

Brug af sporgasmålinger til adskillelse af kilder til indeklimabidrag ved igangværende autoværksted

Susanne Boje Mogensen, civilingeniør, DMR

Anja Melvej, Region Midtjylland

Per Loll, DMR

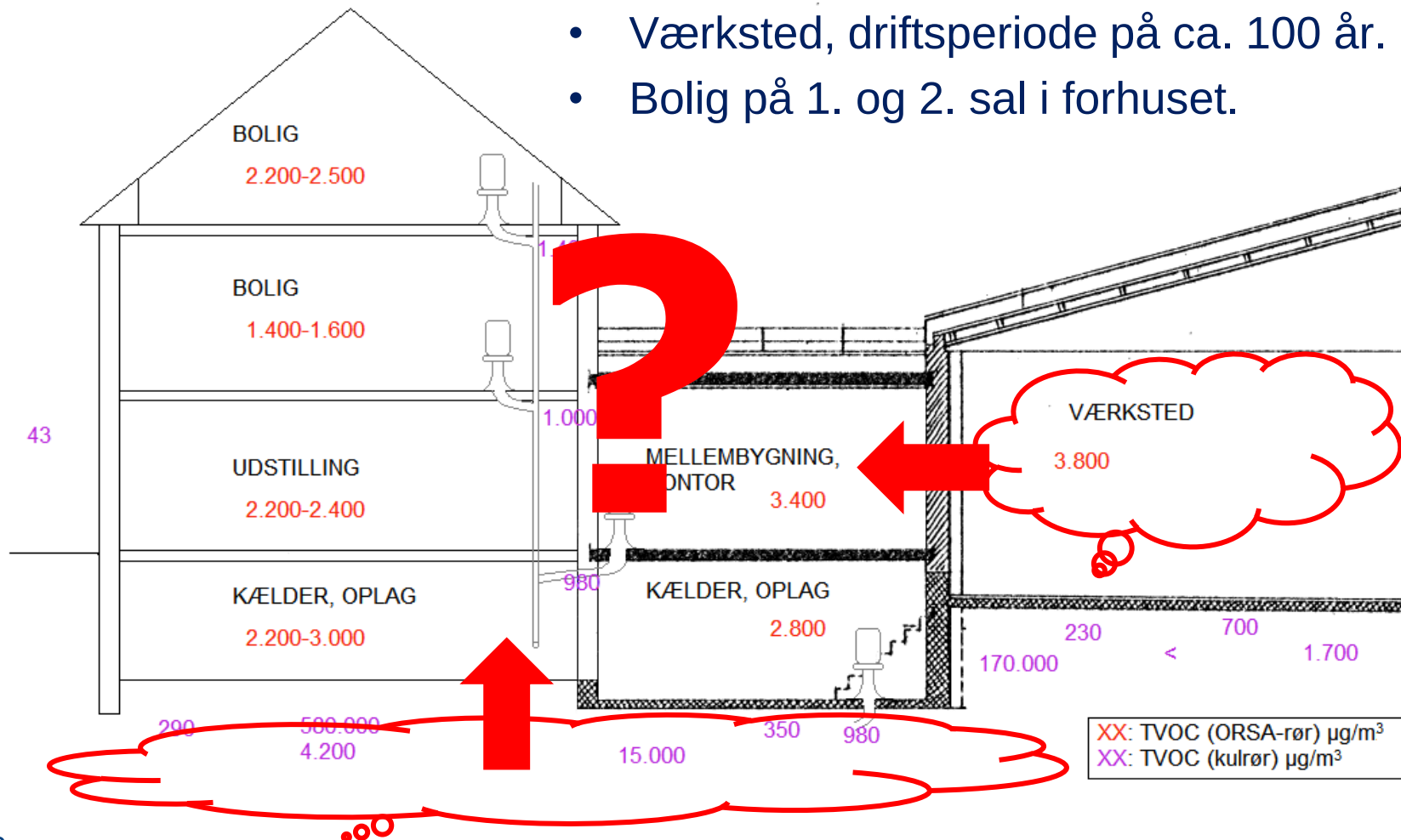


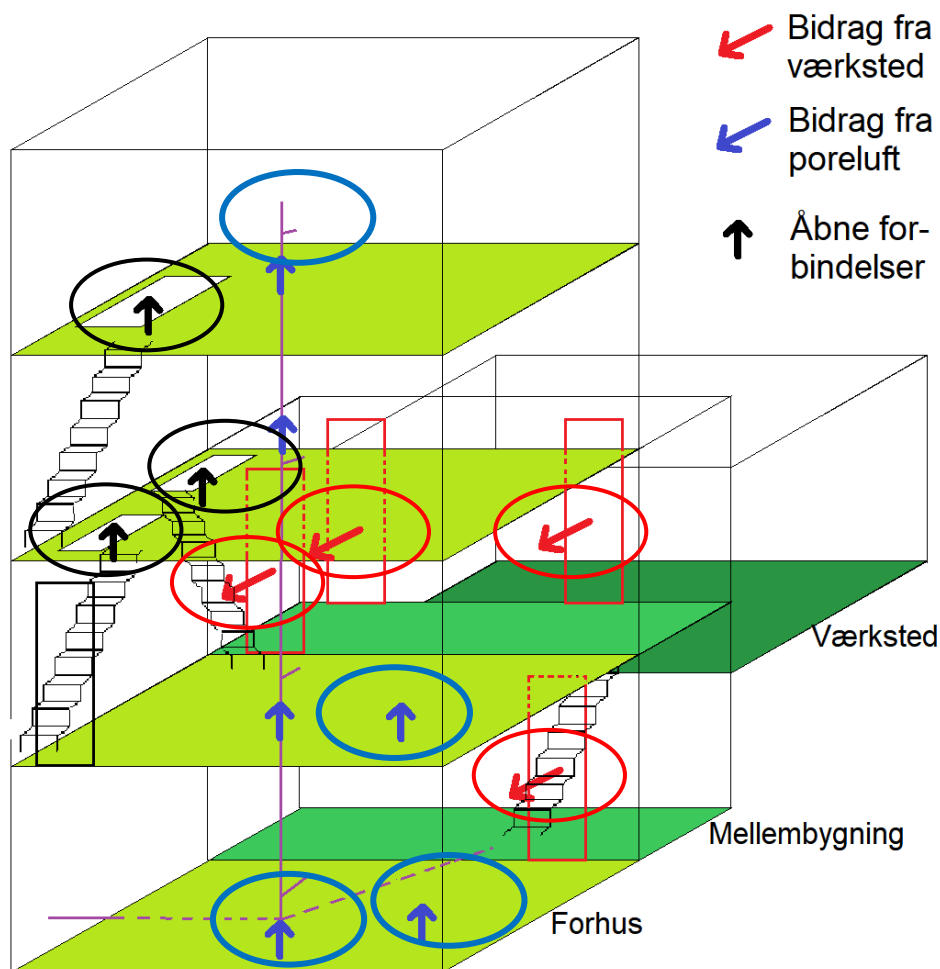
ATV Vintermøde, Vingsted 7. marts 2018

Ry	Slagelse	Jerslev J	Hvidovre	Kolding	Karup J	Nyborg	Aabenraa	Vordingborg	Esbjerg	Randers
86 95 06 55	58 52 24 11	70 22 06 55	48 22 24 00	76 32 65 00	97 43 06 55	40 76 06 61	30 96 19 68	25 50 55 05	86 95 06 55	40 76 06 09



- Værksted, driftsperiode på ca. 100 år.
- Bolig på 1. og 2. sal i forhuset.

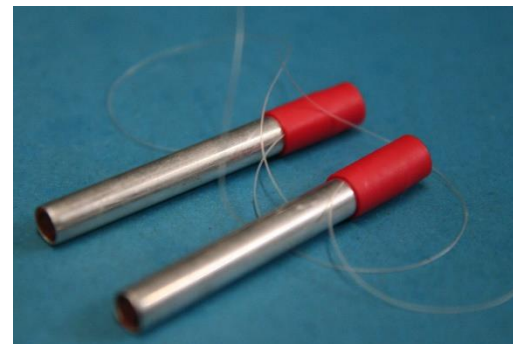




- Åbne forbindelser fra værksted til kælder og stueplan.
 - Kloakker gennemløber delvist det poreluftforurenede område.
 - Ældre kloaksystem og faldstamme.
 - Afslutning af faldstamme.
 - Åbne forbindelser mellem etager.
 - Diffusion over terræn-/etagedæk.
-
- Spor af PCE i poreluft, men ikke i indeklime.
 - Faldstammekonzentrationer, lavere end/på niveau med.

Hvilken spredning sker fra de formodede kildeområder (værksteddrift og poreluft)?

- Indeklimamålinger med ORSA-rør
- Sporgasundersøgelse, PFT-metoden (SBI/AAU), **Per**Fluorcarbo**T**rac**e**r.
 - Passiv multi-sporgasmetode (konstant-doserings princip)
 - To forskellige sporgastyper: PMCP (**P**erfluor**M**ethyl**C**yclo**P**entan) sølv kilde
PMCH (**P**erfluor**M**ethyl**C**yclo**H**exan) rød kilde

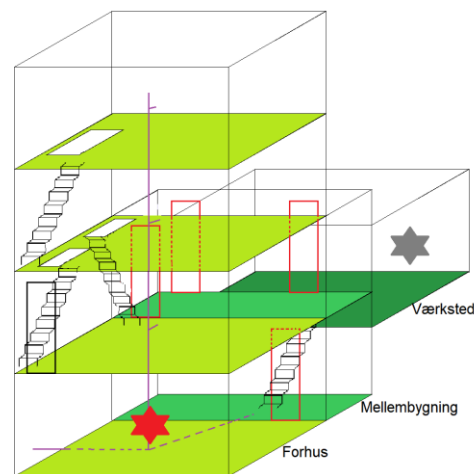


Ikke muligt at injicere sporgas under kældergulv ved poreluftforurening. MST nr. 1898 (2016).

- Svært at få tilfredsstillende repræsentativ udbredelse af sporgassen under gulve støbt på jord.
- Overload af samplers under gulve.

Tre sporgaskilder i påhug på faldstamme (PMCH, rød)

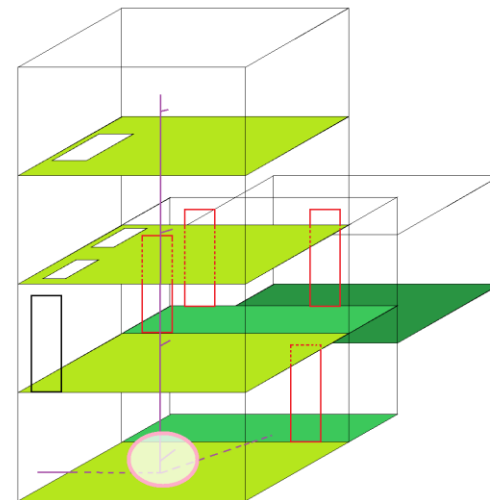
12 sporgaskilder i værksted (PMCP, sølv)

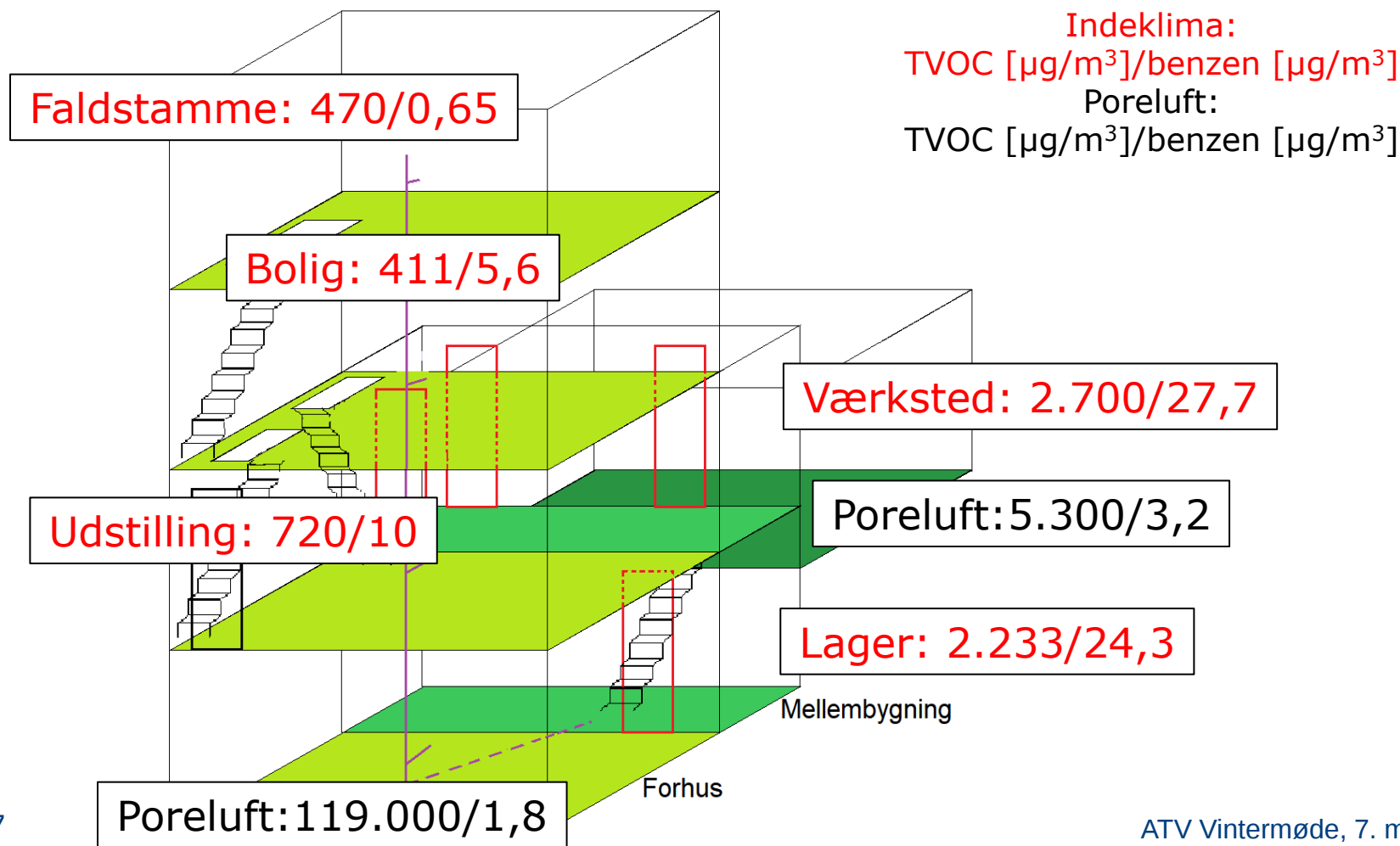


Seks dages frigivelse inden opsætning af sporgassamplers og ORSA-rør i 18 målepunkter inde og to udereferencer.

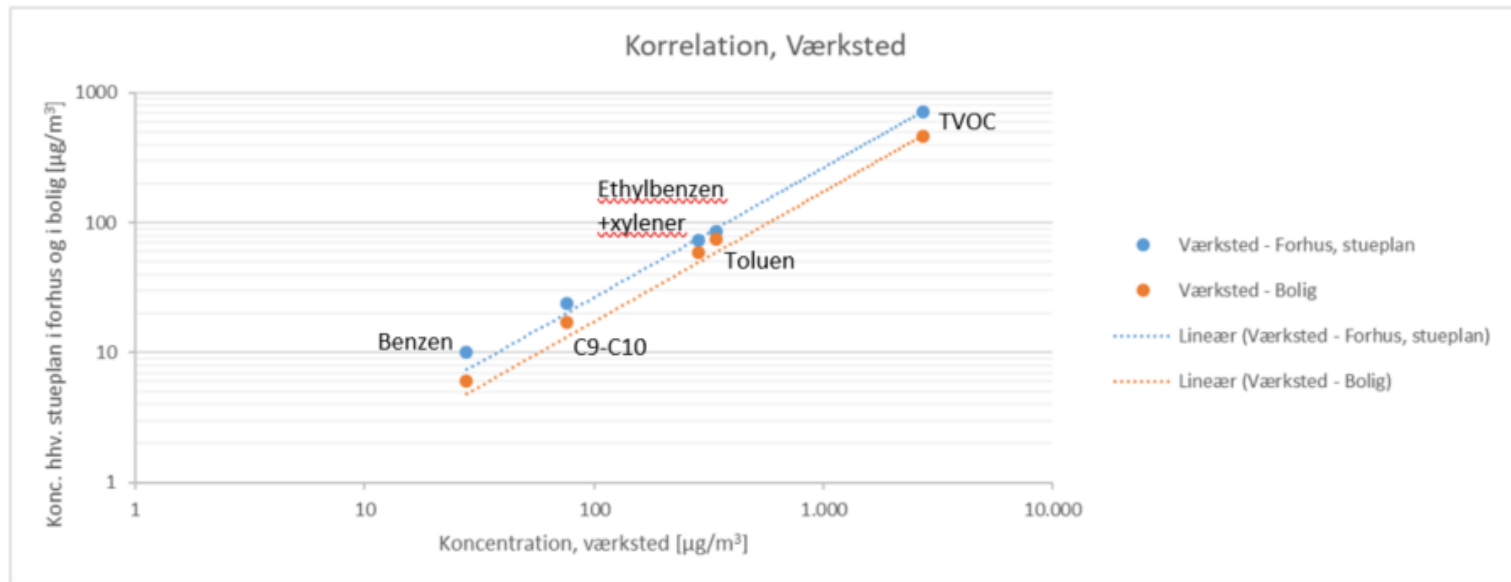
Målinger – sporgassamplere og ORSA-rør

Måle-punkt	Målested	ORSA-rør					Sporgas	
		Benzen µg/m³	Toluen µg/m³	Ethylbenzen og xylener µg/m³	C ₉ -C ₁₀ aromater µg/m³	Total kubrinter µg/m³	Sporgas (PMCP sølv) nl	Sporgas (PMCM rød) nl
Zone 1 - Forhus, 2. sal - bolig								
IL1	Børneværelse 1	1,1	14	11,1	3,77	81	9,667	5,27
IL2	Opholdsrum	5,3	63	49,9	13,6	430	11,956	5,983
IL12	Børneværelse 2	6,5	79	62	19,4	490	10,43	5,709
IL13	WC	6,5	81	65	18,6	480	10,926	6,207
Zone 2 - Forhus, 1. sal - bolig								
IL3	Stue	4,8	46	34,3	10,6	280	6,048	4,207
IL4	Soveværelse	6	62	46,5	15	450	5,582	4,012
IL14	Badeværelse	9,3	110	84	24,3	780	15,063	23,218
IL15	Spisestue	4,9	50	37,3	11,6	300	6,324	4,997
Zone 3 - Forhus, stueplan - Udstilling								
IL5	Udstilling ud mod vej	8,6	67	55,9	17,3	570	6,513	3,02
IL6	Udstilling op mod frokosttrum	9,4	80	68	21,7	660	6,45	2,776
IL7	Kontor	12	110	96	32,2	930	9,436	5,977
Zone 4 - Værksted (placering af sporgaskilder, PMCP, sølv)								
IL8	Værksted	29	350	295	79,1	2.800	50,151	5,176
IL16	Værksted	28	350	282	75,3	2.600	43,785	4,64
IL17	Værksted	26	320	278	73,1	2.700	46,995	5,514
Zone 5 - Forhus, kælder - fyrrum og opbevaring								
IL9	Fyrrum	24	290	248	63,8	2.100	41,515	10,287
IL10	Opbevaring	23	270	234	61,7	2.100	40,342	10,177
IL11	Dæklager	26	320	265	70,1	2.500	43,001	13,846
Zone 6 - Udreferencer								
UL1	Tagterrasse	0,46	1,1	0,98	0,31	< 44	0,352	0,508
UL2	Nord for hus	0,6	2,2	2,14	0,45	< 44	0,458	0,544
Zone 7 - Faldstamme, kælder (placering af sporgaskilder, PMCM, rød)								
IL18	Påhug, faldstamme	0,65	5,5	7,6	>4,3	470	i.m.	i.m.
Afdampningskriterier		0,13	400	100	30	100	-	-

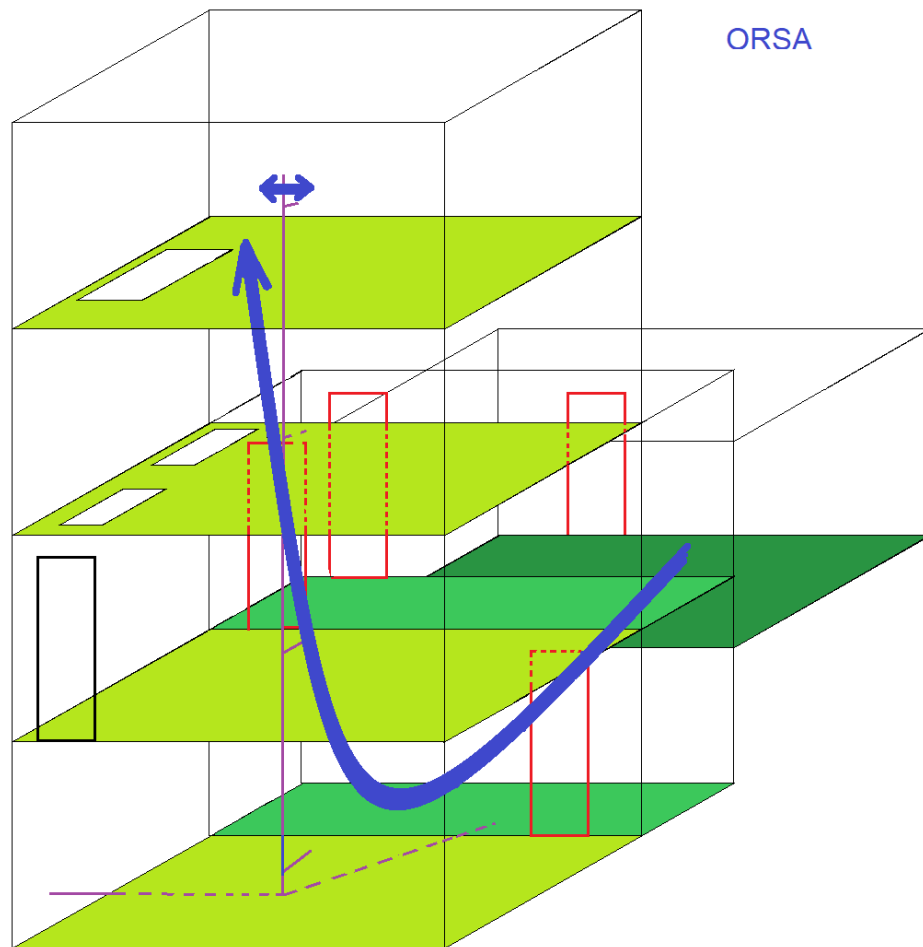




- Korrelationsanalyser af gennemsnitskoncentrationer (zonevis) i indeklimalmålinger, værksted mod hhv. stueplan og bolig i forhuset.



- Tilnærmelsesvis lineær sammenhæng → indikation på, at koncentrationer af oliekomponenter i hele forhuset (inkl. erhverv) kan have oprindelse i indholdet af olie i værkstedet.
- Tilsvarende sammenhæng findes ikke i lige så høj grad ved at plote koncentrationer i faldstamme mod boligens indeklimakoncentrationer.



- Faldende koncentrationer fra værksted mod bolig. Antyder en spredning fra værksted til bolig.
- Korrelation ml. stofsammensætning i indeklime i forhus og i værksted. Oprindelse i samme kilde.
- Ikke betydende bidrag fra faldstamme til bolig.
 - Lavere BTEX-koncentrationer i faldstamme end i indeklime.
 - Lidt forhøjede TVOC-koncentrationer i faldstamme i forhold til bolig.
- Poreluftbidrag ikke belyst.

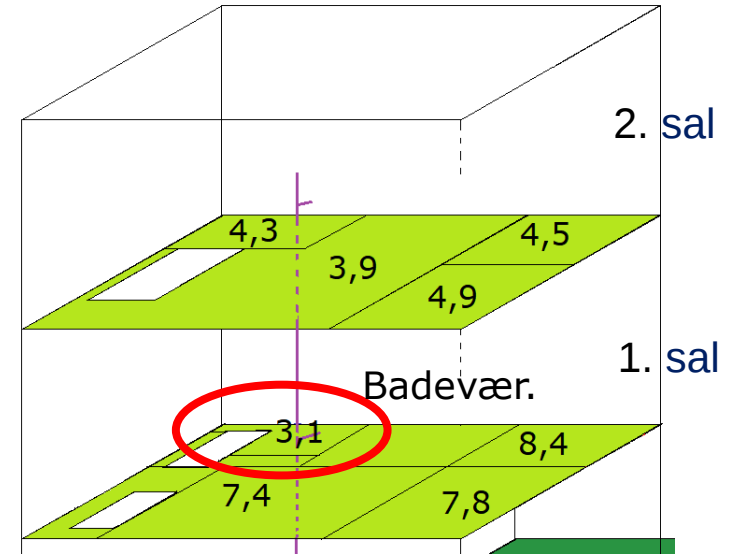
Sporgasmålinger

							Sporgas	
Måle-punkt	Målested	Benzen µg/m³	Toluen µg/m³	Ethylbenzen og xylener µg/m³	C ₉ -C ₁₀ aromater µg/m³	Total kubrinter µg/m³	Sporgas (PMCP sølv) pl	Sporgas (PMCM rød) pl
Zone 1 - Forhus, 2. sal - bolig								
IL1	Børneværelse 1	1,1	14	11,1	3,77	81	9,667	5,27
IL2	Opholdsrum	5,3	63	49,9	13,6	430	11,956	5,983
IL12	Børneværelse 2	6,5	79	62	19,4	490	10,43	5,709
IL13	WC	6,5	81	65	18,6	480	10,926	6,207
Zone 2 - Forhus, 1. sal - bolig								
IL3	Stue	4,8	46	34,3	10,6	280	6,048	4,207
IL4	Soveværelse	6	62	46,5	15	450	5,582	4,012
IL14	Badeværelse	9,3	110	84	24,3	780	15,063	23,218
IL15	Spisestue	4,9	50	37,3	11,6	300	6,324	4,997
Zone 3 - Forhus, stueplan - Udstilling								
IL5	Udstilling ud mod vej	8,6	67	55,9	17,3	570	6,513	3,02
IL6	Udstilling op mod frokosttrum	9,4	80	68	21,7	660	6,45	2,776
IL7	Kontor	12	110	96	32,2	930	9,436	5,977
Zone 4 - Værksted (placering af sporgaskilder, PMCP, sølv)								
IL8	Værksted	29	350	295	79,1	2.800	50,151	5,176
IL16	Værksted	28	350	282	75,3	2.600	43,785	4,64
IL17	Værksted	26	320	278	73,1	2.700	46,995	5,514
Zone 5 - Forhus, kælder - fyrrum og opbevaring								
IL9	Fyrrum	24	290	248	63,8	2.100	41,515	10,287
IL10	Opbevaring	23	270	234	61,7	2.100	40,342	10,177
IL11	Dæklager	26	320	265	70,1	2.500	43,001	13,846
Zone 6 - Udereferencer								
UL1	Tagterrasse	0,46	1,1	0,98	0,31	< 44	0,352	0,508
UL2	Nord for hus	0,6	2,2	2,14	0,45	< 44	0,458	0,544
Zone 7 - Faldstamme, kælder (placering af sporgaskilder, PMCM, rød)								
IL18	Påhug, faldstamme	0,65	5,5	7,6	>4,3	470	i.m.	i.m.
Afdampningskriterier								
		0,13	400	100	30	100	-	-

Sporgas

Overeksponeret

- PMCH (rød) i faldstammen overeksponeret → kan ikke beregne reduktionsfaktor ml. faldstamme og resten af ejendommen.
- Gennemsnitskoncentration af PMCP (sølv) i værksted benyttes til at beregne reduktionsfaktor ml. værksted og resterende del af bygning.
- Badeværelse (1. sal) lavere reduktionsfaktor end øvrige rum. Første rum efter trappeopgang med forbindelse til værkstedet.



- Hvad har sporgasmålingerne indledningsvis bidraget med til den konceptuelle forståelse:
 - Sølv-sporgassen genfindes i boligen (red. fakt. 3,1-8,4) og bekræfter, at oliestofferne helt eller delvist stammer fra værkstedet.
 - Badeværelset (ved trappeopgang) er det rum, der belastes mest med bidrag fra værkstedet.

- **KAN VI OVERHOVEDET SIGE NOGET OM BIDRAGSSTØRRELSER FRA DE FORSKELLIGE KILDEOMRÅDER – VÆRKSTED OG PORELUFT?**
- Koncentrationsbidraget fra værkstedet i et målepunktet beregnes med udgangspunkt i den gennemsnitlige sporgas-koncentration i værkstedet.

Målested	Benzen	Total kulbrinter	Sporgas (sølv, PMCP)
Værksted (IL8, IL16 og IL17)	27,7	2.700	47,0

- Sølvkilde (PMCP) i badeværelset, 1. sal (IL14, højeste konc. i bolig) er 15,063 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- Reduktionsfaktor til målepunktet: $47/15,063 = 3,1$
- $2.700 \mu\text{g TVOC}/\text{m}^3 / 3,1 = 865 \mu\text{g TVOC}/\text{m}^3$ målt i IL14: $780 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- $27,7 \mu\text{g benzen}/\text{m}^3 / 3,1 = 8,9 \mu\text{g benzen}/\text{m}^3$ målt i IL14: $9,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- Det er i samme størrelsesorden, og bidrag fra andre kilder end værksted til det mest belastede rum i boligen vurderes at være minimale.

Afvigelse mellem målte og beregnede konc.



- På samme måde er der beregnet bidrag fra værkstedet til de øvrige målepunkter i ejendommen.
- Differensen mellem de målte koncentrationer og beregnede værkstedsbidrag:

Målepunkt	Placering	Reduktionsfaktor (PMCP)	Benzen	Total kulbrinter
IL1	Børneværelse 1 - 2. sal	4,9	81%	85%
IL2	Opholdsrum - 2. sal	3,9	25%	37%
IL12	Børneværelse 2 - 2. sal	4,5	-6%	18%
IL13	WC - 2. sal	4,3	-1%	24%
IL3	Stue - 1. sal	7,8	-35%	19%
IL4	Soveværelse - 1. sal	8,4	-83%	-40%
IL14	Badeværelse - 1. sal	3,1	-5%	10%
IL15	Spisestue - 1. sal	7,4	-32%	17%

GRØN: Målt konc.<beregnet værkstedsbidrag

RØD: Målt konc.>beregnet værkstedsbidrag

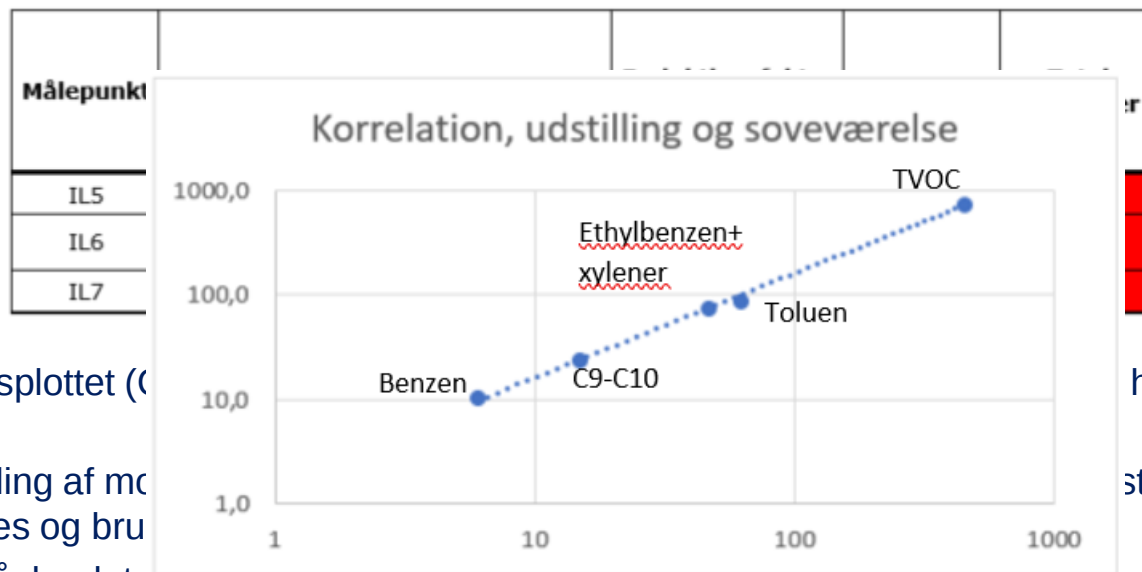
GRÅ: proc. afvigelse < +/- 20%

- Måling i soveværelset på 1. sal skiller sig ud. Alle målte konc. er højere end beregnet værkstedsbidrag. Der vurderes at være en intern kilde.
- Måling i to rum på 2. sal viser, at målte konc. er lavere end beregnet værkstedsbidrag. Kan skyldes en luftrenser i denne del af bygningen.

Afvigelse mellem målte og beregnede konc.



- I udstillingslokaler i forhusets stueplan måles højere koncentrationer af alle stoffer, men særligt benzen.



- Korrelationsplottet (C sammen?)
- Salgsopstilling af møbler som udstilles og brug
- Påvirker måske det overniggende soveværelse.

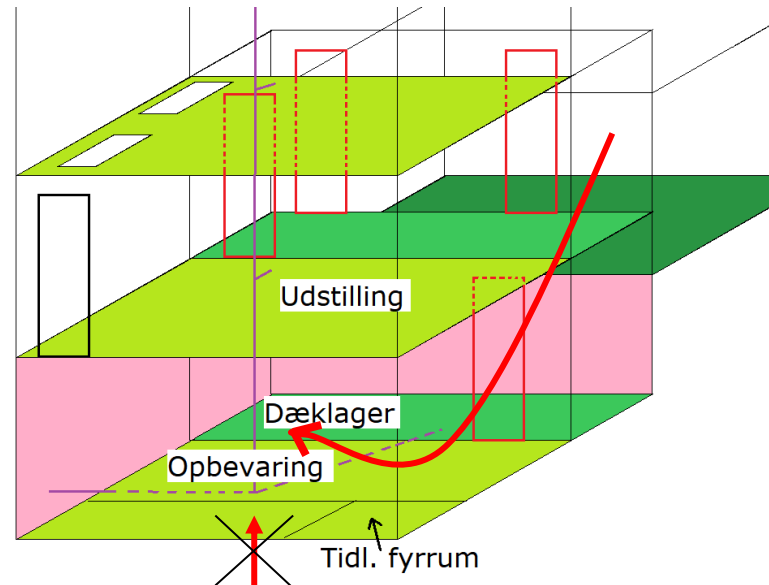
IL4, soveværelse	Benzen	Total kulbrinter
Målt indeklimakonc., ORSA	6,0	450,0
Beregnet, værkstedsbidrag	3,3	320,8
Andet bidrag end fra værksted	2,7	129,2

Det kan på foreliggende grundlag ikke afgøres, om "det andet" bidrag er fra stueplan eller noget placeret i selve soveværelset, men der er en god korrelation ml. udstilling og soveværelse.

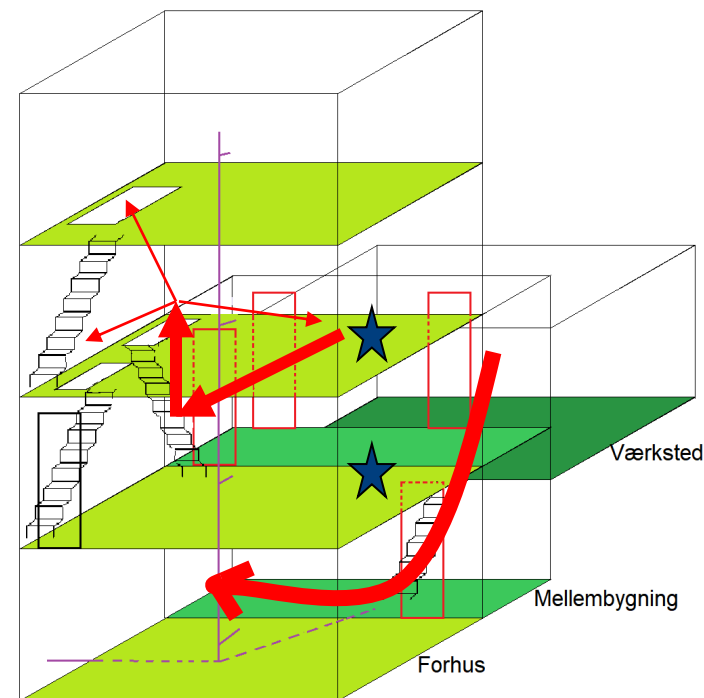
- Kan det være poreluftbidrag, der trænger op fra kælder til stueplan i forhuset?
- God sammenhæng ml. målte konc. og beregnet værkstedsbidrag i kælderen (1-12 % afvigelse).

Målepunkt	Placering	Reduktionsfaktor (PMCP)	Benzen	Total kulbrinter
IL9	Fyrrum - kælder	1,1	2%	12%
IL10	Opbevaring - kælder	1,2	3%	9%
IL11	Dæklager - kælder	1,1	-3%	-1%

- Indikation på, at værkstedet er (primær) kilde til indhold i kælderens indeklima.
- Ikke tegn på, at der sker betydende bidrag/transport fra under gulv (poreluft) til kælderrummene.



- Forurennet luft fra værkstedsdriften spredes stort set uhindret via åben forbindelse ned i depotrum og lager i kælder under mellembygning og forhus (lave reduktionsfaktorer).
- Sandsynligvis ingen betydende bidrag fra underliggende poreluftforurening.
- Forurennet luft fra værkstedsdrift spredes gennem dør ind til mellemgang ved værkstedskontor. Herfra er der forbindelse til bryggers med forbindelse op til bolig på 1. sal. Første rum på 1. sal efter trappen er badeværelset, som er det sted i boligen, der er den højeste belastning med oliestoffer i indeklimaet fra værkstedet.
- Fra trappeopgang spredes forureningen fra værksted ud på resten af etagen og videre op til 2. sal via intern trappeopgang.
- En intern kilde i udstillingslokalerne.
- Oven på udstillingslokalerne ligger soveværelset i boligen. Her er der også forhøjede koncentrationer. Det kan på foreliggende grundlag ikke afgøres, om der sker spredning fra udstillingslokalet til soveværelset eller om der (også) er en intern kilde i soveværelset.
- Luftrenser på 2. sal har sandsynligvis en positiv effekt på indeklimaforureningen.



- Sporgas-undersøgelsen i kombination med traditionelle indeklimate målinger har givet mulighed for at vurdere størrelsesordenen af bidrag fra værkstedsdriften (og indirekte interne bidrag).
 - Uden sporgas havde vi ikke kunnet vurdere på hovedkilden til indeklimaproblemer i boligen.
 - Uden sporgas havde vi ikke opdaget interne kilder i forhus og (måske) soveværelse.
 - Uden sporgas havde vi ikke kunnet sige, hvor primær indtrængning til boligen formentligt sker. Det havde f.eks. ikke været muligt at vurdere, om koncentrationer i badeværelset ved trappeopgangen skyldes værkstedsdriften, poreluftforurening eller interne kilder.
- Sporgas under gulv i poreluftforureningen ville være optimal for at kunne slå vurderinger fast. Udvikle metoder til at injicere i poreluftforureninger.
- Databehandling på baggrund af reduktionsfaktorer (sporgas) og indeklimate målinger gør os forholdsvis sikre på, at poreluftforureningen og interne kilder ikke bidrager med mere end størrelsesordenen 100 $\mu\text{g TVOC}/\text{m}^3$ i boligen. Under alle omstændigheder vurderes poreluftbidraget at være mindre end bidraget fra værkstedet.
- Kræver lidt øvelse at dosere kilderne rigtigt.
- Kommunen har bedt grundejer om at afblænde forbindelse/dør mellem værksted og mellemgang (bolig), samt bruge ventilation i værkstedsarealet.