

Best practice og erfaringer med anvendelse af masseflowtest til undersøgelse ved indeluftrisiko

Trine Skov Jepsen, Per Loll, Martin Flyhn
og Sine Thorling Sørensen, **DMR**

Mads Buchardt Mundt og Ane Weitling
Jantzen, **Tidl. DMR**

Maria Hag og Mads Georg Møller,
Region Hovedstaden

Ventilator

Flowmåler

Vandudskiller

Ventilationsdræn

Prøvepunkt til måling
af flow og koncentration

Poreluft



Kender du det?

- Der er lavet en grundig undersøgelse af en forureningskilde.
- Der er udtaget indeluftmålinger som viser risiko for indeluften i boligen.
- Der skal udføres afværge - MEN...
- Kan sagen løses passivt?

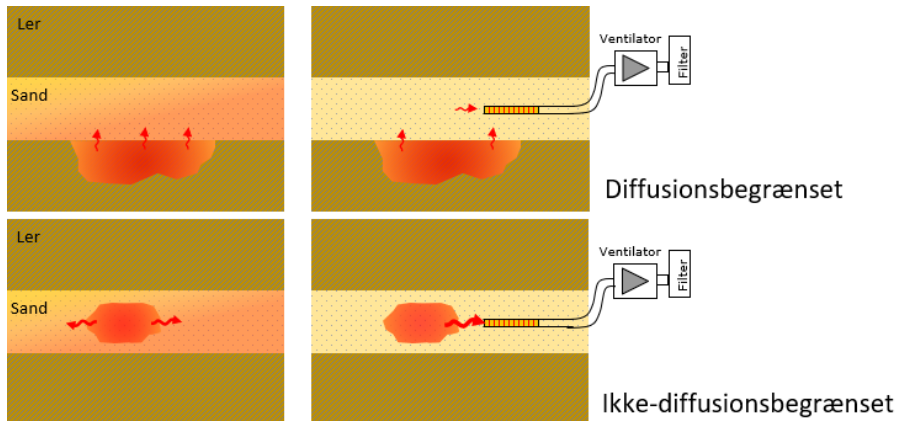


**Masseflowtesten kan hjælpe
dig med det
- og meget andet...**

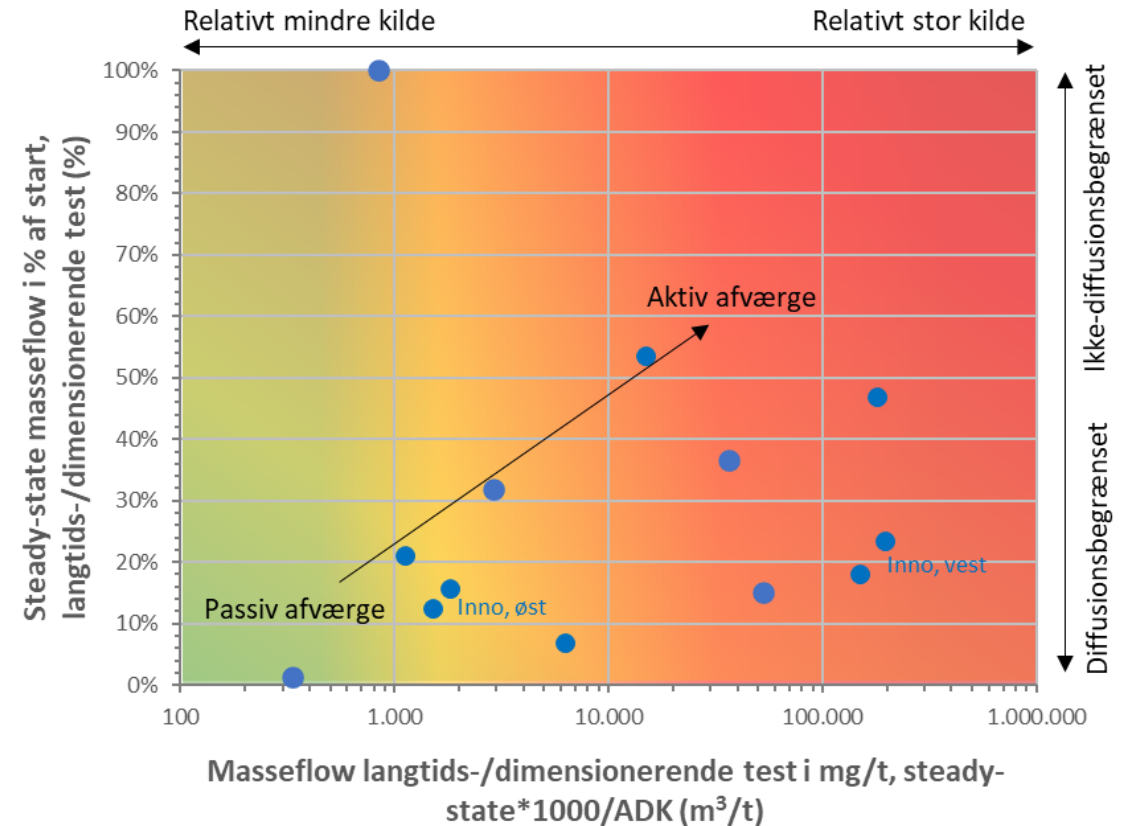


Test af fremtidig afværg

Diffusionsbegrænsning:
Forureningstransport fra kildeområde
til sugepunkt er afhængig af diffusion
ud af f.eks. en lermatrice.



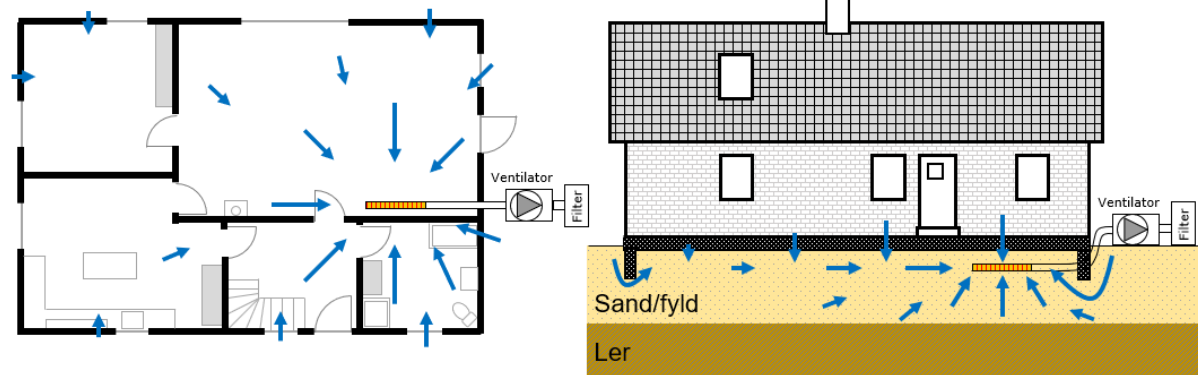
Diffusionsbegrænsning
- Langtidsmasseflowtest



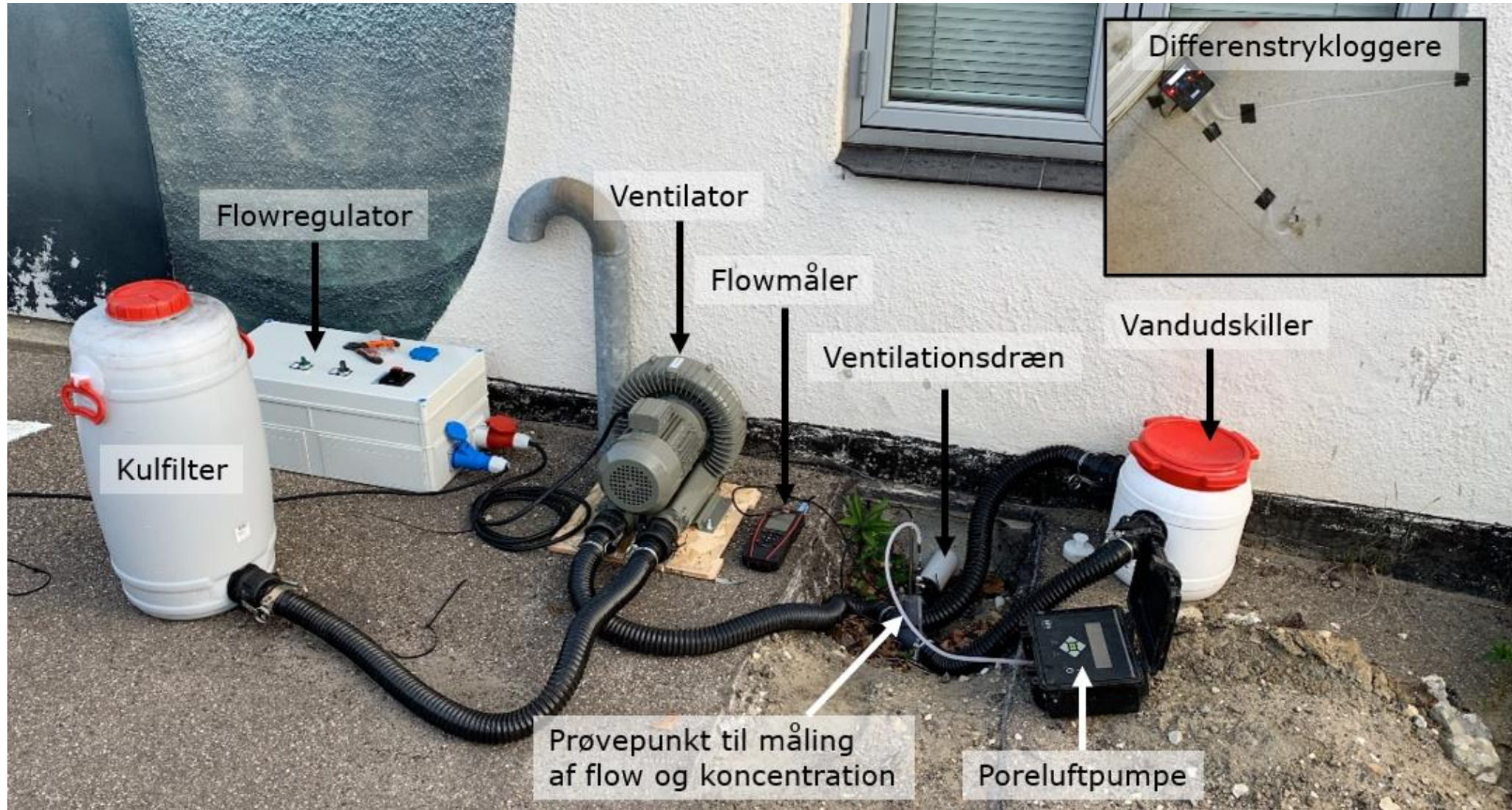
Stor eller lille forurening (risikopotentiale)
- Korttidsmasseflowtest/langtidsmasseflowtest

Flow (m^3/t) ganget med koncentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) giver det masseflow ($\mu\text{g}/\text{t}$), som forureningen kan afgive indenfor systemets influenszone.

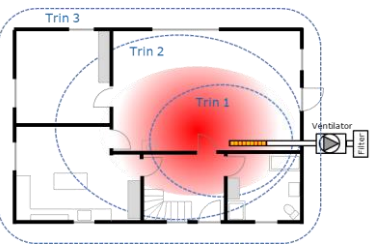
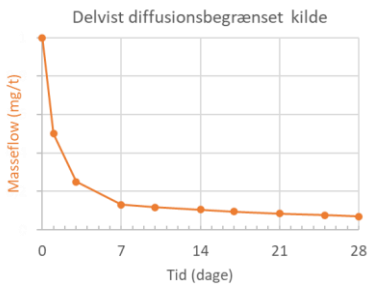
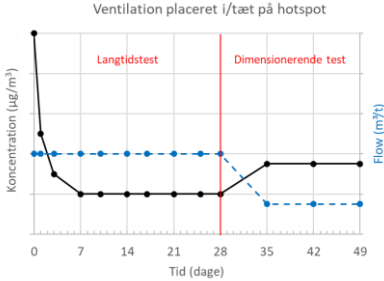
- Masseflowtests udføres ved at tiltrække forureningsdampe fra et ventilérbart kildeområde (f.eks. et kapillarbrydende lag), via aktivt sug, og løbende udføre målinger af flow og koncentration.
 - Masseflowets størrelse er et udtryk for, hvor stor en masse forureningen kan afgive pr. tidsenhed -> et risikopotentiale.
 - Forløbet af koncentration og masseflow igennem testen giver værdifuld viden om forureningens samspil med omgivelserne -> konceptuel tolkning.
- En masseflowtest er et redskab til systemanalyse.
- Masseflowtesten kan ikke udføres på bar mark -> der kræves som udgangspunkt et "låg" i form af eks. bygning eller betondæk.



Sådan gør man



Masseflowtests - Tre testtyper

	Korttidsmasseflowtest (korttidstest) • Indikationer af forureningens rumlighed og placering ift. drænets placering • Indikation af om der indledningsvist fjernes ophobet masse • Evt. indikation af hvorvidt kilden er diffusionsbegrænset eller ikke • Indikation af kildens risikopotentiale	Stigende flow i tre til fire trin - dage.
	Langtidsmasseflowtest (langtidstest) • Vurdering af hvorvidt kilden er diffusionsbegrænset eller ikke • Vurdering af kildens risikopotentiale	Konstant højt flow - uger.
	Dimensionerende masseflowtest (dimensionerende test) • <u>Test</u> af effektiviteten af en aktiv eller passiv afværg (undertryks- vs. luftskifteløsning) • Parametre til dimensionering af en fremtidig afværg	Konstant (ofte lavere) flow - uger.

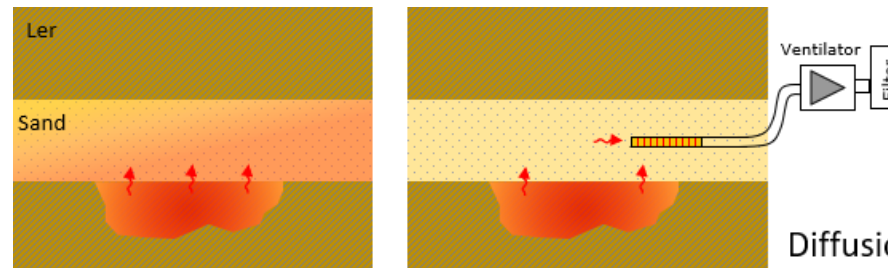
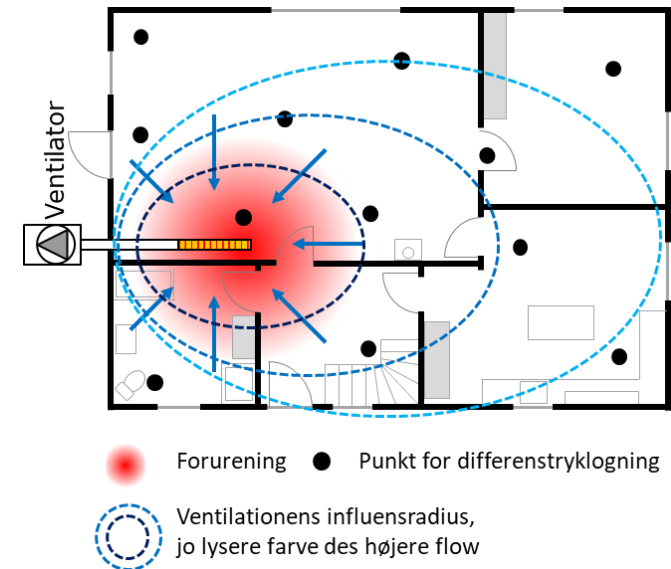
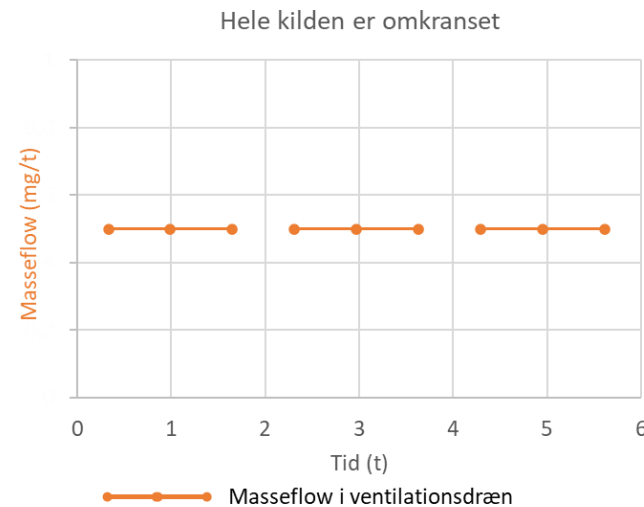
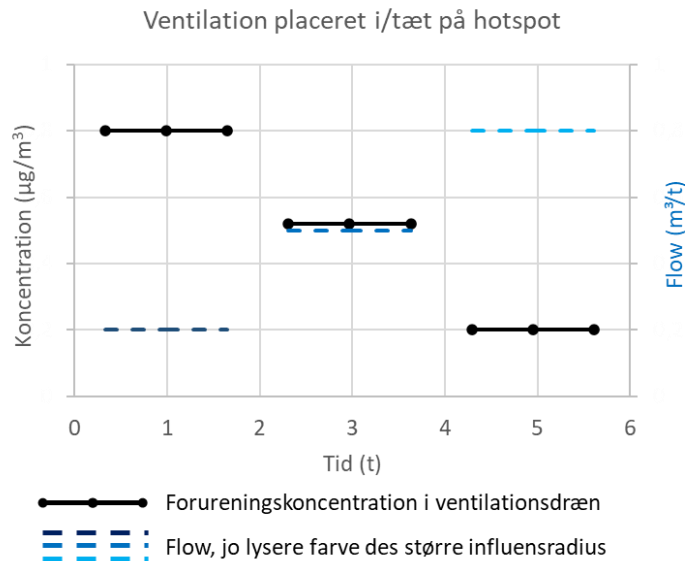
Rækkefølgen er VIGTIG

Der udføres samtidig indeluftmåling

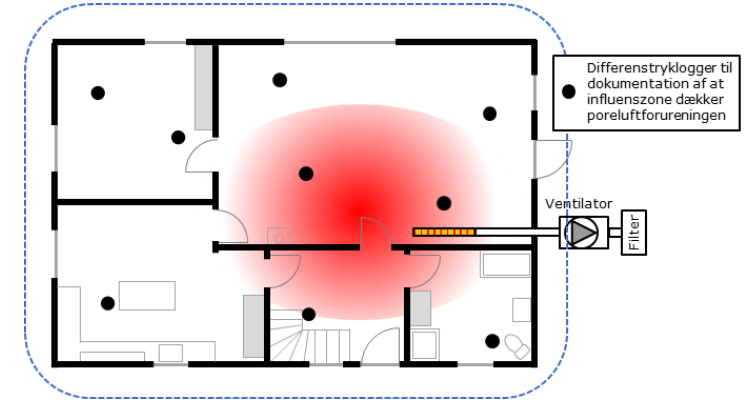
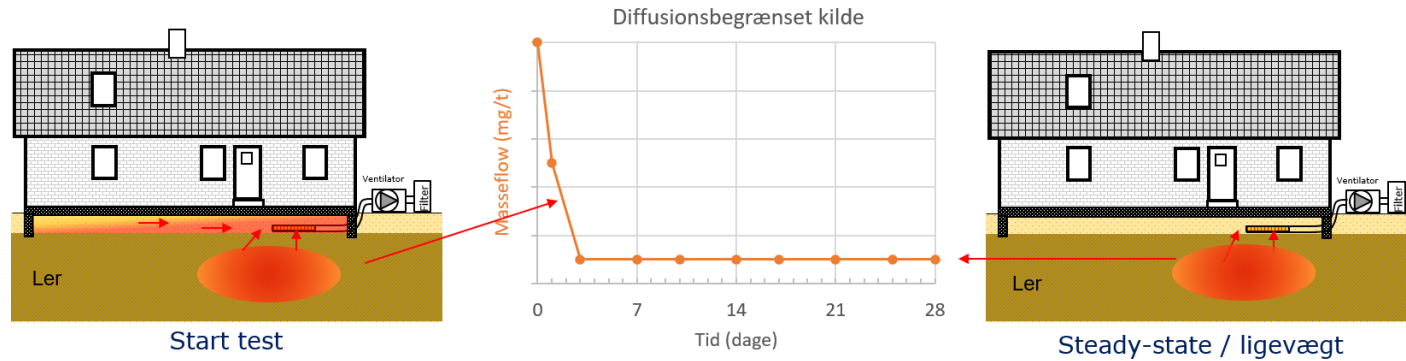
Tolkning – Korttidstest (konceptuelt eksempel)

- Faldende koncentration og stabilt masseflow ved øget flow:
 - Indikation af at ventilationsdrænet er placeret i eller nær ved hotspot.
 - Indikation af at hele kildeområdet er inddraget i testens influenszone.
 - Og/eller indikation af en diffusionsbegrænset kilde.

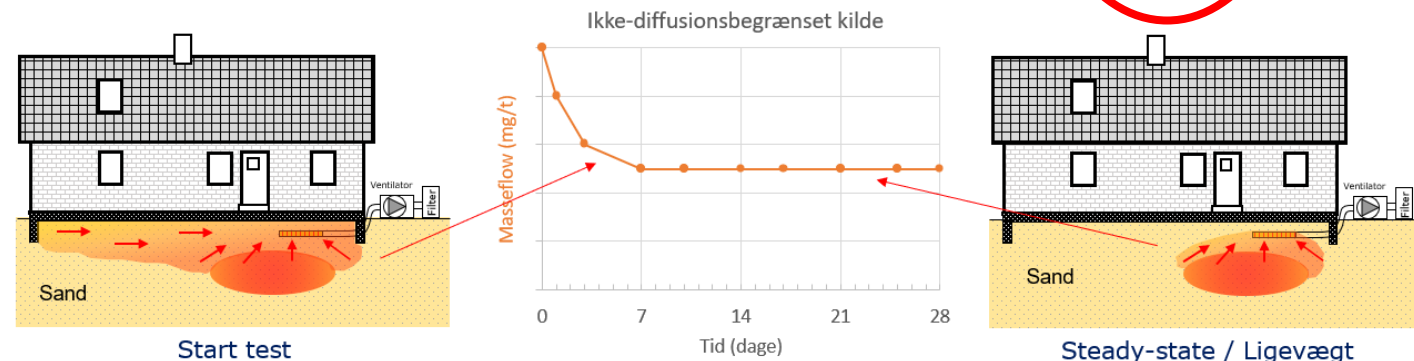
Sammenhold med andre data og langtidstesten



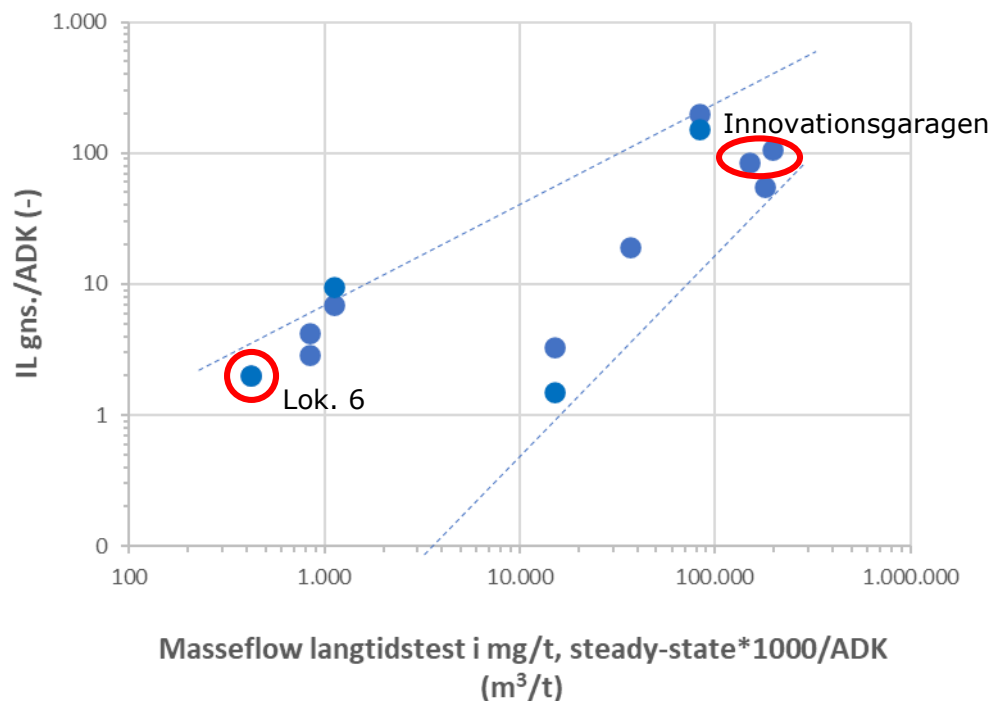
Øget flow -> samme forureningsmasse + mere ren luft -> samme masseflow



- Et diffusionsbegrænset system indikeres af:
 - En hurtig fjernelse af ophobet masse (dage)
 - En reduktion af masseflowet fra testens start til steady-state på $>75\%$.
- Et ikke-diffusionsbegrænset system indikeres af:
 - En langsom fjernelse af ophobet masse (uger)
 - En reduktion af masseflowet fra testens start til steady-state på $\leq 75\%$.



Gennemsnitlig, normeret indeluftkoncentration plottet mod normeret masseflow ved steady-state (eller i slutningen) af langtidstesten.



$$\frac{\text{Masseflow} \left(\frac{\text{mg}}{\text{t}} \right) \cdot 1.000 \left(\frac{\mu\text{g}}{\text{mg}} \right)}{\text{ADK} \left(\frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3} \right)} = \text{Nødv. flow} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{t}} \right)$$

- Forureningens styrke (risikopotentialet) vurderes ud fra masseflowets absolutte størrelse (mg/t) ved steady-state/i slutningen af testen.
- Et udtryk for kildens påvirkning af omgivelserne, inddrager både kildestyrke, kildestørrelse og graden af diffusionsbegrænsning.
- Et steady-state masseflow på i størrelsesordenen 1.000 mg/t (Innovationsgaragen), vil have et større risikopotentiale end en forurening, med et steady-state masseflow på 2 mg/t (lokalitet 6).

Dimensionerende test – Hvilket design?

- Den dimensionerende test kan **afprøve** effektiviteten af en påtænkt fremtidig afværge: Passiv/aktiv luftskifteløsning eller aktiv undertryksløsning.
 - Andre forhold har også betydning – gulvkonstruktion, direkte spredningsveje osv.

Mulig afværgestrategi (skal testes):

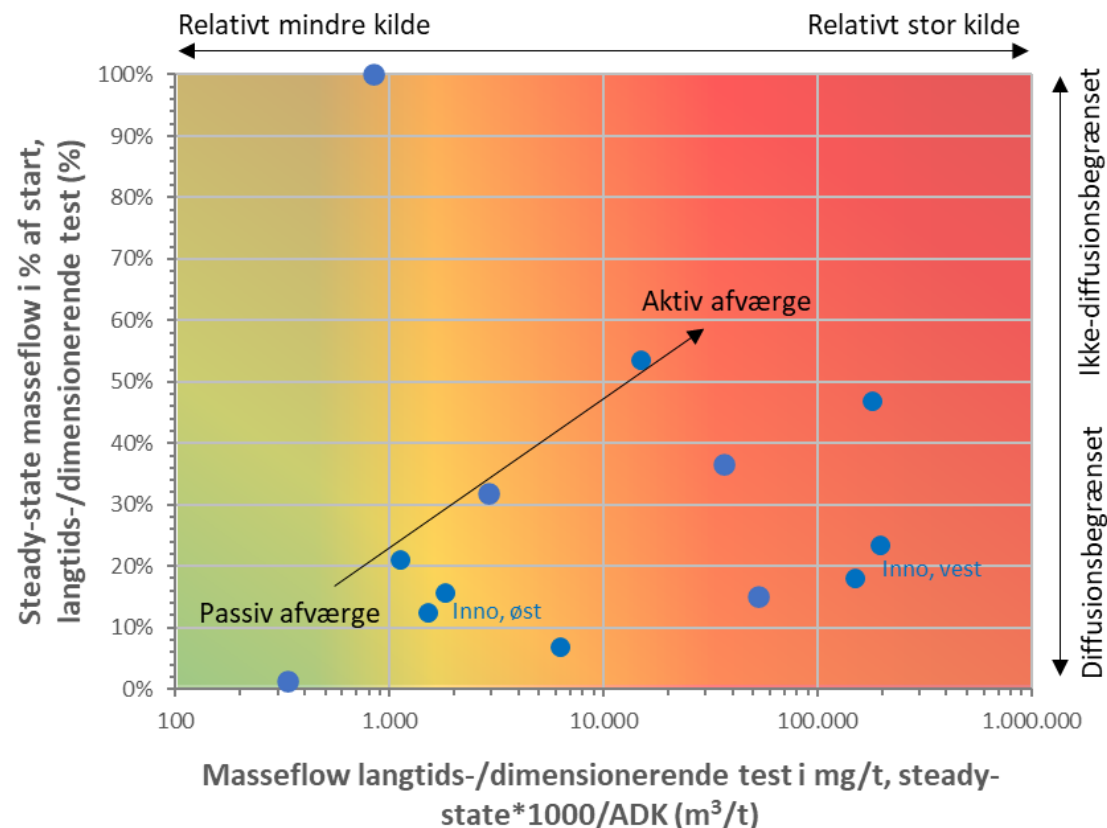
Grøn: Passiv luftskifteløsning.

Gul: Aktiv luftskifteløsning/aktiv undertryksløsning.

Rød: Aktiv undertryksløsning.

Mørkerød: En undertryksløsning alene er ikke tilstrækkeligt.

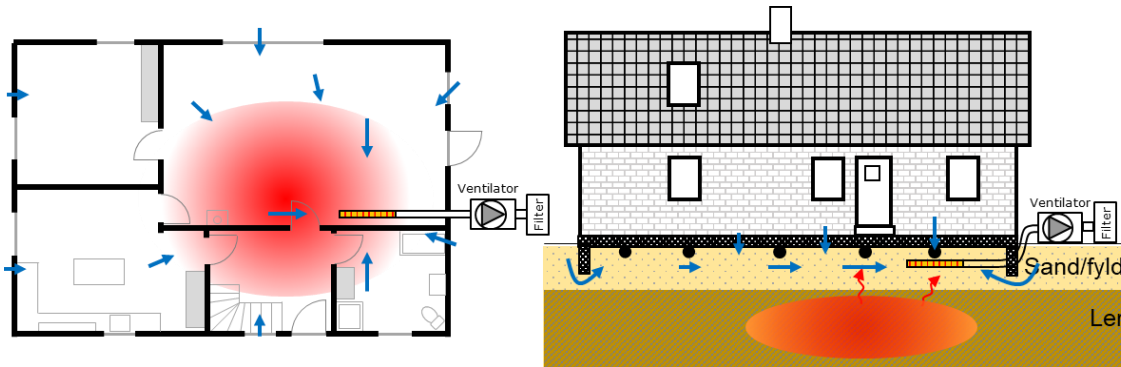
Diffusionsbegrænsning
- Langtidsmasseflowtest



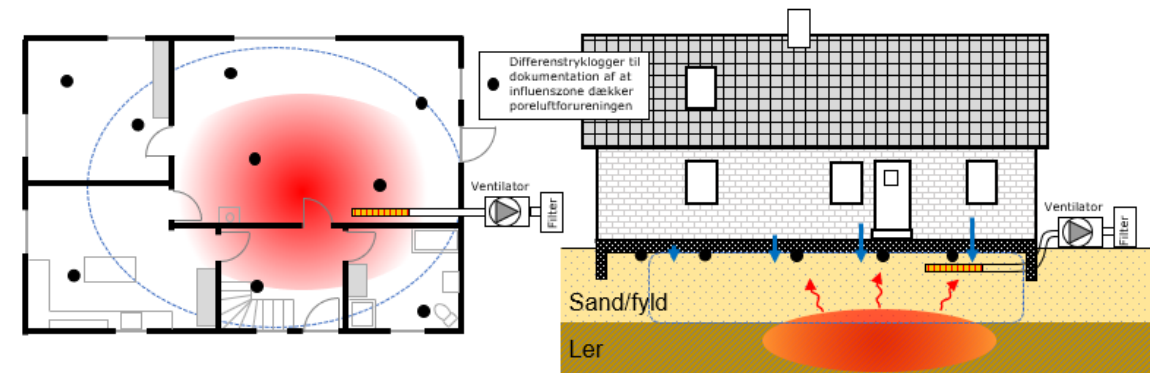
Stor eller lille forurening (risikopotentiale)
– Korttidsmasseflowtest/langtidsmasseflowtest

- Potentialet for afværgen baseret på passiv/aktiv ventilation eller aktivt undertryk vurderes ud fra **indeluftkoncentrationen** under den dimensionerende test.

Passiv/aktiv ventilation

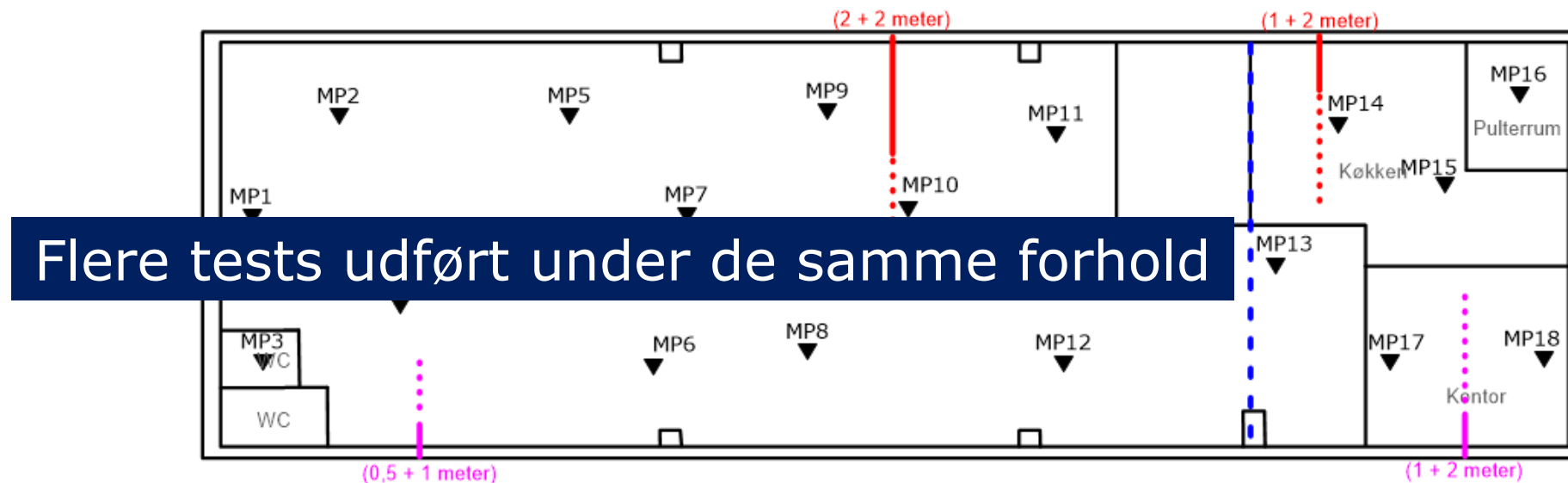


Aktivt undertryk



- Den dimensionerende test er udført under meget specifikke forhold, særligt ift. placeringen af ventilationsdræn, ventilatortype og flow.
 - Ændres et eller flere af disse forhold, kan det føre til ændringer i afværgens effektivitet, hvorfor det anbefales at gennemføre den dimensionerende test med en konfiguration, der ligger så tæt på et endeligt afværgeanlæg som muligt.

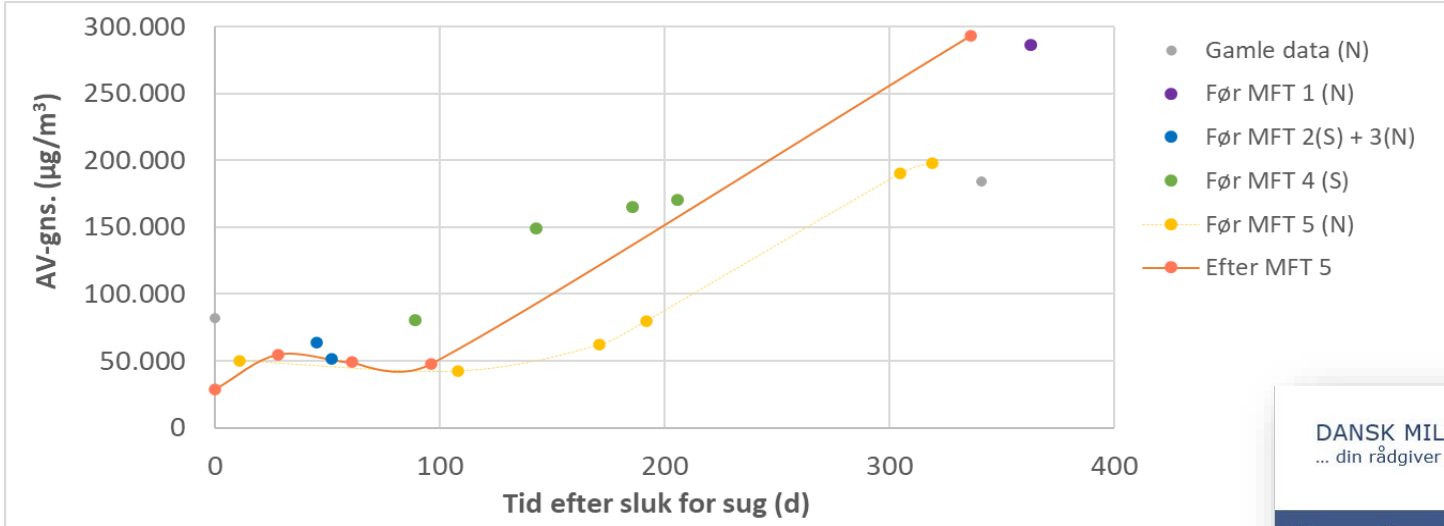
- Oprindeligt fokus:
 - Hvor tidsligt robust er et enkelttestimat = én test på et tilfældigt tidspunkt?
 - Hvor rumligt robust er et enkelttestimat = én test med "tilfældig" placering af ventilations-dræn?



5 testrunder på Region Hovedstadens Innovationsgarage:
3 på den nordlige side
2 på den sydlige side

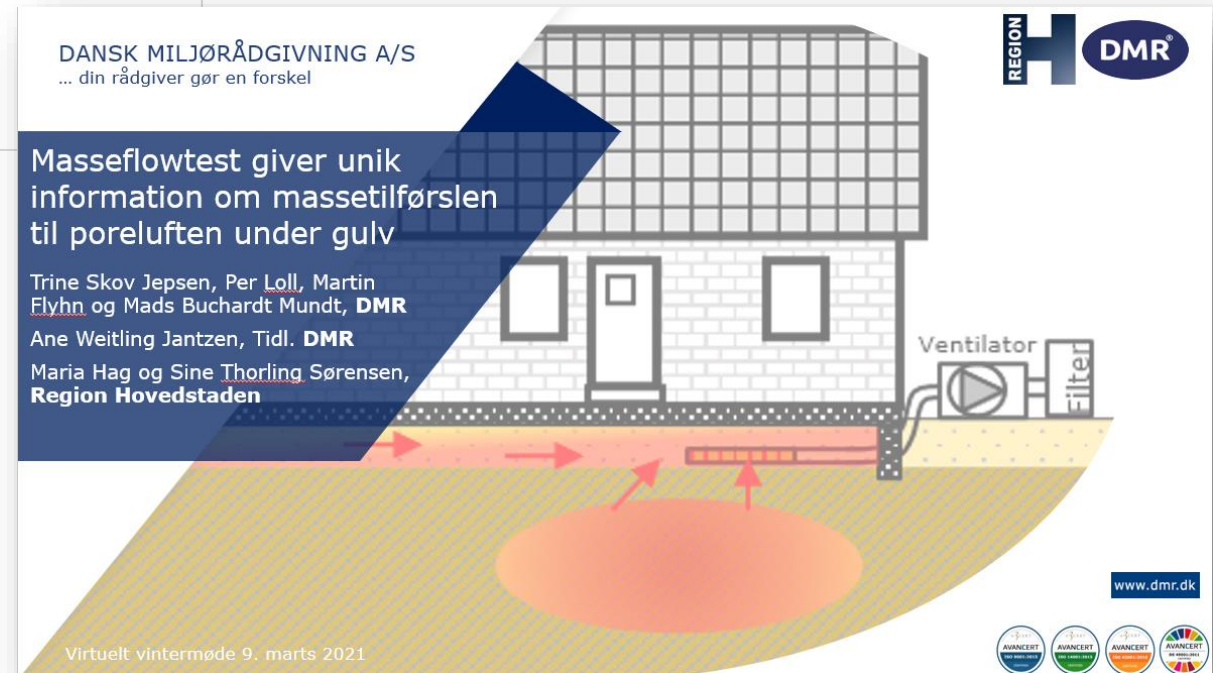
Tilbagediffusion – MEGET betydelende

- Graden af diffusionsbegrænsning er meget væsentlig for tilbagediffusionen.



- Anden lokalitet (få dage/1 uge):
 - En del af kilden er ikke-diffusionsbegrænset.
 - Også styret af rumlige og fysiske forhold på lokaliteten.

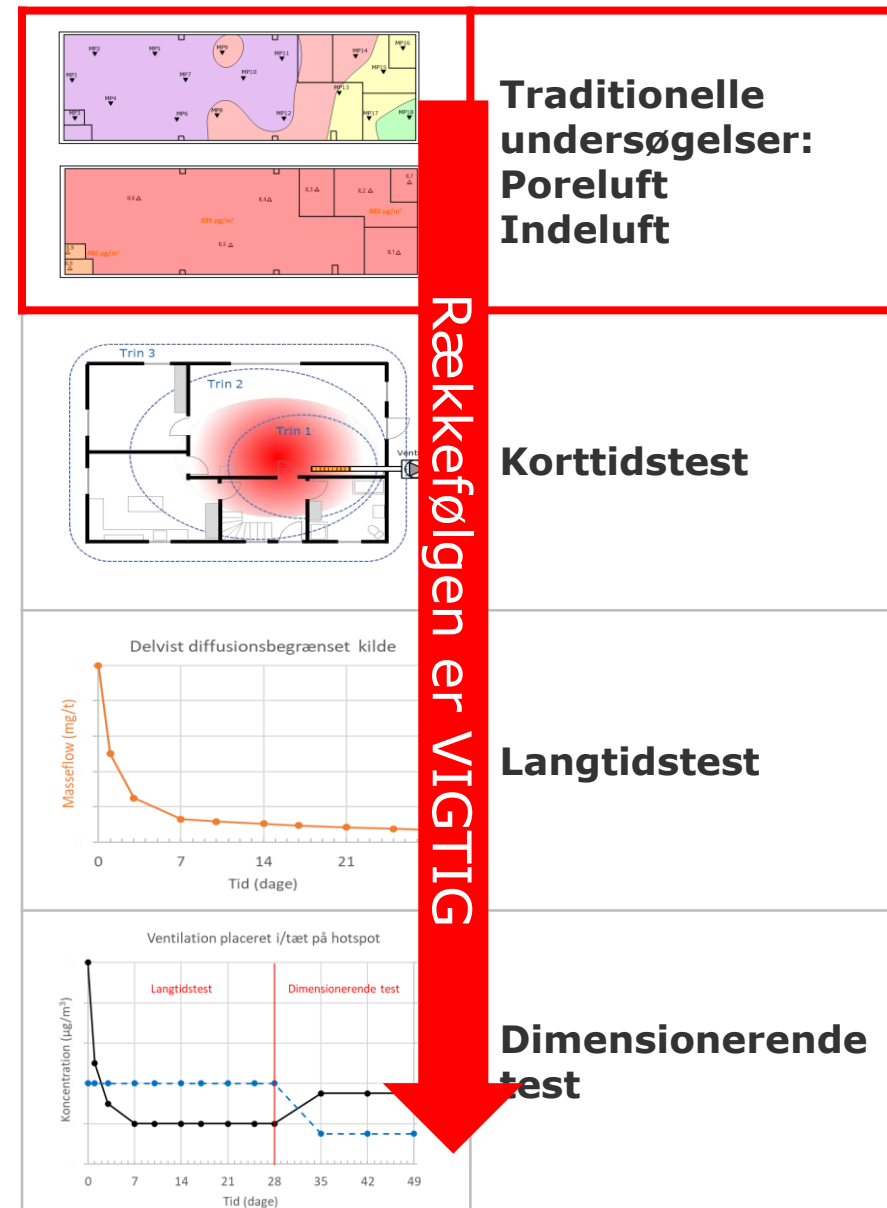
- Innovationsgaragen (200 til 300 dage):
 - Delvist diffusionsbegrænset.
 - Diffusionsbegrænsning styret af vandindhold i jorden.



Masseflowtesten vil ændre lokaliteten



- Det er en forceret test. De påførte kræfter er væsentligt større end de kræfter, der råder under naturlige forhold (større nedadrettet gradient og højere flow).
 - Testen vil medføre en væsentligt højere massefrigivelse end under naturlige forhold
- **Testen vil ændre forureningsforholdene** i formationen i en periode efter testen. I denne periode er det ikke muligt at udtage retvisende poreluft- eller indeluftprøver.

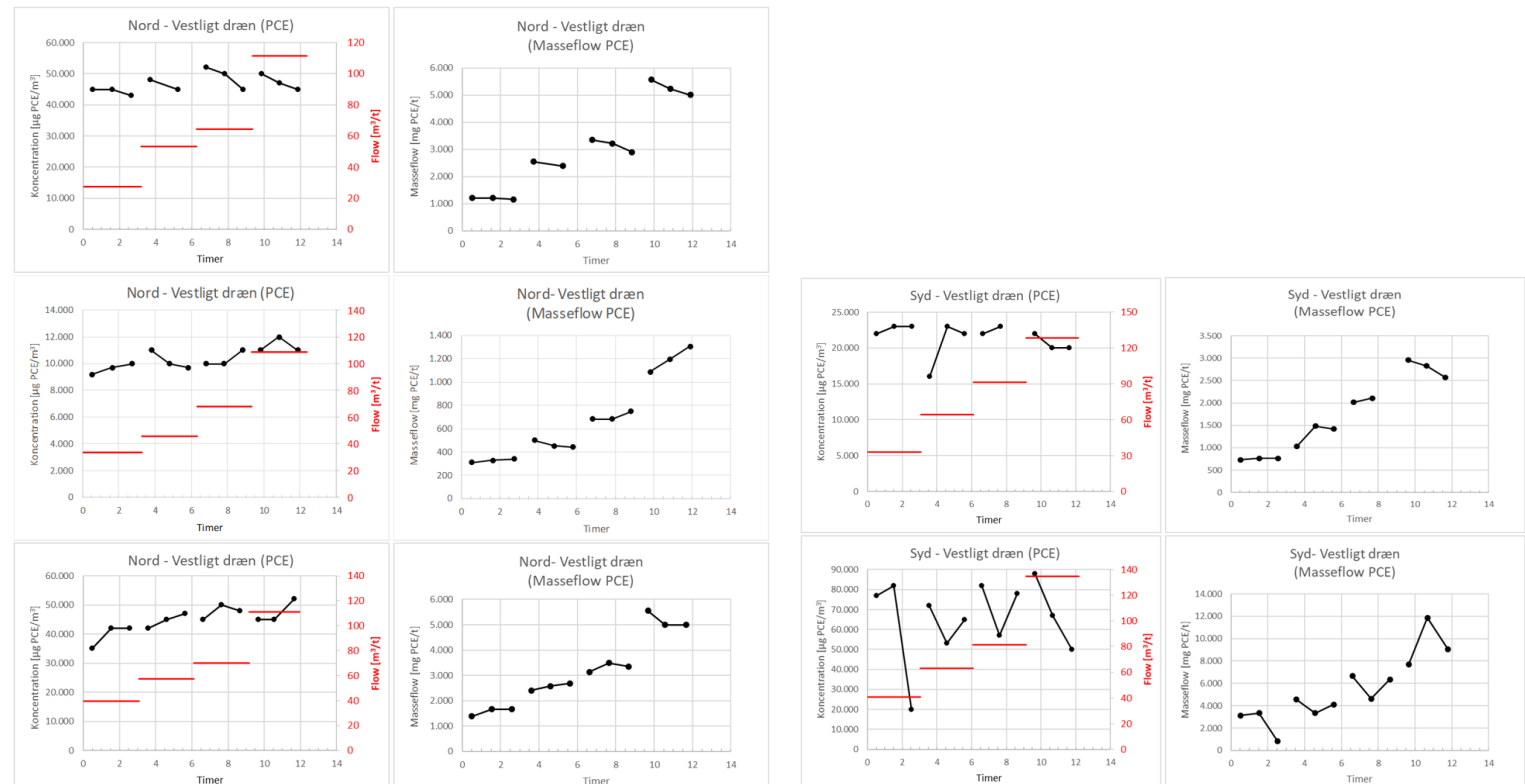


Korttidstest

- Kan benyttes til rumlig tolkning:

Rumlig forskel på resultaterne af de nordlige og sydlige test, samt de vestlige og østlige dræn - leder til en enslydende konceptuel tolkning af forureningsplaceringen og det relative risikopotentiale.

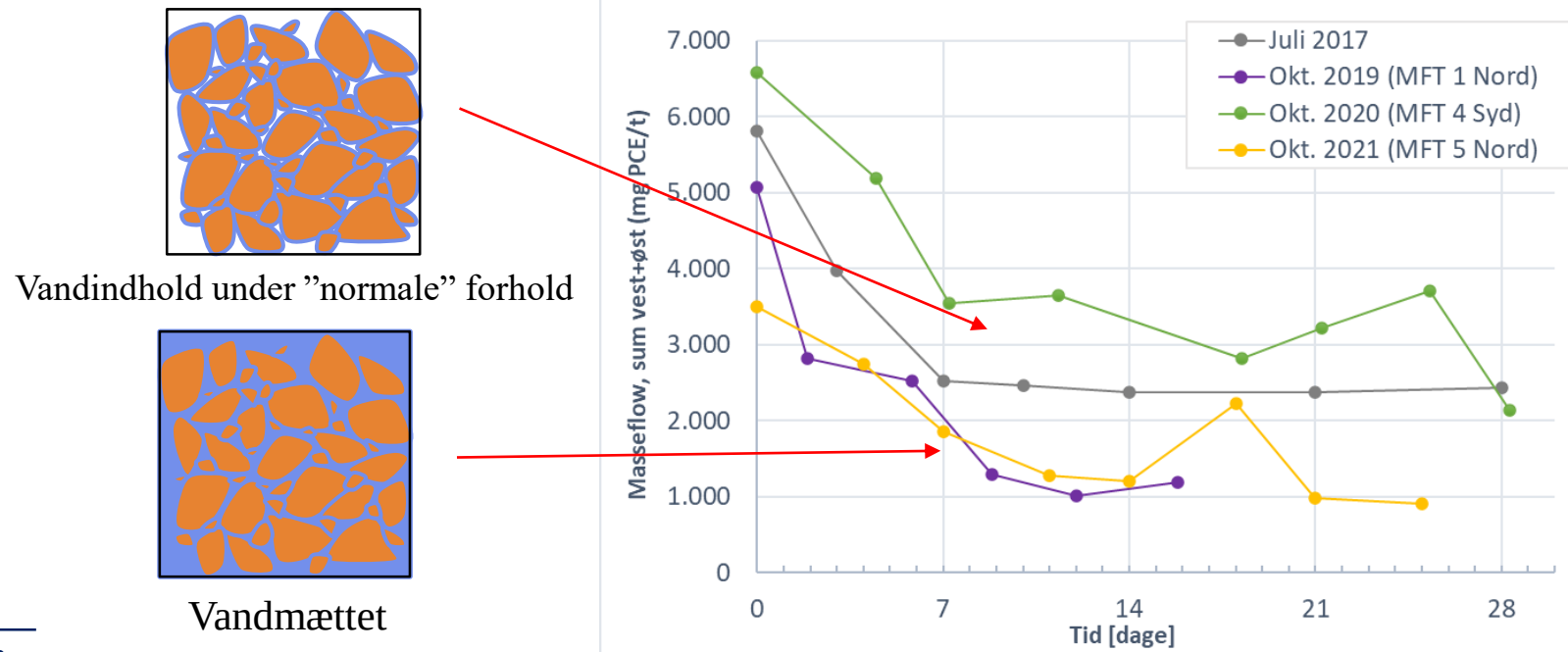
- Tidslig robust



Langtidstest/dimensionerende test

- Rumlig og tidslig robust:
 - Slutniveauer for masseflow ligger på ca. 25-45% af start-masseflowet -> Kilden er delvist diffusionsbegrænset.
 - Steady-state masseflow på ca. 1.000-2.500 mg/t -> særdeles risikopotent forurening.
 - ca. en faktor 2-3 i forskel på niveauerne for masseflow i langtidstestene.

Lang hviletid (206-363 dage)



- At udvikle og systematisere masseflowtesten som metode ifm. indeluftundersøgelser (test udført i kapillarbrydende lag).
 - Opstille og beskrive Best practice for selve udførelsen.
 - Præcisere hvordan data fra en masseflowtest kan tolkes og benyttes i et undersøgelsesforløb, inklusive i forbindelse med valg af afværgeløsning.

Hovedrapport + en guide til Best practice

- Vision: At åbne op for en bredere anvendelse af masseflowtests i forbindelse med indeluftundersøgelser.
 - Mere robuste offentlige/private undersøgelser og bedre informerede valg af afværgeløsning.





- **Masseflowtests er et yderst stærkt værktøj til konceptuel forståelse** af samspillet mellem geologi, forureningsfrigivelse og forureningsudbredelse under bygninger, inkl. forståelse af samspillet imellem forureningen under bygningen og forureningsindholdet i indeluften.
- **Masseflowtests har et stort potentiale ift. at teste en påtænkt fremtidig afværge** (Passiv/aktiv luftskifteløsning eller aktiv undertrykssløsning), hvilket vil resultere i bedre informerede valg af afværgeløsning på sager med indeluftrisiko.
- **Masseflowtesten vil ændre forureningsforholdene** i formationen i en periode efter testen (perioden for tilbagediffusion). I denne periode er det ikke muligt at udtage retvisende poreluft- eller indeluftprøver.
- **Masseflowtests er tidsligt og rumligt robuste**, i samme grad som vores andre undersøgelsesmetoder f.eks. indeluft- og poreluftmålinger.
 - En test udført på ét tidspunkt kan forventes at være inden for en faktor 2-3 af det "rigtige" masseflow.
 - Kurveformen kan forventes at være relativt robust og vil lede til "den rigtige" konceptuelle tolkning af forureningssituationen.