



Fodgængere
henvises til
modsatte fortov

MILJØEFFEKTER AF MILJØZONER FOR MOBILE IKKE-VEJGÅENDE ARBEJDSMASKINER

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 564

2023



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

MILJØEFFEKTER AF MILJØZONER FOR MOBILE IKKE-VEJGÅENDE ARBEJDSMASKINER

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 564

2023

Anne Sofie Lansø
Morten Winther
Marlene Plejdrup

Aarhus Universitet, DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

Datablad

Serietitel og nummer:	Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 564
Kategori:	Rådgivningsrapporter
Titel:	Miljøeffekter af miljøzoner for mobile ikke-vejgående arbejdsmaskiner
Forfattere:	Anne Sofie Lansø, Morten Winther, Marlene Plejdrup
Institution:	DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi
Udgiver:	Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi ©
URL:	http://dce.au.dk
Udgivelsesår:	juli 2023
Redaktion afsluttet:	juli 2023
Faglig kommentering:	Steen Solvang Jensen, Institut for Miljøvidenskab
Kvalitetssikring, DCE:	Vibeke Vestergaard Nielsen, DCE
Ekstern kommentering:	Miljøministeriet. Kommentarerne findes her: http://dce2.au.dk/pub/komm/SR564_komm.pdf
Finansiel støtte:	Miljøministeriet
Bedes citeret:	Lansø, A.S., Winther, M. & Plejdrup M., 2023. Miljøeffekter af miljøzoner for ikke-vejgående arbejdsmaskiner. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 59 s. - Videnskabelig rapport nr. 564
	Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse
Sammenfatning:	Rapporten beskriver effekten for emissioner og luftkvalitet ved udbredelse af miljøzoner for mobile ikke-vejgående arbejdsmaskiner. Effekten undersøges for fire geografiske afgrænsninger: nuværende miljøzone for vejtrafik, nuværende miljøzone for vejtrafik plus Københavns omegnskommuner, større provinsbyer med over 50.000 indbyggere, og mindre provinsbyer med over 25.000 indbyggere. Tre miljøzonekrav er opstillet: Stagekravbaseret, eftermontering af filtre, og afgiftsbaseret. To ambitionsniveauer er undersøgt for miljøzonekravene: A - stageniveau V og B – stageniveau IIIB/IV. Emissionerne er beregnet med DEMOS-NRMM modellen, som indeholder de grundlæggende emissionsfaktorer for NO _x og PM _{2.5} . Til at undersøge miljøeffekter er den atmosfæriske lokalskala spredningsmodel OML-Multi anvendt for udvalgte byer.
Erneord:	Emissioner fra ikke-vejgående arbejdsmaskiner, luftforurening, effektvurdering, miljøzoner
Layout:	Majbritt Ulrich
Foto forside:	Colourbox
ISBN:	978-87-7156-798-4
ISSN (elektronisk):	2244-9981
Sideantal:	59

Indhold

Indledning	4
1 Sammenfatning	5
2 Mulige miljøzoner og miljøzonekrav	10
2.1 Mulige miljøzoner og deres geografiske afgrænsning	10
2.2 Scenarier med miljøzonekrav	11
3 Emissionsopgørelse	15
3.1 Inputdata	15
3.2 Emissionsfaktorer	20
3.3 Beregningsmetode	22
3.4 Emissionseffekt for miljøzonescenarier uden geografisk overlap	24
3.5 Emissionseffekt for miljøzonescenarier med geografisk overlap	24
4 Luftkvalitetsberegninger	28
4.1 Grænseværdier	28
4.2 Spredningsmodellen OML-Multi	28
4.3 Opsætning af input data til OML-Multi	29
4.4 Miljøeffekter ved indførsel af miljøzoner for arbejdsmaskiner	32
5 Referencer	44
6 Bilag	46

Indledning

Som følge af den politiske aftale *Miljøinitiativer i grønne byer og en hovedstad i udvikling* (Miljøministeriet, 2021) har Miljøministeriet bedt DCE (Nationalt Center for Miljø og Energi) under Aarhus Universitet om at foretage en analyse af miljøzoner for mobile ikke-vejgående arbejdsmaskiner. Det er en tofaset analyse, hvori der foretages en analyse af adfærdsændringer, påvirkningsgrader og erhvervsøkonomiske konsekvenser for større virksomheder og små og mellemstore virksomheder ved etablering af miljøzoner for arbejdsmaskiner i byområder, samt en analyse for estimering af miljøeffekter ved indførelse af miljøzonerne.

Den rådgivende ingeniørvirksomhed COWI har stået for første del af analysen, som giver et overslag over bestandsændringer af dieseldrevne arbejdsmaskiner for indfasningsårene 2025, 2027 og 2030 som følge af miljøkrav til maskinerne i forskellige miljøzonestenarier i et antal geografiske områder (COWI, 2023). Miljøzonekravene i de forskellige scenarier omfatter stagekrav til motorer, stagekrav eller eftermontering af partikelfiltre til opfyldelse af stagekrav eller mulighed for at betale afgift for at undgå stagekrav.

Formålet med nærværende projekt, som indeholder anden del af analysen, er at analysere miljøeffekterne af de mulige scenarier for etablering af miljøzoner i byer for arbejdsmaskiner. Miljøeffekterne vil hovedsageligt fokusere på emissionskonsekvenserne ved at indføre miljøzonerne og de beregnede ændringer i luftkvaliteten. Emissionerne fra mobile ikke-vejgående arbejdsmaskiner beregnes med DCE's DEMOS-NRMM model for en basisudvikling uden miljøzoner og for miljøzoner med bestands- og aktivitetsændringer bestemt i COWI's miljøzonestenarier i årene 2025, 2027 og 2030. Indvirkningen på luftkvaliteten vil blive undersøgt vha. den atmosfæriske lokalskala spredningsmodel OML-Multi for udvalgte scenarier.

Kapitel 2 beskriver, hvordan miljøzonerne er afgrænset geografisk, og hvilke miljøzonekrav der stilles til arbejdsmaskinernes emissioner i de forskellige scenarier. Kapitel 3 beskriver emissionsopgørelserne og de beregnede emissioner per miljøzone for de forskellige scenarier. Kapitel 4 indeholder analysen af, hvordan luftkvaliteten påvirkes af arbejdsmaskinernes emissioner for de enkelte miljøzoner og de forskellige scenarier.

Opgaven er udført af DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, Aarhus Universitet, Roskilde med Institut for Miljøvidenskab som udførende institut.

Projektet har været fulgt af en projektgruppe bestående af følgende personer:

Katja Asmussen, Miljøministeriet (projektleder)

Anne Sofie Lansø, DCE (projektleder)

Christian Lange, Miljøministeriet

Morten Winther, DCE

1 Sammenfatning

Baggrund og formål

Som følge af den politiske aftale *Miljøinitiativer i grønne byer og en hovedstad i udvikling* (Miljøministeriet, 2021) har Miljøministeriet bedt DCE (Nationalt Center for Miljø og Energi) under Aarhus Universitet om at deltage i en analyse af miljøzoner for mobile ikke-vejgående arbejdsmaskiner. Det er en tofaset analyse, hvori der foretages en analyse af adfærdsændringer, påvirkningsgrader og erhvervsøkonomiske konsekvenser for større virksomheder og små og mellemstore virksomheder ved etablering af miljøzoner for arbejdsmaskiner i byområder, samt en analyse for estimering af miljøeffekter ved indførelse af miljøzonerne.

Den rådgivende ingeniørvirksomhed COWI har stået for første del af analysen, som giver et overslag over bestandsændringer af dieseldrevne arbejdsmaskiner for indfasningsårene 2025, 2027 og 2030 som følge af miljøkrav til maskinerne i forskellige miljøzonestenarier i et antal geografiske områder (COWI, 2023). Miljøzonekravene i de forskellige scenarier omfatter stagekrav til motorer, stagekrav eller eftermontering af partikelfiltre til opfyldelse af stagekrav eller mulighed for at betale afgift for at undgå stagekrav.

I nærværende projekt, som indeholder anden del af analysen, er formålet at analysere miljøeffekterne af de mulige scenarier for etablering af miljøzoner i byer for arbejdsmaskiner. Miljøeffekterne vil hovedsageligt fokusere på emissionskonsekvenserne for NO_x (kvælstofoxider) og PM_{2.5} (partikler med en diameter under 2,5 µm) ved at indføre miljøzonerne og de beregnede ændringer i luftkoncentrationer af NO₂ (kvælstofdioxid) og PM_{2.5}.

Scenarier og geografisk afgrænsning af miljøzoner

I analysen er der defineret et antal scenarier, som varierer i forhold til typen af krav, der stilles i miljøzonerne (krav 1, 2, 3), ambitionsniveauet (A, B) og miljøzonernes geografiske afgrænsning (a, b, c, d).

Miljøzonestenarierne kan kortfattet beskrives på følgende måde:

- I scenarie 1 indføres et krav om at alle arbejdsmaskiner, der bruges inden for miljøzonen, mindst lever op til EU's emissionsnorm stage V (scenarie 1.A) eller de mindre skrappe stagekrav IIIB/IV (scenarie 1.B).
- I scenarie 2 indføres miljøzoner med samme stagekrav som i scenarie 1, men med mulighed for at bruge en maskine i miljøzonen, der har fået eftermonteret et partikelfilter (scenarie 2.A og 2.B).
- I scenarie 3 indføres miljøzoner med samme stagekrav som i scenarie 1, men med mulighed for at bruge en maskine i miljøzonen, der ikke lever op til de gældende stagekrav mod at betale en afgift (scenarie 3.A og 3.B).

Miljøzonerne er afgrænset geografisk på følgende måde:

- (a) Miljøzoner i de nuværende miljøzoner for vejtrafik. Miljøzonerne omfatter København/Frederiksberg, Aarhus, Aalborg og Odense. I

København og Frederiksberg dækker miljøzonen hele kommunen. I de tre øvrige byer udgør miljøzonen en mindre del af byzonen.

- (b) De nuværende miljøzoner (a) udvides med Københavns omegnskommuner: Albertslund, Ballerup, Brøndby, Furesø, Gentofte, Gladsaxe, Glostrup, Greve, Herlev, Hvidovre, Ishøj, Lyngby-Taarbæk, Rudersdal, Rødovre, Tårnby og Vallensbæk. For omegnskommunerne dækker miljøzonen hele kommunen.
- (c) Miljøzoner i byer over 50.000 indbyggere, der omfatter Esbjerg, Randers, Kolding, Horsens, Vejle, Roskilde og Herning. Miljøzonen udgør en mindre del af byzonen.
- (d) Miljøzoner i byer over 25.000 indbyggere, der omfatter Silkeborg, Hørsholm, Helsingør, Næstved, Viborg, Fredericia, Køge, Holstebro, Tåstrup, Slagelse, Hillerød, Holbæk, Sønderborg, Svendborg og Hjørring. Miljøzonen udgør en mindre del af byzonen.

Herudover undersøges betydninger af tre forskellige indfasningsår: 2025, 2027 og 2030.

Emissionerne for årene 2025, 2027 og 2030 beregnes for en basisudvikling uden miljøzoner og for de forskellige scenarier og miljøzoner, vha. nationale prognosedata for bestand og antal årlige driftstimer samt emissionsfaktorer hentet fra DCE's non-road emissionsmodel (DEMOS-NRMM, se Winther, 2022). Data er opdelt per maskintype, motorstørrelse og EU-emissionstrin inden for brancherne byggeri og anlæg (samlet), fremstillingsvirksomhed og handel og service. Procentdelen af den nationale bestand per maskintype, der bruges i miljøzonerne (a)-(d), og de scenariespecifikke bestandsfordelinger på EU-emissionstrin, er bestemt af COWI i det forudgående projekt.

Den atmosfæriske lokalskala spredningsmodel OML-Multi er brugt til at undersøge, hvordan brugen af arbejdsmaskiner påvirker luftkvaliteten i de forskellige scenarier og foreslåede miljøzoner (a, b, c, d). Både langtidspåvirkninger (koncentrationsbidrag til årlige gennemsnitsværdier) og korttidspåvirkninger (koncentrationsbidrag til spidsværdier) er undersøgt. OML-Multi (Operationel Meteorologisk Luftkvalitetsmodel) er en Gaussisk røgfanemodel, som beregner spredningen af ikke-reaktive stoffer fra punkt- og arealkilder.

Luftkvalitetsberegningerne med OML-Multi bliver udført for basissituationen uden miljøzonekrav (basis) og scenarierne 1.A og 3.A for årene 2025 og 2030. Der bliver udført luftkvalitetsberegninger for én beregningsby per geografisk miljøzone. Beregningsbyerne er København og Frederiksberg i den nuværende miljøzone for vejtrafik (a), og for en fiktiv by af gennemsnitlig størrelse i miljøzonerne (b), (c) og (d). Til bestemmelse af arealet af de fiktive beregningsbyer i miljøzonerne (b), (c) og (d) er kommune- og byzoneareal hentet via statistikbanken.dk.

De præcise positioner og tidspunkter for aktiviteterne med arbejdsmaskiner i miljøzonerne kendes ikke. Derfor bliver emissionerne for basis, scenarie 1.A og 3.A jævnt fordelt som individuelle arealkilder i beregningsbyerne. For at opnå realistiske årsmiddelværdier og spidsværdier er der pålagt en tidsvariation på emissioner fra arbejdsmaskiner, så de kun emitterer i hverdagene mellem kl. 8 og kl. 15.

Hovedresultater og konklusioner

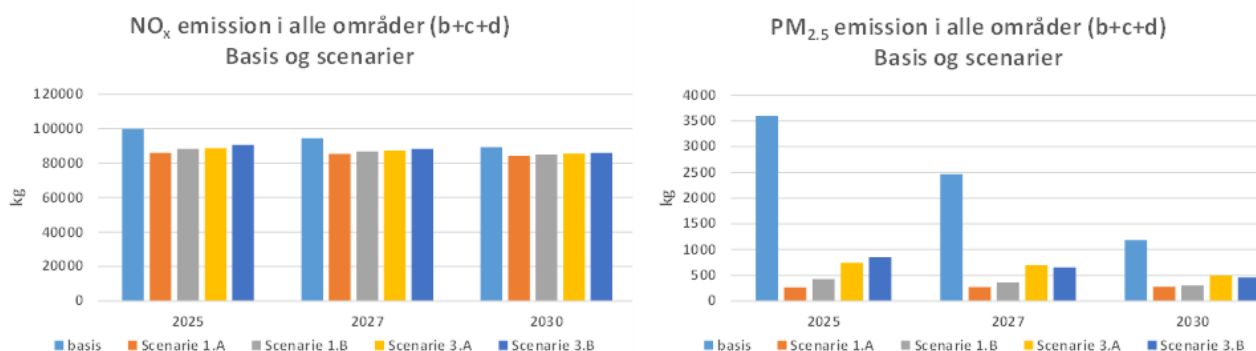
Figur 1.1 viser NO_x- og PM_{2.5}-emissionerne fra arbejdsmaskinerne i 2025, 2027 og 2030 for det samlede område af alle miljøzonerne (b+c+d), både i basissituationen uden miljøzonekrav og for de fire scenarier 1.A, 1.B, 3.A og 3.B.

De største NO_x- og PM_{2.5}-emissionsreduktioner opnås i Scenarie 1.A i 2025, hvor alle maskiner substitueres eller udskiftes til stage V.

For NO_x beregnes i 2025 en emissionsreduktion på 14 %, 12 %, 11 % og 9 % for hhv. scenarie 1.A, 1.B, 3.A og 3.B, ift. til basisemissionen i området. For PM_{2.5} beregnes i 2025 en emissionsreduktion på 93 %, 88 %, 79 % og 76 % for hhv. scenarie 1.A, 1.B, 3.A og 3.B, ift. til PM_{2.5}-basisemissionen i området.

Pga. den naturlige udskiftning til stage V maskiner i basisbestanden falder især basisemissionerne af PM_{2.5} markant frem mod 2030. PM_{2.5}-basisemissionerne falder med 67 % fra 2025 til 2030. For scenarie 1.A stiger PM_{2.5}-emissionen med 4 %, og for scenarie 1.B, 3.A og 3.B reduceres PM_{2.5}-emissionerne med hhv. 28 %, 33 % og 46 % fra 2025 til 2030. I samme periode falder NO_x-basisemissionerne med 11 %, og for scenarie 1.A, 1.B, 3.A og 3.B reduceres NO_x-emissionerne med hhv. 2 %, 4 %, 3 % og 5 % fra 2025 til 2030.

Resultaterne vist i Figur 1.1 tager hensyn til, at der er et geografisk overlap mellem miljøzonerne. Hvis scenariekravene indføres i alle miljøzonerne på samme tid, betyder det geografiske overlap, at 30 % af maskinaktiviteterne i miljøzone c allerede er medregnet i miljøzone b, og at 55 % af maskinaktiviteterne i miljøzone d allerede er medregnet i miljøzone c. Afledt af dette beregnes den samlede total for alle miljøzoner som summen af totalerne for de enkelte miljøzoner, fratrukket delbidragene på hhv. 30 % og 55 % af totalerne for miljøzone b og c.



Figur 1.1. NO_x- og PM_{2.5}-emissionerne i 2025, 2027 og 2030 for det samlede område af alle miljøzoner (b+c+d) både i basissituationen uden miljøzoner og for scenarierne 1.A, 1.B, 3.A og 3.B.

Koncentrationsbidragene fra arbejdsmaskiner til NO₂- og PM_{2.5}-koncentrationerne er højest i beregningsområdet indenfor miljøzone (a) – de nuværende miljøzoner for vejtrafik (se tabel 1.1 og 1.2). Dette skyldes, at NO_x- og PM_{2.5}-emissionerne per arealenhed er langt større for beregningsbyen (København og Frederiksberg) i miljøzone (a) end for beregningsbyerne i miljøzone (b), (c) og (d).

Koncentrationsbidragene fra arbejdsmaskiner til NO₂- og PM_{2.5}-koncentrationerne er sammenlignet med data fra år 2019, fordi Luften på din vej 2.0 kun

indeholder data fra dette år, og fordi 2019 er et pre-corona år og derfor vil være repræsentativt.

Bidraget fra arbejdsmaskiner til NO₂-koncentrationen i basis for beregningsbyen i miljøzone (a) i 2025 udgør 1,25 % af den årlige målte bybaggrundskoncentration (Ellermann et al., 2020) i København. Reduktionen i NO₂-koncentrationsbidraget fra arbejdsmaskiner ved indførelse af miljøzonekrav vil svare til 0,2 % af den årlige bybaggrundskoncentration i København for både scenarie 1.A og 3.A.

Bidraget fra arbejdsmaskiner til PM_{2,5}-koncentrationen i basis for beregningsbyen i miljøzone (a) i 2025 udgør 0,05 % af den årlige målte bybaggrundskoncentration (Ellermann et al., 2020) i København. Reduktionen i PM_{2,5}-koncentrationsbidraget fra arbejdsmaskiner ved indførelse af miljøzonekrav vil svare til 0,04 % og 0,03 % af den årlige bybaggrundskoncentration i København for hhv. scenarie 1.A og 3.A.

Tabel 1.1. Målte årsmiddel-bybaggrundskoncentrationer af NO₂ foretaget under det nationale overvågningsprogram for luftkvalitet i Danmark i 2019. Herudover er NO₂-koncentrationsbidrag i beregningsbyerne til det årlige gennemsnit fra arbejdsmaskiner i miljøzonerne vist for år 2025 og 2030. Enheden er mikrogram per kubikmeter [$\mu\text{g}/\text{m}^3$].

	NO ₂ -årsmiddel	Miljøzone	2025			2030		
			Basis	1.A	3.A	Basis	1.A	3.A
København	12	(a)	0,15	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
Hvidovre	12	(b)	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Større provinsby	-	(c)	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Mindre provinsby	-	(d)	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03

Tabel 1.2. Målte årsmiddel-bybaggrundskoncentrationer af PM_{2,5} foretaget under det nationale overvågningsprogram for luftkvalitet i Danmark i 2019. Herudover er PM_{2,5}-koncentrationsbidrag i beregningsbyerne til det årlige gennemsnit fra arbejdsmaskiner i miljøzonerne vist for år 2025 og 2030. Enheden er mikrogram per kubikmeter [$\mu\text{g}/\text{m}^3$].

	PM _{2,5} -årsmiddel	Miljøzone	2025			2030		
			Basis	1.A	3.A	Basis	1.A	3.A
København	11	(a)	0,0052	0,0004	0,0015	0,0017	0,00041	0,00074
Hvidovre	10	(b)	0,00081	0,00006	0,0001	0,00027	0,00006	0,00011
Større provinsby	-	(c)	0,00087	0,00006	0,00025	0,00028	0,00006	0,00012
Mindre provinsby	-	(d)	0,0011	0,00007	0,00032	0,00033	0,00008	0,00014

Emissionerne fra arbejdsmaskiner har en større indflydelse på spidsværdierne for NO₂- og PM_{2,5}-koncentrationerne end på årsgennemsnittet for koncentrationerne (se tabel 1.3 og tabel 1.4).

Bidraget fra arbejdsmaskiner til spidsværdien for NO₂-koncentrationen i basis for beregningsbyen i miljøzone (a) i 2025 udgør 13,2 % af den højeste målte timemiddelværdi i bybaggrundskoncentrationen i København (se tabel 1.3, Ellermann et al., 2020). Reduktionen i koncentrationsbidraget fra arbejdsmaskiner til spidsværdien af NO₂-koncentrationen ved indførelse af miljøzonekrav, vil svare til 1,8 % og 1,4 % af den højeste målte timemiddelværdi i bybaggrundskoncentration i København for hhv. scenarie 1.A og 3.A.

Tabel 1.3. Indeholder den højeste målte timeværdi af NO₂ i bybaggrundskoncentrationer foretaget under det nationale overvågningsprogram for luftkvalitet i Danmark i 2019. Herudover er NO₂ koncentrationsbidrag i beregningsbyerne til spidsværdier (den 19. største timeværdier af NO₂) fra arbejdsmaskiner i miljøzonerne vist for år 2025 og 2030. Enheden er mikrogram per kubikmeter [$\mu\text{g}/\text{m}^3$].

	NO ₂ højeste timeværdi	Miljøzone	2025			2030		
			Basis	1.A	3.A	Basis	1.A	3.A
København	67	(a)	8,85	7,65	7,91	7,91	7,47	7,59
Hvidovre	101	(b)	1,17	1,0	1,03	3,91	3,69	3,75
Større provinsby	-	(c)	0,8	0,69	0,71	0,72	0,68	0,69
Mindre provinsby	-	(d)	1,33	1,17	1,21	1,20	1,15	1,16

Bidraget fra arbejdsmaskiner til spidsværdien for PM_{2,5}-koncentrationen for beregningsbyerne vil falde med mellem 69 % og 92 % for scenarie 1.A i forhold til basis, og mellem 71 % og 88 % for scenarie 3.A i forhold til basis i 2025 (se tabel 1.4). I 2030 er reduktionen i koncentrationsbidraget fra arbejdsmaskiner til spidsværdien for PM_{2,5}-koncentrationen mindre (76 % - 77 % for scenarie 1.A og 56 % - 58 % for scenarie 3.A) grundet den naturlige udskiftning til stage V maskiner i basisbestanden.

Tabel 1.4. Indeholder PM_{2,5}-koncentrationsbidrag i beregningsbyerne til spidsværdier fra arbejdsmaskiner i miljøzonerne vist for år 2025 og 2030. Enheden er mikrogram per kubikmeter [$\mu\text{g}/\text{m}^3$].

	Miljøzone	2025			2030		
		Basis	1.A	3.A	Basis	1.A	3.A
København	(a)	0,60	0,05	0,17	0,19	0,05	0,09
Omegnskommune	(b)	0,10	0,007	0,01	0,03	0,007	0,01
Større provinsby	(c)	0,04	0,003	0,01	0,01	0,003	0,006
Mindre provinsby	(d)	0,06	0,004	0,02	0,02	0,004	0,008

Herudover er de største specifikke koncentrationsbidrag opnået i beregningspunkter der ligger indenfor eller i umiddelbar nærhed af arealkilder.

Det vil sige, at arbejdsmaskinernes påvirkning af NO₂-og PM_{2,5}-luftkoncentrationerne er størst tæt på emissionskilden (arbejdsmaskinerne) i korte tidsperioder, typisk hvor arbejdsmaskinerne er i brug.

Fremskrivning af bybaggrundskoncentration af NO₂ og PM_{2,5} viser fald (Jensen et al., 2023). Koncentrationsbidragene fra arbejdsmaskiner vil forsat udgøre en meget lille del af bybaggrundskoncentration af NO₂ og PM_{2,5}. Reduktionen i koncentrationsbidraget fra arbejdsmaskiner ved indførelse af miljøzonerkrav vil svare til 0,2 % og 0,06 - 0,08 % af den årlige bybaggrundskoncentration i 2025 i København for NO₂ og PM_{2,5}.

2 Mulige miljøzoner og miljøzonekrav

I første del af analysen af miljøzoner for arbejdsmaskiner har COWI defineret fire miljøzoner ud fra forskellige geografiske afgrænsninger og opstillet seks forskellige miljøzonekrav (scenarier) inden for hver miljøzone (COWI, 2023).

COWI's projekt inddrog aktiviteter inden for miljøzonerne med forskellige typer af dieseldrevne arbejdsmaskiner inden for brancherne bygge og anlæg, fremstillingsvirksomhed og handel og service, med motorstørrelser større end 19 kW. Som grunddata for antal maskiner og årlige driftstimer brugte COWI nationale prognosedata fra DCE's emissionsmodel for non-road maskiner (DEMOS-NRMM) leveret af DCE.

COWI projektet beregnede resultater for årene 2025, 2027 og 2030, og er yderligere underopdelt i resultater for store virksomheder og små og mellemstore virksomheder inden for hver branche.

I dette projekt beregnes konsekvenserne for emissioner og luftkvalitet af at indføre disse miljøzoner med aktiviteter og strategier for maskinvalg afhængig af branche og størrelse af virksomhed, som defineret i COWI's projekt.

I de følgende afsnit 2.1 og 2.2 forklares kortfattet, hvordan miljøzonerne er afgrænset geografisk og hvilke emissionskrav i miljøzonerne der tænkes indført i de forskellige scenarier.

2.1 Mulige miljøzoner og deres geografiske afgrænsning

I analysen inddrages miljøzoner for arbejdsmaskiner, der afgrænses geografisk på fire forskellige måder:

(a) Nuværende miljøzoner: Miljøzoner i de nuværende miljøzoner for vejtrafik. Miljøzonerne omfatter København/Frederiksberg, Aarhus, Aalborg og Odense. I København og Frederiksberg dækker miljøzonen hele kommunen. I de tre øvrige byer udgør miljøzonen en mindre del af byzonen.

(b) Nuværende miljøzoner plus omegnskommuner: De nuværende miljøzoner (a) udvides med Københavns omegnskommuner: Albertslund, Ballerup, Brøndby, Furesø, Gentofte, Gladsaxe, Glostrup, Greve, Herlev, Hvidovre, Ishøj, Lyngby-Taarbæk, Rudersdal, Rødovre, Tårnby og Vallensbæk. For omegnskommunerne dækker miljøzonen hele kommunen.

(c) Større provinsbyer: Miljøzoner i byer med over 50.000 indbyggere, der omfatter Esbjerg, Randers, Kolding, Horsens, Vejle, Roskilde og Herning. Miljøzonen udgør en mindre del af byzonen. Dette er nærmere beskrevet nedenfor.

(d) Mindre provinsbyer: Miljøzoner i byer med over 25.000 indbyggere, der omfatter Silkeborg, Hørsholm, Helsingør, Næstved, Viborg, Fredericia, Køge, Holstebro, Tåstrup, Slagelse, Hillerød, Holbæk, Sønderborg, Svendborg og Hjørring. Miljøzonen udgør en mindre del af byzonen. Dette er nærmere beskrevet nedenfor.

2.1.1 Afgrænsning af miljøzoner i provinsbyerne

Vurderingen af hvor stor en andel af aktiviteterne med arbejdsmaskiner (i det følgende blot benævnt som aktiviteterne), der sker inden for miljøzonen i provinsbyerne, er opgjort for de fire forskellige brancher, der antages at have aktiviteter inden for miljøzonerne: Anlæg, byggeri, handel og service og fremstillingsindustri.

Det er ikke besluttet, hvor miljøzonerne kan placeres i provinsbyerne. Det er derfor antaget, at aktiviteterne i miljøzonerne inden for hver branche udgør en fast procentdel af branchens aktiviteter i byzonerne.

For anlægsarbejde antages aktiviteterne i miljøzonen at udgøre 20% af aktiviteterne i byzonen. Dette bygger på GIS-beregninger udført med DCE's geografiske emissionsmodel SPREAD (Plejdrup et al., 2021), der viser, at aktiviteterne inden for miljøzonerne i Aalborg, Aarhus og Odense udgør mellem 9% og 23% af aktiviteterne inden for bygrænsen. Gennemsnittet af aktiviteterne for de tre nævnte byer beregnes til at være 16%, og en aktivitetsandel på 20 % er dermed et øvre skøn.

For byggeri antages aktiviteterne i miljøzonen at udgøre 25% af aktiviteterne i byzonen. I SPREAD-modellen beregnes aktiviteterne inden for miljøzonerne i Aalborg, Aarhus og Odense at udgøre 21% i gennemsnit. For Odense udgør aktiviteterne i miljøzonen 28% af aktiviteterne i byzonen.

For handel og service antages aktiviteterne i miljøzonen at udgøre 32% af aktiviteterne byzonen. Dette bygger på SPREAD-modellens beregninger, der viser, at aktiviteterne inden for miljøzonerne i Aalborg, Aarhus og Odense alle udgør ca. 32% af aktiviteterne indenfor byzonen.

For fremstillingsindustrien antages det, at miljøzonerne i provinsbyerne planlægges således, at de ikke inddrager industriområder.

2.2 Scenarier med miljøzonekrav

I analysen er der defineret et antal scenarier, som varierer i forhold til typen af krav, der stilles i miljøzonerne (krav 1, 2, 3), ambitionsniveauet (A, B) og miljøzonernes geografiske afgrænsning (a, b, c, d). En oversigt over de forskellige scenariekombinationer med emissionskrav og tilpasningsstrategier er vist i Tabel 2.1. I det følgende menes der ved substitution af en maskine, at maskinen ombyttes til en maskine inden for virksomhedens eksisterende maskinpark, der overholder miljøzonens krav. Ved skift af en maskine menes, at den gamle maskine sælges, og der købes en ny maskine, der overholder miljøzonens krav.

Tabel 2.1. Oversigt over scenarier, emissionskrav og tilpasningsstrategier til miljøzonekrav.

Scenarie	Emissionskrav i miljøzonen	Tilpasning
1.A	Stage V krav.	Store virksomheder substituerer med Stage V, små virksomheder køber ny Stage V
1.B	Stage IIIB/IV krav.	Store virksomheder substituerer med Stage IIIB/IV eller V, små virksomheder køber ny Stage V
2.A = 1.A	Filterkrav (partikler) Stage V krav (NO _x)	Store virksomheder substituerer med Stage V, små virksomheder køber ny Stage V
2.B = 1.B	Filterkrav eller Stage IIIB/IV krav (partikler) Stage IIIB/IV krav (NO _x).	Store virksomheder substituerer med Stage IIIB/IV eller V, små virksomheder køber ny Stage V
3.A	Stage V krav.	Store virksomheder substituerer med Stage V, små virksomheder betaler miljøafgift eller køber ny Stage V
3.B	Stage IIIB/IV krav.	Store virksomheder substituerer med Stage IIIB/IV og V, små virksomheder betaler miljøafgift eller køber ny Stage V

I scenarierne indføres miljøzoner med stagekrav til maskinerne svarende til stagekravene i EU's emissionsdirektiver for mobile ikke-vejgående maskiner andre end traktorer, og for traktorer. En oversigt over EU-emissionsdirektiverne og -grænseværdier er vist i Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Overblik over EU's emissionsdirektiver og -grænseværdier for dieseldrevne mobile ikke-vejgående maskiner andre end traktorer, og for traktorer (>19 kW).

Motoreffektklasse kW	NO _x	VOC+NO _x g/kWh	PM	PN #/kWh	Andre maskiner end traktorer			Traktorer	
					EU-direktiv	Transient Ikrafttrædelsesdato	Konstant	EUdirektiv	Ikrafttrædelsesdato
Stage I									
130<=P<560	9,2	-	0,54		97/68	1/1 1999	-	2000/25	1/7 2001
75<=P<130	9,2	-	0,7			1/1 1999	-		1/7 2001
37<=P<75	9,2	-	0,85			1/4 1999	-		1/7 2001
Stage II									
130<=P<560	6	-	0,2		97/68	1/1 2002	1/1 2007	2000/25	1/7 2002
75<=P<130	6	-	0,3			1/1 2003	1/1 2007		1/7 2003
37<=P<75	7	-	0,4			1/1 2004	1/1 2007		1/1 2004
18<=P<37	8	-	0,8			1/1 2001	1/1 2007		1/1 2002
Stage IIIA									
130<=P<560	-	4	0,2		2004/26	1/1 2006	1/1 2011	2005/13	1/1 2006
75<=P<130	-	4	0,3			1/1 2007	1/1 2011		1/1 2007
37<=P<75	-	4,7	0,4			1/1 2008	1/1 2012		1/1 2008
19<=P<37	-	7,5	0,6			1/1 2007	1/1 2011		1/1 2007
Stage IIIB									
130<=P<560	2	-	0,025		2004/26	1/1 2011	-	2005/13	1/1 2011
75<=P<130	3,3	-	0,025			1/1 2012	-		1/1 2012
56<=P<75	3,3	-	0,025			1/1 2012	-		1/1 2012
37<=P<56	-	4,7	0,025			1/1 2013	-		1/1 2013
Stage IV									
130<=P<560	0,4	-	0,025		2004/26	1/1 2014	1/1 2014	2005/13	1/1 2014
56<=P<130	0,4	-	0,025			1/10 2014	1/10 2014		1/10 2014
Stage V									
130<=P<560	0,4		0,015	1x10 ¹²	2016/1628		2019	167/2013	2019
56<=P<130	0,4		0,015	1x10 ¹²			2020		2020
37<=P<56		4,7	0,015	1x10 ¹²			2019		2019
19<=P<37		4,7	0,015	1x10 ¹²			2019		2019

Scenarie 1.A og 1.B

I scenarie 1 indføres et krav om, at alle arbejdsmaskiner, der bruges inden for miljøzonen, mindst lever op til EU's stageniveau V (i scenarie 1.A) eller stageniveau IIIB/IV (i scenarie 1.B), svarende til ambitionsniveau A og B.

I scenarie 1.A gælder, at alle maskiner, der ikke er registreret som Stage V, substitueres (store virksomheder) eller skiftes til Stage V maskiner (små og mellemstore virksomheder).

I scenarie 1.B gælder for store virksomheder, at alle maskiner, der ikke er registreret som Stage IIIB/IV/V, substitueres med Stage IIIB/IV/V maskiner.

Substitutionen gøres pr. maskintype med relative andele for Stage IIIB/IV/V maskinerne der svarer til de relative andele for Stage IIIB/IV/V maskinerne pr. maskintype i Danmarks samlede non road maskinbestand.

I scenarie 1.B gælder for små og mellemstore virksomheder, at alle maskiner registreret som stage IIIA eller tidligere udskiftes med Stage V maskiner.

Scenarie 2.A og 2.B

I scenarie 2 indføres miljøzoner med mulighed for eftermontering af partikelfilter. I dette scenarie stilles der samme krav til maskinernes stageniveau som i scenarie 1, men for partikler kan virksomhederne dog leve op til miljøzonekravet, hvis maskinen har monteret et lukket partikelfilter. Formålet er at tillade, at maskiner med et lukket partikelfilter kan operere i miljøzonen, selv om den oprindelige motor ikke lever op til stagekravet.

I scenarie 2.A skal maskinerne være udstyret med et lukket partikelfilter for at overholde stage V kravet for partikler. Det er i praksis alle stage V maskiner og en vis del af stage IIIB og stage IV maskinerne, der er udstyret med lukket partikelfilter som nye maskiner.

Resten af maskinerne substitueres (store virksomheder) eller skiftes til stage V maskiner (små og mellemstore virksomheder).

I scenarie 2.A skal maskinerne i miljøzonen også overholde et emissionskrav for NO_x svarende til stage V. For stage IIIB og IV maskinerne er NO_x-emissionskravene de samme som NO_x-emissionskravene for stage V inden for visse motorstørrelsesklasser. Dette gælder for stage IIIB motorer i størrelsesklassen 37-56 kW og alle stage IV motorer (Tabel 2.1). Disse maskiner må altså godt bruges i miljøzonen (hvis de også er udstyret med lukket partikelfilter).

Afledt af denne betingelse skal maskiner mindre end 37 kW, der ikke overholder stage V kravet for NO_x, og maskiner større end 56 kW, der ikke overholder stage IV kravet for NO_x ekskluderes fra miljøzonen.

Disse maskiner substitueres eller skiftes til stage V maskiner.

I praksis svarer emissionerne beregnet i scenarie 2.A til emissionerne beregnet i scenarie 1.A, fordi maskinernes emissionsfaktorer svarer til stage V for både partikler og NO_x i begge scenarier. Emissionsresultater vil derfor kun blive vist for Scenarie 1.A i kapitel 2.

I scenarie 2.B skal maskinerne i miljøzonen overholde et emissionskrav for partikler og NO_x svarende til stage IIIB og IV, eller være udstyret med partikelfilter.

I scenarie 2.B gælder for store virksomheder, at alle maskiner, der ikke er registreret som stage IIIB/IV/V, substitueres med stage IIIB/IV/V maskiner.

Substitutionen gøres pr. maskintype med relative andele for Stage IIIB/IV/V maskinerne der svarer til de relative andele for Stage IIIB/IV/V maskinerne pr. maskintype i Danmarks samlede non road maskinbestand.

I scenarie 2.B gælder for små og mellemstore virksomheder, at alle maskiner registreret som stage IIIA eller tidligere substitueres med stage V maskiner.

I praksis svarer emissionerne beregnet i scenarie 2.B til emissionerne beregnet i scenarie 1.B, fordi maskinernes emissionsfaktorer er ens for både partikler og NO_x i begge scenarier. Emissionsresultater vil derfor kun blive vist for Scenarie 1.B i kapitel 2.

I princippet kunne stage IIIA maskiner bruges i miljøzonen i scenarie 2.B indenfor motorstørrelsesintervallet 37-56 kW med et eftermonteret partikelfilter, fordi NO_x-emissionskravet for stage IIIA og IIIB er ens i dette motorstørrelsesinterval (Tabel 2.1). Denne situation forventes dog ikke at opstå, fordi det generelt anses at være for dyrt at eftermontere et partikelfilter på en arbejdsmaskine set ud fra en samlet driftsøkonomisk betragtning (COWI, 2023).

Scenarie 3.A og 3.B

I scenarie 3 indføres miljøzoner med mulighed for at betale afgift. I dette scenarie stilles der samme krav til stageniveau som i scenarie 1, men virksomhederne har mulighed for at bruge en maskine i miljøzonen, der ikke lever op til de gældende stagekrav, mod at betale en afgift.

I scenarie 3.A gælder for store virksomheder, at alle maskiner, der ikke er registreret som stage V, substitueres med en stage V maskine. For små og mellemstore virksomheder gælder, at langt de fleste maskiner, der ikke er registreret som stage V, betaler en miljøafgift, og resten udskiftes med en stage V maskine.

I scenarie 3.B gælder for store virksomheder, at alle maskiner, der ikke er registreret som stage IIIB/IV/V, substitueres med Stage IIIB/IV/V maskiner.

Substitutionen gøres pr. maskintype med relative andele for Stage IIIB/IV/V maskinerne der svarer til de relative andele for Stage IIIB/IV/V maskinerne pr. maskintype i Danmarks samlede non road maskinbestand.

For små og mellemstore virksomheder gælder, at langt de fleste maskiner registreret som stage IIIA eller tidligere norm betaler en miljøafgift, og resten udskiftes med en stage V maskine.

3 Emissionsopgørelse

3.1 Inputdata

Til brug for emissionsberegningerne er nationale prognosedata for bestand og antal årlige driftstimer samt emissionsfaktorer hentet fra DCE's non-road emissionsmodel (DEMOS-NRMM) for årene 2025, 2027 og 2030 (Winther, 2022). Data er opdelt per maskintype, motorstørrelse og EU-emissionstrin inden for brancherne byggeri og anlæg (samlet), fremstillingsvirksomhed og handel og service.

Procentdelen af bestanden per maskintype, der bruges i de fire miljøzoner, er bestemt af COWI i det forudgående projekt ved at lave en brancheopsplitning per maskintype af DCE's bestand for bygge og anlæg i hhv. byggeri og anlæg, og kombinere med de GIS-beregne aktiviteterfordelinger indenfor brancher beskrevet i afsnit 1.1. For yderligere beskrivelse af miljøzoneallokeringen af bestand henvises til COWI (2023)¹.

I Tabel 3.1 ses antal arbejdsmaskiner i Danmark opsummeret efter branche og maskintype for årene 2025, 2027 og 2030, samt %-del af maskinerne der bruges inden for de fire miljøzoner (ens for alle år). I bilag 1 er bestandstallene yderligere opdelt i store virksomheder og små og mellemstore virksomheder.

¹ Aldersfordelingen for traktorer i den nationale prognosebestand er justeret specifikt, da det antages, at traktorer, der bruges i miljøzonerne, er registrerede og derfor generelt nyere end den gennemsnitlige traktorbestand (summen af registrerede og godkendte traktorer), der er hentet fra Danmarks Statistiks motorregister til den nationale emissionsopgørelse.

Table 3.1. Antal arbejdsmaskiner i Danmark opsummeret efter branche og maskintype for årene 2025, 2027 og 2030, samt %-del af maskinerne der bruges inden for de fire miljøzoner (ens for alle år)

Branche	Maskintype	Antal maskiner, Danmark			% -del maskiner i miljøzone			
		2025	2027	2030	(a)	(b)	(c)	(d)
Bygge og anlæg	Affaldskompaktorer	169	169	169	2,9	5,1	0,9	1,7
Bygge og anlæg	Dumpere	1.223	1.252	1.277	3,6	6,2	1,1	2,1
Bygge og anlæg	Fejemaskiner o.l.	339	339	338	2,9	5,1	0,9	1,7
Bygge og anlæg	Gaffeltrucks (diesel)	121	116	111	6,4	11,6	1,6	3,2
Bygge og anlæg	Generator	8.460	8.460	8.460	5,0	8,9	1,4	2,7
Bygge og anlæg	Grave-/læssemaskiner	2.163	1.945	1.743	5,0	8,9	1,4	2,7
Bygge og anlæg	Gummihjulslæssere (> 5,1 tons)	3.841	3.973	4.093	5,0	8,9	1,4	2,7
Bygge og anlæg	Gummihjulslæssere (0-5 tons)	4.867	4.899	4.724	5,0	8,9	1,4	2,7
Bygge og anlæg	Hydr. gravemaskiner på bånd (> 5,1 tons)	4.278	4.403	4.490	5,0	8,9	1,4	2,7
Bygge og anlæg	Hydr. gravemaskiner på bånd (0-5 tons)	7.966	7.893	7.526	5,0	8,9	1,4	2,7
Bygge og anlæg	Hydr. gravemaskiner på hjul	489	503	516	5,0	8,9	1,4	2,7
Bygge og anlæg	Højtryksrensere	84	84	85	5,0	8,9	1,4	2,7
Bygge og anlæg	Kompressor	8.460	8.460	8.460	5,0	8,9	1,4	2,7
Bygge og anlæg	Larvebåndsdozere	172	171	172	3,6	6,2	1,1	2,1
Bygge og anlæg	Larvebåndslæssere	17	15	15	3,6	6,2	1,1	2,1
Bygge og anlæg	Minilæssere	796	736	688	5,0	8,9	1,4	2,7
Bygge og anlæg	Motorgrader	170	169	169	0,0	0,0	0,0	0,0
Bygge og anlæg	Personlifte	254	253	254	2,9	5,1	0,9	1,7
Bygge og anlæg	Pumper	1.692	1.692	1.692	5,0	8,9	1,4	2,7
Bygge og anlæg	Teleskoplæssere	1.483	1.556	1.630	5,0	8,9	1,4	2,7
Bygge og anlæg	Traktorer (bygge og anlæg)	1.196	1.164	1.127	5,0	8,9	1,4	2,7
Bygge og anlæg	Tromler og stampere	4.738	4.738	4.738	3,6	6,2	1,1	2,1
Bygge og anlæg	Vejbaneudlæggere	508	508	508	3,6	6,2	1,1	2,1
Fremstillingsvirksomhed	Gaffeltrucks (diesel)	1.154	1.097	1.052	7,5	12,3	0,0	0,0
Fremstillingsvirksomhed	Teleskoplæssere	445	470	490	7,5	12,3	0,0	0,0
Fremstillingsvirksomhed	Traktorer (fremstillingsvirksomhed)	537	520	505	7,5	12,3	0,0	0,0
Handel og service	Gaffeltrucks (diesel)	2.931	2.788	2.675	2,3	5,1	0,5	0,9
Handel og service	Teleskoplæssere	283	297	306	2,3	5,1	0,5	0,9
Handel og service	Traktorer (handel og service)	8.185	7.926	7.692	10,1	14,9	2,7	4,8
				65.70				
Alle	Alle	67.021	66.596	5	5,4	9,2	1,4	2,7

Det ses af tabel 3.1, at kun en lille andel af den samlede danske bestand af arbejdsmaskiner bruges i miljøzonerne. For miljøzonerne a, b, c og d udgør procentandelene af maskiner hhv. 5,4 %, 9,2 %, 1,4 % og 2,7 % af den samlede danske bestand.

Der er et geografisk overlap på 30 % mellem miljøzone c (større provinsbyer) og miljøzone b (de nuværende miljøzoner for vejtrafik samt Københavns omegnskommuner), og 55 % mellem miljøzone d (mindre provinsbyer) og miljøzone c (store provinsbyer), jf. COWI (2023).

Det betyder, at 30 % af maskinaktiviteterne i miljøzone c allerede er medregnet i miljøzone b, og at 55 % af maskinaktiviteterne i miljøzone d allerede er medregnet i miljøzone c. Det geografiske overlap er vigtigt at bemærke, når de endelige emissionsresultater vurderes. Isoleret set kan de samlede emissioner opgøres for hver enkelt miljøzone, men de samlede emissioner for alle

miljøzoner indført på samme tid bliver summen af emissionerne for de enkelte miljøzoner, fratrukket delbidrag på hhv. 30 % og 55 % af emissionerne for miljøzone b og c.

For små og mellemstore virksomheder er det fundet i COWI (2023), at maskinerne kun bruges en del af tiden inden for miljøzonen. Tabel 3.2 viser procentdelen af de årlige driftstimer per branche og maskintype, der leveres inden for de fire miljøzoner for små og mellemstore virksomheder. Procentdelene er ens for alle prognoseårene, og beregnes vægtet til at være 25 %, 36 %, 15 % og 16 % for hhv. miljøzonerne a, b, c og d.

Tabel 3.2. Procentdel af årlige driftstimer per maskintype der leveres inden for de fire miljøzoner for små og mellemstore virksomheder, opdelt efter branche (ens for alle år).

Branche	Maskintype	%del timer i miljøzone			
		(a)	(b)	(c)	(d)
Bygge og anlæg	Affaldskompaktorer	100	100	100	100
Bygge og anlæg	Dumpere	13	35	9	9
Bygge og anlæg	Fejemaskiner o.l.	100	100	100	100
Bygge og anlæg	Gaffeltrucks (diesel)	21	23	10	13
Bygge og anlæg	Generator	18	27	10	12
Bygge og anlæg	Grave-/læssemaskiner	18	27	10	12
Bygge og anlæg	Gummihjulslæssere (> 5,1 tons)	18	27	10	12
Bygge og anlæg	Gummihjulslæssere (0-5 tons)	18	27	10	12
Bygge og anlæg	Hydr. gravemaskiner på bånd (> 5,1 tons)	18	27	10	12
Bygge og anlæg	Hydr. gravemaskiner på bånd (0-5 tons)	18	27	10	12
Bygge og anlæg	Hydr. gravemaskiner på hjul	18	27	10	12
Bygge og anlæg	Højtryksrensere	18	27	10	12
Bygge og anlæg	Kompressor	18	27	10	12
Bygge og anlæg	Larvebåndsdozere	13	35	9	9
Bygge og anlæg	Larvebåndslæssere	13	35	9	9
Bygge og anlæg	Minilæssere	18	27	10	12
Bygge og anlæg	Motorgrader				
Bygge og anlæg	Personlifte	100	100	100	100
Bygge og anlæg	Pumper	18	27	10	12
Bygge og anlæg	Teleskoplæssere	18	27	10	12
Bygge og anlæg	Traktorer (bygge og anlæg)	18	27	10	12
Bygge og anlæg	Tromler og stampere	13	35	9	9
Bygge og anlæg	Vejbaneudlæggere	13	35	9	9
Fremstillingsvirksomhed	Gaffeltrucks (diesel)	100	100		
Fremstillingsvirksomhed	Teleskoplæssere	100	100		
Fremstillingsvirksomhed	Traktorer (fremstillingsvirksomhed)	100	100		
Handel og service	Gaffeltrucks (diesel)	100	100	100	100
Handel og service	Teleskoplæssere	100	100	100	100
Handel og service	Traktorer (handel og service)	19	44	12	9
Alle	Alle	25	36	15	16

Yderligere data for bestand, samlede årlige driftstimer (og afledte emissionsfaktorer) fordelt på EU-stagekrav for de fire miljøzoner a-d, opdelt i store virksomheder og små og mellemstore virksomheder er vist i bilag 1. Data er vist for hhv. basissituationen uden miljøzonekrav (basis) og de fire scenarier 1.A, 1.B, 3.A og 3.B, jf. Tabel 2.1 og beskrivelsen i afsnit 2.2.

Figur 3.1 viser bestanden af arbejdsmaskiner for det samlede område (b+c+d) fordelt på EU-stagekrav i årene 2025, 2027 og 2030 både i basissituationen

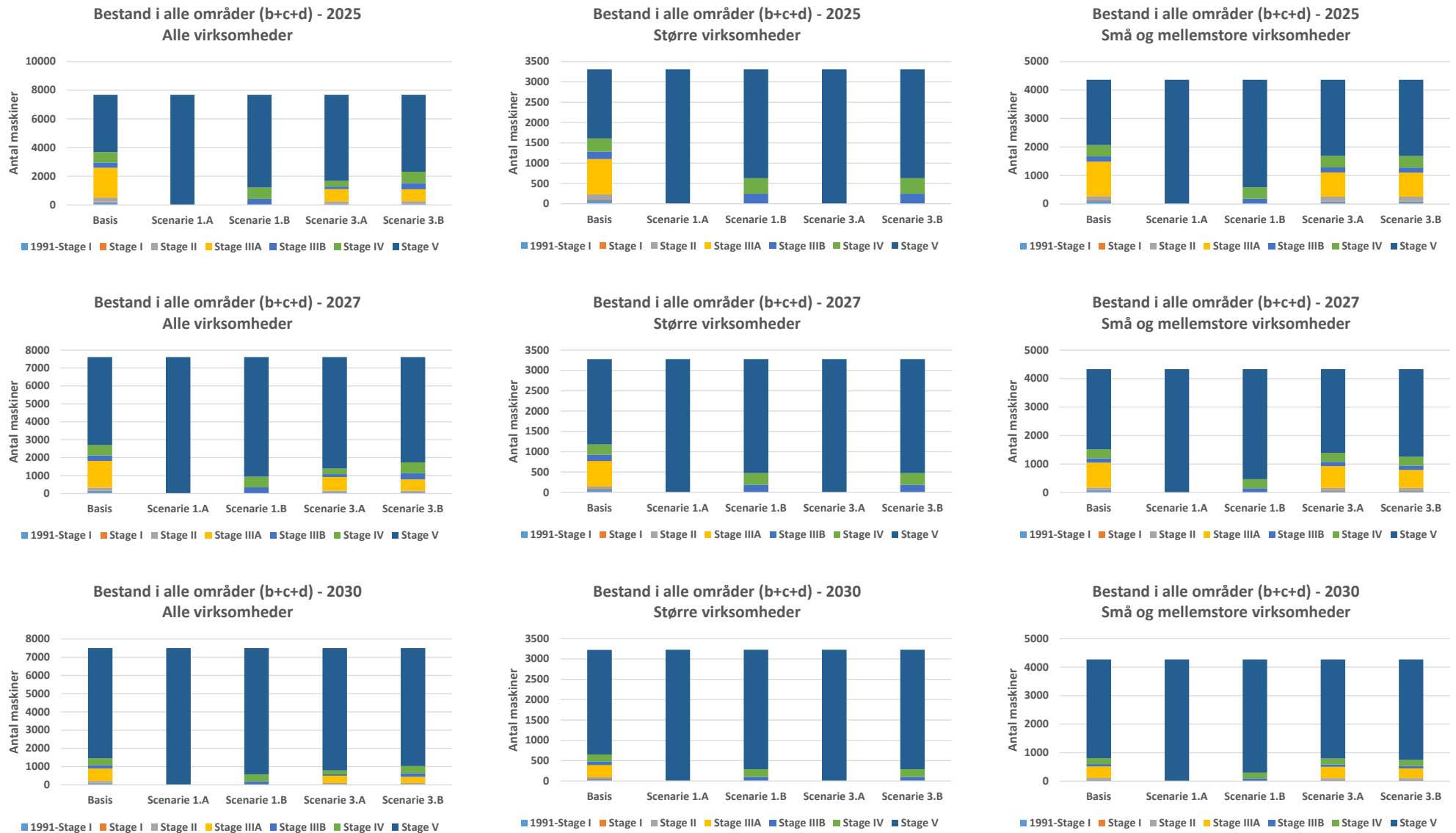
uden miljøzoner og for de fire scenarier. Venstre kolonne viser bestandsfordelingen for alle virksomheder, og midterste og højre kolonne viser bestandsfordelingen for hhv. større virksomheder og små og mellemstore virksomheder.

I scenarie 1.A er der kun stage V maskiner inden for miljøzonerne (Figur 3.1), som det følger af beskrivelsen af miljøzonekrav og virksomhedernes tilpasningsstrategier givet i afsnit 1.2. Større virksomheder har mulighed for at substituere maskiner ældre end stage V med stage V maskiner inden for virksomhedens maskinpark, mens små og mellemstore virksomheder er nødsaget til at købe en ny stage V maskine.

I scenarie 1.B er der relativt set lidt flere stage IIIB og IV maskiner for større virksomheder end for små og mellemstore virksomheder inden for miljøzonerne (Figur 3.1). Årsagen er, som beskrevet i afsnit 1.2, at større virksomheder har mulighed for at substituere stage IIIA og ældre maskiner med stage IIIB, IV eller V maskiner inden for virksomhedens maskinpark, mens små og mellemstore virksomheder er nødsaget til at købe en ny stage V maskine.

I scenarie 3.A bruger større virksomheder kun stage V maskiner inden for miljøzonerne (Figur 3.1), mens små og mellemstore virksomheder næsten altid vælger at betale en miljøafgift for at bruge deres eksisterende maskiner, og kun i få tilfælde køber en ny stage V maskine, jf. beskrivelsen i afsnit 1.2.

I scenarie 3.B bruger større virksomheder kun stage IIIB, IV og V maskiner inden for miljøzonerne (Figur 3.1), mens små og mellemstore virksomheder næsten altid vælger at betale en miljøafgift for at bruge deres eksisterende maskiner, og kun i få tilfælde køber en ny stage V maskine, jf. beskrivelsen i afsnit 1.2.



Figur 3.1. Bestanden af arbejdsmaskiner (alle virksomheder og opdelt på større virksomheder og små og mellemstore virksomheder) for det samlede miljøzoneområde (b+c+d), fordelt på EU-stagekrav i 2025, 2027 og 2030 både i basissituationen uden miljøzoner og for de fire scenarier.

3.2 Emissionsfaktorer

De grundlæggende emissionsfaktorer for NO_x og PM_{2.5} kommer fra DEMOS-NRMM-modellen (Winther, 2022) og er vist i Tabel 3.3. Faktorerne er opdelt i kW-størrelsesintervaller, EU-emissionstrin og sammenhørende nysalgsår, for motorer med hhv. variabel og konstant motorbelastning, og følger grupperingen i EU's emissionslovgivning for mobile ikke-vejbåede maskiner. De rene emissionsgrænseværdier i henhold til EU's emissionsdirektiver (EU's stagekrav) er vist i Tabel 2.2.

Tabel 3.3. Emissionsfaktorer for NO_x og PM_{2.5} opdelt i kW-størrelsesintervaller, EU-emissionstrin og sammenhørende nysalgsår for motorer med hhv. variabel og konstant motorbelastning (motorbel.).

Størrelse	Effektklasse kW	EU-emissions- trin	Variabel motor- bel.		Konstant motorbel.		Emissionsfaktorer		
			Nysalgsår		Nysalgsår		NO _x	PM _{2.5}	PM _{2.5} med DPF
			Fra	Til	Fra	Til	g/kWh	g/kWh	g/kWh
B	19<=P<37	1991-Stage I	1991	2000	1991	2006	9,8	1,4	
B	19<=P<37	Stage I							
B	19<=P<37	Stage II	2001	2006	2007	2010	6,5	0,4	
B	19<=P<37	Stage IIIA	2007	2018	2011	2018	6,075	0,4	
B	19<=P<37	Stage IIIB							
B	19<=P<37	Stage IV							
B	19<=P<37	Stage V	2019	9999	2019	9999	3,807	0,0035	0,0035
C	37<=P<56	1991-Stage I	1991	1998	1991	2006	11,5	0,8	
C	37<=P<56	Stage I	1999	2003			7,7	0,4	
C	37<=P<56	Stage II	2004	2007	2007	2011	5,5	0,2	
C	37<=P<56	Stage IIIA	2008	2012	2012	2018	3,807	0,2	
C	37<=P<56	Stage IIIB	2013	2018			3,807	0,019	0,0035
C	37<=P<56	Stage IV							
C	37<=P<56	Stage V	2019	9999	2019	9999	3,807	0,0035	0,0035
D	56<=P<75	1991-Stage I	1991	1998	1991	2006	11,5	0,8	
D	56<=P<75	Stage I	1999	2003			7,7	0,4	
D	56<=P<75	Stage II	2004	2007	2007	2011	5,5	0,2	
D	56<=P<75	Stage IIIA	2008	2011	2012	2014	3,807	0,2	
D	56<=P<75	Stage IIIB	2012	2014			2,97	0,017	0,004
D	56<=P<75	Stage IV	2015	2019	2015	2019	0,4	0,017	0,004
D	56<=P<75	Stage V	2020	9999	2020	9999	0,4	0,004	0,004
E	75<=P<130	1991-Stage I	1991	1998	1991	2006	13,3	0,4	
E	75<=P<130	Stage I	1999	2002			8,1	0,2	
E	75<=P<130	Stage II	2003	2006	2007	2010	5,2	0,2	
E	75<=P<130	Stage IIIA	2007	2011	2011	2014	3,24	0,2	
E	75<=P<130	Stage IIIB	2012	2014			2,97	0,017	0,004
E	75<=P<130	Stage IV	2015	2019	2015	2019	0,4	0,017	0,004
E	75<=P<130	Stage V	2020	9999	2020	9999	0,4	0,004	0,004
F	130<=P<560	1991-Stage I	1991	1998	1991	2006	11,2	0,4	
F	130<=P<560	Stage I	1999	2001			7,6	0,2	
F	130<=P<560	Stage II	2002	2005	2007	2010	5,2	0,1	
F	130<=P<560	Stage IIIA	2006	2010	2011	2013	3,24	0,1	
F	130<=P<560	Stage IIIB	2011	2013			1,8	0,017	0,004
F	130<=P<560	Stage IV	2014	2018	2014	2018	0,4	0,017	0,004
F	130<=P<560	Stage V	2019	9999	2019	9999	0,4	0,004	0,004

NO_x- og PM_{2.5}-emissionerne forøges gradvist som følge af motorslid henover motorens levetid. Forværrelsesfaktorerne regnes som den relative ændring af emissionerne over motorens maksimale levetid. Forværrelsesfaktorerne kommer fra DEMOS-NRMM (Winther, 2022) og er vist i Tabel 3.4 for de forskellige EU-emissionstrin.

Tabel 3.4. Forværrelsesfaktorer per EU-emissionstrin for non road dieselmotorer.

Emission Level	NO _x	PM _{2.5}
Before Stage I	0,024	0,473
Stage I	0,024	0,473
Stage II	0,009	0,473
Stage IIIA, IIIB, IV, V	0,008	0,473

Justeringsfaktoren for varierende (transient) motorbelastning for en given maskintype afhænger af motorens emissionstrin og den gennemsnitlige motorbelastning. Transientfaktorerne kommer fra DEMOS-NRMM (Winther, 2022) og er vist i Tabel 3.5 for de forskellige EU-emissionstrin og motorbelastningsintervaller.

Tabel 3.5. Transientfaktorer per EU-emissionstrin og motorbelastningsinterval for non road dieselmotorer.

EU-emissionstrin	Motorbelastning	NO _x	PM _{2.5}
Stage II og før	>0,45	0,95	1,23
Stage IIIA	>0,45	1,04	1,47
Stage IIIB-V	>0,45	1	1
Stage II og før	0,25≤LF≤0,45	1,025	1,6
Stage IIIA	0,25≤ LF≤0,45	1,125	1,92
Stage IIIB-V	0,25≤ LF≤0,45	1	1
Stage II og før	<0,25	1,1	1,97
Stage IIIA	<0,25	1,21	2,37
Stage IIIB-V	<0,25	1	1

En del af stage IIIB og IV motorerne er udstyret med præinstalleret partikelfilter som en strategi til at begrænse de forhøjede partikelemissioner, der ses, når motordriften optimeres til at overholde emissionskravet for NO_x.

Der findes ikke et register over non road maskiner i Danmark, og et samlet overblik over anvendte motorteknologier og emissionsefterbehandlingsudstyr findes derfor heller ikke.

Andelen af stage IIIB og IV motorer med præinstalleret lukket partikelfilter (DPF) fordelt på kW-effektclasser er bestemt af Winther (2022b) ud fra spørgeskemaoplysninger fra de vigtigste non-road motorfabrikanter og -maskinimportører i Danmark. Procentandelene er vist i Tabel 3.6.

Oplysninger fra en spørgeskemaundersøgelse er mindre præcise end registerdata og der vil derfor være en vis usikkerhed forbundet med at bruge de indsamlede data for partikelfilterandele i de videre emissionsberegninger i projektet.

Udviklingen i partikelfilterandelene der ses fra Stage IIIB til Stage IV i Tabel 3.6 er dog i det store hele den samme som udviklingerne fundet af ICCT (2016) i en undersøgelse for Europa og USA, og hvis resultater er gengivet i Widell et al. (2018). ICCT (2016) finder at partikelfilterandelene falder fra Stage IIIB til Stage IV i de tre effektclasser over 56 kW, og stiger fra Stage IIIB til Stage

IV i effektklassen 37-56 kW. I spørgeskemaresultaterne vist i Tabel 3.6 falder partikelfilterandelene fra Stage IIIB til Stage IV i de to effektklasser over 75 kW, og stiger fra Stage IIIB til Stage IV i de to effektklasser under 75 kW.

Tabel 3.6. Andel af stage IIIB og IV non-road dieselmotorer med præinstalleret partikelfilter.

Effektklasse	Stage IIIB	Stage IV
	% DPF	% DPF
19<=P<37	0	0
37<=P<56	30	80
56<=P<75	35	70
75<=P<130	90	70
130<=P<560	100	65
P>560	0	0

3.3 Beregningsmetode

Emissionerne i et givet år, X , beregnes som produktet af antal maskiner, årlige driftstimer i miljøzonen (timer), motorstørrelse (kW), gennemsnitlig motorbelastning (%) og basisemissionsfaktor (g/kWh) på følgende måde:

$$E_{Basis}(X)_{i,j,k} = N_{i,j,k} \cdot HRS_{i,j,k} \cdot P \cdot LF_i \cdot EF_{y,z} \quad (1)$$

Hvor E_{Basis} = basisemission, N = antal maskiner, HRS = årlige driftstimer i miljøzonen, P = motorstørrelse i kW, LF = gennemsnitlig motorbelastning, EF = emissionsfaktor i g/kWh, i = maskintype, j = motorstørrelse, k = motoralder, y = motorstørrelsesklasse og z = emissionstrin. Basisemissionsfaktorerne per motorstørrelsesklasse og emissionstrin er vist i Tabel 3.3.

Herefter sker en justering for forværelse, transient motordrift og andel af maskiner med præinstalleret partikelfilter.

Forværelsesfaktoren for dieselmaskiner afhænger af motorens størrelse, emissionstrin og motorens alder set i forhold til motorens maksimale levetid. Forværelsesfaktoren beregnes med følgende udtryk:

$$DF_{i,j,k}(X) = \frac{K_{i,j,k}}{LT_i} \cdot DF_z \quad (2)$$

Hvor DF = forværelsesfaktor, K = motorens alder, LT = motorens maksimale levetid, i = maskintype, j = motorstørrelse og z = emissionstrin.

Forværelsesfaktorerne, der indsættes i (2), er vist i Tabel 3.4.

Faktoren for transient motorbelastning for en given maskintype afhænger af motorens emissionstrin og den gennemsnitlige motorbelastning, og benævnes som:

$$TF_{i,j,k}(X) = TF_z \quad (3)$$

Hvor TF = transientfaktor, i = maskintype, j = motorstørrelse, k = motoralder, og z = emissionstrin.

Faktorerne for transient motorbelastning, der indsættes i (3), er vist i Tabel 3.5.

En del af stage IIIB og IV motorerne er udstyret med partikelfilter fra start som en strategi til at begrænse de forhøjede partikelemissioner, der optræder, hvis motordriften optimeres til at overholde emissionskravet for NO_x. Det er nødvendigt at tage hensyn til andelen af stage IIIB og IV motorerne med præinstalleret partikelfilter i beregningerne, fordi stage IIIB og IV basisemissionsfaktorerne for PM_{2.5} svarer til de rene EU-stagekrav, der ikke nødvendigvis kræver brug af partikelfilter for at blive overholdt.

Partikelreduktionsfaktoren, F_{dpf} , for en given maskintype, motorstørrelse og motoralder afhænger af andelen af maskiner, der er udstyret med partikelfilter fra ny inden for de forskellige motorstørrelseskategorier for EU-emissions-trinnene IIIB og IV:

$$F_{dpf,i,j,k}(X) = \frac{(1 - S_{y,z}) \cdot EF_{y,z} + S_{y,z} \cdot EF_{dpf,y,z}}{EF_{y,z}} \quad (4)$$

Hvor F_{dpf} = partikelreduktionsfaktor, S = andelen af motorer med præinstalleret partikelfilter, i = maskintype, j = motorstørrelse, k = motoralder, y = motorstørrelsesklasse og z = emissionstrin.

Andelen af motorer med præinstalleret partikelfilter, der indsættes i (4), er vist i Tabel 3.6.

Beregningen af den endelige emission, E, for en given maskintype, motorstørrelse og motoralder beregnes som produktet af udtrykkene 1-4:

$$E(X)_{i,j,k} = E_{Basis}(X)_{i,j,k} \cdot TF(X)_{i,j,k} \cdot (1 + DF(X)_{i,j,k}) \cdot F_{dpf,i,j,k}(X) \quad (5)$$

I den endelige beregning er der også taget højde for, at de samlede aktiviteter for de enkelte dieseldrevne maskintyper bevares for store virksomheder og små og mellemstore virksomheder i alle år, uanset hvilken miljøzone der betragtes og hvilke miljøkrav, der gælder i det enkelte scenarie.

Det totale antal driftstimer per maskintype for store virksomheder og små og mellemstore virksomheder er fundet for basissituationen uden miljøzone indført, for hver af de fire miljøzoneafgrænsninger i året 2025. Disse totale antal driftstimer er holdt konstant i hver miljøzone i alle år, uanset hvilke miljøzonekrav der gælder i det enkelte scenarie.

3.4 Emissionseffekt for miljøzonestenarier uden geografisk overlap

Hovedresultater for scenarierne 1.A, 1.B, 3.A og 3.B i miljøzonerne a-d er vist i tabel 3.7 som totaler. Resultaterne er ikke justeret for det geografiske overlap mellem zone b og c, og zone c og d. I Bilag 1 er resultaterne underopdelt i store og små og mellemstore virksomheder (Tabel B.1) og yderligere delt ud på EU-emissionstrin i tabellerne B.3-B.6).

De ikke justerede resultater for miljøzone c og d viser emissionseffekten af at indføre disse to miljøzoner separat som eneste miljøzone. Det geografiske overlap mellem miljøzonerne er vigtigt at bemærke, når de endelige emissionsresultater vurderes. Hvis scenariekravene indføres i alle miljøzonerne på samme tid, betyder det geografiske overlap, at 30 % af maskinaktiviteterne i miljøzone c allerede er medregnet i miljøzone b, og at 55 % af maskinaktiviteterne i miljøzone d allerede er medregnet i miljøzone c. Afledt af dette beregnes den samlede total for alle miljøzoner som summen af totalerne for de enkelte miljøzoner, fratrukket delbidragene på hhv. 30 % og 55 % af totalerne for miljøzone b og c.

Tabel 3.7. Hovedresultater for antal maskiner, årlige driftstimer og emissioner i miljøzonerne a-d i scenarierne 1.A, 1.B, 3.A og 3.B som totaler. Resultaterne er ikke justeret for geografisk overlap mellem zone b og c, og zone c og d.

Miljøzone	År	Virksomhed	Maskiner	Timer x10 ³	Basis		Scenarie 1.A		Scenarie 1.B		Scenarie 3.A		Scenarie 3.B	
					NO _x kg	PM _{2.5} kg	NO _x kg	PM _{2.5} kg	NO _x kg	PM _{2.5} kg	NO _x kg	PM _{2.5} kg	NO _x kg	PM _{2.5} kg
(a)	2025	Samlet	3.628	904	39.636	1.382	34.260	106	35.252	173	35.447	401	36.340	378
(a)	2027	Samlet	3.596	896	37.457	941	33.999	108	34.571	147	34.879	319	35.319	301
(a)	2030	Samlet	3.540	877	35.414	456	33.507	110	33.782	123	33.997	198	34.206	195
(b)	2025	Samlet	6.196	1.998	88.736	3.192	76.295	235	78.420	378	78.531	622	80.395	722
(b)	2027	Samlet	6.145	1.981	83.882	2.189	75.769	240	77.029	323	77.336	606	78.300	556
(b)	2030	Samlet	6.053	1.941	79.149	1.058	74.728	244	75.332	271	75.860	447	76.176	402
(c)	2025	Samlet	954	160	7.223	267	6.258	19	6.405	29	6.489	76	6.612	83
(c)	2027	Samlet	947	158	6.848	181	6.222	19	6.314	25	6.378	57	6.450	61
(c)	2030	Samlet	933	155	6.473	85	6.140	20	6.183	22	6.225	35	6.259	37
(d)	2025	Samlet	1.794	297	13.422	490	11.767	35	12.020	53	12.182	151	12.391	163
(d)	2027	Samlet	1.781	295	12.752	331	11.703	36	11.856	46	11.972	111	12.090	119
(d)	2030	Samlet	1.755	289	12.089	152	11.547	37	11.619	40	11.688	66	11.743	69

3.5 Emissionseffekt for miljøzonestenarier med geografisk overlap

Hovedresultater for scenarierne 1.A, 1.B, 3.A og 3.B i miljøzonerne a-d er vist i tabel 3.8 som totaler. Resultaterne er justeret for det geografiske overlap mellem zone b og c, og zone c og d. I Bilag 1 er resultaterne underopdelt i store og små og mellemstore virksomheder (Tabel B.2) og yderligere delt ud på EU-emissionstrin i tabellerne B.3-B.4 og B.7-B.8.

Resultaterne justeret for geografisk overlap viser emissionseffekten af at indføre scenariekrav i alle miljøzonerne på samme tid.

Det geografiske overlap mellem miljøzonerne er vigtigt at bemærke, når de endelige emissionsresultater vurderes, jf. bemærkningen i forrige afsnit.

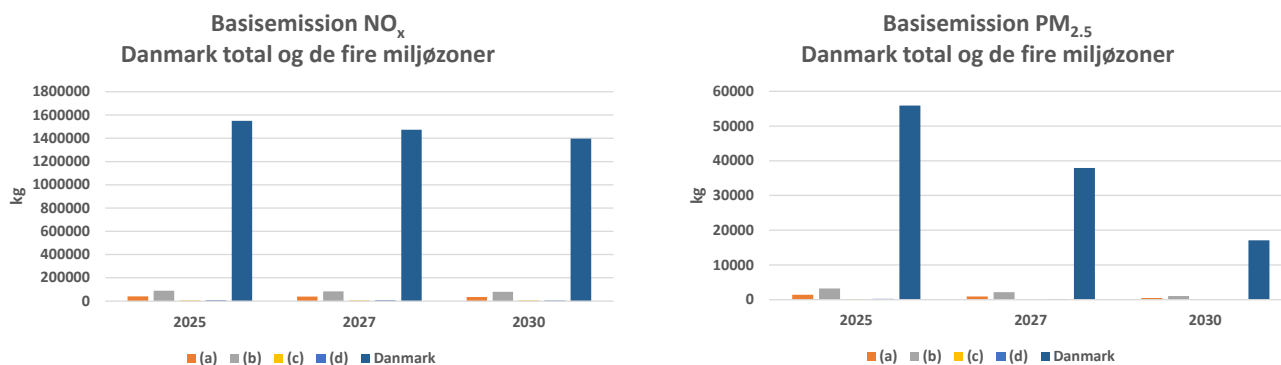
Isoleret set beregnes der samlede emissionsresultater for hver enkelt miljøzone, men den samlede total for alle miljøzoner beregnes som før nævnt som summen af totalerne for de enkelte miljøzoner, fratrukket delbidragene på hhv. 30 % og 55 % af totalerne for miljøzone b og c.

Tabel 3.8. Hovedresultater for antal maskiner, årlige driftstimer og emissioner for miljøzonerne a-d i scenarierne 1.A, 1.B, 3.A og 3.B som totaler. Resultaterne er justeret for geografisk overlap mellem zone b og c, og zone c og d.

Miljøzone	År	Virksomhed	Maskiner	Timer	Basis		Scenarie 1.A		Scenarie 1.B		Scenarie 3.A		Scenarie 3.B	
					NO _x	PM _{2.5}	NO _x	PM _{2.5}	NO _x	PM _{2.5}	NO _x	PM _{2.5}	NO _x	PM _{2.5}
					x10 ³	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg
(a)	2025	Samlet	3.628	904	39.636	1.382	34.260	106	35.252	173	35.447	401	36.340	378
(a)	2027	Samlet	3.596	896	37.457	941	33.999	108	34.571	147	34.879	319	35.319	301
(a)	2030	Samlet	3.540	877	35.414	456	33.507	110	33.782	123	33.997	198	34.206	195
(b)	2025	Samlet	6.196	1.998	88.736	3.192	76.295	235	78.420	378	78.531	622	80.395	722
(b)	2027	Samlet	6.145	1.981	83.882	2.189	75.769	240	77.029	323	77.336	606	78.300	556
(b)	2030	Samlet	6.053	1.941	79.149	1.058	74.728	244	75.332	271	75.860	447	76.176	402
(c)	2025	Samlet	668	112	5.056	187	4.381	13	4.483	20	4.543	53	4.628	58
(c)	2027	Samlet	663	111	4.794	127	4.356	14	4.420	18	4.465	40	4.515	43
(c)	2030	Samlet	653	109	4.531	60	4.298	14	4.328	15	4.357	25	4.381	26
(d)	2025	Samlet	807	134	6.040	221	5.295	16	5.409	24	5.482	68	5.576	74
(d)	2027	Samlet	801	133	5.738	149	5.266	16	5.335	21	5.388	50	5.441	53
(d)	2030	Samlet	790	130	5.440	68	5.196	17	5.229	18	5.260	30	5.284	31
b+c+d	2025	Samlet		2.244	99.832	3.600	14.380	85.970	2.244	14.243	422	2.244	88.556	743
b+c+d	2027	Samlet		2.225	94.414	2.465	14.431	85.391	2.225	14.289	361	2.225	87.188	696
b+c+d	2030	Samlet		2.180	89.120	1.186	14.360	84.222	2.180	14.288	304	2.180	85.477	501

Figur 3.2 viser NO_x- og PM_{2.5}-basisemissionen i 2025, 2027 og 2030 for arbejdsmaskiner inden for brancherne bygge og anlæg, fremstillingsvirksomhed og handel og service for hele Danmark og for hver af de fire miljøzoneområder a-d.

Set i forhold til den samlede danske NO_x- og PM_{2.5}-basisemission for arbejdsmaskiner er basisemissionerne beregnet for de fire miljøzoneområder a-d ganske små. For det samlede geografiske område (b+c+d) udgør PM_{2.5}-basisemissionerne hhv. 6 %, 7 % og 7 % af den nationale basisemission i 2025, 2027 og 2030, og NO_x-basisemissionen udgør 6 % af den nationale basisemission i alle tre år.

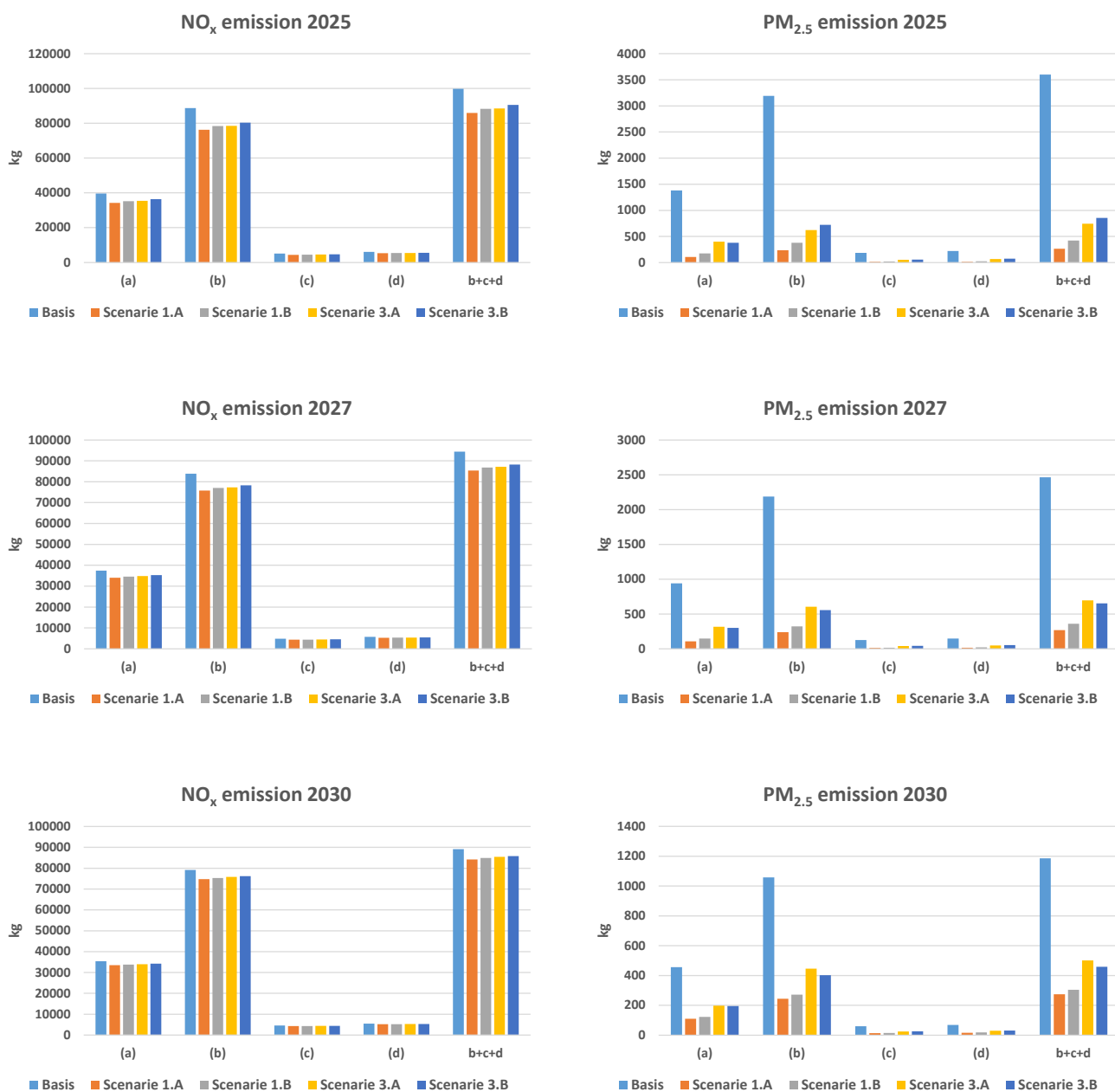


Figur 3.2. NO_x- og PM_{2.5}-basisemissionen i 2025, 2027 og 2030 for arbejdsmaskiner (total for brancherne bygge og anlæg, fremstillingsvirksomhed og handel og service) for hele Danmark og for hver af de fire miljøzoneområder a-d.

Figur 3.3 viser NO_x- og PM_{2.5}-emissionerne i 2025, 2027 og 2030 for de fire miljøzoneområder a-d og det samlede område (b+c+d), både i basissituationen uden miljøzoner og for de fire scenarier.

NO_x-emissionerne for områderne a, b, c og d udgør 40 %, 89 %, 5 % og 6 % af de samlede NO_x-emissioner for det samlede område (b+c+d) både for basis og de fire scenarier i alle tre år.

Procentandelene for PM_{2.5}-emissionerne for områderne a-d er i samme størrelsesorden som for NO_x. Der er dog lidt større variation i emissionsandelene fra år til år og mellem scenarier, fordi PM_{2.5}-emissionen er mere følsom end NO_x over for forskellene i substitutions- og udskiftningsstrategier, der antages i de forskellige scenarier, områder og år (afsnit 1.2).



Figur 3.3. NO_x- og PM_{2.5}-emissionerne i 2025, 2027 og 2030 for de fire miljøzoner a-d og det samlede område (b+c+d), både i basissituationen uden miljøzoner og for de fire scenarier.

Figur 3.4 viser NO_x- og PM_{2.5}-emissionerne i 2025, 2027 og 2030 for det samlede område (b+c+d) både i basissituationen uden miljøzonekrav og for de fire scenarier. Disse emissioner kan også ses i Figur 3.3 på hver delfigur yderst til højre.

De største NO_x- og PM_{2.5}-emissionsreduktioner opnås i Scenarie 1.A i 2025, hvor alle maskiner substitueres eller udskiftes til stage V maskiner (se også Figur 3.1). Emissionsreduktionerne er størst for PM_{2.5}.

For PM_{2.5} beregnes i 2025 en emissionsreduktion på 93 %, 88 %, 79 % og 76 % for hhv. Scenarie 1.A, 1.B, 3.A og 3.B, ift. til PM_{2.5}-basisemissionen i området.

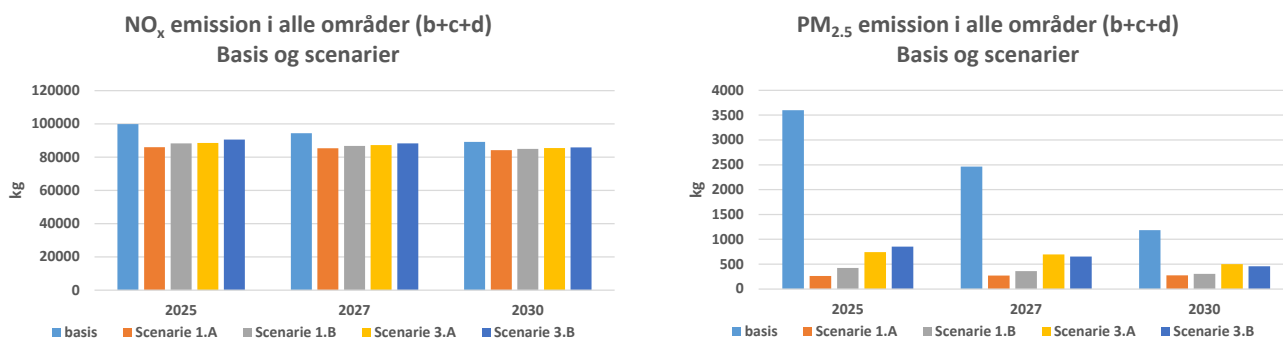
For den del af PM_{2.5}-emissionen der udgøres af BC er emissionsreduktionerne endnu større, idet partikelfiltre er særligt effektive til at rense for BC, populært kaldet sod.

For BC beregnes i 2025 en emissionsreduktion på 99 %, 93 %, 84 % og 81 % for hhv. Scenarie 1.A, 1.B, 3.A og 3.B, ift. til PM_{2.5}-basisemissionen i området. I bilagstabellerne B.3-B.8 er BC resultater vist underopdelt i store og små og mellemstore virksomheder og yderligere delt ud på EU-emissionstrin.

For NO_x beregnes i 2025 en emissionsreduktion på 14 %, 12 %, 11 % og 9 % for hhv. scenarie 1.A, 1.B, 3.A og 3.B, ift. til basisemissionen i området.

Pga. den naturlige udskiftning til stage V maskiner i basisbestanden (Figur 3.1) falder især basisemissionerne af PM_{2.5} markant frem mod 2030, og emissionseffekterne for PM_{2.5} af at indføre miljøzoner bliver derfor også mindre og mindre frem mod 2030.

PM_{2.5}-basisemissionerne falder med 67 % fra 2025 til 2030. For scenarie 1.A stiger PM_{2.5}-emissionen med 4 %, og for scenarie 1.B, 3.A og 3.B falder PM_{2.5}-emissionerne med hhv. 28 %, 33 % og 46 % fra 2025 til 2030. I samme periode falder NO_x-basisemissionerne med 11 %, og for scenarie 1.A, 1.B, 3.A og 3.B falder NO_x-emissionerne med hhv. 2 %, 4 %, 3 % og 5 % fra 2025 til 2030.



Figur 3.4. NO_x- og PM_{2.5}-emissionerne i 2025, 2027 og 2030 for det samlede område (b+c+d), både i basissituationen uden miljøzoner og for de fire scenarier.

4 Luftkvalitetsberegninger

Miljøpåvirkningen fra arbejdsmaskiner er undersøgt ud fra deres påvirkning på luftkvaliteten i de foreslåede miljøzoner. Både langtidspåvirkninger (koncentrationsbidrag til årlige gennemsnitsværdier) og korttidspåvirkninger (koncentrationsbidrag til spidsværdier) er undersøgt.

Til at beregne påvirkningen af luftkvaliteten er OML-Multi modellen (som er beskrevet i det følgende) anvendt, samt emissionerne bestemt i sektion **Fejl! Henvissningskilde ikke fundet..**

4.1 Grænseværdier

Tabel 4.1. Gældende grænseværdier for EU, samt vejledende værdier af WHO 2021.

	Midlingstid	Grænse- og vejledende værdier [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]		Antal overskridelse
		EU	WHO 2021	
NO ₂	År	40	10	
	24 timer	-	25	3-4 dage
	1 time	200	-	18 timer
PM _{2,5}	År	20	5	
	24 timer	-	15	3-4 timer

I denne rapport studeres spredningen af NO_x og PM_{2,5}. De nuværende europæiske grænseværdier, samt nye vejledende anbefalinger for NO₂ og PM_{2,5} fra WHO (WHO, 2021) er vist i tabel 4.1. Da der på nuværende tidspunkt i EU ikke er fastsat nogen grænseværdi for overskridelse af spidsværdier for PM_{2,5} anvendes maksimale månedlige 99% fraktiler udregnet i OML-Multi til at analysere de største opnåede koncentrationer af PM_{2,5} i miljøzonerne. De maksimale månedlige 99% fraktiler sammenholdes normalt med et stofs bidragsværdi (B-værdi) i forbindelse med miljøgodkendelser, og for den angivne værdi vil der være syv timer med en højere værdi end denne i den pågældende måned. For NO₂ anvendes den 19. største timemiddelværdi i overensstemmelse med de nuværende grænseværdier for NO₂.

4.2 Spredningsmodellen OML-Multi

Luftkvalitetsberegningerne er lavet med den atmosfæriske lokalskala spredningsmodel OML-Multi (Operationel Meteorologisk Luftkvalitetsmodel) (Olesen et al., 2007), som benyttes i godkendelsesøjemed for virksomheder og landbrug.

OML-Multi er en Gaussisk røgfanemodell, som beregner spredningen af ikke-reaktive stoffer fra punkt- og arealkilder. I OML-multi er der også mulighed for at tage hensyn til NO_x kemi ved at inddrage baggrundskoncentration af NO_x og O₃. OML-multi drives af meteorologiske parametre for transport og turbulens, overfladens ruhed samt kildedata. I modellen tages der højde for røgfanløft, bygningseffekter, skorstensnedslug og topografi. Det geografiske område i OML-Multi er fleksibelt, og defineres for den enkelte applikation i cirkulære eller rektangulære modelgitre, dog må gitterpunkter ikke ligge længere end 20 km fra kilderne. OML-Multi kan derfor kun benyttes for et begrænset domæne i hver enkelt beregning.

4.3 Opsætning af input data til OML-Multi

Luftkvalitetsberegningerne med OML-Multi bliver udført for basissituationen uden miljøzonekrav (basis) og scenarierne 1.A og 3.A for årene 2025 og 2030. I scenarie 1.A gælder i miljøzonen, at alle maskiner skal overholde EU's stage V krav. I scenarie 3.A skal maskinerne enten overholde EU's stage V krav eller betale en miljøafgift for at kunne bruges i miljøzonen.

Da der ikke kan udføres beregninger for alle byer inkluderet i de fire mulige miljøzoneinddelinger (i alt 43 byer) inden for tidsrammen i projektet, er luftkvalitetsberegningerne udført for København og Frederiksberg i den nuværende miljøzone for vejtrafik (a), og for en fiktiv by af gennemsnitlig geografisk størrelse i miljøzonerne (b), (c) og (d).

Til luftkvalitetsberegningerne med OML-Multi bruges de beregnede emissioner fra arbejdsmaskiner beskrevet i afsnit 2.5 samt den geografiske udstrækning af miljøzonen.

Da København og Frederiksberg er en del af den nuværende miljøzone for vejtrafik, findes den geografiske udstrækning allerede herfor, og kan direkte bruges i opsætningen af OML-Multi for miljøzone (a). Til bestemmelse af arealet af miljøzonerne i inddeling (b), (c) og (d) er kommune- og byzoneareal hentet via statistikbanken.dk. I miljøzone (b), som både indeholder miljøzone (a) de nuværende miljøzoner for vejtrafik og Københavns omegnskommuner, fokuseres kun på påvirkningen i omegnskommunerne, da miljøzone (a) som netop nævnt undersøges separat.

I miljøzone (b) indgår hele arealet af alle omegnskommunerne og derfor er gennemsnitsarealet af omegnskommunerne udregnet. I miljøzonerne (c) og (d) indgår kun en del af bykernen af provinsbyen i miljøzonen. Derfor er gennemsnitsarealet af byzonen for større og mindre provinsbyer udregnet. Herefter er arealet af selve miljøzonen bestemt ud fra aktiviteten af mobile ikke-vej gående arbejdsmaskiner i miljøzonen. COWI har estimeret hvor stor en andel af den samlede aktivitet fra arbejdsmaskiner i byzonen, som vil finde sted i selve miljøzonen, jf. beskrivelsen i afsnit 1.1. Da det hovedsageligt er bygge- og anlægsbrancherne, som vil blive påvirket af indførelse af miljøzonekrav, er det kun disse aktiviteter, som er brugt til at bestemme en vægtet aktivitet på 22,5%. Dvs. at arealet af miljøzonen for den gennemsnitlige større og mindre provinsby er 22,5 % af den gennemsnitlige byzonestørrelse. De resulterende arealer for miljøzonerne til luftkvalitetsberegningerne med OML-Multi ses i tabel 4.2.

Tabel 4.2. Totale arealer af byer (km²) i miljøzoneinddelingerne (a, b, c og d), areal af de valgte beregningsbyer og dertil hørende areal af miljøzoner, samt antal arealkilder i OML-Multi spredningsberegningerne.

	(a)	(b)	(c)	(d)
Areal af byer	327	520,7	231,2	292
Areal af beregningsby	98,8	32,5	33,0	19,5
Areal af miljøzone	98,8	32,5	7,4	4,4
Antal arealkilder	198	64	15	8

Emissionsopgørelserne fra kapitel 2.5 indeholder totale emissioner for de fire miljøzoneinddelinger. I OML-Multi skal dog kun bruges emissioner for de udvalgte beregningsbyer København og Frederiksberg, emissioner for en gennemsnitlig omegnskommune, emissioner for en gennemsnitlig større provinsby og emissioner for en gennemsnitlig mindre provinsby. Emissionerne skal derfor vægtes for de fire miljøzoner. For (a) vægtes de totale emissioner

vha. folketal i de eksisterende zoner. For (b) trækkes først emissionerne fra de nuværende zoner fra, hvorefter der deles med antal af omegnskommuner. For (c) og (d) deles de totale emissioner blot med antal byer i hvert af de foreslåede miljøzoneinddelinger.

Vi kender ikke de præcise positioner og tidspunkter for aktiviteterne med arbejdsmaskiner i miljøzonerne. Derfor bliver emissionerne fra arbejdsmaskiner i OML-Multi repræsenteret vha. arealkilder. En arealkilde i OML-Multi er en fladekilde med firkantet udstrækning. I denne modelopsætning har arealkilderne en udstrækning på 200 m x 200 m, og disse arealkilder er alle placeret inden for miljøzonerne. Emissionerne bliver ligeligt fordelt mellem arealkilderne i miljøzonen i den givne beregning. Der er ca. to arealkilder per kvadratkilometer i beregningerne. For at opnå realistiske årsmiddelværdier og spidsværdier er der pålagt en tidsvariation på emissioner, således at der kun sker emissioner fra arbejdsmaskiner i hverdage mellem kl. 8 og kl. 15.

Tabel 4.3 og 4.4 viser emissionerne af NO_x og PM_{2,5} anvendt i OML-Multi for 2025 og 2030 for miljøzonekravene 1.A og 3.A samt basis. De totale emissioner for miljøzonerne er givet samt emissionerne for de udvalgte beregningsbyer. De største relative emissionsreduktioner opnås for PM_{2,5} i scenarie 1.A, hvor alle maskiner er udstyret med partikelfiltre for at kunne overholde EU's stage V krav. PM_{2,5}-emissionsreduktionerne er lidt mindre i scenarie 3.A, hvor små og mellemstore virksomheder i langt de fleste tilfælde vælger at betale en miljøafgift for de maskiner, der ikke er registreret som stage V i stedet for at købe en ny maskine, der overholder stage V emissionskravet.

Tabel 4.3. NO_x-emissioner [kg/år] for miljøzoner og miljøzonekrav. Bemærk at emissionerne angivet for (b) er uden emissionerne fra de nuværende miljøzoner, og indeholder således kun emissioner fra omegnskommunerne.

Scenarie		(a)		(b)		(c)		(d)	
		Total	Beregningsby	Total	Beregningsby	Total	Beregningsby	Total	Beregningsby
2025	Basis	39.636	32.077	49.100	3.069	5.056	722	6.040	403
	1A	34.260	27.726	42.035	2.627	4.381	626	5.295	353
	3A	35.447	28.687	43.083	2.693	4.465	638	5.482	365
2030	Basis	35.414	28.660	43.734	2.733	4.531	647	5.440	363
	1A	33.507	27.117	41.220	2.576	4.298	614	5.196	346
	3A	33.997	27.513	41.862	2.616	4.357	622	5.260	351

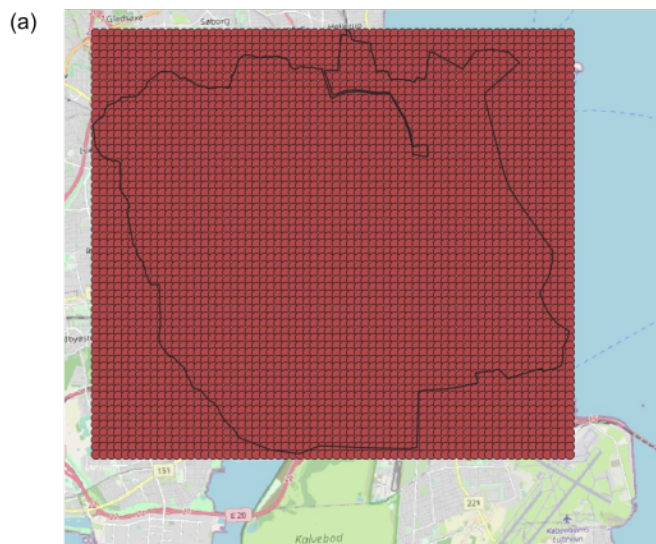
Tabel 4.4. PM_{2,5}-emissioner [kg/år] for miljøzoner og miljøzonekrav. Bemærk at emissionerne angivet for (b) er uden emissionerne fra de nuværende miljøzoner, og indeholder således kun emissioner fra omegnskommunerne.

Scenarie		(a)		(b)		(c)		(d)	
		Total	Beregningsby	Total	Beregningsby	Total	Beregningsby	Total	Beregningsby
2025	Basis	1.382	1.119	1.810	113	187	27	221	15
	1A	106	86	129	8	13	2	16	1
	3A	401	324	221	14	53	8	68	5
2030	Basis	456	369	602	38	60	9	68	5
	1A	110	89	134	8	14	2	17	1
	3A	198	160	249	16	25	4	30	2

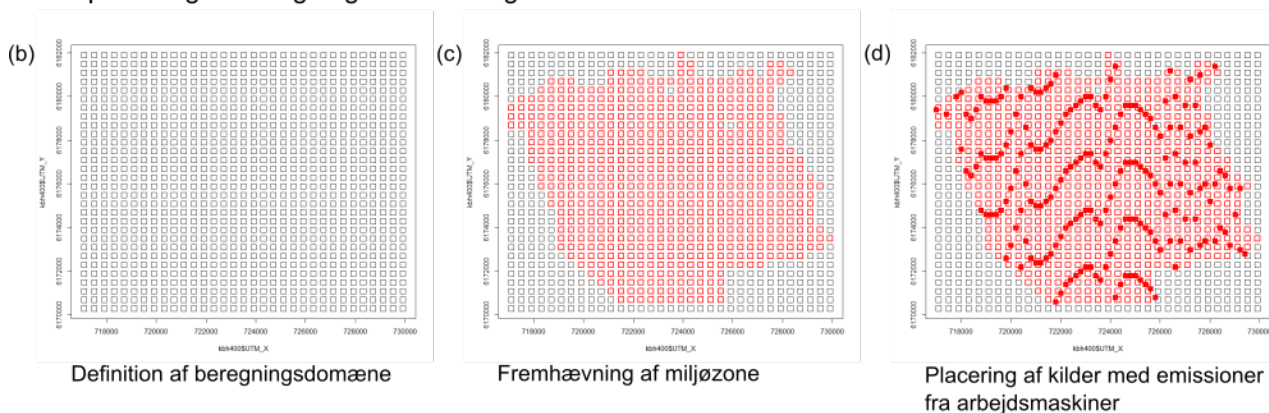
For hver beregningsby opsættes OML-Multi modellen specifikt. For København og Frederiksberg anvendes den faktiske geografiske udstrækning af den eksisterende miljøzone i et modelgitter bestående af gitterpunkter med di-

mensionerne 400 m x 400 m. For en gennemsnitlig forstad i hovedstadsområdet, en større provinsby og en mindre provinsby, opsættes rektangulære modeldomæner med et modelgitter på 200 m x 200 m. Domænet dækker miljøzonen samt 1000 m i alle retninger rundt om miljøzonen. Arealkilderne fordeles i alle tilfælde jævnt ud over miljøzonen (se figur 4.1 for eksempel af opsætning af beregningsdomæne i OML-Multi).

Kort over København og Frederiksberg indtegnet med miljøzone, samt fremhævnng af beregningsdomæne



Opsætning af beregningsdomæne og emissioner i OML-Multi



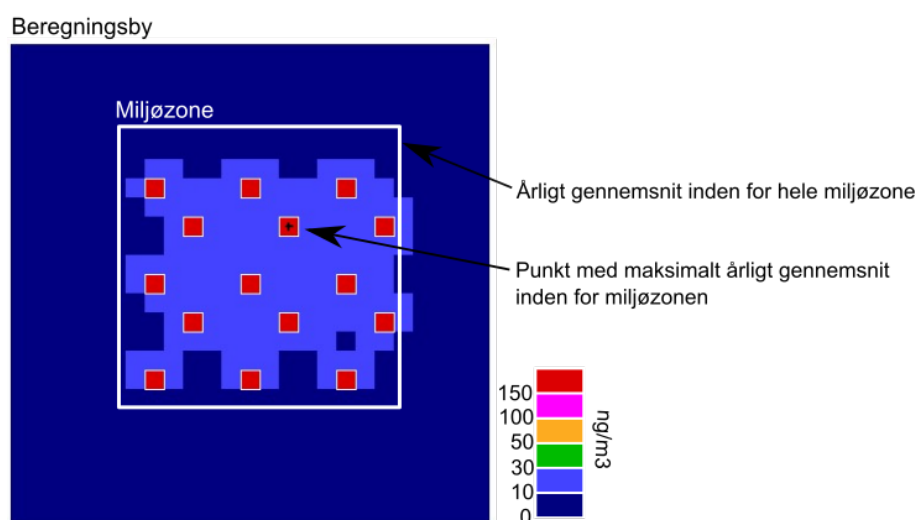
Figur 4.1. Eksempel på opsætning af beregningsby og beregningsdomæne i OML-Multi. (a) Indeholder kort over området som skal indgå i spredningsberegningerne med OML-Multi. (b) viser beregningsdomænet anvendt i OML-Multi, der er opsat i UTM-kordinater, mens (c) tydeliggøre udstrækningen af miljøzonen i beregningsdomænet, og (d) viser fordeling af arealkilderne indeholdende emissioner fra de mobile ikke-vejgående arbejdsmaskiner.

Meteorologiske parametre skal bruges til at køre OML-Multi modellen. Disse er udtrukket fra vejmodellen WRF (Skamarock et al., 2008) for året 2019. Til spredningsberegningerne er der benyttet en ruhedslængde på 0,5 for København og Frederiksberg svarende til tæt, høj bebyggelse, og en ruhedslængde på 0,3 for de resterende miljøzoner svarende til lav bebyggelse.

4.4 Miljøeffekter ved indførelse af miljøzoner for arbejdsmaskiner

Miljøpåvirkningen af arbejdsmaskiner undersøges udelukkende inden for miljøzonerne i beregningsbyen. Dvs. luftkvaliteten kun analyseres inden for miljøzonen og ikke i den eventuelt resterende del af byzonen.

Resultaterne for spredningsberegningerne er givet i tabeller (tabel 4.5 til 4.10) som koncentrationsbidrag til årgennemsnittet, til den fjerde største 24 timers middelværdi og spidsværdier. Dette illustrerer lang- og korttidspåvirkningen fra arbejdsmaskiner på luftkvaliteten. Herudover er gennemsnitsbidrag til koncentrationen fra arbejdsmaskiner indenfor miljøzonen samt det maksimalt opnåede koncentrationsbidrag givet i tabellerne. Dette er gjort for at anskueliggøre den rummelige variation i koncentrationsbidraget fra arbejdsmaskiner (se figur 4.2).



Figur 4.2. Eksempel på de modellerede koncentrationsbidrag fra arbejdsmaskiner til det årlige gennemsnit af NO₂ i miljøzonen i en beregningsby for en større provinsby. Figuren viser, hvordan koncentrationsbidragene varierer i miljøzonen, og de højeste koncentrationsbidrag er sammenfaldende med placeringen af emissionerne.

Emissioner af nitrøse gasser er opgivet som NO_x. I spredningsberegningerne regnes al NO_x dog konservativt som NO₂. Det vil sige, at de angivne NO₂-koncentrationsbidrag er de maksimalt mulige koncentrationsbidrag, der ville kunne opnås fra arbejdsmaskinerne. Selvom der er mulighed for at inkludere NO_x-kemi i OML-multi, har vi i nærværende projekt ikke inkluderet dette, fordi emissionerne og de resulterende koncentrationer fra arbejdsmaskinerne var meget små i forhold til baggrundskoncentration af NO_x og NO₂. Koncentrationsbidraget fra arbejdsmaskinerne kunne ikke umiddelbart analyseres i NO_x-kemi beregningerne, og det ville efterfølgende have krævet ekstra modelkørsler at skulle trække koncentrationsbidraget ud for arbejdsmaskinerne.

4.4.1 NO₂

Koncentrationsbidraget fra arbejdsmaskiner til det årlige gennemsnit af NO₂ ses i tabel 4.5. I begge scenarier beregnes de største koncentrationsbidrag for den nuværende miljøzone for København samt Frederiksberg. I basisscenariet for 2025 er det gennemsnitlige koncentrationsbidrag 0,15 µg/m³ til årgennemsnittet for NO₂-koncentrationen indenfor miljøzonen. Ved indførelsen af

miljøzonekravene i scenarie 1.A og 3.A falder det gennemsnitlige NO₂-koncentrationsbidrag blot 0,02 µg/m³ i 2025, og i 2030 er det gennemsnitlige koncentrationsbidrag ens for basis og de to scenarier.

Kigges på det specifikke beregningspunkt for København og Frederiksberg, hvor det maksimalt opnåede koncentrationsbidrag til årgennemsnittet for NO₂ beregnes, er koncentrationsbidraget fra arbejdsmaskiner højere, og der er en smule større variation imellem de to scenarier. De maksimale værdier opnås i beregningspunkter indeholdende arealkilder, eller i beregningspunkter i umiddelbar nærhed af arealkilderne.

For miljøzonerne (b), (c) og (d) har indførelse af miljøzonekravene i scenarie 1.A og 3.A lille effekt på koncentrationsbidraget fra arbejdsmaskinernes emissioner, når årgennemsnittet for NO₂-koncentrationen beregnes for hele miljøzonen. For miljøzonerne (b), (c) og (d) ses der som for miljøzone (a) en lidt større betydning af miljøzonekravene for i beregningspunktet, hvor det højeste koncentrationsbidrag beregnes.

Tabel 4.5. NO₂-koncentrationsbidrag til det årlige gennemsnit fra arbejdsmaskiner i miljøzonerne. Tabellen viser gennemsnit for hele miljøzonen (**Gns.**) samt den maksimale opnåede værdi i et specifikt receptorpunkt (**Maks.**) i hele miljøzonen. Enheden er mikrogram per kubikmeter [µg/m³].

Scenarie		(a)		(b)		(c)		(d)	
		Gns.	Maks.	Gns.	Maks.	Gns.	Maks.	Gns.	Maks.
2025	Basis	0,15	0,77	0,02	0,10	0,02	0,19	0,03	0,23
	1A	0,13	0,67	0,02	0,08	0,02	0,16	0,03	0,20
	3A	0,13	0,69	0,02	0,09	0,02	0,16	0,03	0,21
2030	Basis	0,13	0,69	0,02	0,09	0,02	0,17	0,03	0,21
	1A	0,13	0,65	0,02	0,08	0,02	0,16	0,02	0,20
	3A	0,13	0,66	0,02	0,08	0,02	0,16	0,03	0,20

Koncentrationsbidraget fra arbejdsmaskiner til den fjerde største 24 timers middelværdi for NO₂ ses i tabel 4.6. De største koncentrationsbidrag for alle miljøzonestenarier beregnes for den nuværende miljøzone for København samt Frederiksberg. I 2025 er koncentrationsbidraget 1,94 µg/m³ til den fjerde største 24 timers middelværdi af NO₂ for basis. Dette falder til 1,68 µg/m³ og 1,74 µg/m³ for hhv. miljøzonestenarierne 1.A og 3.A, svarende til fald i koncentrationsbidraget i forhold til basis på hhv. 13 % og 10 %.

Kigges på det specifikke beregningspunkt for København og Frederiksberg, hvor det maksimalt opnåede koncentrationsbidrag til den fjerde største 24 timers middelværdi af NO₂ beregnes, er bidraget numerisk højere. Dog ses ca. samme fald i koncentrationsbidrag for scenarierne 1.A og 3.A på hhv. 14 % og 11. De maksimale værdier opnås i beregningspunkter indeholdende arealkilder, eller i umiddelbar nærhed af arealkilderne.

For de udvalgte beregningsbyer i miljøzone (b), (c) og (d) har indførelsen af miljøzoner kun en lille effekt på koncentrationsbidraget fra emissioner fra arbejdsmaskiner til den fjerde største 24 timers middelværdi af NO₂. For scenarie 1.A falder koncentrationsbidraget mellem 10 og 13 %, og for scenarie 3.A mellem 7 % og 13 % i 2025 i forhold til basis for miljøzonerne.

Kigges på det specifikke beregningspunkt med det maksimalt opnåede koncentrationsbidrag til den fjerde største 24 timers middelværdi for NO₂, opnås

der ligeledes for miljøzonerne (b), (c) og (d) højere værdier, men med tilsvarende reduktioner i koncentrationsbidraget for miljøzonekrav 1A (12 % til 15 %) og 3A (9% til 12 %) for 2025.

For 2030 er forskellen i koncentrationsbidraget mellem basis og miljøzonestenarierne væsentlig lavere. For København og Frederiksberg falder koncentrationsbidragene til den fjerde største 24 timers middelværdi inden for miljøzonen med hhv. 5,7 % og 4,0 % for miljøzonekrav 1.A og 3.A i forhold til basis. For miljøzonerne (b), (c) og (d) falder koncentrationsbidragene til den fjerde største 24 timers middelværdi inden for miljøzonen med 5,5 % til 7,4 % for scenarie 1.A, og med 3,7 % til 5,8 % for scenarie 3.A i forhold til basis. Samme procentvise fald i forhold til basis ses for de specifikke beregningspunkter med de højeste opnåede koncentrationsbidrag i miljøzonerne (a)-(d) for scenarierne 1.A og 3.A i 2030.

Tabel 4.6. NO₂-koncentrationsbidrag til den fjerde største 24 timers middelværdi arbejdsmaskiner i miljøzonerne. Gennemsnit for hele miljøzonen (Gns.) samt den maksimale opnåede værdi i et individuelt receptorpunkt (Maks) er angivet i enheden mikrogram per kubikmeter [µg/m³].

Scenarie		(a)		(b)		(c)		(d)	
		Gns.	Maks.	Gns.	Maks.	Gns.	Maks.	Gns.	Maks.
2025	Basis	1,94	5,13	0,30	0,94	0,19	0,90	0,29	1,43
	1A	1,68	4,44	0,26	0,80	0,17	0,78	0,26	1,26
	3A	1,74	4,59	0,26	0,82	0,17	0,80	0,27	1,30
2030	Basis	1,74	4,59	0,27	0,84	0,17	0,81	0,27	1,29
	1A	1,64	4,34	0,25	0,79	0,16	0,77	0,25	1,23
	3A	1,67	4,40	0,26	0,80	0,16	0,78	0,26	1,25

Den største effekt på koncentrationsbidraget fra arbejdsmaskiner til NO₂-koncentrationen ses for spidsværdier (se tabel 4.7). Spidsværdien er her udtrykt ved den 19. største timeværdi opnået i løbet af året i overensstemmelse med gældende EU-grænseværdier. De største koncentrationsbidrag beregnes for den nuværende miljøzone for København samt Frederiksberg. I 2025 er koncentrationsbidraget 8,85 µg/m³ til den 19. største timeværdi af NO₂-koncentrationen indenfor miljøzonen for basis. Dette falder til 7,65 µg/m³ og 7,91 µg/m³ i scenarierne 1.A og 3.A, svarende til et fald i koncentrationsbidraget i forhold til basis på hhv. 13,5 % og 10,6 %.

Kigges på det specifikke beregningspunkt for København og Frederiksberg, hvor det maksimalt opnåede koncentrationsbidrag til den 19. største timeværdi af NO₂ findes, er bidraget numerisk 3 gange så højt som gennemsnittet for hele miljøzonen. Dog ses omtrent det samme relative fald i koncentrationsbidragene for scenarie 1.A og 3.A på hhv. 14 % og 11 %, som beregnet for 19. største timeværdi i gennemsnit for København og Frederiksberg. De maksimale værdier opnås i beregningspunkter, der ligger inden for arealkilderne eller i umiddelbar nærhed af arealkilderne.

For de udvalgte beregningsbyer i miljøzonerne (b), (c) og (d) har indførelsen af miljøzonekrav for arbejdsmaskiner også den største effekt på koncentrationsbidraget for den 19. største timeværdi for NO₂. Koncentrationsbidraget til den 19. største timeværdi for NO₂ ligger mellem 0,8 µg/m³ og 1,33 µg/m³ for basis, 0,69 µg/m³ og 1,17 µg/m³ for scenarie 1.A, og 0,71 - 1,21 µg/m³ for scenarie 3.A i år 2025. For scenarie 1.A falder koncentrationsbidraget i miljøzonerne mellem 12 % og 14,5 %, og for scenarie 3.A mellem 9 % og 11,9 % i 2025 i forhold til basis for miljøzonerne (b), (c) og (d).

Kigges på det specifikke beregningspunkt med det maksimalt opnåede koncentrationsbidrag til den 19. største timeværdi for NO₂, opnås der ligeledes for zone (b), (c) og (d) større værdier. Den opnåede reduktion i koncentrationsbidraget for NO₂ er fra 12,4 % til 14,5 % for scenarie 1.A og fra 9,3 % til 12,3 % for scenarie 3.A for 2025.

For 2030 er forskellen i koncentrationsbidrag mellem basis og miljøzonestenarierne væsentlig lavere. For København og Frederiksberg falder arbejdsmaskinernes koncentrationsbidrag til den 19. største timeværdi for NO₂ inden for miljøzonen med hhv. 5,3 % og 3,8 % for scenarierne 1.A og 3.A set i forhold til basis. For miljøzone (b), (c) og (d) falder koncentrationsbidragene til den 19. største timeværdi for NO₂ inden for miljøzonen med mellem 4,2 % og 5,7 % for scenarie 1.A, og med mellem 3,3 % og 4,2 % for scenarie 3.A set i forhold til basis. Cirka samme procentvise fald for indførelse af miljøzonestenarierne 1.A og 3.A i 2030 ses for de specifikke beregningspunkter med de højeste beregnede koncentrationsbidrag til den 19. største timeværdi af NO₂ i miljøzonerne (a) til (d).

Tabel 4.7. NO₂-koncentrationsbidrag til spidsværdier (den 19. største timeværdier af NO₂) fra arbejdsmaskiner i miljøzonerne. Gennemsnit for hele miljøzonen (Gns.) samt den maksimale opnåede værdi i et individuelt receptorpunkt (Maks) er angivet i enheden mikrogram per kubikmeter [$\mu\text{g}/\text{m}^3$].

Scenarie		(a)		(b)		(c)		(d)	
		Gns.	Maks.	Gns.	Maks.	Gns.	Maks.	Gns.	Maks.
2025	Basis	8,85	24,2	1,17	4,39	0,80	3,77	1,33	5,24
	1A	7,65	21,0	1,00	3,76	0,69	3,26	1,17	4,59
	3A	7,91	21,7	1,03	3,85	0,71	3,33	1,21	4,75
2030	Basis	7,91	21,7	1,04	3,91	0,72	3,38	1,20	4,72
	1A	7,47	20,5	0,98	3,69	0,68	3,20	1,15	4,51
	3A	7,59	20,8	1,00	3,75	0,69	3,24	1,16	4,56

Opsummering NO₂

Koncentrationsbidragene fra arbejdsmaskiner til NO₂-koncentrationerne er højest i beregningsområdet indenfor miljøzone (a) – de nuværende miljøzoner for vejtrafik. Dette skyldes, at NO_x-emissioner per arealenhed er langt større for beregningsbyen (København og Frederiksberg) i miljøzone (a) end beregningsbyerne i miljøzone (b), (c) og (d).

Herudover, har emissionerne fra arbejdsmaskiner større indflydelse på spidsværdierne for NO₂ end årsgennemsnittet, ligesom de størst opnåede koncentrationsbidrag i specifikke punkter er opnået i beregningspunkter indeholdende eller i umiddelbar nærhed af arealkilder. Det vil sige, at påvirkningen af NO₂-koncentrationen fra arbejdsmaskiner er størst tæt på kilden i korte tidsperioder, typisk hvor arbejdsmaskinerne er i brug.

4.4.2 PM_{2,5}

Koncentrationsbidraget fra arbejdsmaskiner til det årlige gennemsnit for PM_{2,5}-koncentrationen ses i tabel 4.8, bemærk enhederne er i nanogram per kubikmeter [ng/m^3]). De største koncentrationsbidrag beregnes for den nuværende miljøzone for København samt Frederiksberg. I basisscenariet for 2025 er koncentrationsbidraget til årsgennemsnittet for miljøzonen 5,2 ng/m^3 . Koncentrationsbidraget falder til hhv. 0,4 ng/m^3 og 1,51 ng/m^3 i miljøzonestenarierne 1.A og 3.A, svarende til fald på hhv. 92 % og 71 %. Kigges på det specifikke beregningspunkt for København og Frederiksberg, hvor det størst

beregnete koncentrationsbidrag til årgennemsnittet for PM_{2,5} findes, er koncentrationsbidraget ca. fem gange højere, men de procentvise fald i koncentrationerne ved indførelse af miljøzonestenarierne 1.A og 3.A svarer til faldene i de årgennemsnitlige koncentrationer for hele miljøzonen. De maksimale koncentrationsbidrag opnås i beregningspunkter indeholdende arealkilder, eller i umiddelbar nærhed af arealkilderne.

For miljøzonerne (b), (c) og (d) er påvirkningen fra arbejdsmaskiner til det årlige gennemsnit af PM_{2,5} også begrænset. Indførelsen af miljøzonekrav reducerer koncentrationsbidraget til årgennemsnittet med 92 %- 93 % for scenarie 1.A og mellem 69 % og 87 % for scenarie 3.A for 2025. I miljøzonerne (b), (c) og (d) opnås ikke lige så høje værdier for de største beregnede koncentrationsbidrag som i miljøzone (a).

For 2030 er reduktionen i koncentrationsbidragene til årgennemsnittet for PM_{2,5}-koncentrationen mindre end i 2025 i basisscenariet, idet der sker en naturlig udskiftning til maskiner med et højere stageniveau. I miljøzonestenarie 1.A falder koncentrationsbidraget med mellem 76 % og 78 %, og for miljøzonestenarie 3.A falder koncentrationsbidraget med mellem 57 % og 59 % for de tre miljøzoner.

Tabel 4.8. PM_{2,5}-koncentrationsbidrag til det årlige gennemsnit fra arbejdsmaskiner i miljøzonerne for udvalgte scenarier. Gennemsnit for hele miljøzonen (Gns.) samt den maksimale opnåede værdi i et specifikt receptorpunkt (Maks) er angivet i enheden **nanogram per kubikmeter [ng/m³]**.

Scenarie		(a)		(b)		(c)		(d)	
		Gns.	Maks.	Gns.	Maks.	Gns.	Maks.	Gns.	Maks.
2025	Basis	5,2	26,9	0,81	3,66	0,87	6,9	1,05	8,35
	1A	0,4	2,05	0,06	0,26	0,06	0,49	0,07	0,59
	3A	1,51	7,79	0,1	0,45	0,25	1,96	0,32	2,55
2030	Basis	1,71	8,86	0,27	1,22	0,28	2,21	0,33	2,58
	1A	0,41	2,13	0,06	0,27	0,06	0,51	0,08	0,62
	3A	0,74	3,85	0,11	0,5	0,12	0,92	0,14	1,13

Koncentrationsbidraget fra arbejdsmaskiner til den fjerde største 24 timers middelværdi for PM_{2,5} ses i tabel 4.9 (bemærk enhederne er i nanogram per kubikmeter [ng/m³]). De største koncentrationsbidrag beregnes for den nuværende miljøzone for København samt Frederiksberg. I basisscenariet for 2025 er det gennemsnitlige koncentrationsbidrag til den fjerde største 24 timers middelværdi af PM_{2,5} 67,2 ng/m³ for hele miljøzonen. Koncentrationsbidraget falder til 5,18 ng/m³ og 19,66 ng/m³ for hhv. miljøzonestenarie 1.A og 3.A, hvilket svarer til et fald i koncentrationsbidragene i forhold til basis på hhv. 92 % og 71 %. Kigges på det specifikke beregningspunkt for København og Frederiksberg, hvor det maksimalt beregnede koncentrationsbidrag til den fjerde største 24 timers middelværdi af PM_{2,5} findes, er koncentrationsbidraget ca. 2,5 gange højere. Dog ses omtrent samme relative fald i koncentrationsbidragene for scenarie 1.A og 3.A på 92 % og 71 %, som beregnet for det gennemsnitlige koncentrationsbidrag. De maksimale værdier opnås i grid punkter indeholdende arealkilder eller i umiddelbar nærhed af arealkilderne.

For de udvalgte beregningsbyer i miljøzone (b), (c) og (d) er koncentrationsbidraget fra arbejdsmaskiner til den fjerde største 24 timers middelværdi for PM_{2,5} lille. Ved indførelse af miljøzonekrav for arbejdsmaskiner vil koncentrationsbidraget til den fjerde største 24 timers middelværdi for PM_{2,5} falde. I 2025 falder koncentrationsbidraget i miljøzonerne med 93 % for scenarie 1.A, og for scenarie 3.A falder koncentrationsbidragene med mellem 69 % og 87 %.

For det specifikke beregningspunkt med det største beregnede koncentrationsbidrag til den fjerde største 24 timers middelværdi for PM_{2,5} beregnes koncentrationsbidrag på mellem 33,3 og 52,4 ng/m³ for basis. De beregnede reduktioner i punktet med det maksimale koncentrationsbidrag er 93 % for scenarie 1.A og fra 69 % til 87 % for scenarie 3.A for 2025 set i forhold til basis.

For 2030 er forskellen i koncentrationsbidrag mellem basis og miljøzonekravene væsentlig lavere. For København og Frederiksberg falder koncentrationsbidragene til den fjerde største 24 timers middelværdi for PM_{2,5} med hhv. 76 % og 57 % for miljøzonestenarierne 1.A og 3.A i forhold til basis inden for miljøzonen. For miljøzonerne (b), (c) og (d) falder koncentrationsbidragene inden for miljøzonerne med mellem 75 % og 79 % for scenarie 1.A, og med mellem 57 % og 59 % for scenarie 3.A set i forhold til basis. Samme procentvise fald i forhold til basis beregnes i 2030 for de specifikke beregningspunkter med de højeste koncentrationsbidrag i miljøzone (a) til (d) for scenarierne 1.A og 3.A.

Tabel 4.9. PM_{2,5}-koncentrationsbidrag til den fjerde største 24 timers middelværdi for arbejdsmaskiner i miljøzonerne. Gennemsnit for hele miljøzonen (Gns.) samt den højeste værdi i et specifikt receptorpunkt (Maks) er angivet i enheden nanogram per kubikmeter [ng/m³].

Scenarie		(a)		(b)		(c)		(d)	
		Gns.	Maks.	Gns.	Maks.	Gns.	Maks.	Gns.	Maks.
2025	Basis	67,82	179	11,14	34,6	7,07	33,3	10,79	52,4
	1A	5,18	13,7	0,79	2,47	0,5	2,36	0,77	3,73
	3A	19,66	51,9	1,36	4,23	2,01	9,48	3,3	16
2030	Basis	22,37	59,1	3,7	11,5	2,26	10,7	3,34	16,2
	1A	5,39	14,2	0,83	2,57	0,52	2,46	0,81	3,91
	3A	9,72	25,7	1,53	4,75	0,94	4,43	1,46	7,08

Den største effekt på koncentrationsbidraget for arbejdsmaskiner for PM_{2,5} ses for spidsværdier, her udtrykt ved den maksimale månedlige 99 % fraktil (se tabel 4.10, bemærk enhederne er i nanogram per kubikmeter [ng/m³]). De største koncentrationsbidrag beregnes for den nuværende miljøzone for København samt Frederiksberg. I basisscenariet for 2025 er koncentrationsbidraget i gennemsnittet for hele zonen 599,6 ng/m³ til den maksimale månedlige 99% fraktil af PM_{2,5} inden for miljøzonen. Koncentrationsbidraget falder til 45,8 ng/m³ og 173,8 ng/m³ for scenarierne 1.A og 3.A. Dette svarer til fald i koncentrationsbidraget i forhold til basis på hhv. 92,4 % og 71,0 %. Kigges på det specifikke grid punkt for København og Frederiksberg, hvor det højeste koncentrationsbidrag til den maksimale månedlige 99% fraktil af PM_{2,5} beregnes, er koncentrationsbidraget lidt mere end dobbelt så højt som gennemsnit over hele miljøzonen. Dog ses omtrent samme relative fald i koncentrationsbidragene for scenarie 1.A og 3.A på hhv. 92 % og 71 %, som beregnet for det gennemsnitlige koncentrationsbidrag. De maksimale værdier opnås i beregningspunkter indeholdende arealkilder eller i umiddelbar nærhed af arealkilderne.

For de udvalgte beregningsbyer i miljøzonerne (b), (c) og (d) har indførelse af miljøzonekrav for arbejdsmaskiner også den største effekt på koncentrationsbidraget til den maksimale månedlige 99% fraktil af PM_{2,5}. Koncentrationsbidraget til den maksimale månedlige 99% fraktil af PM_{2,5} ligger mellem 44,3 ng/m³ og 97,4 ng/m³ for basis, 3,1 ng/m³ og 7,0 ng/m³ for scenarie 1.A, og 11,9 ng/m³ og 17,0 ng/m³ for scenarie 3.A i år 2025. Ved indførelse af miljøzonekrav falder koncentrationsbidraget i miljøzonerne (b), (c) og (d) med 93 % for scenarie 1.A med mellem 69 % og 88 % for scenarie 3.A i 2025. I det

specifikke beregningspunkt med det højeste koncentrationsbidrag til den maksimale månedlige 99% fraktil af PM_{2,5} beregnes der ligeledes for zone (b), (c) og (d) større koncentrationsbidrag. Dog beregnes omtrent samme procentvise fald i koncentrationsbidragene for scenarie 1.A og 3.A som beregnet for det gennemsnitlige koncentrationsbidrag.

For 2030 er forskellene i koncentrationsbidrag mellem basis og miljøzonestenarierne væsentlig lavere. For København og Frederiksberg falder koncentrationsbidragene til den maksimale månedlige 99 % fraktil af PM_{2,5} inden for miljøzonen med hhv. 76 % og 57 % for miljøzonestenarierne 1.A og 3.A set i forhold til basis. For miljøzonerne (b), (c) og (d) falder koncentrationsbidragene til den maksimale månedlige 99% fraktil af PM_{2,5} med omkring 77 % for scenarie 1.A, og med mellem 56 % og 58 % for scenarie 3.A i forhold til basis. Omtrent samme procentvise fald i koncentrationsbidragene set i forhold til basis opnås for de specifikke beregningspunkter med de højeste opnåede koncentrationsbidrag.

Tabel 4.10. PM_{2,5}-koncentrationsbidrag til spidsværdier for arbejdsmaskiner i miljøzonerne. Gennemsnit for hele miljøzonen (Gns.) samt den maksimale opnåede værdi i et specifikt receptorpunkt (Maks) er angivet i enheden nanogram per kubikmeter [ng/m³].

Scenarie		(a)		(b)		(c)		(d)	
		Gns.	Maks.	Gns.	Maks.	Gns.	Maks.	Gns.	Maks.
2025	Basis	599,6	1340	97,4	345	44,3	178	55,6	202
	1A	45,8	103	7,0	24,6	3,1	12,7	4,0	14,4
	3A	173,8	390	11,9	42,2	12,6	50,8	17,0	61,9
2030	Basis	197,8	443	32,4	115	14,2	57,1	17,2	62,6
	1A	47,6	107	7,2	25,6	3,3	13,2	4,2	15,1
	3A	85,9	193	13,4	47,3	5,9	23,7	7,5	27,4

Opsummering PM_{2,5}

Koncentrationsbidragene fra arbejdsmaskiner til PM_{2,5}-koncentrationerne er højest i beregningsområdet indenfor miljøzone (a) – de nuværende miljøzoner for vejtrafik. Dette skyldes, at PM_{2,5}-emissioner per arealenhed er langt større for beregningsbyen (København og Frederiksberg) i miljøzone (a) end beregningsbyerne i miljøzone (b), (c) og (d).

Herudover har emissionerne fra mobile ikke-vejgående arbejdsmaskiner en større indflydelse på spidsværdierne af PM_{2,5} end på årgennemsnittet, ligesom de størst opnåede koncentrationsbidrag i specifikke punkter er opnået i beregningspunkter indeholdende arealkilder eller i umiddelbar nærhed af arealkiler.

Det vil sige, at påvirkningen af PM_{2,5}-koncentrationen fra arbejdsmaskiner er størst tæt på kilden i korte tidsperioder, typisk hvor arbejdsmaskinerne er i brug.

4.4.3 Sammenligning med baggrundsværdier for de fire miljøzoneinddelinger

Resultaterne fra de udvalgte beregningsbyer i de fire miljøzoneinddelinger kan nu sammenholdes med alle byer indeholdt i miljøzonerne (a), (b), (c) og (d). Dette gøres vha. målinger af NO₂- og PM_{2,5}-koncentrationer foretaget i det nationale overvågningsprogram for luftkvalitet for år 2019 (Ellermann et al.,

2020), samt modelleret bybaggrundskoncentrationer for 2019 indeholdt i Luften på din vej 2.0 (Hjemmeside, Luften på din vej: <https://luftenpaadinvej.au.dk>). Vi har valgt at sammenligne koncentrationsbidragene opnået i nærværende projekt med data fra år 2019, fordi Luften på din vej 2.0 kun indeholder data fra dette år, og fordi 2019 er et pre-corona år og derfor vil være repræsentativt.

Der foretages kun målinger af luftkvalitet i de større danske byer, som er indeholdt i den eksisterende miljøzone for vejtrafik (a), samt en enkelt forstad som er en del af Københavns omegnskommuner. De målte årlige årsmiddelværdier for NO₂ og PM_{2,5} er vist i tabel 4.11. Herudover, er de højeste time-middelværdier for NO₂ vist. Figur 4.1 og figur 4.2 viser baggrundsværdier af NO₂ og PM_{2,5} for hele Danmark i 2019. Heri kan bybaggrundskoncentrationer aflæses for alle byer indeholdt i de foreslåede miljøzoner.

Koncentrationsbidragene fra emissioner for arbejdsmaskiner (tabel 4.5 til 4.10) kan direkte relateres til de målte koncentrationer og baggrundskoncentrationer fra Luften på din vej. Det kan konkluderes, at koncentrationsbidrag for arbejdsmaskiner udgør en ganske lille del af den samlede koncentration, og sandsynligvis ikke vil give anledning til overskridelser af nuværende grænseværdier for NO₂ og PM_{2,5} uanset år og miljøzonekrav inklusiv basis.

Tabel 4.11. Tabel indeholder værdier baseret på målinger foretaget i det national overvågningsprogram for luftkvalitet i Danmark i 2019.

	NO ₂ Årsmiddelværdi	NO ₂ Højeste timemiddelværdi	PM _{2,5} Årsmiddelværdi
	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³
Grænseværdier	40	200	25
Gade niveau			
København, H.C. Andersens Boulevard	33	124	13
København, Jagtvej	24	108	12
Odense, Grønløkkevej	15	95	-
Aarhus, Banegaardsgade	23	95	12
Bybaggrund			
København	12	67	11
Odense	10	102	
Aarhus	11	74	9
Aalborg	10	84	10
Forstad			
Hvidovre	12	101	10

Sammenlignes koncentrationsbidraget til NO₂ for basis i beregningsbyen i miljøzone (a) i 2025 med årsmiddelværdier for bybaggrundskoncentration i København udgør det 1,25 %. Sammenlignes reduktioner i koncentrationsbidrag fra indførelse af miljøzonekrav for arbejdsmaskiner med observerede årsmiddelværdier for NO₂ svarer det til en reduktion på 0,2 % af den årlige bybaggrundskoncentration i København for miljøzonekrav 1A og 3A.

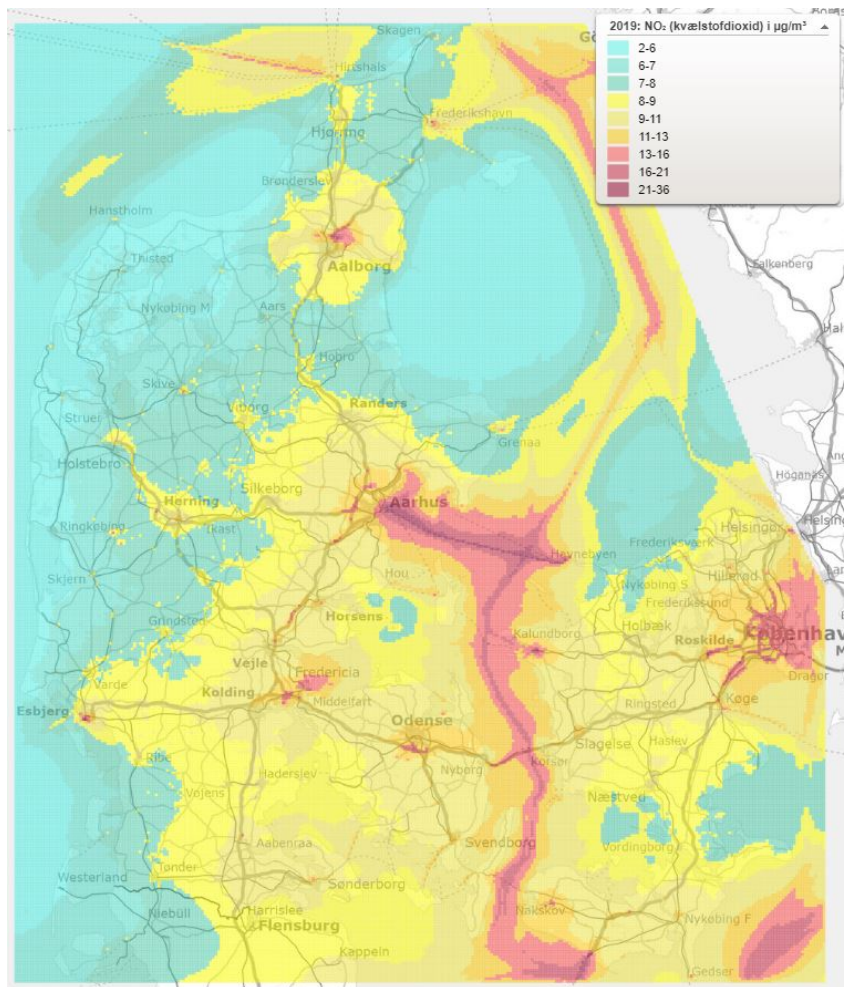
Sammenlignes koncentrationsbidraget til PM_{2,5} for basis i beregningsbyen for miljøzone (a) i 2025 med årsmiddelværdier for bybaggrundskoncentration i København udgør det 0,05 %. Sammenlignes reduktioner i koncentrationsbidrag for indførelse af miljøzonekrav for arbejdsmaskiner med observerede årsmiddelværdier for PM_{2,5} vil det svare til en reduktion på 0,04 % og 0,03 % af

den årlige bybaggrundskoncentration i København for hhv. miljøzonekrav 1A og 3A.

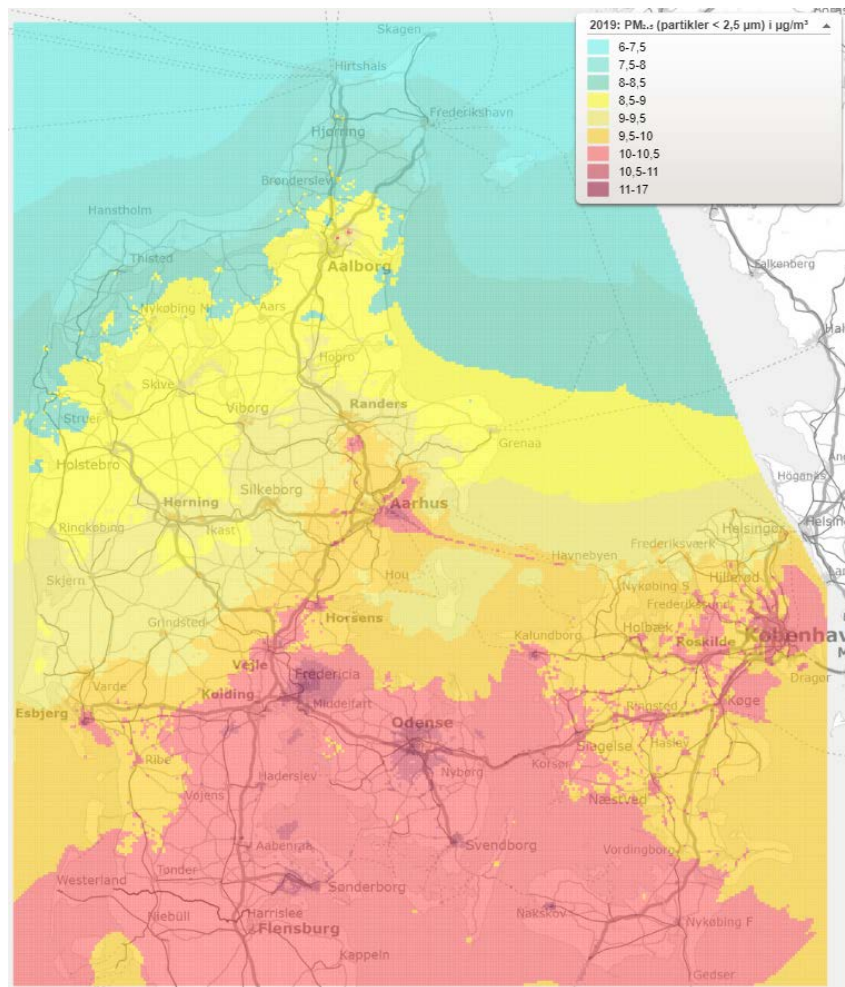
Fremskrivning af baggrundskoncentrationer af NO₂ og PM_{2,5} frem mod 2030 viser forventede fald (Jensen et al., 2019, Jensen et al., 2023). Vha. lineær interpolation kan bybaggrundskoncentration for NO₂ i København i 2025 estimeres til 9,7 µg/m³. Sammenlignes reduktioner i koncentrationsbidrag fra indførelse af miljøzonekrav for arbejdsmaskiner med denne fremskrivning for 2025, udgøre reduktion 0,2 % for miljøzonekrav 1A og 3A. Vha. lineær interpolation kan bybaggrundskoncentration for PM_{2,5} i København i 2025 estimeres til 6,4 µg/m³. Sammenlignes reduktioner i koncentrationsbidrag fra indførelse af miljøzonekrav for arbejdsmaskiner med denne fremskrivning for 2025 udgør reduktionen 0,08 % og 0,06 % for hhv. miljøzonekrav 1A og 3A.

Der er ingen overskridelser af timerværdier for NO₂ i Danmark, og værdier for den 19. største timeværdi er derfor ikke offentliggjort. Derfor sammenlignes opnåede reduktioner i koncentrationsbidrag for den 19. største timeværdi af NO₂ ved indførelse af miljøzonekrav for arbejdsmaskiner med de observerede højeste NO₂-timemiddelværdier. Reduktioner i koncentrationsbidrag til timemiddelværdier for NO₂ svarer til en reduktion på 1 % af den højeste timemiddelværdi for gadekoncentration og 1,8 % af den højeste timeværdi i bybaggrundskoncentration i København for miljøzonekrav 1A for 2025. For miljøzonekrav 3A svarer reduktionen til 0,8% af den højeste timemiddelværdi for gadekoncentration og 1,4 % af den højeste timemiddelværdi for bybaggrundskoncentration i København for 2025.

I OML-beregningerne er der en rummelig variation i de beregnede koncentrationsbidrag. I de specifikke beregningspunkter, hvor de højeste koncentrationsbidrag blev beregnet, vil bidraget til bybaggrund og gadeniveau udgøre en større andel.



Figur 4.3. Baggrundskoncentrationer for NO₂ for 2019. Baggrundskoncentrationerne er opnået fra Luften på din 2.0, hvor beregninger med UBM-modellen ligger til grund for baggrundsværdierne.



Figur 4.4. Baggrundskoncentrationer for PM_{2,5} for 2019. Baggrundskoncentrationerne er opnået fra Luften på din 2.0, hvor beregninger med UBM-modellen ligger til grund for baggrundsværdierne.

4.4.4 Sammenligning med tidligere estimater af bidrag til luftkvaliteten fra arbejdsmaskiner

Der er tidligere blevet foretaget studier af hvor meget arbejdsmaskiner bidrager til luftkvaliteten. For 2010 blev det fundet at arbejdsmaskiner bidrog med 0,4 µg/m³ til den årlige bybaggrundskoncentrationen af NO₂ og 0,05 µg/m³ for PM_{2,5} i København (Olesen et al., 2013). Dette er højere end nærværende studie, hvor vi finder koncentrationsbidrag til den årlige bybaggrundskoncentration i København på 0,15 µg/m³ og 0,005 µg/m³ for NO₂ og PM_{2,5}. De forskellige koncentrationsbidrag skal findes i metodeforskelle samt, at emissionerne fra arbejdsmaskiner på landsplan er faldet fra 2010 til 2021.

I Olesen et al., 2013 blev de samlede emissioner fra arbejdsmaskiner i Danmark fordelt vha. forskellige geografiske fordelingsnøgler (industriareal, lav bebyggelse, og befolkningstæthed). I nærværende projekt, kigges ikke på hele landsbestanden, kun påvirkede arbejdsmaskiner i miljøzonerne. Forudsætningen for fordeling af arbejdsmaskiner i miljøzonerne er altså forskellige i de to studier, og det bidrager til forskellene i koncentrationsbidrag.

Seneste version af DEMOS-NRMM viser, at NO_x emissioner fra arbejdsmaskiner er faldet med 65 % fra 2010 til 2021 for hele Danmark. For PM_{2,5} og BC er

emissioner faldet med 76 % og 73 % i samme periode. Koncentrationsbidragene til bybaggrundskoncentrationen i København i nærværende studie er 63 % og 90 % mindre end Olesen et al., 2013 for NO₂ og PM_{2,5}.

4.4.5 Usikkerheder for de beregnede koncentrationsbidrag

De nøjagtige positioner, steder og øjeblikkelige størrelser af emissionerne fra arbejdsmaskiner inden for miljøzonerne er i praksis ikke mulige at bestemme, idet arbejdsmaskinerne løbende vil skifte arbejdssted inden for miljøzonen. Dette giver en lille usikkerhed på de opnåede koncentrationsbidrag. Som bedste approximation har vi i nærværende studie valgt at fordele emissionerne jævnt ud over miljøzonerne i arealkilder med samme emissions styrke.

For at mindske usikkerheden på de opnåede årsmiddel- og spidsværdier har vi valgt en tidsvariation på emissionerne for at afspejle realistiske perioder med aktivitet fra arbejdsmaskinerne.

I OML-beregningerne har vi valgt, at alle NO_x-emissioner konservativt regnes som NO₂. Dette skyldes, at emissionerne og de resulterende koncentrationer fra arbejdsmaskinerne er meget små i forhold til baggrundskoncentration af NO_x og NO₂. Det ville have krævet ekstra modelkørsler efterfølgende at skulle trække koncentrationsbidraget ud for arbejdsmaskinerne. Det vil sige, at de angivne NO₂-koncentrationsbidrag er de maksimalt mulige koncentrationsbidrag, der ville kunne opnås fra arbejdsmaskinerne.

Derudover er turbulensen i grænselaget stokastisk og udgør et kaosystem der er vanskeligt at beskrive i OML-Multi modellen. OML-Multi simulerer distribution af de målte koncentrationer, samt maksimale koncentrationer i løbet af et år. OML-Multi modellens simulerede koncentrationer er i flere tidligere studier blevet sammenlignet med faktiske målinger af luftkoncentrationer, som har vist at der ikke altid overensstemmelse i timingen mellem de målte og simulerede koncentrationer. Dette er dog forventeligt givet de turbulente forhold i grænselaget (se e.g., Olesen 1995, Olesen et al., 2007, Lansø et al., 2023).

5 Referencer

COWI, 2023: Miljøzoner for arbejdsmaskiner, 52 s. Rapport udarbejdet af COWI for Miljøministeriet. [Ny rapport om miljøzoner for arbejdsmaskiner \(cowi.dk\)](#)

Ellermann, T., Nordstrøm, C., Brandt, B., Christensen, J., Ketznel, M., Massling, A., Bossi, R., Frohn, L.M., Geels, C., Jensen, S.S, Nielsen, O.-K., Winther, M., Poulsen, M.B, Nygaard J., Nøjgaard, J.K. 2020. Luftkvalitet 2019. Status for den nationale luftkvalitetsovervågning. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 128 s. - Videnskabelig rapport nr. 410 <http://dce2.au.dk/pub/SR410.pdf>

ICCT, 2016: Technology pathways for diesel engines used in non-road vehicles and equipment, ICCT White paper, 47 pp., International Council on Clean Transportation, 2016.

Jensen, S.S., Christensen, J.H., Frohn, L.M., Brandt, J., Ketznel, M., Nielsen, O.-K., Plejdrup, M.S., Winther, M., Hertel, O., Ellermann, T. 2019. Udvikling i luftkvalitet og helbredseffekter for 2020 og 2030 i relation til Nationalt program for reduktion af luftforurening (NAPCP). Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 52 s. - Videnskabelig rapport nr. 300. <http://dce2.au.dk/pub/SR300.pdf>

Jensen, S.S., Ketznel, M., Khan, J., Valencia, V.H., Brandt, J., Christensen, J.H., Frohn, L.M., Nielsen, O.-K. Plejdrup, M.S., Ellermann, T. (2021): Luften på din vej 2.0. DCE-Nationalt Center for Miljø og Energi, 62 s. - Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 445, <http://dce2.au.dk/pub/SR445.pdf>

Jensen, S.S., Christensen, J.H., Frohn, L.M., Ketznel, M., Nielsen, O.-K., Plejdrup, M.S., 2023. Nationalt program for reduktion af luftforurening (NAPCP) - Udvikling i luftkvalitet og kvælstofafsætning frem til 2030. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 47 s. - Videnskabelig rapport nr. 538. <http://dce2.au.dk/pub/SR538.pdf>

Lansø, A.S., Winther, M., Løfstrøm, P., Jensen, S.S. 2023. Impact on air quality from increasing cruise ship activity in Copenhagen port. Environ. Res. Commun., 5, 021003

Miljøministeriet 2021: [Ny aftale betyder grønnere og renere byer \(mim.dk\)](#).

Olesen, H.R, 1995. The model validation exercise at Mol: overview of results, Int. J. Environment and Pollution, Vol. 5, Nos 4-6

Olesen H. R., Berkowic R., Løfstrøm, P., 2007. OML : review of model formulation Natl. Environ. Res. Institute, Aarhus Univ. 609 1-128

Olesen, H.R, Winther, M., Plejdrup, M.S., Brandt, J., Ketznel, M., Ellermann, T. 2013. Luftforurening fra mobile ikke-vejgående maskiner i byområder. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 39s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 65 <http://dce2.au.dk/Pub/SR65.pdf>

Plejdrup, M.S., Nielsen, O.-K., Gyldenkerne, S. & Bruun, H.G. 2021. Spatial high-resolution distribution of emissions to air – SPREAD 3.0. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy, 208 pp. Technical Report No. 215 <http://dce2.au.dk/pub/TR215.pdf>.

Skamarock, W. C., Klemp, J. B., Dudhia, J., Gill, D. O., Barker, D. M., Duda, M. G., Huang, X.-Y., Wang, W. and Powers, J.: A Description of the Advanced Research WRF Version 3., 2008.

Widell, T., Jerksjö, M., Hult, C., Lindgren, M. 2018: Fuel and Technology Alternatives in Non-Road Engines, pp. 187. Annex 50, Report from the IEA Advanced Motor Fuels Technology Collaboration Programme.

Winther, M. 2022a: Danish emission inventories for road transport and other mobile sources. Inventories until 2020. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy, 138pp. Scientific Report No. 504. <http://dce2.au.dk/pub/SR504.pdf>

Winther, M. 2022c: Andelen af Stage IIIB og IV dieselmotorer i bygge- og anlægssektoren med præinstallerede partikelfiltre. Data fra spørgeskema udsendt til de vigtigste non road motorfabrikanter og -maskinimportører i Danmark.

6 Bilag

Tabel B.1. Hovedresultater for miljøzonerne a-d i scenarierne 1.A, 1.B, 3.A og 3.B, både som totaler og opdelt i store og små og mellemstore virksomheder. Resultaterne er ikke justeret for geografisk overlap mellem zone b og c, og zone c og d.

Miljøzone	År	Virksomhed	Maskiner	Timer x10 ³	Basis		Scenarie 1.A		Scenarie 1.B		Scenarie 3.A		Scenarie 3.B	
					NO _x kg	PM _{2.5} kg	NO _x kg	PM _{2.5} kg	NO _x kg	PM _{2.5} kg	NO _x kg	PM _{2.5} kg	NO _x kg	PM _{2.5} kg
(a)	2025	Små/mellem	2300	236	10325	360	8905	27	9128	43	10093	323	10216	247
(a)	2025	Store	1329	668	29311	1022	25355	78	26124	130	25355	78	26124	130
(a)	2027	Små/mellem	2281	234	9752	245	8836	28	8967	37	9716	239	9716	191
(a)	2027	Store	1315	662	27705	696	25163	80	25604	110	25163	80	25604	110
(a)	2030	Små/mellem	2247	229	9214	119	8707	29	8773	32	9197	117	9197	104
(a)	2030	Store	1293	649	26200	337	24800	81	25009	91	24800	81	25009	91
(a)	2025	Samlet	3628	904	39636	1382	34260	106	35252	173	35447	401	36340	378
(a)	2027	Samlet	3596	896	37457	941	33999	108	34571	147	34879	319	35319	301
(a)	2030	Samlet	3540	877	35414	456	33507	110	33782	123	33997	198	34206	195
(b)	2025	Små/mellem	3266	536	23810	856	20470	63	20955	96	22707	450	22931	441
(b)	2025	Store	2930	1462	64926	2336	55825	172	57465	281	55825	172	57465	281
(b)	2027	Små/mellem	3245	532	22507	587	20329	64	20622	84	21896	430	21893	318
(b)	2027	Store	2900	1450	61375	1602	55440	176	56407	238	55440	176	56407	238
(b)	2030	Små/mellem	3199	521	21236	284	20049	66	20195	72	21181	268	21039	203
(b)	2030	Store	2854	1420	57912	774	54678	179	55137	199	54678	179	55137	199
(b)	2025	Samlet	6196	1998	88736	3192	76295	235	78420	378	78531	622	80395	722
(b)	2027	Samlet	6145	1981	83882	2189	75769	240	77029	323	77336	606	78300	556
(b)	2030	Samlet	6053	1941	79149	1058	74728	244	75332	271	75860	447	76176	402
(c)	2025	Små/mellem	701	37	1685	63	1444	4	1475	7	1676	61	1682	61
(c)	2025	Store	253	122	5537	204	4814	15	4930	23	4814	15	4930	23
(c)	2027	Små/mellem	696	37	1594	43	1436	4	1455	6	1591	42	1591	42
(c)	2027	Store	251	122	5254	139	4787	15	4859	19	4787	15	4859	19
(c)	2030	Små/mellem	686	36	1502	21	1416	5	1426	5	1501	20	1501	20
(c)	2030	Store	247	119	4971	65	4723	15	4757	17	4723	15	4757	17
(c)	2025	Samlet	954	160	7223	267	6258	19	6405	29	6489	76	6612	83
(c)	2027	Samlet	947	158	6848	181	6222	19	6314	25	6378	57	6450	61
(c)	2030	Samlet	933	155	6473	85	6140	20	6183	22	6225	35	6259	37
(d)	2025	Små/mellem	1345	77	3475	127	3041	9	3098	13	3457	124	3469	123
(d)	2025	Store	449	220	9947	363	8725	26	8921	40	8725	26	8921	40
(d)	2027	Små/mellem	1335	76	3300	86	3024	9	3059	12	3294	84	3294	84
(d)	2027	Store	446	219	9451	245	8678	27	8796	35	8678	27	8796	35
(d)	2030	Små/mellem	1315	75	3127	40	2984	9	3001	10	3125	39	3125	39
(d)	2030	Store	439	215	8962	113	8563	27	8618	30	8563	27	8618	30
(d)	2025	Samlet	1794	297	13422	490	11767	35	12020	53	12182	151	12391	163
(d)	2027	Samlet	1781	295	12752	331	11703	36	11856	46	11972	111	12090	119
(d)	2030	Samlet	1755	289	12089	152	11547	37	11619	40	11688	66	11743	69

Tabel B.2. Hovedresultater for miljøzonerne a-d i scenarierne 1.A, 1.B, 3.A og 3.B, både som totaler og opdelt i store og små og mellemstore virksomheder. Resultaterne er justeret for geografisk overlap mellem zone b og c, og zone c og d.

Miljøzone	År	Virksomhed	Maskiner	Timer	Basis		Scenarie 1.A		Scenarie 1.B		Scenarie 3.A		Scenarie 3.B	
					NO _x	PM _{2,5}	NO _x	PM _{2,5}	NO _x	PM _{2,5}	NO _x	PM _{2,5}	NO _x	PM _{2,5}
				x10 ³	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg
(a)	2025	Små/mellem	2300	236	10325	360	8905	27	9128	43	10093	323	10216	247
(a)	2025	Store	1329	668	29311	1022	25355	78	26124	130	25355	78	26124	130
(a)	2027	Små/mellem	2281	234	9752	245	8836	28	8967	37	9716	239	9716	191
(a)	2027	Store	1315	662	27705	696	25163	80	25604	110	25163	80	25604	110
(a)	2030	Små/mellem	2247	229	9214	119	8707	29	8773	32	9197	117	9197	104
(a)	2030	Store	1293	649	26200	337	24800	81	25009	91	24800	81	25009	91
(a)	2025	Samlet	3628	904	39636	1382	34260	106	35252	173	35447	401	36340	378
(a)	2027	Samlet	3596	896	37457	941	33999	108	34571	147	34879	319	35319	301
(a)	2030	Samlet	3540	877	35414	456	33507	110	33782	123	33997	198	34206	195
(b)	2025	Små/mellem	3266	536	23810	856	20470	63	20955	96	22707	450	22931	441
(b)	2025	Store	2930	1462	64926	2336	55825	172	57465	281	55825	172	57465	281
(b)	2027	Små/mellem	3245	532	22507	587	20329	64	20622	84	21896	430	21893	318
(b)	2027	Store	2900	1450	61375	1602	55440	176	56407	238	55440	176	56407	238
(b)	2030	Små/mellem	3199	521	21236	284	20049	66	20195	72	21181	268	21039	203
(b)	2030	Store	2854	1420	57912	774	54678	179	55137	199	54678	179	55137	199
(b)	2025	Samlet	6196	1998	88736	3192	76295	235	78420	378	78531	622	80395	722
(b)	2027	Samlet	6145	1981	83882	2189	75769	240	77029	323	77336	606	78300	556
(b)	2030	Samlet	6053	1941	79149	1058	74728	244	75332	271	75860	447	76176	402
(c)	2025	Små/mellem	491	26	1180	44	1011	3	1033	5	1173	43	1178	43
(c)	2025	Store	177	86	3876	143	3370	10	3451	16	3370	10	3451	16
(c)	2027	Små/mellem	487	26	1116	30	1005	3	1019	4	1114	29	1114	29
(c)	2027	Store	175	85	3678	97	3351	10	3401	14	3351	10	3401	14
(c)	2030	Små/mellem	480	25	1052	14	991	3	998	3	1051	14	1051	14
(c)	2030	Store	173	83	3480	45	3306	11	3330	12	3306	11	3330	12
(c)	2025	Samlet	668	112	5056	187	4381	13	4483	20	4543	53	4628	58
(c)	2027	Samlet	663	111	4794	127	4356	14	4420	18	4465	40	4515	43
(c)	2030	Samlet	653	109	4531	60	4298	14	4328	15	4357	25	4381	26
(d)	2025	Små/mellem	605	35	1564	57	1369	4	1394	6	1556	56	1561	55
(d)	2025	Store	202	99	4476	163	3926	12	4015	18	3926	12	4015	18
(d)	2027	Små/mellem	601	34	1485	39	1361	4	1377	5	1482	38	1482	38
(d)	2027	Store	201	98	4253	110	3905	12	3958	16	3905	12	3958	16
(d)	2030	Små/mellem	592	34	1407	18	1343	4	1351	5	1406	18	1406	18
(d)	2030	Store	198	97	4033	51	3853	12	3878	13	3853	12	3878	13
(d)	2025	Samlet	807	134	6040	221	5295	16	5409	24	5482	68	5576	74
(d)	2027	Samlet	801	133	5738	149	5266	16	5335	21	5388	50	5441	53
(d)	2030	Samlet	790	130	5440	68	5196	17	5229	18	5260	30	5284	31
b+c+d	2025	Samlet		2244	99832	3600	14380	85970	2244	14243	422	2244	88556	743
b+c+d	2027	Samlet		2225	94414	2465	14431	85391	2225	14289	361	2225	87188	696
b+c+d	2030	Samlet		2180	89120	1186	14360	84222	2180	14288	304	2180	85477	501

Tabel B.3 Resultater for miljøzone a (nuværende miljøzoner for vejtrafik)

År	Virksomhed	Emissionstrin	Basis					Scenario 1.A					Scenario 1.B					Scenario 3.A					Scenario 3.B								
			Maskiner x10 ³	Timer	NOx kg	PM2.5 kg	BC kg	Maskiner x10 ³	Timer	NOx kg	PM2.5 kg	BC kg	Maskiner x10 ³	Timer	NOx kg	PM2.5 kg	BC kg	Maskiner x10 ³	Timer	NOx kg	PM2.5 kg	BC kg	Maskiner x10 ³	Timer	NOx kg	PM2.5 kg	BC kg				
2025	Små/mellem	1991-Stage I	64	1	372	33	18										0	0	0	0	0	64	1	334	30	16	64	1	348	30	16
2025	Små/mellem	Stage I	16	0	59	4	3										0	0	0	0	0	16	0	54	4	3	16	0	56	4	3
2025	Små/mellem	Stage II	83	2	263	17	13										0	0	0	0	0	83	2	256	16	13	83	2	255	16	13
2025	Små/mellem	Stage IIIA	627	39	2.848	264	211										0	0	0	0	0	564	34	2.555	231	185	432	21	1.516	154	123
2025	Små/mellem	Stage IIIB	101	18	1.058	6	5										101	14	851	5	4	99	16	965	6	4	101	17	991	6	5
2025	Små/mellem	Stage IV	217	31	510	19	13										217	28	467	17	12	217	30	504	18	13	217	30	501	18	13
2025	Små/mellem	Stage V	1.192	145	5.216	18	3	2.300	236	8.905	27	4	1.982	194	7.810	21	3	1.257	152	5.423	18	3	1.387	164	6.548	19	3				
2025	Store	1991-Stage I	37	4	1.023	90	49										0	0	0	0	0						0	0	0	0	0
2025	Store	Stage I	9	1	162	11	8										0	0	0	0	0						0	0	0	0	0
2025	Store	Stage II	51	6	742	47	37										0	0	0	0	0						0	0	0	0	0
2025	Store	Stage IIIA	338	111	8.154	754	603										0	0	0	0	0						0	0	0	0	0
2025	Store	Stage IIIB	80	49	2.928	17	13										106	53	3.137	19	14						106	53	3.137	19	14
2025	Store	Stage IV	132	87	1.446	53	36										158	89	1.473	54	37						158	89	1.473	54	37
2025	Store	Stage V	682	411	14.857	50	8	1.329	668	25.355	78	12	1.064	527	21.514	58	9	1.329	668	25.355	78	12	1.064	527	21.514	58	9				
2027	Små/mellem	1991-Stage I	50	1	299	27	15										0	0	0	0	0	49	1	280	25	14	49	1	281	25	14
2027	Små/mellem	Stage I	11	0	45	3	2										0	0	0	0	0	11	0	43	3	2	11	0	45	3	2
2027	Små/mellem	Stage II	47	1	127	8	7										0	0	0	0	0	47	1	125	8	6	47	1	126	8	6
2027	Små/mellem	Stage IIIA	453	24	1.861	170	136										0	0	0	0	0	452	24	1.828	166	133	366	16	1.167	117	93
2027	Små/mellem	Stage IIIB	85	11	652	4	3										85	9	553	3	3	85	11	648	4	3	85	11	648	4	3
2027	Små/mellem	Stage IV	171	18	275	11	8										171	16	255	10	7	171	18	275	11	8	171	18	275	11	8
2027	Små/mellem	Stage V	1.464	178	6.492	22	3	2.281	234	8.836	28	4	2.025	208	8.159	24	4	1.466	179	6.516	22	3	1.551	187	7.175	23	3				
2027	Store	1991-Stage I	28	3	823	74	40										0	0	0	0	0						0	0	0	0	0
2027	Store	Stage I	6	1	124	8	6										0	0	0	0	0						0	0	0	0	0
2027	Store	Stage II	28	3	350	23	18										0	0	0	0	0						0	0	0	0	0
2027	Store	Stage IIIA	241	70	5.330	487	389										0	0	0	0	0						0	0	0	0	0
2027	Store	Stage IIIB	67	30	1.807	11	9										82	31	1.866	11	9						82	31	1.866	11	9
2027	Store	Stage IV	104	50	778	30	21										118	50	785	30	21						118	50	785	30	21
2027	Store	Stage V	839	506	18.492	63	9	1.315	662	25.163	80	12	1.115	581	22.953	68	10	1.315	662	25.163	80	12	1.115	581	22.953	68	10				
2030	Små/mellem	1991-Stage I	31	1	206	19	10										0	0	0	0	0	31	1	193	17	9	31	1	193	17	9
2030	Små/mellem	Stage I	9	0	46	3	2										0	0	0	0	0	9	0	46	3	2	9	0	46	3	2
2030	Små/mellem	Stage II	31	1	90	6	5										0	0	0	0	0	31	1	89	6	5	31	1	89	6	5
2030	Små/mellem	Stage IIIA	213	8	655	60	48										0	0	0	0	0	212	8	646	59	47	191	6	480	46	37

Tabel B.3 Fortsat.

2030 Små/mellem Stage IIIB	49	3	214	1	1					49	3	193	1	1			49	3	213	1	1			49	3	213	1	1		
2030 Små/mellem Stage IV	115	5	75	3	2					115	5	68	3	2			115	5	75	3	2			115	5	75	3	2		
2030 Små/mellem Stage V	1.799	211	7.928	27	4		2.247	229	8.707	29	4		2.083	221	8.513	27	4		1.799	211	7.935	27	4		1.821	213	8.100	27	4	
2030 Store 1991-Stage I	18	2	566	51	28					0	0	0	0	0					0	0	0	0	0			0	0	0	0	0
2030 Store Stage I	5	1	127	8	6					0	0	0	0	0					0	0	0	0	0			0	0	0	0	0
2030 Store Stage II	18	2	247	16	13					0	0	0	0	0					0	0	0	0	0			0	0	0	0	0
2030 Store Stage IIIA	113	23	1.869	172	137					0	0	0	0	0					0	0	0	0	0			0	0	0	0	0
2030 Store Stage IIIB	40	10	596	4	3					45	10	601	4	3					45	10	601	4	3			45	10	601	4	3
2030 Store Stage IV	70	14	210	9	7					77	14	210	9	7					77	14	210	9	7			77	14	210	9	7
2030 Store Stage V	1.029	598	22.586	76	11		1.293	649	24.800	81	12		1.171	625	24.198	78	12		1.293	649	24.800	81	12		1.171	625	24.198	78	12	
2025 Små/mellem Alle	2.300	236	10.325	360	265		2.300	236	8.905	27	4		2.300	236	9.128	43	19		2.299	236	10.093	323	236			2.299	236	10.216	247	175
2025 Store Alle	1.329	668	29.311	1.022	754		1.329	668	25.355	78	12		1.329	668	26.124	130	61		1.329	668	25.355	78	12			1.329	668	26.124	130	61
2027 Små/mellem Alle	2.281	234	9.752	245	173		2.281	234	8.836	28	4		2.281	234	8.967	37	13		2.281	234	9.716	239	169			2.281	234	9.716	191	130
2027 Store Alle	1.315	662	27.705	696	492		1.315	662	25.163	80	12		1.315	662	25.604	110	40		1.315	662	25.163	80	12			1.315	662	25.604	110	40
2030 Små/mellem Alle	2.247	229	9.214	119	73		2.247	229	8.707	29	4		2.247	229	8.773	32	7		2.247	229	9.197	117	71			2.247	229	9.197	104	61
2030 Store Alle	1.293	649	26.200	337	205		1.293	649	24.800	81	12		1.293	649	25.009	91	22		1.293	649	24.800	81	12			1.293	649	25.009	91	22
2025 Samlet Alle	3.628	904	39.636	1.382	1.019		3.629	904	34.260	106	16		3.629	904	35.252	173	79		3.628	904	35.447	401	248			3.628	904	36.340	378	235
2027 Samlet Alle	3.596	896	37.457	941	666		3.596	896	33.999	108	16		3.596	896	34.571	147	53		3.596	896	34.879	319	181			3.596	896	35.319	301	170
2030 Samlet Alle	3.540	877	35.414	456	278		3.540	877	33.507	110	16		3.540	877	33.782	123	29		3.540	877	33.997	198	83			3.540	877	34.206	195	82

Tabel B.4. Resultater for miljøzone b (nuværende miljøzoner for vejtrafik + omegnskommuner i København)

År	Virksomhed	Emissionstrin	Basis					Scenarie 1.A					Scenarie 1.B					Scenarie 3.A					Scenarie 3.B				
			Maskiner x10 ³	Timer	NOx kg	PM2.5 kg	BC kg	Maskiner x10 ³	Timer	NOx kg	PM2.5 kg	BC kg	Maskiner x10 ³	Timer	NOx kg	PM2.5 kg	BC kg	Maskiner x10 ³	Timer	NOx kg	PM2.5 kg	BC kg	Maskiner x10 ³	Timer	NOx kg	PM2.5 kg	BC kg
2025	Små/mellem	1991-Stage I	69	3	837	74	40						0	0	0	0	0	50	2	684	51	27	50	2	707	52	28
2025	Små/mellem	Stage I	19	1	131	9	7						0	0	0	0	0	19	1	120	8	6	19	1	123	8	6
2025	Små/mellem	Stage II	110	5	591	37	29						0	0	0	0	0	110	5	567	35	28	110	5	565	35	28
2025	Små/mellem	Stage IIIA	909	94	6.957	641	512						0	0	0	0	0	547	37	2.493	260	207	540	35	2.400	249	198
2025	Små/mellem	Stage IIIB	139	36	2.171	13	10						139	29	1.745	10	8	136	33	1.986	12	9	139	33	2.026	12	9
2025	Små/mellem	Stage IV	298	69	1.160	42	28						298	62	1.065	37	25	298	67	1.139	41	28	298	67	1.135	40	28
2025	Små/mellem	Stage V	1.722	329	11.962	40	6	3.266	536	20.470	63	9	2.829	445	18.146	49	7	2.107	391	15.718	44	7	2.110	393	15.975	44	7
2025	Store	1991-Stage I	82	8	2.280	203	109						0	0	0	0	0						0	0	0	0	0
2025	Store	Stage I	20	2	358	24	19						0	0	0	0	0						0	0	0	0	0
2025	Store	Stage II	111	13	1.611	101	80						0	0	0	0	0						0	0	0	0	0
2025	Store	Stage IIIA	759	256	18.979	1.750	1.398						0	0	0	0	0						0	0	0	0	0
2025	Store	Stage IIIB	166	97	5.912	35	27						222	104	6.343	38	29						222	104	6.343	38	29
2025	Store	Stage IV	287	188	3.163	113	78						344	192	3.224	116	80						344	192	3.224	116	80
2025	Store	Stage V	1.504	898	32.623	110	17	2.930	1.462	55.825	172	26	2.364	1.166	47.898	127	19	2.930	1.462	55.825	172	26	2.364	1.166	47.898	127	19
2027	Små/mellem	1991-Stage I	53	2	674	61	33						0	0	0	0	0	38	1	549	41	22	38	1	549	41	22
2027	Små/mellem	Stage I	12	0	102	7	5						0	0	0	0	0	12	0	92	6	5	12	0	94	6	5
2027	Små/mellem	Stage II	57	2	283	19	15						0	0	0	0	0	57	2	265	17	14	57	2	265	17	14
2027	Små/mellem	Stage IIIA	654	60	4.584	418	334						0	0	0	0	0	548	41	3.215	283	226	414	23	1.673	169	135
2027	Små/mellem	Stage IIIB	114	22	1.350	8	6						114	19	1.138	7	5	114	22	1.317	8	6	114	22	1.317	8	6
2027	Små/mellem	Stage IV	235	39	622	24	16						235	36	578	21	15	235	38	610	23	16	235	38	610	23	16
2027	Små/mellem	Stage V	2.119	406	14.893	51	8	3.245	532	20.329	64	10	2.896	477	18.906	56	8	2.240	427	15.848	52	8	2.375	444	17.384	53	8
2027	Store	1991-Stage I	64	6	1.835	166	89						0	0	0	0	0						0	0	0	0	0
2027	Store	Stage I	14	1	277	18	14						0	0	0	0	0						0	0	0	0	0
2027	Store	Stage II	63	6	772	51	40						0	0	0	0	0						0	0	0	0	0
2027	Store	Stage IIIA	544	163	12.505	1.141	912						0	0	0	0	0						0	0	0	0	0
2027	Store	Stage IIIB	140	60	3.675	22	17						172	62	3.795	23	18						172	62	3.795	23	18
2027	Store	Stage IV	226	106	1.695	64	45						256	107	1.709	65	45						256	107	1.709	65	45
2027	Store	Stage V	1.850	1.106	40.616	139	21	2.900	1.450	55.440	176	26	2.473	1.280	50.903	151	23	2.900	1.450	55.440	176	26	2.473	1.280	50.903	151	23
2030	Små/mellem	1991-Stage I	34	1	463	42	23						0	0	0	0	0	24	1	400	30	16	24	1	400	30	16
2030	Små/mellem	Stage I	9	0	103	7	5						0	0	0	0	0	9	0	101	6	5	9	0	101	6	5
2030	Små/mellem	Stage II	35	1	202	13	10						0	0	0	0	0	35	1	198	13	10	35	1	198	13	10
2030	Små/mellem	Stage IIIA	297	20	1.629	150	120						0	0	0	0	0	296	20	1.605	147	117	241	11	844	82	65

Tabel B.4. Fortsat.

2030 Små/mellem	Stage IIIB	65	7	450	3	2				65	6	402	3	2			65	7	446	3	2			65	7	446	3	2	
2030 Små/mellem	Stage IV	154	11	166	7	5				154	10	150	7	5			154	11	165	7	5			154	11	164	7	5	
2030 Små/mellem	Stage V	2.605	480	18.222	61	9	3.199	521	20.049	66	10	2.981	505	19.643	63	9	2.616	481	18.267	61	9			2.671	490	18.886	62	9	
2030 Store	1991-Stage I	40	4	1.262	115	62				0	0	0	0	0											0	0	0	0	0
2030 Store	Stage I	11	1	282	18	14				0	0	0	0	0											0	0	0	0	0
2030 Store	Stage II	40	4	550	36	28				0	0	0	0	0											0	0	0	0	0
2030 Store	Stage IIIA	256	55	4.444	410	327				0	0	0	0	0											0	0	0	0	0
2030 Store	Stage IIIB	83	19	1.227	8	6				94	19	1.237	8	6											94	19	1.237	8	6
2030 Store	Stage IV	152	29	453	20	15				167	29	453	20	15											167	29	453	20	15
2030 Store	Stage V	2.272	1.308	49.695	167	25	2.854	1.420	54.678	179	27	2.593	1.371	53.447	171	26	2.854	1.420	54.678	179	27			2.593	1.371	53.447	171	26	
2025 Små/mellem	Alle	3.266	536	23.810	856	633	3.266	536	20.470	63	9	3.266	536	20.955	96	40	3.266	536	22.707	450	312			3.266	536	22.931	441	304	
2025 Store	Alle	2.930	1.462	64.926	2.336	1.727	2.930	1.462	55.825	172	26	2.930	1.462	57.465	281	128	2.930	1.462	55.825	172	26			2.930	1.462	57.465	281	128	
2027 Små/mellem	Alle	3.245	532	22.507	587	417	3.245	532	20.329	64	10	3.245	532	20.622	84	28	3.245	532	21.896	430	296			3.245	532	21.893	318	206	
2027 Store	Alle	2.900	1.450	61.375	1.602	1.138	2.900	1.450	55.440	176	26	2.900	1.450	56.407	238	85	2.900	1.450	55.440	176	26			2.900	1.450	56.407	238	85	
2030 Små/mellem	Alle	3.199	521	21.236	284	175	3.199	521	20.049	66	10	3.199	521	20.195	72	16	3.199	521	21.181	268	165			3.199	521	21.039	203	113	
2030 Store	Alle	2.854	1.420	57.912	774	477	2.854	1.420	54.678	179	27	2.854	1.420	55.137	199	46	2.854	1.420	54.678	179	27			2.854	1.420	55.137	199	46	
2025 Samlet	Alle	6.196	1.998	88.736	3.192	2.360	6.196	1.998	76.295	235	35	6.196	1.998	78.420	378	168	6.196	1.998	78.531	622	338			6.196	1.998	80.395	722	432	
2027 Samlet	Alle	6.145	1.981	83.882	2.189	1.555	6.145	1.981	75.769	240	36	6.145	1.981	77.029	323	114	6.145	1.981	77.336	606	323			6.145	1.981	78.300	556	291	
2030 Samlet	Alle	6.053	1.941	79.149	1.058	652	6.054	1.941	74.728	244	37	6.054	1.941	75.332	271	63	6.053	1.941	75.860	447	192			6.053	1.941	76.176	402	160	

Tabel B.5. Resultater for miljøzone c (Store provinsbyer)

År	Virksomhed	Emissionstrin	Basis					Scenarie 1.A					Scenarie 1.B					Scenarie 3.A					Scenarie 3.B				
			Maskiner x10 ³	Timer	NOx kg	PM2.5 kg	BC kg	Maskiner x10 ³	Timer	NOx kg	PM2.5 kg	BC kg	Maskiner x10 ³	Timer	NOx kg	PM2.5 kg	BC kg	Maskiner x10 ³	Timer	NOx kg	PM2.5 kg	BC kg	Maskiner x10 ³	Timer	NOx kg	PM2.5 kg	BC kg
2025	Små/mellem	1991-Stage I	19	0	61	5	3																				
2025	Små/mellem	Stage I	5	0	9	1	0																				
2025	Små/mellem	Stage II	25	0	42	3	2																				
2025	Små/mellem	Stage IIIA	195	7	515	48	38																				
2025	Små/mellem	Stage IIIB	28	2	133	1	1																				
2025	Små/mellem	Stage IV	65	5	79	3	2																				
2025	Små/mellem	Stage V	365	23	846	3	0	701	37	1.444	4	1	608	31	1.296	3	1	365	23	853	3	0	366	23	865	3	0
2025	Store	1991-Stage I	6	1	172	15	8																				
2025	Store	Stage I	2	0	27	2	1																				
2025	Store	Stage II	9	1	134	8	7																				
2025	Store	Stage IIIA	69	23	1.718	158	126																				
2025	Store	Stage IIIB	12	6	400	2	2																				
2025	Store	Stage IV	23	15	261	9	6																				
2025	Store	Stage V	132	76	2.825	9	1	253	122	4.814	15	2	209	101	4.233	11	2	253	122	4.814	15	2	209	101	4.233	11	2
2027	Små/mellem	1991-Stage I	15	0	49	4	2																				
2027	Små/mellem	Stage I	3	0	7	0	0																				
2027	Små/mellem	Stage II	14	0	20	1	1																				
2027	Små/mellem	Stage IIIA	141	4	338	31	25																				
2027	Små/mellem	Stage IIIB	24	1	85	1	0																				
2027	Små/mellem	Stage IV	51	3	42	2	1																				
2027	Små/mellem	Stage V	448	28	1.053	4	1	696	37	1.436	4	1	621	34	1.346	4	1	448	28	1.057	4	1	448	28	1.057	4	1
2027	Store	1991-Stage I	5	0	139	13	7																				
2027	Store	Stage I	1	0	21	1	1																				
2027	Store	Stage II	5	0	59	4	3																				
2027	Store	Stage IIIA	49	15	1.127	102	82																				
2027	Store	Stage IIIB	10	4	255	2	1																				
2027	Store	Stage IV	18	8	136	5	3																				
2027	Store	Stage V	163	94	3.517	12	2	251	122	4.787	15	2	218	109	4.458	13	2	251	122	4.787	15	2	218	109	4.458	13	2
2030	Små/mellem	1991-Stage I	9	0	34	3	2																				
2030	Små/mellem	Stage I	3	0	7	0	0																				
2030	Små/mellem	Stage II	9	0	15	1	1																				
2030	Små/mellem	Stage IIIA	66	1	120	11	9																				
2030	Små/mellem	Stage IIIB	14	0	29	0	0																				

Tabel B.5. Fortsat.

2030 Små/mellem Stage IV	34	1	11	0	0					34	1	10	0	0					34	1	11	0	0		
2030 Små/mellem Stage V	551	33	1.287	4	1	686	36	1.416	5	1	638	35	1.391	4	1	551	33	1.288	4	1	551	33	1.288	4	1
2030 Store 1991-Stage I	3	0	96	9	5						0	0	0	0	0						0	0	0	0	0
2030 Store Stage I	1	0	21	1	1						0	0	0	0	0						0	0	0	0	0
2030 Store Stage II	3	0	42	3	2						0	0	0	0	0						0	0	0	0	0
2030 Store Stage IIIA	23	5	391	36	29						0	0	0	0	0						0	0	0	0	0
2030 Store Stage IIIB	6	1	88	1	0						7	1	89	1	0						7	1	89	1	0
2030 Store Stage IV	12	2	34	1	1						13	2	34	1	1						13	2	34	1	1
2030 Store Stage V	199	110	4.299	14	2	247	119	4.723	15	2	227	116	4.635	15	2	247	119	4.723	15	2	227	116	4.635	15	2
2025 Små/mellem Alle	701	37	1.685	63	47	701	37	1.444	4	1	701	37	1.475	7	3	701	37	1.676	61	45	701	37	1.682	61	45
2025 Store Alle	253	122	5.537	204	152	253	122	4.814	15	2	253	122	4.930	23	10	253	122	4.814	15	2	253	122	4.930	23	10
2027 Små/mellem Alle	696	37	1.594	43	31	696	37	1.436	4	1	696	37	1.455	6	2	696	37	1.591	42	30	696	37	1.591	42	30
2027 Store Alle	251	122	5.254	139	99	251	122	4.787	15	2	251	122	4.859	19	6	251	122	4.787	15	2	251	122	4.859	19	6
2030 Små/mellem Alle	686	36	1.502	21	13	686	36	1.416	5	1	686	36	1.426	5	1	686	36	1.501	20	13	686	36	1.501	20	13
2030 Store Alle	247	119	4.971	65	40	247	119	4.723	15	2	247	119	4.757	17	4	247	119	4.723	15	2	247	119	4.757	17	4
2025 Samlet Alle	954	160	7.223	267	198	954	160	6.258	19	3	954	160	6.405	29	12	954	160	6.489	76	48	954	160	6.612	83	54
2027 Samlet Alle	947	158	6.848	181	130	947	158	6.222	19	3	947	158	6.314	25	8	947	158	6.378	57	32	947	158	6.450	61	36
2030 Samlet Alle	933	155	6.473	85	53	933	155	6.140	20	3	933	155	6.183	22	5	933	155	6.225	35	15	933	155	6.259	37	16

Tabel B.6. Resultater for miljøzone d (Små provinsbyer)

År	Virksomhed	Emissionstrin	Basis					Scenarie 1.A					Scenarie 1.B					Scenarie 3.A					Scenarie 3.B									
			Maskiner x10 ³	Timer	NOx kg	PM2.5 kg	BC kg	Maskiner x10 ³	Timer	NOx kg	PM2.5 kg	BC kg	Maskiner x10 ³	Timer	NOx kg	PM2.5 kg	BC kg	Maskiner x10 ³	Timer	NOx kg	PM2.5 kg	BC kg	Maskiner x10 ³	Timer	NOx kg	PM2.5 kg	BC kg					
2025	Små/mellem	1991-Stage I	37	0	96	9	5										0	0	0	0	0	37	0	96	9	5	37	0	96	9	5	
2025	Små/mellem	Stage I	9	0	15	1	1										0	0	0	0	0	9	0	15	1	1	9	0	15	1	1	
2025	Små/mellem	Stage II	47	1	81	5	4										0	0	0	0	0	47	1	81	5	4	47	1	80	5	4	
2025	Små/mellem	Stage IIIA	373	15	1.082	100	80										0	0	0	0	0	373	14	1.063	97	78	372	14	1.054	96	77	
2025	Små/mellem	Stage IIIB	54	4	254	1	1										54	3	203	1	1	54	4	242	1	1	54	4	241	1	1	
2025	Små/mellem	Stage IV	124	9	163	5	4										124	9	152	5	3	124	9	162	5	4	124	9	162	5	4	
2025	Små/mellem	Stage V	700	48	1.784	6	1	1.345	77	3.041	9	1	1.166	65	2.744	7	1	701	48	1.797	6	1	701	48	1.797	6	1	701	49	1.820	6	1
2025	Store	1991-Stage I	10	1	266	24	13										0	0	0	0	0											
2025	Store	Stage I	3	0	43	3	2										0	0	0	0	0											
2025	Store	Stage II	15	2	231	14	11										0	0	0	0	0											
2025	Store	Stage IIIA	124	42	3.108	285	228										0	0	0	0	0											
2025	Store	Stage IIIB	21	11	711	4	3										28	12	766	4	3											
2025	Store	Stage IV	40	26	466	16	10										47	27	473	16	10											
2025	Store	Stage V	237	137	5.122	17	3	449	220	8.725	26	4	374	181	7.682	20	3	449	220	8.725	26	4	374	181	7.682	20	3	374	181	7.682	20	3
2027	Små/mellem	1991-Stage I	28	0	77	7	4										0	0	0	0	0	28	0	77	7	4	28	0	77	7	4	
2027	Små/mellem	Stage I	6	0	12	1	1										0	0	0	0	0	6	0	12	1	1	6	0	12	1	1	
2027	Små/mellem	Stage II	27	0	34	2	2										0	0	0	0	0	27	0	34	2	2	27	0	34	2	2	
2027	Små/mellem	Stage IIIA	270	9	709	64	51										0	0	0	0	0	269	9	698	63	50	269	9	698	63	50	
2027	Små/mellem	Stage IIIB	46	3	161	1	1										46	2	135	1	1	46	3	160	1	1	46	3	160	1	1	
2027	Små/mellem	Stage IV	98	5	85	3	2										98	5	80	3	2	98	5	85	3	2	98	5	85	3	2	
2027	Små/mellem	Stage V	860	59	2.222	7	1	1.335	76	3.024	9	1	1.191	70	2.845	8	1	860	59	2.229	7	1	860	59	2.229	7	1	860	59	2.229	7	1
2027	Store	1991-Stage I	7	1	215	19	10										0	0	0	0	0											
2027	Store	Stage I	2	0	33	2	2										0	0	0	0	0											
2027	Store	Stage II	8	1	95	6	5										0	0	0	0	0											
2027	Store	Stage IIIA	88	27	2.037	185	148										0	0	0	0	0											
2027	Store	Stage IIIB	17	7	452	3	2										21	7	467	3	2											
2027	Store	Stage IV	31	14	242	8	6										35	14	243	9	6											
2027	Store	Stage V	292	169	6.378	21	3	446	219	8.678	27	4	390	197	8.086	23	3	446	219	8.678	27	4	390	197	8.086	23	3	390	197	8.086	23	3
2030	Små/mellem	1991-Stage I	18	0	53	5	3										0	0	0	0	0	18	0	53	5	3	18	0	53	5	3	
2030	Små/mellem	Stage I	5	0	12	1	1										0	0	0	0	0	5	0	12	1	1	5	0	12	1	1	
2030	Små/mellem	Stage II	18	0	23	2	1										0	0	0	0	0	18	0	23	2	1	18	0	23	2	1	
2030	Små/mellem	Stage IIIA	126	3	244	22	18										0	0	0	0	0	126	3	241	22	17	126	3	241	22	17	
2030	Små/mellem	Stage IIIB	26	1	55	0	0										26	1	48	0	0	26	1	54	0	0	26	1	54	0	0	

Tabel B.6. Fortsat.

2030 Små/mellem Stage IV	65	1	21	1	1						65	1	19	1	1						65	1	20	1	1						65	1	20	1	1	
2030 Små/mellem Stage V	1.057	69	2.719	9	1	1.315	75	2.984	9	1	1.224	73	2.934	9	1	1.057	69	2.720	9	1	1.057	69	2.720	9	1	1.057	69	2.720	9	1	1.057	69	2.720	9	1	
2030 Store 1991-Stage I	5	0	148	13	7						0	0	0	0	0							0	0	0	0	0						0	0	0	0	0
2030 Store Stage I	1	0	32	2	2						0	0	0	0	0							0	0	0	0	0						0	0	0	0	0
2030 Store Stage II	5	0	65	4	3						0	0	0	0	0							0	0	0	0	0						0	0	0	0	0
2030 Store Stage IIIA	40	9	700	64	51						0	0	0	0	0							0	0	0	0	0						0	0	0	0	0
2030 Store Stage IIIB	10	2	154	1	1						11	2	155	1	1							11	2	155	1	1						11	2	155	1	1
2030 Store Stage IV	21	3	58	2	2						22	3	58	2	2							22	3	58	2	2						22	3	58	2	2
2030 Store Stage V	358	199	7.804	26	4	439	215	8.563	27	4	406	209	8.405	26	4	439	215	8.563	27	4	406	209	8.405	26	4	439	215	8.563	27	4	406	209	8.405	26	4	
2025 Små/mellem Alle	1.345	77	3.475	127	95	1.345	77	3.041	9	1	1.345	77	3.098	13	5	1.345	77	3.457	124	92	1.345	77	3.469	123	92	1.345	77	3.469	123	92	1.345	77	3.469	123	92	
2025 Store Alle	449	220	9.947	363	270	449	220	8.725	26	4	449	220	8.921	40	17	449	220	8.725	26	4	449	220	8.725	26	4	449	220	8.921	40	17	449	220	8.921	40	17	
2027 Små/mellem Alle	1.335	76	3.300	86	61	1.335	76	3.024	9	1	1.335	76	3.059	12	4	1.335	76	3.294	84	60	1.335	76	3.294	84	60	1.335	76	3.294	84	60	1.335	76	3.294	84	60	
2027 Store Alle	446	219	9.451	245	175	446	219	8.678	27	4	446	219	8.796	35	11	446	219	8.678	27	4	446	219	8.678	27	4	446	219	8.796	35	11	446	219	8.796	35	11	
2030 Små/mellem Alle	1.315	75	3.127	40	24	1.315	75	2.984	9	1	1.315	75	3.001	10	2	1.315	75	3.125	39	24	1.315	75	3.125	39	24	1.315	75	3.125	39	24	1.315	75	3.125	39	24	
2030 Store Alle	439	215	8.962	113	69	439	215	8.563	27	4	439	215	8.618	30	6	439	215	8.563	27	4	439	215	8.563	27	4	439	215	8.618	30	6	439	215	8.618	30	6	
2025 Samlet Alle	1.794	297	13.422	490	365	1.794	297	11.767	35	5	1.794	297	12.020	53	22	1.794	297	12.182	151	96	1.794	297	12.182	151	96	1.794	297	12.391	163	108	1.794	297	12.391	163	108	
2027 Samlet Alle	1.781	295	12.752	331	237	1.781	295	11.703	36	5	1.781	295	11.856	46	15	1.781	295	11.972	111	64	1.781	295	11.972	111	64	1.781	295	12.090	119	71	1.781	295	12.090	119	71	
2030 Samlet Alle	1.755	289	12.089	152	94	1.755	289	11.547	37	6	1.755	289	11.619	40	9	1.755	289	11.688	66	28	1.755	289	11.688	66	28	1.755	289	11.743	69	30	1.755	289	11.743	69	30	

Tabel B.7. Resultater for miljøzone c (Store provinsbyer), justeret for geografisk overlap

År	Virksomhed	Emissionstrin	Basis				Scenario 1.A				Scenario 1.B				Scenario 3.A				Scenario 3.B								
			Maskiner x10 ³	Timer	NOx kg	PM2.5 kg	BC kg	Maskiner x10 ³	Timer	NOx kg	PM2.5 kg	BC kg	Maskiner x10 ³	Timer	NOx kg	PM2.5 kg	BC kg	Maskiner x10 ³	Timer	NOx kg	PM2.5 kg	BC kg					
2025	Små/mellem	1991-Stage I	13	0	43	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	0	43	4	2	13	0	43	4	2	
2025	Små/mellem	Stage I	3	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	7	0	0	3	0	7	0	0	
2025	Små/mellem	Stage II	17	0	29	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	17	0	29	2	1	17	0	29	2	1		
2025	Små/mellem	Stage IIIA	136	5	361	33	27	0	0	0	0	0	0	0	136	5	353	32	26	136	5	350	32	26			
2025	Små/mellem	Stage IIIB	20	1	93	1	0	0	0	0	0	0	0	0	20	1	89	1	0	20	1	88	1	0			
2025	Små/mellem	Stage IV	45	3	55	2	1	0	0	0	0	0	0	0	45	3	55	2	1	45	3	55	2	1			
2025	Små/mellem	Stage V	256	16	592	2	0	491	26	1.011	3	0	426	22	907	2	0	256	16	597	2	0	256	16	606	2	0
2025	Store	1991-Stage I	4	0	120	11	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2025	Store	Stage I	1	0	19	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2025	Store	Stage II	6	1	94	6	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2025	Store	Stage IIIA	48	16	1.203	111	88	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2025	Store	Stage IIIB	8	4	280	2	1	0	0	0	0	0	11	5	302	2	1	0	0	0	0	0	11	5	302	2	1
2025	Store	Stage IV	16	10	183	6	4	0	0	0	0	0	19	11	186	6	4	0	0	0	0	0	19	11	186	6	4
2025	Store	Stage V	93	53	1.978	7	1	177	86	3.370	10	2	147	70	2.963	8	1	177	86	3.370	10	2	147	70	2.963	8	1
2027	Små/mellem	1991-Stage I	10	0	34	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	34	3	2	10	0	34	3	2	
2027	Små/mellem	Stage I	2	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	5	0	0	2	0	5	0	0	
2027	Små/mellem	Stage II	10	0	14	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	14	1	1	10	0	14	1	1		
2027	Små/mellem	Stage IIIA	98	3	236	22	17	0	0	0	0	0	0	0	98	3	232	21	17	98	3	232	21	17			
2027	Små/mellem	Stage IIIB	17	1	59	0	0	0	0	0	0	0	17	1	49	0	0	17	1	59	0	0	17	1	59	0	0
2027	Små/mellem	Stage IV	36	2	29	1	1	0	0	0	0	0	36	2	27	1	1	36	2	29	1	1	36	2	29	1	1
2027	Små/mellem	Stage V	314	20	737	2	0	487	26	1.005	3	0	435	23	942	3	0	314	20	740	2	0	314	20	740	2	0
2027	Store	1991-Stage I	3	0	97	9	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2027	Store	Stage I	1	0	15	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2027	Store	Stage II	3	0	42	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2027	Store	Stage IIIA	34	10	789	72	57	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2027	Store	Stage IIIB	7	3	179	1	1	0	0	0	0	0	9	3	185	1	1	0	0	0	0	0	9	3	185	1	1
2027	Store	Stage IV	13	6	95	3	2	0	0	0	0	0	14	6	96	3	2	0	0	0	0	0	14	6	96	3	2
2027	Store	Stage V	114	66	2.462	8	1	175	85	3.351	10	2	153	77	3.120	9	1	175	85	3.351	10	2	153	77	3.120	9	1
2030	Små/mellem	1991-Stage I	7	0	24	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	24	2	1	7	0	24	2	1	
2030	Små/mellem	Stage I	2	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	5	0	0	2	0	5	0	0	
2030	Små/mellem	Stage II	7	0	10	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	10	1	1	7	0	10	1	1	
2030	Små/mellem	Stage IIIA	46	1	84	8	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	46	1	83	8	6	46	1	83	8	6	
2030	Små/mellem	Stage IIIB	10	0	20	0	0	0	0	0	0	0	10	0	18	0	0	10	0	20	0	0	10	0	20	0	0

Tabel B.7. Fortsat.

2030 Små/mellem Stage IV	24	0	8	0	0	0	0	0	0	24	0	7	0	0	24	0	8	0	0	24	0	8	0	0	
2030 Små/mellem Stage V	386	23	901	3	0	480	25	991	3	0	447	25	974	3	0	386	23	901	3	0	386	23	901	3	0
2030 Store 1991-Stage I	2	0	67	6	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2030 Store Stage I	1	0	15	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2030 Store Stage II	2	0	29	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2030 Store Stage IIIA	16	3	274	25	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2030 Store Stage IIIB	4	1	62	0	0	0	0	0	0	0	5	1	62	0	0	0	0	0	0	0	5	1	62	0	0
2030 Store Stage IV	8	1	24	1	1	0	0	0	0	0	9	1	24	1	1	0	0	0	0	0	9	1	24	1	1
2030 Store Stage V	140	77	3.009	10	1	173	83	3.306	11	2	159	81	3.244	10	2	173	83	3.306	11	2	159	81	3.244	10	2
2025 Små/mellem Alle	491	26	1.180	44	33	491	26	1.011	3	0	491	26	1.033	5	2	491	26	1.173	43	32	491	26	1.178	43	31
2025 Store Alle	177	86	3.876	143	106	177	86	3.370	10	2	177	86	3.451	16	7	177	86	3.370	10	2	177	86	3.451	16	7
2027 Små/mellem Alle	487	26	1.116	30	21	487	26	1.005	3	0	487	26	1.019	4	1	487	26	1.114	29	21	487	26	1.114	29	21
2027 Store Alle	175	85	3.678	97	69	175	85	3.351	10	2	175	85	3.401	14	4	175	85	3.351	10	2	175	85	3.401	14	4
2030 Små/mellem Alle	480	25	1.052	14	9	480	25	991	3	0	480	25	998	3	1	480	25	1.051	14	9	480	25	1.051	14	9
2030 Store Alle	173	83	3.480	45	28	173	83	3.306	11	2	173	83	3.330	12	3	173	83	3.306	11	2	173	83	3.330	12	3
2025 Samlet Alle	668	112	5.056	187	139	668	112	4.381	13	2	668	112	4.483	20	9	668	112	4.543	53	33	668	112	4.628	58	38
2027 Samlet Alle	663	111	4.794	127	91	663	111	4.356	14	2	663	111	4.420	18	6	663	111	4.465	40	22	663	111	4.515	43	25
2030 Samlet Alle	653	109	4.531	60	37	653	109	4.298	14	2	653	109	4.328	15	3	653	109	4.357	25	10	653	109	4.381	26	11

Tabel B.8. Resultater for miljøzone d (Små provinsbyer), justeret for geografisk overlap

År	Virksomhed	Emissionstrin	Basis					Scenario 1.A					Scenario 1.B					Scenario 3.A					Scenario 3.B						
			Maskiner	Timer	NOx	PM2.5	BC	Maskiner	Timer	NOx	PM2.5	BC	Maskiner	Timer	NOx	PM2.5	BC	Maskiner	Timer	NOx	PM2.5	BC	Maskiner	Timer	NOx	PM2.5	BC		
			x10 ³	kg	kg	kg	x10 ³	kg	kg	kg	x10 ³	kg	kg	kg	x10 ³	kg	kg	kg	x10 ³	kg	kg	kg	x10 ³	kg	kg	kg			
2025	Små/mellem	1991-Stage I	17	0	43	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17	0	43	4	2	17	0	43	4	2	
2025	Små/mellem	Stage I	4	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	7	0	0	4	0	7	0	0	
2025	Små/mellem	Stage II	21	0	36	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21	0	36	2	2	21	0	36	2	2	
2025	Små/mellem	Stage IIIA	168	7	487	45	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	168	6	479	44	35	167	6	474	43	34	
2025	Små/mellem	Stage IIIB	24	2	114	1	0	0	0	0	0	0	0	0	24	1	91	1	0	24	2	109	1	0	24	2	109	1	0
2025	Små/mellem	Stage IV	56	4	73	2	2	0	0	0	0	0	0	0	56	4	68	2	1	56	4	73	2	2	56	4	73	2	2
2025	Små/mellem	Stage V	315	22	803	3	0	605	35	1.369	4	1	525	29	1.235	3	0	315	22	808	3	0	316	22	819	3	0		
2025	Store	1991-Stage I	4	0	120	11	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2025	Store	Stage I	1	0	19	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2025	Store	Stage II	7	1	104	6	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2025	Store	Stage IIIA	56	19	1.399	128	103	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2025	Store	Stage IIIB	9	5	320	2	1	0	0	0	0	0	0	0	13	5	345	2	1	0	0	0	0	0	13	5	345	2	1
2025	Store	Stage IV	18	12	210	7	5	0	0	0	0	0	0	0	21	12	213	7	5	0	0	0	0	0	21	12	213	7	5
2025	Store	Stage V	107	62	2.305	8	1	202	99	3.926	12	2	168	81	3.457	9	1	202	99	3.926	12	2	168	81	3.457	9	1		
2027	Små/mellem	1991-Stage I	13	0	35	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	0	35	3	2	13	0	35	3	2	
2027	Små/mellem	Stage I	3	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	5	0	0	3	0	5	0	0	
2027	Små/mellem	Stage II	12	0	15	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	15	1	1	12	0	15	1	1	
2027	Små/mellem	Stage IIIA	121	4	319	29	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	121	4	314	28	23	121	4	314	28	23	
2027	Små/mellem	Stage IIIB	21	1	72	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21	1	61	0	0	21	1	72	0	0	21	1	72	0	0
2027	Små/mellem	Stage IV	44	2	38	1	1	0	0	0	0	0	0	0	44	2	36	1	1	44	2	38	1	1	44	2	38	1	1
2027	Små/mellem	Stage V	387	27	1.000	3	1	601	34	1.361	4	1	536	31	1.280	4	1	387	27	1.003	3	1	387	27	1.003	3	1		
2027	Store	1991-Stage I	3	0	97	9	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2027	Store	Stage I	1	0	15	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2027	Store	Stage II	4	0	43	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2027	Store	Stage IIIA	40	12	917	83	66	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2027	Store	Stage IIIB	8	3	203	1	1	0	0	0	0	0	0	0	10	3	210	1	1	0	0	0	0	0	10	3	210	1	1
2027	Store	Stage IV	14	6	109	4	3	0	0	0	0	0	0	0	16	6	110	4	3	0	0	0	0	0	16	6	110	4	3
2027	Store	Stage V	131	76	2.870	10	1	201	98	3.905	12	2	175	89	3.639	10	2	201	98	3.905	12	2	175	89	3.639	10	2		
2030	Små/mellem	1991-Stage I	8	0	24	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	24	2	1	8	0	24	2	1	
2030	Små/mellem	Stage I	2	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	5	0	0	2	0	5	0	0	
2030	Små/mellem	Stage II	8	0	11	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	11	1	1	8	0	11	1	1	
2030	Små/mellem	Stage IIIA	57	1	110	10	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	57	1	109	10	8	57	1	109	10	8	
2030	Små/mellem	Stage IIIB	12	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	22	0	0	12	0	24	0	0	12	0	24	0	0

Tabel B.8. Fortsat.

2030 Små/mellem Stage IV	29	1	9	0	0	0	0	0	0	29	1	8	0	0	29	1	9	0	0	29	1	9	0	0	
2030 Små/mellem Stage V	475	31	1.224	4	1	592	34	1.343	4	1	551	33	1.320	4	1	476	31	1.224	4	1	476	31	1.224	4	1
2030 Store 1991-Stage I	2	0	67	6	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2030 Store Stage I	1	0	15	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2030 Store Stage II	2	0	29	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2030 Store Stage IIIA	18	4	315	29	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2030 Store Stage IIIB	5	1	69	0	0	0	0	0	0	0	5	1	70	0	0	0	0	0	0	0	5	1	70	0	0
2030 Store Stage IV	9	2	26	1	1	0	0	0	0	0	10	2	26	1	1	0	0	0	0	0	10	2	26	1	1
2030 Store Stage V	161	90	3.512	12	2	198	97	3.853	12	2	183	94	3.782	12	2	198	97	3.853	12	2	183	94	3.782	12	2
2025 Små/mellem Alle	605	35	1.564	57	43	605	35	1.369	4	1	605	35	1.394	6	2	605	35	1.556	56	42	605	35	1.561	55	41
2025 Store Alle	202	99	4.476	163	122	202	99	3.926	12	2	202	99	4.015	18	8	202	99	3.926	12	2	202	99	4.015	18	8
2027 Små/mellem Alle	601	34	1.485	39	28	601	34	1.361	4	1	601	34	1.377	5	2	601	34	1.482	38	27	601	34	1.482	38	27
2027 Store Alle	201	98	4.253	110	79	201	98	3.905	12	2	201	98	3.958	16	5	201	98	3.905	12	2	201	98	3.958	16	5
2030 Små/mellem Alle	592	34	1.407	18	11	592	34	1.343	4	1	592	34	1.351	5	1	592	34	1.406	18	11	592	34	1.406	18	11
2030 Store Alle	198	97	4.033	51	31	198	97	3.853	12	2	198	97	3.878	13	3	198	97	3.853	12	2	198	97	3.878	13	3
2025 Samlet Alle	807	134	6.040	221	164	807	134	5.295	16	2	807	134	5.409	24	10	807	134	5.482	68	43	807	134	5.576	74	49
2027 Samlet Alle	801	133	5.738	149	107	801	133	5.266	16	2	801	133	5.335	21	7	801	133	5.388	50	29	801	133	5.441	53	32
2030 Samlet Alle	790	130	5.440	68	42	790	130	5.196	17	2	790	130	5.229	18	4	790	130	5.260	30	13	790	130	5.284	31	14

MILJØEFFEKTER AF MILJØZONER FOR MOBILE IKKE-VEJGÅENDE ARBEJDSMASKINER

Rapporten beskriver effekten for emissioner og luftkvalitet ved udbredelse af miljøzoner for mobile ikke-vejgående arbejdsmaskiner. Effekten undersøges for fire geografiske afgrænsninger: nuværende miljøzone for vejtrafik, nuværende miljøzone for vejtrafik plus Københavns omegnskommuner, større provinsbyer med over 50.000 indbyggere, og mindre provinsbyer med over 25.000 indbyggere. Tre miljøzonekrav er opstillet: Stagekravbaseret, eftermontering af filtre, og afgiftsbaseret. To ambitionsniveauer er undersøgt for miljøzonekravene: A - stageniveau V og B - stageniveau IIIB/IV. Emissionerne er beregnet med DEMOS-NRMM modellen, som indeholder de grundlæggende emissionsfaktorer for NO_x og PM_{2,5}. Til at undersøge miljøeffekter er den atmosfæriske lokalskala spredningsmodel OML-Multi anvendt for udvalgte byer.