld de actuele treinenloop). Wanneer we korter vooruit gaan voorspellen ontnemen we de operatie reactietijd terwijl we weinig extra data aan de voorspelling toe kunnen voegen.

Wanneer we succesvol kort van tevoren een situatie kunnen voorspellen waarin ingrijpen door middel van de crowd-control operatie gewenst is, kunnen we deze medewerkers nog effectiever inzetten. Zo kunnen er mogelijk maatregelen getroffen worden die minder impact hebben op de reiziger, bijvoorbeeld de toegang tot een perron doseren in plaats van volledig afsluiten. Verder valt bijvoorbeeld te denken aan een team medewerkers dat op verschillende perrons op een station ingezet kan worden, afhankelijk van waar het nodig is. Dit in plaats van een team op ieder perron positioneren.

Dit paper is als volgt gestructureerd: In hoofdstuk 2 beschrijven we de hypothesen van oorzaken van overmatige drukte op perrons. Hoofdstuk 3 gaat in op de gebruikte bronnen. Vervolgens geeft hoofdstuk 4 een numerieke situatieschets van een aantal kenmerkende drukke momenten. Hoofdstuk 5 gaat specifiek in op het voorspellen van overmatig drukke situaties met als uitgangspunt vertraagde treinen. Daarna beschouwd hoofdstuk 6 in hoeverre deze methode de juiste voorspelling geeft om in hoofdstuk 7 te concluderen of de gebruikte methode toegevoegde waarde kan hebben in de praktijk.

2. Hypotheses

De grootste veiligheidsrisico's ten gevolge van drukte op de perrons ontstaan over het algemeen net voor een trein stopt, wanneer de trein langs de instappende reizigers rijdt. Wanneer de daarna uitstappende reizigers het perron op komen is het weliswaar drukker, maar staat de trein noodzakelijkerwijs stil. De uitstappende reizigers kunnen daarna meestal relatief snel het perron verlaten, terwijl de trein nog langs het perron staat. We richten ons daarom op de instappende reizigers.

Op een "gemiddelde" dag is het op geen van de perrons waar crowd-control wordt ingezet te druk. Op basis van expert judgement hebben we een aantal hypotheses opgesteld waarom het aantal instappers voor een specifieke trein groter kan zijn dan deze gemiddelde omstandigheden:

- *Vertraging van een nog te vertrekken trein:* Hierdoor staan mensen langer op het perron en staan er bij langere vertragingen of bij hoogfrequente treindiensten ook al reizigers voor een volgende trein op het perron.
- *Opgeheven eerdere trein:* De reizigers die in een opgeheven trein in wilden stappen willen voor het grootste deel met de eerstvolgende trein in dezelfde richting meereizen.
- *Vertraging of vervroeging van belangrijke overstaprelatie:* Doordat een of beide treinen van een overstaprelatie te vroeg of te laat aankomt kan het voorkomen dat een overstap die normaal niet gehaald kan worden ineens wel gehaald kan worden, of andersom, en dat reizigers dan voor de aansluitende trein staan te wachten
- *Er komen meer reizigers het station in dan gemiddeld vanwege lokale omstandigheden:* Het kan zijn dat er meer reizigers dan gemiddeld het station binnenkomen omdat er bijvoorbeeld een evenement plaatsvond of iets anders lokaal speelde
- *Er komen meer reizigers het station in dan gemiddeld vanwege seizoen-/dageffecten:* Op bepaalde dagen (dinsdag/donderdag) en in bepaalde maanden (september) is het drukker dan gemiddeld omdat op deze dagen en maanden veel forenzen en scholieren/studenten per trein reizen.

De twee databronnen die bovenstaande omstandigheden kunnen signaleren, om vervolgens drukte op de perrons te voorspellen, zijn de actuele treinenloop en het actuele aantal reizigers dat een station binnenkomt. De actuele treinenloop (posities en eventuele vertragingen) zijn op dit moment al real-time beschikbaar. Check-in aantallen zijn beschikbaar enkele dagen na de dag van uitvoering (en dus bruikbaar voor toetsen) maar niet real-time (en daarmee nog niet te gebruiken voor beslissingen voor crowd control).

Onze hypothese is dat een groot aandeel van overmatige drukte op het perron vanuit de treinenloop te verklaren is, naast versterkende effecten zoals bijvoorbeeld het seizoen. Vanwege deze hypothese, in combinatie met de huidige databeschikbaarheid richten wij ons in dit onderzoek op het voorspellen van overmatige drukte op basis van de treinenloop.

3. Gebruikte databronnen

Om te onderzoeken of we overmatige drukte op perrons kunnen voorspellen hebben we gebruik gemaakt van een historische dataset uit 2019. Hiervoor hebben we gebruik gemaakt van ROCKT2. ROCKT2 is een algoritme dat op basis van check-ins/outs en de gerealiseerde dienstregeling reizigers aan treinen toewijst en op deze manier nauwkeurig het aantal in-/uit-/overstappers per treinnummer¹ per station bepaald. Een meer gedetailleerde omschrijving van de werking van ROCKT2 is te vinden in van den Heuvel en Hoogenraad (2014).

De dataset van ROCKT2 is in dit onderzoek zowel gebruikt als 'ground truth' wat betreft het aantal instappers dat tegelijkertijd op het perron stond, maar ook om te reconstrueren hoe laat welke trein langs welk perron stond. We hebben ons in dit onderzoek beperkt tot de stations Utrecht Centraal (spoor 5), Amsterdam Zuid (spoor 1 – 4) en Schiphol Airport (spoor 1 – 2) omdat dit de stations zijn waar structureel crowd-control op de perrons wordt ingezet zoals ook in de inleiding uiteen is gezet.

Op basis van ROCKT2 maken we een dataset met het aantal instappers dat per minuut op het perron is. Zoals in hoofdstuk 2 is toegelicht is met name de korte periode vlak voordat de vertrekkende trein aankomt van belang. Daarom richten we ons specifiek op de instappers. We definiëren dit als inclusief de overstappende instappers. Om te komen tot het aantal instappers dat vlak voor aankomst van een trein op het perron staat hebben we een aantal aannames gedaan:

- Een instapper of overstapper staat 30s na inchecken op het vertrekperron. Voor Amsterdam Zuid en Schiphol Airport is dit realistisch, voor Utrecht Centraal is dit meestal te kort. Echter is het maatgevende moment voor instappers vlak voor vertrekmoment van de trein, op dit moment staan de instappers op het perron. Voor de maatgevende pieken is dit verschil daarom verwaarloosbaar.
- Een instapper brengt zijn tijd tussen check-in en vertrekmoment van de trein op het perron door. Ook dit is niet in zijn algemeenheid waar, maar op het maatgevende moment (vlak voor vertrek van de trein) is dit over het algemeen wel correct.

Op basis hiervan hebben we een dataset samengesteld waar per minuut in 2019 is bepaald hoeveel instappers er op de te beschouwen perrons stonden. Deze dataset met het aantal instappers op enig moment beschouwen we in dit paper als onze 'ground-truth' waar we ons te ontwikkelen prognose-model aan toetsen. Daarom spreken we verder in dit paper over 'realisatie instappers', daarmee wordt gerefereerd aan de instappers zoals bovenstaand beschreven.

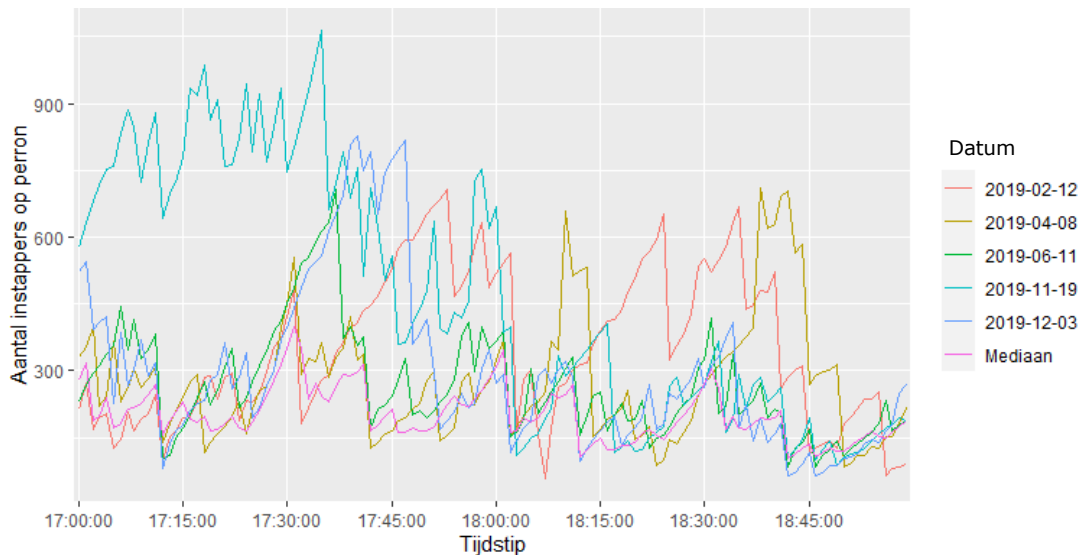
Daarnaast hebben we bij het zoeken naar verklaringen in de treinenloop in hoofdstuk 6 dankbaar gebruik gemaakt van www.treinposities.nl voor een goed historisch overzicht van de geplande en gerealiseerde vertrektijden van treinen.

¹ Een trein die op een bepaald moment op de dag vertrekt bij NS heeft een treinnummer. Dit treinnummer is gelijk over de dagen van de week. Bijvoorbeeld: de trein met geplande vertrektijd 08:12 vanaf Utrecht Centraal richting Schiphol Airport heeft iedere dag treinnummer 3522. Verder is in deze dataset ook het gerealiseerde spoor en de gerealiseerde aankomst- en vertrektijd opgenomen.

4. Numerieke situatieschets

Om een eerste gevoel te krijgen waar de grote uitschieters wat betreft perrondrukke zich bevinden plotten we het verloop van het aantal reizigers op basis van de in hoofdstuk 3 beschreven dataset. We willen deze data uiteindelijk verklaren met een model, maar we beginnen het onderzoek exploratief en kijken naar het verloop van het aantal instappers op het perron.

In het onderstaande voorbeeld in Figuur 4 zien we van een aantal drukke momenten het aantal instappers per minuut op Schiphol Airport spoor 1-2, waar treinen aankomen uit Leiden Centraal en Rotterdam Centraal en daarna vertrekken naar Amsterdam Zuid, Amsterdam Centraal of Zaandam. Ter referentie is ook het mediaan aantal reizigers (op weekdays) hierin weergegeven. Het gaat hier om de avondspits.

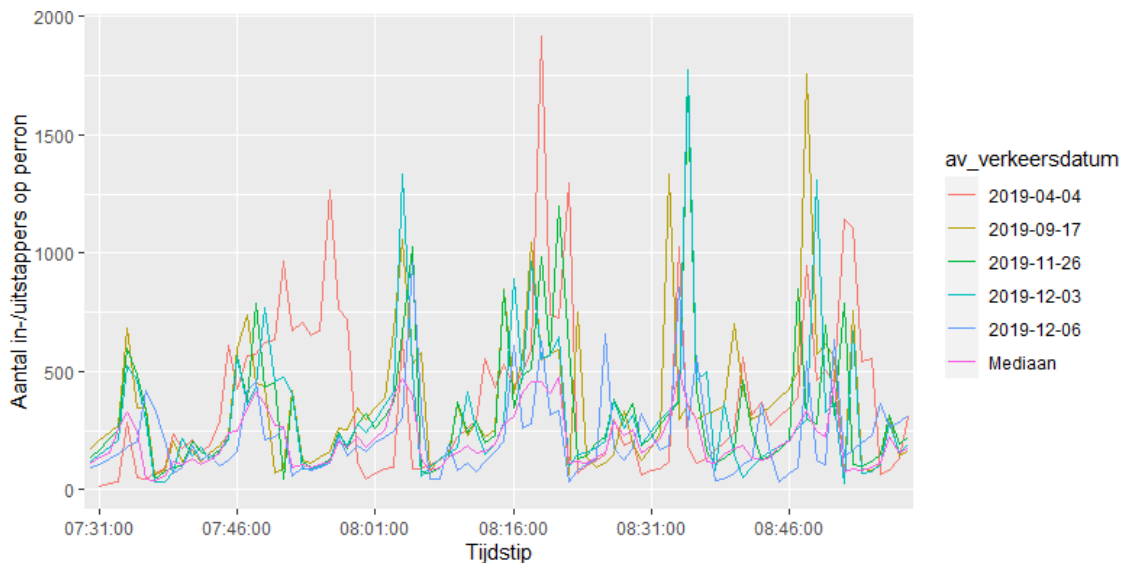


Figuur 4 – drukke momenten op spoor 1-2 station Schiphol Airport

Voor deze dagen zijn we verder gaan zoeken naar verklaringen waarom nu juist hier grote drukte optrad. Zo zien we:

- *19 november:* In de avondspits tussen 17:00 – 18:00 vertrokken vrijwel alle treinen van Schiphol Airport met vertraging. Hierdoor ontstond extra drukte op de perrons /
- *3 december:* De Intercity Direct en de Thalys hadden vertraging, daardoor was er ongeveer een kwartier geen afvoer van reizigers van het perron (wel aanvoer).
- *8 april:* Verschillende intercity's en Sprinters van Leiden Centraal naar Amsterdam Centraal zijn niet vertrokken vanaf Leiden Centraal. Hierdoor zijn reizigers vermoedelijk om gaan reizen via Schiphol Airport, wat een aanvullende overstapstroom tot gevolg had.

In Figuur 5 zien we het totaal aantal reizigers (instappers en uitstappers) op Amsterdam Zuid spoor 3-4 waar treinen aankomen uit Amsterdam Bijlmer Arena of Duivendrecht en daarna vertrekken naar Schiphol.



Figuur 5 - drukste dagen op perron 3 en 4 Amsterdam-Zuid

Een aantal verklaringen voor wat we zien op deze specifieke dagen:

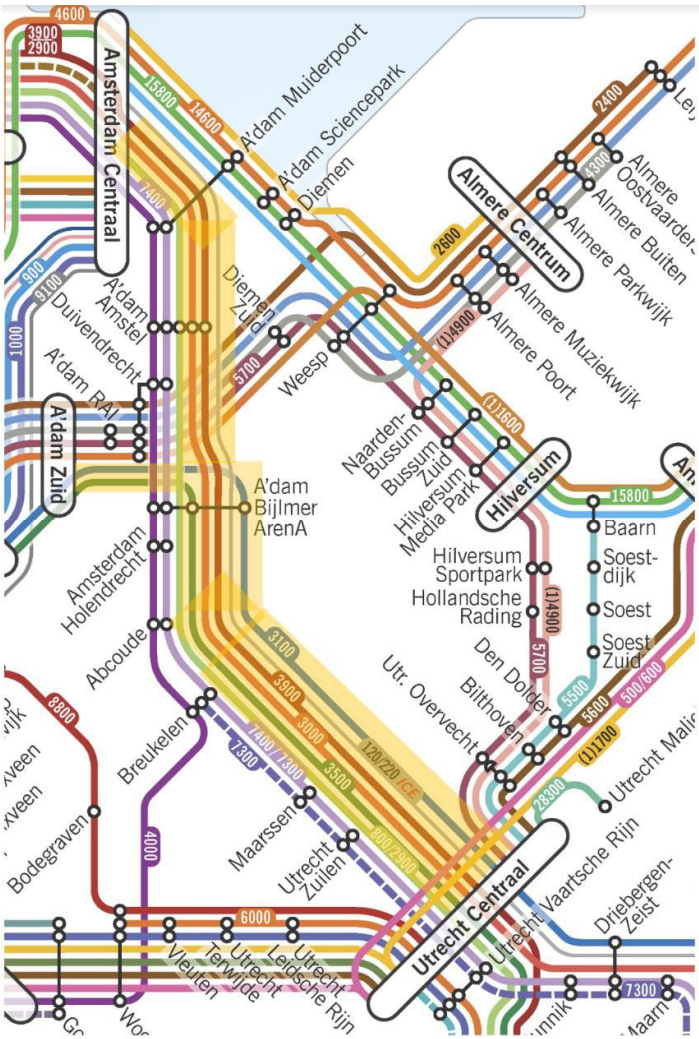
- *4 april*: Deze datum valt op met verschillende pieken na elkaar rond 08:15. Dit zijn twee wat vertraagde treinen, op hetzelfde eilandperron (3-4).
- *17 september*: verschillende treinen zijn uitgevallen wat tot extra drukte op het perron heeft geleid.
- *26 november*: Een specifieke trein (treinnummer 3522) was vertraagd. Deze trein heeft normaal gesproken een groot aantal instappers, dus een vertraging van deze trein leidt direct tot drukte op het perron.

Op deze manier hebben we naar veel verschillende momenten gekeken op de drie stations (Amsterdam Zuid, Schiphol Airport en Utrecht Centraal). We constateren dat de grootste verstoringen op alle drie de stations komen door verstoringen in de treindienst en niet vanwege veranderingen in de reizigersaantallen. Dit versterkt de initiële keuze voor de hypothese uit hoofdstuk 2.

Bovenstaande verstoringen hebben vaak hun oorsprong op een ander moment en zijn daarmee op enig moment te voorspellen, bijvoorbeeld omdat de trein op het voorgaande station al te laat vertrekt. De meest voorkomende uitschieter is wanneer een eerdere trein later vertrekt dan de vertrektijd van een volgende trein (twee treinen 'halen elkaar in') of als de eerdere trein helemaal niet rijdt. In deze gevallen staan de reizigers van de eerdere trein namelijk nog op het perron, samen met de reizigers van de volgende trein. Een uitzondering hierop die we zijn tegengekomen is het niet rijden van Intercity van Leiden Centraal naar Amsterdam Centraal, waardoor reizigers via Schiphol Airport gingen reizen.

5. Specifieke methode vertraagde treinen

Op basis van de numerieke situatieschets in hoofdstuk 4 ontwikkelen we een model om op basis van mediane reizigersaantallen het aantal instappers op het perron te voorspellen op Utrecht Centraal spoor 5-7. Op dit perron komen treinen aan uit Arnhem Centraal (via Ede-Wageningen) en Eindhoven Centraal (via 's-Hertogenbosch). De treinen vertrekken daarna naar Amsterdam Zuid / Schiphol Airport of Amsterdam Centraal. Zie ook Tabel 1 en Figuur 6 voor de vertrekkende treinseries vanaf dit perron.



Trein serie	Richting
120	Amsterdam Centraal
800	Amsterdam Centraal
3000	Amsterdam Centraal
3100	Amsterdam Zuid
3500	Amsterdam Zuid
3900	Amsterdam Centraal

Tabel 1: Treinseries vertrekkend vanaf spoor 5-7 Utrecht Centraal

Figuur 6: Treinseries vertrekkend vanaf spoor 5-7 Utrecht Centraal (geel gearceerd)

De gedachte van dit model is dat het mediane aantal instappers voor een treinnummer een goede voorspeller is voor het aanbod van reizigers op het perron vlak voor de mediane vertrektijd van deze trein. Onafhankelijk of deze trein uiteindelijk op tijd, te laat, of helemaal niet heeft gereden, het grootste deel van de instappers zal op dat moment toch op het perron staan. Ter versimpeling van het model hebben we er nu voor gekozen dat 50% van het mediane aantal instappers 6 minuten voor de mediane vertrektijd van de trein op het perron staat, en dat 2 minuten voor de mediane vertrektijd 100% van het mediane aantal instappers op het perron staat. De aanvoer van

reizigers per trein is in ons model daarmee per dag gelijk. We maken wel verschil tussen weekdays en weekenddagen.

Voor de afvoer van instappers kijken we telkens naar de gerealiseerde vertrektijd van de eerstvolgende trein in de richting waarin deze reizigers willen reizen. In dit specifieke geval (Utrecht Centraal spoor 5-7) zijn er twee richtingen mogelijk: Amsterdam Centraal en Amsterdam Zuid/Schiphol. Zodra er een trein vertrekt naar de betreffende richting zijn alle reizigers voor deze richting weer van het perron af in ons model.

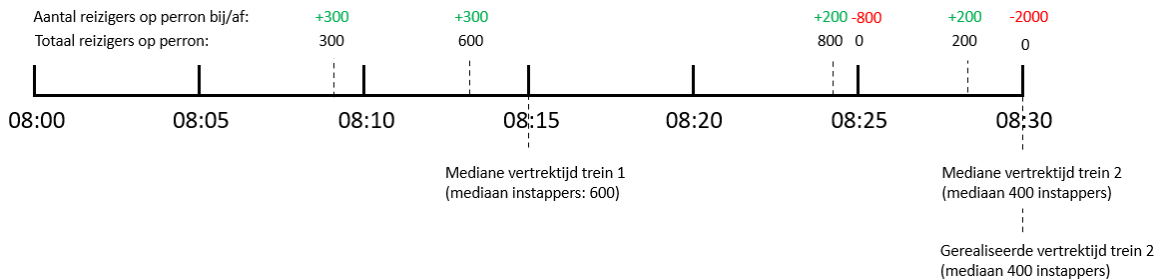
Kortom: het aanbod van instappers wordt gemodelleerd op basis van mediane aantallen instappers (op basis van een dataset over 2019) en mediane vertrektijden van de treinen. Voor de afvoer van instappers wordt gekeken naar de daadwerkelijke vertrektijden van de treinen.

Ter illustratie twee scenario's met een rekenvoorbeeld. De situatie is als volgt:

- Trein 1 richting Amsterdam Centraal heeft een mediane vertrektijd van 08:15 en een mediaan aantal instappers van 600
- Trein 2 richting Amsterdam Centraal heeft een mediane vertrektijd van 08:30 en een mediaan aantal instappers van 400

In scenario 1 vervalt trein 1. Trein 2 vertrekt op de mediane vertrektijd. Deze trein zal ook alle instappers van trein 1 meenemen. In dit geval ziet de modelmatige opbouw op het perron er als volgt uit (Figuur 7):

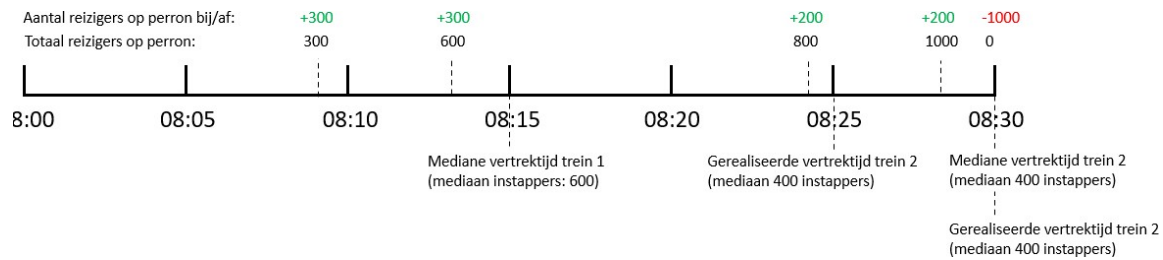
08:09 (mediaan -6): +50% trein 1 = 300 instappers
 08:13 (mediaan -2): +50% trein 1 = 600 instappers
 08:24 (mediaan -6): + 50% trein 2 = 800 instappers
 08:28 (mediaan -2): + 50% trein 2 = 1000 instappers



Figuur 7: Tijdslijn van rekenvoorbeeld verloop instappers op perron bij uitgevallen trein

In scenario 2 rijden beide treinen, maar is trein 1 10 minuten vertraagd. Een deel van de reizigers voor trein 2 zullen met de vertraagde trein 1 mee gaan. De modelmatige opbouw op het perron ziet er als volgt uit (Figuur 8):

08:09 (mediaan -6): + 50% trein 1 = 300 instappers
 08:13 (mediaan -2): + 50% trein 1 = 600 instappers
 08:24 (mediaan -6): + 50% trein 2 = 200 = 800 instappers
 08:25 (vertrektijd trein 1): 0 instappers
 08:28 (mediaan -2): + 50% trein 2 = 200 instappers



Figuur 8: Tijdslijn van rekenvoorbeeld verloop instappers op perron bij vertraagde trein

6. Resultaten toepassing model vertraagde treinen

In hoofdstuk 5 hebben we een model beschreven om op basis van mediane aantallen instappers en vertrektijden in combinatie met daadwerkelijke vertrektijden het aantal instappers op het perron te modelleren. Dit model hebben we toegepast op Utrecht Centraal spoor 5 - 7. Om te toetsen hoe goed dit model in staat is om het aantal instappers op het perron te benaderen vergelijken we de modelresultaten met het daadwerkelijk aantal instappers op het perron (op basis van ROCKT2, zoals beschreven in hoofdstuk 3).

Het gaat hierbij niet zozeer om hoe dicht de realisatiewaarde bij de modelwaarde zit, maar of zowel het model als de realisatie een "hoge" of "lage" waarde geeft. Het doel was immers niet om een exact aantal instappers te voorspellen, maar om te signaleren of de crowd-control operatie mogelijk al vroegtijdig actie kan ondernemen. Hierbij is de exacte waarde van "hoog" en "laag" nog arbitrair en ook afhankelijk van het handelingsperspectief van de operatie. In dit onderzoek wordt een waarde als "hoog" geclassificeerd wanneer dit een van de 30 drukste dagen/momenten in het jaar was.

We maken vervolgens onderscheid naar:

- True/False positives: Wanneer het model een hoge waarde aangeeft, zien we dan ook in de realisatiedata een hoge waarde op het perron. Oftewel: krijgt de crowd-control operatie terecht een signaal dat het druk gaat worden.
- True/false negatives: Wanneer het model geen hoge waarde aangeeft, zien we dan ook in de realisatiedata geen hoge waarde op het perron. Oftewel: mist het model momenten waarop een signaal richting de crowd-control operatie wel gewenst was.

Voor het totaal van Utrecht Centraal spoor 5-7 is in Tabel 2 het beeld weergegeven voor de true/false positives en negatives. Voor de true/false positives zijn de 30 drukste momenten weergegeven volgens het model en vergeleken met het aantal reizigers volgens realisatiedata. Beiden zijn geel gearceerd wanneer deze tot de top-30 drukste momenten behoorde.

Voor de true/false negatives zijn de 30 drukste momenten volgens realisatiedata weergegeven, met daarbij het aantal wachtenden volgens het model. Ook hier zijn de cellen die tot de top-30 drukste momenten behoorde weer geel gearceerd.

True/False positives					True/False Negatives				
Datum	Tijdstip	Wachtenden model	Wachtenden realisatie	Afwijkende dag	Datum	Tijdstip	Wachtenden realisatie	Wachtenden model	
7-11-2019	9:09	7170	3368		29-10-2019	8:35	3722	2783	
21-6-2019	8:26	5648	2122		7-11-2019	8:38	3368	7170	
10-6-2019	8:22	5324	313	Pinksteren	12-11-2019	8:16	3296	2163	
26-7-2019	19:51	4189	1215		22-8-2019	8:26	3047	2116	
31-12-2019	23:51	3164	665	Oudjaarsdag	16-9-2019	8:11	3012	2445	
30-5-2019	8:06	3152	420	Hemelvaart	2-9-2019	8:11	2935	1676	
29-8-2019	8:42	2981	2549		8-4-2019	8:26	2692	2116	
29-11-2019	14:09	2894	1596		18-11-2019	8:29	2678	1831	
29-10-2019	8:32	2783	3722		15-4-2019	8:26	2669	2528	
29-3-2019	8:23	2763	2183		4-11-2019	8:28	2631	2517	
4-12-2019	8:09	2757	2415		16-5-2019	8:36	2629	2402	
15-4-2019	15:49	2528	2669		21-1-2019	8:11	2609	2332	
4-11-2019	8:26	2517	2631		3-12-2019	17:40	2585	1676	
19-9-2019	8:36	2511	2568		19-9-2019	8:37	2568	2511	
2-4-2019	8:42	2450	2376		29-8-2019	8:45	2549	2981	
5-8-2019	8:09	2449	1757		26-8-2019	8:11	2544	2445	
22-11-2019	8:09	2449	1763		6-5-2019	8:12	2523	2445	
16-12-2019	8:09	2449	1822		25-11-2019	8:26	2517	2384	
16-9-2019	8:09	2445	3012		9-4-2019	8:25	2476	1354	
6-5-2019	8:09	2445	2523		27-4-2019	13:15	2471	538	
26-8-2019	8:09	2445	2544		30-9-2019	8:04	2433	1937	
18-6-2019	7:53	2432	1917		3-9-2019	7:56	2429	1522	
16-5-2019	8:35	2402	2629		5-11-2019	8:11	2426	1676	
25-11-2019	8:23	2384	2517		4-12-2019	8:10	2415	2757	
11-6-2019	8:26	2356	2334		12-2-2019	8:11	2409	2332	
7-3-2019	8:26	2356	2194		2-4-2019	8:45	2376	2450	
4-2-2019	8:57	2342	2062		20-8-2019	8:20	2376	1755	
21-1-2019	8:09	2332	2609		27-11-2019	8:12	2373	1755	
23-1-2019	8:09	2332	2203		26-9-2019	8:08	2362	1817	
12-2-2019	8:09	2332	2409		24-7-2019	17:57	2343		

Tabel 2 - drukste situaties spoor 5 en 7 Utrecht Centraal volgens het geconstrueerde model (links) en drukste dagen volgens realisatie (rechts)

In +- 2/3 van de gevallen waarin het model grote drukte aangeeft was er in de realisatie ook daadwerkelijk sprake van grote drukte. Een aantal dagen waarop het model wel drukte aangeeft maar de realisatiedata niet, betreffen feestdagen en vakantiedagen. Hier houdt het model nog geen rekening mee, er wordt immers gerekend met het mediaan aantal instappers over het hele jaar. Van de 30 drukste momenten in de realisatiedata gaf het model in de helft van de gevallen ook aan dat dit tot de drukste gevallen behoorde.

Kortom: wanneer het model buiten vakantie/feestperiodes triggert is de kans groot dat het ook daadwerkelijk druk is op het perron. Andersom: wanneer het druk is op het perron triggert het model in ongeveer de helft van de gevallen. De gevallen waarin het model niet triggert kunnen bijvoorbeeld veroorzaakt worden door seizoenseffecten (bijvoorbeeld september), of een plotseling aanbod van extra reizigers vanwege een specifieke activiteit/evenement.

In tweede instantie hebben we ook de reizigersstromen op spoor 5 en spoor 7 uit elkaar getrokken. Ondanks dat spoor 5 en spoor 7 samen een perron vormen zijn we namelijk vooral geïnteresseerd in het smalle spoor 5, zie hiervoor ook Figuur 3 in de inleiding. Een zelfde type vergelijking voor true/false positives is weergegeven in Tabel 3.

True/False positives					True/False negatives				
Datum	Tijdstip	Wachtenden		Afwijkende dag	Datum	Tijdstip	Wachtenden		model
		model	realisatie				realisatie	model	
7-11-2019	9:09	7170	2302	Hemelvaart	16-9-2019	8:11	2861	2445	
21-6-2019	8:26	5648	1607		4-11-2019	8:28	2546	2517	
30-5-2019	8:06	2637	208		7-11-2019	8:15	2302	7170	
4-11-2019	8:26	2517	2546		28-11-2019	8:30	2065	1754	
16-9-2019	8:09	2445	2861		2-10-2019	8:11	1872	1030	
3-10-2019	8:39	2215	979	pinksteren	27-11-2019	17:36	1784	1565	
18-10-2019	7:56	2085	1468		21-5-2019	8:28	1759	1754	
16-6-2019	18:06	2061	847		2-4-2019	8:28	1667	1959	
2-4-2019	8:47	1959	1667		25-11-2019	8:26	1662	1949	
16-5-2019	8:39	1950	1280		30-10-2019	8:27	1634	1754	
15-4-2019	8:23	1949	1621		15-4-2019	8:26	1621	1949	
10-6-2019	8:23	1949	177		21-6-2019	8:29	1607	5648	
25-11-2019	8:23	1949	1662		4-12-2019	7:56	1584	1728	
9-1-2019	8:36	1832	1280		18-11-2019	8:29	1568	1295	
29-8-2019	8:09	1798	1368		8-4-2019	7:56	1535	1302	
21-5-2019	8:26	1754	1759		18-10-2019	7:59	1468	2085	
30-10-2019	8:26	1754	1634		11-11-2019	8:44	1455	1530	
28-11-2019	8:26	1754	2065		21-8-2019	7:55	1429	1302	
20-11-2019	8:36	1749	1293		4-9-2019	8:35	1423	1185	
4-12-2019	8:06	1728	1584		17-6-2019	8:33	1421	1185	
30-8-2019	8:12	1667	969		22-8-2019	8:26	1397	1331	
15-2-2019	8:23	1609	829		26-9-2019	7:55	1397	1302	
16-10-2019	8:23	1609	874		26-11-2019	17:40	1379	919	
4-3-2019	8:05	1607	1359		19-9-2019	8:26	1377	919	
6-12-2019	8:05	1607	995		30-9-2019	17:40	1376	1524	
27-11-2019	17:35	1565	1784		3-6-2019	7:55	1375	1429	
19-5-2019	9:39	1554	306		18-7-2019	8:25	1372	1367	
11-11-2019	8:42	1530	1455		9-4-2019	8:25	1371	919	
30-9-2019	17:36	1524	1376		19-11-2019	8:29	1369	1345	
21-11-2019	7:49	1517	972		29-8-2019	8:45	1368	1798	

Tabel 3 - drukste situaties spoor 5 Utrecht Centraal volgens het geconstrueerde model (links) en drukste dagen volgens realisatie (rechts)

In de 20 drukste momenten volgens het model was het in werkelijkheid in de meeste gevallen ook erg druk. Enkele uitzonderingen zijn feestdagen (die in de huidige versie van het model geclassificeerd zijn als de kalenderdag in de week, maar die qua drukte in de ochtendspits en dienstregeling weekeind dagen zijn) en momenten waar langere tijd geen trein heeft gereden.

Van de top 10 drukste momenten volgens de realisatiedata gaf het model op 1 uitzondering na ook altijd aan dat dit tot een topdrukte moment is. Daarna triggert het model minder. Hier kan eventueel de waardes waarop getriggerd wordt nog aangepast worden.

De uitzondering in de top-10 waarin het model niet triggerde was 2 oktober. Hier zagen we de reizigerspiek niet in het model. Uit nadere analyse bleek dat een specifieke trein (3922) naar spoor 5 is verplaatst. Deze vertrok echter 7 minuten na de vorige trein (3522), en de eerste reizigers voor de 3922 komen in het model 1 minuut na vertrek 3522 (mediaan -6) op het perron. Hier werkt het model dus nog te binair: op -7 minuten geen reizigers en op -6 minuten 50% van de reizigers. Een verdere verfijning van het model kan hierin helpen.

Op basis van deze resultaten kan geconcludeerd worden dat de hoge modelwaardes vrijwel allemaal veroorzaakt worden door vertraagde/uitgevallen treinen. Om vervolgens piekdrukke op perrons 15 – 30 minuten vooruit te kunnen voorspellen moet deze vertraging dus ook al 15 – 30 minuten van tevoren voorspeld kunnen worden. Daarom

hebben we voor de 10 drukste momenten op spoor 5 volgens het model gekeken of de vertragingen die de drukte veroorzaakten al op 's-Hertogenbosch en/of Ede-Wageningen aanwezig waren. Vanaf daar is de reistijd naar Utrecht Centraal namelijk nog 22 – 27 minuten. In Tabel 4 is per druk moment onderzocht of deze te verklaren was vanuit de vertrektijden op Ede-Wageningen en/of 's-Hertogenbosch.

Datum	Tijdstip	Wachtenden		Verklaring
		model	ROCKT2	
7-11-2019	9:09	7170	2302	Treinen niet vertrokken vanuit 's-Hertogenbosch en Ede-Wageningen
21-6-2019	8:26	5648	1607	Geen verklaring vanuit vertrektijden 's-Hertogenbosch en Ede-Wageningen
30-5-2019	8:06	2637	208	Hemelvaart
4-11-2019	8:26	2517	2546	Intercity richting Schiphol Airport (3524) niet vertrokken uit 's-Hertogenbosch
16-9-2019	8:09	2445	2861	Treinen uit Ede-Wageningen niet vertrokken
3-10-2019	8:39	2215	979	Treinnummer 3122 een kwartier te laat vertrokken vanuit Ede-Wageningen
18-10-2019	7:56	2085	1468	Geen verklaring vanuit vertrektijden 's-Hertogenbosch en Ede-Wageningen
16-6-2019	18:06	2061	847	Intercities niet vertrokken uit 's-Hertogenbosch
2-4-2019	8:47	1959	1667	Intercities niet vertrokken uit Ede-Wageningen, treinen vertraagd vertrokken uit 's-Hertogenbosch
16-5-2019	8:39	1950	1280	Treinnummer 3122 een kwartier te laat vertrokken vanuit Ede-Wageningen
15-4-2019	8:23	1949	1621	Treinnummer 3522 niet vertrokken uit 's-Hertogenbosch

Tabel 4: Verklaring voor drukte Utrecht Centraal beredeneerd vanuit vertrektijden 's-Hertogenbosch en Ede-Wageningen

In 8 van deze 10 drukste momenten (Hemelvaart uitgezonderd) bleek de trein al in 's-Hertogenbosch en/of Ede-Wageningen vertraagd. Dit wijst erop dat een groot deel van de zeer drukke situaties op perrons inderdaad 15 minuten van tevoren voorspeld kunnen worden op basis van de huidige treinenloop, en soms al ook eerder omdat die treinen in een aantal gevallen ook in Eindhoven Centraal en Arnhem Centraal al vertraging hadden.

Samenvattend zien we dat 80% van de top-10 drukste momenten op spoor 5 in Utrecht door een iets verbeterde versie van ons model worden voorspeld met gegevens van de trein die al 15 minuten tevoren bekend zijn. In Tabel 4 zagen we dat er weinig echt drukke dagen over zijn die niet door de treindienst waren veroorzaakt. Echter zien we wel dat er rustige dagen zijn waar het ondanks een verstoring in de treindienst, de drukte op spoor 5 toch niet over limiet gaat.

7. Conclusies

Uit dit onderzoek blijkt dat het grootste deel van de momenten waarop topdrukke op treinperrons voorkomt wordt veroorzaakt door vertraagde of uitgevallen treinen. Dit was het geval op zowel Amsterdam Zuid, Schiphol Airport en Utrecht Centraal. Op Utrecht Centraal (spoor 5) zijn we dieper in gegaan.

Een relatief simpel prototype voor de drukke op Utrecht Centraal spoor 5 blijkt al erg accuraat. Op basis van historische aantallen instappers per trein en historische vertrektijden kan het prototype op basis van actuele vertrektijden van treinen al goed inschatten of het druk is op het perron of niet.

Ook op Utrecht Centraal spoor 5 werden de belangrijkste gevallen veroorzaakt door afwijkingen in de treindienst. Omdat deze afwijkingen al een kwartier eerder bekend zijn, is het goed mogelijk deze drukke een kwartier van tevoren te voorspellen.

Het beschreven model werkt al voor meer dan 80% van de meest drukke gevallen, en deze paper beschrijft verbeter mogelijkheden. Gegeven de goede prestaties van het huidige model is ervoor gekozen om de andere redenen voor drukke zoals genoemd in hoofdstuk 2 (Hypotheses) niet verder uit te diepen. Voor een werkend model zouden dan ook aanvullende databronnen nodig zijn die momenteel niet beschikbaar zijn (realtime OV-chipkaart data), terwijl het huidige voorgestelde model enkel gebruik maakt van databronnen die al beschikbaar zijn.

Onze verwachting is dat een gelijksoortig model ook goed voor bijvoorbeeld Amsterdam Zuid en Schiphol Airport zal werken. Tegelijkertijd is dit type model wel maatwerk per station, gegeven de specifieke richtingen waar je heen kunt reizen vanaf een specifiek perron. Ook andere dienstregeling-effecten (zoals specifieke overstappen) of bijvoorbeeld omleidingsroutes kunnen van invloed zijn op de werking van een model voor een specifiek station en/of perron.

Het toepassen van een prognosemodel zoals hier voorgesteld geeft de mogelijkheid om niet 100% van de tijd crowd-control op deze perrons te doen, maar bijvoorbeeld taken te verdelen tussen perrons.

De tests in dit model zijn uitgevoerd met tijdelijke modellen. Het is nog niet voorzien om het model en de bijbehorende aanstuurmodellen voor crowd-control in in productie te nemen, maar we beschouwen dit als kansrijk.

Referenties

ProRail (2019). [Meer ruimte voor de reiziger](#). *ProRail*. URL bezocht op 14 juli 2022.

Van den Heuvel, J.P.A. & Hoogenraad, J.A. (2014) 'Monitoring the performance of the pedestrian transfer function of train stations using automatic fare collection, *Transportation Research Procedia* 2, pp. 642 – 650