



<b>Referencelaboratoriet for måling af emissioner til luften</b>	
<b>Titel</b>	<b>Beregningsformler til emission</b>
<b>Undertitel</b>	-
<b>Forfatter(e)</b>	<b>Arne Oxbøl, Lars K. Gram</b>
<b>Arbejdet udført, år</b>	<b>2019</b>
<b>Udgivelsesdato</b>	<b>September 2019</b> <b>September 2023 (formler vedr. carbon-capture anlæg er indført)</b> <b>September 2024 (enhed for T (kelvin) præciseret)</b> <b>December 2024 (enhedsfejl for temperatur (°C/kelvin) rettet i formel 16 og 18). Generel opdatering i forhold til udgivelsen af vejledning nr. 71, 2024 /1/</b> <b>Februar 2025 (Formel 6 og 7 opdateret til beregning på variabelt vandindhold)</b> <b>Juli 2025 (præcisering af enhed i Formel 27)</b> <b>November 2025 Ny formel (Formel 11) for beregning af nedre brændværdi ved variabelt vandindhold tilføjet afsnit 3</b>
<b>Revideret, dato</b>	



## Indholdsfortegnelse

1	Indledning .....	4
1.1	Formål.....	4
1.2	Konstanter i formler .....	4
2	Metode .....	4
3	Formler til beregning af røggasmængder .....	5
4	Formler til koncentrationsberegninger .....	9
5	Formler til tilstandsberregninger .....	10
6	Formler til omregning mellem enheder .....	12
7	Formler relateret til carbon capture anlæg .....	14
8	Andre formler.....	15
9	Håndtering af sum af stoffer .....	16
10	Diverse enheder .....	16
10.1	Enheder for emissionsgrænseværdier og B-værdier.....	17
11	Referencer .....	17
Bilag A	Notat om realgas- og idealgasvolumen .....	18

## Oversigt over formler

Formel 1: Røggasmængde ved forbrænding af 1 kg naturgas .....	5
Formel 2: Røggasmængde ved forbrænding af 1 m <sup>3</sup> (n) naturgas.....	5
Formel 3: Røggasmængde ved forbrænding af 1 kg gasolie: .....	5
Formel 4: Røggasmængde ved forbrænding af 1 kg fuelolie: .....	6
Formel 5: Røggasmængde ved forbrænding af 1 kg stenkul med 13% vand:.....	6
Formel 6: Røggasmængde ved forbrænding af 1 kg træ med X% vand:.....	6
Formel 7: Røggasmængde ved forbrænding af 1 kg halm med X% vand:.....	7
Formel 8: Beregning af støkiometrisk røggasmængde for faste, flydende og gasformige brændsler .....	7
Formel 9: Beregning af støkiometrisk røggasmængde for gasformige brændsler (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> brændsel) .....	7
Formel 10: Beregning af støkiometrisk røggasmængde for gasformige brændsler (m <sup>3</sup> /kg brændsel).....	8
Formel 11: Beregning af nedre brændværdi for brændsler med varierende vandindhold /7/ .....	8
Formel 12: Beregning af mængden af SO <sub>2</sub> der potentielt kan udledes til luften per kg brændsel .....	9
Formel 13: Beregning af SO <sub>2</sub> -koncentrationen ved ref. O <sub>2</sub> på 3, 6, 11 og 15% .....	9
Formel 14: Omregning fra tør til våd volumenstrøm .....	10
Formel 15: Omregning fra tør til våd koncentration .....	10
Formel 16: Omregning af volumen fra driftstilstand til normaltilstand /1/ .....	10
Formel 17: Omregning af volumen fra normaltilstand til driftstilstand .....	10
Formel 18: Omregning af volumen fra normaltilstand til reference O <sub>2</sub> % /1/ .....	11
Formel 19: Omregning af koncentration fra driftstilstand til normaltilstand /1/ .....	11
Formel 20: Omregning af koncentration fra normaltilstand til driftstilstand.....	11
Formel 21: Omregning af koncentration ved normaltilstand til reference O <sub>2</sub> % /1/ .....	11

**Rapport nr.: 87**

Formel 22: Omregning af koncentration ved normaltilstanden til reference CO <sub>2</sub> % /1/.....	11
Formel 23: Beregning af O <sub>2</sub> % ud fra målt CO <sub>2</sub> % /1/.....	12
Formel 24: Beregning af CO <sub>2</sub> % ud fra målt O <sub>2</sub> % /1/.....	12
Formel 25: Omregning fra ppm (tør) til mg/m <sup>3</sup> (n,t): .....	13
Formel 26: Omregning fra mg/m <sup>3</sup> (n,t) til ppm (tør): .....	13
Formel 27: Formel til beregning af den teoretiske koncentration (dvs. koncentrationen før CC-anlægget) på basis af målt O <sub>2</sub> før og efter CC-anlægget: .....	14
Formel 28: Formel til beregning af den teoretiske O <sub>2</sub> koncentration (dvs. koncentrationen før CC-anlægget) på basis af målt CO <sub>2</sub> før og efter CC-anlægget:.....	14
Formel 29: Resulterende B-værdi /1/: .....	15
Formel 30: B-værdi ved intermitterende drift jævnt fordelt over døgnet og hele året /1/:.....	15
Formel 31: B-værdi ved intermitterende drift IKKE jævnt fordelt over døgnet og hele året /1/:.....	15
Formel 32: Spredningsfaktoren ved vurdering af skorstenshøjder /1/: .....	15
Formel 33: Normeret kildestyrke til brug for B <sub>1</sub> -metoden /1/ .....	15
Formel 34: Beregning af benz[a]pyren-ækvivalenter .....	16

**Oversigt over tabeller**

Tabel 1	Nedre brændværdi for udvalgte brændsler /6/.....	8
Tabel 2	Tør nedre brændværdi for udvalgte brændsler /6/ .....	8
Tabel 3	CO <sub>2,max</sub> -værdier for forskellige brændsler .....	12
Tabel 4	Oversigt over molvægte, -voluminer og omregningsfaktorer .....	13
Tabel 5	Energi og effekt-enheder /1/.....	16
Tabel 6	Beregning af omregningsfaktor for mol-ppm.....	19



## 1 Indledning

I forbindelse med revision af Luftvejledningen /1/, har Referencelaboratoriets følgegruppe besluttet, at alle konstanter, beregninger definitioner etc. som er relevante for emissionsområdet, skal samles i ét dokument. Et sådant dokument kan f.eks. være et metodeblad eller et bilag til MEL-22. Dokumentet skal beskrive hvordan de mange beregninger, enheder og definitioner der er for området håndteres.

En sådan samling af beregninger kan evt. senere suppleres med en emissionsregnemaskine på nettet, som virksomheder og myndigheder let kan anvende. Regnemaskinen skal anvendes, når beregningsresultater ikke foreligger i de ønskede enheder, eller man f.eks. ønsker at regne på energiudnyttelse af forskellige typer brændsler.

### 1.1 Formål

Nærværende dokument skal samle de oftest benyttede formler og omregninger fra emissionsstandarder og eksisterende vejledninger – primært Luftvejledningen. Formlerne skal opstilles på en overskuelig måde med forklaring på indgående størrelser. Hvor det er relevant, skal det anføres, hvor formlen kommer fra.

### 1.2 Konstanter i formler

I rapportens formler anvendes diverse konstanter, hvoraf nogle er afrundet for at følge Luftvejledningens /1/ og EU-direktivets afrundinger<sup>1</sup>:

- Atmosfærens indhold af O<sub>2</sub> i vol%, tør er afrundet til 21 vol% i formler til korrektion til reference O<sub>2</sub>.
- Normalatmosfæretrykket er afrundet til 101,3 kPa i formler til korrektion til normaltryk.
- Normaltemperaturen på 273,15 K eller 0°C er ikke afrundet i formler, da disse værdier anvendes i Luftvejledningen /1/ og i EU-direktiver

## 2 Metode

De mest anvendte standarder og alle Miljøstyrelsens metodeblade gennemgås, og formler heri opdeles i formler til energiberegninger, formler til tilstandsberegninger, formler til omregning mellem forskellige enheder og et afsnit med andre formler.

Energiberegninger omfatter beregning af teoretisk opnåelig energi fra forskellige brændselstyper og beregning af røggasmængde for forskellige brændselstyper. Formler til tilstandsberegninger er f.eks. omregning fra koncentration i luft ved normaltilstandet til koncentration ved en referenceiltkoncentration. Formler til omregning mellem forskellige enheder er primært omregning mellem ppm og mg/m<sup>3</sup> (n,t) for de oftest målte parametre. Afsnittet med andre formler indeholder f.eks. beregning af spredningsfaktoren til vurdering af nødvendig skorstenshøjde og beregning af resulterende B-værdier.

---

<sup>1</sup> De afrundede værdier bør anvendes ved emissionsberegninger, da de er anført i Luftvejledningen /1/ og i EU-direktiver.



### 3 Formler til beregning af røggasmængder

Røggasmængden ved forbrænding af forskellige typer brændsler kan estimeres ved hjælp af Formel 1 til Formel 7. Røggasmængder kan beregnes mere præcist på baggrund af en brændselsanalyse Formel 8 til Formel 10.

**Formel 1: Røggasmængde ved forbrænding af 1 kg naturgas**

$$V_{\text{røggas,normal}} = \frac{240}{21 - \%O_2}$$

eller

$$V_{\text{røggas,våd}} = 2,57 + \frac{241}{21 - \%O_2}$$

Hvor  $V_{\text{røggas,normal}}$  er røggasmængden  $\text{m}^3$  (n,t)  
 $V_{\text{røggas,våd}}$  er røggasmængden  $\text{m}^3$  (våd)  
 $\%O_2$  er indholdet af ilt i røggassen, udtrykt i volumenprocent, tør

**Formel 2: Røggasmængde ved forbrænding af 1  $\text{m}^3$  (n) naturgas**

$$V_{\text{røggas,normal}} = \frac{198}{21 - \%O_2}$$

eller

$$V_{\text{røggas,våd}} = 2,12 + \frac{199}{21 - \%O_2}$$

Hvor  $V_{\text{røggas,normal}}$  er røggasmængden  $\text{m}^3$  (n,t)  
 $V_{\text{røggas,våd}}$  er røggasmængden  $\text{m}^3$  (våd)  
 $\%O_2$  er indholdet af ilt i røggassen, udtrykt i volumenprocent, tør

Formel 2 er baseret på den gennemsnitlige densitet for naturgas i 2016 som målt af Energinets kvalitetsmålestation i Egtved (= 0,8265  $\text{kg}/\text{m}^3$ (n)), jf. Energinet.dk og Formel 10.

**Formel 3: Røggasmængde ved forbrænding af 1 kg gasolie:**

$$V_{\text{røggas,normal}} = \frac{217}{21 - \%O_2}$$

eller

$$V_{\text{røggas,våd}} = 1,41 + \frac{221}{21 - \%O_2}$$

Hvor  $V_{\text{røggas,normal}}$  er røggasmængden  $\text{m}^3$  (n,t)  
 $V_{\text{røggas,våd}}$  er røggasmængden  $\text{m}^3$  (våd)  
 $\%O_2$  er indholdet af ilt i røggassen, udtrykt i volumenprocent, tør



**Formel 4: Røggasmængde ved forbrænding af 1 kg fuelolie:**

$$V_{røggas,normal} = \frac{213}{21 - \%O_2}$$

eller

$$V_{røggas,våd} = 1,29 + \frac{211}{21 - \%O_2}$$

Hvor  $V_{røggas,normal}$  er røggasmængden  $m^3$  (n,t)  
 $V_{røggas,våd}$  er røggasmængden  $m^3$  (våd)  
 $\%O_2$  er indholdet af ilt i røggassen, udtrykt i volumenprocent, tør

**Formel 5: Røggasmængde ved forbrænding af 1 kg stenkul med 13% vand:**

$$V_{røggas,normal} = \frac{131}{21 - \%O_2}$$

eller

$$V_{røggas,våd} = 0,54 + \frac{132}{21 - \%O_2}$$

Hvor  $V_{røggas,normal}$  er røggasmængden  $m^3$  (n,t)  
 $V_{røggas,våd}$  er røggasmængden  $m^3$  (våd)  
 $\%O_2$  er indholdet af ilt i røggassen, udtrykt i volumenprocent, tør

**Formel 6: Røggasmængde ved forbrænding af 1 kg træ med X% vand:**

$$V_{røggas,normal} = \frac{96}{21 - \%O_2} \times \left(1 - \frac{\%H_2O}{100}\right)$$

eller

$$V_{røggas,våd} = 0,013 \times \%H_2O + \left(0,68 + \frac{97}{21 - \%O_2}\right) \times \left(1 - \frac{\%H_2O}{100}\right)$$

Hvor  $V_{røggas,normal}$  er røggasmængden  $m^3$  (n,t)  
 $V_{røggas,våd}$  er røggasmængden  $m^3$  (våd)  
 $\%O_2$  er indholdet af ilt i røggassen, udtrykt i volumenprocent, tør  
 $\%H_2O$  er indholdet af vand i træet, udtryk i vægtprocent



**Formel 7: Røggasmængde ved forbrænding af 1 kg halm med X% vand:**

$$V_{røggas,normal} = \frac{92}{21 - \%O_2} \times \left(1 - \frac{\%H_2O}{100}\right)$$

eller

$$V_{røggas,våd} = 0,013 \times \%H_2O + \left(0,67 + \frac{94}{21 - \%O_2}\right) \times \left(1 - \frac{\%H_2O}{100}\right)$$

Hvor  $V_{røggas,normal}$  er røggasmængden  $m^3$  (n,t)  
 $V_{røggas,våd}$  er røggasmængden  $m^3$  (våd)  
 $\%O_2$  er indholdet af ilt i røggassen, udtrykt i volumenprocent, tør  
 $\%H_2O$  er indholdet af vand i træet, udtryk i vægtprocent

Beregning af den støkiometriske røggasmængde for faste, flydende og gasformige brændsler med kendt sammensætning på grundstofniveau kan udføres efter Formel 7.

Ved den støkiometriske røggasmængde forstås, at al forbrændingsluftens ilt netop medgår i forbrændingen, og der er 0% ilt i røggassen.

**Formel 8: Beregning af støkiometrisk røggasmængde for faste, flydende og gasformige brændsler**

$$V_{røggas,støkiometrisk,normal} = 8,8930 \times y_C + 20,9724 \times y_H + 3,3190 \times y_S - 2,6424 \times y_O + 0,7997 \times y_N$$

Hvor  $V_{røggas,støkiometrisk,normal}$  er støkiometrisk, normal røggasmængde  $m^3$  (n,t) pr. kg brændsel  
 $y_C$ ,  $y_H$ ,  $y_S$ ,  $y_O$  og  $y_N$  er brændselsanalysen for henholdsvis C, H, S, O og N i kg/kg brændsel

Brændselsanalyse af gasformige brændsler omfatter normalt indhold af kulbrinter og andre stoffer, og ikke indholdet af grundstofferne. I det tilfælde kan røggasmængden beregnes efter Formel 9 (røggasmængde pr.  $m^3$  gas) eller Formel 10 (røggasmængde pr. kg gas). Hvis et gasformigt brændsel indeholder væsentlige mængder af andre komponenter end dem, der indgår i formlerne, kan det være nødvendigt at beregne koeficienter for disse komponenter og medtage dem i formlen.

**Formel 9: Beregning af støkiometrisk røggasmængde for gasformige brændsler ( $m^3/m^3$  brændsel)**

$$\begin{aligned} V_{røggas,støkiometrisk,normal} &= 1,885 \times y_{H_2} + 2,8811 \times y_{CO} + 8,5584 \times y_{CH_4} + 15,342 \times y_{C_2H_6} + 22,3251 \times y_{C_3H_8} \\ &+ 29,7579 \times y_{C_4H_{10}} + 37,6901 \times y_{C_5H_{12}} + 46,6076 \times y_{C_6H_{14}} + y_{CO_2} + y_{N_2} \end{aligned}$$

Hvor  $V_{røggas,støkiometrisk,normal}$  er støkiometrisk, normal røggasmængde  $m^3$  (n,t) pr.  $m^3$  brændsel  
 $y_x$  er gassens indhold af komponenten x i  $m^3/m^3$  brændsel fundet ved brændselsanalyse  
x er  $H_2$ , CO,  $CH_4$ ,  $C_2H_6$ ,  $C_3H_8$ ,  $C_4H_{10}$ ,  $C_5H_{12}$ ,  $C_6H_{14}$ ,  $CO_2$  og  $N_2$



## Rapport nr.: 87

**Formel 10: Beregning af støkiometrisk røggasmængde for gasformige brændsler ( $m^3/kg$  brændsel)**

$$V_{\text{røggas, støkiometrisk, normal}} = 20,9724 \times y_{\text{H}_2} + 2,3040 \times y_{\text{CO}} + 11,9286 \times y_{\text{CH}_4} + 11,3223 \times y_{\text{C}_2\text{H}_6} + 11,1017 \times y_{\text{C}_3\text{H}_8} + 10,9876 \times y_{\text{C}_4\text{H}_{10}} + 10,9179 \times y_{\text{C}_5\text{H}_{12}} + 10,8709 \times y_{\text{C}_6\text{H}_{14}} + 0,5058 \times y_{\text{CO}_2} + 0,7997 \times y_{\text{N}_2}$$

Hvor  $V_{\text{røggas, støkiometrisk, normal}}$  er støkiometrisk, normal røggasmængde  $m^3$  (n,t) pr. kg brændsel  
 $y_x$  er gassens indhold af komponenten x i kg/kg brændsel fundet ved brændselsanalyse  
 x er  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_6$ ,  $\text{C}_3\text{H}_8$ ,  $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ,  $\text{C}_5\text{H}_{12}$ ,  $\text{C}_6\text{H}_{14}$ ,  $\text{CO}_2$  og  $\text{N}_2$

**Tabel 1 Nedre brændværdi for udvalgte brændsler /6/**

Brændsel	Nedre brændværdi
Naturgas	37,95 MJ/ $m^3$ (n)
Biogas	23,00 MJ/ $m^3$ (n)
Gasolie	42,70 MJ/kg
Fuelolie	40,65 MJ/kg
Stenkul	23,70 MJ/kg

For brændsler med et vandindhold der kan variere meget, kan Formel 10 bruges til at beregne den nedre brændværdi.

**Formel 11: Beregning af nedre brændværdi for brændsler med varierende vandindhold /7/**

$$Q_{\text{nedre, våd}} = Q_{\text{nedre, tør}} \times \frac{100 - \%H_2O}{100} - 0,02443 \times \%H_2O$$

Hvor  $Q_{\text{nedre, våd}}$  er den nedre brændværdi ved  $\%H_2O$  i [MJ/kg]  
 $Q_{\text{nedre, tør}}$  er den nedre brændværdi for tørt brændsel i [MJ/kg] aflæst i Tabel 2  
 $\%H_2O$  er indholdet af vand i træet, udtryk i vægtprocent

**Tabel 2 Tør nedre brændværdi for udvalgte brændsler /6/**

Brændsel	Nedre brændværdi tør ( $Q_{\text{nedre, tør}}$ )
Halm	17,49 MJ/kg
Træflis	18,96 MJ/kg
Træpiller	19,00 MJ/kg
Træaffald	18,99 MJ/kg



## 4 Formler til koncentrationsberegninger

Koncentrationen af svovl i form af SO<sub>2</sub> i røggassen kan beregnes ud fra svovlindholdet i brændslet fundet ved brændselsanalysen. Dette gøres ved hjælp af Formel 12.

**Formel 12: Beregning af mængden af SO<sub>2</sub> der potentielt kan udledes til luften per kg brændsel**

$$C_{SO_2-fuel} = y_S \times \frac{M_{SO_2}}{M_S} \times 1.000.000 \left( \frac{mg}{kg} \right)$$

Hvor C<sub>SO<sub>2</sub>-Fuel</sub> er den teoretiske mængde SO<sub>2</sub> dannet per kg brændsel i mg/kg  
y<sub>S</sub> er brændslets indhold af svovl i kg/kg brændsel fundet ved brændselsanalyse  
M<sub>SO<sub>2</sub></sub> er molvægt for svovldioxid = 64  
M<sub>S</sub> er molvægt for svovl = 32

Ved en brændselsanalyse af faste og flydende brændsler angives svovlindholdet i masse/masse, hvorfor Formel 12 kan anvendes direkte. For gasformige brændsler angives svovlindholdet normalt ikke i masse/masse, men i ppm, % eller mg/m<sup>3</sup> (n,t), som skal omregnes til masse/masse for at kunne anvendes i Formel 12.

**Den potentielle SO<sub>2</sub>-emissionskoncentration beregnes herefter ved at dividere den beregnede SO<sub>2</sub>-mængde med den beregnede, støkiometriske røggasmængde omregnet til relevant ilt referenceprocent,**

Formel 13.

**Formel 13: Beregning af SO<sub>2</sub>-koncentrationen ved ref. O<sub>2</sub> på 3, 6, 11 og 15%**

$$C_{SO_2-r\ddot{o}g,ref.O_2} = y_S \times \frac{M_{SO_2}}{M_S} \times 1.000.000 \left( \frac{mg}{kg} \right) \times \frac{1}{V_{r\ddot{o}ggas,st\ddot{o}kiometrisk,normal} * F_{refO_2}}$$

Hvor C<sub>SO<sub>2</sub>-røg, ref.O<sub>2</sub></sub> er teoretisk koncentration af SO<sub>2</sub> i røggassen ved en given ref. O<sub>2</sub> mg/m<sup>3</sup>,ref  
y<sub>S</sub> er brændslets indhold af svovl i kg/kg brændsel fundet ved brændselsanalyse  
M<sub>SO<sub>2</sub></sub> er molvægt for svovldioxid = 64  
M<sub>S</sub> er molvægt for svovl = 32  
V<sub>røggas,støkiometrisk,normal</sub> er den støkiometriske, normale røggasmængde  
F<sub>refO<sub>2</sub></sub> er en korrektionsfaktor, der afhænger af referenceiltprocenten:  
Ref O<sub>2</sub> = 3%: F<sub>refO<sub>2</sub></sub> = 1,17  
Ref O<sub>2</sub> = 6%: F<sub>refO<sub>2</sub></sub> = 1,4  
Ref O<sub>2</sub> = 11%: F<sub>refO<sub>2</sub></sub> = 2,1  
Ref O<sub>2</sub> = 15%: F<sub>refO<sub>2</sub></sub> = 3,5

F<sub>refO<sub>2</sub></sub> er beregnet efter princippet i Formel 21 og i praksis som 21/(21 – ref. O<sub>2</sub>).

**Formel 12 og**

Formel 13 forudsætter, at al brændslets svovlindhold brænder til SO<sub>2</sub> og udledes med røggassen, dvs. der beregnes en teoretisk maksimal emission. Hvis der er rensningsforanstaltninger eller, hvis der sker indbinding af svovl i aske eller slagge, vil beregningsresultatet være større end den aktuelle røggaskoncentration.



## 5 Formler til tilstandsberegninger

Emissionsmålinger foretages i sagens natur ved aktuelle omstændigheder (temperatur, tryk, vand, iltprocent, kuldioxidprocent, el-effekt på turbine eller andet. Emissionsgrænseværdier er imidlertid næsten aldrig ved aktuelle omstændigheder, men ved f.eks. 0°C, 101,3 kPa, tør (normaltilstanden) eller ved x% ilt, idet x er den reference iltprocent der er gældende for den aktuelle type anlæg. Måleresultater skal derfor næsten altid omregnes.

### Formel 14: Omregning fra tør til våd volumenstrøm

$$V_{\text{våd}} = V_{\text{tør}} \times \frac{100}{100 - \%H_2O}$$

Hvor  $V_{\text{våd}}$  er volumen af våd gas (m<sup>3</sup>, våd)  
 $V_{\text{tør}}$  er volumen af tør gas (m<sup>3</sup>, tør)  
 $\%H_2O$  er volumenprocent vanddamp

### Formel 15: Omregning fra tør til våd koncentration

$$C_{\text{våd}} = C_{\text{tør}} \times \frac{100 - \%H_2O}{100}$$

Hvor  $C_{\text{våd}}$  er koncentration i våd gas (m<sup>3</sup>, våd)  
 $C_{\text{tør}}$  er koncentration i tør gas (m<sup>3</sup>, tør)  
 $\%H_2O$  er volumenprocent vanddamp

### Formel 16: Omregning af volumen fra driftstilstand til normaltilstand /1/

$$V_{n,t} = V_{\text{drift}} \times \frac{273,15}{T_{\text{drift}}} \times \frac{P_{\text{drift}}}{101,3} \times \frac{100 - \%H_2O}{100}$$

### Formel 17: Omregning af volumen fra normaltilstand til driftstilstand

$$V_{\text{drift}} = V_{n,t} \times \frac{T_{\text{drift}}}{273,15} \times \frac{101,3}{P_{\text{drift}}} \times \frac{100}{100 - \%H_2O}$$

Hvor  $V_{n,t}$  er tørt volumen ved normaltilstanden 0°C og 101,3 kPa  
 $V_{\text{drift}}$  er målt volumen ved driftstilstanden  
 $T_{\text{drift}}$  er driftstemperaturen i kelvin  
 $P_{\text{drift}}$  er driftstrykket i kPa  
 $\%H_2O$  er volumenprocent vanddamp

**Formel 18: Omregning af volumen fra normaltildstand til reference O<sub>2</sub> % /1/**

$$V_{ref} = \frac{21 - \%O_{2,m\ddot{a}lt}}{21 - \%O_{2,ref}} \times V_{n,t}$$

Hvor  $V_{ref}$  er volumen ved referenceprocent for O<sub>2</sub> (m<sup>3</sup> (n,t,ref))  
 $\%O_{2,ref}$  er referenceprocenten for O<sub>2</sub>  
 $\%O_{2,m\ddot{a}lt}$  er den m\ddot{a}lte O<sub>2</sub>-procent i afkastluften i vol%, t\ddot{o}r  
 $V_{n,t}$  er volumen ved normaltildstand (m<sup>3</sup> (n,t))  
21 er atmosf\dd{a}rens indhold af O<sub>2</sub> i vol%, t\ddot{o}r

**Formel 19: Omregning af koncentration fra driftstildstand til normaltildstand /1/**

$$C_{n,t} = C_{drift} \times \frac{T_{drift}}{273,15} \times \frac{101,3}{P_{drift}} \times \frac{100}{100 - \%H_2O}$$

**Formel 20: Omregning af koncentration fra normaltildstand til driftstildstand**

$$C_{drift} = C_{n,t} \times \frac{273,15}{T_{drift}} \times \frac{P_{drift}}{101,3} \times \frac{100 - \%H_2O}{100}$$

Hvor  $C_{n,t}$  er koncentrationen ved t\ddot{o}r normaltildstanden 0°C og 101,3 kPa  
 $C_{drift}$  er m\ddot{a}lt koncentration ved driftstildstanden  
 $T_{drift}$  er driftstemperaturen i kelvin  
 $P_{drift}$  er driftstrykket i kPa  
 $\%H_2O$  er volumenprocent vanddamp

**Formel 21: Omregning af koncentration ved normaltildstand til reference O<sub>2</sub> % /1/**

$$C_{ref} = \frac{21 - \%O_{2,ref}}{21 - \%O_{2,m\ddot{a}lt}} \times C_{m\ddot{a}lt}$$

Hvor  $C_{ref}$  er koncentrationen ved referenceprocent for O<sub>2</sub> (mg/m<sup>3</sup> (n,t,ref))  
 $\%O_{2,ref}$  er referenceprocenten for O<sub>2</sub>  
 $\%O_{2,m\ddot{a}lt}$  er den m\ddot{a}lte O<sub>2</sub>-procent i afkastluften i vol%, t\ddot{o}r  
 $C_{m\ddot{a}lt}$  er den m\ddot{a}lte koncentration (mg/m<sup>3</sup> (n,t))  
21 er atmosf\dd{a}rens indhold af O<sub>2</sub> i vol%, t\ddot{o}r<sup>1</sup>

**Formel 22: Omregning af koncentration ved normaltildstanden til reference CO<sub>2</sub> % /1/**

$$C_{ref} = \frac{\%CO_{2,ref}}{\%CO_{2,m\ddot{a}lt}} \times C_{m\ddot{a}lt}$$

Hvor  $C_{ref}$  er koncentrationen ved referenceprocent for CO<sub>2</sub> (mg/m<sup>3</sup> (n,t,ref))  
 $\%CO_{2,ref}$  er referenceprocenten for CO<sub>2</sub>  
 $\%CO_{2,m\ddot{a}lt}$  er den m\ddot{a}lte CO<sub>2</sub>-procent i afkastluften  
 $C_{m\ddot{a}lt}$  er den m\ddot{a}lte koncentration (mg/m<sup>3</sup> (n,t))

**Formel 23: Beregning af O<sub>2</sub> % ud fra målt CO<sub>2</sub> % /1/**

$$\%O_2 = 21 - \frac{21 \times \%CO_{2,m\ddot{a}lt}}{\%CO_{2,max}}$$

Hvor            %O<sub>2</sub> er teoretisk forventet O<sub>2</sub>-procent i røggassen  
                   %CO<sub>2,målt</sub> er målt CO<sub>2</sub>-procent i røggassen  
                   %CO<sub>2,max</sub> er den teoretisk maksimale CO<sub>2</sub>-procent i røggassen for det aktuelle brændsel

**Formel 24: Beregning af CO<sub>2</sub> % ud fra målt O<sub>2</sub> % /1/**

$$\%CO_2 = \frac{(21 - \%O_{2,m\ddot{a}lt}) \times \%CO_{2,max}}{21}$$

Hvor            %CO<sub>2</sub> er teoretisk forventet CO<sub>2</sub>-procent i røggassen  
                   %O<sub>2,målt</sub> er målt O<sub>2</sub>-procent i røggassen  
                   %CO<sub>2,max</sub> er den teoretisk maksimale CO<sub>2</sub>-procent i røggassen for det aktuelle brændsel

Tabel 3 viser udvalgte værdier for CO<sub>2,max</sub>, som kan anvendes ved overslagsberegninger.

**Tabel 3**      **CO<sub>2,max</sub>-værdier for forskellige brændsler**

Brændsel	CO <sub>2,max</sub>
Træ og halm	20,2%
Husholdningsaffald	19,0%
Kul	18,8%
Fuelolie	15,9%
Gasolie	15,4%
Naturgas	12,0%

## 6 Formler til omregning mellem enheder

Mange monitorer til emissionsmålinger giver resultatet i mol-ppm og enkelte i volumen-ppm, men grænseværdier er næsten altid i vægt/m<sup>3</sup> (n,t) – oftest mg/m<sup>3</sup> (n,t). Det er derfor relevant at have en omregningsformel mellem de to enheder.

Molvolumen ved 0°C og 101,3 kPa varierer for forskellige komponenter. Idealgasmolvolumen er 22,41383 m<sup>3</sup>/kmol /2/. I Tabel 4 ses en oversigt over molvægte og -voluminer for udvalgte komponenter. De fleste komponenters molvolumen ligger tæt på idealgasvoluminet, men f.eks. SO<sub>2</sub> og HCN afviger en del. Det kan derfor i princippet diskuteres, om en given komponents realgasvolumen skal anvendes i beregningen. Fysiske love siger, at reale gasser har større intermolekylær tiltrækningskraft end ideale gasser (Van der Waalske kræfter), men kun hvis molekylerne er tæt på hinanden og reelt kan udøve tiltrækning. I en røggas er den overvejende bestanddel den ideale gas nitrogen, og røggaskomponenternes molekyler er langt fra hinanden. Konklusionen er derfor, at for alle praktisk forekommende koncentrationer skal omregningen ske ved hjælp af idealgasvoluminet, uanset om der er tale om mol-ppm eller volumen-ppm. Se desuden notat i Bilag A.



Formel 25: Omregning fra ppm (tør) til  $\text{mg}/\text{m}^3$  (n,t):

$$C_{\text{mg}/\text{m}^3} (n,t) = \frac{C_{\text{ppm}} (tør) \times M_{\text{komponent}}}{V_{\text{luft}} (n)} = C_{\text{ppm}} (tør) \times F_{\text{ppm til } \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}}$$

Formel 26: Omregning fra  $\text{mg}/\text{m}^3$  (n,t) til ppm (tør):

$$C_{\text{ppm}} (tør) = \frac{C_{\text{mg}/\text{m}^3} (n,t) \times V_{\text{luft}} (n)}{M_{\text{komponent}}} = C_{\text{mg}/\text{m}^3} (n,t) \times F_{\frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \text{ til ppm}}$$

Hvor  $C_{\text{mg}/\text{m}^3} (n,t)$  er koncentrationen af komponenten per normalkubikmeter (tør).

$C_{\text{ppm}} (tør)$  er koncentrationen i mol-ppm, tør

$M_{\text{komponent}}$  er molvægten i kg/kmol for komponenten

$V_{\text{luft}} (n)$  er molvolumen for den aktuelle luftblending ved 0°C, 101,3 kPa

$F_{\text{ppm til } \text{mg}/\text{m}^3}$  er omregningsfaktor fra ppm til  $\text{mg}/\text{m}^3$ , se Tabel 4

$F_{\text{mg}/\text{m}^3 \text{ til ppm}}$  er omregningsfaktor fra  $\text{mg}/\text{m}^3$  til ppm, se Tabel 4

Tabel 4 Oversigt over molvægte, -voluminer og omregningsfaktorer

Komponent	Molvægt	Realmolvolumen	Omregningsfaktor med idealgasvolumen 22,41383 l/mol	
	kg/kmol		$\text{m}^3/\text{kmol}$	ppm til $\text{mg}/\text{m}^3$
CO	28,010	22,400	1,250	0,800
NO	30,006	22,390	1,339	0,747
NO <sub>2</sub>	46,005	22,414	2,053	0,487
SO <sub>2</sub>	64,062	21,856	2,858	0,350
HCl	36,461	22,203	1,627	0,615
C	12,011	22,414	0,536	1,866
NH <sub>3</sub>	17,031	22,065	0,760	1,316
HF	20,006	22,414	0,893	1,120
N <sub>2</sub> O	44,013	22,252	1,964	0,509
SO <sub>3</sub>	80,061	21,856	3,572	0,280
CH <sub>4</sub>	16,043	22,360	0,716	1,397
HCN	27,026	21,200	1,206	0,829
Formaldehyd	30,026	22,414	1,340	0,746
H <sub>2</sub> S	34,080	22,192	1,520	0,658
O <sub>3</sub>	47,997	22,414	2,141	0,467
Propan	44,097	21,928	1,967	0,508
Argon	39,948	22,392	1,782	0,561



## 7 Formler relateret til carbon capture anlæg

Ved installation af carbon-capture anlæg (CC-anlæg) fjernes hovedparten af CO<sub>2</sub> fra røggassen, hvorved omregning til fx referencetilstand ikke kan udføres som normalt. I dette afsnit anføres formler til beregning af teoretiske koncentrationer før CC-anlægget baseret på koncentrationer målt efter CC-anlægget.

**Formel 27: Formel til beregning af den teoretiske koncentration (dvs. koncentrationen før CC-anlægget) på basis af målt O<sub>2</sub> før og efter CC-anlægget:**

$$K_{\text{komponent}}^{\text{før}} = K_{\text{komponent}}^{\text{efter}} \times \frac{K_{O_2}^{\text{før}}}{K_{O_2}^{\text{efter}}}$$

Hvor	$K_{CO}^{\text{før}}$	er den tørre koncentration ved 0°C og 101,3 kPa <sup>2</sup> af "komponent" før CC-anlæg
	$K_{CO}^{\text{efter}}$	er den tørre koncentration ved 0°C og 101,3 kPa af "komponent" efter CC-anlæg
	$K_{O_2}^{\text{før}}$	er den tørre koncentration af O <sub>2</sub> før CC-anlæg
	$K_{O_2}^{\text{efter}}$	er den tørre koncentration af O <sub>2</sub> efter CC-anlæg.

**Formel 28: Formel til beregning af den teoretiske O<sub>2</sub> koncentration (dvs. koncentrationen før CC-anlægget) på basis af målt CO<sub>2</sub> før og efter CC-anlægget:**

$$K_{O_2}^{\text{før}} = K_{O_2}^{\text{efter}} \times \frac{100 - K_{CO_2}^{\text{før}}}{100 - K_{CO_2}^{\text{efter}}}$$

Hvor	$K_{O_2}^{\text{før}}$	er den tørre koncentration i vol% af O <sub>2</sub> før CC-anlæg
	$K_{O_2}^{\text{efter}}$	er den tørre koncentration i vol% af O <sub>2</sub> efter CC-anlæg
	$K_{CO_2}^{\text{før}}$	er den tørre koncentration i vol% af CO <sub>2</sub> før CC-anlæg
	$K_{CO_2}^{\text{efter}}$	er den tørre koncentration i vol% af CO <sub>2</sub> efter CC-anlæg

<sup>2</sup> Da vandindhold, temperatur og tryk ændres fra før til efter CC-anlægget kan beregningen frem og tilbage mellem før og efter udelukkende udføres på normaliserede tørre værdier (tør, 0°C, 101,3 kPa). Alternative reference temperatur/tryk kan evt. anvendes.



## 8 Andre formler

Dette afsnit indeholder alle formler, som ikke naturligt hører hjemme i afsnittene 0, 0 og 0.

**Formel 29: Resulterende B-værdi /1/:**

$$B_r = \frac{G}{\frac{G_1}{B_1} + \frac{G_2}{B_2} + \dots + \frac{G_n}{B_n}}$$

hvor  $B_r$  er den resulterende B-værdi i  $\text{mg}/\text{m}^3$ ,  
 $G$  er summen af  $G_1, G_2 \dots G_n$   
 $G_1$  er kildestyrken for stof 1 i  $\text{mg}/\text{s}$ ,  
 $B_1$  er den B-værdi, som angives/fastsættes for stof 1.

**Formel 30: B-værdi ved intermitterende drift jævnt fordelt over døgnet og hele året /1/:**

$$B_i = \frac{B \times 8760}{T_i}$$

hvor  $B$  er stoffets B-værdi  
 $T_i$  er den samlede tid pr. år for den intermitterende drift målt i timer.

**Formel 31: B-værdi ved intermitterende drift IKKE jævnt fordelt over døgnet og hele året /1/:**

$$B_{ik} = \frac{B \times 8760}{T_i \times 2}$$

Hvor  $B_{ik}$  er den intermitterende korrigerede værdi, der er korrigeret ved at dividere med 2.

**Formel 32: Spredningsfaktoren ved vurdering af skorstenshøjder /1/:**

$$S = \frac{G}{B}$$

hvor  $G$  er kildestyrken for det aktuelle stof  
 $B$  er B-værdien for det aktuelle stof

**Formel 33: Normeret kildestyrke til brug for  $B_1$ -metoden /1/**

$$G_{n,i} = \frac{G_i}{B_i}$$

Hvor  $G_{n,i}$  er den normerede kildestyrke for stof  $i$   
 $G_i$  er kildestyrken for stof  $i$   
 $B_i$  er B-værdien for stof  $i$

For nogle stofgrupper gælder en grænseværdi for summen af stofferne i stofgrupperne, hver vægtet med deres toxicitet. Et eksempel er for polyaromatiske hydrocarboner (PAH'er). Disse vægtes i forhold til toxiciteten af benz[a]pyren. Ækvivalensfaktorerne kan findes i Luftvejledningen /1/ og i B-værdivejledningen /3/.

**Formel 34: Beregning af benz[a]pyren-ækvivalenter**

$$\text{Benz[a]pyren ækvivalent} = \sum C_{\text{PAH},n} \times \text{ækvivalensfaktor}_{\text{PAH},n}$$

Hvor  $C_{\text{PAH},n}$  er koncentrationen af den n'te PAH-forbindelse  
ækvivalensfaktor<sub>PAH,n</sub> er den relative toxicitet af den n'te PAH-forbindelse

Der findes en tilsvarende formel for dioxiner for beregning af I-TEQ. Den gengives ikke her, da alle analyselaboratorier foruden enkeltstoffer rapporterer den ækvivalente værdi for I-TEQ. Se herom i metodebladet for dioxinmålinger /4/.

## 9 Håndtering af sum af stoffer

Luftvejledningen /1/ angiver følgende:

*"Hvis emissionsgrænseværdien gælder for summen af flere stoffer, medregnes måleresultater under detektionsgrænsen ikke ved vurdering af, om emissionsgrænseværdien er overholdt."*

Der henvises til MEL-22 /5/ for vejledning i hvordan reglen håndteres.

## 10 Diverse enheder

I dette afsnit vises relevante størrelser og omregning mellem disse. I Tabel 5 er "størrelse 2" ækvivalent til "størrelse 1".

**Tabel 5** Energi og effekt-enheder /1/

Størrelse 1	Størrelse 2
1 J/s	1 W
1 MJ/s	0,8598 Gcal/h
1 kJ	$2,778 \cdot 10^{-4}$ kWh
1 kWh	3600 kJ
1 kWh	859,8 kcal
1 kcal	$1,163 \cdot 10^{-3}$ kWh
1 kcal	4,1868 kJ

## 10.1 Enheder for emissionsgrænseværdier og B-værdier

Enheden for koncentration i emission defineres i Luftvejledningen /1/:

### Klippet fra Luftvejledningen<sup>3</sup>:

**Emissionsgrænseværdi:** En grænseværdi for koncentrationen af et givet stof eller stofgruppe i den luft virksomheder udsender gennem et afkast. Emissionsgrænseværdien gælder for hvert enkelt afkast. Emissionsgrænseværdien skal være overholdt inden en evt. fortynding med rumluft eller afkastluft fra andre processer på virksomheden.

Enheden for emissionsgrænseværdien angives i mg/normal m<sup>3</sup>, dvs. mg af det forurenende stof pr. kubikmeter emitteret gas omregnet til referencetilstanden (0 °C, 101,3 kPa, tør gas). Ved emission fra forbrændingsprocesser refereres også til referenceiltindholdet.

Emissionslaboratorier anvender typisk følgende enheder i deres rapporter: mg/m<sup>3</sup>(n,t) eller mg/m<sup>3</sup>(ref) med følgende fodnoter:

(n,t) angiver tør gas ved normaltilstanden (0°C, 101,3 kPa)

(ref) angiver tør røggas ved normaltilstanden (0°C, 101,3 kPa) og x% O<sub>2</sub>. (x er den reference iltprocent der er gældende for den aktuelle type anlæg).

Hvis ppm eller volumen% anvendes bør det understreges at det er tør: (t) eller fugtig/våd: (f)/(v). Eksempelvis ppm (t) og vol % (f).

## 11 Referencer

- /1/ Miljøstyrelsens vejledning nr. 71, december 2024: Luftvejledningen, Begrænsning af luftforurening fra virksomheder
- /2/ DIN 1871: Gasförmige Brennstoffe und sonstige Gase, 1980
- /3/ Miljøstyrelsens vejledning nr. 72, november 2024: Vejledning om B-værdier
- /4/ Miljøstyrelsens metodeblad MEL-15: Bestemmelse af koncentrationen af dioxin og PCB i strømmende gas, 09-2024.
- /5/ Miljøstyrelsens metodeblad MEL-22: Kvalitet i emissionsmålinger, 09-2024.
- /6/ Energistyrelsens standardfaktorer for brændværdier og CO<sub>2</sub>-emissionsfaktorer til brug for rapporteringsåret 2024 (revideret 11-11-2025). <https://ens.dk/analyser-og-statistik/aarlig-energistatistik>
- /7/ DS/EN ISO 17225-1:2021, Fast biobrændsel – Brændselsspecifikationer og -klasser - Del 1: Generelle krav.

<sup>3</sup> I den tidligere version af Luftvejledningen (vejledning nr. 2 fra 2001) blev enheden mg/Nm<sup>3</sup> benyttet. Denne enhed bør undgås, da det i SI-enheder betyder mg/Newton m<sup>3</sup>.



## Bilag A Notat om realgas- og idealgasvolumen

### Indledning

I forbindelse med miljømålinger af koncentrationer af røggaskomponenter og komponenter i ventilationsluft opnås resultater ofte i ppm. Om det er mol-ppm eller volumen-ppm styres af hvilken enhed kalibreringsgassen er leveret i. Kalibreringsgasser vil dog normalt altid være i mol-ppm.

Mol-ppm er betegnelsen for antal  $\mu\text{mol}$  gaskomponent/mol gasblanding

Volumen-ppm er betegnelsen for ml gaskomponent/ $\text{m}^3$  gasblanding

For at kunne omregne til  $\text{mg}/\text{m}^3$  kræves kendskab til en omregningsfaktor:

$$\text{mg}/\text{Nm}^3 = \frac{\text{ppm}_{\text{komponent}} \times \text{molvægt}_{\text{komponent}}}{\text{molvolumen}_{\text{komponent}}}$$

Her kan der rejses spørgsmål om, hvilket molvolumen, der skal anvendes – idealgasvoluminet eller realgasvoluminet for den aktuelle gas.

### Teori

En ideal gas er kendetegnet ved, at de intermolekylære kræfter er nul. Denne forudsætning gælder for mange gasser, hvilket indikerer, at intermolekylære kræfter er negligible, undtagen når molekylerne er tæt pakkede eller temperaturen er meget lav<sup>4</sup>. Antagelsen om idealgas er "surprisingly good".

Boyles lov siger, at produktet af en gas's tryk og volumen er konstant. Den er tilnærmelsesvis sand for alle gasser, når trykket er lavt og temperaturen relativt høj. Gasser, der følger denne lov, er ideale gasser. Gasser, der ikke følger denne lov, kaldes reale gasser, og der ses relativt store afvigelser, hvis en real gas er under højt tryk eller har lav temperatur. Reale gasser tilnærmer sig ideale gasser, når de er under meget lavt tryk og relativt høj temperatur<sup>5(p. 35)</sup>.

Den kinetiske molekylærteori, som gælder generelt for ideale gasser og for reale gasser undtagen under lavt tryk og høj temperatur siger<sup>5(p. 383)</sup>:

1. Gasser består af molekyler i konstant, tilfældig bevægelse
2. Molekylerne udviser ingen tiltræknings- eller frastødningskræfter på hinanden
3. Molekylære sammenstød er elastiske, og der tabes derfor ingen energi i sammenstødene
4. Molekylerne er i sig selv negligibelt små i forhold til gassens volumen

Når reale gasser kommer under højt tryk, gælder forudsætning 2 og 4 ikke mere. Molekylernes eget volumen kommer tættere på gassens volumen, og van der Waals tiltrækningskræfter får betydning. Betydningen er særligt stor, når temperaturen er lav, fordi molekylernes bevægelser er langsommere, og de er tættere på hinanden i længere tid<sup>5(p. 390)</sup>.

<sup>4</sup> Alonso-Finn: Fundamental University Physics, Volume 1, Mechanics, 7. udgave, 1976, p. 268

<sup>5</sup> Clyde R. Dillard, David E. Goldberg: Chemistry, Reactions, structure and properties, The Macmillan Company, 1971

## Rapport nr.: 87

Det står ikke eksplicit i de to nævnte referencer og dermed heller ikke i ovenstående sammendrag, at reglerne gælder for rene gasser. Det er i princippet ligegyldigt, hvilke ideale gasser der tales om<sup>5(p. 36)</sup>, og det må tilsvarende være ligegyldigt, om der er tale om blandinger af ideale gasser (antagelse).

Anderledes ser det ud, når der er tale om reale gasser blandet med ideale gasser. Her vil koncentrationen af de reale gasser være afgørende for, om tiltrækningskræfterne får betydning. Det er særligt interessant i den sammenhæng, som nærværende redegørelse skal sættes ind i – koncentrationer af røggaskomponenter eller komponenter i ventilationsafkast. I disse situationer møder vi oftest koncentrationer i størrelsesorden op til 1.000 ppm, hvilket også er niveauet for Miljøstyrelsens grænseværdier.

### Regneeksempel – SO<sub>2</sub>

SO<sub>2</sub> er valgt da der er relativ stor forskel mellem realgasvoluminet (21,856) og idelagasvoluminet (22,414) for SO<sub>2</sub>. Hvis man bruger idealgasvoluminet bliver omregningsfaktoren  $64/22,414 = 2,855$ . Hvis man bruger realgasvoluminet bliver omregningsfaktoren  $64/21,856 = 2,928$ .

I følgende regneeksempel for SO<sub>2</sub>, hvor det antages at et enkelt molekyle SO<sub>2</sub> fylder det som realgasvoluminet antyder, selvom teorien siger at det ikke er korrekt (idet molekylerne skal være tæt på hinanden for at kunne kolliderer og dermed påvirke voluminet). Regneeksemplet er udført for at vise at uanset om teorien er korrekt eller ej, så vil den mest korrekte beregning ved normale emissionskoncentrationer opnås ved anvendelse af idealgasvoluminet.

I eksemplet i Tabel 6, er der regnet på 1.000 mol-ppm SO<sub>2</sub> under anvendelse af reale mol-voluminer for SO<sub>2</sub> og nitrogen.

**Tabel 6** Beregning af omregningsfaktor for mol-ppm

Komponent	molvægt	indhold	molvolumen	I ét kmol gas			I røggas
	kg/kmol	mol ppm	m <sup>3</sup> /kmol	kmol	m <sup>3</sup>	mg	mg/m <sup>3</sup>
SO <sub>2</sub>	64	1.000	21,856	0,001	0,021856	64000	2856,83
Nitrogen	28	999.000	22,403	0,999	22,3806	-	-
I alt	-	1.000.000	-	1	22,40245	-	-

Omregningsfaktor bliver således 2,857 og dermed tæt på faktoren beregnet med idealgasvoluminet.

For en koncentration på 100.000 mol-ppm (10 mol%) SO<sub>2</sub> bliver omregningsfaktoren 2,864. Ved 1.000.000 mol-ppm (100 mol%) SO<sub>2</sub> bliver omregningsfaktoren 2,928 (hvilket svarer til omregningsfaktoren baseret på realgasvoluminet). Konsekvensen af dette er, at man for målte koncentrationer op til i hvert fald 100.000 mol-ppm (10%) bør omregningen til mg/m<sup>3</sup> foretages med en omregningsfaktor baseret på idealgasvoluminet. Selvom dette ikke skulle være helt korrekt, indfører man en større fejl ved at anvende en omregningsfaktor baseret på realgasvoluminet.

I den tekniske specifikation for kontinuert måling af SO<sub>2</sub>, dvs. med monitorer kalibreret med kendte gasser med koncentrationer angivet i ppm<sup>6</sup>, giver afsnit 11 anvisning på omregning af resultaterne til massekoncentrationer. Det er samme formel som vist i nærværende notats indledning, og der anvendes værdien 22,4 liter/mol for molvoluminet for SO<sub>2</sub> – altså idealgasvoluminet.

<sup>6</sup> CEN:TS 17021\_2017\_SO<sub>2</sub> med monitorer



**Rapport nr.: 87**

**Konklusion**

For praktiske forhold i emissionsmåling skal omregningsfaktoren baseret på idealgasvoluminet altid anvendes uanset om der er tale om mol-ppm eller vol-ppm.

06-09-2019

Arne Oxbøl