Trafikrelaterade mikroplaster i luftburna partiklar

Sammanställning av källfördelning i prover från Hornsgatan och Sveavägen 2020–2021

Ida Järlskog
Mats Gustafsson

VTI PM 2024:2
Utgivningsår 2024
vti.se/publikationer

VTI PM 2024:2

Trafikrelaterade mikroplaster i luftburna partiklar

Sammanställning av källfördelning i prover från Hornsgatan och Sveavägen 2020–2021

Ida Järlskog

Mats Gustafsson

vti

Översatt titel: Traffic-derived microplastics in airborne particles- compilation of source distribution in samples from Hornsgatan and Sveavägen 2020-2021
Författare: Ida Järlskog, VTI (https://orcid.org/0000-0003-4815-8299), Mats Gustafsson, VTI (https://orcid.org/0000-0001-6600-3122)
Diarienummer: 2023/0445
Publikation: VTI PM 2024:2
Utgiven av VTI 2024

Kort sammanfattning

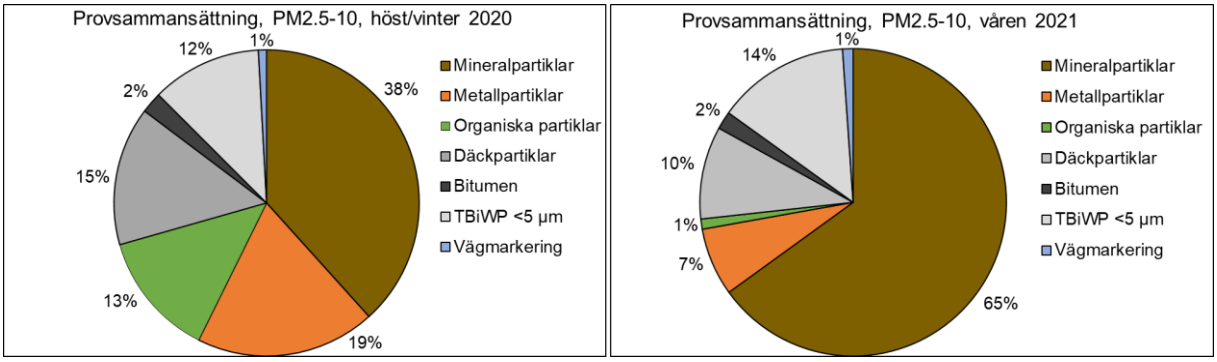
I denna rapport har partikelinnehållet i luftprover insamlade med passiva Sigma-II mätare i anslutning till befintliga mätstationer på Hornsgatan och Sveavägen analyserats och sammanställts. Prover samlades in under tre perioder mellan oktober och december 2020 samt under fyra perioder mellan mars och april 2021. Syftet har varit att kvantifiera andelen trafikrelaterad mikroplast i proverna, det vill säga däckpartiklar och vägmarkeringspartiklar.

Alla prover har analyserats med en automatiserad SEM/EDX-metod i storleksfraktionen 1–80 µm och partiklarna har kategoriserats in i följande partikelklasser: mineralpartiklar, metallpartiklar, organiska partiklar (t.ex. växtdelar och pollen), däckpartiklar *större än* 5 µm, bitumenpartiklar *större än* 5 µm, däck- och bitumenpartiklar *mindre än* 5 µm (TBiWP <5 µm), vägmarkeringspartiklar samt glaspärlor.

Resultaten presenteras både som relativ sammansättning, det vill säga antal partiklar/partikelklass (%), masskoncentration i µg/m^3, och som massprocent (%). Resultaten redovisar både hela den provtagna fraktionen, 1–80 µm, och uppdelat i storleksfraktionen 2.5–10 µm, där den sistnämnda är tänkt att kunna jämföras med befintliga luftmätningar.

Figur 1 illustrerar massprocent i storleksfraktionen 2.5–10 µm, det vill säga hur många procent av partikelmassan som identifierats i respektive partikelklass. Resultatet är ett medelvärde från alla prover under en säsong (det vill säga 3 prover från Hornsgatan och 3 prover från Sveavägen insamlade hösten/vintern 2020, pajdiagram till vänster, och 4 prover från Hornsgatan och 4 prover från Sveavägen insamlade våren 2021, pajdiagram till höger).

Det är tydligt att proverna domineras av mineralpartiklar, och att den minerogena andelen ökar under våren, Figur 1. Under hösten/vintern innehöll proverna en stor andel metallpartiklar (19 %) vilket hade minskat till 7 % under vårmätningarna. Procentuellt sett minskade massan utav metall, organiskt material och däckpartiklar under vårmätningarna vilket till stor del berodde på att massan mineralpartiklar ökade kraftigt. Värt att notera är att trafikrelaterad mikroplast (däckpartiklar, TBiWP <5 µm och vägmarkeringspartiklar) är den näst största partikelkategorin sett till massa oavsett årstid och gata och står för knappt 30 % av massprocenten i fraktionen 2.5–10 µm. Detta indikerar att trafikrelaterad mikroplast är en stor källa till luftburna partiklar och att åtgärder bör vidtas för att reducera utsläppen, vilket således kan förbättra luftkvaliteten.



Figur 1. Massprocent (µg/m^3) i storleksfraktionen 2.5–10 µm. Cirkeldiagrammen baseras på medelvärden från Sveavägen och Hornsgatan. Till vänster: prover tagna under hösten/vintern 2020 (n=6). Till höger: prover tagna under våren 2021 (n=8). TBiWP <5 µm står för däck- och bitumenpartiklar mindre än 5 µm och presenteras som en egen partikelklass då analysmetoden inte klarar av att särskilja däckpartiklar från bitumenpartiklar för partiklar mindre än 5 µm (se ytterligare förklaring i metodkapitlet, 2.3). Glaspärlor har exkluderats från cirkeldiagrammen då dess massprocent inte uppgick till 1 %.

Förord

Denna rapport utgör en resultatsammanställning av luftprover insamlade i Stockholm under hösten/vintern 2020 och våren 2021. Syftet har varit att undersöka förekomsten av trafikrelaterad mikroplast i förhållande till övriga partikeltyper i proverna. Syftet har även varit att undersöka eventuella skillnader mellan gator och årstider.

Författarna vill tacka Billy Sjövall, SLB, för provtagningshjälp och Michael Norman, SLB, för granskning av rapporten. Författarna vill även rikta ett stort tack till David Jaramillo Vogel och Juanita Rausch på Particle Vision Ltd för analys av prover.

Linköping, januari 2024.

Ida Järlskog
Projektledare

Granskare/Examiner

Michael Norman, SLB.

De slutsatser och rekommendationer som uttrycks är författarens/författarnas egna och speglar inte nödvändigtvis myndigheten VTI:s uppfattning./The conclusions and recommendations in the report are those of the author(s) and do not necessarily reflect the views of VTI as a government agency.

Innehållsförteckning

Kort sammanfattning **5**

Förord **6**

1. Introduktion **8**

2. Metod **10**

2.1. Provtagning 10
2.2. Sigma II-provtagare 13
2.3. Analys med automatiserad SEM/EDX 14

3. Resultat och diskussion **15**

3.1. Höst och vintermätningar 2020 15
3.1.1. Relativ sammansättning, Hornsgatan och Sveavägen 15
3.1.2. Masskoncentration, Hornsgatan 16
3.1.3. Masskoncentration, Sveavägen 19
3.2. Vårmätningar 2021 21
3.2.1. Relativ sammansättning, Hornsgatan och Sveavägen 21
3.2.2. Masskoncentration, Hornsgatan 23
3.2.3. Masskoncentration, Sveavägen 24
3.3. Jämförelse mellan gator 26
3.4. Jämförelse mellan årstider 26
3.5. Jämförelse med prover från Testsite E18 27

4. Slutsats **29**

Referenser **30**

1. Introduktion

Förekomsten av mikroplast i olika miljöer har fått stor uppmärksamhet de senaste åren, och forskning pågår för att fastställa *hur stora* utsläppen är, *vad* man ska vidta för åtgärder för att minska utsläppen samt *hur* skadligt mikroplast är för olika organismer. Mikroplast har hittats i alla typer av miljöer (urbana, rurala, och mer avlägsna) och i alla provmedier. Dessutom fortsätter plastanvändningen i världen att öka vilket resulterar i att även mikroplastutsläppen förväntas öka under kommande år.

Mikroplast definieras ofta som fasta polymerbaserade partiklar (plast eller gummi) i storleksintervallet 0.01 µm–5 mm som är olösliga i vatten (Frias och Nash, 2019). Naturvårdsverket har valt att även inkludera naturligt förekommande polymerer i sin definition, det vill säga att även inkludera naturgummi och bionedbrytbara polymerer (Naturvårdsverket, 2023). 2021 presenterade EU-kommissionen en handlingsplan (Zero Pollution Action Plan) med visionen att luft-, vatten- och markföroreningar ska reduceras med 30 % till 2050 (EU-kommissionen, 2021). Om de uppsatta målen ska nås krävs ökade insatser och åtgärder för att minska utsläppen av mikroplast.

Trafikrelaterad mikroplast antas vara den största källan till mikroplastutsläpp i Sverige. Med trafikrelaterad mikroplast menas slitage från däck, vägmarkeringar, och polymermodifierad bitumen där däckslitage är en avsevärt mycket större källa än slitage från vägmarkeringar och polymermodifierad bitumen. Andra betydande källor till mikroplastutsläpp är tvätt av syntetiska textilier, gummigranulat från konstgräsplaner, industriell produktion, målning av byggnader och båtar samt hygienprodukter (Magnusson m.fl., 2016, Naturvårdsverket, 2019).

De uppskattningar som finns för det årliga totala slitaget av trafikrelaterad mikroplast i Sverige baseras på teoretiska uppskattningar, emissionsfaktorer, körsträckor och försäljningsstatistik. Uppskattningarna varierar mellan ca 8000–11 500 ton (Järlskog, 2022, Naturvårdsverket, 2023, Polukarova m.fl., under granskning). Tidigare studier har visat på att majoriteten av partiklarna deponerar nära vägbanan, invid kanten eller i dikena där de antingen blir liggande eller kan transporteras vidare via avrinning (Baensch-Baltruschat m.fl., 2020; Baensch-Baltruschat m.fl., 2021; Hann m.fl., 2018; Unice m.fl., 2019). En andel av de totala utsläppen består av partiklar som direkt emitteras och därmed bidrar till luftens partikelhalter. Massandelen är relativt liten, men då däckpartiklar främst har visat sig förekomma i storlekar under 20 µm, har de potential att bidra till PM10 (Järlskog m.fl., 2022). En sammanställning av tidigare resultat från 1973–2013 har visat på att andelen däck i PM10 varierar mellan 0.2–10 % (Panko m.fl., 2018). Giechaskiel m.fl. (2024) menar att däckpartiklar står för 5–30 % av transportrelaterade slitagepartiklar i luften (PM10) eller 0.3–4.5 % av det totala PM10 halterna. Vilket indikerar att däckpartiklar är en relativt stor källa till luftburna partiklar.

För att reducera utsläppen av trafikrelaterad mikroplast kan preventiva åtgärder vidtas (t.ex. minskad och mjukare bilkörning, slitstarkare däck och vägmarkeringar, rätt däcktryck och hjulinställningar), men även åtgärder för att ta hand om de partiklar som faktiskt bildas och förhindra dessa från att transporteras vidare i miljön (t.ex. mer frekvent gatustädning, dammbindning, filter i dagvattenbrunnar, utveckling av kostnadseffektiva reningsmetoder och optimerad snöhantering) (Johannesson och Lithner, 2021).

För att öka förståelsen för hur trafikrelaterad mikroplast rör sig och i vilka koncentrationer de finns i olika trafikmiljöer behövs fler provtagningar och mer analyser. Det är sedan tidigare svårt att jämföra studier som har analyserat trafikrelaterad mikroplast då det inte finns någon standard, vare sig för provtagning, provupparbetning, eller analys vilket resulterat i att det fortfarande finns stora kunskapsluckor kring faktiska halter i miljön samt hur de stämmer överens med de teoretiska uppskattningarna (Rødland m.fl., 2023).

I denna rapport sammanställs och presenteras resultaten av luftprover insamlade i Stockholm (Hornsgatan och Sveavägen) under hösten/vintern 2020 och under våren 2021. Resultaten jämförs

med varandra, eventuella skillnader mellan årstider utvärderas, resultaten relateras även till befintliga PM10-data och jämförs med prover tagna vid en motorväg i en rural trafikmiljö, Testsite E18. Slutligen jämförs resultaten med två internationella studier som har använt samma provtagningsteknik och analysmetod.

2. Metod

2.1. Provtagning

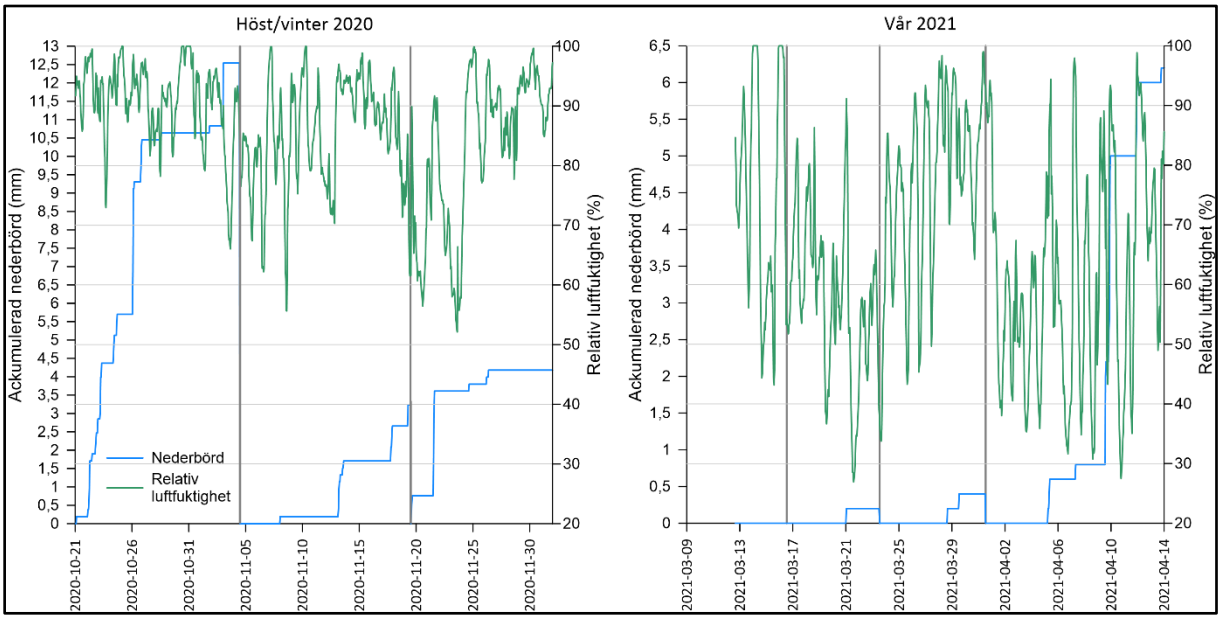
Provtagning genomfördes med passiva Sigma-II mätare i anslutning till befintliga mätstationer för luftkvalitet på Hornsgatan nr 108 och Sveavägen nr 59, Figur 2. Totalt samlades sju prover in från varje gata, tre prover per gata under hösten/vintern 2020 och fyra prover per gata under våren 2021 (Tabell 1). Detta provtagningssätt möjliggör jämförelser mellan provperioderna, men det går även att presentera resultaten som medelvärden. Under provtagningen 2020 satt provtagarna uppe i cirka två veckor innan substraten byttes. Under våren 2021 var PM10-halterna högre, och substraten exponerades enbart i cirka en vecka innan de byttes ut för att undvika för mycket partiklar på substraten. Meteorologiska data (temperatur, vindriktning, vindhastighet och luftfuktighet) har hämtats från SLBs station på taket till Torkel Knutssonsgatan. På Hornsgatan är den skyltade hastigheten 30 km/h och dubbdelsandelen var 15 % år 2023. På Sveavägen är den skyltade hastigheten 50 km/h och andelen fordon med dubbdäck var 26 % år 2023 (Hurkmans, 2023).

Figur 2. Karta över mätplatserna på Hornsgatan och Sveavägen samt mätstationen på Torkel Knutssonsgatan. Karta gjord i QGIS.

Tabell 1. Datum och temperaturer för luftprovtagningar på Hornsgatan och Sveavägen.

	Startdatum	Slutdatum	Antal dagar	Max ºC	Min ºC	Medel ºC
Höst/vinter 2020	2020-10-21	2020-11-04	14	14,9	1,1	8,8
	2020-11-04	2020-11-19	15	14,5	1,3	8,3
	2020-11-19	2020-12-02	13	11,6	-2,2	3,8
Vår 2021	2021-03-09	2021-03-16	7	7,1	-1,4	3,1
	2021-03-16	2021-03-23	7	14,7	-3,7	2,9
	2021-03-23	2021-03-31	8	14,7	3,0	7,5
	2021-03-31	2021-04-14	14	12,4	-1,2	4,9

Luftfuktigheten var högre under höst/vinter 2020 samtidigt som nederbörden var rikligare (20 mm under höst/vinterperioden och 7 mm under vårperioden). Figur 3 visar den relativa luftfuktigheten och den ackumulerade nederbörden under respektive mätperiod. Medeltemperaturen var högre under höst/vinterperioden jämfört med vårperioden, Tabell 1. En hög luftfuktighet i kombination med nederbörd och relativt höga temperaturer (potentiellt även färre fordon med dubbdäck) är möjliga orsaker till att PM10-halterna var så pass mycket lägre under hösten/vintern jämfört med våren, Figur 4. Samtidigt som PM10-halterna generellt sett är höga på våren när upptorkning sker vilket frigör vägdamm som ackumulerat i vägbanan.

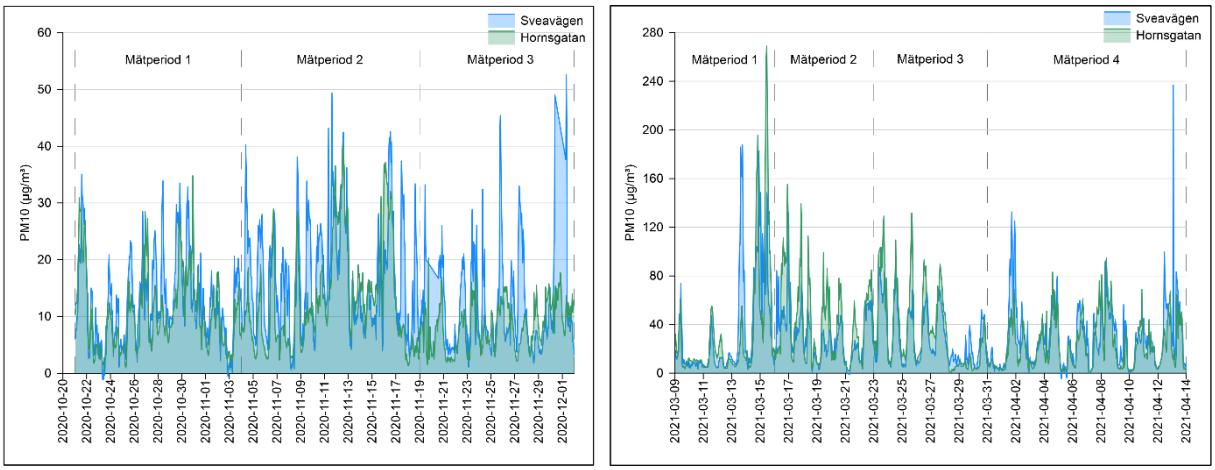


Figur 3. Relativ luftfuktighet (grön linje) och ackumulerad nederbörd (blå linje) under höst/vinter 2020 (till vänster) och vår 2021 (till höger). Data hämtade från SLBs mätstation på Torkel Knutssonsgatan. De grå linjerna på x-axeln avgränsar mätperioderna. OBS! Notera att skalan på y-axeln skiljer sig åt i de båda figurerna.

PM10-halterna fluktuerar mycket under både hösten/vintern och våren, Figur 4. Under hösten/vintern är både medelvärde, maxvärde och median högre på Sveavägen än på Hornsgatan under alla tre mätperioder, Tabell 2. Under vårperioden var det Hornsgatan som hade ett högre medelvärde och maxvärde under mätperiod 1 och 3, medan Sveavägen hade högre halter under period 2 och 4. Medianen var högre på Hornsgatan under period 1 och 2.

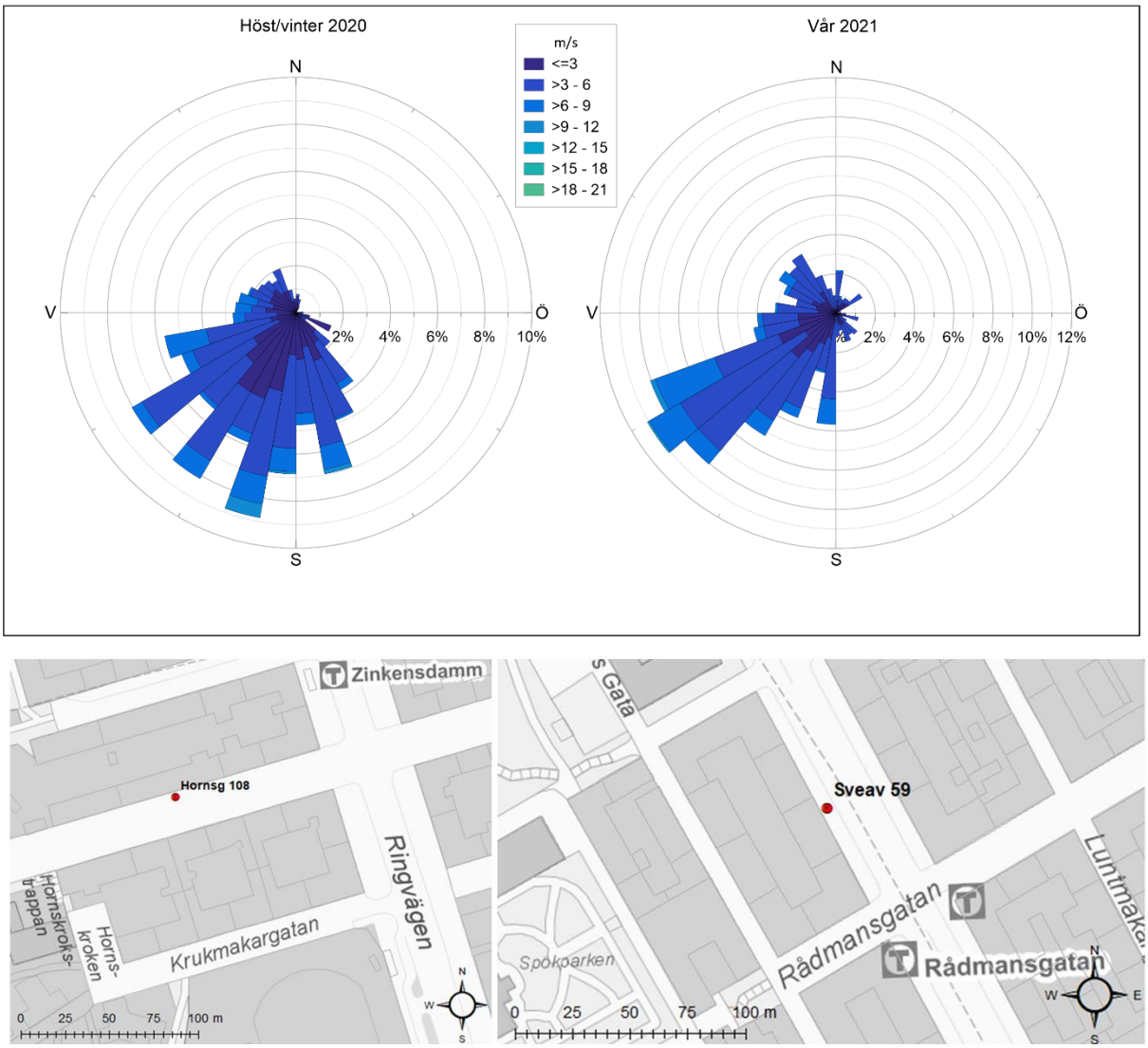
Tabell 2. PM10-halter på Hornsgatan och Sveavägen under de olika mätperioderna. Tabellen visar maxvärde, minvärde, medelvärde och median.

		Hornsgatan (µg/m³)				**Sveavägen (µg/m³)**			
	Mätperiod	Max	Min	Medel	Median	Max	Min	Medel	Median
Höst/vinter 2020	1	34,8	1,0	10,6	9,5	40,2	0,0	13,1	11,6
	2	41,0	1,3	13,1	10,8	49,4	0,6	17,1	15,3
	3	20,3	1,6	8,5	8,3	52,6	1,1	11,7	8,4
Vår 2021	1	268,9	3,7	37,4	15,7	187,7	3,0	36,0	14,0
	2	131,9	0,0	33,3	37,8	155,3	1,8	44,8	29,6
	3	131,6	1,0	31,9	17,9	91,0	1,5	27,6	18,1
	4	94,7	0,8	23,4	17,6	236,9	0,0	29,5	25,1



Figur 4. PM10 data hämtade från SLBs historiska data (https://www.slb.nu/slbanalys/historiska-data-luft/). Mätperioderna är desamma för både Sveavägen och Hornsgatan. OBS! Notera att skalan på y-axeln skiljer sig åt i de båda figurerna.

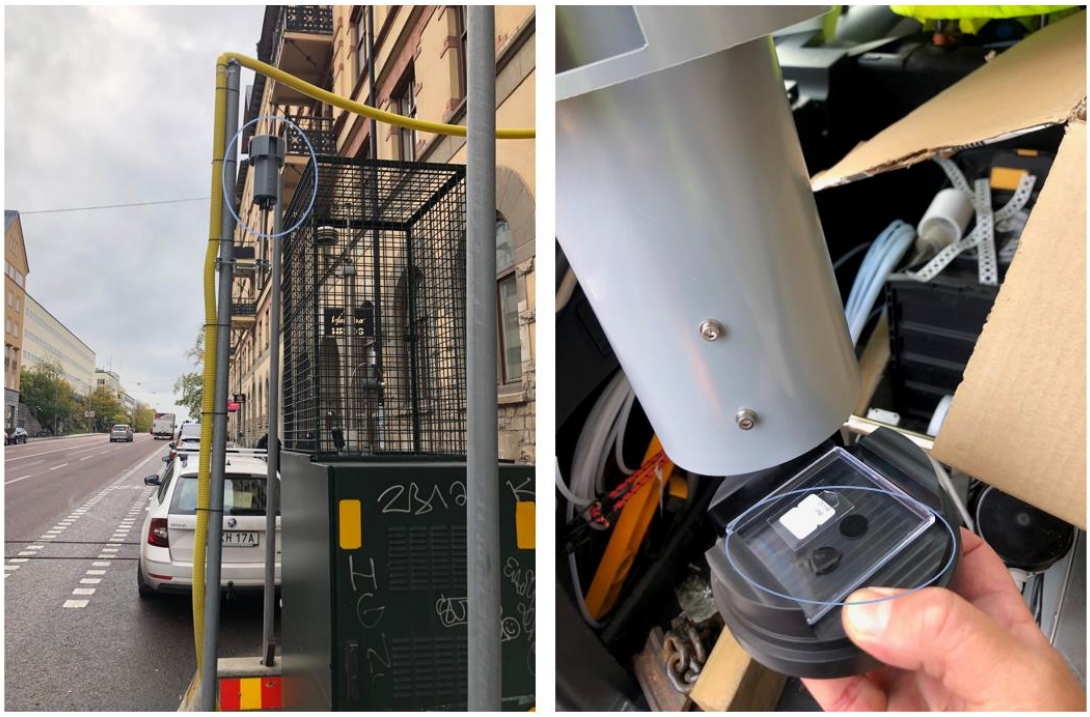
Vindhastigheten var generellt sett låg under både höst/vinterperioden och vårperioden med medelvärden på 3.7 respektive 3.8 m/s, Figur 5. Under höst/vinterperioden varierade vindriktningen från sydöst till nordväst med en majoritet i sydväst. Medan det under vårperioden främst blåste från sydväst, men även från nordväst, nord, nordöst och sydöst vid enstaka tillfällen. Vindrosen visar på hur stor andel av tiden (%) det blåst från en specifik riktning. Figur 5 visar även riktningen på Sveavägen och Hornsgatan, de är i princip vinkelrätt orienterade mot varandra. Vindriktningen i kombination med gatornas placering kan även påverka antalet partiklar som deponerar på substraten i de passiva Sigma-II provtagarna.



Figur 5. Övre figuren: vindhastighet och vindriktning för de två mätperioderna illustrerat med vindrosor. Data hämtat från SLBs mätstation på Torkel Knutssonsgatan. Nedre figurer: Riktning på Hornsgatan och Sveavägen i förhållande till varandra. Kartbilder lånade från (Hurkmans, 2023).

2.2. Sigma II-provtagare

Passiva Sigma II-provtagare (tidigare beskrivet i t.ex. Rausch m.fl. (2022)) placerades i anslutning till ordinarie mätstationer på Hornsgatan och Sveavägen (Figur 6). Provtagaren avskiljer partiklar i intervallet 1–80 µm som deponerar på ett substrat av bor placerat i botten på provtagaren, enligt norm (VDI-2119, 2013). Partiklar större än 2.5 µm (aerodynamisk diameter) provtas kvantitativt, men för partiklar mindre än 2.5 µm behöver man använda sig av aktiva provtagare för att uppnå ett tillräckligt noggrant resultat. En storleksfördelning görs på alla partiklar, vilket innebär att resultaten kan presenteras både som totalfraktion, 1–80 µm, och som PM2.5–10 µm. För att jämföra resultaten från Sigma-II med PM10-data från befintliga mätstationer subtraheras PM2.5 µm-fraktionen från PM10. Tidigare rekommendationer säger att vid relativt låga PM10 halter, <10 µg/m^3, kan substraten exponeras i 2–4 veckor, men vid höga halter >50 µg/m^3, behöver de bytas varje vecka. För mycket partiklar på substraten försvårar analysen då det blir svårt att särskilja partiklarna. Önskvärt är att partiklarna ligger jämnt fördelade över substratets yta. SLBs PM10-data användes därför för att avgöra när det var dags att byta substrat.



Figur 6. Till vänster: Sigma II-provtagare på Hornsgatan. Till höger: Borsubstrat som partiklarna deponerar på. Foton, Billy Sjövall, SLB.

2.3. Analys med automatiserad SEM/EDX

I samarbete med Particle Vision Ltd har VTI varit med och utvecklat en algoritm för maskininlärning (ML) som kombineras med en automatiserad metod för svepelektronmikroskop (SEM) och energidispersiv röntgenanalys/spektroskopi (EDX). ML-algoritmen klassificerar och kvantifierar alla partiklar på ett substrat genom att använda 67 olika parametrar (baserat på bl.a. textur, storlek, form, morfologi och grundämnessammansättning) (Järlskog m.fl., 2022, Rausch m.fl., 2022). Partiklarna delas in i följande kategorier: mineralpartiklar, däckpartiklar >5 µm (TWP), bitumenpartiklar >5 µm (BiWP), däck och bitumenpartiklar <5 µm (TBiWP), vägmarkeringspartiklar, glaspärlor från vägmarkeringar, metallpartiklar och organiska partiklar (t.ex. växtdelar och pollen). Varje identifierad partikel presenteras med en bild och ett grundämnesspektrum vilket gör det möjligt att manuellt validera ML-algoritmens klassificering, det är dessutom möjligt att flytta partiklar mellan kategorierna. För partiklar som är *mindre* än 5 µm klarar analysmetoden i dagsläget inte av att med tillräckligt hög noggrannhet särskilja däckpartiklar från bitumenpartiklar. Detta beror dels på att däck- och bitumenpartiklar har en likartad sammansättning, men även på att partiklarna i miljöprover ofta består av en blandning av däck, bitumen och mineral vilket försvårar identifieringen ytterligare. Däck- och bitumenpartiklar presenteras därför tillsammans (TBiWP <5 µm) för de finaste fraktionerna. Glaspärlor från vägmarkeringar är den minsta partikelkategorin och återfinns framför allt i fraktionen >10 µm.

I den här sammanställningen ingår däckpartiklar >5 µm, vägmarkeringspartiklar samt däck- och bitumenpartiklar <5 µm (TBiWP <5 µm) i begreppet trafikrelaterad mikroplast. Hela partiklarna har antagits vara mikroplast och ingen justering för faktiskt polymer/gummiinnehåll har gjorts.

3. Resultat och diskussion

Först presenteras resultaten från höst/vintermätningarna 2020 (3.1), därefter resultaten från vårmätningarna 2021 (3.2). Slutligen jämförs gatorna med varandra (3.3), resultaten mellan årstider diskuteras (3.4) och resultaten jämförs med prover från en rural trafikmiljö, Testsite E18 (3.5).

3.1. Höst och vintermätningar 2020

3.1.1. Relativ sammansättning, Hornsgatan och Sveavägen

Totalt samlades tre prover/gata in under tre perioder hösten/vintern 2020. Antalet partiklar (1–80 µm) som deponerat på substraten var som lägst vid den första provtagningen (676 partiklar på Hornsgatan och 632 på Sveavägen), för att sedan vara relativt lika under de två sista provtagningarna (820 resp. 830 partiklar på Hornsgatan och 725 resp. 763 partiklar på Sveavägen), Tabell 3. Ökningen av partiklar till de två senare provtagningarna skulle kunna kopplas till meteorologi, trafikmängd, och PM10-halter generellt. Det kan även vara så att andelen fordon med dubbdäck ökade under mätperiod 2 och 3.

Figur 7 visar på den relativa sammansättningen (%), det vill säga antalet partiklar, under de tre mätperioderna uppdelat på de olika partikelklasserna. Hela storleksfraktionen (1–80 µm) är inkluderad. Staplarna med solid färg (stapel nummer 1,3 och 5) representerar prover från Hornsgatan och de tre staplarna med transparant färg (stapel nummer 2, 4 och 6) visar proverna från Sveavägen. Andelen mineral (brun färg) är som lägst under den första mätperioden, för att sedan öka under kommande mätperioder. På Hornsgatan har andelen mineralpartiklar ökat från 30 % till 60 % mellan mätperiod 1 och 3. Å andra sidan var andelen metallpartiklar relativt hög under den första mätperioden (nästan 30 %), för att sedan minska till knappt 10 % vid den sista mätperioden, även det totala antalet metallpartiklar var som högst under mätperiod 1 (214 partiklar) för att sjunka under period 2 (117 partiklar) och period 3 (79 partiklar), Tabell 3. Andelen däckpartiklar >5 µm låg jämt på 11–15 % under alla mätperioder, vilket indikerar ett högre däckslitage under mätperiod 2 och 3 då det totala partikelantalet ökade. Däck och bitumen sammanslaget, TBiWP <5 µm, varierade mellan 5–10 % medan vägmarkeringspartiklar varierade mellan 0–1.2 %. Glaspärlor från vägmarkeringar återfanns enbart som enstaka partiklar i ungefär hälften av proverna.

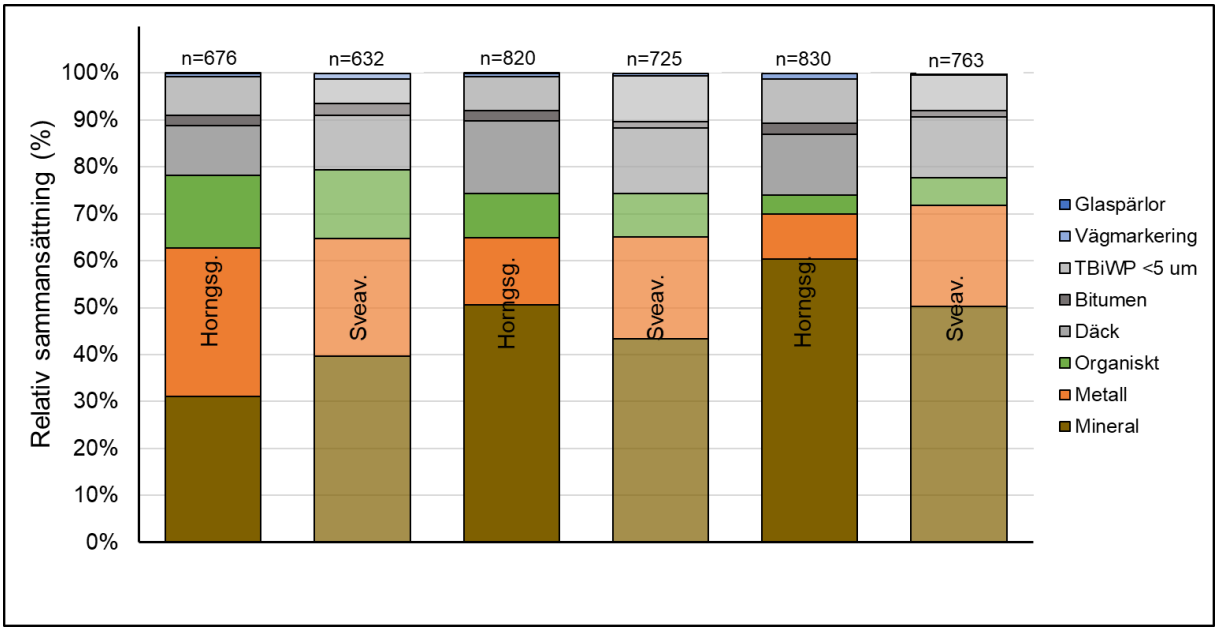
Tabell 3. Antal partiklar uppdelat på mätperiod och partikelkategori.

	Mätperiodens längd (dagar)	Mineral	Metall	Organiskt	Däck	Bitumen	TBiWP <5µm	Vägmarkering	Glas-pärlor	Totalt
Hornsgatan	14	210	214	105	71	15	56	4	1	**676**
	15	415	117	78	126	18	59	6	1	**820**
	13	502	79	34	108	19	78	10	0	**830**
Sveavägen	14	251	159	92	74	16	33	7	0	**632**
	15	315	157	68	101	10	70	4	0	**725**
	13	384	164	45	100	10	57	1	2	**763**

På Sveavägen varierar andelen mineral mellan 40–50 %, metall mellan 20–25 % och däck mellan 12–14 %. Liksom för Hornsgatan är andelen metallpartiklar högst vid mätperiod 1, men minskar sedan något, om än inte lika mycket som för Hornsgatan. Antalet metallpartiklar är i princip konstant över alla tre mätperioder. Andelen TBiWP <5 µm varierar mellan 5–10 % och den organiska andelen sjunker från 15 % vid mätperiod 1 till 6 % vid mätperiod 3. Generellt är sammansättningen i proverna från Hornsgatan och Sveavägen lika under höst/vinterperioden 2020.

Däckpartiklar är den näst eller tredje största partikelkategorin sett till antal partiklar. Det är bara mineral och metallpartiklar (samt i något fall organiskt material) som återfinns i högre antal. Detta

indikerar att trafikrelaterad mikroplast, framför allt i form av däckpartiklar, står för en betydande andel av den totala mängden partiklar i luften.

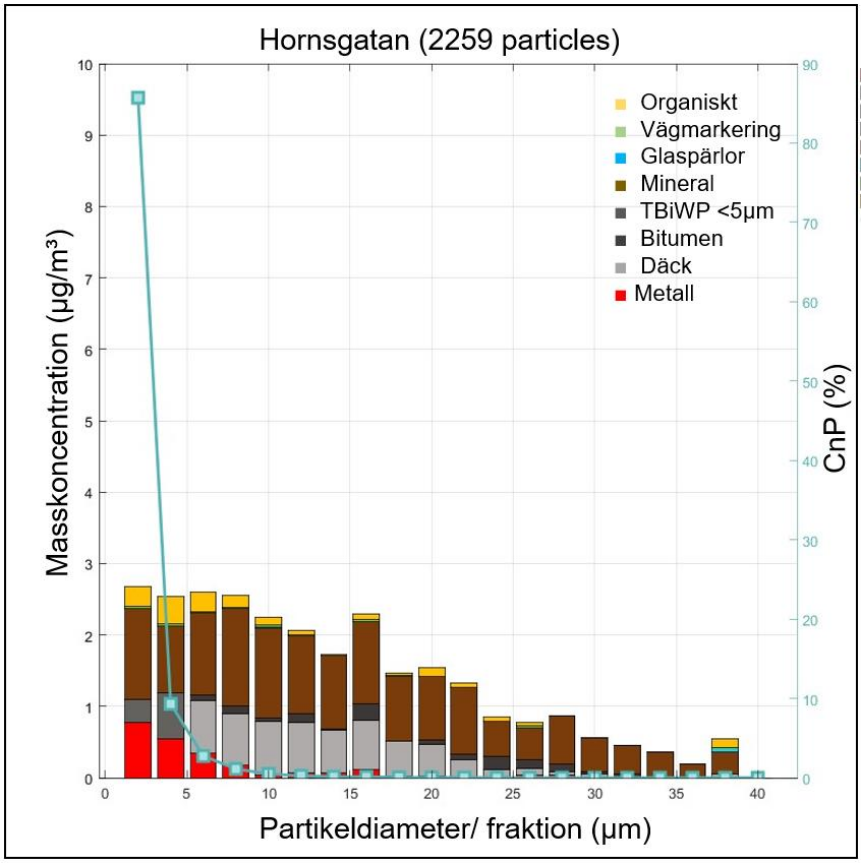


Figur 7. Hornsgatan representeras av de solida staplarna, nr 1, 3 och 5, och Sveavägen av de transparanta staplarna, nr 2, 4 och 6. Staplarna visar på fördelningen mellan de olika partikelklasserna, det vill säga hur många partiklar som identifierats i respektive partikelklass. Det totala antalet analyserade partiklar i varje prov står ovanför staplarna (n=).

3.1.2. Masskoncentration, Hornsgatan

Figur 8 illustrerar storleksfördelningen av de olika partikelklasserna och indikerar att den största massan av däckpartiklar kan vara större än 10 µm. Å andra sidan analyseras däckpartiklar bara ner till 5 µm, därefter slås de samman till kategorin däck- och bitumenpartiklar <5µm (TBiWP <5µm), vilket innebär att masskoncentrationen däckpartiklar ändå kan anses förhållandevis hög då det enbart är partiklar i intervallet 5–10 µm som är inkluderat i stapeln ”däckpartiklar”. Om däckpartiklar och TBiWP <5µm slås samman är det den näst största partikelkategorin även i den fina fraktionen. CnP (%) illustrerar hur stor andel av partiklarna som återfinns i en specifik storleksklass (antal partiklar/storleksklass). På Hornsgatan var ungefär 85 % av partiklarna mindre än 5 µm och 98–99 % var mindre än 10 µm.

Rausch m.fl. (2022) och Gao m.fl. (2022), som har använt samma provtagningsteknik och analysmetod, konstaterar att majoriteten av däckpartiklarna i deras studier hittades i fraktionen 5–20 µm (77–87 %). Ett liknande resultat verkar finnas på Hornsgatan om man tittar på storleksfördelningen, Figur 8. Då blir det tydligt att däckpartiklar framför allt finns i intervallet 5–25 µm. Det blir även tydligt att även om Sigma-II kan provta partiklar upp till 80 µm så hittas inga partiklar större än 40 µm på substraten från Hornsgatan.

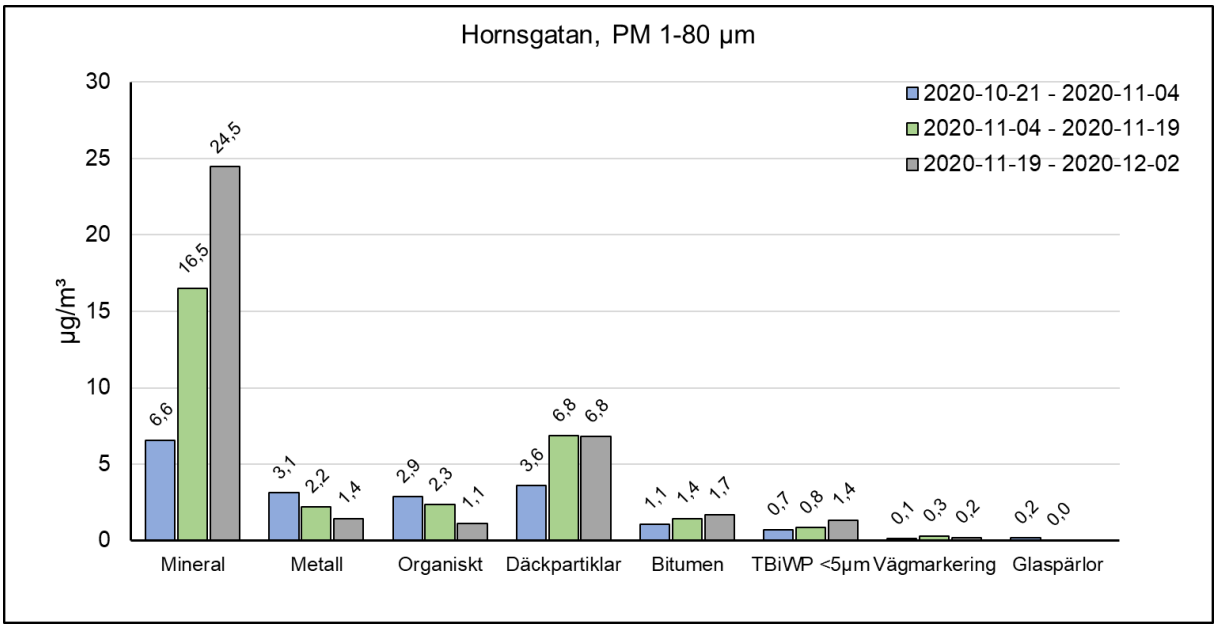


Figur 8. Storleksfördelning av partiklar från Hornsgatan under höst/vinter 2020. Grafen visar resultatet från alla tre mätperioder. CnP (%) visar den relativa antalskoncentrationen, det vill säga hur stor andel av partiklarna som återfinns i en viss storleksfraktion.

När totalkoncentrationen (µg/m^3) för hela storleksfraktionen (1–80 µm) beräknats på Hornsgatan är däckpartiklar den näst största partikelkategorin under alla tre mätperioder, Figur 9. I fraktionen 2.5–10 µm är koncentrationen däckpartiklar i samma storleksordning som metall och organiska partiklar Figur 10.

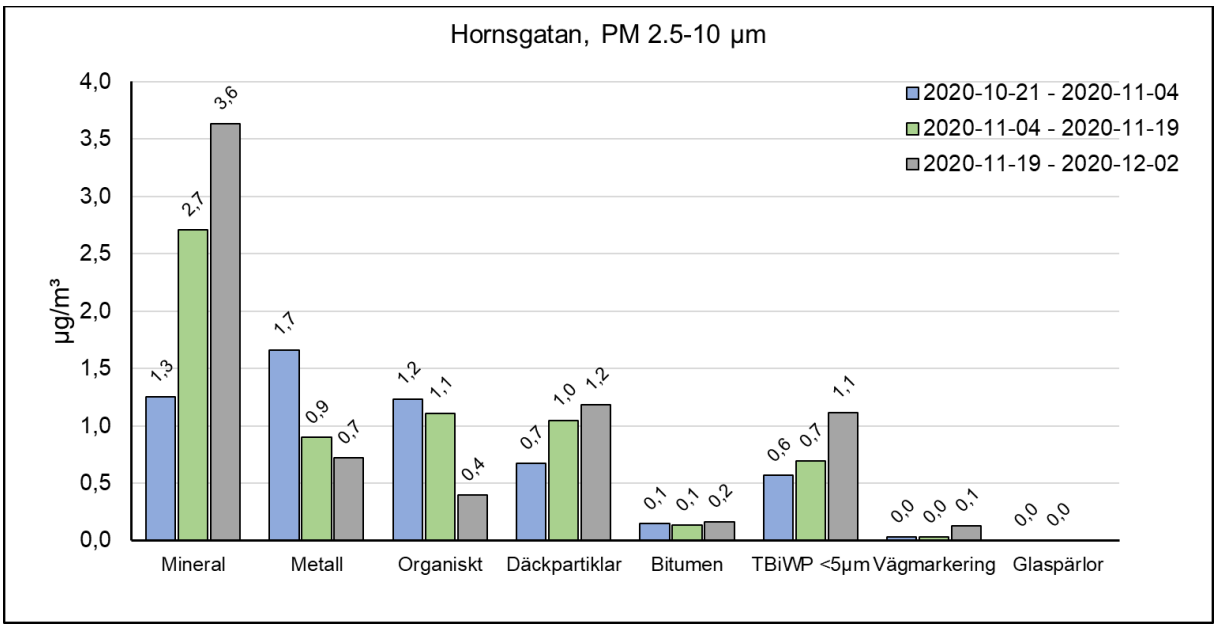
Ett annat tydligt mönster är att mineral och däckpartiklar ökar över alla tre mätperioder, medan metall och organiskt material minskar, Figur 9. Detta skulle bland annat kunna bero på en ökad dubbdäcksanvändning mellan mätperiod 1 och 3 (även om det är förbjudet på just Hornsgatan var dubbdäcksandelen 15 % år 2023).

I en studie från USA, som har använt sig av samma provtagnings- och analysmetod, men betydligt kortare exponeringstid (5 dagar) varierade halten däckpartiklar (1–80 µm) mellan 1.2–13.7 µg/m^3 (Gao m.fl., 2022). Rausch m.fl. (2022) har också använt samma provtagningsmetod och analysteknik och rapporterar däckpartikelshalter på 13.5 µg/m^3 i Bern, Schweiz. Även andelen däckpartiklar (%) var signifikant högre i tidigare studier då de låg på 35–50 % jämfört med 11–15 % i höst/vinterproverna från Stockholm. Det finns många förklaringar till olikheterna mellan studier, till exempel hastighet, trafikmängd, användandet av dubbdäck (resulterar i en större andel mineralpartiklar), fordonens vikt, omgivning, beläggning och meteorologi.



Figur 9. Masskoncentration (µg/m³) på Hornsgatan uppdelat på de olika partikelkategorierna. Hela storleksintervallet 1-80 µm.

Mönstret i fraktionen 2.5–10 µm är detsamma som för 1–80 µm med en ökande masskoncentration utav mineral, däckpartiklar, och TBiWP <5 µm under mätperiod 2 och 3 jämfört med period 1. Jämför man andelen däckpartiklar i fraktionen, 2.5–10 µm med totalfraktionen ser man att 15–19 % av masskoncentrationen utav däckpartiklar återfinns i fraktionen 2.5–10 µm (jämför med metallpartiklar där 40–53 % hittas i den finare fraktionen). Ungefär 20–30 % av masskoncentrationen återfinns i fraktionen, 2.5–10 µm.



Figur 10. Masskoncentration (µg/m³) på Hornsgatan uppdelat på de olika partikelkategorierna. Storleksintervallet 2.5–10 µm.

De totala partikelkoncentrationerna från Sigma-II (alla partikelklasser summerade) var i samma storleksordning som de medelkoncentrationer som uppmätts på SLBs mätstation på Hornsgatan (när PM2.5 subtraherats från PM10) vilket indikerar att de nödvändiga antaganden som görs med avseende på olika partikeltypers form och densitet i beräkningen i Sigma-II-metoden fungerar tillfredsställande (Tabell 4).

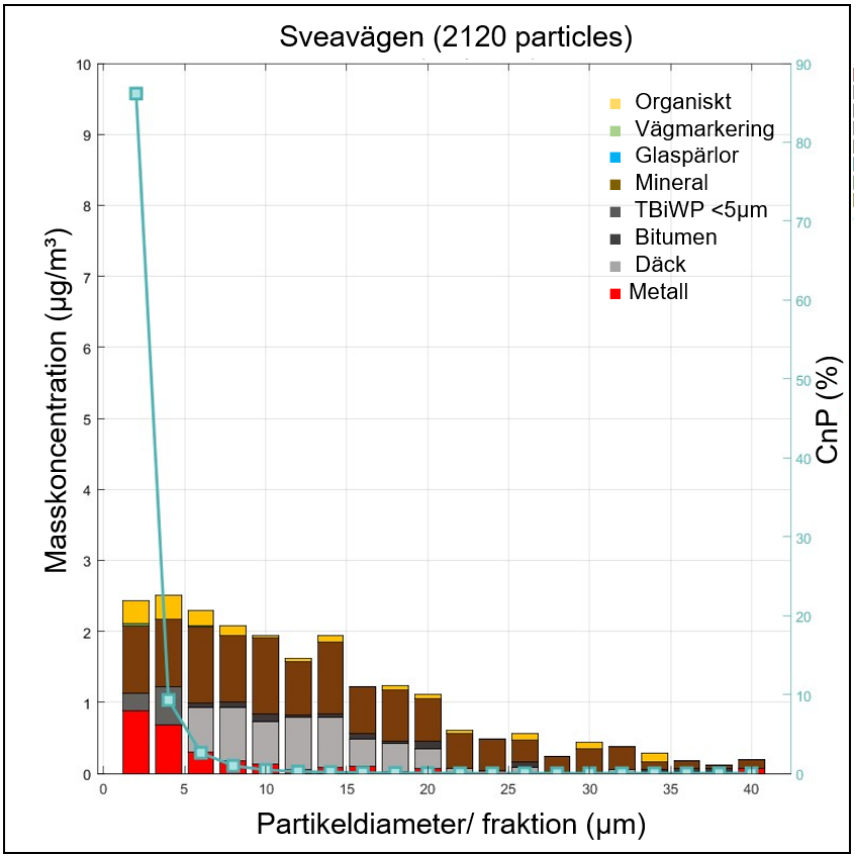
Tabell 4. Jämförelse mellan beräknade masskoncentrationer (Sigma-II) och uppmätta värden på mätstationen på Hornsgatan under hösten/vintern 2020.

PM2.5–10 µm (µg/m³)		
	SLB	Sigma-II
Mätperiod 1	4,4	5,6
Mätperiod 2	5,9	6,6
Mätperiod 3	4,2	7,3

Massprocenten för trafikrelaterad mikroplast i fraktionen 2.5–10 µm varierade under mätperiod 1–3 och låg mellan 12–16 % för däckpartiklar, 10–15 % för TBiWP < 5 µm, och 0–2 % för vägmarkeringar. Detta kan jämföras med massprocenten mineralpartiklar som varierade mellan 22–50 % (lägst under period 1 och högst under period 3).

3.1.3. Masskoncentration, Sveavägen

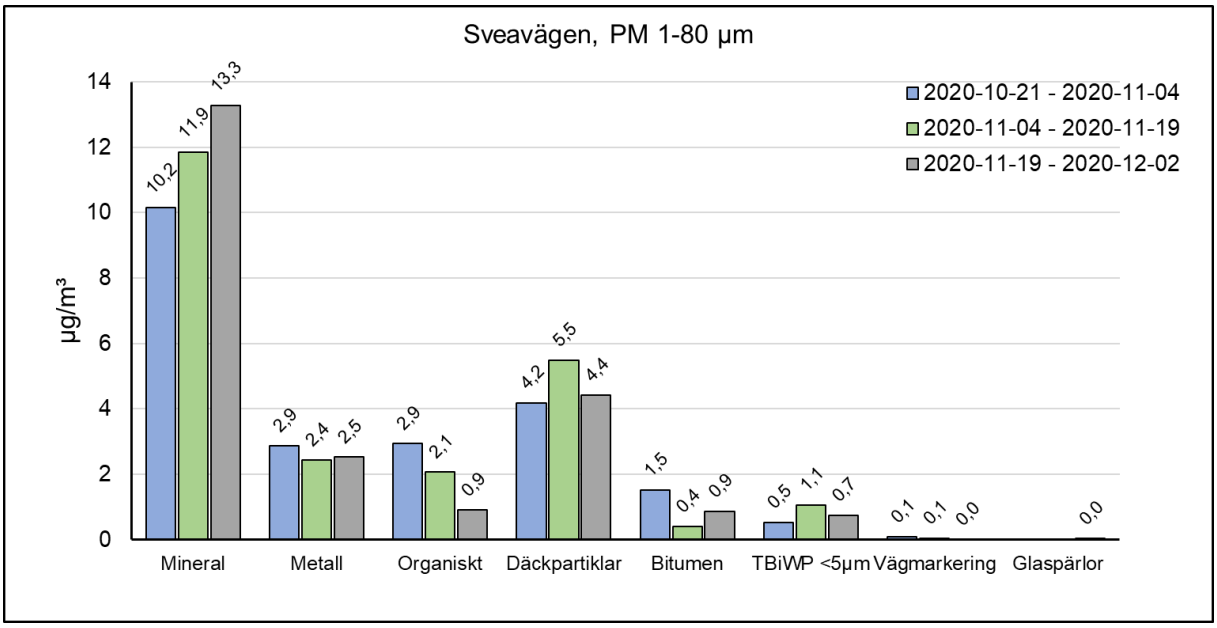
På Sveavägen var majoriteten av däckpartiklarna 5–20 µm, och den högsta halten återfanns i intervallet 10–20 µm, Figur 11. För partiklar större än 25 µm återfanns i princip bara mineralpartiklar, organiska partiklar, och med något undantag, metallpartiklar. Inga partiklar större än 40 µm detekterades i proverna. I likhet med Hornsgatan var mer än 85 % av alla analyserade partiklar mindre än 5 µm och 98–99 % var mindre än 10 µm.



Figur 11. Storleksfördelning av partiklar från Sveavägen under höst/vinter 2020. Grafen visar resultatet från alla tre mätperioder. CnP (%) visar den relativa antalskoncentrationen, det vill säga hur stor andel av partiklarna som återfinns i en viss storleksfraktion.

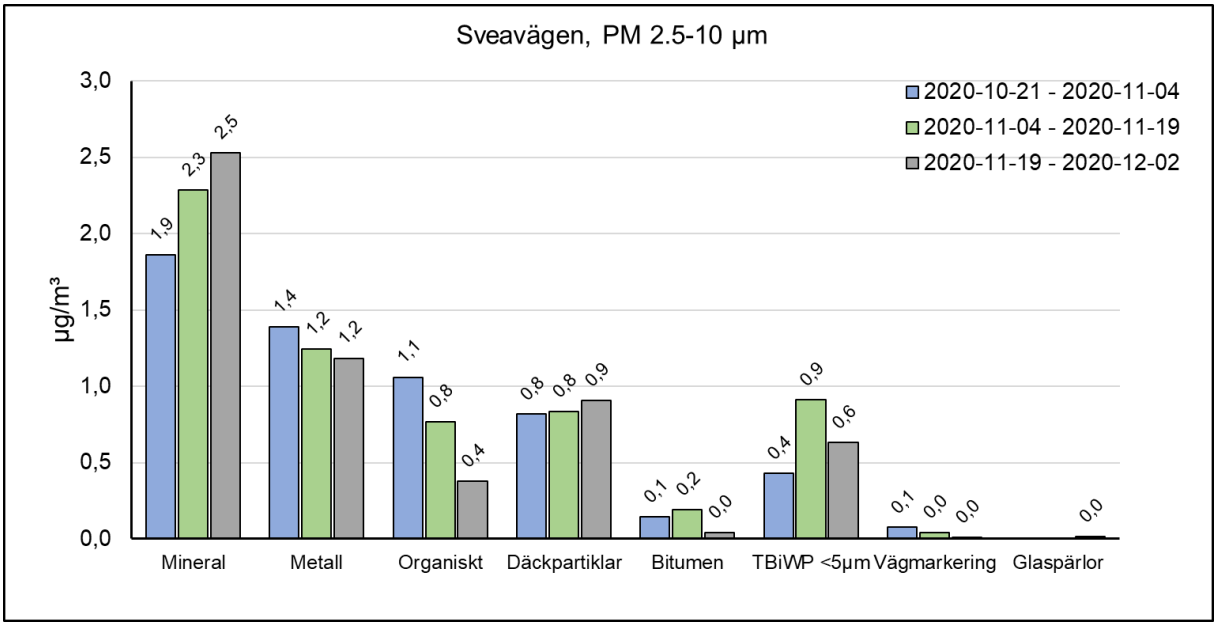
Proverna från Sveavägen visade på en liknande fördelning mellan partikelklasser som Hornsgatan, men masskoncentrationen var lägre under mätperiod 2 och 3 (något högre än på Hornsgatan under mätperiod 1), Figur 12. Halten av metallpartiklar sjönk inte lika mycket på Sveavägen utan låg kvar på

en likvärdig nivå genom alla mätperioder. Både hastighet, trafikmängd och dubbdäcksandel var högre på Sveavägen (50 km/h, ÅDT 23 100, och 26 %) jämfört med Hornsgatan (30km/h, ÅDT 20 800, 15 %) (Hurkmans, 2023), trots det var masskoncentrationerna lägre vilket delvis skulle kunna förklaras av att Sveavägen har en annan beläggning.



Figur 12. Masskoncentration (µg/m³) på Sveavägen uppdelat på de olika partikelkategorierna. Hela storleksintervallet 1-80 µm.

I likhet med resultaten från Hornsgatan var 15–20 % av masskoncentrationen däckpartiklar i fraktionen 2.5–10 µm, Figur 13. Mellan 77–94 % av vägmarkeringspartiklarna återfanns i fraktionen 2.5–10 µm, men antalet vägmarkeringspartiklar var lågt (1–7 partiklar/mätperiod), Tabell 3, så det går inte att dra någon generell slutsats om att vägmarkeringspartiklar endast återfinns i de finare fraktionerna, utan mer data behövs. Tyvärr fanns det inga PM2.5 -mätningar från SLBs station under mätperioderna varpå ingen jämförelse mellan metoder har kunnat göras för Sveavägen.



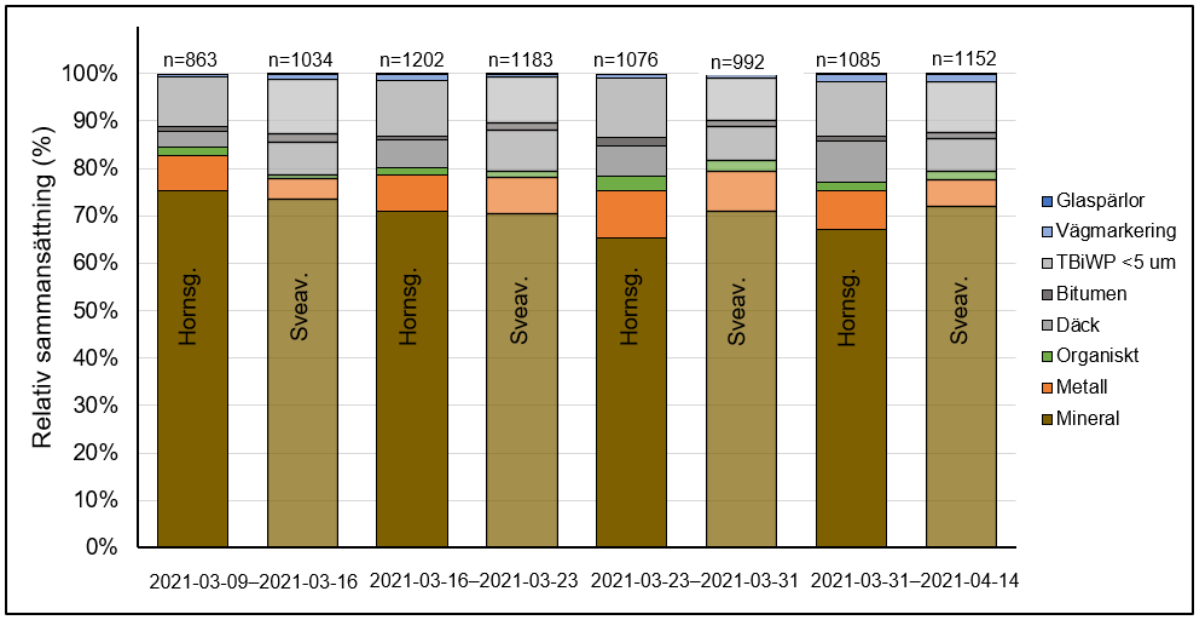
Figur 13. Masskoncentration (µg/m³) på Sveavägen uppdelat på de olika partikelkategorierna. Storleksintervallet 2.5–10 µm.

På Sveavägen visade massprocenten för trafikrelaterad mikroplast i fraktionen 2.5–10 µm en något mindre variation mellan mätperiod 1–3 jämfört med på Hornsgatan. Däckpartiklar varierade mellan 13–16 %, TBiWP < 5 µm mellan 8–15 % och vägmarkeringar mellan 1–3 %. Massprocenten mineralpartiklar varierade mellan 32–44 % (lägst under period 1 och högst under period 3).

3.2. Vårmätningar 2021

3.2.1. Relativ sammansättning, Hornsgatan och Sveavägen

Under vårmätningarna (mars-april 2021) var andelen mineralpartiklar markant högre (65–75 %) jämfört med hösten/vintern, Figur 14. Således var den procentuella *andelen* däckpartiklar lägre under våren. Andelen däckpartiklar varierade mellan 3–9 % och var något högre på Sveavägen än på Hornsgatan. Den huvudsakliga anledningen till att andelen däckpartiklar minskat beror på att andelen mineral ökat kraftigt. Vägmarkeringspartiklar låg på samma nivå som under hösten/vintern och varierade mellan 0.5–1,4 %. Andelen metallpartiklar låg stabilt på 8–10 % under alla fyra mätperioder vilket är lägre än under hösten/vintern. Även den organiska andelen var lägre under vårperioden.



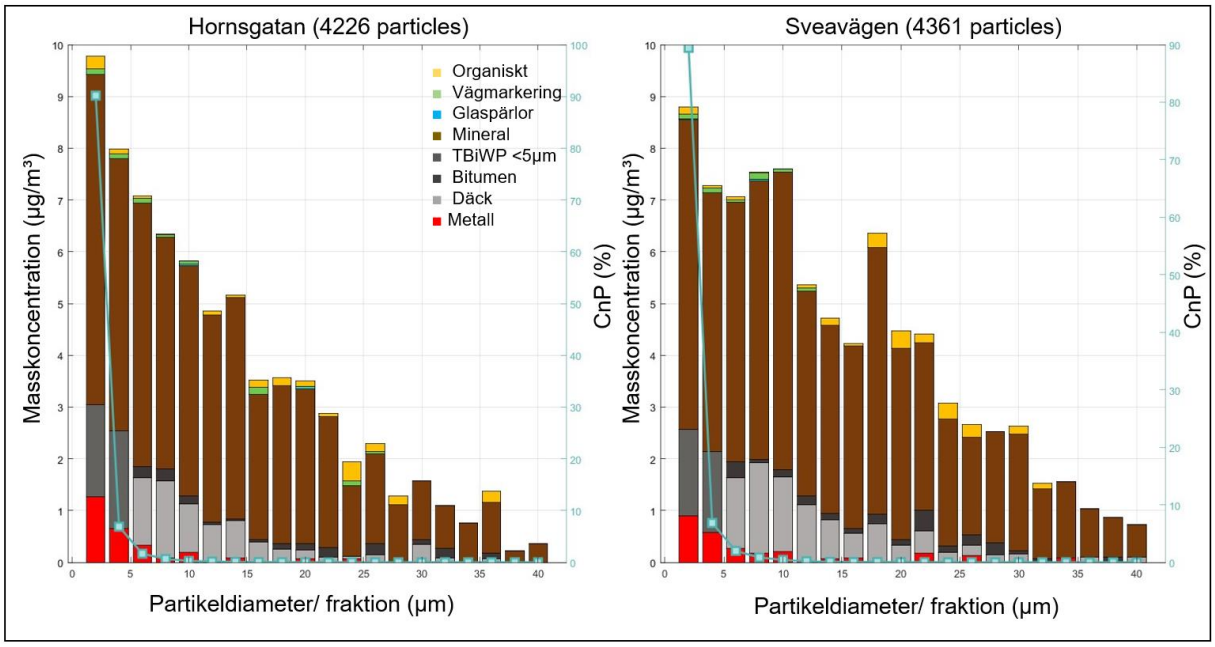
Figur 14. Hornsgatan representeras av de solida staplarna, nr 1, 3, 5 och 7 och Sveavägen av de transparanta staplarna, nr 2,4, 6 och 8. Staplarna visar på fördelningen mellan de olika partikelklasserna, dvs hur många partiklar som identifierats i respektive partikelklass. Det totala antalet analyserade partiklar i varje prov står ovanför staplarna (n=).

Antalet mineralpartiklar varierade mellan 210–502 under hösten/vintern jämfört med 650–835 under våren, Tabell 5. Insamlingen har dock skett under hälften så lång tid som under hösten/vintern (en vecka istället för två). En dubblerad exponeringstid skulle motsvara 1300–1670 partiklar, vilket tyder på påtagligt högre koncentrationer i luften. Antalet däckpartiklar varierade mellan 71–126 under hösten/vintern och 28–103 under våren. Dubblerad exponeringstid (som under hösten/vintern) motsvarar 56–206 partiklar, vilket inte tyder på någon påtagligt högre koncentration. Metaller ligger i samma storleksordning under vår som under höst/vinter, medan bitumen, vägmarkering och TBiWP <5 µm var högre under vårperioden, Tabell 5.

Tabell 5. Antalet partiklar uppdelat på partikelkategori och mätperiod.

	Mätperiodens längd (dagar)	Mineral	Metall	Organiskt	Däck	Bitumen	TBiWP <5 µm	Vägmark ering	Glas-pärlor	Totalt
Hornsgatan	7	650	65	15	28	9	90	6	0	**863**
	7	853	92	21	69	11	140	14	2	**1202**
	8	703	108	33	70	17	136	9	0	**1076**
	14	730	88	20	95	10	126	14	2	**1085**
Sveavägen	7	760	45	10	70	18	119	11	1	**1034**
	7	835	91	14	103	17	116	6	1	**1183**
	8	706	82	23	71	12	89	9	0	**992**
	14	831	65	21	77	16	124	16	2	**1152**

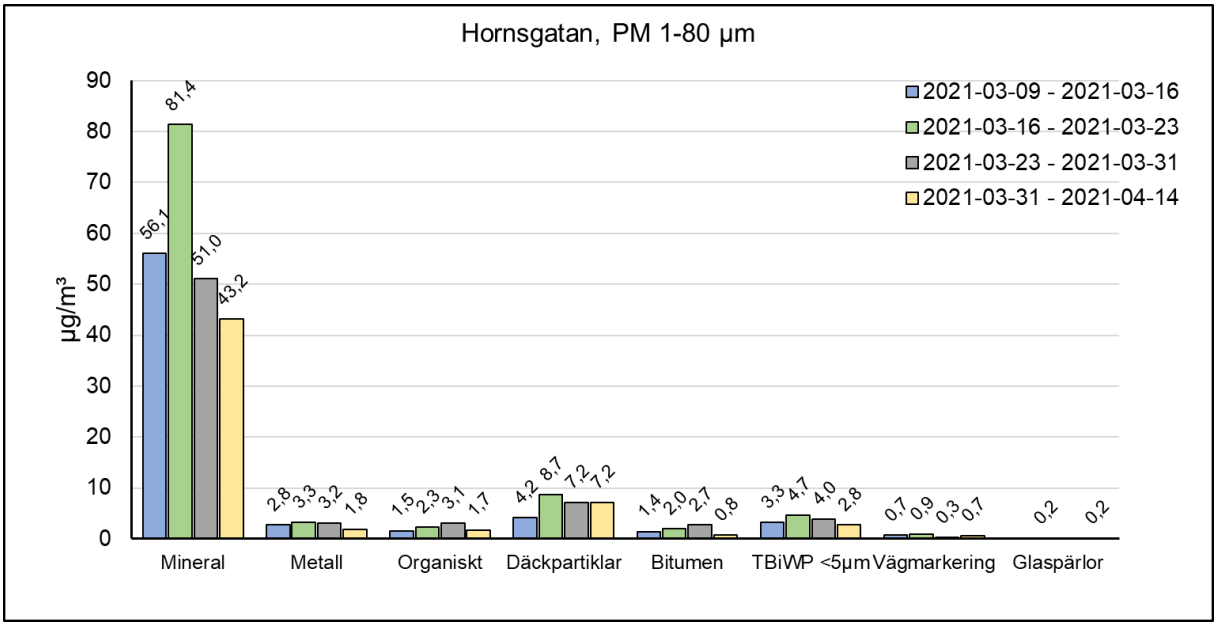
Storleksfördelningen för Hornsgatan och Sveavägen presenteras i Figur 15. På Hornsgatan återfinns störst masskoncentration däckpartiklar i storleksintervallet 5–10 µm, för att sedan minska i intervallet 10–20 µm. Värt att notera är att en relativt stor masskoncentration däckpartiklar hittats i de finaste fraktionerna, 1–5 µm, men att de då även inkluderar en del bitumenpartiklar varpå de redovisas som däck- och bitumenpartiklar (TBiWP <5 µm). Till skillnad från höst/vinterproverna, så återfinns däckpartiklar även i de grövre fraktionerna, upp till 35 µm. Storleksfördelningen på Sveavägen är väldigt lik den på Hornsgatan och mer än 90 % av alla analyserade partiklar var mindre än 5 µm, 98–99 % av partiklarna var mindre än 10 µm.



Figur 15. Storleksfördelning av partiklar från Hornsgatan (till vänster) och Sveavägen (till höger) under våren 2021. Grafen visar resultatet från alla fyra mätperioder. CnP (%) visar den relativa antalskoncentrationen, det vill säga hur stor andel av partiklarna som återfinns i en viss storleksfraktion.

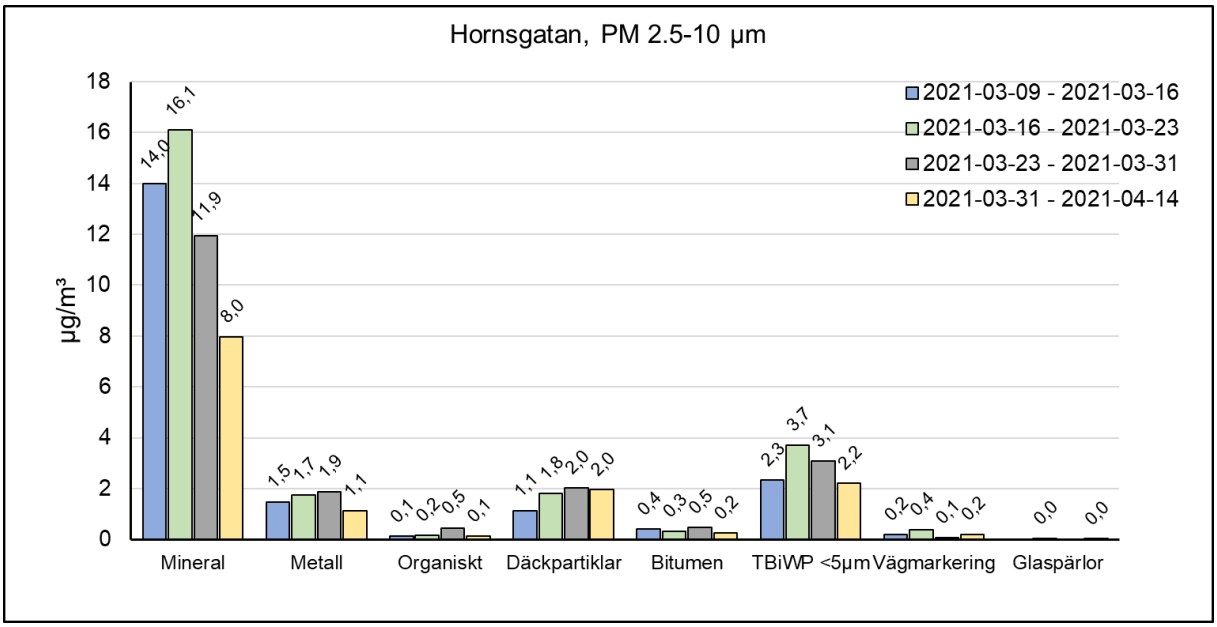
3.2.2. Masskoncentration, Hornsgatan

Trots att andelen däckpartiklar var lägre under vårens mätperioder jämfört med hösten/vintern, så var masskoncentrationen högre, Figur 16. Det stämmer väl överens med PM10-halterna som även de var högre under vårperioden. Våren hade även en lägre luftfuktighet och mindre nederbörd än hösten/vintern, Figur 3. Dessutom brukar PM10-halterna gå upp under våren till följd av upptorkning på vägbanan och uppvirvling av ansamlat material. Däck var under vårperioden den näst största partikelkategorin, vilket visar på att däck är en viktig källa till luftburna partiklar. Masskoncentrationen av däck låg inom det storleksintervall som presenterats i en tidigare studie från USA (1.2–13.7 µg/m^3) Gao m.fl. (2022), men lägre än en studie från Schweiz, Rausch m.fl. (2022).



Figur 16. Masskoncentration (µg/m^3) på Hornsgatan under vårperioderna uppdelat på de olika partikelkategorierna. Hela storleksintervallet 1-80 µm.

I fraktionen 2.5–10 µm blir skillnaden i totalkoncentration än tydligare jämfört med höst/vintermätningarna, Figur 17. Masskoncentrationen mineral varierar mellan 8–16 µg/m^3 under våren jämfört med 1.3–3.6 µg/m^3 under hösten/vintern medan totalkoncentrationen (1–80 µm) varierade mellan 43–81 µg/m^3 under våren och 6.5–24.5 µg/m^3 under hösten/vintern. Masskoncentrationen däckpartiklar, vägmarkeringspartiklar och TBiWP <5 µm var något högre under våren.



Figur 17. Masskoncentration (µg/m³) på Hornsgatan uppdelat på de olika partikelkategorierna. Storleksintervallet 2.5-10 µm.

En jämförelse med data från SLBs mätstation visar att metoderna fortfarande stämmer väl överens, men att de beräknade koncentrationerna från Sigma-II mätarna ligger något lägre än ordinarie mätstation under våren, Tabell 6.

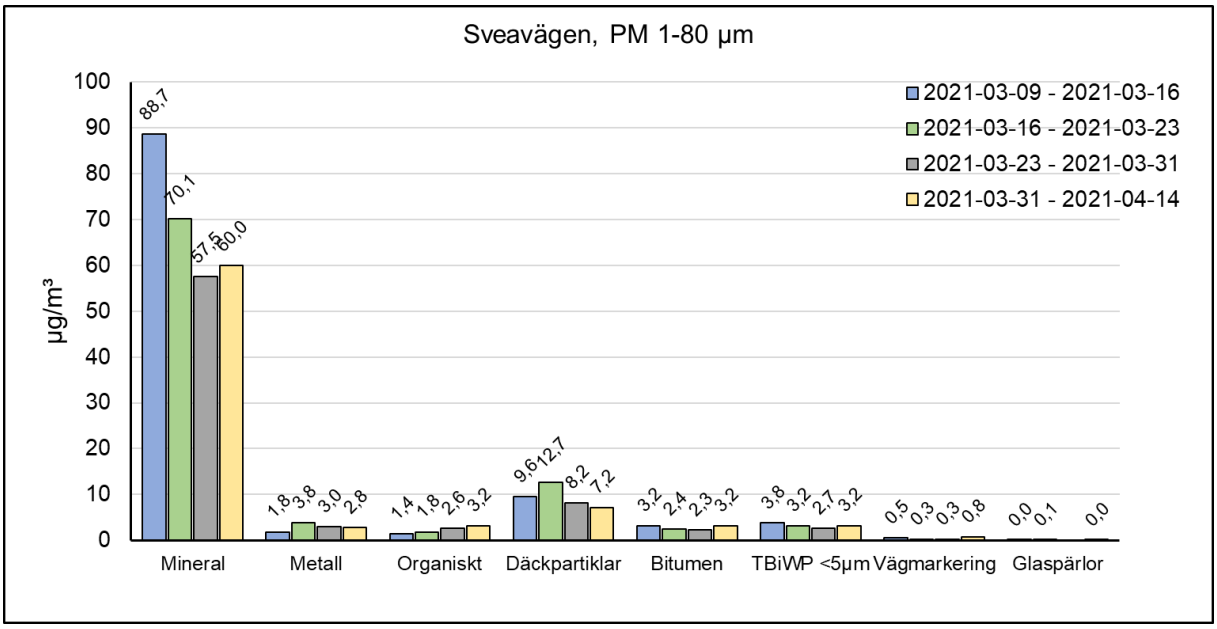
Tabell 6. Jämförelse mellan beräknade koncentrationer (Sigma-II) och uppmätta värden på mätstationen på Hornsgatan under våren 2021.

PM2.5–10 µm (µg/m³)		
	SLB	Sigma-II
Mätperiod 1	28,8	19,6
Mätperiod 2	38,6	24,3
Mätperiod 3	22,2	19,9
Mätperiod 4	19,3	13,9

På Hornsgatan under vårmätningarna var massprocenten för trafikrelaterad mikroplast i fraktionen 2.5–10 µm något lägre jämfört med höst/vintermätningarna. Framför allt på grund av en högre massprocent mineral (58–71 %). Däckpartiklar varierade mellan 6–14 %, TBiWP < 5 µm mellan 12–16 % och vägmarkeringar mellan 0–1 %.

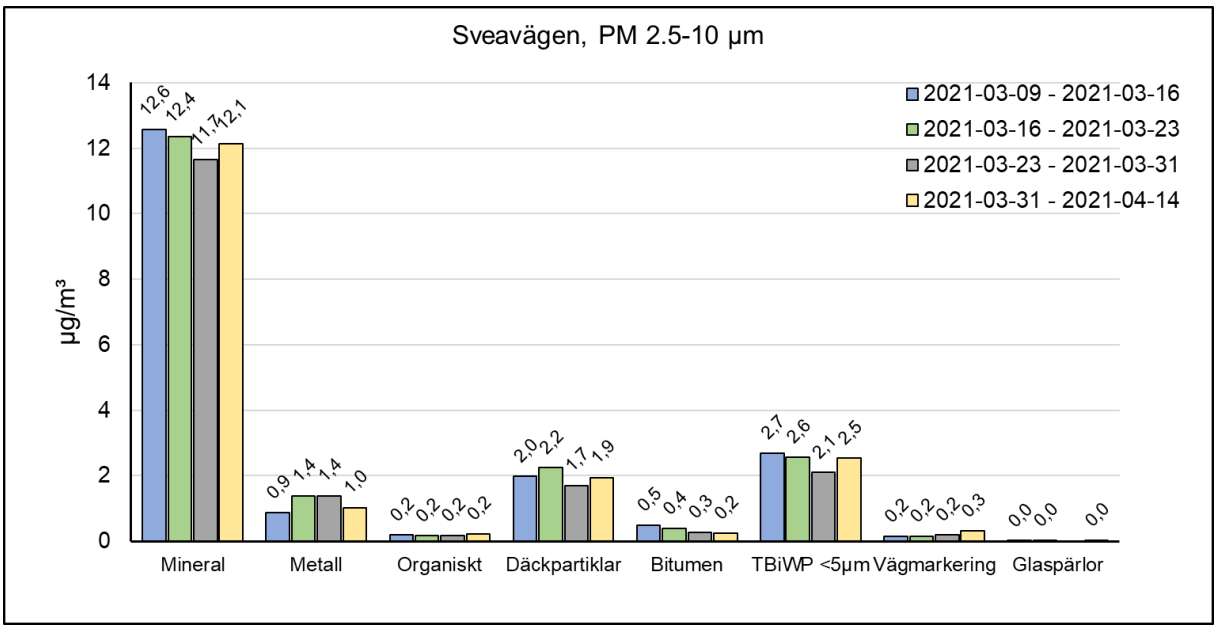
3.2.3. Masskoncentration, Sveavägen

Masskoncentrationen däckpartiklar var högre på Sveavägen än på Hornsgatan genom alla mätperioder och mer än dubbelt så hög som under hösten/vintern 2020, Figur 18. Koncentrationen av däckpartiklar var i samma storleksordning som tidigare studier från USA Gao m.fl. (2023) där både exponeringstid, provtagningsmetod och analysteknik var densamma. Även bitumen och mineral var högre på Sveavägen jämfört med Hornsgatan liksom totalkoncentrationen av partiklar. En förklaring till de högre koncentrationerna på Sveavägen kan vara den högre andelen dubbdäck (28 % år 2021), men det kan även bero på vindriktning, gatans riktning, upptorkning samt hur uppvirvlingen sett ut under mätperioderna.



Figur 18. Masskoncentration (µg/m³) på Sveavägen under vårmätningarna 2021 uppdelat på de olika partikelkategorierna. Hela storleksintervallet 1-80 µm.

Fraktionen 2.5–10 µm visar att däckpartiklar och TBIWP <5 µm är de klart största partikelklasserna efter mineral, Figur 19.

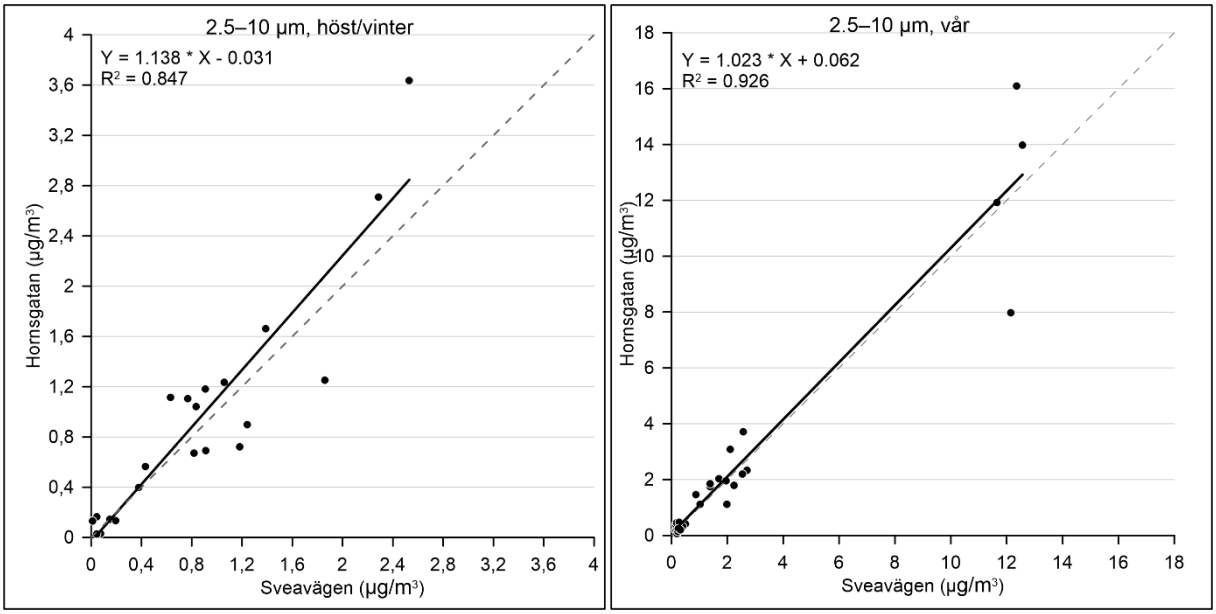


Figur 19. Masskoncentration (µg/m³) på Sveavägen under vårmätningarna 2021 uppdelat på de olika partikelkategorierna. Storleksintervallet 2,5-10 µm.

På Sveavägen under vårmätningarna var massprocenten för trafikrelaterad mikroplast i fraktionen 2.5–10 µm något lägre jämfört med höst/vintermätningarna. Framför allt på grund av en högre massprocent mineral (64–67 %). Däckpartiklar varierade mellan 10–12 %, TBiWP < 5 µm mellan 12–14 % och vägmarkeringar mellan 0–1 %. Jämfört med Hornsgatans vårmätningar var variationen i massprocent på Sveavägen mindre genom alla mätperioder, detta gäller för alla partikelklasser och kan till stor del förklaras av den höga, stabila massprocenten med mineral.

3.3. Jämförelse mellan gator

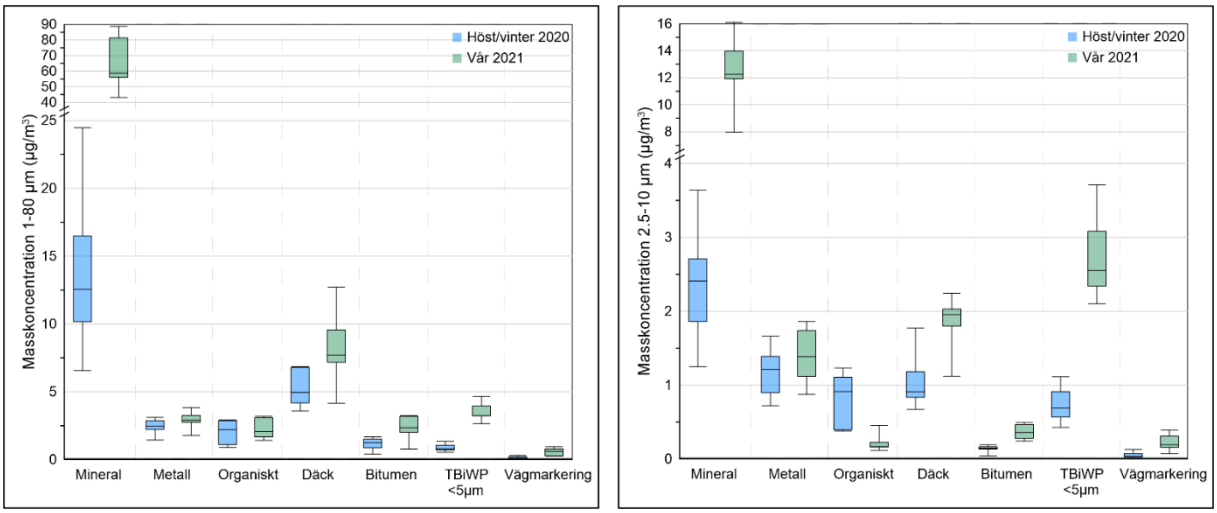
För att identifiera eventuella skillnader mellan gator plottades masskoncentrationerna från Hornsgatan (2.5–10 µm) mot Sveavägen, Figur 20. Resultatet visar att koncentrationerna från gatorna är lika, men att det som skiljer sig åt främst är koncentrationen mineralpartiklar (prickarna längst till höger i figurerna). Under höst/vinterproverna spretade proverna lite mer, det beror framför allt på att koncentrationerna var lägre vilket resulterar i även små differenser mellan gatorna ger tydliga utslag i figuren.



Figur 20. Jämförelse mellan masskoncentrationen (2.5–10 µm) på Hornsgatan och Sveavägen. Figuren till vänster visar höst/vinter-proverna och figuren till höger illustrerar vårproverna.

3.4. Jämförelse mellan årstider

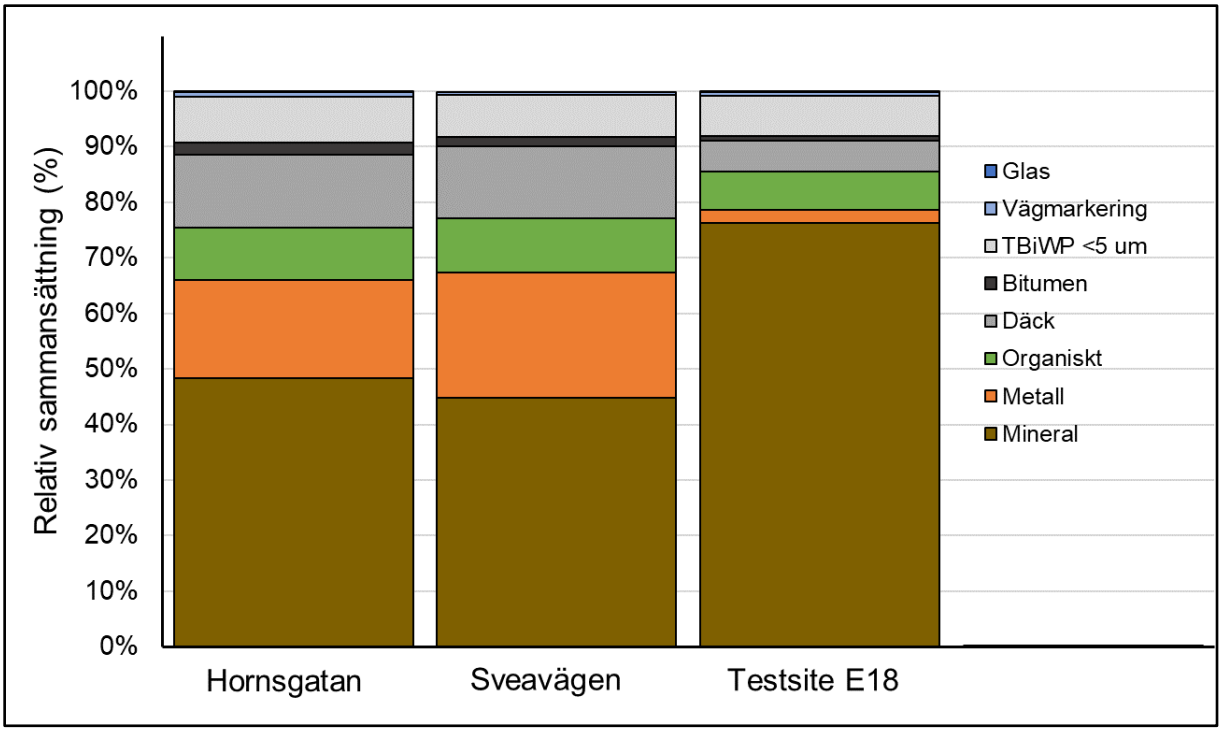
För att undersöka om det gick att se någon skillnad mellan årstider slogs proverna från båda gator samman och presenteras som låddiagram i Figur 21. Figuren visar masskoncentrationen av totalfraktionen, 1–80 µm till vänster och fraktionen 2.5–10 µm till höger. För båda fraktioner var masskoncentrationen högre i alla partikelkategorier under våren, förutom för organiskt material. Mineralpartklar och TBiWP <5 µm var de partikelkategorier som ökade mest under våren, men även vägmarkeringspartiklar och bitumen visade på en tydlig ökning. Trots att substraten under våren exponerades hälften så länge som under hösten/vintern, var partikelkoncentrationen högre. De lägre koncentrationerna kan bland annat kopplas till fuktigare vägbanor och mer nederbörd under hösten/vintern i kombination med att sandningen och dubbdäcksanvändningen inte kommit igång ordentligt pga höga temperaturer. Dessutom ansamlas en stor mängd vägdamm på vägbanan under vintern vilken sedan virvlar upp under våren och upptorkningen. Antalet metallpartiklar var högre under hösten/vintern, men masskoncentrationen var något högre under våren vilket indikerar att metallpartiklarna var något grövre under våren.



Figur 21. Till vänster: Hela fraktionen, 1–80 µm. Till höger: Fraktionen, 2.5–10 µm. Jämförelse mellan årstider. Blå boxar (n=6) visar på prover tagna på hösten/vintern 2020 och gröna boxar (n=8) är prover från våren 2021. Hornsgatan och Sveavägen är här sammanslagna. Notera att y-axeln skiljer sig åt i figurerna.

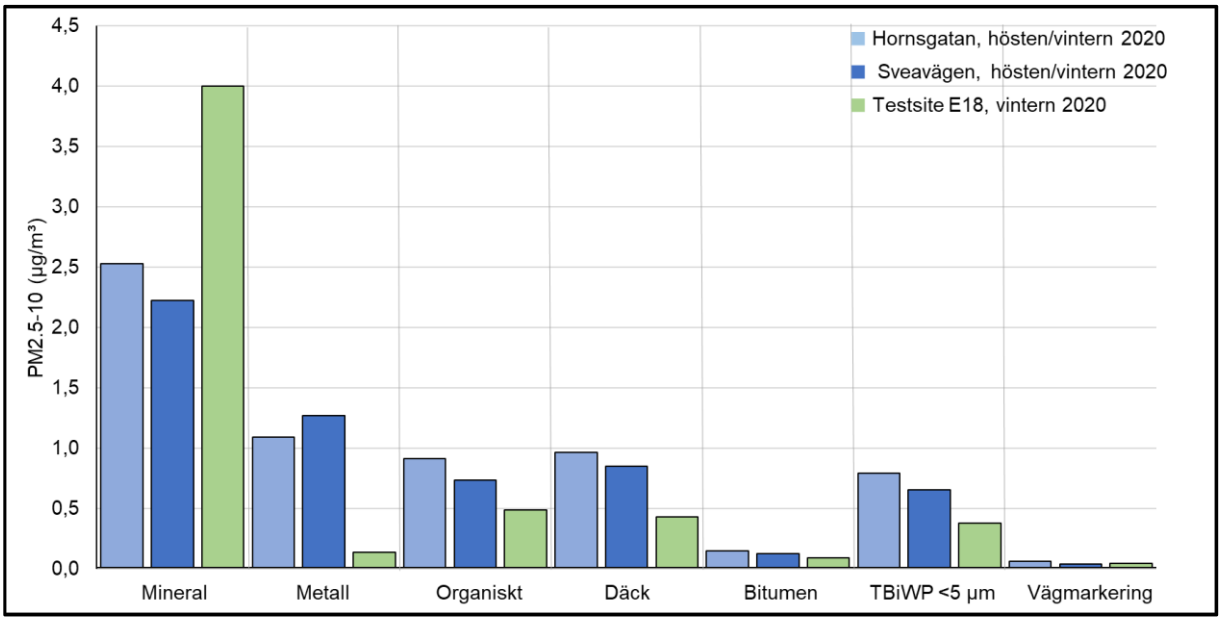
3.5. Jämförelse med prover från Testsite E18

Under vinterperioder i början och slutet av 2020 (2020-01-01–2020-01-16 & 2020-12-08–2020-12-21) samlades prover in på Testsite E18. Både provtagningsteknik och analysmetod var densamma som i Stockholm. Testsite E18 är en nationell testanläggning, som är belägen på E18 mellan Västerås och Enköping. Det kan vara av intresse att jämföra ett urbant område med ett ruralt, då både trafikmängd, hastighet och omgivning skiljer sig åt. Resultaten visas som medelvärden (Hornsgatan n=3, Sveavägen, n=3; Testsite E18, n=2). Den relativa sammansättningen (%) (antal partiklar/partikelkategori) visas i Figur 22. Provsammansättningen skiljer sig åt mellan Stockholms gator och motorvägen på E18, främst genom att Testsite E18 har en betydligt högre andel mineralpartiklar och mindre metallpartiklar. Då proverna från Testsite E18 är tagna längre in i dubbdäckssäsongen med högre dubbdäcksandel plus att dubbdäcksandelen sannolikt också är högre än i centrala Stockholm förklarar den höga mineralandelen. Fördelningen är mer lik den i vårmätningarna i Stockholm. Sandning kan också vara en extra källa i staden, men då proverna är tagna redan i oktober och november, är detta antagligen en ganska liten källa. Den låga andelen metallpartiklar på Testsite E18 kan antas bero på jämn hastighet och låg bromsfrekvens jämfört med i centrala Stockholm. Proverna på Testsite E18 innehöll generellt färre partiklar ($\bar{x}$=505) jämfört med Hornsgatan ($\bar{x}$=775) och Sveavägen ($\bar{x}$=706). Även antalet däckpartiklar var lägre På Testsite E18 ($\bar{x}$=27) jämfört med Hornsgatan ($\bar{x}$=102) och Sveavägen ($\bar{x}$=92). Mätperiodernas längd var desamma (14 dagar), men meteorologi, trafikmängd, hastighet, vindriktning och omgivning skiljer sig åt mellan platserna.



Figur 22. Relativ sammansättning (%) av prover från Hornsgatan (n=3), Sveavägen (n=3) och Testsite E18 (n=2). Staplarna presenteras som medelvärden.

Masskoncentrationen i fraktionen PM2.5–10 µm (Figur *23*) visade att innerstadsgatorna hade en högre koncentration i alla partikelkategorier förutom för mineralpartiklar. Men liksom för innerstadsgatorna är däckpartiklar en av de största partikelklasserna även på Testsite E18. Slås däckpartiklar samman med TBiWP <5 µm är de alltid den näst största partikelkategorin både i urban och rural miljö vilket visar på att däckslitage är en viktig källa till mikroplast i luft.



Figur 23. Jämförelse i masskoncentration mellan Hornsgatan, Sveavägen och Testsite E18, hösten/vintern 2020. Staplarna presenteras som medelvärden.

4. Slutsats

- Däckpartiklar är en av de största partikelkategorierna i proverna, sett till både relativ sammansättning, masskoncentration och massprocent vilket indikerar att däckslitage är en viktig källa till mikroplast i luft.
- Masskoncentrationen utav däckpartiklar är likvärdig på både Hornsgatan och Sveavägen, trots en variation i hastighet, dubbdäcksandel och geografiskt läge.
- Masskoncentrationen vägmarkeringspartiklar var låg, men partiklar har identifierats i alla prover.
- Mineralpartiklar står för majoriteten av alla partiklar i proverna, oavsett årstid och gata.
- Majoriteten av alla analyserade partiklar var mindre än 5 µm och inga partiklar grövre än 40 µm återfanns i luftproverna.
- Masskoncentration (och partikelantal) ökade kraftigt under vårmätningarna, främst på grund av en kraftig ökning av mineralpartiklar. Detta var förväntat då PM10-halterna var högre under vårperioden till följd av upptorkning och uppvirvling av ackumulerat vägdamm i kombination med lägre luftfuktighet och mindre nederbörd.
- Den beräknade masskoncentrationen (2.5–10 µm) från de passiva provtagarna (Sigma-II) stämde väl överens med medelkoncentrationen från SLBs mätstationer, både under hösten/vintern och vårperioden.
- För trafikrelaterad mikroplast i fraktionen 2.5–10 µm fluktuerade massprocenten något mellan gator och årstider. Däckpartiklar varierade mellan 6–16 %, TBiWP <5 µm mellan 8–16 % och vägmarkeringspartiklar mellan 0–3 %. Oavsett årstid och gata står trafikrelaterad mikroplast för 14–35 % av den totala partikelmassan i proverna.

Referenser

Baensch-Baltruschat, B., Kocher, B., Stock, F. och Reifferscheid, G. (2020). *Tyre and road wear particles (TRWP) – A review of generation, properties, emissions, human health risk, ecotoxicity, and fate in the environment*. Science of the Total Environment; **733**: 137823. 10.1016/j.scitotenv.2020.137823.

Baensch-Baltruschat, B., Kocher, B., Kochleus, C., Stock, F. och Reifferscheid, G. (2021). *Tyre and road wear particles – A calculation of generation, transport and release to water and soil with special regard to German roads*. Science of the Total Environment; **752**: 141939. 10.1016/j.scitotenv.2020.141939.

EU-kommissionen. (2021). *EU Action Plan: 'Towards Zero Pollution for Air, Water and Soil'*. COM/2021/400. Bryssel, 2021.

Frias, J. P. G. L. och Nash, R. (2019). *Microplastics: Finding a consensus on the definition*. Marine Pollution Bulletin **138**: 145-147. 10.1016/j.marpolbul.2018.11.022.

Gao, Z., Cizdziel, J. V., Wontor, K., Clisham, C., Focia, K., Rausch, J. och Jaramillo-Vogel, D. (2022). *On airborne tire wear particles along roads with different traffic characteristics using passive sampling and optical microscopy, single particle SEM/EDX, and µ-ATR-FTIR analyses*. Frontiers in Environmental Science **10**. 10.3389/fenvs.2022.1022697.

Giechaskiel, B., Grigoratos, T., Mathissen, M., Quik, J., Tromp, P., Gustafsson, M., Franco, V. och Dilara, P. (2024). *Contribution of Road Vehicle Tyre Wear to Microplastics and Ambient Air Pollution*. Sustainability **2024**, *16*, 522. 10.3390/su16020522.

Hann, S., Sherrington, C., Jamieson, O., Hickman, M., Kershaw, P., Bapasola, A. och Cole, G. (2018). *Investigating options for reducing releases in the aquatic environment of microplastics emitted by (but not intentionally added in) products*. ICF and Eunomia Research & Consulting, Ltd. Bristol.

Hurkmans, J. (2023). *Mätstationer inom Östra Sveriges Luftvårdsförbund- Beskrivning mätstationer för kontroll av miljökvalitetsnormer för luftkvalitet år 2023*. Rapport: SLB 14:2023. SLB-analys. Stockholm.

Johannesson, M. och Lithner, D. (2021). *Potentiella styrmedel och åtgärder mot mikroplast från däck- och vägslitage : kartläggning och prioritering*. VTI-rapport 1092. Statens väg- och transportforskningsinstitut**,** Linköping.

Järlskog, I. (2022). *Occurrence of Traffic-Derived Microplastics in Different Matrices in the Road Environment*. Doktorsavhandlingar vid Chalmers Tekniska Högskola. Ny serie nr 5141 Göteborg, Chalmers.

Järlskog, I., Jaramillo-Vogel, D., Rausch, J., Perseguers, S., Gustafsson, M., Stromvall, A.-M. och Andersson-Sköld, Y. (2022). *Differentiating and Quantifying Carbonaceous (Tire, Bitumen, and Road Marking Wear) and Non-carbonaceous (Metals, Minerals, and Glass Beads) Non-exhaust Particles in Road Dust Samples from a Traffic Environment*. Water, Air and Soil Pollution **233**(9). 10.1007/s11270-022-05847-8

Magnusson, K., Eliasson, K., Fråne, A., Haikonen, K., Hultén, J., Olshammar, M., Stadmark, J. och Voisin, A. (2016). *Swedish sources and pathways for microplastics to the marine environment- A review of existing data*., IVL Svenska Miljöinstitutet. Rapport nr C183.

Naturvårdsverket (2019). *Mikroplaster i miljön år 2019- Redovisning av ett regeringsuppdrag*. Ärendenummer NV-08867-17. Naturvårdsverket, Stockholm.

Naturvårdsverket (2023). *Forskningsagenda mikroplast- Behov av kunskap och utveckling för framtagande av styrmedel och åtgärder*. Rapport nr 7107. Naturvårdsverket, Stockholm.

Panko, J., Kreider, M., Unice, K. (2018). Chapter 7 - *Review of Tire Wear Emissions: A Review of Tire Emission Measurement Studies: Identification of Gaps and Future Needs*, in: Amato, F. (Ed.), Non-Exhaust Emissions. Academic Press, pp. 147-160. 10.1016/B978-0-12-811770-5.00007-8.

Polukarova, M., Gustafsson, M., Hjort, M., Agewall, J. och Wallgren, K. (under granskning). *Framework for estimation of total tyre wear emissions- Sweden as an example*.

Rausch, J., Jaramillo-Vogel, D., Perseguers, S., Schnidrig, N., Grobéty, B. och Yajan, P. (2022). *Automated identification and quantification of tire wear particles (TWP) in airborne dust: SEM/EDX single particle analysis coupled to a machine learning classifier*. Science of the Total Environment **803**: 149832. 10.1016/j.scitotenv.2021.149832

Rødland, E. S., Gustafsson, M., Jaramillo-Vogel, D., Järlskog, I., Müller, K., Rauert, C., Rausch, J. och Wagner, S. (2023). *Analytical challenges and possibilities for the quantification of tire-road wear particles*. TrAC. Trends in analytical chemistry **165**. 10.1016/j.trac.2023.117121.

Unice, K. M., Weeber, M. P., Abramsona, M. M., Reida, R. C. D., van Gils, J. A. G., Markus, J. A. G., Vethaak, A. D. och Panko, J. M. (2019). *Characterizing export of land-based microplastics to the estuary - Part I: Application of integrated geospatial microplastic transport models to assess tire and road wear particles in the Seine watershed*. Science of the Total Environment; **646**: 1639–1649. 10.1016/j.scitotenv.2018.07.368.

VDI-2119 (2013). *Ambient air measurements sampling of atmospheric particles > 2.5 µm on an acceptor surface using the Sigma-2 passive sampler*. Characterization by Optical Microscopy and Calculation of Number Settling Rate and Mass Concentration. ICS: 13.040.01. Berlin.

VTI är ett oberoende och internationellt framstående forskningsinstitut inom transportsektorn. Vi bedriver forskning och utveckling för att förbättra kunskapen om infrastruktur, trafik och transporter. Genom vårt arbete bidrar vi till att nå Sveriges transportpolitiska mål för tillgänglighet, säkerhet, miljö och hälsa.

Vi utför forskning på uppdrag inom alla transportslag och arbetar i en tvärvetenskaplig organisation. Den kunskap vi genererar ger viktig information till aktörer inom transportsektorn och används ofta direkt i nationell och internationell transportpolitik.

Utöver forskning erbjuder vi utredningar, rådgivning samt olika mät- och provningstjänster. På VTI har vi avancerad forskningsutrustning av olika slag och världsledande körsimulatorer. Vi har även ackrediterade laboratorier för vägmaterial och krocksäkerhetstestning.

Biblioteket vid VTI är en nationell resurs som samlar in och sprider information om svensk transportforskning. Utöver frågeservice och lån erbjuds tjänster såsom informationssökning, omvärldsbevakning och strukturering av publikationer och projekt på en webbplats.

I Sverige samarbetar VTI med universitet och högskolor som bedriver relaterad forskning och utbildning. Vi deltar regelbundet i internationella forskningsprojekt, främst i Europa, och är aktiva inom internationella nätverk och allianser. Vi är cirka 240 medarbetare och finns i Linköping, Stockholm, Göteborg och Lund.

vti

Statens väg- och transportforskningsinstitut • www.vti.se • vti@vti.se • +46 (0)13–20 40 00