



Luftschadstoffmodellierung für die gesundheitliche Bewertung sowie aktuelle planerische Strategien zur Minderung der Luftschadstoffbelastungen in Dänemark

Matthias Ketzel

Lise M. Frohn, Jesper H. Christensen, Jørgen Brandt, Andreas
Massling, Christopher Andersen, Ulas Im, Steen Solvang Jensen,
Jibran Khan, Ole-Kenneth Nielsen, Marlene S. Plejdrup



Outline

Motivation

Methodik - Modellbeschreibung

Ergebnisse und Validierung

Strategien zur Minderung der Luftschadstoffbelastungen

Luftqualität und Klimawandel und globale Herausforderungen

Global Burden of Disease of Air Pollution (2019)

Global Deaths per Year

Ambient PM_{2.5} pollution:

4.1 million

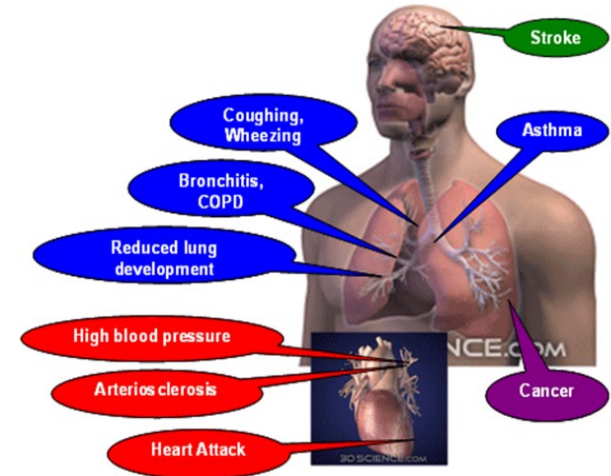
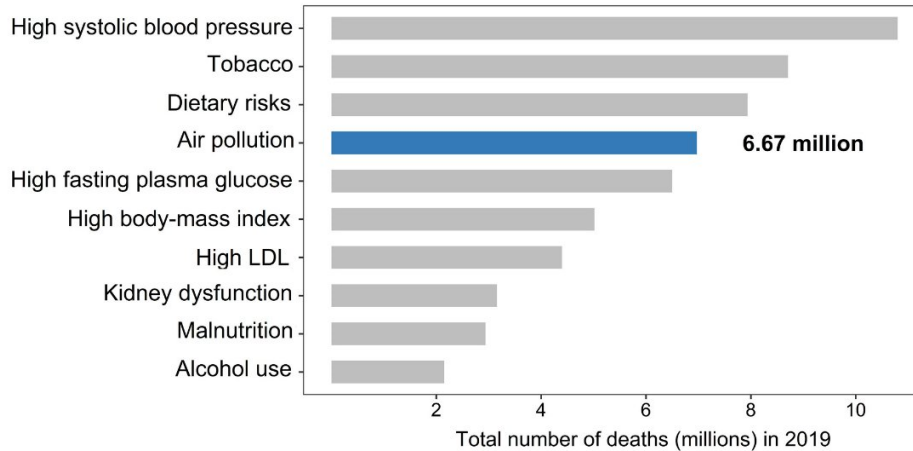
Ambient ozone pollution:

0.37 million

Household air pollution from solid fuels:

2.3 million

**1 of every 8.5
deaths globally!**



Global ranking of risk factors by total number of deaths from all causes in 2019.



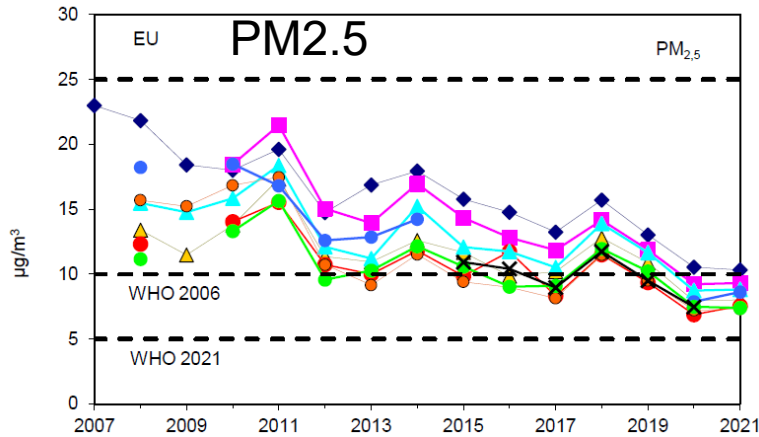
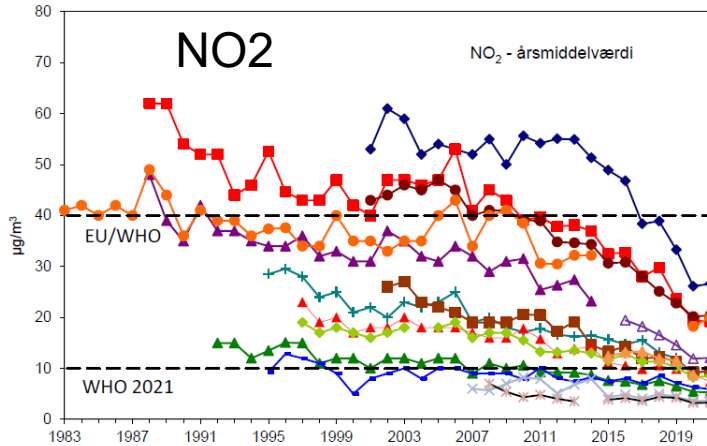
UN SDG :



Air Pollution
addressing
5 out of
17 SDG's

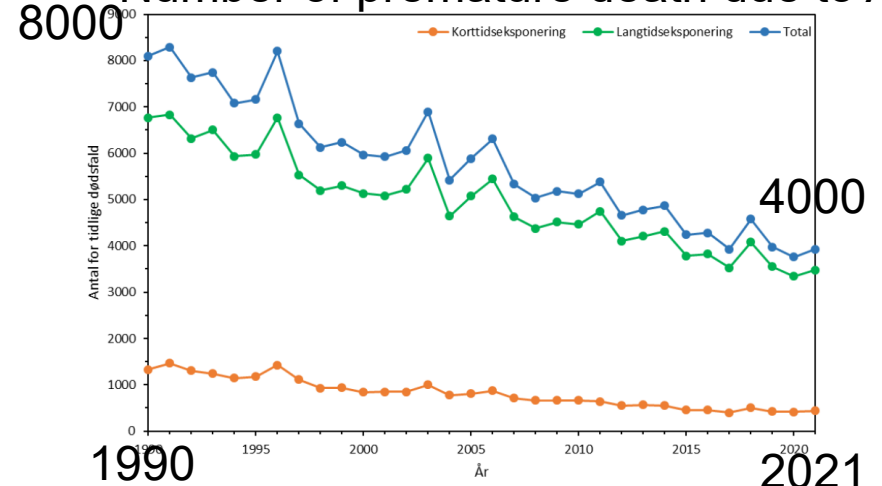
www.sdg.org

Measured annual averages in Denmark



Juni 2023

Number of premature death due to AP



1990

2021

Figur 12.1. Det samlede antal tilfælde af for tidlige dødsfald som følge af den samlede luftforurening af $PM_{2.5}$, ozon (O_3) kvælstofdioxid (NO_2) og svovldioxid (SO_2) i Danmark, samt antal tilfælde fordelt på langtids- og korttidsseksponering. Beregningerne er foretaget med EVA7.1.

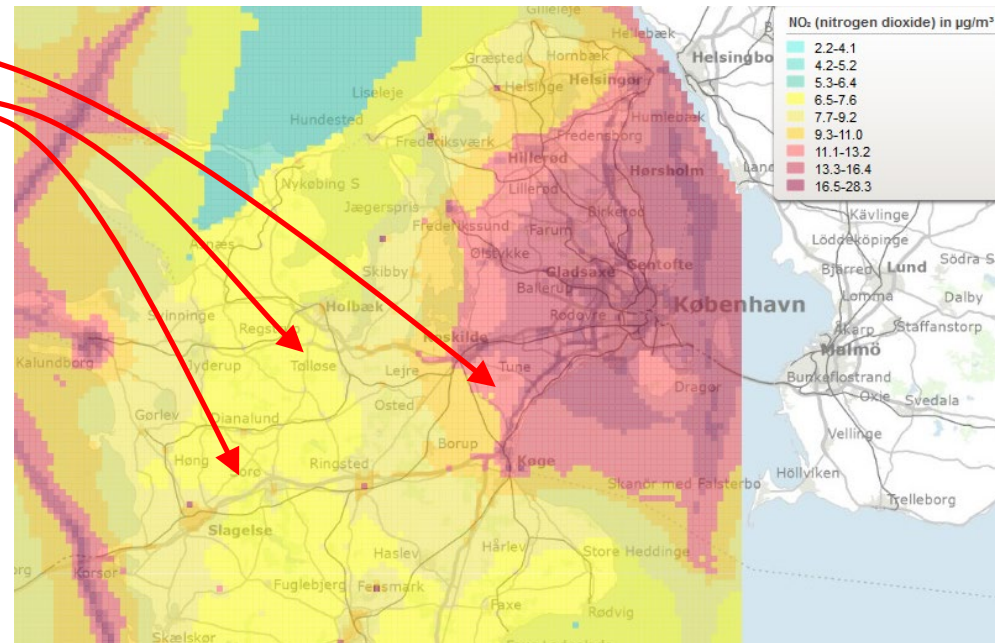
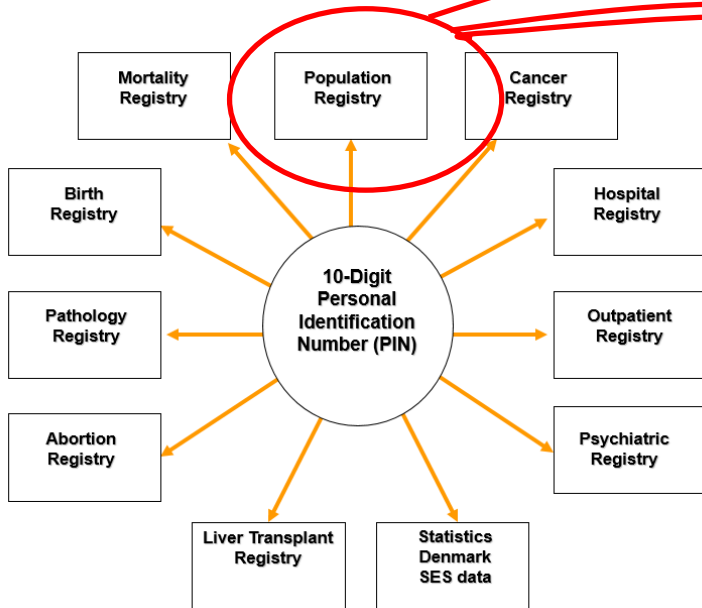
EU-Grenzwerte und WHO-Richtlinien

Pollutant	Averaging time	WHO	WHO	EU limit	EU
		AQG level	AQG level	AAQD	draft
		2005	2021	2008	2022
		($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
PM_{2.5}	Annual	10	5	25	10
	24-hour ^a	25	15	n.a.	
PM₁₀	Annual	20	15	40	20
	24-hour ^a	50	45	50 ^e	
O₃	Peak season	-	60	n.a.	
	8-hour ^b	-	100	120 ^f	
	Daily max 8-hour	100	-	-	
NO₂	Annual	20	10	40	20
	24-hour ^a	-	25	-	
	1-hour	200	n.a.	200 ^c	
SO₂	24-hour ^a	-	40	-	20
	24-hour max	20	-	125 ^d	
	10-minutes	500	-	n.a.	
CO	24-hour ^a	-	4	n.a.	

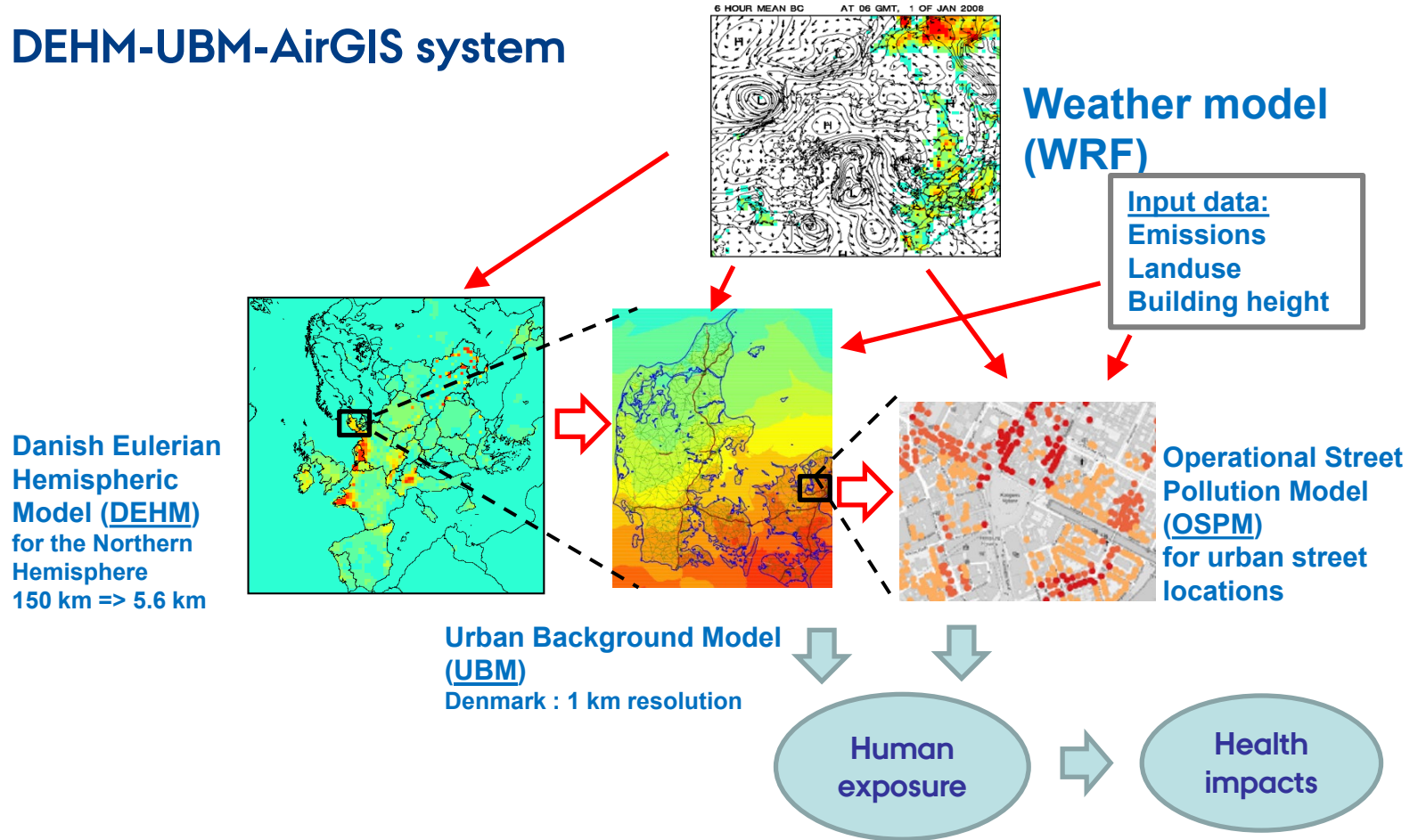
Which part of air pollution makes us sick?

Many epi studies in Denmark to link AP to various health outcomes
linked national registries and high-resolution nation-wide exposure models

DATA LINKAGE USING NATION-WIDE REGISTRIES

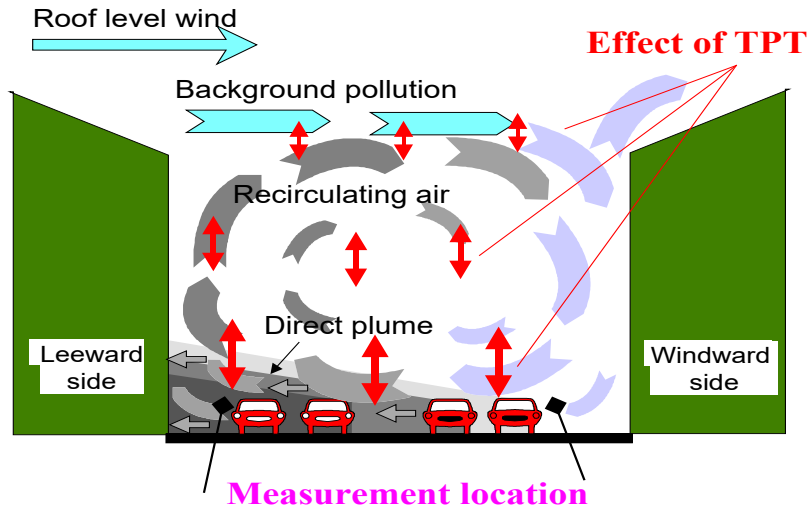


DEHM-UBM-AirGIS system

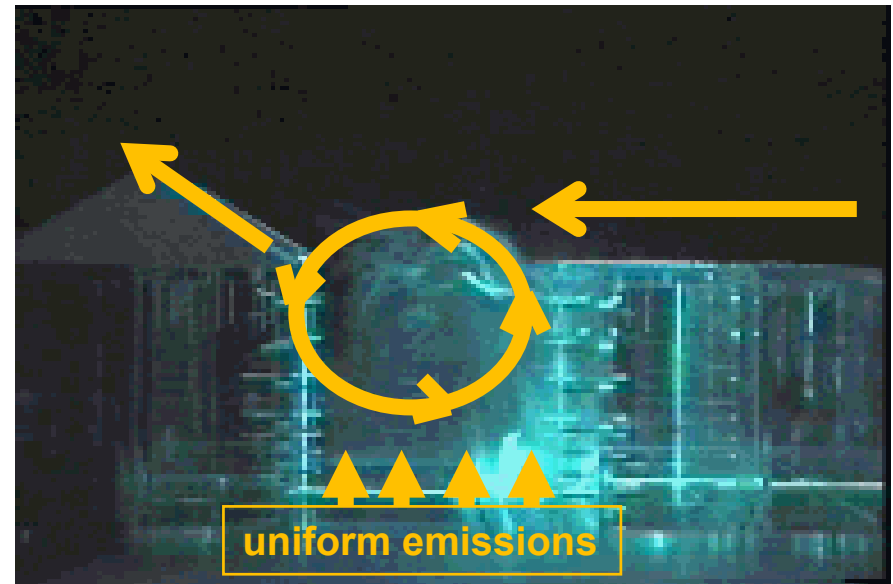


OSPM - street pollution modelling

Recirculation flow inside the street



Model



Wind tunnel



Pt.number/UFP introduced

Annual average 2018

Particle number concentration in # / cm³

DEHM - regional

UBM - local

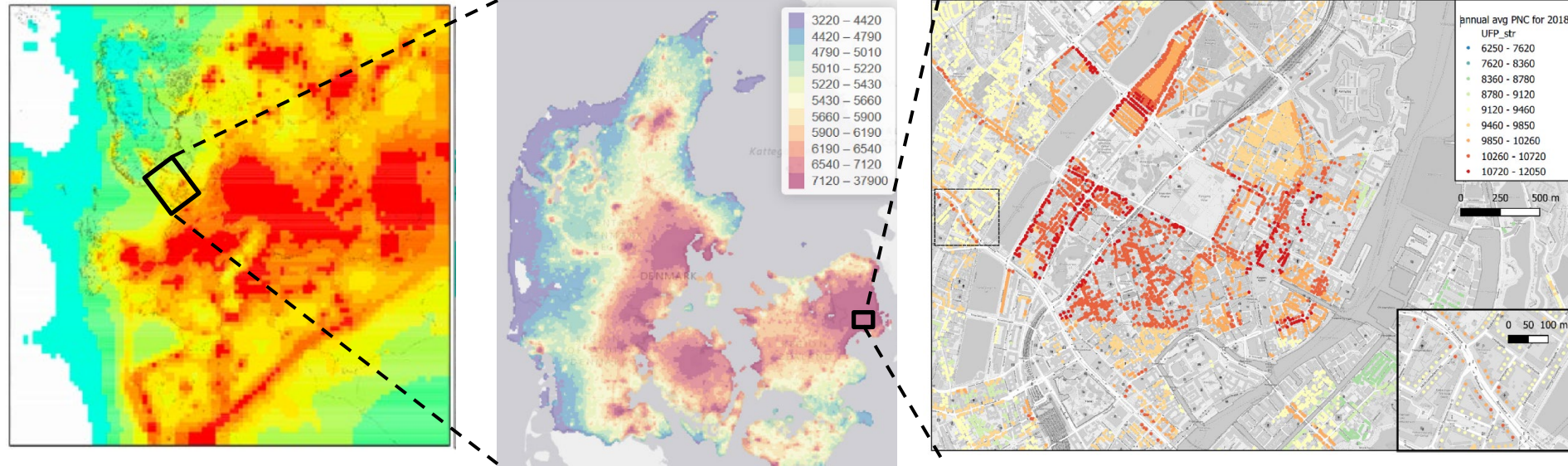
OSPM - street

Atmospheric Environment 264 (2021) 118633

Modelling ultrafine particle number concentrations at address resolution in Denmark from 1979-2018 – Part 1: Regional and urban scale modelling and evaluation

Modelling ultrafine particle number concentrations at address resolution in Denmark from 1979 to 2018 - Part 2: Local and street scale modelling and evaluation

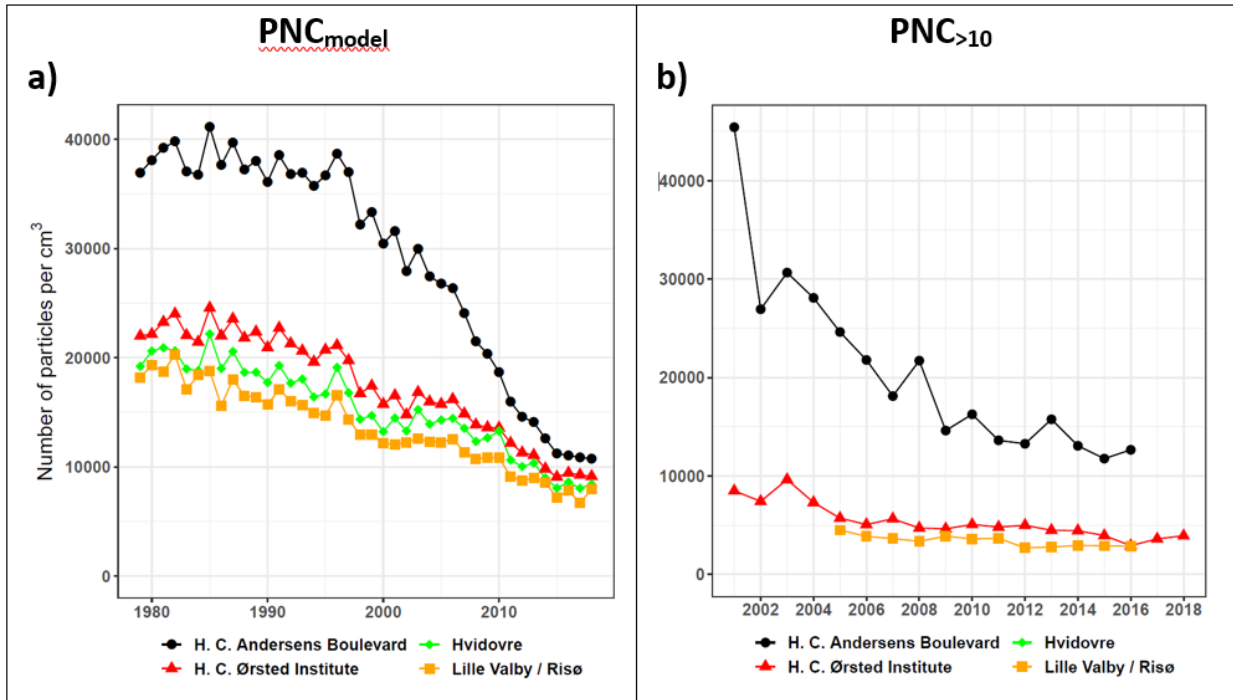
Matthias Ketzel^{a,c,e}, Lise M. Frohn^a, Jesper H. Christensen^a, Jørgen Brandt^{a,e}, Andreas Massling^a, Christopher Andersen^{a,f}, Ulas Im^a, Steen Solvang Jensen^a, Jibrán Khan^{a,f}, Ole-Kenneth Nielsen^a, Marlene S. Plejdrup^a, Astrid Manders^b, Hugo Denier van der Gon^b, Prashant Kumar^c, Ole Raaschou-Nielsen^{d,a}





Particle number conc. annual average

Model from 1979-2018 Measured at 3 stations since 2001/2005



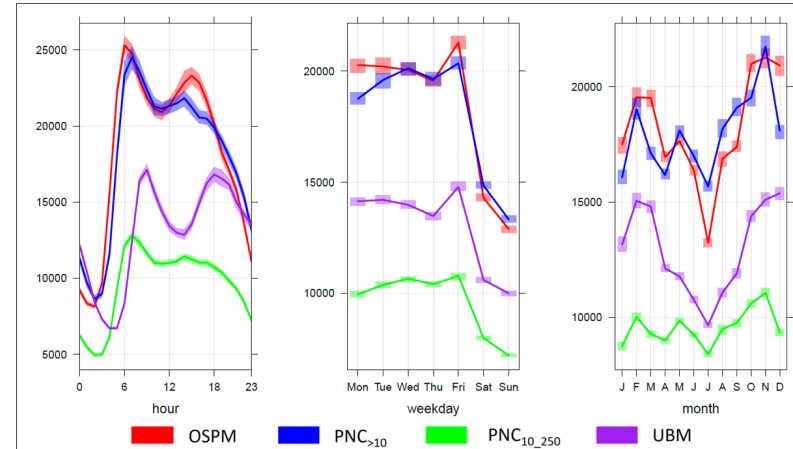
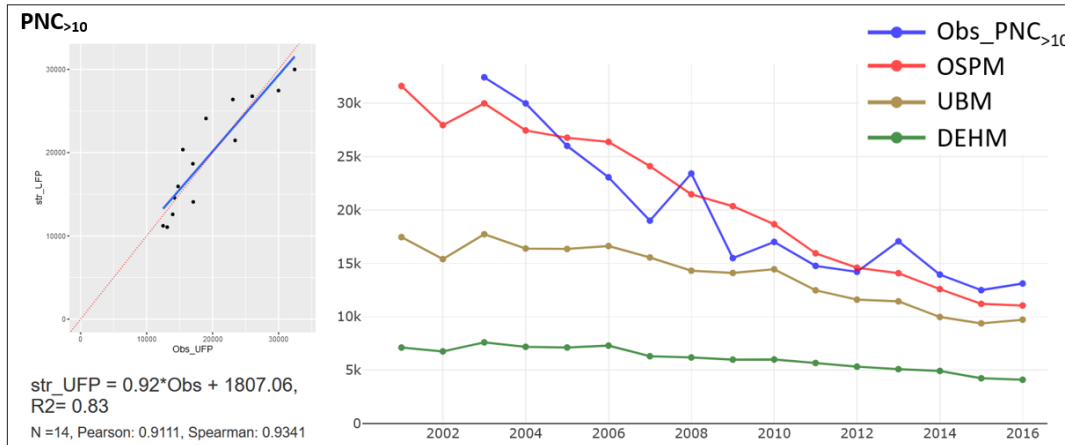


Validation H.C. Andersens Boulevard (street station)

Annual averages

modelled particle number concentration compared to measurements

Units $\#/cm^3$



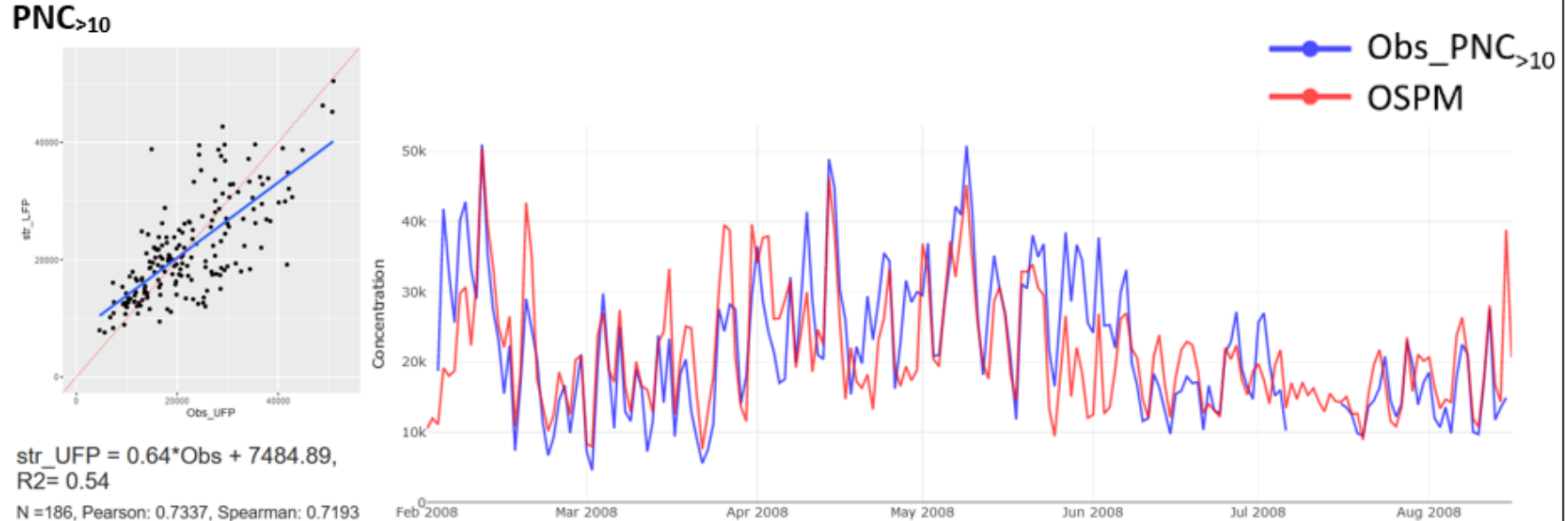


Validation H.C. Andersens Boulevard (street station)

Daily averages

modelled particle number concentration compared to measurements

Units $\#/cm^3$

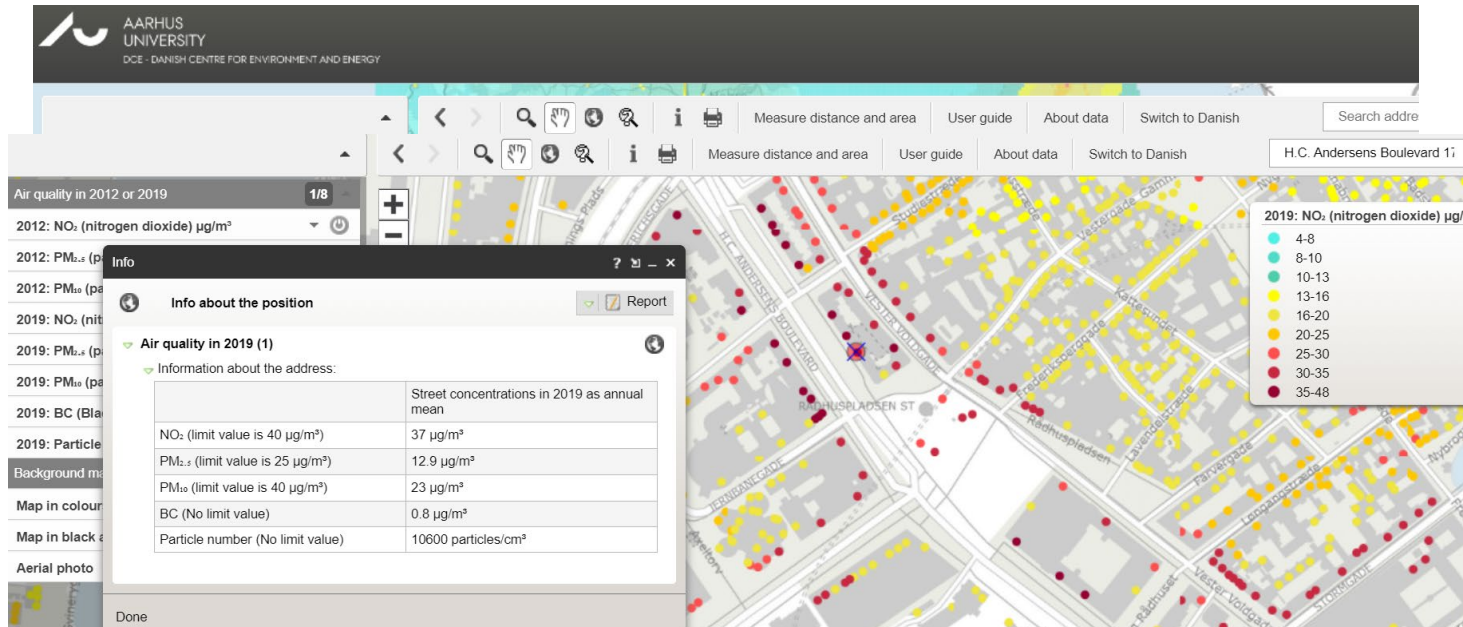


Air quality in your street

Interactive web-page to access AQ information at street level for all addresses in Denmark

Luftenpaadinvej.au.dk

<http://lpdv-en.spatialsuite.dk/spatialmap>

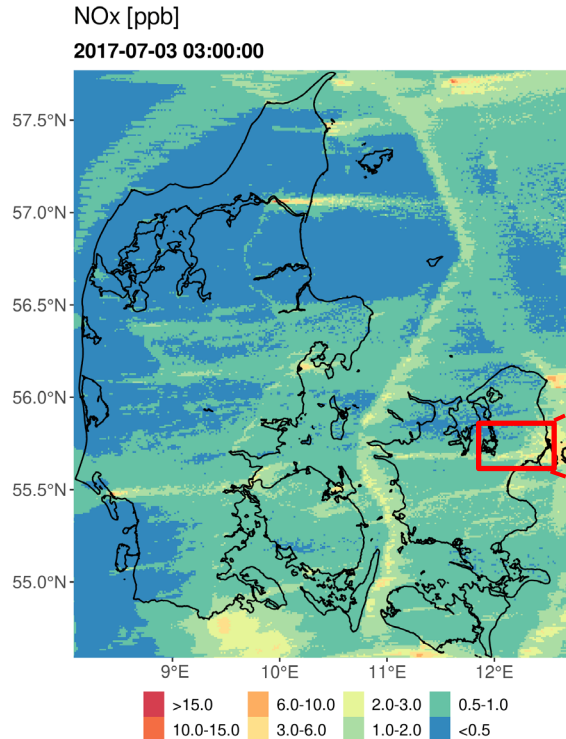


Jensen, S.S., Ketzel, M., Khan, J., Valencia, V.H., Brandt, J., Christensen, J.H., Frohn, L.M., Nielsen, O.-K. Plejdrup, M.S., Ellermand, T. (2021): <http://dce2.au.dk/pub/SR445.pdf>

Outlook to new development:

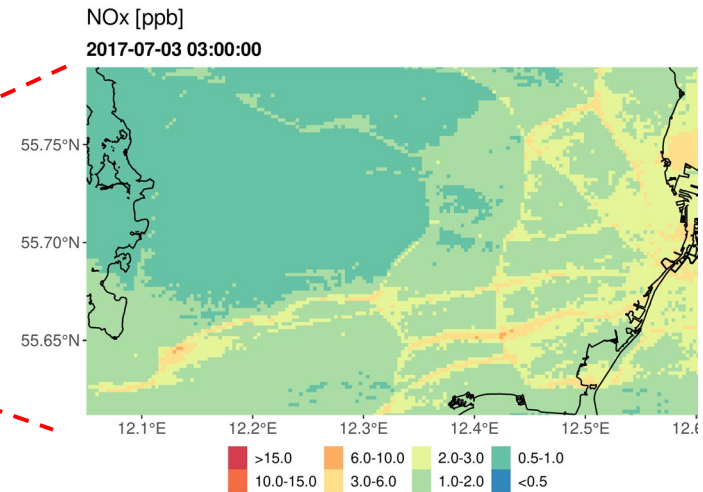
Danish Lagrangian Model (DALM) – to replace UBM

Authors: *Christopher Andersen*, Matthias Ketzler, Ole Hertel, Jesper H. Christensen,
and Jørgen Brandt



1 km x 1 km resolution

200 m x 200 m resolution

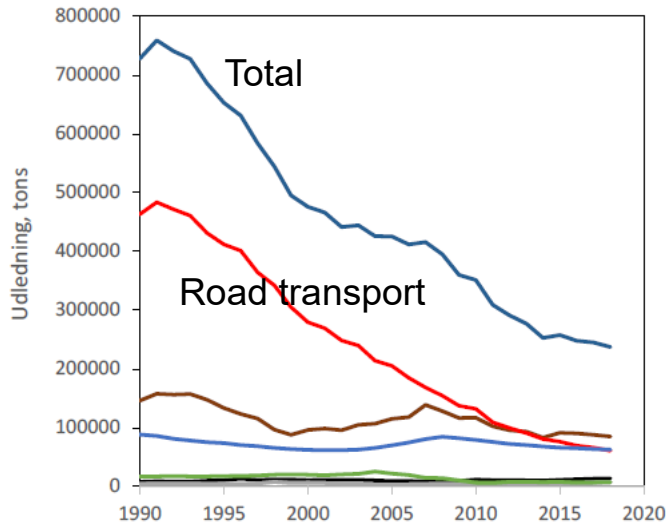




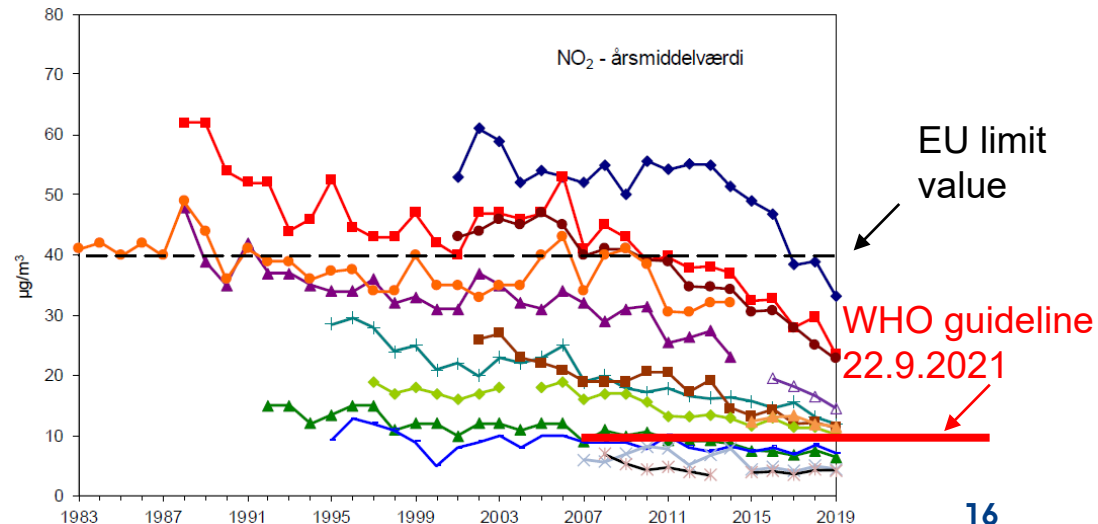
Strategien zur Luftschadstoffreduktion

=> Reduktion von Emissionen zeigt Wirkung

Danish annual NO_x emissions (t/a)

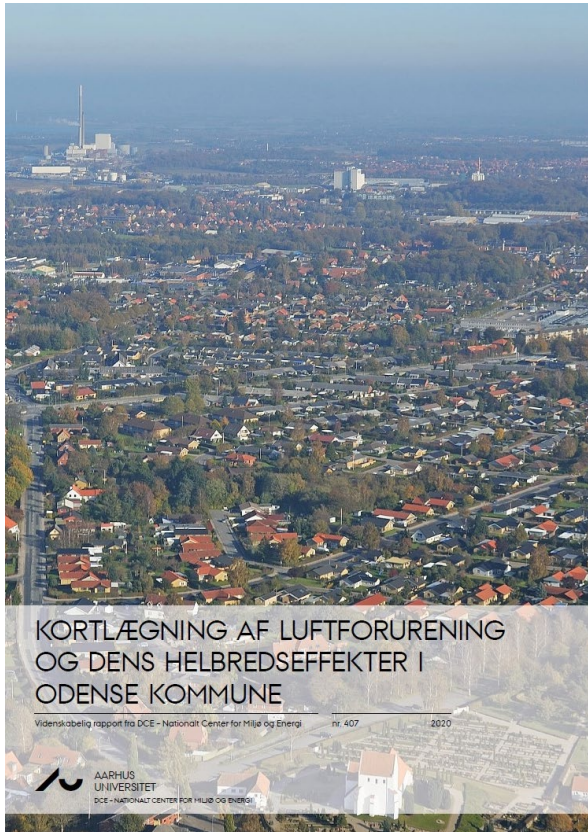


Ambient NO₂ concentrations at DK stations (µg/m³)

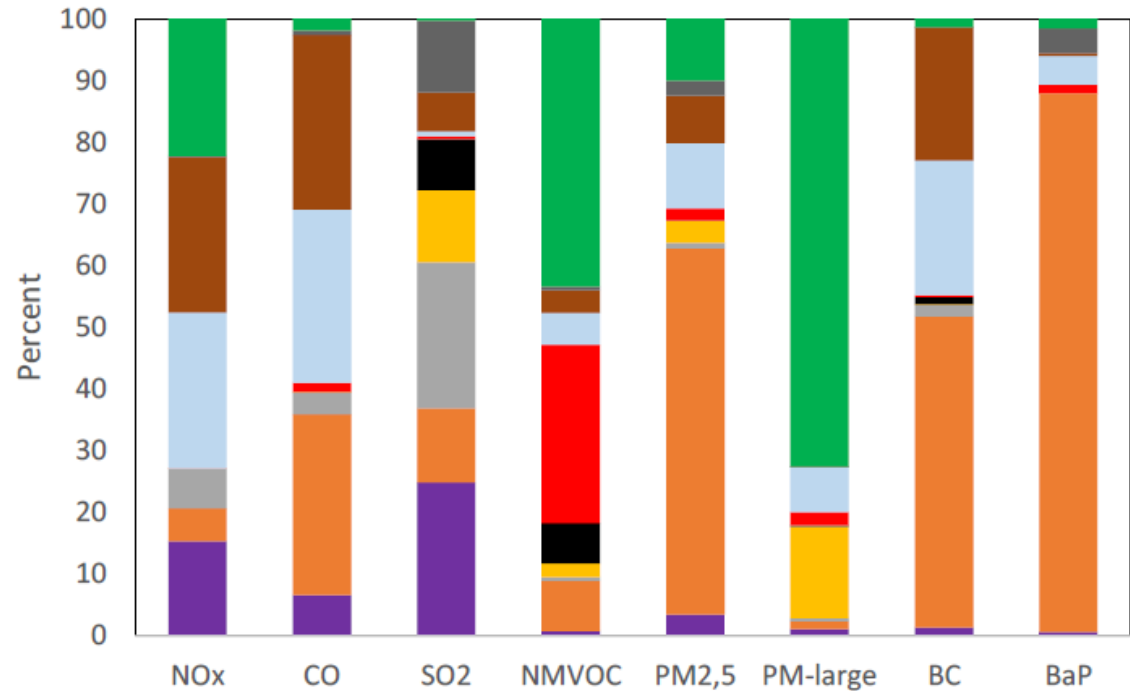




Kartierung und Instrumentenkatalog



Emissionen aus dänischen Quellen





Werkzeug Katalog

Art der Massnahme:	Effekte			Nebengewinn		Aktöre		
	Emission	Luftgüte	I alt	Klima	Lärm	Land	Kommune	Forschung & Entwicklung
Stadtplanung								
Gesamtstädtebauliche und verkehrstechnische Gesamtplanung	x	x	*	x	x		x	
Architektur urbaner Räume		x	*		x		x	
Lokalisierung von umweltsensiblen Funktionen		x	*		x		x	
Verkehrsplanung								
Verkehrsaufkommen und – geschwindigkeit	xx	xx	**	x	x		x	
ÖPNV	xx	xx	**	x	x		x	
Radverkehr	xx	xx	**	x	x		x	
Car sharing	x	x	*	x	x		x	
Elektrifizierung des Verkehrs								
Personenkraftwagen (Motorräder !!)	xxxxx	xxxxx	xxxx	x	x	x	x	x
Leichte Nutzfahrzeuge	xxx	xxx	xxx	x	x	x	x	x
Schwere Nutzfahrzeuge	xxx	xxx	xxx	x	x		x	x
Busse	xx	xx	**	x	x		x	x
Wirtschaftliche Instrumente und Regulierung von Fahrzeugen								
Umweltzonen	xxxx	xxxx	xxxx			x		
Baumaschinen	x	x	*	x	x	x	x	
City Maut	xx	xx	**	x	x	x		
Road pricing (kilometerfeine Abrechnung)	xx	xx	**	x	x	x		
Parkgebühren abhängig von Euronorm	x	x	*				x	
Kaminöfen / Hausbrand								
Informations – Kampagnien	x	x	*				x	
Kommunales Abwrackprämie	xxx	xxx	xxx				x	
Vorschrift für Partikelfilter	xxxxx	xxxxx	xxxxx	x		x	x	x
Verbot von Kaminöfen und Steuern	xxxx	xxxx	xxxx			x		
Verstärkte Umweltaufsicht	x	x	*				x	
Nicht quellenbasierte Instrumente								
Bäume und Bepflanzung		x	*	x			x	
Photokatalytische Beschichtungen		x	*				x	
Partikelreduzierende Fahrbahndecke, etc.		x	*					x



Elektrifizierung des Straßenverkehrs

Keine Abgase und damit verbundene gesundheitliche Auswirkungen
- aber weiterhin Abrieb und Aufwirbelung

Ziel: CO₂ neutral in 2030

Mehr Modelle, größere Reichweite, schnelleres Aufladen

Norwegen führend dank starker Anreize

1 mio. Elektroautos und Plug-in-Hybride in Dänemark im Jahr 2030?



Der Straßenraum in den Städten ist begrenzt

Autos



Busse



Fahrräder



Auch großer Platzbedarf mit Elektroautos

Fossile Autos



Elektroautos



Selbstfahrende Autos



Umweltzonen

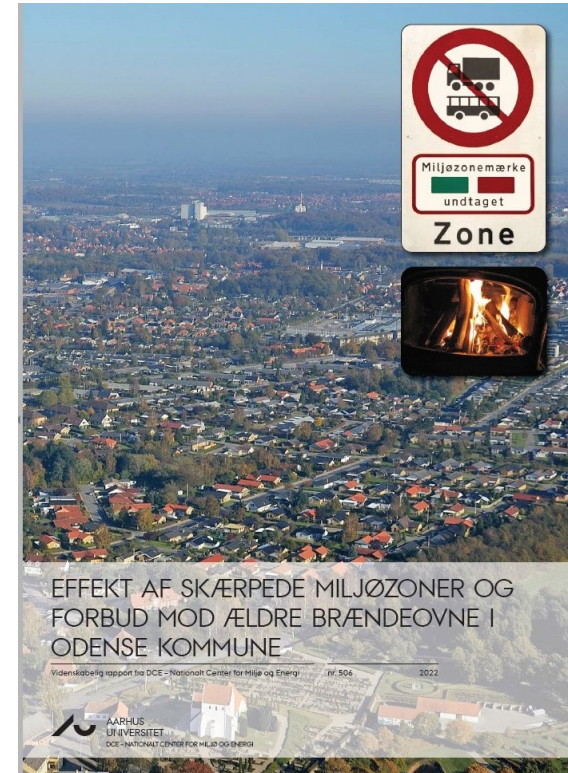
Wirkung aufgrund von Vorschrift von neueren Euronorm

Neues Gesetz 2021 mit strengeren Anforderungen an Umweltzonen:

- Verbot von Diesel-Pkw ohne Partikelfilter (z.B. \leq EU4)
- Vorziehen des E5-Verbots für Diesel-Transporter

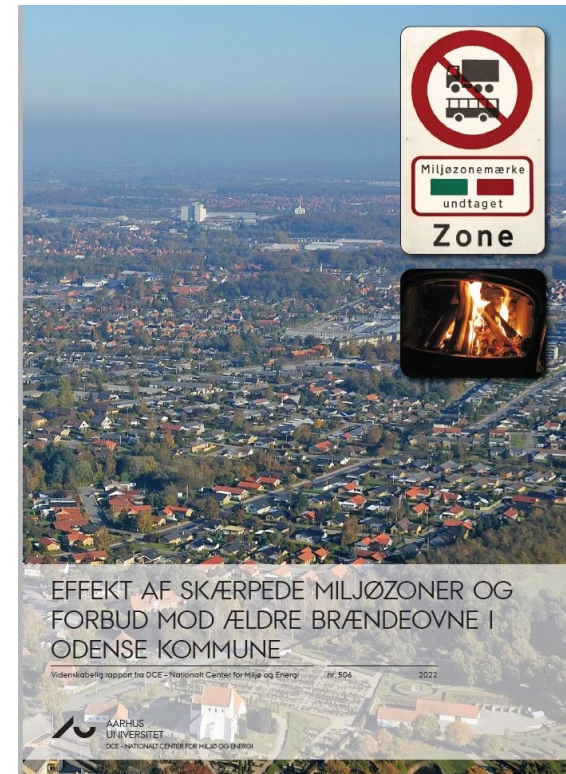
Am ambitioniertesten: Ultra Low Emission Zone in London (April 2019, Euro 6 für alle Dieselfahrzeuge)

Der Gesetzentwurf ermöglicht es allen Gemeinden, Null-Emissions-Zonen in abgegrenzten städtischen Gebieten einzurichten



Verbot von Kaminöfen vor 2008

- › **Neues Gesetz erlaubt es Kommunen, ältere Kaminöfen vor 2008 in Gebieten mit kollektiver Wärmeversorgung zu verbieten**
- › **Wirkung in neuem Bericht bewertet**
- › **Anzahl der betroffenen Kaminöfen und eingesparte Emissionen**
- › **Abschätzung der Auswirkungen auf die Luftqualität und die Auswirkungen auf die Gesundheit und der damit verbundenen sozialen Kosten**



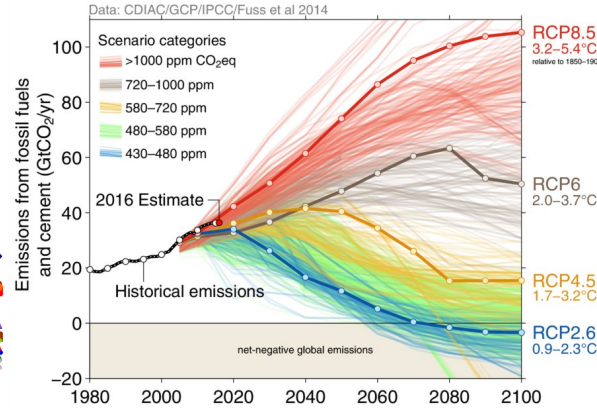
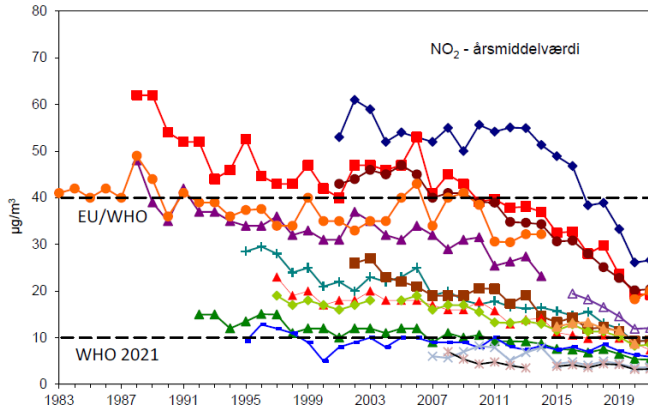
Kreuzfahrtschiffe und Luftqualität

- › Mehr Wohn-/Gewerbeflächen in den Häfen bei steigender Anzahl von Kreuzfahrtschiffen
- › Grenzwert für den Spitzenwert von NO₂ (19. maximaler Stundenwert in einem Jahr) in Höhen zwischen 25 m und 70 m in benachbarten Gebieten in den Häfen von Kopenhagen, Aarhus, Aalborg und Skagen deutlich überschritten
- › Landstrom mögliche Lösung





Air Pollution vs. Climate Change vs. Global challenges



$$\text{Emissions (kg)} = \text{Emission-factor (kg/GJ)} \times \text{Activity (GJ)}$$

Technical solutions (filters, SECA, NECA)
Changing fuels (EV, ammonia,...)
Replacing compounds (PFAS ...)

Changing habits
Living standard
consumption

It is possible:
Covid-19
Energy crisis with
Ukraine war

Most in focus in the moment, but not sufficient !

More attention / research needed here !!



Meine Kernaussagen

Gut entwickelte Modelle zur Bewertung der Luftverschmutzung und ihrer Auswirkungen inkl. erste Version für UFP

EU Grenzwerte eingehalten, aber WHO-Empfehlungen massiv überschritten

Rund 4.000 vorzeitige Todesfälle und eine hohe Morbidität aufgrund der Luftverschmutzung in Dänemark, ca. 10 Milliarden EURO an Kosten

Ein großer Teil kommt aus dem Ausland, aber auch Dänemark leistet einen ähnlichen Beitrag im Ausland – die Luftverschmutzung ist grenzüberschreitend

Die größten Quellen in Dänemark sind Kaminöfen, Landwirtschaft und Verkehr

Die Luftverschmutzung kann sowohl durch dänische als auch durch internationale Initiativen verringert werden

! Wir müssen immer mehr an der Verringerung unserer Aktivitäten / Energieverbrauch arbeiten!