

Eindrapport

Richtlijnen voor omgang met meetgaskoelers bij de meting van NO₂ en SO₂ in vochtig afgas

Swaans W., Brabers R., Lenaers G., Baeyens B., Aerts W.

Studie uitgevoerd in opdracht van: Departement Omgeving
2018/MRG/R/1483
Februari 2018



VITO NV

Boeretang 200 - 2400 MOL - BELGIE
Tel. + 32 14 33 55 11 - Fax + 32 14 33 55 99
vito@vito.be - www.vito.be

BTW BE-0244.195.916 RPR (Turnhout)
Bank 375-1117354-90 ING
BE34 3751 1173 5490 - BBRUBEBB

SAMENVATTING

In voorliggend verslag zijn de resultaten opgenomen van de referentietoets 'Richtlijnen voor omgang met meetgaskoelers bij de meting van NO₂ en SO₂ in vochtig afgas' die over twee jaren (2016-2017) gelopen heeft. Bedoeling van deze referentietoets was het in kaart brengen van NO₂ en SO₂ verliezen in meetgaskoelers in functie van een aantal bepalende parameters:

- Watergehalte in het meetgas;
- Gasdebiet doorheen de koeler;
- NO₂- en SO₂ concentraties in het meetgas;
- Andere componenten in het meetgas met een aanzurend effect op het condensaat in de koeler;
- Gastemperatuur aan de ingang van de koeler;
- Materiaal binnenwerk koeler

De referentietoets bestond uit een aantal deeltaken verspreid over twee jaren:

2016

- Vastleggen en afbakenen van de set van bepalende parameters die de koelerperformantie naar NO₂ en SO₂ verliezen toe beïnvloeden
- Testprogramma opzetten vanuit deze parameterset
- Metingen uitvoeren op 1 koeler beschikbaar in het referentielaboratorium namelijk een peltierkoeler geïntegreerd in een draagbaar gasconditionerings- en monsternemingssysteem, gebruik makend van de generatie-infrastructuur en de meetfaciliteiten van het referentielaboratorium.

2017

- Inventarisatie van de door de erkende labo's gebruikte koelers (vragenlijst in 2016 uitgestuurd);
- Selectie van 4 frequent voorkomende koelers;
- Verwerven van deze koelers voor de duur van de proeven (reeds aanwezig in het referentielabo, huren of aankopen bij leverancier, ...)
- Metingen uitvoeren gebruik makend van de generatie-infrastructuur en de meetfaciliteiten van het referentielaboratorium op deze set van verworven koelers
- Rapportering van de resultaten en bevindingen met opgave van richtlijnen voor het effectief gebruik van meetgaskoelers
- Eventueel een voorstel uitwerken voor bijsturing van de jaarlijkse ringtest anorganische parameters in afgassen

Op basis van de resultaten van de vragenlijst die door de laboratoria werd ingevuld, werden 2 Peltier koelers en 2 compressorkoelers (waarvan één resp. met 1 en 2 kanalen) in 2017 geselecteerd, verworven en getest. De koelers werden door de leverancier voor de duurtijd van de testen ter beschikking gesteld. Het betreft de meest recente modellen van de koelers die door de labo's gebruikt worden.

In eerste instantie werd de capaciteit van alle koelers bij kamertemperatuur als omgevingstemperatuur getest door het aanbieden van gasstromen met verschillende watergehaltes tussen 4 en 40% bij verschillende aanzuigdebieten (resp. 1, 2, 3 en 5 l/min) doorheen de koelers. Bij de verschillende combinaties van debiet doorheen de koeler en vochtgehalte van het meetgas werd het dauwpunt aan de uitgang van de koeler gemeten met een

dauwpuntsmonitor M&C Optima met gekoelde spiegel. Volgens de methode LUC/II/001 'Bemonstering en analyse van CO, CO₂, SO₂, NO_x, O₂ en TOC met monitoren in afgassen', dient het afgas tot aan een koeler geleid te worden, die het gas voldoende koelt en het vocht condenseert tot een dauwpunt van (4 ± 3) °C, zodat het aan de analysatoren kan aangeboden worden.

Uit de capaciteitstesten bleek dat de compressorkoelers een hogere capaciteit hebben dan de Peltier koelers. Dit wil zeggen dat het dauwpunt aan de uitgang van de compressorkoelers bij eenzelfde aanzuigdebiet doorheen de koeler tot hogere aangeboden watergehaltes beneden het maximaal toegelaten dauwpunt van 7°C blijft.

Tijdens de capaciteitstesten bleek de temperatuuruitlezing van het gasconditioneringssysteem niet steeds overeen te komen met het werkelijk gemeten dauwpunt aan de uitgang van de koeler. Bij hogere watergehaltes werden soms verschillen tot 5°C vastgesteld. De temperatuuruitlezing op de display van het gasconditioneringssysteem biedt dus geen garantie dat het dauwpunt na de koeler in orde is, dus binnen (4 ± 3) °C ligt.

Vervolgens werden volgende testschema's opgezet om de NO₂/SO₂ verliezen in de koelers te onderzoeken:

- SO₂- en NO₂-verliezen i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en het gasdebiet doorheen de koelers
- SO₂- en NO₂-verliezen i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en concentratie aan resp. SO₂ of NO₂ in het aangeboden gas
- SO₂- en NO₂-verliezen bij verschillende combinaties van watergehaltes en NO₂-, SO₂-, en CO₂-concentraties in de gasstroom

Bij het opzetten van deze testschema's werd getracht om zoveel mogelijk informatie te bekomen met een beheersbaar aantal proeven.

De absolute en relatieve verliezen van SO₂ zijn groter bij een lager aanzuigdebiet (langere contacttijd tussen gas en het condensaat in de koeler) behalve bij één merk van koelers. De absolute en relatieve verliezen nemen eveneens toe bij een toenemend watergehalte in de gasstroom.

De absolute en relatieve verliezen van NO₂ zijn eveneens groter bij een lager debiet maar onafhankelijk van het watergehalte van de gasstroom.

Bij eenzelfde watergehalte en een toenemende SO₂-concentratie in de gasstroom, stijgen de absolute verliezen aan SO₂ maar dalen de relatieve verliezen aan SO₂ in de koeler. De NO₂-verliezen in de koeler zijn niet afhankelijk van het watergehalte van de gasstroom maar wel van de NO₂-concentratie in de gasstroom: bij een toenemende NO₂-concentratie stijgt zowel het procentueel als absoluut verlies aan NO₂ in de koeler.

De verliezen van SO₂ zijn quasi gelijk voor een 1- en 2-kanaals compressorkoeler, terwijl de verliezen van NO₂ hoger zijn bij gebruik van 2 kanalen t.o.v. 1 kanaal.

In onderstaande tabel worden de verliezen van NO₂ en SO₂ in functie van het watergehalte, aanzuigdebiet doorheen de koelers en NO₂- of SO₂-concentraties in de gasstroom samengevat:

Grootste SO ₂ -verliezen in de koelers		Grootste NO ₂ -verliezen in de koelers	
Relatief (%)	Absoluut (ppm)	Relatief (%)	Absoluut (ppm)
– bij een hoger watergehalte in de gasstroom – bij een lager aanzuigdebiet door de koeler (behalve bij één merk van koelers) – Bij een lagere SO₂-concentratie	– bij een hoger watergehalte in de gasstroom – bij een lager aanzuigdebiet door de koeler (behalve bij één merk van koelers) – Bij een hogere SO₂-concentratie	– Onafhankelijk van het watergehalte in de gasstroom – bij een lager aanzuigdebiet door de koeler – Bij een hogere NO₂-concentratie	– Onafhankelijk van het watergehalte in de gasstroom – bij een lager aanzuigdebiet door de koeler – Bij een hogere NO₂-concentratie

De aanwezigheid van CO₂ en NO₂ in de gasstroom heeft geen invloed op de SO₂- verliezen. Ook de NO₂-verliezen ondervinden geen invloed van de aanwezigheid van CO₂ en SO₂.

De spreidingen op de gemiddeld gemeten absolute en relatieve NO₂- en SO₂-verliezen bij het herhaaldelijk aanbieden van eenzelfde gasstroom met gemiddelde NO₂/SO₂ en waterconcentraties bij de in 2016 geteste Peltier type koeler zijn klein.

Vanuit de resultaten van de testen en de opgebouwde expertise werden richtlijnen voor omgang met meetgaskoelers bij de meting van NO₂ en SO₂ in vochtig afgas uitgewerkt.

INHOUD

Samenvatting	I
Inhoud	IV
Lijst van tabellen	VII
Lijst van figuren	IX
HOOFDSTUK 1. Inleiding	13
HOOFDSTUK 2. Koelers en Testprogramma	15
2.1. <i>Geselecteerde koelers</i>	15
2.1.1. Peltier koeler 1 (1-kanaals glas) geïntegreerd in een draagbaar gasconditionerings- en bemonsteringssysteem	15
2.1.2. Peltier koeler 2 (1-kanaals PFA-gecoat) geïntegreerd in een draagbaar gasconditionerings- en bemonsteringssysteem	17
2.1.3. Peltier koeler 3 (1-kanaals glas)	19
2.1.4. Compressorkoeler 1 (1 of 2-kanaals PFA gecoat)	21
2.1.5. Compressorkoeler 2 (1-kanaals glas)	23
2.2. <i>Testprogramma</i>	25
2.2.1. Capaciteit van de koeler	25
2.2.2. koelerperformantie naar SO ₂ en NO ₂ verliezen	27
2.2.3. Reproduceerbaarheid NO ₂ /SO ₂ verliezen bij verschillende watergehaltes en concentraties	30
HOOFDSTUK 3. Resultaten	31
3.1. <i>Capaciteit van de koelers</i>	31
3.2. <i>Koelerperformantie naar SO₂ en NO₂ verliezen</i>	33
3.2.1. SO ₂ -verliezen in de koeler in functie van het watergehalte en aanzuigdebiet doorheen de koeler	33
3.2.2. SO ₂ -verliezen in de koeler in functie van het watergehalte en de SO ₂ -concentratie	36
3.2.3. NO ₂ -verliezen in de koeler in functie van het watergehalte en aanzuigdebiet doorheen de koeler	39
3.2.4. NO ₂ -verliezen in de koeler in functie van het watergehalte en de NO ₂ -concentratie	42
3.3. <i>SO₂/NO₂ verliezen bij gemiddelde NO₂/SO₂ concentraties i.f.v. CO₂ en verschillende watergehaltes</i>	45
3.4. <i>Reproduceerbaarheid NO₂/SO₂ verliezen bij verschillende watergehaltes en concentraties</i>	48
HOOFDSTUK 4. Richtlijnen en voorstel aanpassing ringtest	50
Literatuurlijst	52
Bijlage A: Resultaten vragenlijst	53

Bijlage B: Resultaten capaciteitstest _____ 63

Peltier koeler 1 geïntegreerd in een draagbaar gasconditionerings- en bemonsteringssysteem	64
Peltier koeler 2 (1-kanaals PFA-gecoat) geïntegreerd in een draagbaar gasconditionerings- en bemonsteringssysteem	66
Peltierkoeler 3 (1-kanaals)	68
compressorkoeler 1 (1 of 2-kanaals PFA gecoat) – capaciteitstest uitgevoerd bij 1 kanaal	70
Compressorkoeler 2 (1-kanaals)	72

Bijlage C: SO₂-verliezen i.f.v. water en debiet _____ 74

Peltier koeler 1 geïntegreerd in een draagbaar gasconditionerings- en bemonsteringssysteem	75
Peltier koeler2 (1-kanaals PFA-gecoat) geïntegreerd in een draagbaar gasconditionerings- en bemonsteringssysteem	78
Peltier koeler 3 (1-kanaals)	80
compressorkoeler 1 (1-kanaals)	82
Compressor koeler 2 (2-kanaals)	84
Compressorkoeler 2	86

Bijlage D: SO₂-verliezen i.f.v. water en de SO₂-concentratie _____ 88

Peltier koeler 1 geïntegreerd in een draagbaar gasconditionerings- en bemonsteringssysteem	89
Peltier koeler 2 (1-kanaals PFA-gecoat) geïntegreerd in een draagbaar gasconditionerings- en bemonsteringssysteem	92
Peltier koeler 3 (1-kanaals)	94
Compressor koeler 1 (1-kanaals)	96
Compressor koeler 1 (2-kanaals)	98
Compressorkoeler 2	100

Bijlage E: NO₂-verliezen i.f.v. water en debiet _____ 102

Peltier koeler 1 geïntegreerd in een draagbaar gasconditionerings- en bemonsteringssysteem	103
Peltier koeler 2 (1-kanaals PFA-gecoat) geïntegreerd in een draagbaar gasconditionerings- en bemonsteringssysteem	106
Peltierkoeler 3 (1-kanaals)	108
Compressor koeler 1 (1-kanaals)	110
Compressor koeler 2 (2-kanaals)	112
Compressorkoeler 2 (1-kanaals)	114

Bijlage F: NO₂-verliezen i.f.v. water en de NO₂-concentratie _____ 116

Peltier koeler 1 geïntegreerd in een draagbaar gasconditionerings- en bemonsteringssysteem	117
Peltier koeler 2 (1-kanaals PFA-gecoat) geïntegreerd in een draagbaar gasconditionerings- en bemonsteringssysteem	120
Peltier koeler 3 (1-kanaals)	122
Compressor koeler 1 (1-kanaals)	124
Compressor koeler 1 (2-kanaals)	126
Compressorkoeler 2	128

Bijlage G: SO₂ en NO₂-verliezen bij gemiddelde NO₂/SO₂ concentraties i.f.v. CO₂ en verschillende watergehaltes (debiet 3 l/min)	130
Peltier koeler 1	131
Peltier koeler 2	134

LIJST VAN TABELLEN

Tabel 1: Technische gegevens Peltier koeler 1	16
Tabel 2: Technische gegevens Peltier koeler 2 (1-kanaals) geïntegreerd in een draagbaar gasconditionerings- en bemonsteringssysteem	17
Tabel 3: Technische gegevens Peltier koeler 3 (1-kanaals)	19
Tabel 4: Technische gegevens compressor koeler 1 (1- of 2-kanaals)	21
Tabel 5: Technische gegevens JCT JCS-100 compressor koeler (1-kanaals)	23
Tabel 6: Instelparameters capaciteitstest koeler	25
Tabel 7: SO ₂ -verliezen i.f.v. water en debiet	27
Tabel 8: NO ₂ -verliezen i.f.v. water en debiet	27
Tabel 9: SO ₂ -verliezen i.f.v. water en SO ₂ -concentratie	28
Tabel 10: NO ₂ -verliezen i.f.v. water en NO ₂ -concentratie	28
Tabel 11: NO ₂ en SO ₂ verliezen i.f.v. water, NO ₂ /SO ₂ -concentraties en CO ₂	28
Tabel 12: Instellingen voor bepaling van de reproduceerbaarheid van de metingen/verliezen	30
Tabel 13: Intra-reproduceerbaarheid metingen van verliezen aan NO ₂ en SO ₂ in de koeler	48
Tabel 14: Intra-reproduceerbaarheid metingen NO ₂ /SO ₂ verliezen i.f.v. het watergehalte en een gemiddelde NO ₂ en SO ₂ -concentratie in de gasstroom	49
Tabel 15: Vraag 1 'Welke verschillende merken en types van meetgaskoelers hebt u in gebruik voor emissiemetingen (+ technische specificaties)'	54
Tabel 16: Vraag 2 'Op welke temperatuur wordt de koeler tijdens de metingen ingesteld?'	58
Tabel 17: Vraag 3 'Op welke plaats staat/staan de koeler(s) in de monsternemingstrein voor de monitoren?'	59
Tabel 18: Vraag 4 'Hebt u al problemen met watercondensatie en/of verliezen van NO ₂ /SO ₂ in de koeler bij bepaald gebruik (ingangstemperatuur, waterconcentratie, omgevingstemperatuur...) bij praktijkmetingen vastgesteld en zo ja, welke?'	60
Tabel 19: Vraag 5 'Past u bepaalde maatregelen toe om verliezen van NO ₂ /SO ₂ in de koeler te beperken?'	61
Tabel 20: Vraag 6 'Hoe controleert/kalibreert u momenteel de meetgaskoeler?'	62
Tabel 21: Resultaten capaciteitstest Peltierkoeler 1 geïntegreerd in een gasconditionerings- en monsternemingssysteem	65
Tabel 22: Resultaten capaciteitstest Peltier koeler 2	67
Tabel 23: Resultaten capaciteitstest Peltier koeler 3	69
Tabel 24: Resultaten capaciteitstest compressorkoeler 1 (1 kanaal)	71
Tabel 25: Resultaten capaciteitstest compressorkoeler 2 (1-kanaals)	73
Tabel 26: SO ₂ -verliezen i.f.v. het watergehalte en debiet voor de Peltier koeler 1 (testen 16/03/2016)	77
Tabel 27: SO ₂ -verliezen i.f.v. het watergehalte en debiet voor de Peltier koeler 2	79
Tabel 28: SO ₂ -verliezen i.f.v. het watergehalte en debiet voor de 1-kanaals Peltier koeler 3	81
Tabel 29: SO ₂ -verliezen i.f.v. het watergehalte en debiet voor de compressorkoeler 1 (1-kanaals)	83
Tabel 30: SO ₂ -verliezen i.f.v. het watergehalte en debiet voor de compressorkoeler 1 (2-kanaals)	85
Tabel 31: SO ₂ -verliezen i.f.v. het watergehalte en debiet voor de compressorkoeler 2	87
Tabel 32: SO ₂ -verliezen i.f.v. het watergehalte en de SO ₂ -concentratie in de gasstroom (testen 16/03/2016)	91
Tabel 33: SO ₂ -verliezen i.f.v. het watergehalte en de SO ₂ -concentratie in de gasstroom (testen 15/02/2017)	93
Tabel 34: SO ₂ -verliezen i.f.v. het watergehalte en de SO ₂ -concentratie in de gasstroom (testen 15/03/2017)	95
Tabel 35: SO ₂ -verliezen i.f.v. het watergehalte en de SO ₂ -concentratie in de gasstroom (testen 14/02/2017)	97

Tabel 36: SO ₂ -verliezen i.f.v. het watergehalte en de SO ₂ -concentratie in de gasstroom (testen 15/02/2017)	99
Tabel 37: SO ₂ -verliezen i.f.v. het watergehalte en de SO ₂ -concentratie in de gasstroom (testen 22/03/2017)	101
Tabel 38: NO ₂ -verliezen i.f.v. het watergehalte en debiet (testen 17/03/2016)	105
Tabel 39: NO ₂ -verliezen i.f.v. het watergehalte en debiet (testen 16/02/2017)	107
Tabel 40: NO ₂ -verliezen i.f.v. het watergehalte en debiet (testen 15/03/2017)	109
Tabel 41: NO ₂ -verliezen i.f.v. het watergehalte en debiet (testen 20/02/2017)	111
Tabel 42: NO ₂ -verliezen i.f.v. het watergehalte en debiet (testen 21/02/2017)	113
Tabel 43: NO ₂ -verliezen i.f.v. het watergehalte en debiet (testen 16/03/2017)	115
Tabel 44: NO ₂ -verliezen i.f.v. het watergehalte en de NO ₂ -concentratie in de gasstroom (testen 14/03/2016)	119
Tabel 45: NO ₂ -verliezen i.f.v. het watergehalte en de NO ₂ -concentratie in de gasstroom (testen 16/02/2017)	121
Tabel 46: NO ₂ -verliezen i.f.v. het watergehalte en de NO ₂ -concentratie in de gasstroom (testen 16/03/2017)	123
Tabel 47: NO ₂ -verliezen i.f.v. het watergehalte en de NO ₂ -concentratie in de gasstroom (testen 21/02/2017)	125
Tabel 48: NO ₂ -verliezen i.f.v. het watergehalte en de NO ₂ -concentratie in de gasstroom (testen 21/02/2017)	127
Tabel 49: NO ₂ -verliezen i.f.v. het watergehalte en de NO ₂ -concentratie in de gasstroom (testen 16/03/2017)	129
Tabel 50: NO ₂ /SO ₂ verliezen i.f.v. het watergehalte en de CO ₂ -concentratie in de gasstroom – NO ₂ /SO ₂ in gasstroom aanwezig (testen 15/03/2016)	133
Tabel 51: NO ₂ /SO ₂ verliezen i.f.v. het watergehalte en de CO ₂ -concentratie in de gasstroom – NO ₂ /SO ₂ in gasstroom aanwezig (testen 16/02/2017)	136

LIJST VAN FIGUREN

<i>Figuur 1: Draagbaar gasconditionerings- en monsternemingssysteem M&C PSS-5/3 met Peltier koeler gebruikt bij de laboratoriumtesten</i>	16
<i>Figuur 2: Ankersmid APS303 Peltier koeler 1-kanaals geïntegreerd in een draagbaar gasconditionerings- en bemonsteringssysteem (links)</i>	18
<i>Figuur 3: Peltier koeler JCT JCM-312 (1-kanaals)</i>	20
<i>Figuur 4: Ankersmid ACC102 compressor koeler (1- of 2-kanaals)</i>	22
<i>Figuur 5: JCT JCS-100 compressor koeler (1-kanaals)</i>	24
<i>Figuur 6: Dauwpuntmeter M&C Optima</i>	26
<i>Figuur 7: Schematische voorstelling van de generatieopstelling voor NO₂, SO₂ en waterdamp</i>	29
<i>Figuur 8: Dauwpunt na de koelers i.f.v. het watergehalte in de gasstroom en het gasdebiet doorheen de koeler (capaciteitstest)</i>	32
<i>Figuur 9: Relatieve verliezen aan SO₂ in de koelers i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en het aanzuigdebiet doorheen de koeler</i>	34
<i>Figuur 10: Absolute verliezen aan SO₂ in de koelers in ppm i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en het aanzuigdebiet doorheen de koeler</i>	35
<i>Figuur 11: Relatieve verliezen aan SO₂ in de koelers i.f.v. het watergehalte en de SO₂-concentratie in de gasstroom</i>	37
<i>Figuur 12: Absolute verliezen aan SO₂ in de koelers in ppm i.f.v. het watergehalte en de SO₂-concentratie van de gasstroom</i>	38
<i>Figuur 13: Relatieve verliezen aan NO₂ in de koelers i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en het aanzuigdebiet doorheen de koeler</i>	40
<i>Figuur 14: Absolute verliezen aan NO₂ in de koelers in ppm i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en het aanzuigdebiet doorheen de koeler</i>	41
<i>Figuur 15: Relatieve verliezen aan NO₂ in de koeler i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en de NO₂-concentratie in de gasstroom</i>	43
<i>Figuur 16: Absolute verliezen aan NO₂ in de koeler in ppm i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en de NO₂-concentratie in de gasstroom</i>	44
<i>Figuur 17: SO₂ verliezen bij gemiddelde NO₂/SO₂ concentraties i.f.v. CO₂ en verschillende watergehaltes</i>	46
<i>Figuur 18: NO₂ verliezen bij gemiddelde NO₂/SO₂ concentraties i.f.v. CO₂ en verschillende watergehaltes</i>	47
<i>Figuur 19: Dauwpuntmetingen na de gasconditionerings- en monsternemingssysteem M&C PSS-5/3 i.f.v. het debiet doorheen het systeem en het watergehalte van de aangeboden gasstroom</i>	64
<i>Figuur 20: Dauwpuntmetingen na de Ankersmid APS303 Peltier koeler i.f.v. het debiet doorheen het systeem en het watergehalte van de aangeboden gasstroom</i>	66
<i>Figuur 21: Dauwpuntmetingen na de JCT JCM-312 Peltier koeler i.f.v. het debiet doorheen het systeem en het watergehalte van de aangeboden gasstroom</i>	68
<i>Figuur 22: Dauwpuntmetingen na de Ankersmid compressorkoeler ACC102 i.f.v. het debiet doorheen het systeem en het watergehalte van de aangeboden gasstroom</i>	70
<i>Figuur 23: Dauwpuntmetingen na de JCS-100 compressorkoeler i.f.v. het debiet doorheen het systeem en het watergehalte van de aangeboden gasstroom</i>	72
<i>Figuur 24: Relatieve verliezen aan SO₂ in de koeler i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en het aanzuigdebiet doorheen de koeler</i>	75
<i>Figuur 25: Absolute verliezen aan SO₂ in de koeler in ppm i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en het aanzuigdebiet doorheen de koeler</i>	76
<i>Figuur 26: Relatieve verliezen aan SO₂ in de koeler i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en het aanzuigdebiet doorheen de koeler</i>	78

<i>Figuur 27: Absolute verliezen aan SO₂ in de koeler in ppm i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en het aanzuigdebiet doorheen de koeler</i>	78
<i>Figuur 28: Relatieve verliezen aan SO₂ in de koeler i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en het aanzuigdebiet doorheen de koeler</i>	80
<i>Figuur 29: Absolute verliezen aan SO₂ in de koeler in ppm i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en het aanzuigdebiet doorheen de koeler</i>	80
<i>Figuur 30: Relatieve verliezen aan SO₂ in de koeler i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en het aanzuigdebiet doorheen de koeler</i>	82
<i>Figuur 31: Absolute verliezen aan SO₂ in de koeler in ppm i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en het aanzuigdebiet doorheen de koeler</i>	82
<i>Figuur 32: Relatieve verliezen aan SO₂ in de koeler i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en het aanzuigdebiet doorheen de koeler</i>	84
<i>Figuur 33: Absolute verliezen aan SO₂ in de koeler in ppm i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en het aanzuigdebiet doorheen de koeler</i>	84
<i>Figuur 34: Relatieve verliezen aan SO₂ in de koeler i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en het aanzuigdebiet doorheen de koeler</i>	86
<i>Figuur 35: Absolute verliezen aan SO₂ in de koeler in ppm i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en het aanzuigdebiet doorheen de koeler</i>	86
<i>Figuur 36: Relatieve verliezen aan SO₂ in de koeler i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en de SO₂-concentratie in de gasstroom</i>	89
<i>Figuur 37: Absolute verliezen aan SO₂ in de koeler in ppm i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en de SO₂-concentratie in de gasstroom</i>	90
<i>Figuur 38: Relatieve verliezen aan SO₂ in de koeler i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en de SO₂-concentratie in de gasstroom</i>	92
<i>Figuur 39: Absolute verliezen aan SO₂ in de koeler in ppm i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en SO₂-concentratie in de gasstroom</i>	92
<i>Figuur 40: Relatieve verliezen aan SO₂ in de koeler i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en de SO₂-concentratie in de gasstroom</i>	94
<i>Figuur 41: Absolute verliezen aan SO₂ in de koeler in ppm i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en de SO₂-concentratie in de gasstroom</i>	94
<i>Figuur 42: Relatieve verliezen aan SO₂ in de koeler i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en de SO₂-concentratie in de gasstroom</i>	96
<i>Figuur 43: Absolute verliezen aan SO₂ in de koeler in ppm i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en de SO₂-concentratie in de gasstroom</i>	96
<i>Figuur 44: Relatieve verliezen aan SO₂ in de koeler i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en de SO₂-concentratie in de gasstroom</i>	98
<i>Figuur 45: Absolute verliezen aan SO₂ in de koeler in ppm i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en de SO₂-concentratie in de gasstroom</i>	98
<i>Figuur 46: Relatieve verliezen aan SO₂ in de koeler i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en de SO₂-concentratie in de gasstroom</i>	100
<i>Figuur 47: Absolute verliezen aan SO₂ in de koeler in ppm i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en de SO₂-concentratie in de gasstroom</i>	100
<i>Figuur 48: Relatieve verliezen aan NO₂ in de koeler i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en het aanzuigdebiet doorheen de koeler</i>	103
<i>Figuur 49: Absolute verliezen aan NO₂ in de koeler in ppm i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en het aanzuigdebiet doorheen de koeler</i>	104
<i>Figuur 50: Relatieve verliezen aan NO₂ in de koeler i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en het aanzuigdebiet doorheen de koeler</i>	106
<i>Figuur 51: Absolute verliezen aan NO₂ in de koeler in ppm i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en het aanzuigdebiet doorheen de koeler</i>	106

<i>Figuur 52: Relatieve verliezen aan NO₂ in de koeler i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en het aanzuigdebiet doorheen de koeler</i>	108
<i>Figuur 53: Absolute verliezen aan NO₂ in de koeler in ppm i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en het aanzuigdebiet doorheen de koeler</i>	108
<i>Figuur 54: Relatieve verliezen aan NO₂ in de koeler i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en het aanzuigdebiet doorheen de koeler</i>	110
<i>Figuur 55: Absolute verliezen aan NO₂ in de koeler in ppm i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en het aanzuigdebiet doorheen de koeler</i>	110
<i>Figuur 56: Relatieve verliezen aan NO₂ in de koeler i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en het aanzuigdebiet doorheen de koeler</i>	112
<i>Figuur 57: Absolute verliezen aan NO₂ in de koeler in ppm i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en het aanzuigdebiet doorheen de koeler</i>	112
<i>Figuur 58: Relatieve verliezen aan NO₂ in de koeler i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en het aanzuigdebiet doorheen de koeler</i>	114
<i>Figuur 59: Absolute verliezen aan NO₂ in de koeler in ppm i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en het aanzuigdebiet doorheen de koeler</i>	114
<i>Figuur 60: Relatieve verliezen aan NO₂ in de koeler i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en de NO₂-concentratie in de gasstroom</i>	117
<i>Figuur 61: Absolute verliezen aan NO₂ in de koeler in ppm i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en de NO₂-concentratie in de gasstroom</i>	118
<i>Figuur 62: Relatieve verliezen aan NO₂ in de koeler i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en de NO₂-concentratie in de gasstroom</i>	120
<i>Figuur 63: Absolute verliezen aan NO₂ in de koeler in ppm i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en NO₂-concentratie in de gasstroom</i>	120
<i>Figuur 64: Relatieve verliezen aan NO₂ in de koeler i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en de NO₂-concentratie in de gasstroom</i>	122
<i>Figuur 65: Absolute verliezen aan NO₂ in de koeler in ppm i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en de NO₂-concentratie in de gasstroom</i>	122
<i>Figuur 66: Relatieve verliezen aan NO₂ in de koeler i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en de NO₂-concentratie in de gasstroom</i>	124
<i>Figuur 67: Absolute verliezen aan NO₂ in de koeler in ppm i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en de NO₂-concentratie in de gasstroom</i>	124
<i>Figuur 68: Relatieve verliezen aan NO₂ in de koeler i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en de NO₂-concentratie in de gasstroom</i>	126
<i>Figuur 69: Absolute verliezen aan NO₂ in de koeler in ppm i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en de NO₂-concentratie in de gasstroom</i>	126
<i>Figuur 70: Relatieve verliezen aan NO₂ in de koeler i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en de NO₂-concentratie in de gasstroom</i>	128
<i>Figuur 71: Absolute verliezen aan NO₂ in de koeler in ppm i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en de NO₂-concentratie in de gasstroom</i>	128
<i>Figuur 72: Relatieve verliezen aan SO₂ in de koeler i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en de CO₂-concentratie in de gasstroom (gasstroom met NO₂ en SO₂)</i>	131
<i>Figuur 73: Absolute verliezen aan SO₂ in de koeler i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en de CO₂-concentratie in de gasstroom (gasstroom met NO₂ en SO₂)</i>	131
<i>Figuur 74: Relatieve verliezen aan NO₂ in de koeler i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en de CO₂-concentratie in de gasstroom (gasstroom met NO₂ en SO₂)</i>	132
<i>Figuur 75: Absolute verliezen aan NO₂ in de koeler i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en de CO₂-concentratie in de gasstroom (gasstroom met NO₂ en SO₂)</i>	132
<i>Figuur 76: Relatieve verliezen aan SO₂ in de koeler i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en de CO₂-concentratie in de gasstroom (gasstroom met NO₂ en SO₂)</i>	134

<i>Figuur 77: Absolute verliezen aan SO_2 in de koeler i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en de CO_2-concentratie in de gasstroom (gasstroom met NO_2 en SO_2)</i>	134
<i>Figuur 78: Relatieve verliezen aan NO_2 in de koeler i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en de CO_2-concentratie in de gasstroom (gasstroom met NO_2 en SO_2)</i>	135
<i>Figuur 79: Absolute verliezen aan NO_2 in de koeler i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en de CO_2-concentratie in de gasstroom (gasstroom met NO_2 en SO_2)</i>	135

HOOFDSTUK 1. INLEIDING

Alhoewel NO₂ en SO₂ reeds tientallen jaren via monitoren gemeten worden, vergt een kwalitatief goede meting de nodige aandacht van de labo's. Belangrijke elementen hierbij zijn o.a.:

- De kwaliteit van de gebruikte kalibratiegassen: zie ook de referentietaak rond NO₂ kalibratiegassen in 2014; de meting zal niet beter zijn dan de afwijking op de certificaatwaarde van de fles
- De performantie van de ingezette monitoren bv. de converterefficiëntie van een chemiluminescente monitor bij de meting van NO₂
- De invloed van het gebruik van koelers bij vochtig afgas die het bemonsterd meetgas afkoelen tot 3 à 4 °C en zodoende het meeste water afscheiden en afvoeren zodat het niet kan condenseren in de monitoren en/of interferenties veroorzaken. Daar echter NO₂ en SO₂ goed wateroplosbaar zijn, zullen ze gedeeltelijk in het condensatiewater terechtkomen en dus niet volledig gemeten worden.

Deze referentietaak richt zich op het in kaart brengen van de NO₂ en SO₂ verliezen die optreden in de koeler in functie van een set van bepalende parameters. Van daaruit worden er richtlijnen opgesteld voor de (erkende) labo's die hun toelaten om meetgaskoelers zo effectief mogelijk in te zetten rekening houdend met de geldende procedures en normen.

Voor de uitvoering van de taak worden volgende stappen voorzien:

Deel 2016

1. Vastleggen en afbakenen van de set van bepalende parameters die de koelerperformantie naar NO₂ en SO₂ verliezen toe beïnvloeden. Tot deze parameters behoren:
 - a. De waterconcentratie in het meetgas
 - b. De NO₂/SO₂ concentratie in het meetgas
 - c. Andere componenten in het meetgas die een aanzurend effect hebben op het condensaat in de koeler
 - d. Het gasdebiet door de koeler
 - e. De gastemperatuur aan de ingang van de koeler
2. Design of experiment opzetten vanuit deze parameterset -rekening houdend met de toepasselijke passages uit geldende normen waar nodig- zodat enerzijds het aantal experimenten beheersbaar blijft en anderzijds de zeggingskracht niet in het gedrang komt
3. Reproduceerbaar uitvoeren van de metingen gebruik makend van de generatie-infrastructuur en de meetfaciliteiten van het referentielabo en toegepast op 1 koeler beschikbaar bij het referentielaboratorium

Deel 2017

4. Inventarisatie van de door de erkende labo's gebruikte koelers
5. Selectie hieruit van 3 à 4 frequent voorkomende koelers
6. Verwerven van deze koelers voor de duur van de proeven: of reeds aanwezig in het referentielabo, of te huren bij een leverancier, of indien niet via een andere weg te verkrijgen door aan te kopen

7. Reproduceerbaar uitvoeren van de metingen gebruik makend van de generatie-infrastructuur en de meetfaciliteiten van het referentielabo op deze set van verworven koelers
8. Rapportering van de resultaten en bevindingen met opgave van richtlijnen voor het effectief gebruik van meetgaskoelers. Eventueel -i.f.v. de resultaten- een voorstel uitwerken voor bijsturing van de jaarlijkse ringtest rond 'bemonstering en analyse van de anorganische parameters (O_2 , CO, CO_2 , SO_2 , NO_x) in afgassen' zodat deze ringtest toelaat om een zo adequaat mogelijk beeld te krijgen van de betreffende meetperformantie van de deelnemers onder realiteitsbenaderende condities.

HOOFDSTUK 2. KOELERS EN TESTPROGRAMMA

2.1. GESELECTEERDE KOELERS

Een inventarisatie van de door de erkende labo's gebruikte koelers werd uitgevoerd. De resultaten hiervan zijn in Bijlage A opgenomen. Op basis van deze inventarisatie werden in totaal 3 Peltier type koelers en 2 compressorkoelers getest. Eén van de compressorkoelers beschikte over 1 resp. 2 kanalen.

De Peltier koeler die in 2016 getest werd, was beschikbaar in het referentielaboratorium. De overige koelers werden door de leveranciers ter beschikking gesteld voor de duur van de testen. Het betreft hier de meest recente modellen van koelers aangezien de exacte types van koelers gebruikt door de laboratoria niet meer beschikbaar waren.

2.1.1. PELTIER KOELER 1 (1-KANAALS GLAS) GEÏNTEGREERD IN EEN DRAAGBAAR GASCONDITIONERINGS- EN BEMONSTERINGSSYSTEEM

Het geselecteerde type koeler voor de testen van 2016 is een Peltier type koeler 1 van een draagbaar gasconditionerings- en monsternemingssysteem. De technische gegevens van deze koeler zijn opgenomen in onderstaande tabel. In de wand van de draagkoffer bevindt zich een elektronische temperatuuruitlezing.

Tabel 1: Technische gegevens Peltier koeler 1

Parameter	
Dauwpunt aan uitgang koeler	+5°C
Gasinlaat temperatuur	Maximum 80°C*
Gasdebiet	Max. 350 NI/h* ($\approx 5,8$ NI/min)
Debietsmeter type FM 40	50-500 NI/h
Omgevingstemperatuur	+5°C tot 40°C*
Bewaartemperatuur	-25°C tot +65°C
Druk	0,7 bar tot 1,4 bar abs.**
Totale koelcapaciteit	Max. 90 kJ/h
Aantal gasinlaten	1
Aantal gasuitlaten	1
Materiaal van de delen die in contact komen met het medium	Roestvrij staal, glas, PPH, PVC, PVDF, PTFE, Novopreen®
Klaar voor werking	Ongeveer 10 minuten
Stroomverbruik	230V 50 Hz $\pm 10\%$ of 115V 60Hz $\pm 10\%$

* maximum waarden in de technische gegevens bij een totaal koelvermogen bij 25°C

** standaard

Het gasconditionerings- en monsternemingssysteem met Peltier koeler is weergegeven in Figuur 1.



Figuur 1: Peltier koeler 1 geïntegreerd in een draagbaar gasconditionerings- en monsternemingssysteem gebruikt bij de laboratoriumtesten

2.1.2. PELTIER KOELER 2 (1-KANAALS PFA-GECOAT) GEÏNTEGREERD IN EEN DRAAGBAAR GASCONDITIONERINGS- EN BEMONSTERINGSSYSTEEM

De technische gegevens van de Peltier type koeler 2 zijn opgenomen in Tabel 2. Het gasconditionerings- en monsternemingssysteem met Peltier type koeler is weergegeven in Figuur 2.

Tabel 2: Technische gegevens Peltier koeler 2 (1-kanaals) geïntegreerd in een draagbaar gasconditionerings- en bemonsteringssysteem

Parameter	
Gasdebiet max.	350 NI/h
Dauwpunt aan de uitgang	+1°C.....+15°C, fabrieksinstelling: +4°C
Dauwpunt stabiliteit	± 0,1°C
Gasinlaat temperatuur	Max. 190°C
Gasinlaat connectie	Roestvrij staal connectie DN4/6 mm, geschikt voor verwarmde monsternemingsleidingen
Dauwpunt aan de ingang	Max. 50°C
Omgevingstemperatuur	+5°C tot +45°C
Max. druk	3 bar absoluut
Gas wetted materials	
Coating van de warmtewisselaar	PFA
Diafragma pomp	AMP: head: PPS, valves: FFPM, membrane: PTFE-coated
Filter	Head, element holder: PVDF, filter element: PTFE, body: Duran® glass
Peristaltische pomp	Tube: Novoprene® connectors: PVDF
Andere	Tubing: PTFE, inlet connector: SS316, Outlet connector: PVDF
Aantal gasinlaten	1
Aantal gasuitlaten	1 (standard), max. 2
Filter porositeit	2 µm
Totale koelcapaciteit	Max. 245 kJ/h (2 Peltier elements)
Bewaartemperatuur	-25°C tot +65°C
Klaar voor werking	< 15 min
Stroomvoorziening	230V/50Hz of 115V/60Hz
Stroomverbruik	100VA
Behuizing	Portable heavy duty ABS case
Afmetingen behuizing	46,8 x 35,5 x 19,3 cm
Gewicht	12 kg



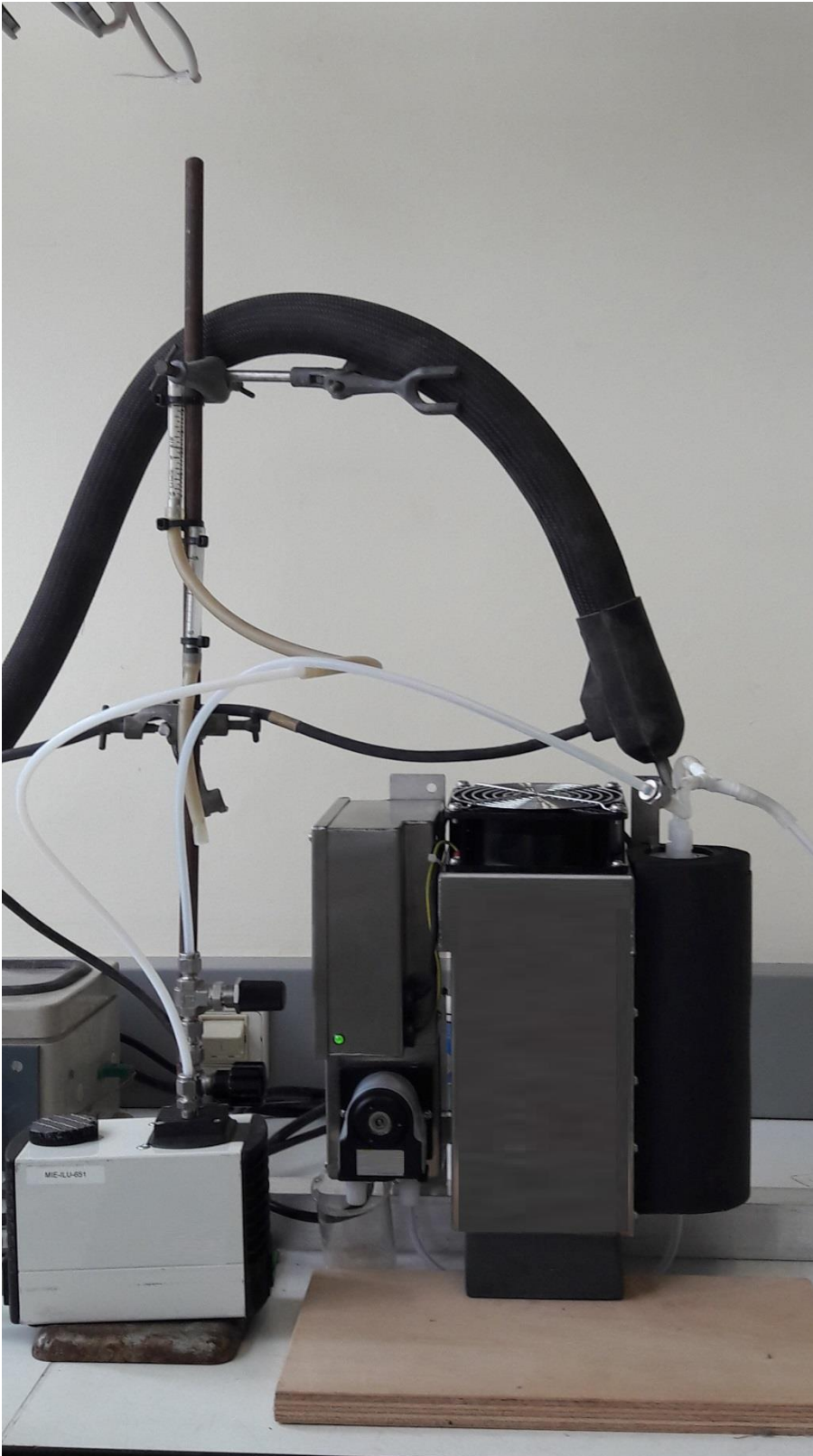
Figuur 2: Peltier koeler 2 (1-kanaals) geïntegreerd in een draagbaar gasconditionerings- en bemonsteringssysteem)

2.1.3. PELTIER KOELER 3 (1-KANAALS GLAS)

De technische specificaties van de Peltier koeler 3 zijn opgenomen in Tabel 3. De koeler is afgebeeld in Figuur 3.

Tabel 3: Technische gegevens Peltier koeler 3 (1-kanaals)

Parameter	
Type koeler	High-performance
Koelprincipe	Peltier koeling
Aantal gaspaden	1
Aantal Peltier elementen per actief gaspad	2
Geïntegreerde condensaatpomp	1
Gasdebiet per gaspad	Max. 250 NI/h
Gasinlaat temperatuur	Max. 140°C; SS warmtewisselaar: max. 180°C
Dauwpunt aan de ingang	Max. 80°C
Dauwpunt aan de uitgang	+5°C (default fabrieksinstelling); instelbaar tussen +0,5°C +7,5°C
Dauwpunt stabiliteit	± 0,1K
Omgevingstemperatuur	+5+50°C
Totale koelcapaciteit	Max. 30 W
Operating pressure with condensate pump	0,2 ... 2,2 bara (absolute druk)
Max. operating pressure without condensate pump	4,0 bara; SS warmtewisselaar: max. 19 bara
Klaar voor werking	< 15 min
Drukval bij het max. debiet	3 mbar
Afmetingen	289 x 308 x 140 mm
gewicht	Ongeveer 9,3 kg
Gas wetted materials (afhankelijk van de configuratie)	Aluminium gecoat, PVDF, 1.4571, FFKM, Duran glas
Stroomvoorziening	230 VAC 50/60 Hz +/- 10% of 115 VAC 50/60 Hz +/- 10%
Stroomverbruik	30....160 VA



Figuur 3: Peltier koeler 3 (1-kanaals)

2.1.4. COMPRESSORKOELER 1 (1 OF 2-KANAALS PFA GECOAT)

In Tabel 4 zijn de technische specificaties van de compressorkoeler 1 weergegeven. De koeler is afgebeeld in Figuur 4. Deze koeler beschikt over 2 warmtewisselaars. Voor de testen werd de koeler getest met resp. 1 kanaal versus 2 kanalen in serie.

Tabel 4: Technische gegevens compressor koeler 1 (1- of 2-kanaals)

Parameter	
Type koeler	Compressorkoeler, 2 warmtewisselaars
Gasdebiet	Max. 200 l/h*
Gasinlaat temperatuur	Max. 190°C*
Temperatuur van het gas aan de uitgang	+1°C ...+15°C, fabrieksinstelling: +4°C
Dauwpunt aan de ingang	Max. 65°C*
Dauwpunt stabiliteit	0,1°C
Omgevingstemperatuur	+5°C tot 45°C
Totale koelcapaciteit	Max. 445 BTU/h $\approx$ 470 kJ/h
Max. druk	10 bar a
Drukval	2 mbar bij 200 l/h
Klaar voor werking	Niet gespecificeerd
Afmetingen	443,5 x 220 x 270 mm (voor montering aan de muur) / 491,5 x 220 x 270 mm (19"-rack)
gewicht	$\approx$ 18 kg
Stroomvoorziening	230 VAC, 50/60 Hz
Stroomverbruik	95 W (steady-state)
Materiaal 'exchanger body'	PFA® coated
Materiaal 'exchanger head'	PFA® coated
Afdichtingen	Viton®

* De maximum waarden in de technische gegevens moeten worden beoordeeld op basis van de totale koelcapaciteit bij een omgevingstemperatuur van 25 °C en een dauwpunt van 4°C aan de uitgang.



Figuur 4: Compressorkoeler 1 (1- of 2-kanaals)

2.1.5. COMPRESSORKOELER 2 (1-KANAALS GLAS)

In Tabel 5 zijn de technische specificaties van de compressor koeler 2 opgenomen, in Figuur 5 is deze koeler afgebeeld.

Tabel 5: Technische gegevens compressorkoeler 2 (1-kanaals)

Parameter	
Type koeler	Compressor koeler
Aantal gaspaden	1
Max. gasdebiet	250 NI/h
Max. gasinlaat temperatuur	140°C
Max. dauwpunt aan de ingang	80°C
Dauwpunt aan de uitgang	3°C
Dauwpunt stabiliteit (bij constante condities aan de ingang)	± 0,2K
Omgevingstemperatuur	+5....+45°C
Koelcapaciteit	160 W
Alarm limieten temperatuur	<0/>+10°C
Operating pressure with condensate pump	0,2 ... 2,2 bara
Max. operating pressure without condensate pump	2,5
Klaar voor werking	< 20 min
Drukval bij 100 NI/h	2 mbar
Afmetingen (breedte x hoogte x diepte)	308 x 312 x 375 mm
Gewicht	17 kg
Stroomvoorziening	220240 VAC 50/60 Hz or 100 115 VAC 50/60 Hz
Stroomverbruik	190 VA
Materiaal warmtewisselaars	PTFE coated aluminium, PVDF, Duran glas, SS316



Figuur 5: Compressorkoeler 2 (1-kanaals)

2.2. TESTPROGRAMMA

2.2.1. CAPACITEIT VAN DE KOELER

De capaciteit van de verschillende koelers werd bij verschillende aangeboden watergehaltes en verschillende gasdebieten doorheen de koeler getest. De verschillende instelparameters zijn opgenomen in Tabel 6.

De temperatuur van het gas aan de ingang van de koeler bedraagt 80°C. Deze temperatuur was de maximale ingangstemperatuur vanuit de specificaties voor de eerste geteste Peltier koeler.

De Peltier koeler 1 geïntegreerd in een gasconditionerings- en monsternemingssysteem werd tijdens de capaciteitstest ingesteld op een temperatuur van 3,5°C, de Peltier koeler 2 en de compressor koeler 1 op 4°C, de Peltier koeler 3 en de compressor koeler 2 op 3°C.

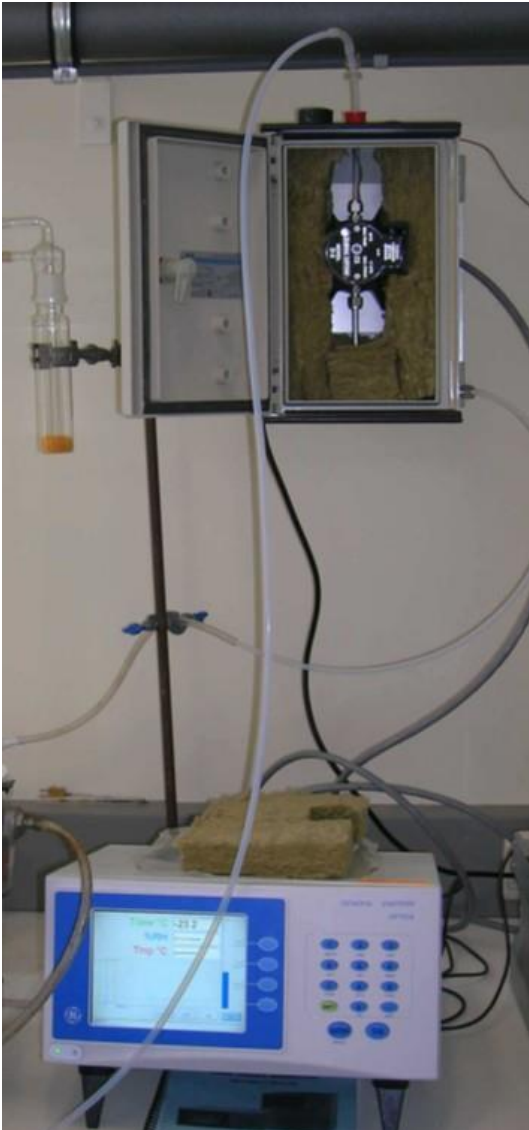
Tabel 6: Instelparameters capaciteitstest koeler

Watergehalte van de aangeboden gasstroom (%)	Temperatuur gas aan ingang (°C) van de koeler	Gasdebiet (l/min) doorheen de koeler	Insteltemperatuur koeler (°C)
≈ 4-40	80	1	3 à 4 °C
≈ 4-40	80	2	3 à 4 °C
≈ 4-40	80	3	3 à 4 °C
≈ 4-40	80	5	3 à 4 °C

Bij de verschillende instellingen werd het dauwpunt aan de uitgang van de koeler gemeten met een dauwpuntsmonitor M&C Optima (Figuur 6) met gekoelde spiegel (dauwpuntsrange van -80°C tot +85°C).

Het werkingsprincipe van deze dauwpuntsmonitor M&C Optima is gebaseerd op optische condensatiehygrometrie. Dit is een precieze techniek om het waterdampgehalte in gassen te bepalen door rechtstreekse meting van het dauwpunt- of vriespunt. Bij deze techniek wordt een metalen spiegel gekoeld totdat een temperatuur bereikt wordt waarbij een dunne laag condens op de spiegel gevormd wordt. De dauwlaag wordt optisch gedetecteerd en de spiegel wordt op die temperatuur gehouden. De spiegeltemperatuur, gemeten met een platina weerstandsthermometer, is een accurate indicator van het dauw- of vriespunt.

De condensaatspiegel wordt belicht met een hoog-intensieve, solid state, licht-emitterende diode (LED). Een fotodetector volgt het gereflecteerde LED-licht op. De fotodetector wordt volledig belicht als er geen dauw op de spiegel hangt. Indien dauw gevormd wordt, ontvangt de detector minder licht. De geproduceerde stroom is proportioneel met het licht dat van de spiegel gereflecteerd wordt.



Boven: verwarmde kast met sensorelement
Onder: uitleeseenheid

Figuur 6: Dauwpuntsmeter M&C Optima

2.2.2. KOELERPERFORMANTIE NAAR SO₂ EN NO₂ VERLIEZEN

Na de capaciteitstest werd de koelerperformantie naar SO₂- en NO₂-verliezen voor de geselecteerde koelers onderzocht:

- SO₂-verliezen i.f.v. water en debiet
- SO₂-verliezen i.f.v. water en SO₂-concentratie
- NO₂-verliezen i.f.v. water en debiet
- NO₂-verliezen i.f.v. water en NO₂-concentratie
- NO₂- en SO₂-verliezen i.f.v. water, NO₂-/SO₂-concentraties en CO₂ (getest voor 2 Peltier type koelers)

De verschillende testschema's voor de controle op eventuele verliezen van SO₂ en NO₂ in de koeler worden weergegeven in Tabel 7 t.e.m. Tabel 11.

Eerst worden de eventuele verliezen van resp. SO₂ of NO₂ in functie van het watergehalte en debiet doorheen de koeler getest. Daarna wordt bij een vast ingesteld debiet nagegaan wat de invloed van het watergehalte in de gasstroom en de NO₂- en SO₂-concentratie op de eventuele verliezen ervan is. In een laatste fase worden NO₂ en SO₂ bij hetzelfde vast debiet samen gegenereerd in combinatie met verschillende watergehaltes en concentraties. In bepaalde stappen wordt eveneens CO₂ toegevoegd om na te gaan wat de invloed van het aanzurend effect op het condensaat in de koeler is.

Tabel 7: SO₂-verliezen i.f.v. water en debiet

Debiet l/min	T ingang °C	% H ₂ O	ppm SO ₂
1	80	≈ 5	≈ 100
3	80	≈ 5	≈ 100
5	80	≈ 5	≈ 100
1	80	≈ 10	≈ 100
3	80	≈ 10	≈ 100
5	80	≈ 10	≈ 100
1	80	≈ 20	≈ 100
3	80	≈ 20	≈ 100

Tabel 8: NO₂-verliezen i.f.v. water en debiet

Debiet l/min	T ingang °C	% H ₂ O	ppm NO ₂
1	80	≈ 5	≈ 50
3	80	≈ 5	≈ 50
5	80	≈ 5	≈ 50
1	80	≈ 10	≈ 50
3	80	≈ 10	≈ 50
5	80	≈ 10	≈ 50
1	80	≈ 20	≈ 50
3	80	≈ 20	≈ 50

Tabel 9: SO_2 -verliezen i.f.v. water en SO_2 -concentratie

Debiet l/min	t ingang °C	% H ₂ O	ppm SO ₂
3	80	≈ 5	≈ 25
3	80	≈ 5	≈ 100
3	80	≈ 5	≈ 500
3	80	≈ 10	≈ 25
3	80	≈ 10	≈ 100
3	80	≈ 10	≈ 500
3	80	≈ 20	≈ 25
3	80	≈ 20	≈ 100
3	80	≈ 20	≈ 500

Tabel 10: NO_2 -verliezen i.f.v. water en NO_2 -concentratie

Debiet l/min	t ingang °C	% H ₂ O	ppm NO ₂
3	80	≈ 5	≈ 10
3	80	≈ 5	≈ 50
3	80	≈ 5	≈ 100
3	80	≈ 10	≈ 10
3	80	≈ 10	≈ 50
3	80	≈ 10	≈ 100
3	80	≈ 20	≈ 10
3	80	≈ 20	≈ 50
3	80	≈ 20	≈ 100

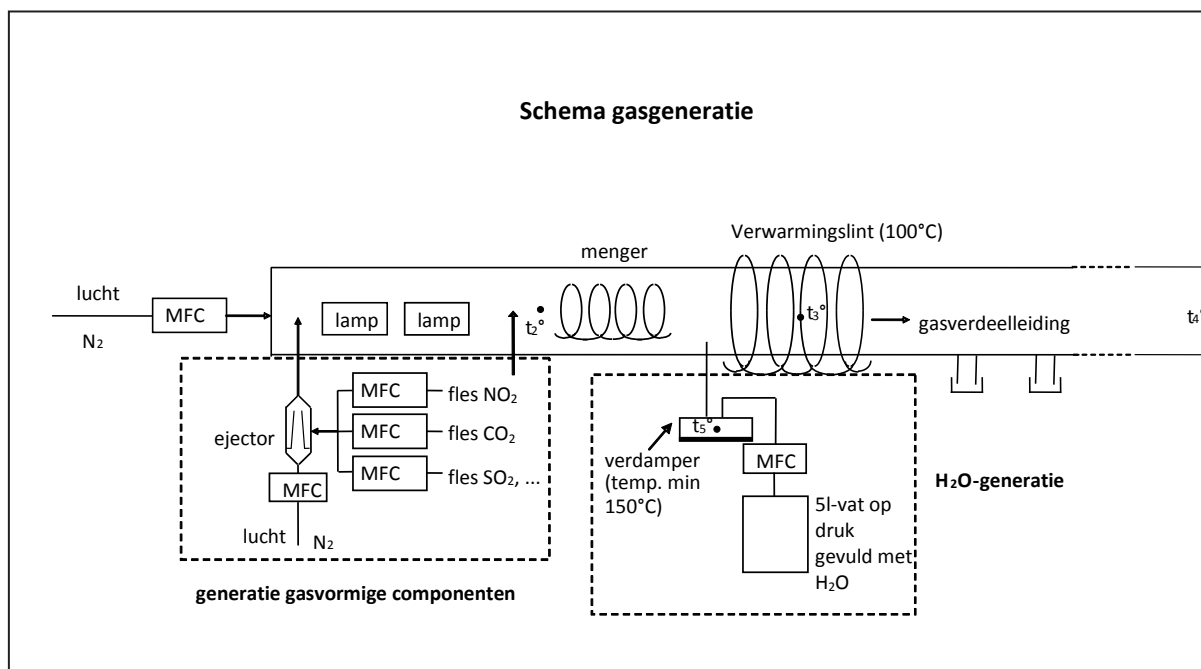
Tabel 11: NO_2 en SO_2 verliezen i.f.v. water, NO_2/SO_2 -concentraties en CO_2

Debiet l/min	t ingang °C	% H ₂ O	ppm SO ₂	ppm NO ₂	% CO ₂
3	80	0	≈ 100	≈ 50	0
3	80	0	≈ 100	≈ 50	5
3	80	0	≈ 100	≈ 50	10
3	80	≈ 5	≈ 100	≈ 50	0
3	80	≈ 5	≈ 100	≈ 50	5
3	80	≈ 5	≈ 100	≈ 50	10
3	80	≈ 10	≈ 100	≈ 50	0
3	80	≈ 10	≈ 100	≈ 50	5
3	80	≈ 10	≈ 100	≈ 50	10
3	80	≈ 20	≈ 100	≈ 50	0
3	80	≈ 20	≈ 100	≈ 50	5
3	80	≈ 20	≈ 100	≈ 50	10
3	80	0	≈ 100	≈ 50	0
3	80	0	≈ 100	≈ 50	5
3	80	0	≈ 100	≈ 50	10

SO₂ en NO₂ worden gegenereerd door het verdunnen van resp. zuiver SO₂ gas en NO₂-gas 1% in stikstof.

De generatie-opstelling voor waterdamp wordt schematisch weergegeven in Figuur 7. Het genereren van waterdamp gebeurt met een watergevuuld vat van 5 liter, een massadebietsmeter voor water (0-1000 g/h) en een verdamper (= stoompot). Het vat wordt op 1 bar overdruk gebracht waardoor het water naar de mass flow controller (MFC) geperst wordt die het uitgaande debiet meet en controleert. Vervolgens stroomt het water in de verwarmde verdamper. De geproduceerde stoom wordt na een statische menger in een glazen buis geïnjecteerd waar het met het op 100°C voorverwarmde verdunningsgas verdund wordt tot een dauwpunt van maximum 80°C. De MFC wordt geijkt door dit waterdebiets in een erlenmeyer, die zich op een balans bevindt, te leiden. Deze balans registreert de gewichtstoename en wordt uitgelezen met een PC. De stoompot heeft een capaciteit van maximum 25 ml water per minuut. De temperatuur van de stoompot wordt automatisch geregeld met een temperatuurregelaar en gemeten met een voeler (type-K) op 1 cm boven de bodem in de pot. De temperatuur in de pot kan geregeld worden tussen 150°C en 250°C. Met bovenstaand systeem kunnen vochtgehaltenes tot 50% gegenereerd worden. De instelling van de MFC tijdens de verschillende testen wordt gelogd.

De uitgebreide meetonzekerheid op het generatiesysteem voor water bedraagt maximum 1% (rel) bij watergehaltenes van 6 en 22% (Document MO 01-08/2002, augustus 2002).



Figuur 7: Schematische voorstelling van de generatieopstelling voor NO₂, SO₂ en waterdamp

Het SO₂-gehalte of NO₂-gehalte van de gegenereerde gasstroom tijdens de verschillende testen wordt voor de koeler aan de gasverdeelleiding en na de koeler gemeten met een NO₂/SO₂ NDUV NGA 2000 monitor MIE-ILU-464 om eventuele verliezen na te gaan.

De rechtstreeks gemeten NO₂- en SO₂ concentraties in de droge gasstroom in de gasverdeelleiding worden telkens als het referentiepunt genomen. De met monitoren gemeten concentraties aan de uitgang van de koeler worden naar concentraties in het absoluut droge gas omgerekend met het watergehalte dat nog na de koeler aanwezig is. Dit watergehalte wordt berekend aan de hand van de dauwpuntsmetingen na de koeler bij de capaciteitstesten.

2.2.3. REPRODUCEERBAARHEID NO₂/SO₂ VERLIEZEN BIJ VERSCHILLENDE WATERGEHALTES EN CONCENTRATIES

Bij de eerste geteste Peltier koeler 1 wordt nagegaan hoe reproduceerbaar de gemeten verliezen na de koeler zijn. Een gasstroom met een gemiddelde NO₂- en SO₂-concentratie (resp. ongeveer 50 en 100 ppm) in combinatie met een gemiddeld vochtpercentage ($\approx 10\%$) zonder CO₂ wordt doorheen de koeler gestuurd. De instelparameters zijn in Tabel 12 opgenomen.

Tabel 12: Instellingen voor bepaling van de reproduceerbaarheid van de metingen/verliezen

Gasdebiet doorheen koeler l/min	t gas ingang koeler °C	% H ₂ O van de aangeboden gasstroom	Concentraties in de gasstroom naar de koeler		
			ppm SO ₂	ppm NO ₂	% CO ₂
3	80	≈ 10	≈ 100	≈ 50	0

De eventuele verliezen na de koeler worden over verschillende dagen gemeten. Minstens 5 metingen van NO₂ en SO₂ na de koeler, verspreid over verschillende dagen, worden onder intra-reproduceerbaarheidscondities uitgevoerd. De intra-reproduceerbaarheidsstandaardafwijking $s_{(R)}$, wordt conform CMA/6/A berekend als:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

s = standaardafwijking, in eenheid analyseresultaat

n = aantal analyses, $n \geq 5$

x_i = i-de analyseresultaat

$\bar{x}$ = gemiddelde van n analyseresultaten

HOOFDSTUK 3. RESULTATEN

3.1. CAPACITEIT VAN DE KOELERS

Een stikstofstroom met verschillende watergehaltes tussen ≈ 4 en 40% werd gegenereerd en met verschillende debieten (resp. 1, 2, 3 en 5 l/min) doorheen de koelers gestuurd. Voor ieder aanzuigdebiet werd het met de M&C Optima gemeten dauwpunt na de koeler i.f.v. het watergehalte van de aangeboden gasstroom op Figuur 8 uitgezet. De onderliggende gegevens zijn opgenomen in Tabel 21 en bijlage B. De capaciteitstest voor de compressorkoeler 1 werd met 1 kanaal uitgevoerd (deze koeler beschikt over 1 resp. 2 kanalen).

In VLAREL is opgenomen dat een erkend laboratorium in de discipline lucht voor de monsternemingen, beproevingen, metingen en analyses waarvoor het erkend is, de methoden van het compendium voor de monsterneming, meting en analyse van lucht, afgekort LUC dient toe te passen voor die parameters waarvoor methoden beschikbaar zijn. Deze methoden zijn terug te vinden op de website <http://www.emis.vito.be/lne-erkenningen-lucht>. Voor de bemonstering en analyse van CO, CO₂, SO₂, NO_x, O₂ en TOC met monitoren in afgasstromen is de compendiummethode LUC/II/001 van toepassing. Deze methode vermeldt onder 2.1.1 :

‘Via een zo kort mogelijke, inerte, verwarmde leiding wordt het afgas tot aan een koeler geleid, die het gas voldoende koelt en het vocht condenseert (tot een dauwpunt van $(4 \pm 3)^\circ\text{C}$), zodat het aan de analysatoren kan aangeboden worden.’

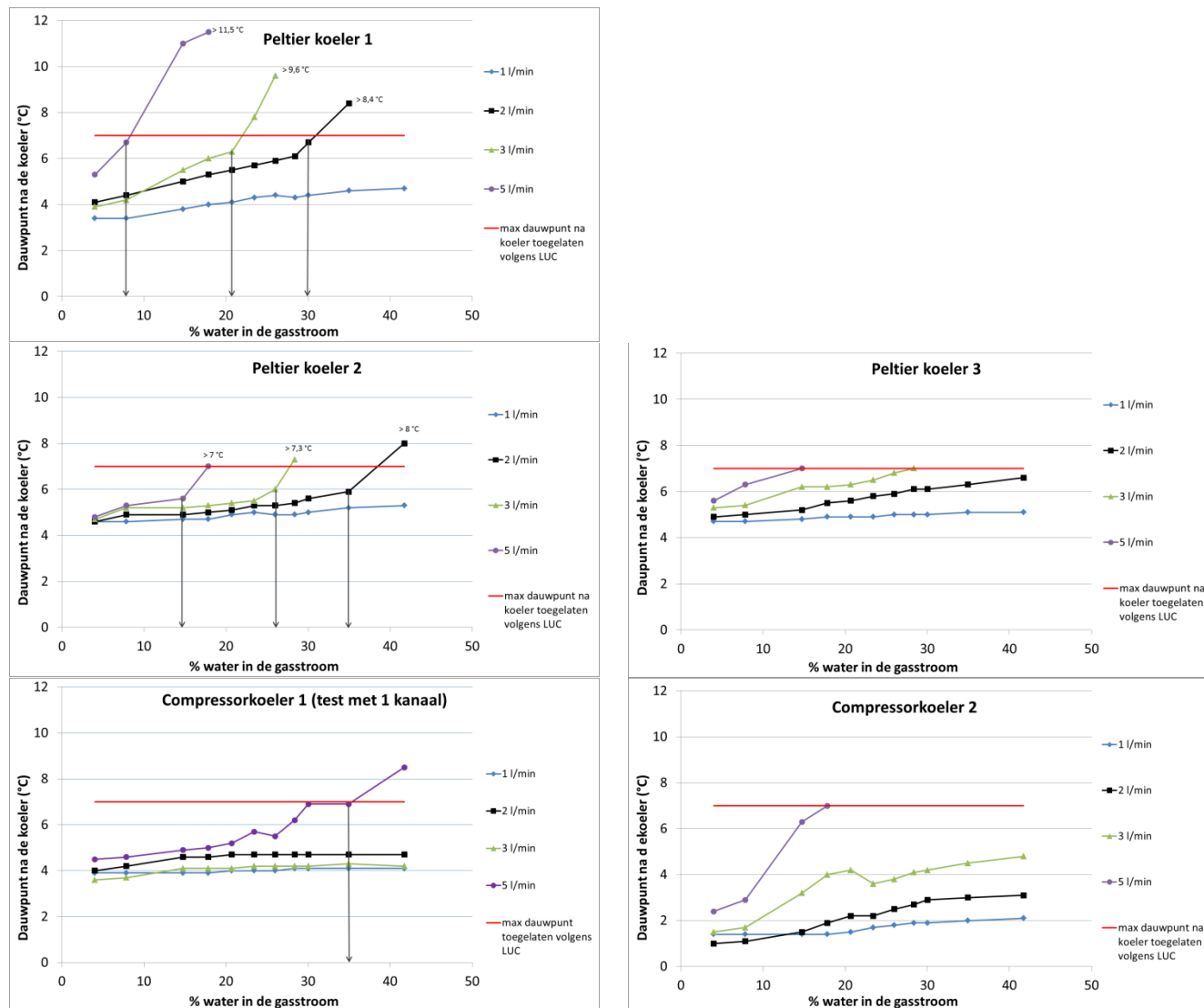
En onder 2.2.3.1:

‘Aan de uitgang van de koeler moet het dauwpunt $(4 \pm 3)^\circ\text{C}$ zijn.’

Het dauwpunt aan de uitgang van de koelers mag dus maximum 7°C bedragen.

Uit Figuur 8 blijkt dat de compressorkoelers een hogere capaciteit hebben dan Peltier koelers. Bij aanzuigdebieten tot 3 l/min doorheen de koeler, is het dauwpunt aan het uitgang van de koeler lager dan 7°C tot het maximaal geteste watergehalte van 41,73%. Bij de Peltier koelers blijft het dauwpunt na de koelers bij aanzuigdebieten t.e.m. 3 l/min beneden de 7°C tot ongeveer 21 à 28% water (afhankelijk van de koeler).

De temperatuuruitlezing van de koeler -indien aanwezig- bleek niet steeds overeen te komen met het werkelijk dauwpunt aan de uitgang van de koeler. Bij hogere vochtgehaltes werden soms verschillen tot 5°C vastgesteld. De temperatuuruitlezing op de display van de koeler biedt dus geen garantie dat het dauwpunt binnen $(4 \pm 3)^\circ\text{C}$ ligt. Bij de periodieke controle van de koeler door het labo dient het dauwpunt na de koeler of het watergehalte gemeten te worden bij aanbieding van een gasstroom met een maximum watergehalte dat bij metingen in de praktijk voorkomt.



Figuur 8: Dauwpunt na de koelers i.f.v. het watergehalte in de gasroom en het gasdebiet doorheen de koeler (capaciteitstest)

3.2. KOELERPERFORMANTIE NAAR SO_2 EN NO_2 VERLIEZEN

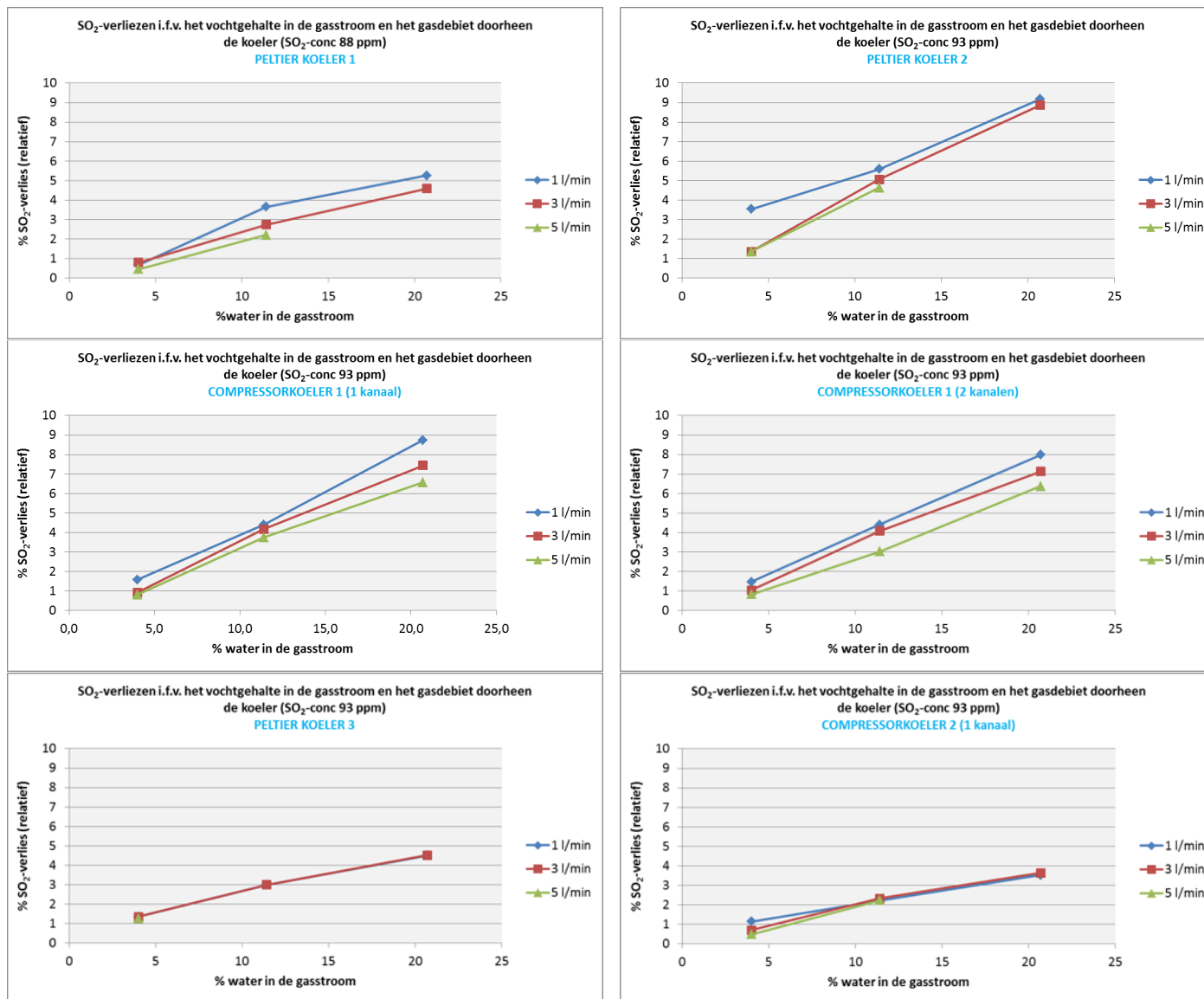
3.2.1. SO_2 -VERLIEZEN IN DE KOELER IN FUNCTIE VAN HET WATERGEHALTE EN AANZUGDEBIET DOORHEEN DE KOELER

Bij een SO_2 -concentratie van ongeveer 90 ppm in de gasstroom werden de verliezen aan SO_2 in de koeler in functie van verschillende watergehaltes (≈ 4 , 11 en 20%) en aanzugdebieten (resp. 1, 3 en 5 l/min) onderzocht. De relatieve verliezen zijn weergegeven in Figuur 9, de absolute SO_2 -verliezen (in ppm) in Figuur 10. De onderliggende gegevens zijn in bijlage C opgenomen.

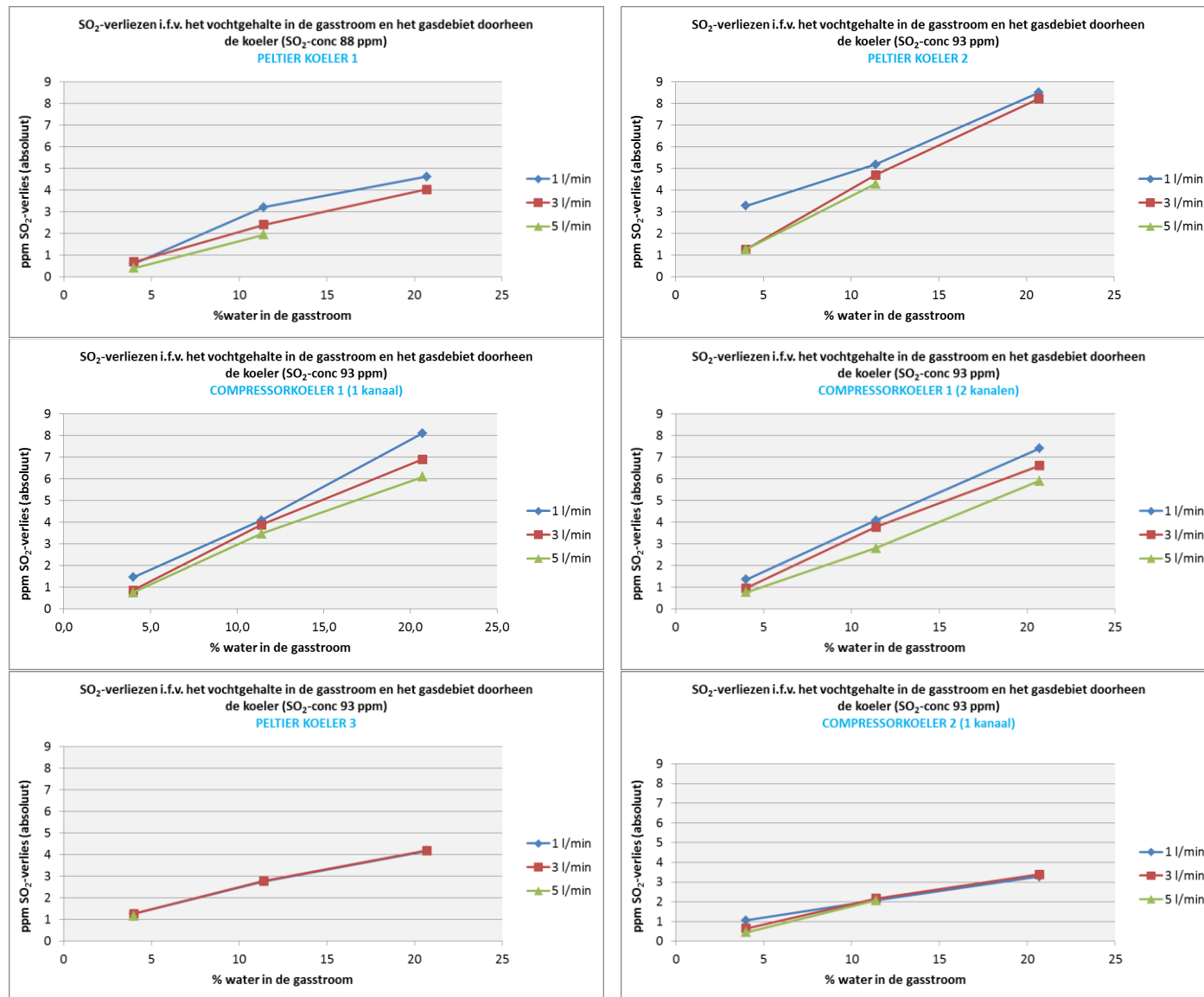
Uit de figuren blijkt dat de absolute en relatieve verliezen aan SO_2 in de koeler groter zijn naarmate het debiet doorheen de koeler lager is behalve bij de Peltier koeler 3 en de compressorkoeler 2 (beide koelers zijn van hetzelfde merk). Grotere verliezen bij een lager debiet kunnen verklaard worden door de langere contacttijd tussen het gas en condensaat in de koeler. De Peltier koelers 1 en 3 en de compressorkoeler 2 verliezen het minst SO_2 .

De absolute en relatieve verliezen aan SO_2 in de koeler nemen eveneens toe bij een toenemend watergehalte in de gasstroom.

De verliezen aan SO_2 zijn quasi gelijk tussen een 1- en 2-kanaals koeler (zie de compressorkoeler 1 met resp. 1 of 2 kanalen).



Figuur 9: Relatieve verliezen aan SO_2 in de koelers i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en het aanzuigdebiet doorheen de koeler



Figuur 10: Absolute verliezen aan SO_2 in de koelers in ppm i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en het aanzuigebiet doorheen de koeler

3.2.2. SO₂-VERLIEZEN IN DE KOELER IN FUNCTIE VAN HET WATERGEHALTE EN DE SO₂-CONCENTRATIE

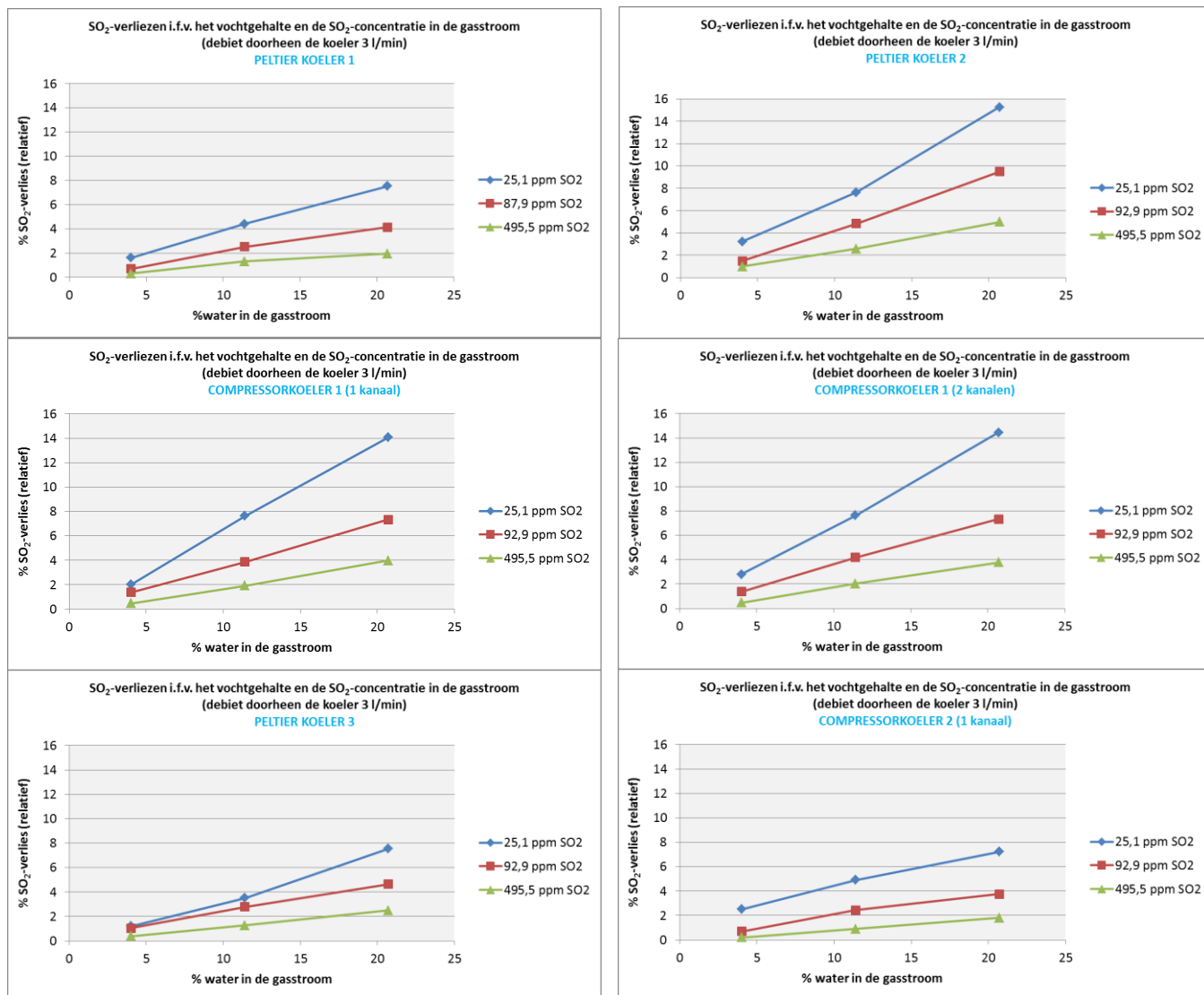
De relatieve en absolute verliezen aan SO₂ in de koeler in functie van verschillende watergehaltes (≈ 4 , 11 en 20%) en verschillende SO₂-concentraties in de gasstroom (≈ 25 , 90 en 500 ppm) zijn resp. weergegeven in Figuur 11 en Figuur 12. De onderliggende gegevens zijn in bijlage D opgenomen.

De testen bij verschillende SO₂-concentraties werden uitgevoerd bij een vast debiet doorheen de koeler van 3 l/min.

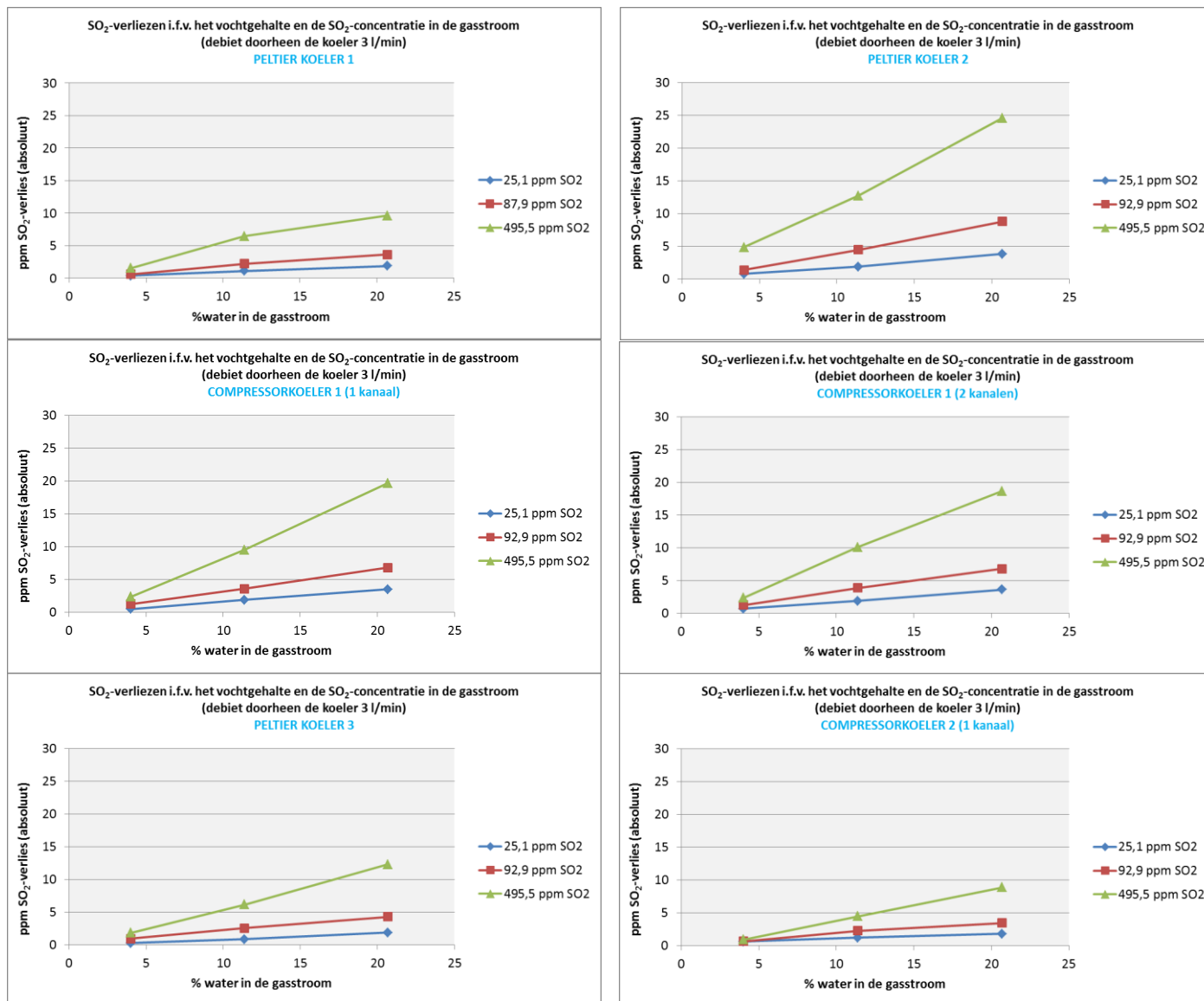
Uit Figuur 11 en Figuur 12 blijkt dat:

- de absolute en relatieve verliezen aan SO₂ in de koeler toenemen bij een toenemend watergehalte in de gasstroom;
- de absolute verliezen aan SO₂ in de koeler bij eenzelfde watergehalte toenemen bij stijgende concentratie;
- de relatieve verliezen aan SO₂ bij eenzelfde watergehalte dalen bij toenemende SO₂-concentratie;
- de verliezen aan SO₂ quasi gelijk zijn voor een 1- en 2-kanaals koeler;
- de Peltier koelers 1 en 3 en de compressorkoeler 2 het minst SO₂ verliezen. De Peltier koeler 3 en de compressor koeler 2 zijn beide koelers van eenzelfde fabrikant.

De SO₂-verliezen in de koeler zijn dus functie van zowel het watergehalte van de gasstroom als de SO₂-concentratie.



Figuur 11: Relatieve verliezen aan SO₂ in de koelers i.f.v. het watergehalte en de SO₂-concentratie in de gasstroom



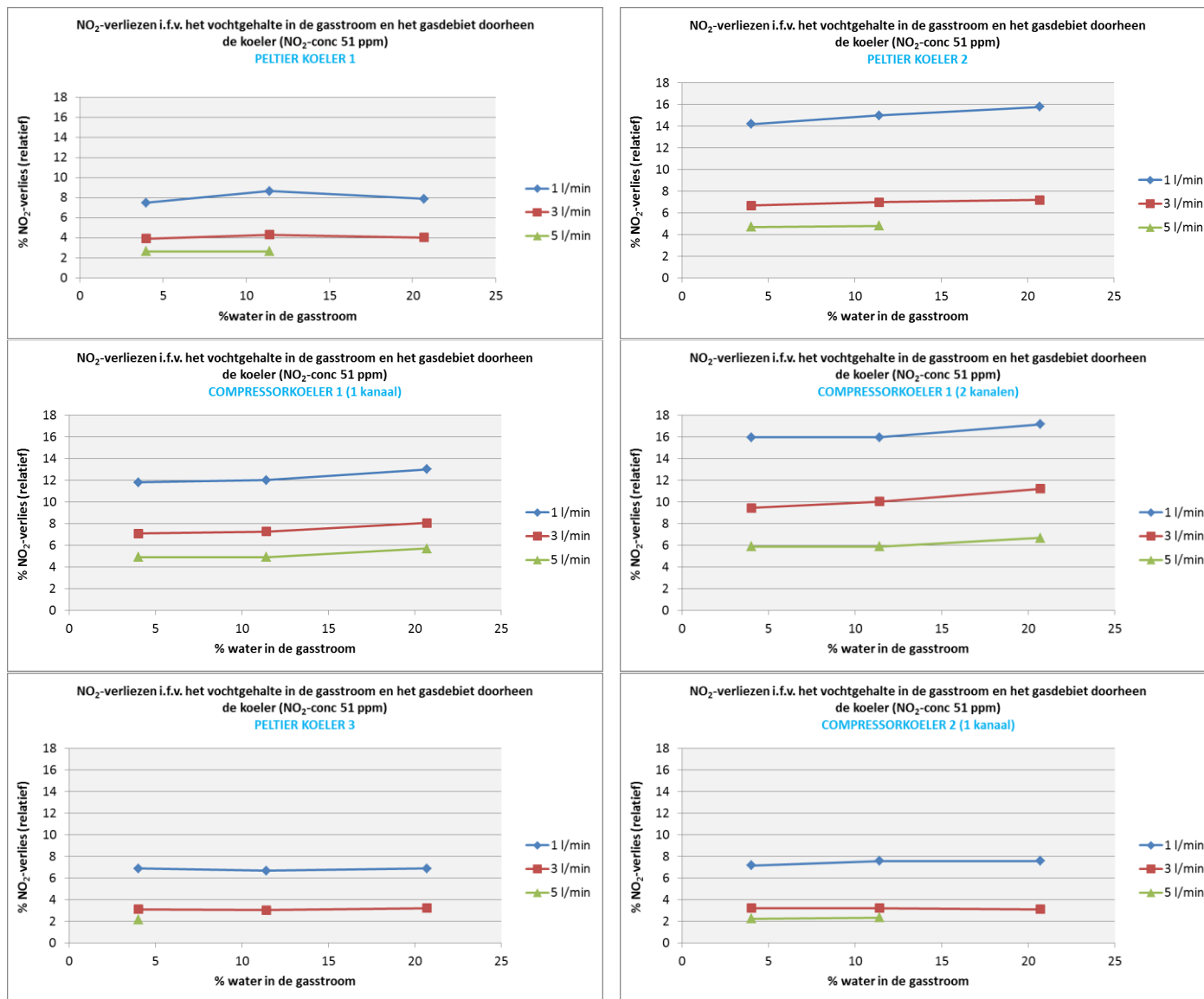
Figuur 12: Absolute verliezen aan SO_2 in de koelers in ppm i.f.v. het watergehalte en de SO_2 -concentratie van de gasstroom

3.2.3. NO₂-VERLIEZEN IN DE KOELER IN FUNCTIE VAN HET WATERGEHALTE EN AANZUIGDEBIET DOORHEEN DE KOELER

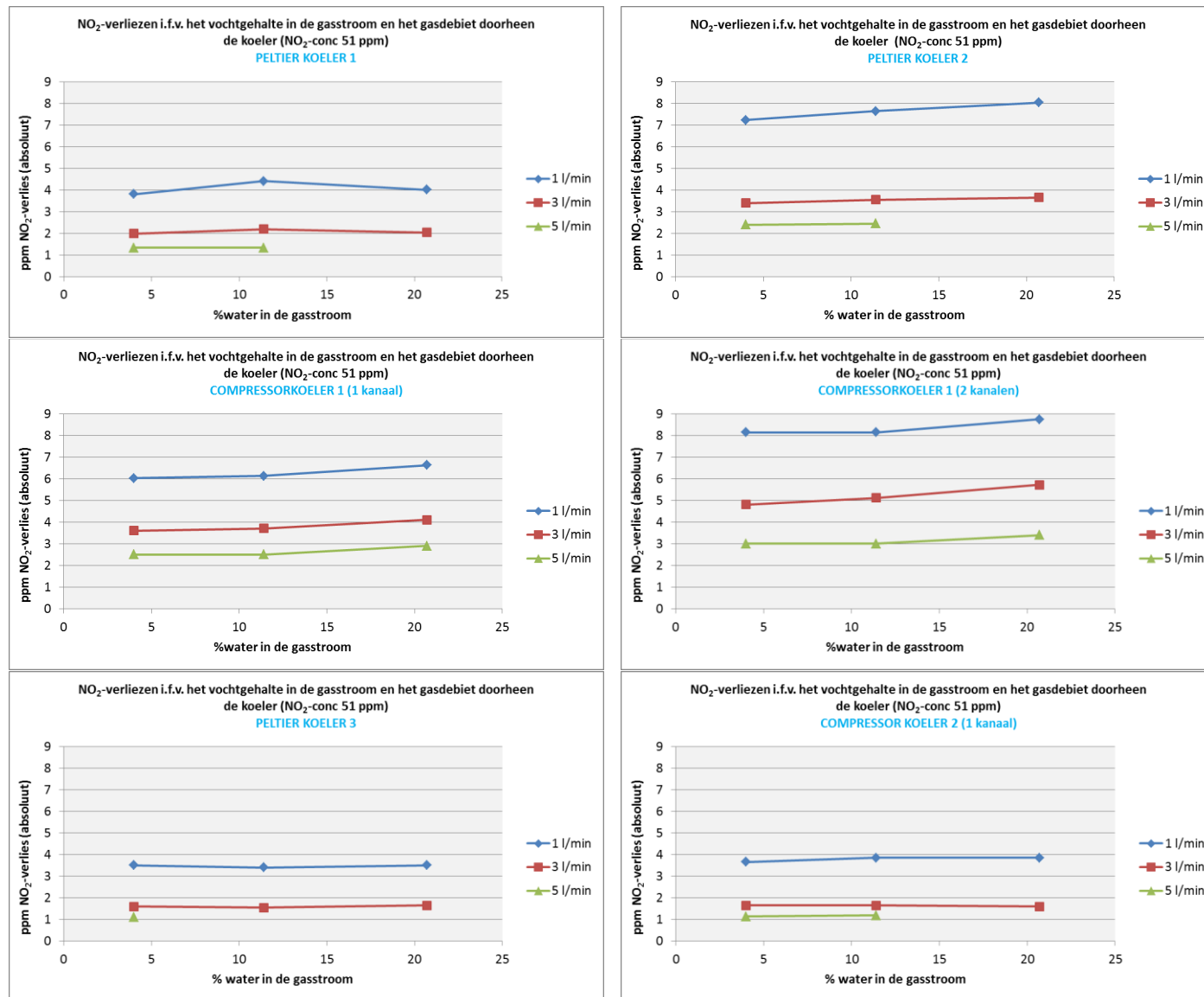
Bij een NO₂-concentratie van 51 ppm in de gasstroom werd nagegaan hoe groot het verlies aan NO₂ in de koeler in functie van verschillende watergehaltes (≈ 4 , 11 en 20%) en aanzuigdebieten (resp. 1, 3 en 5 l/min) is. De relatieve verliezen zijn weergegeven in Figuur 13, de absolute NO₂-verliezen (in ppm) in Figuur 14. De onderliggende data zijn opgenomen in bijlage E.

Uit deze figuren blijkt dat:

- de absolute en relatieve verliezen aan NO₂ in de koeler groter zijn naarmate het debiet doorheen de koeler lager is. Dit kan verklaard worden door de langere contacttijd tussen het gas en condensaat in de koeler bij lagere aanzuigdebieten.
- de absolute en relatieve verliezen aan NO₂ in de koeler onafhankelijk zijn van het watergehalte in de gasstroom.
- de verliezen aan NO₂ hoger zijn voor een 2-kanaals versus een 1 kanaals koeler
- de Peltier koelers 1 en 3 en de compressor koeler 2 het minst NO₂ verliezen. De Peltier koeler 3 en de compressorkoeler 2 zijn koelers van eenzelfde fabrikant.



Figuur 13: Relatieve verliezen aan NO_2 in de koelers i.f.v. het watergehalte van de gasroom en het aanzuigdebiet doorheen de koeler



Figuur 14: Absolute verliezen aan NO₂ in de koelers in ppm i.f.v. het watergehalte van de gasroom en het aanzuigdebiet doorheen de koeler

3.2.4. NO₂-VERLIEZEN IN DE KOELER IN FUNCTIE VAN HET WATERGEHALTE EN DE NO₂-CONCENTRATIE

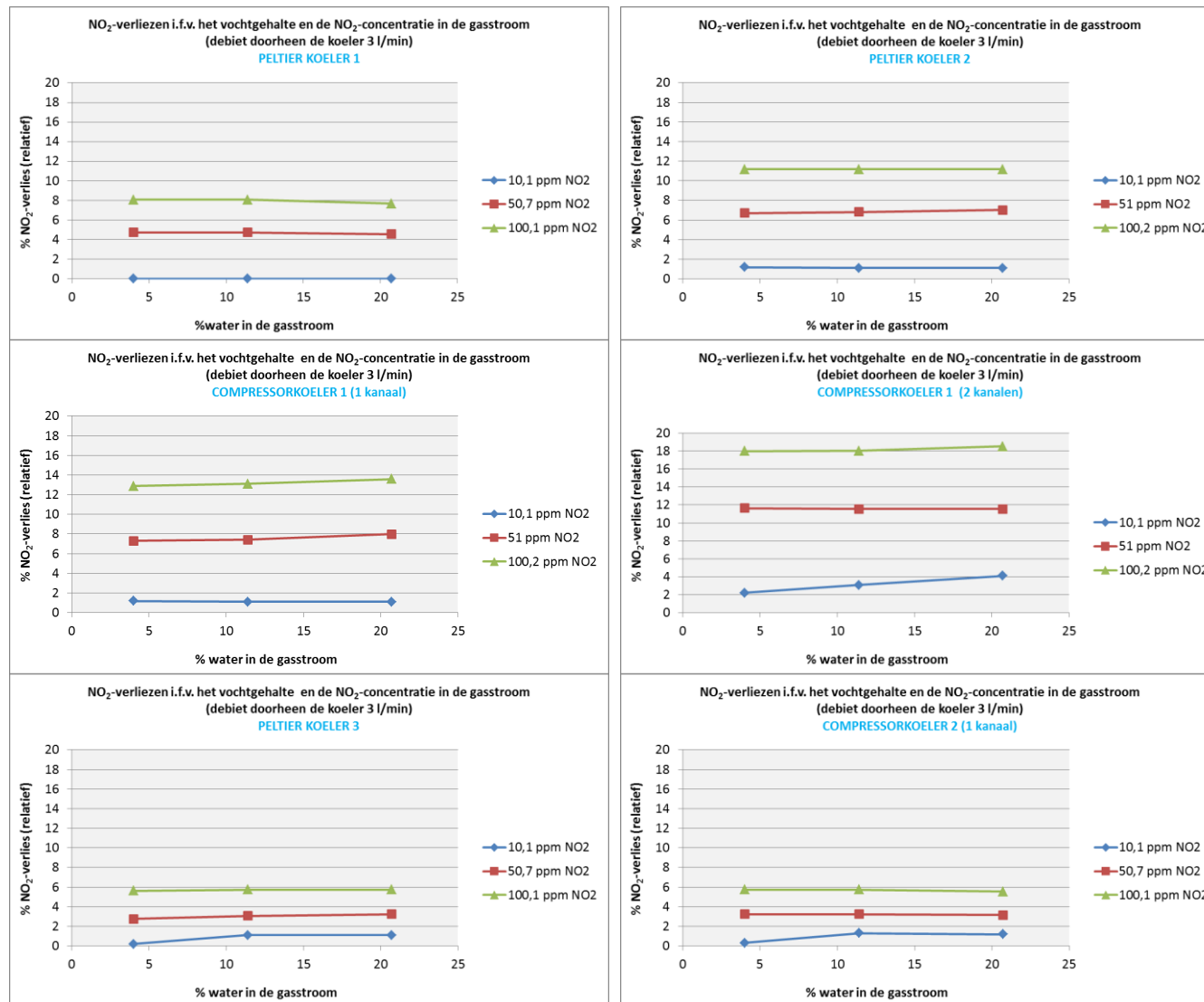
De relatieve en absolute verliezen aan NO₂ in de koeler in functie van verschillende watergehaltes (≈ 4 , 11 en 20%) en verschillende NO₂-concentraties in de gasstroom (10,1 ppm, 50,7 ppm en 100,1 ppm) zijn resp. weergegeven in Figuur 15 en Figuur 16. De onderliggende data zijn in bijlage F opgenomen.

De testen bij verschillende NO₂-concentraties werden uitgevoerd bij een vast debiet doorheen de koeler van 3 l/min.

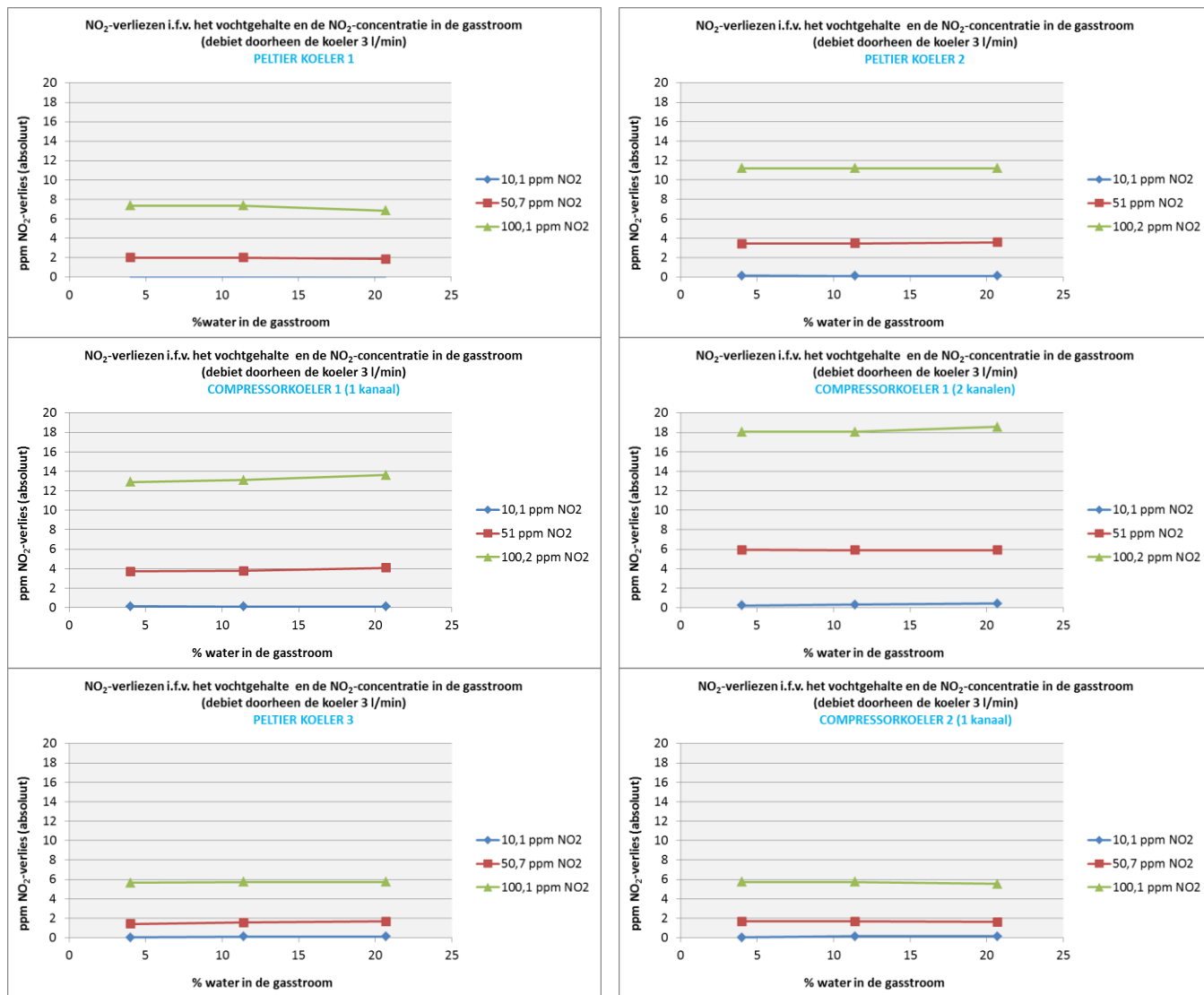
Uit Figuur 15 en Figuur 16 blijkt dat:

- de relatieve en absolute verliezen aan NO₂ in de koeler stijgen bij een toenemende NO₂-concentratie in de gasstroom
- de relatieve en absolute verliezen aan NO₂ in de koeler onafhankelijk zijn van het watergehalte van de aangeboden gasstroom.
- de verliezen aan NO₂ hoger zijn voor een 2- versus 1-kanaalskoeler
- de Peltier koelers 1 en 3 en de compressor koeler 2 het minst NO₂ verliezen. De Peltier koeler 3 en de compressor koeler 2 zijn van dezelfde fabrikant.

De NO₂-verliezen in de koeler zijn dus enkel afhankelijk van de NO₂-concentratie in de gasstroom en niet van het watergehalte van de gasstroom.



Figuur 15: Relatieve verliezen aan NO₂ in de koeler i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en de NO₂-concentratie in de gasstroom



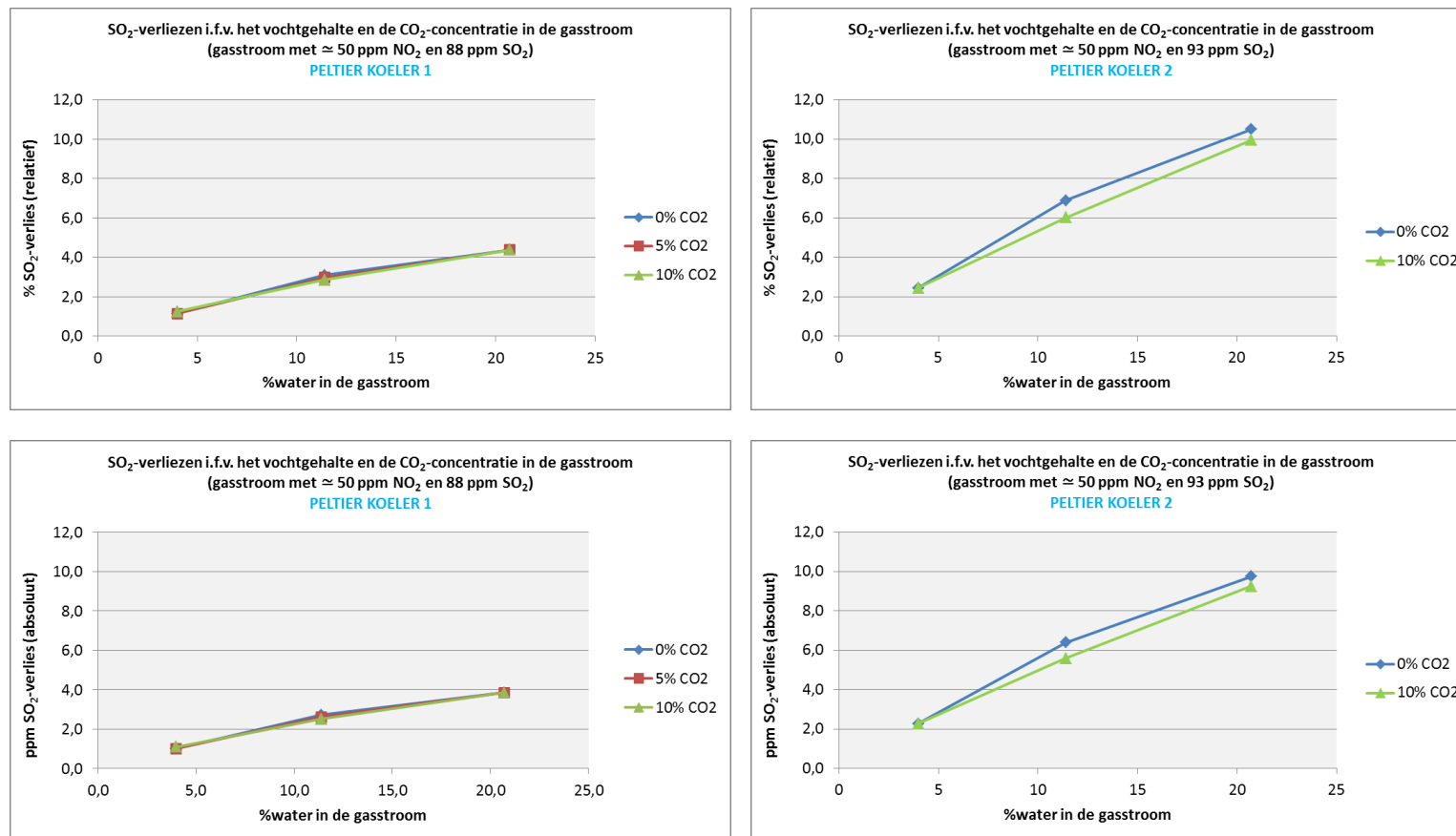
Figuur 16: Absolute verliezen aan NO₂ in de koeler in ppm i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en de NO₂-concentratie in de gasstroom

3.3. SO_2/NO_2 VERLIEZEN BIJ GEMIDDELDE NO_2/SO_2 CONCENTRATIES I.F.V. CO_2 EN VERSCHILLENDE WATERGEHALTES

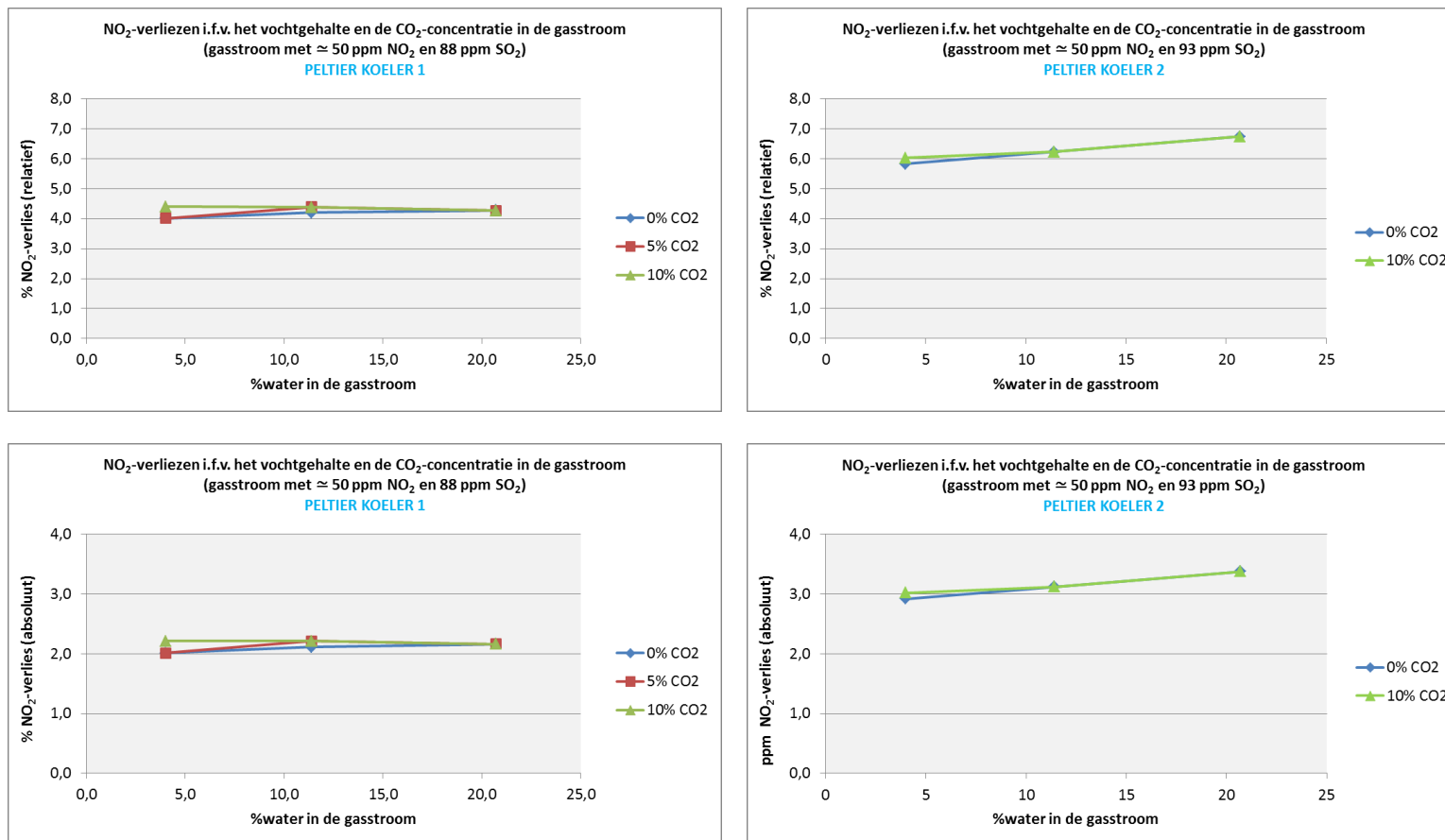
De aanwezigheid van CO_2 in de gasstroom kan een aanzurend effect op het condensaat in de koeler hebben. Voor de Peltier koelers 1 en 2 wordt het effect van CO_2 in de gasstroom op de verliezen van SO_2 en NO_2 onderzocht. Gasstromen met een gemiddelde NO_2 - en SO_2 -concentratie (resp. ongeveer 50 ppm NO_2 en 88 ppm SO_2) en verschillende CO_2 - en watergehaltes worden door de koeler gestuurd. Het aanzuigdebiet doorheen de koelers tijdens deze testen bedroeg 3 l/min. De onderliggende data van deze testen zijn weergegeven in bijlage G.

In Figuur 17 zijn de relatieve en absolute verliezen van SO_2 voor de twee geteste koelers weergegeven in functie van het watergehalte van de aan de koeler aangeboden gasstroom en in functie van verschillende CO_2 -concentraties in de gasstroom. Figuur 18 geeft de relatieve en absolute verliezen van NO_2 bij vergelijkbare condities weer.

CO_2 heeft geen invloed op de SO_2 en NO_2 verliezen. De SO_2 en NO_2 verliezen bij een meetgas waar beide componenten samen of apart aanwezig zijn, zijn vergelijkbaar bij vergelijkbare condities.



Figuur 17: SO₂ verliezen bij gemiddelde NO₂/SO₂ concentraties i.f.v. CO₂ en verschillende watergehaltes



Figuur 18: NO₂ verliezen bij gemiddelde NO₂/SO₂ concentraties i.f.v. CO₂ en verschillende watergehaltes

3.4. REPRODUCEERBAARHEID NO₂/SO₂ VERLIEZEN BIJ VERSCHILLENDE WATERGEHALTES EN CONCENTRATIES

De intra-reproduceerbaarheid van de metingen van NO₂- en SO₂-verliezen in de koeler die in 2016 getest werd (Peltier koeler 1) werd nagegaan door het aanbieden van eenzelfde gasstroom met 11,4% water en concentraties van resp. ongeveer 50 ppm NO₂ en 90 ppm SO₂ aan de koeler en dit verspreid over verschillende dagen (van 15/03 t.e.m. 25/03/2016). De concentraties in de droge gasstroom werden voor en na deze test rechtstreeks in de gasverdeelleiding gemeten. De resultaten zijn in Tabel 14 weergegeven. De intra-reproduceerbaarheid wordt in Tabel 13 berekend.

Tabel 13: Intra-reproduceerbaarheid metingen van verliezen aan NO₂ en SO₂ in de koeler

Datum	NO ₂ -verliezen in koeler		SO ₂ -verliezen in koeler	
	%	ppm	%	ppm
15/03/2016	4,2	2,1	3,1	2,7
23/03/2016	4,2	2,1	3,1	2,7
24/03/2016	4,2	2,1	3,1	2,7
24/03/2016	4,4	2,2	2,9	2,6
25/03/2016	4,4	2,2	2,9	2,6
Gem	4,3	2,2	3,0	2,7
Stdev s_R[*]	0,1	0,1	0,1	0,1
%rsd^{**}	2,6	2,6	2,5	2,1

* s_R: reproduceerbaarheids-standaardafwijking

** rsd= relatieve standaardafwijking (%)

De spreidingen op de gemiddeld gemeten absolute en relatieve NO₂- en SO₂-verliezen bij het herhaaldelijk aanbieden van eenzelfde gasstroom met gemiddelde NO₂/SO₂ en waterconcentraties zijn zeer klein en de metingen dus goed reproduceerbaar: 2,6% NO₂ en 2,5% SO₂.

Tabel 14: Intra-reproduceerbaarheid metingen NO₂/SO₂ verliezen i.f.v. het watergehalte en een gemiddelde NO₂ en SO₂-concentratie in de gasstroom

Datum	Debiet Koeler l/min	t gas ingang koeler °C	% water	ppm SO ₂ ref (a)	ppm NO ₂ ref (a)	ppm NO ₂ in de natte gasstroom	Tijdstip meting	ppm NO ₂ in de droge gasstroom (b)	NO ₂ verlies %	NO ₂ verlies ppm	ppm SO ₂ in de natte gasstroom	ppm SO ₂ in de droge gasstroom (b)	SO ₂ verlies %	SO ₂ verlies ppm
15/03	3	80	0	87,8	50,1	50,1**	9:00	50,1			87,8**	87,8		
	3	80	11,4	87,8	50,3	47,8	10:20	48,2	4,2	2,1	84,4	85,1	3,1	2,7
	3	80	0	87,8	50,8	50,8**	11:40	50,8			87,8**	87,8		
23/03	3	80	0	89,0	50,2	50,2**	8:28	50,2			89,0**	89,0		
	3	80	11,4	88,7	50,2	47,7	8:41	48,1	4,2	2,1	85,3	86,0	3,1	2,7
	3	80	0	88,4	50,3	50,3**	9:02	50,3			88,4**	88,4		
24/03	3	80	0	88,8	50,7	50,7**	8:21	50,7			88,8**	88,8		
	3	80	11,4	88,8	50,7	48,2**	8:56	48,6	4,2	2,1	85,4	86,1	3,1	2,7
	3	80	0	88,8	50,7	50,7**	9:16	50,7			88,8**	88,8		
24/03	3	80	0	88,8	50,4	50,4**	13:12	50,4			88,8**	88,8		
	3	80	11,4	88,7	50,4	47,8	13:20	48,2	4,4	2,2	85,4	86,1	2,9	2,6
	3	80	0	88,6	50,4	50,4**	13:35	50,4			88,6**	88,6		
25/03	3	80	0	89,0	50,4	50,4**	8:37	50,4			89,0**	89,0		
	3	80	11,4	89,0	50,4	47,8	8:45	48,2	4,4	2,2	85,7	86,4	2,9	2,6
	3	80	0	88,9	50,4	50,4**	8:57	50,4			88,9**	88,9		

(a) De rechtstreeks met monitor gemeten NO₂ en SO₂ concentraties in de droge gasstroom in de gasverdeelleiding worden als referentiepunt genomen.

(b) De met monitoren gemeten concentraties aan de uitgang van de koeler worden naar concentraties in het absoluut droge gas omgerekend met het watergehalte dat nog na de koeler aanwezig is.

** bij deze stappen werd geen vocht gegenereerd en is de NO₂-concentratie in deze kolom gelijk aan de gemeten NO₂-concentratie in de droge gasstroom

HOOFDSTUK 4. RICHTLIJNEN EN VOORSTEL AANPASSING RINGTEST

Op basis van de resultaten voor de vijf verschillende meetgaskoelers die binnen deze studie getest werden en de praktische expertise opgebouwd o.a. vanuit de testen, werden onderstaande richtlijnen opgesteld. De vijf koelers bestaan uit de twee types die door de erkende laboratoria ingezet worden nl. Peltier- en compressorkoelers en alhoewel de richtlijnen grotendeels gebaseerd zijn op de koelers die binnen deze studie getest werden, zijn ze -gezien de analoge opbouw van deze types van koelers- breder gedragen.

Richtlijn 1: Hoe hoger de temperatuur van het afgas aan de ingang van de koeler is, hoe lager de koelcapaciteit van de koeler zal zijn. De ingangstemperatuur van het gas moet hoog genoeg zijn om condensvorming voor de koeler te vermijden, maar instelling van een te hoge temperatuur zal ten nadele van de koelcapaciteit gaan. Er dient eveneens rekening gehouden te worden met de maximale ingangstemperatuur die in de specificaties van de koeler wordt voorgeschreven.

Richtlijn 2: Het aanzuigdebiet doorheen de koeler mag niet te laag zijn aangezien de verliezen van NO₂ en SO₂ in de koeler toenemen bij lagere aanzuigdebieten. Er dient wel rekening gehouden te worden met het maximaal debiet dat in de specificaties wordt voorgeschreven aangezien de maximale koelcapaciteit bij een hoger aanzuigdebiet reeds bij een lager watergehalte in de gasstroom bereikt zal zijn.

Richtlijn 3: Indien een verhoging van de totale koelcapaciteit in een meetopstelling vereist is, dan is een opstelling met twee koelers in serie te verkiezen boven een opstelling waarbij de twee koelers parallel geplaatst worden. Voor SO₂ leverde een opstelling met twee koelers in serie binnen deze studie geen grotere verliezen t.o.v. een opstelling met één koeler op. Bij een parallelopstelling wordt het debiet doorheen de twee koelers de helft lager t.o.v. het debiet bij een opstelling met één koeler en vanuit deze studie bleken de verliezen voor SO₂ en NO₂ toe te nemen bij een dalend aanzuigdebiet doorheen de koeler. Voor NO₂ zijn de totale verliezen in een opstelling met twee koelers in serie kleiner dan de verliezen doorheen twee koelers die parallel geplaatst staan en waarbij het debiet doorheen iedere parallelle koeler de helft lager ligt t.o.v. het debiet doorheen de seriële koelopstelling.

Richtlijn 4: Aangezien vanuit de testen bleek dat bij hogere vochtgehaltes soms verschillen tot 5°C tussen de temperatuuruitlezing op de display van de koeler en het werkelijk gemeten dauwpunt aan de uitgang van de koeler werden vastgesteld, is een controle van de temperatuuruitlezing van de koeler onvoldoende. Bij de periodieke controle van de koeler door het labo dient het dauwpunt na de koeler of het watergehalte gemeten te worden en dit bij voorkeur door het aanbieden van een gasstroom met een maximum watergehalte dat bij metingen in de praktijk voorkomt (bijvoorbeeld testen tijdens metingen in de praktijk).

Richtlijn 5: De relatieve en absolute verliezen van NO₂ en SO₂ in de meetgaskoelers zijn afhankelijk van de concentraties van NO₂ en SO₂ in de gasstroom en in het geval van SO₂ eveneens van het watergehalte in de gasstroom. Kalibratie van de monitoren voor NO₂ en SO₂ via de koeler om de verliezen van deze componenten weg te kalibreren is niet toelaatbaar aangezien de concentraties van NO₂ en SO₂ en het watergehalte tijdens kalibratie en meting niet hetzelfde zijn.

Richtlijn 6: Bij het gebruik van een opstelling met een koeler vlakbij het meetpunt bestaande uit een verwarmde leiding tot aan de koeler en een onverwarmde leiding na de koeler tot aan de monitoren, kan condensatie in de onverwarmde leiding na de koeler optreden indien de omgevingstemperatuur beneden het dauwpunt aan de uitgang van de koeler ligt. In voorkomend geval dient eveneens een verwarmde leiding vanaf de uitgang van de koeler tot aan de monitoren gebruikt te worden zodat het afgas na de koeler tot boven het dauwpunt opgewarmd wordt.

De laboratoria beschikken over het algemeen niet over de mogelijkheid om gasstromen met hogere watergehaltes (meer dan 10%) te genereren. Controle van het dauwpunt van het afgas na de koeler bij dergelijke watergehaltes kan meestal enkel bij metingen in de praktijk uitgevoerd worden. Op termijn -afhankelijk van de overplaatsing/aanpassing van de ringtestinfrastructuur van het referentielaboratorium- kan tijdens de ringtest anorganische afgassen één of meerdere stappen met een hoger watergehalte aangeboden worden om de verliezen van NO₂ en SO₂ in de door de laboratoria gebruikte koelers bij dergelijke omstandigheden verder te evalueren.

LITERATUURLIJST

CMA/6/A-Prestatiekenmerken
versie december 2013
CMA/6/B-Meetonzekerheid
versie juli 2008

Compendium voor monsterneming en analyse in uitvoering van het Materialendecreet en het Bodemdecreet
<http://emis.vito.be/referentielabo-ovam>

Meetonzekerheid op het generatiesysteem voor water in het referentielaboratorium
Document MO 01-08/2002, Augustus 2002

BIJLAGE A: RESULTATEN VRAGENLIJST

Tabel 15: Vraag 1 'Welke verschillende merken en types van meetgaskoelers hebt u in gebruik voor emissiemetingen (+ technische specificaties)'

Laboratorium	Merk en model koeler	Type koeler (bv Peltier koeler, compressorkoeler, permeatiekoeler, ...)	Materiaal binnenwerk (bv glas, inox, kunstof, ...)	Max. toegelaten temperatuur van het gas dat de koeler binnenkomt volgens specificaties	Temperatuur van het gas dat de koeler binnenkomt-instelling bij gebruik van een verwarmde leiding	Toegelaten gasdebiet doorheen de koeler volgens specificaties (eventueel i.f.v. het dauwpunt aan de ingang)	Gasdebiet doorheen de koeler in de praktijk ingesteld
Laboratorium 1	JCT-4 Jumbo	compressorkoeler	Inox	180°C	180°C	80°C-500 l/h	250 l/h (4,2 l/min)
	M&C EC/ECS	compressorkoeler	Glas	180°C	180°C	80°C-250 l/h	
Laboratorium 2	M&C EC	Compressor	Glas	Max 180°C	180°C	500 NI/h	8 l/min
	M&C PSS-5	Peltier	Glas	Max 180°C	180°C	150 NI/h	2,5 l/min (fid)
	JCP FE	Peltier	PVDF	Max 150°C	180°C	90 NI/h bij DP 60°C 240 NI/h bij DP 40°C	2,5 l/min (fid)
	ABB SCC-C	Compressor	Glas	Max 140°C	180°C	200 NI/h	2,5 l/min (fid)
Laboratorium 3	Ankersmid APS301	peltierkoeler	Glas/PTFE	190°C	150°C	350 NI/h bij dauwpunt 80°C	120 à 180 NI/h (2 à 3 l/min)
	Ankersmid APS311	peltierkoeler	Glas/PTFE	190°C	150°C	200 NI/h bij dauwpunt 80°C	120 à 180 NI/h (2 à 3 l/min)
Laboratorium 4	M&C PSS5	Peltier	glas	180°C	180°C	150 NI/h	150 NI/h (2,5 l/min)
	M&C PSS10	Peltier	glas	180°C	180°C	480 NI/h	480 NI/h (8 l/min)
Laboratorium 5	M&C PSS-5	Koeler type	glas	max. 180 °C	verwarmde	150 NI/h bij 25 °C	120 l/h

Laboratorium	Merk en model koeler	Type koeler (bv Peltier koeler, compressorkoeler, permeatiekoeler, ...)	Materiaal binnenwerk (bv glas, inox, kunstof, ...)	Max. toegelaten temperatuur van het gas dat de koeler binnenkomt volgens specificaties	Temperatuur van het gas dat de koeler binnenkomt-instelling bij gebruik van een verwarmde leiding	Toegelaten gasdebiet doorheen de koeler volgens specificaties (eventueel i.f.v. het dauwpunt aan de ingang)	Gasdebiet doorheen de koeler in de praktijk ingesteld
	(Primaire Koeler tussen verwarmde sonde/leiding aan meetpunt en leiding naar meetwagen.) met koeler type ECP1000	ECP1000: Peltierkoeler, uitgerust met een vochtalarm aan de uitgang om bij vochtdoorbraak het gasdebiet te onderbreken.		bij volgende condities: - max. dauwpunt temperatuur 80 °C, -25 °C omgevings-temperatuur Om een dauwpunt van 5°C aan de uitlaat te bekomen	leiding ingesteld op 180 °C	omgevingstemperatuur en ingesteld dauwpunt aan uitlaat van 5°C	(2 l/min)
	ABB SCC-C Secundaire koeler in meetwagen tussen de leiding komend van de primaire	SCC – C Peltierkoeler met uitlaattemperatuur van 3 °C	glas	140 °C voor een maximaal dauwpunt van 70 °C	25°C	1 x 250 l/h of 1 x 125 l/h of 2 x 125 l/h (bij een maximaal dauwpunt aan de ingang van 70 °C)	120 l/h (2 l/min)

Bijlage A: Resultaten vragenlijst

Laboratorium	Merk en model koeler	Type koeler (bv Peltier koeler, compressorkoeler, permeatiekoeler, ...)	Materiaal binnenwerk (bv glas, inox, kunststof, ...)	Max. toegelaten temperatuur van het gas dat de koeler binnenkomt volgens specificaties	Temperatuur van het gas dat de koeler binnenkomt-instelling bij gebruik van een verwarmde leiding	Toegelaten gasdebiet doorheen de koeler volgens specificaties (eventueel i.f.v. het dauwpunt aan de ingang)	Gasdebiet doorheen de koeler in de praktijk ingesteld
	koeler en de monitoren						
Laboratorium 6	Ankersmid ACC404	compressor	Body: Duran glas Head: PTFE	190°C	180°C	800 l/h	480 l/h (8 l/min)
Laboratorium 7	APS 311	Peltierkoeler	Stainless steel connection (inlet sample), PTFE (holder), Glass (body filter element)	190 °C		200 NI/h	Ca. 150 NI/h (2,5 l/min)
Laboratorium 8	M&C PSS-5/3 type ECP 3000-G	Peltierkoeler	Glas, inox en teflon	180°C	150°C	350 NI/h bij een totale koelcapaciteit van 25 °C en een outlet dauwpuntstemperatuur van 5 °C	100 l/h (1,7 l/min)
Laboratorium 9	JCP-FE	Peltier	Polyvinylideenfluoride	150°C	80°C of 20°C boven gastemp bij verzadiging	240 NI/h (4 NI/min)	3 à 4 l/min
	ADS 301	Peltier	PTFE- DURAN glass	190°C	omgeving	350 NI/h	3 à 4 l/min
	M&C PSS-5/3	Peltier	glas	180°C	80°C of 20°C boven gastemp	350 NI/h	afhankelijk van de

Laboratorium	Merk en model koeler	Type koeler (bv Peltier koeler, compressorkoeler, permeatiekoeler, ...)	Materiaal binnenwerk (bv glas, inox, kunstof, ...)	Max. toegelaten temperatuur van het gas dat de koeler binnenkomt volgens specificaties	Temperatuur van het gas dat de koeler binnenkomt-instelling bij gebruik van een verwarmde leiding	Toegelaten gasdebiet doorheen de koeler volgens specificaties (eventueel i.f.v. het dauwpunt aan de ingang)	Gasdebiet doorheen de koeler in de praktijk ingesteld
					bij verzadiging		bemonstering

Tabel 16: Vraag 2 'Op welke temperatuur wordt de koeler tijdens de metingen ingesteld?'

	Temperatuur (°C)
Laboratorium 1	JCT-4 Jumbo: 3°C M&C EC/ECS: 4°C
Laboratorium 2	5°C (± 1°C) -> fabrieksinstelling
Laboratorium 3	4,0°C
Laboratorium 4	4 °C
Laboratorium 5	Primaire koeler M&C type ECP1000: fabrieksinstelling; groene LED licht op bij temperatuur bereikt, pas dan wordt de flowpomp ingeschakeld. Er is ook nog een LED voor temperatuur boven instelling en een LED voor temperatuur onder instelling. Temperatuur niet instelbaar door eindgebruiker. Secundaire koeler ingesteld op 3°C
Laboratorium 6	3°C
Laboratorium 7	4°C
Laboratorium 8	4°C
Laboratorium 9	4°C

Tabel 17: Vraag 3 'Op welke plaats staat/staan de koeler(s) in de monsternemingstrein voor de monitoren?'

Laboratorium	Configuratie	Beschrijving configuratie
Laboratorium 1	1 (JCT-4 Jumbo) 2 (M&C EC/ECS)	Verwarmde meetkop – verwarmde leiding - compressorkoeler beneden in de meetwagen Verwarmde meetkop – verwarmde leiding - compressorkoeler beneden in de meetwagen
Laboratorium 2	1 (M&C EC) 2 (M&C PSS-5) 3 (JCP FE) 4 (ABB SCC-C)	Tussen verwarmde filter en pomp Voor de filter en pomp Voor de filter en pomp Voor de filter en pomp
Laboratorium 3		1 koeler kortbij de meetplaats
Laboratorium 4	1 (M&C PSS5) 2 (M&C PSS10)	Na verwarmde leiding, voor de analyser Na verwarmde leiding, voor de analyser
Laboratorium5		1 M&C Peltierkoeler kortbij de meetplaats + 1 Peltierkoeler beneden in de meetwagen
Laboratorium6		Verwarmde meetgasleiding splitst gasstroom parallel zowel naar FID en koeler. Na koeler wordt de gasstroom opnieuw gescheiden: naar bewaakte overflow en gezamenlijke ringleiding.
Laboratorium7		1 M&C Peltierkoeler kortbij de meetplaats
Laboratorium8		1 M&C Peltierkoeler kortbij de meetplaats
Laboratorium9		verwarmde leiding naar peltierkoeler (JCP-FE) zo kort mogelijk bij schouw, in meetwagen 2de koeler (Ankersmid serie ADS).

Tabel 18: Vraag 4 'Hebt u al problemen met watercondensatie en/of verliezen van NO_2/SO_2 in de koeler bij bepaald gebruik (ingangstemperatuur, waterconcentratie, omgevingstemperatuur...) bij praktijkmetingen vastgesteld en zo ja, welke?'

Laboratorium	Antwoord	Verduidelijking
Laboratorium1	ja	Bij een kolencentrale met een natte reiniging en dus een hoog vochtigheidsgehalte trad een verlies van SO_2 op in de koeler. Monster genomen van condensaat van de koeler en hier een sulfaatanalyse op uitgevoerd, waarbij inderdaad een beetje sulfaat werd teruggevonden.
Laboratorium2	ja	Trage reactie van analyser bij aanbieden van controlegas over het volledig meetsysteem door slechte afvoer van vocht wegens verstopping afvoer. Vermoedelijke verliezen SO_2 bij hoge vochtgehaltes vnl. bij lage SO_2 concentraties.
Laboratorium3	Ja	Watercondensatie in de leiding na de koeler, richting monitoren bij omgevingstemperaturen $< 4^\circ\text{C}$.
Laboratorium4	neen	
Laboratorium5	neen	Vochtalarm na de primaire koeler schakelt de flow uit. Bij extreem warme zomertemperaturen dient er wel langer gewacht te worden tegen dat de koeltemperatuur bereikt wordt en de pomp in werking gesteld wordt.
Laboratorium6	neen	Neen, bij problemen kan eventueel een bijkomende pomp voor condensafvoer geplaatst worden.
Laboratorium7	neen	Controle met controlegas (SO_2 , NO) door gans het bemonsteringssysteem, voor koeler, werd uitgevoerd en er werd geen verlies vastgesteld van SO_2 en NO
Laboratorium8	ja	Bij omgevingstemperatuur $< 4^\circ\text{C}$
Laboratorium9	neen	

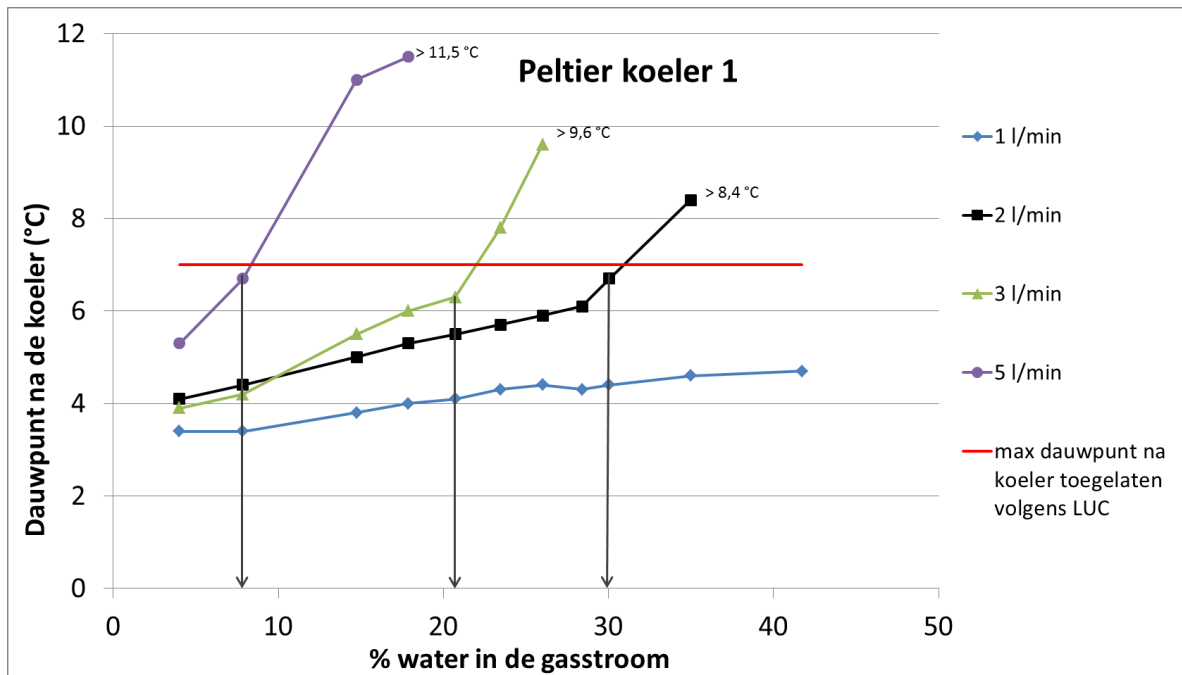
Tabel 19: Vraag 5 'Past u bepaalde maatregelen toe om verliezen van NO_2/SO_2 in de koeler te beperken?'

Laboratorium	Antwoord	Verduidelijking van de toegepaste maatregelen
Laboratorium1	neen	
Laboratorium2	neen	In het verleden hebben we nog zuurdosering gebruikt maar om praktische redenen werd daarmee gestopt
Laboratorium3	ja	Regelmatig reinigen van het binnenwerk, reinigen of vervangen van leidingen
Laboratorium4	neen	
Laboratorium5	ja	Vochtalarm dat de flow onderbreekt bij vocht na de koeler (= geen meting bij vochtdoorbraak) constante afvoer van vocht met slangenpomp uit de koeler.
Laboratorium6	neen	
Laboratorium7	neen	
Laboratorium8	ja	Teflonleiding (uitgang koeler) isoleren
Laboratorium9	neen	

Tabel 20: Vraag 6 'Hoe controleert/kalibreert u momenteel de meetgaskoeler?'

Laboratorium1	Periodieke kalibratie door controle van de temperatuur van de koeler.
Laboratorium2	/
Laboratorium3	periodieke kalibratie van de temperatuursuitlezing van de koeler + registratie/opvolging van de temperatuur bij iedere meting
Laboratorium4	Visuele controle dat condensaten eruit komen.
Laboratorium5	-Periodieke meting van het dauwpunt aan de uitgang van de primaire koeler -Opvolging van de temperatuur op de secundaire koeler bij elke meting en periodieke controle van de temperatuur
Laboratorium6	Temperatuuralarm van koeler wordt via het milieu-datacaptatie programma ingelezen en opgeslagen.
Laboratorium7	Registratie koeltemperatuur (ca. 4 °C) bij elke meting. Visuele controle koelelement op zichtbare verontreiniging. Wij hebben een controle van koeler uitgevoerd door meting van dauwpunt na koeler en dit gaf een koeltemperatuur van < 4 °C.
Laboratorium8	periodieke controle van de temperatuursuitlezing van de koeler + registratie/opvolging van de temperatuur bij iedere meting
Laboratorium9	Jaarlijks: dauwpunt controle uitgang (temp 100°C - 6% H ₂ O – 100l/min) tijdens metingen controle van de temperatuur van de Peltier koeler

BIJLAGE B: RESULTATEN CAPACITEITSTEST

PELTIER KOELER 1 GEÏNTEGREERD IN EEN DRAAGBAAR GASCONDITIONERINGS- EN BEMONSTERINGSSYSTEEM


Figuur 19: Dauwpuntsmetingen na de Peltier koeler 1 geïntegreerd in een gasconditionerings- en monsternemingssysteem i.f.v. het debiet doorheen het systeem en het watergehalte van de aangeboden gasstroom

Bij een aanzuigdebiet van 1 l/min doorheen het gasconditioneringssysteem blijft het gemeten dauwpunt na de koeler steeds beneden de bovengrens van 7°C. Aangezien de monitoren in de praktijk ongeveer 1 l/min minimum vereisen en een kleine overmaat aan gas aan de monitoren moet aangeboden worden, zal dit afzuigdebiet ter hoogte van de koeler in de praktijk te laag zijn. Bij een aanzuigdebiet van 2 en 3 l/min blijft het gemeten dauwpunt na de koeler beneden de toegelaten bovengrens van 7°C tot resp. ongeveer 30% en 20% aangeboden vocht. Bij een gasdebiet van 5 l/min geldt dit tot ongeveer 8% water in het meetgas.

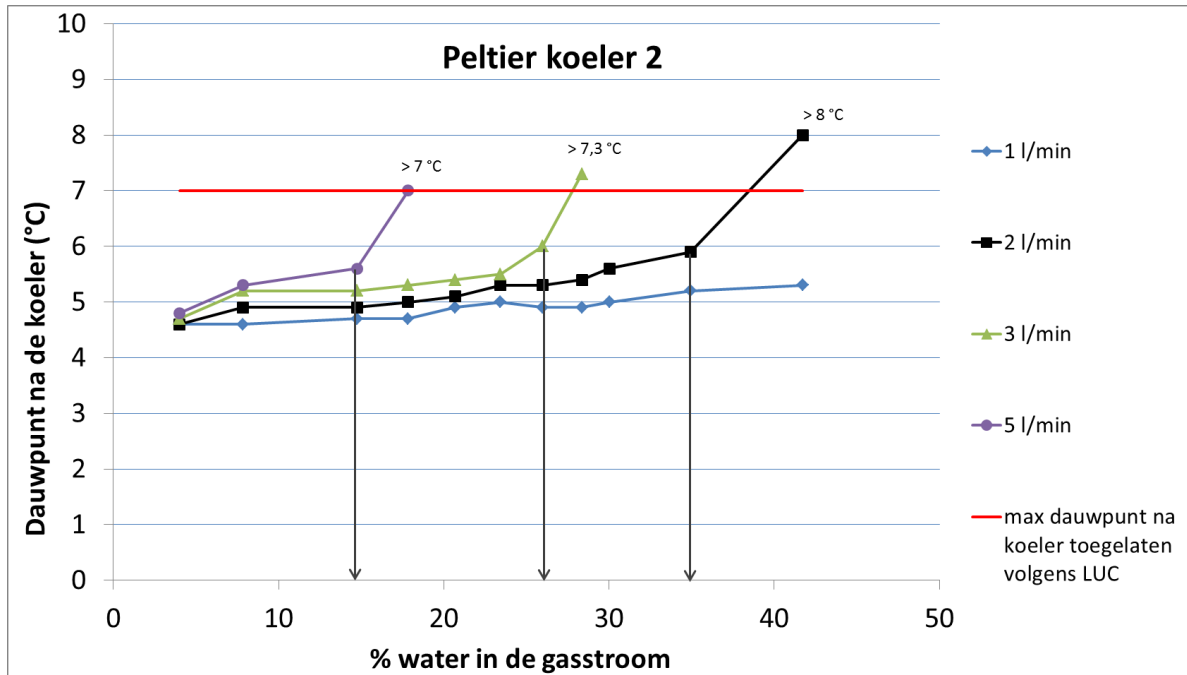
Tijdens de testen bleek de temperatuuruitlezing van het gasconditioneringssysteem niet steeds overeen te komen met het werkelijk gemeten dauwpunt aan de uitgang van de koeler. Bij het aanbieden van vocht aan de koeler steeg het dauwpunt na de koeler terwijl de uitgelezen temperatuur dezelfde bleef. Bij de hogere vochtgehalten werden soms verschillen tussen de temperatuuruitlezing van het gasconditioneringssysteem en het gemeten dauwpunt na de koeler tot 5°C vastgesteld. Dit wijst erop dat de koeler het water niet meer voldoende uit de gasstroom kan verwijderen, hoewel de temperatuursuitlezing op de display waarschijnlijk correct is.

De temperatuuruitlezing op de display van het gasconditioneringssysteem biedt dus geen garantie dat het dauwpunt na de koeler in orde is, dus binnen $(4 \pm 3)^\circ\text{C}$ ligt.

Tabel 21: Resultaten capaciteitstest Peltierkoeler 1 geïntegreerd in een gasconditionerings- en monsternemingssysteem

Debiet Stikstof Nl/min	Afgifte water g/min	% water gasstroom	Dauwpunt na de koeler gemeten met de M&C Optima dauwpuntsmeter bij verschillende aanzuigdebieten doorheen de koeler							
			Debiet 1 l/min 26/02/2016 Patm= 1010,3 mbar		Debiet 2 l/min 29/02/2016 Patm= 1020,5 mbar		Debiet 3 l/min 26/02/2016 Patm=1007,3 mbar		Debiet 5 l/min 29/02/2016 Patm=1020,5 mbar	
			Tijdstip	Dauwpunt na koeler (°C)	Tijdstip	Dauwpunt na koeler (°C)	Tijdstip	Dauwpunt na koeler (°C)	Tijdstip	Dauwpunt na koeler (°C)
49,44	1,66	4,01	9:30	3,4	9h09	4,1	14:39	3,9	8h04	5,3
49,44	3,39	7,86	9:46	3,4	9h15	4,4	14:45	4,2	8h15	6,7
49,44	6,88	14,75	9:50	3,8	9h22	5,0	14:55	5,5	8h24	11,0
49,44	8,64	17,86	10:03	4,0	9h32	5,3	15:13	6,0	8h42	>11,5
49,44	10,39	20,72	10:11	4,1	9h42	5,5	15:19	6,3		
49,44	12,18	23,45	11:17	4,3	9h55	5,7	15:26	7,8		
49,44	13,97	26,01	11:34	4,4	10h07	5,9	15:36	>9,6		
49,44	15,77	28,40	11:55	4,3	11h40	6,1				
49,44	17,08	30,05	12:55	4,4	12h05	6,7				
39,50	17,08	34,97	13:00	4,6	12h27	>8,4				
29,66	17,08	41,73	13:10	4,7						

PELTIER KOELER 2 (1-KANAALS PFA-GECOAT) GEÏNTEGREERD IN EEN DRAAGBAAR GASCONDITIONERINGS- EN BEMONSTERINGSSYSTEEM



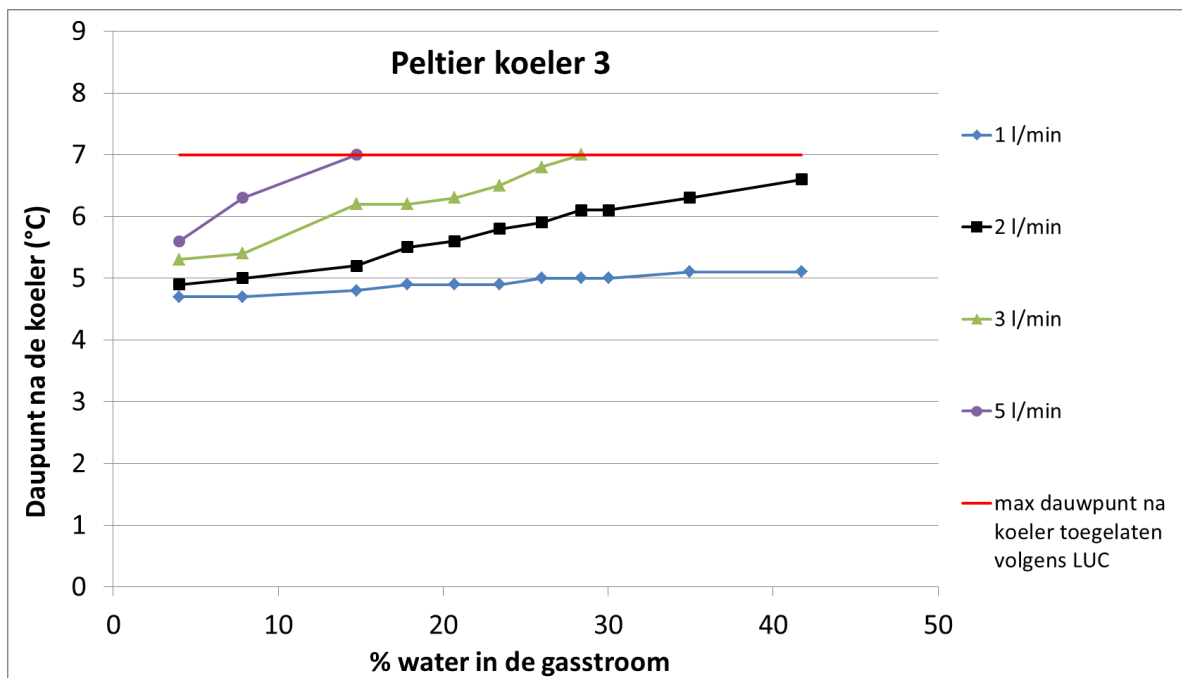
Figuur 20: Dauwpuntsmetingen na de Peltier koeler 2 i.f.v. het debiet doorheen het systeem en het watergehalte van de aangeboden gasstroom

Bij een aanzuigdebiet van 1 l/min doorheen het gasconditioneringssysteem blijft het gemeten dauwpunt na de koeler steeds beneden de bovengrens van 7°C. Bij een aanzuigdebiet van 2, 3 en 5 l/min blijft het gemeten dauwpunt na de koeler beneden de toegelaten bovengrens van 7°C tot resp. ongeveer 35%, 26% en 15% aangeboden vocht.

Tabel 22: Resultaten capaciteitstest Peltier koeler 2

Debiet Stikstof Nl/min	Afgifte water g/min	% water gasstroom	Dauwpunt na de koeler gemeten met de M&C Optima dauwpuntsmeter bij verschillende aanzuigdebieten doorheen de koeler							
			Debiet 1 l/min 6/02/2017 Patm= 1015,4 mbar		Debiet 2 l/min 06/02/2017 Patm= 1015,4 mbar		Debiet 3 l/min 07/02/2017 Patm=1012,8 mbar		Debiet 5 l/min 07/02/2017 Patm=1012,6 mbar	
			Tijdstip	Dauwpunt na koeler (°C)	Tijdstip	Dauwpunt na koeler (°C)	Tijdstip	Dauwpunt na koeler (°C)	Tijdstip	Dauwpunt na koeler (°C)
49,52	1,66	4,00	12:10	4,6	14:10	4,6	8:00	4,7	9:35	4,8
49,52	3,39	7,85	12:15	4,6	14:15	4,9	8:05	5,2	9:40	5,3
49,52	6,88	14,73	12:20	4,7	14:20	4,9	8:10	5,2	9:50	5,6
49,52	8,64	17,83	12:30	4,7	14:30	5,0	8:20	5,3	10:00	>7,0
49,52	10,39	20,70	12:40	4,9	14:40	5,1	8:30	5,4		
49,52	12,18	23,43	12:50	5,0	14:50	5,3	8:40	5,5		
49,52	13,97	25,97	13:10	4,9	15:00	5,3	8:50	6,0		
49,52	15,77	28,37	13:20	4,9	15:10	5,4	9:00	>7,3		
49,52	17,08	30,02	13:30	5,0	15:20	5,6				
39,58	17,08	34,93	13:40	5,2	15:30	5,9				
29,67	17,08	41,73	13:50	5,3	15:40	>8,0				

PELTIERKOELER 3 (1-KANAALS)



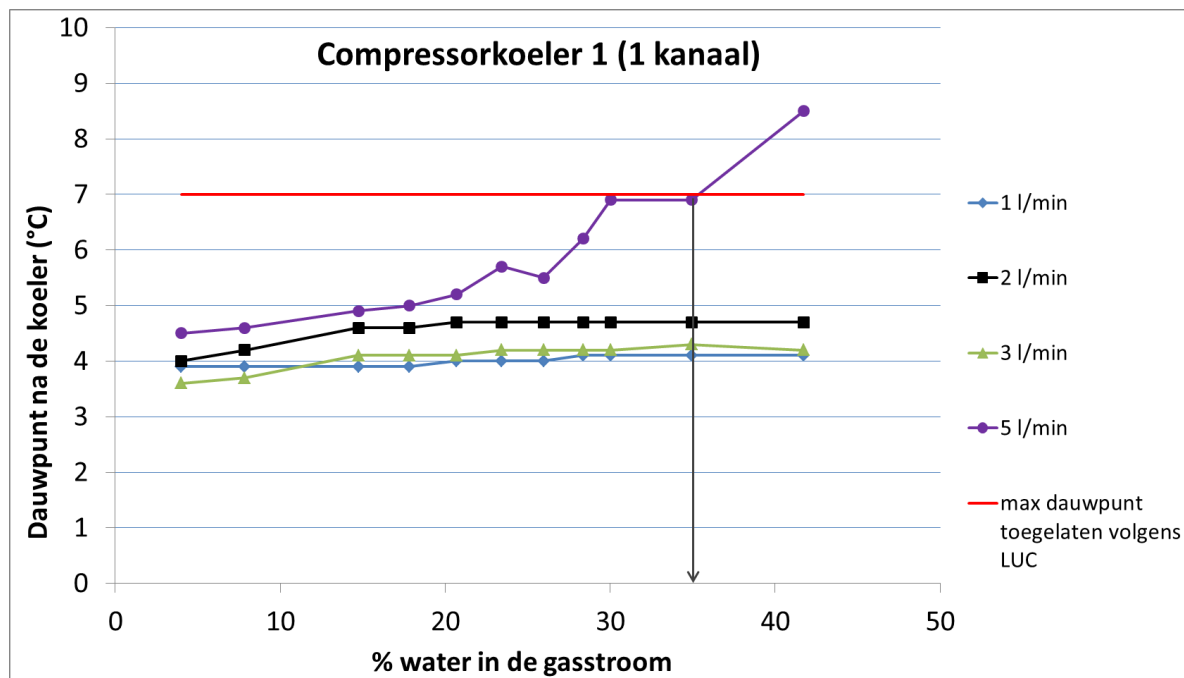
Figuur 21: Dauwpuntsmetingen na de Peltier koeler 3 i.f.v. het debiet doorheen het systeem en het watergehalte van de aangeboden gasstroom

Bij aanzuigdebieten van 1 en 2 l/min doorheen de koeler blijft het gemeten dauwpunt na de koeler steeds beneden de bovengrens van 7°C. Bij een aanzuigdebiet van 3 l/min blijft het gemeten dauwpunt na de koeler beneden de toegelaten bovengrens van 7°C tot $\approx 28\%$ vocht en bij een aanzuigdebiet van 5 l/min tot $\approx 15\%$ vocht.

Tabel 23: Resultaten capaciteitstest Peltier koeler 3

Debiet Stikstof Nl/min	Afgifte water g/min	% water gasstroom	Dauwpunt na de koeler gemeten met de M&C Optima dauwpuntsmeter bij verschillende aanzuigdebieten doorheen de koeler							
			Debiet 1 l/min 14/03/2017 Patm= 1028,9 mbar		Debiet 2 l/min 14/03/2017 Patm= 1029,3 mbar		Debiet 3 l/min 14/03/2017 Patm=1028,2 mbar		Debiet 5 l/min 14/03/2017 Patm=1028,0 mbar	
			Tijdstip	Dauwpunt na koeler (°C)	Tijdstip	Dauwpunt na koeler (°C)	Tijdstip	Dauwpunt na koeler (°C)	Tijdstip	Dauwpunt na koeler (°C)
49,52	1,66	4,00	8:00	4,7	9:30	4,9	12:45	5,3	14:00	5,6
49,52	3,39	7,85	8:13	4,7	9:40	5,0	12:55	5,4	14:10	6,3
49,52	6,88	14,73	8:20	4,8	9:46	5,2	13:00	6,2	14:16	7,0
49,52	8,64	17,83	8:25	4,9	9:53	5,5	13:08	6,2		
49,52	10,39	20,70	8:30	4,9	10:00	5,6	13:15	6,3		
49,52	12,18	23,43	8:35	4,9	10:05	5,8	13:21	6,5		
49,52	13,97	25,97	8:42	5,0	10:17	5,9	13:27	6,8		
49,52	15,77	28,37	8:50	5,0	10:25	6,1	13:33	7,0		
49,52	17,08	30,02	8:55	5,0	10:35	6,1				
39,58	17,08	34,93	9:00	5,1	10:45	6,3				
29,67	17,08	41,73	9:05	5,1	10:50	6,6				

COMPRESSORKOELER 1 (1 OF 2-KANAALS PFA GECOAT) – CAPACITEITSTEST UITGEVOERD BIJ 1 KANAAL



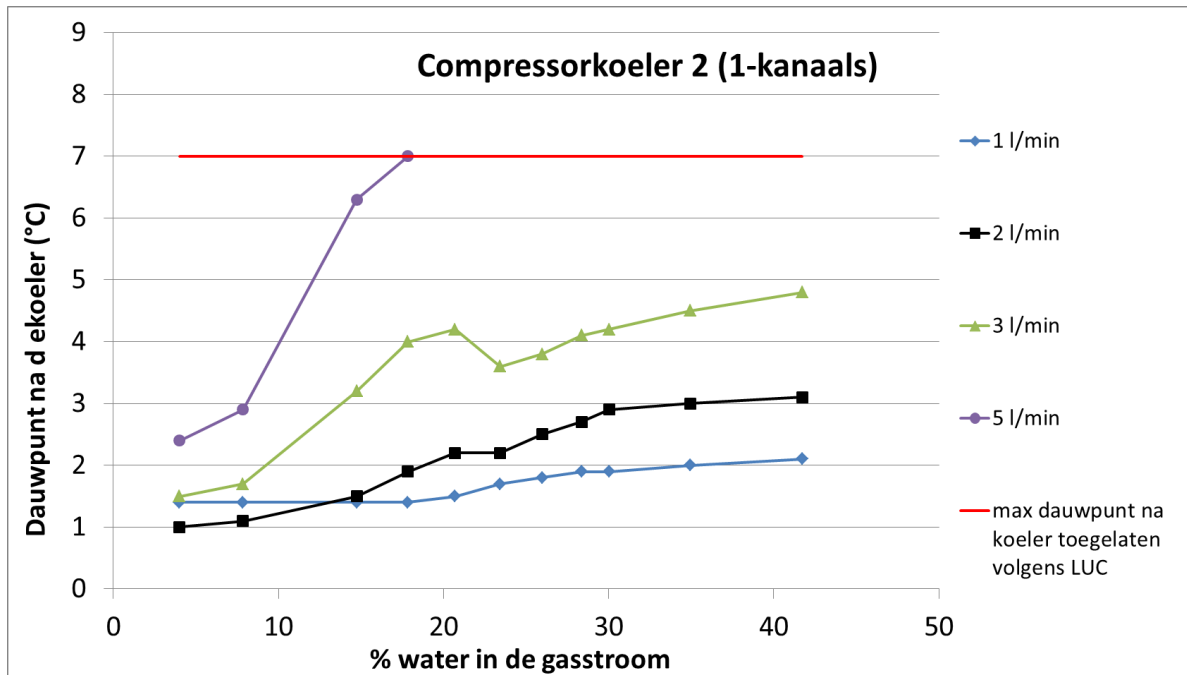
Figuur 22: Dauwpuntsmetingen na de compressorkoeler 1 (1-kanaals) i.f.v. het debiet doorheen het systeem en het watergehalte van de aangeboden gasstroom

Bij aanzuigdebieten van 1, 2 en 3 l/min doorheen de koeler blijft het gemeten dauwpunt na de koeler steeds beneden de bovengrens van 7°C. Bij een aanzuigdebiet van 5 l/min blijft het gemeten dauwpunt na de koeler beneden de toegelaten bovengrens van 7°C tot $\approx 35\%$ vocht.

Tabel 24: Resultaten capaciteitstest compressorkoeler 1 (1 kanaal)

Debiet Stikstof Nl/min	Afgifte water g/min	% water gasstroom	Dauwpunt na de koeler gemeten met de M&C Optima dauwpuntsmeter bij verschillende aanzuigdebieten doorheen de koeler							
			Debiet 1 l/min 7/02/2017 Patm= 1012,8 mbar		Debiet 2 l/min 07/02/2017 Patm= 1012,2 mbar		Debiet 3 l/min 09/02/2017 Patm=1024,6 mbar		Debiet 5 l/min 09/02/2017 Patm=1024,4 mbar	
			Tijdstip	Dauwpunt na koeler (°C)	Tijdstip	Dauwpunt na koeler (°C)	Tijdstip	Dauwpunt na koeler (°C)	Tijdstip	Dauwpunt na koeler (°C)
49,52	1,66	4,00	10:40	3,9	12:20	4,0	8:00	3,6	10:10	4,5
49,52	3,39	7,85	10:50	3,9	12:30	4,2	8:10	3,7	10:20	4,6
49,52	6,88	14,73	11:00	3,9	12:40	4,6	8:20	4,1	10:30	4,9
49,52	8,64	17,83	11:05	3,9	12:50	4,6	8:30	4,1	10:40	5,0
49,52	10,39	20,70	11:10	4,0	13:00	4,7	8:40	4,1	10:50	5,2
49,52	12,18	23,43	11:15	4,0	13:10	4,7	8:50	4,2	11:00	5,7
49,52	13,97	25,97	11:20	4,0	13:20	4,7	9:00	4,2	11:10	5,5
49,52	15,77	28,37	11:25	4,1	13:30	4,7	9:10	4,2	11:20	6,2
49,52	17,08	30,02	11:30	4,1	13:40	4,7	9:20	4,2	11:40	6,9
39,58	17,08	34,93	11:35	4,1	13:50	4,7	9:30	4,3	11:50	6,9
29,67	17,08	41,73	11:40	4,1	14:00	4,7	9:40	4,2	12:00	8,5

COMPRESSORKOELER 2 (1-KANAALS)



Figuur 23: Dauwpuntsmetingen na de compressorkoeler 2 (1-kanaals) i.f.v. het debiet doorheen het systeem en het watergehalte van de aangeboden gasstroom

Bij aanzuigdebieten van 1, 2 en 3 l/min doorheen de koeler blijft het gemeten dauwpunt na de koeler steeds beneden de bovengrens van 7°C. Bij een aanzuigdebiet van 5 l/min blijft het gemeten dauwpunt na de koeler beneden de toegelaten bovengrens van 7°C tot $\approx 15\%$ vocht.

Tabel 25: Resultaten capaciteitstest compressorkoeler 2 (1-kanaals)

Debiet Stikstof Nl/min	Afgifte water g/min	% water gasstroom	Dauwpunt na de koeler gemeten met de M&C Optima dauwpuntsmeter bij verschillende aanzuigdebieten doorheen de koeler							
			Debiet 1 l/min 8/03/2017 Patm= 1009,9 mbar		Debiet 2 l/min 8/03/2017 Patm= 1009,3 mbar		Debiet 3 l/min 8/03/2017 Patm=1008,5 mbar		Debiet 5 l/min 8/03/2017 Patm=1008,4 mbar	
			Tijdstip	Dauwpunt na koeler (°C)	Tijdstip	Dauwpunt na koeler (°C)	Tijdstip	Dauwpunt na koeler (°C)	Tijdstip	Dauwpunt na koeler (°C)
49,52	1,66	4,00	10:40	1,4	12:25	1,0	13:52	1,5	15:20	2,4
49,52	3,39	7,85	10:45	1,4	12:30	1,1	13:57	1,7	15:25	2,9
49,52	6,88	14,73	10:50	1,4	12:35	1,5	14:02	3,2	15:30	6,3
49,52	8,64	17,83	10:55	1,4	12:43	1,9	14:07	4,0	15:41	>7,0
49,52	10,39	20,70	11:00	1,5	12:48	2,2	14:12	4,2		
49,52	12,18	23,43	11:05	1,7	12:54	2,2	14:17	3,6		
49,52	13,97	25,97	11:10	1,8	13:00	2,5	14:28	3,8		
49,52	15,77	28,37	11:15	1,9	13:05	2,7	14:35	4,1		
49,52	17,08	30,02	11:20	1,9	13:10	2,9	14:42	4,2		
39,58	17,08	34,93	11:25	2,0	13:15	3,0	14:48	4,5		
29,67	17,08	41,73	11:30	2,1	13:26	3,1	14:53	4,8		

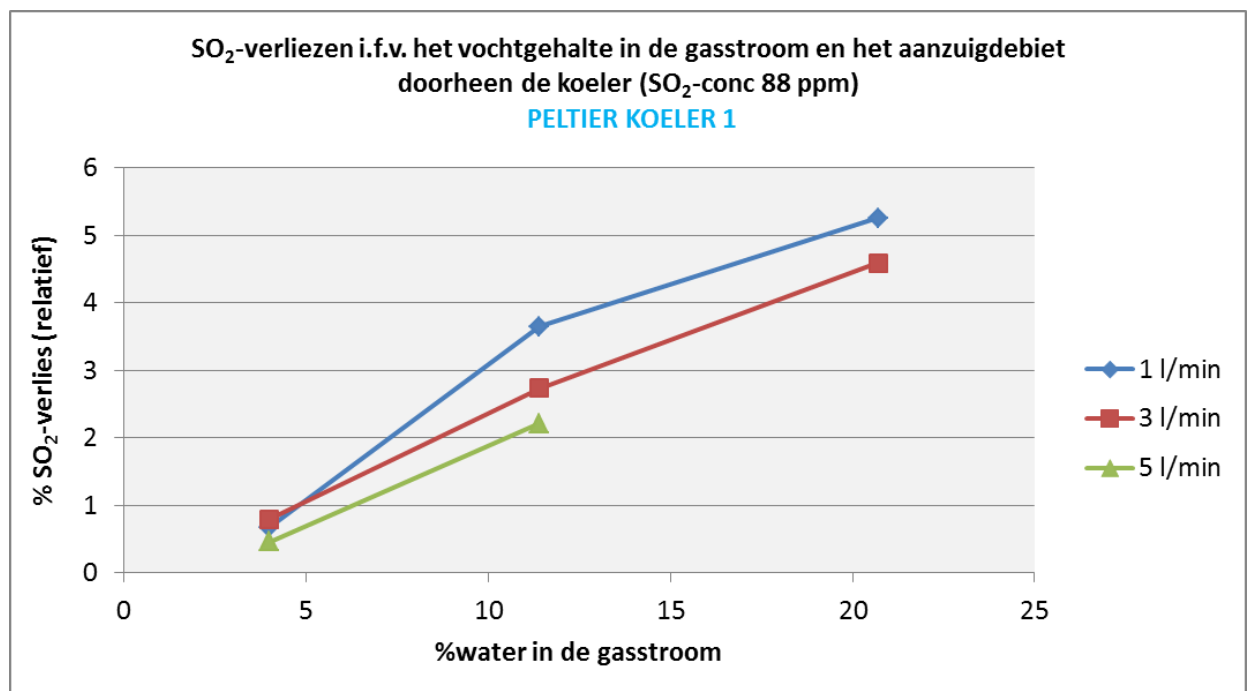
BIJLAGE C: SO₂-VERLIEZEN I.F.V. WATER EN DEBIET

PELTIER KOELER 1 GEÏNTEGREERD IN EEN DRAAGBAAR GASCONDITIONERINGS- EN BEMONSTERINGSSYSTEEM

Bij een SO₂-concentratie van 88 ppm in de gasstroom werden de verliezen aan SO₂ in de koeler in functie van verschillende watergehaltes (≈4, 11 en 20%) en aanzuigdebieten (resp. 1, 3 en 5 l/min) onderzocht. De relatieve verliezen zijn weergegeven in Figuur 24, de absolute SO₂-verliezen (in ppm) in Figuur 25. De onderliggende gegevens zijn in Tabel 26 opgenomen.

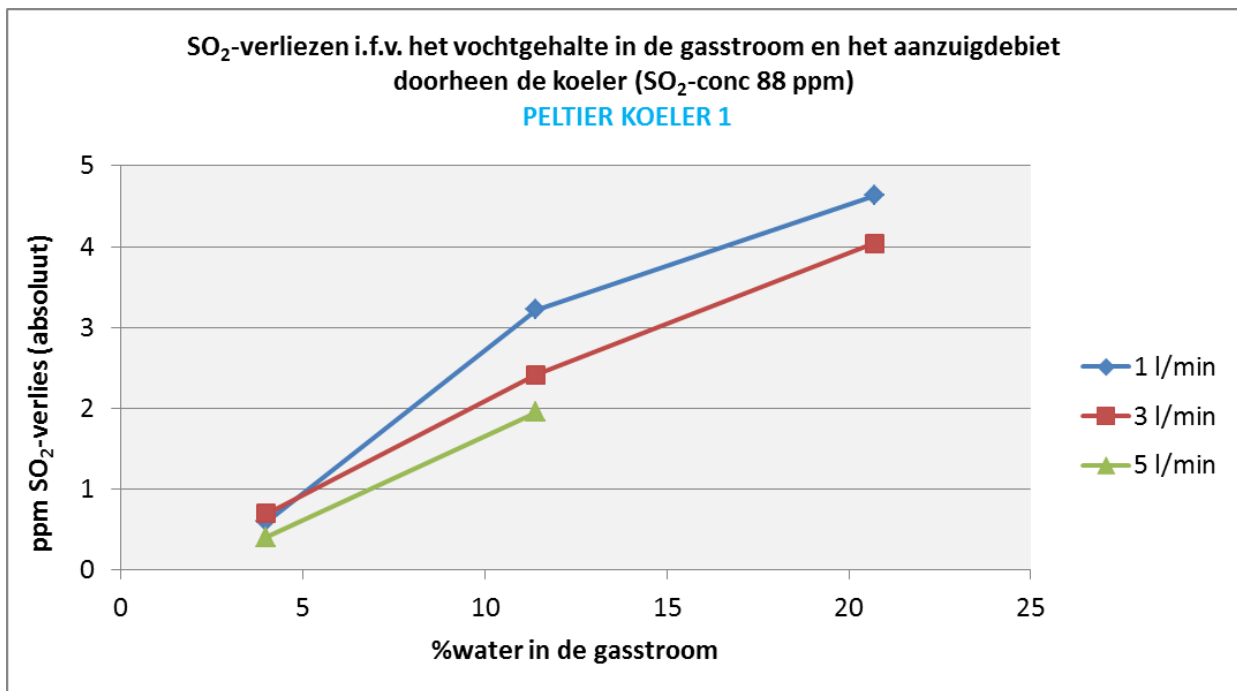
Uit deze figuren blijkt dat de absolute en relatieve verliezen aan SO₂ in de koeler groter zijn naarmate het debiet doorheen de koeler lager is. Dit kan verklaard worden door de langere contacttijd tussen het gas en condensaat in de koeler bij lagere aanzuigdebieten.

De absolute en relatieve verliezen aan SO₂ in de koeler nemen eveneens toe bij een stijgend watergehalte in de gasstroom.



Figuur 24: Relatieve verliezen aan SO₂ in de koeler i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en het aanzuigdebiet doorheen de koeler

Bij een aanzuigdebiet doorheen de koeler van 5 l/min werd het watergehalte van de aangeboden gasstroom tot 11% beperkt. Vanuit de capaciteitstest bleek namelijk dat het dauwpunt na de koeler bij dit debiet de maximum toegelaten temperatuur van 7°C reeds overschreed.



Figuur 25: Absolute verliezen aan SO₂ in de koeler in ppm i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en het aanzuigdebiet doorheen de koeler

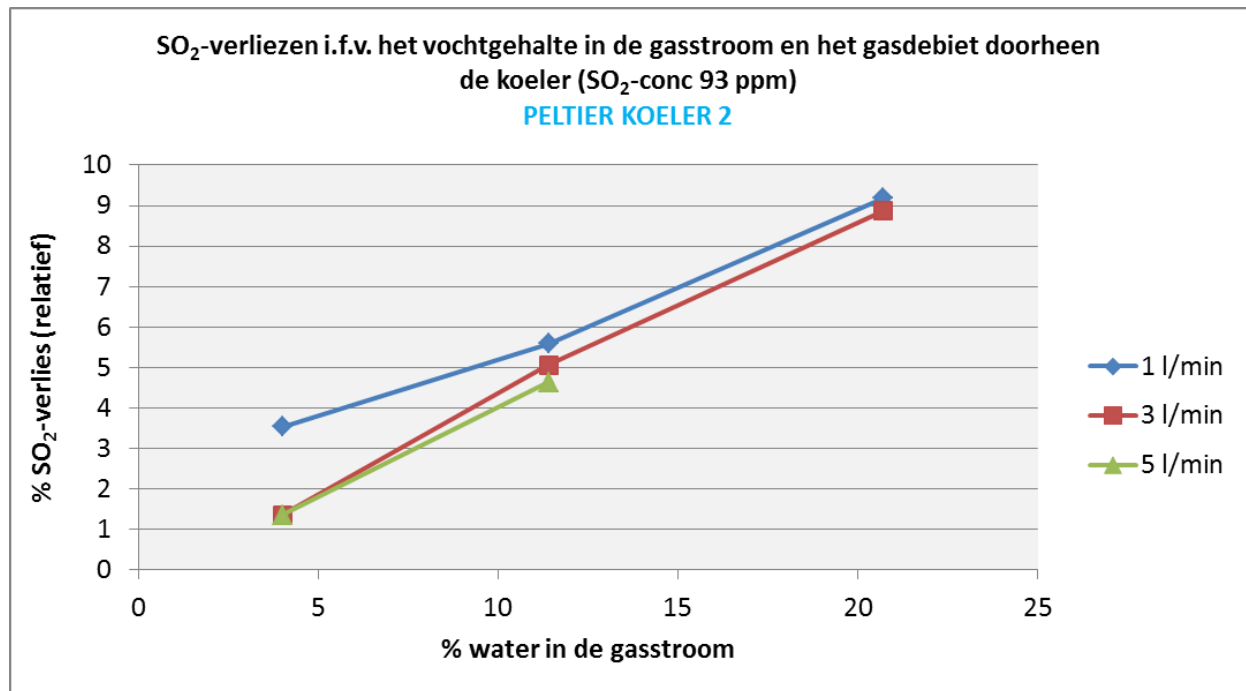
Tabel 26: SO₂-verliezen i.f.v. het watergehalte en debiet voor de Peltier koeler 1 (testen 16/03/2016)

Koeler-debiet l/min	t gas ingang koeler °C	% water	ppm SO ₂ ^(a) referentie	Tijdstip meting	ppm SO ₂ in de natte gasstroom	Vochtgehalte na de koeler ^(b)	ppm SO ₂ in de droge gasstroom ^(c)	Verlies %	Verlies (ppm)
	80	0	88,1	11:30		-	88,1		
1	80	4,0	88,1	12:30	86,8	0,8	87,5	0,7	0,6
3	80	4,0	88,1	13:02	86,7	0,8	87,4	0,8	0,7
5	80	4,0	88,1	13:12	86,9	0,9	87,7	0,5	0,4
	80	0,0	88,1	13:20		-	88,1		
1	80	11,4	88,1	13:25	84,2	0,8	84,9	3,7	3,2
3	80	11,4	88,1	13:43	85,0	0,8	85,7	2,7	2,4
5	80	11,4	88,1	13:52	85,2	1,1	86,1	2,2	2,0
	80	0,0	88,1	14:00		-	88,1		
1	80	20,7	88,1	14:11	82,8	0,8	83,5	5,3	4,6
3	80	20,7	88,1	14:23	83,3	0,9	84,1	4,6	4,0
	80	0,0	88,1	14:31		-	88,1		

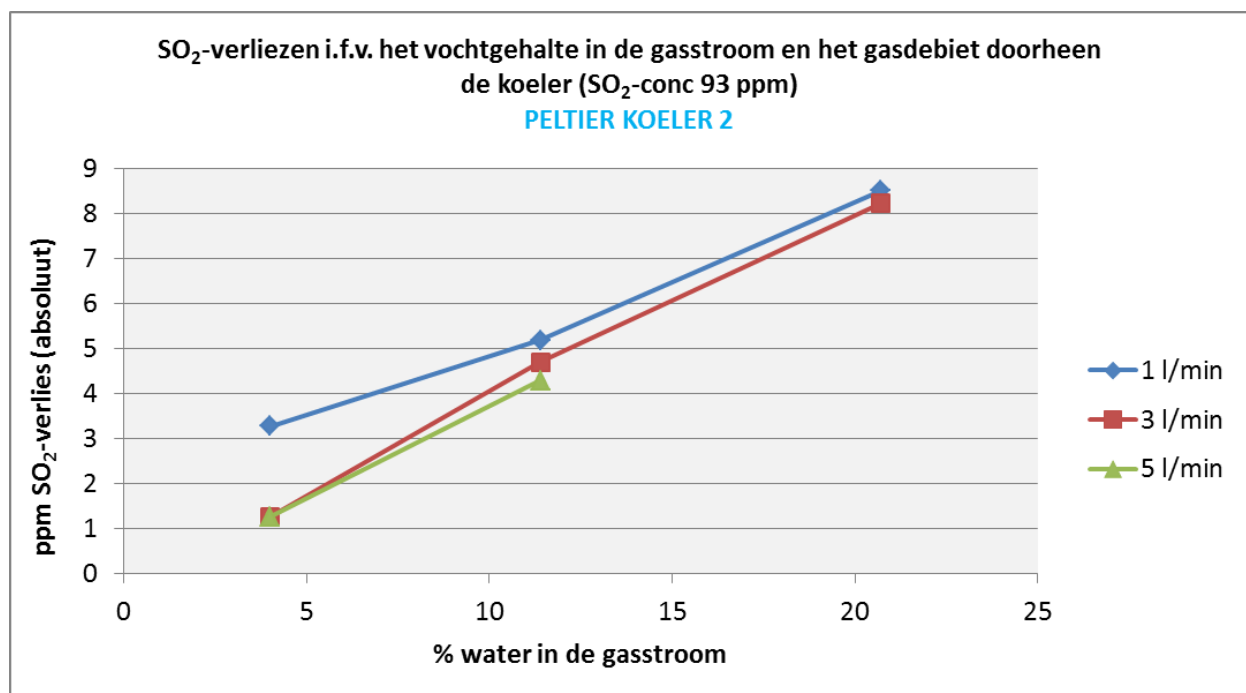
Stikstof: 49,44 Nl/min, MFC SO₂ (10%): 4,44 Nml/min, water 1,66 g/min voor 4,0%, 5,13 g/min voor 11,4 g/min en 10,39 g/min voor 20,7%

- (a) De rechtstreeks met monitor gemeten SO₂ concentratie in de droge gasstroom in de gasverdeelleiding wordt als referentiepunt genomen.
- (b) Het watergehalte in de gasstroom na de koeler wordt berekend aan de hand van de dauwpuntsmeting na de koeler bij de capaciteitstesten (zie 3.1)
- (c) De met monitoren gemeten concentraties aan de uitgang van de koeler worden naar concentraties in het absoluut droge gas omgerekend met het watergehalte dat nog na de koeler aanwezig is.

PELTIER KOELER2 (1-KANAALS PFA-GECOAT) GEÏNTEGREERD IN EEN DRAAGBAAR GASCONDITIONERINGS- EN BEMONSTERINGSSYSTEEM



Figuur 26: Relatieve verliezen aan SO₂ in de koeler i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en het aanzuigdebiet doorheen de koeler



Figuur 27: Absolute verliezen aan SO₂ in de koeler in ppm i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en het aanzuigdebiet doorheen de koeler

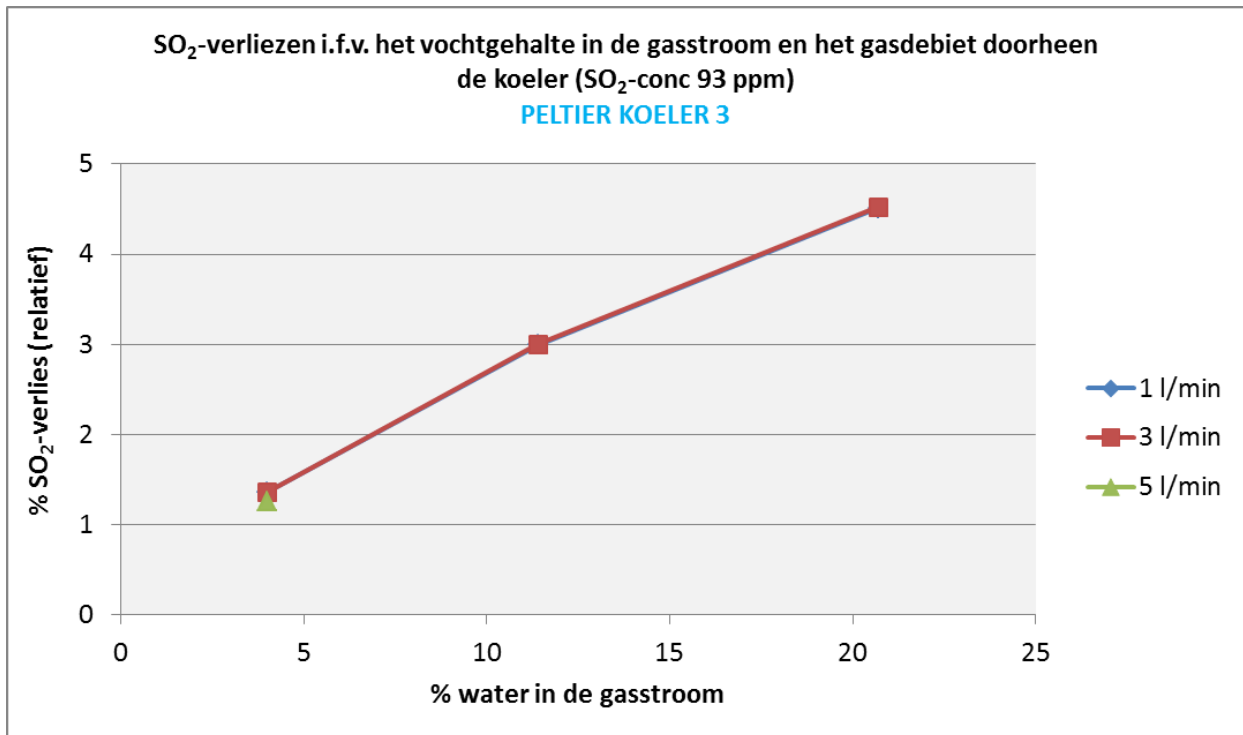
Tabel 27: SO₂-verliezen i.f.v. het watergehalte en debiet voor de Peltier koeler 2

Koeler-debiet l/min	t gas ingang koeler °C	% water	ppm SO ₂ ^(a) referentie	Tijdstip meting	ppm SO ₂ in de natte gasstroom	Vochtgehalte na de koeler ^(b)	ppm SO ₂ in de droge gasstroom ^(c)	Verlies %	Verlies (ppm)
	80	0	92,9	13:22		-	92,9		
1	80	4,0	92,9	13:30	88,9	0,8	89,6	3,5	3,3
3	80	4,0	92,9	13:40	90,9	0,8	91,6	1,4	1,3
5	80	4,0	92,9	13:45	90,9	0,8	91,6	1,4	1,3
	80	0,0	92,9	13:50		-	92,9		
1	80	11,4	92,9	14:00	87,0	0,8	87,7	5,6	5,2
3	80	11,4	92,9	14:15	87,4	0,9	88,2	5,1	4,7
5	80	11,4	92,9	14:25	87,8	0,9	88,6	4,6	4,3
	80	0,0	92,9	14:35		-	92,9		
1	80	20,7	92,9	14:45	83,7	0,8	84,4	9,2	8,5
3	80	20,7	92,9	15:00	83,9	0,9	84,7	8,9	8,2
	80	0,0	92,9	15:10		-	92,9		

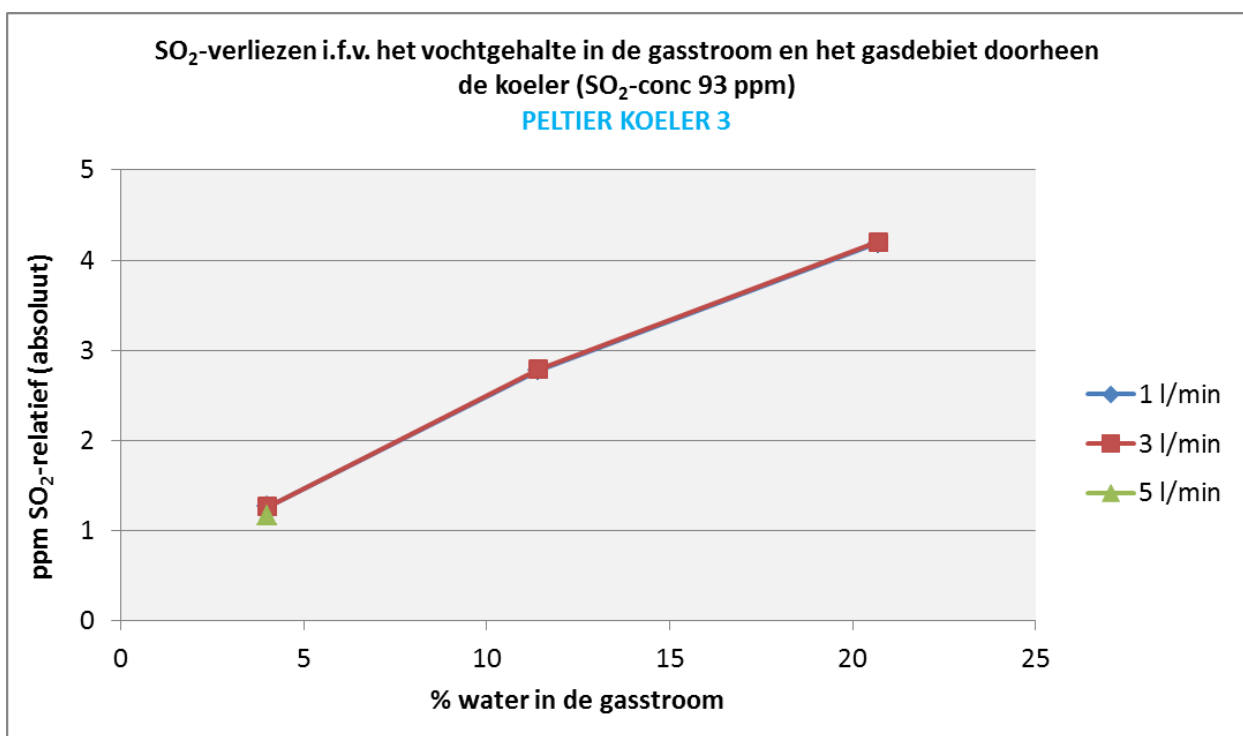
Stikstof: 49,52 Nl/min, MFC SO₂ (10%): 4,60 Nml/min, water 1,66 g/min voor 4,0%, 5,13 g/min voor 11,4 g/min en 10,39 g/min voor 20,7%

- (a) De rechtstreeks met monitor gemeten SO₂ concentratie in de droge gasstroom in de gasverdeelleiding wordt als referentiepunt genomen.
- (b) Het watergehalte in de gasstroom na de koeler wordt berekend aan de hand van de dauwpuntsmeting na de koeler bij de capaciteitstesten
- (c) De met monitoren gemeten concentraties aan de uitgang van de koeler worden naar concentraties in het absoluut droge gas omgerekend met het watergehalte dat nog na de koeler aanwezig is.

PELTIER KOELER 3 (1-KANAALS)



Figuur 28: Relatieve verliezen aan SO₂ in de koeler i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en het aanzuigdebiet doorheen de koeler



Figuur 29: Absolute verliezen aan SO₂ in de koeler in ppm i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en het aanzuigdebiet doorheen de koeler

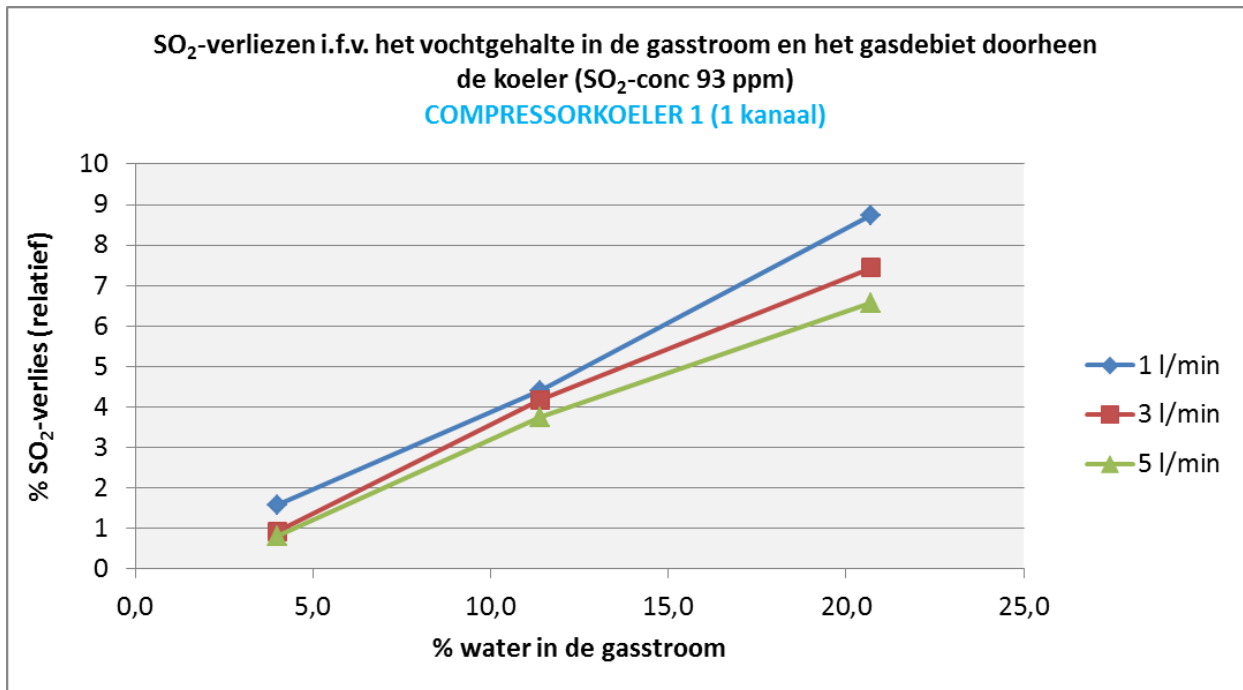
Tabel 28: SO₂-verliezen i.f.v. het watergehalte en debiet voor de 1-kanaals Peltier koeler 3

Koeler-debiet l/min	t gas ingang koeler °C	% water	ppm SO ₂ ^(a) referentie	Tijdstip meting	ppm SO ₂ in de natte gasstroom	Vochtgehalte na de koeler ^(b)	ppm SO ₂ in de droge gasstroom ^(c)	Verlies %	Verlies (ppm)
	80	0	92,9	7:55		-	92,9		
1	80	4,0	92,9	8:10	90,9	0,8	91,6	1,4	1,3
3	80	4,0	92,9	8:19	90,9	0,8	91,6	1,4	1,3
5	80	4,0	92,9	8:30	91,0	0,8	91,7	1,3	1,2
	80	0,0	92,9	8:40		-	92,9		
1	80	11,4	92,9	8:50	89,4	0,8	90,1	3,0	2,8
3	80	11,4	92,9	9:00	89,3	0,9	90,1	3,0	2,8
	80	0,0	92,9	9:10		-	92,9		
1	80	20,7	92,9	9:20	88,0	0,8	88,7	4,5	4,2
3	80	20,7	92,9	9:32	87,9	0,9	88,7	4,5	4,2
	80	0,0	92,9	9:40		-	92,9		

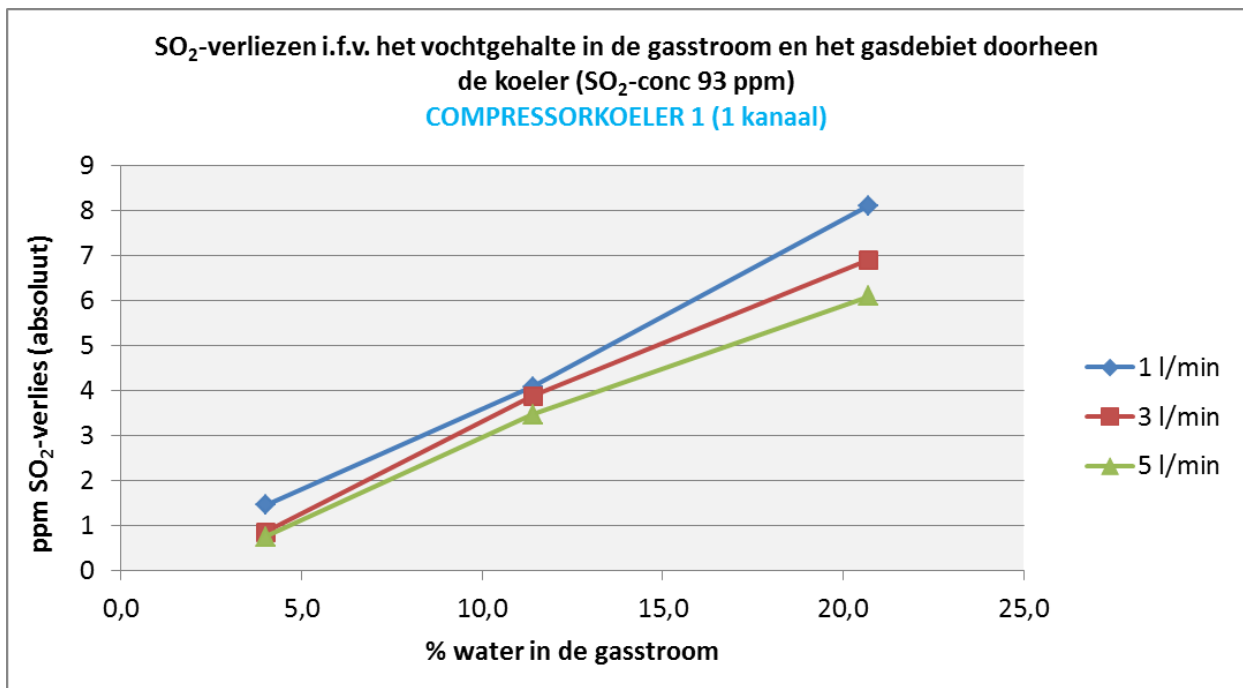
Stikstof: 49,52 Nl/min, MFC SO₂ (10%): 4,60 Nml/min, water 1,66 g/min voor 4,0%, 5,13 g/min voor 11,4 g/min en 10,39 g/min voor 20,7%

- (a) De rechtstreeks met monitor gemeten SO₂ concentratie in de droge gasstroom in de gasverdeelleiding wordt als referentiepunt genomen.
- (b) Het watergehalte in de gasstroom na de koeler wordt berekend aan de hand van de dauwpuntsmeting na de koeler bij de capaciteitstesten
- (c) De met monitoren gemeten concentraties aan de uitgang van de koeler worden naar concentraties in het absoluut droge gas omgerekend met het watergehalte dat nog na de koeler aanwezig is.

COMPRESSORKOELER 1 (1-KANAALS)



Figuur 30: Relatieve verliezen aan SO₂ in de koeler i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en het aanzuigdebiet doorheen de koeler



Figuur 31: Absolute verliezen aan SO₂ in de koeler in ppm i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en het aanzuigdebiet doorheen de koeler

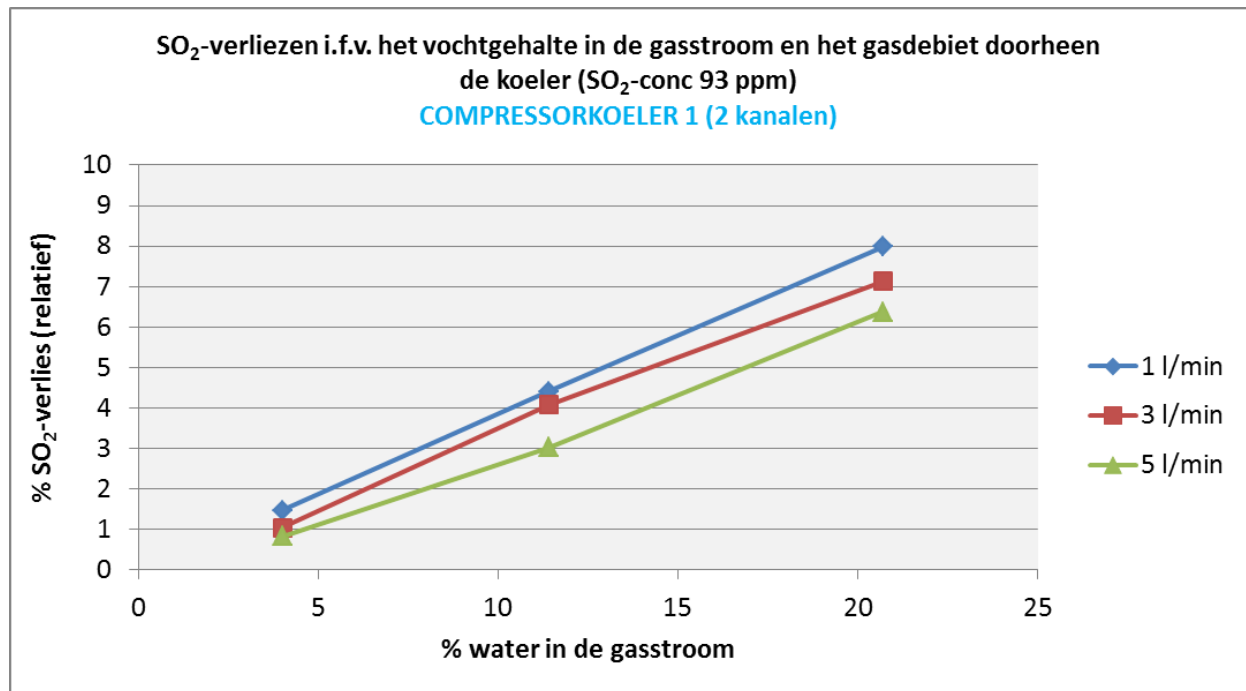
Tabel 29: SO₂-verliezen i.f.v. het watergehalte en debiet voor de compressorkoeler 1 (1-kanaals)

Koeler-debiet l/min	t gas ingang koeler °C	% water	ppm SO ₂ ^(a) referentie	Tijdstip meting	ppm SO ₂ in de natte gasstroom	Vochtgehalte na de koeler ^(b)	ppm SO ₂ in de droge gasstroom ^(c)	Verlies %	Verlies (ppm)
	80	0	92,9	13:12		-	92,9		
1	80	4,0	92,9	13:20	90,7	0,8	91,4	1,6	1,5
3	80	4,0	92,9	13:30	91,3	0,8	92,0	0,9	0,9
5	80	4,0	92,9	13:40	91,4	0,8	92,1	0,8	0,8
	80	0,0	92,9	13:50		-	92,9		
1	80	11,4	92,9	14:00	88,1	0,8	88,8	4,4	4,1
3	80	11,4	92,9	14:10	88,3	0,8	89,0	4,2	3,9
5	80	11,4	92,9	14:20	88,7	0,8	89,4	3,8	3,5
	80	0,0	92,9	13:30		-	92,9		
1	80	20,7	92,9	14:45	84,1	0,8	84,8	8,7	8,1
3	80	20,7	92,9	14:55	85,3	0,8	86,0	7,4	6,9
5	80	20,7	92,9	15:05	86,1	0,8	86,8	6,6	6,1
	80	0,0	92,9	15:15		-	92,9		

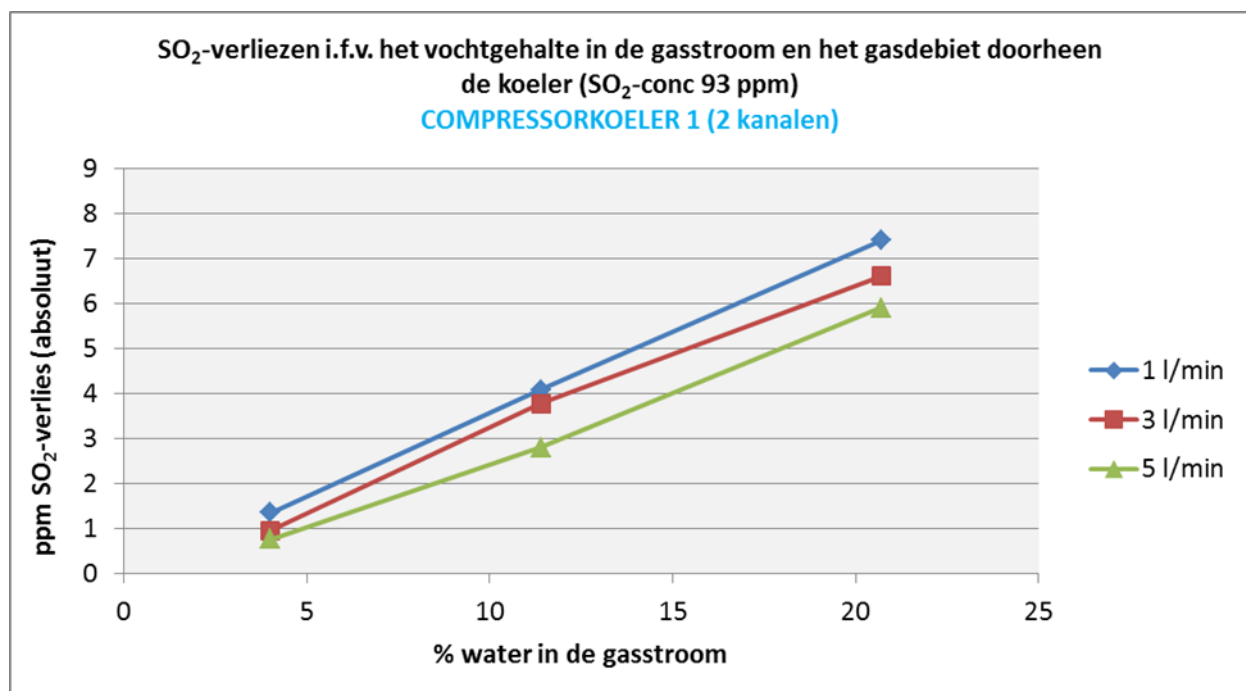
Stikstof: 49,52 Nl/min, MFC SO₂ (10%): 4,60 Nml/min, water 1,66 g/min voor 4,0%, 5,13 g/min voor 11,4 g/min en 10,39 g/min voor 20,7%

- (a) De rechtstreeks met monitor gemeten SO₂ concentratie in de droge gasstroom in de gasverdeelleiding wordt als referentiepunt genomen.
- (b) Het watergehalte in de gasstroom na de koeler wordt berekend aan de hand van de dauwpuntsmeting na de koeler bij de capaciteitstesten
- (c) De met monitoren gemeten concentraties aan de uitgang van de koeler worden naar concentraties in het absoluut droge gas omgerekend met het watergehalte dat nog na de koeler aanwezig is.

COMPRESSOR KOELER 2 (2-KANAALS)



Figuur 32: Relatieve verliezen aan SO₂ in de koeler i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en het aanzuigdebiet doorheen de koeler



Figuur 33: Absolute verliezen aan SO₂ in de koeler in ppm i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en het aanzuigdebiet doorheen de koeler

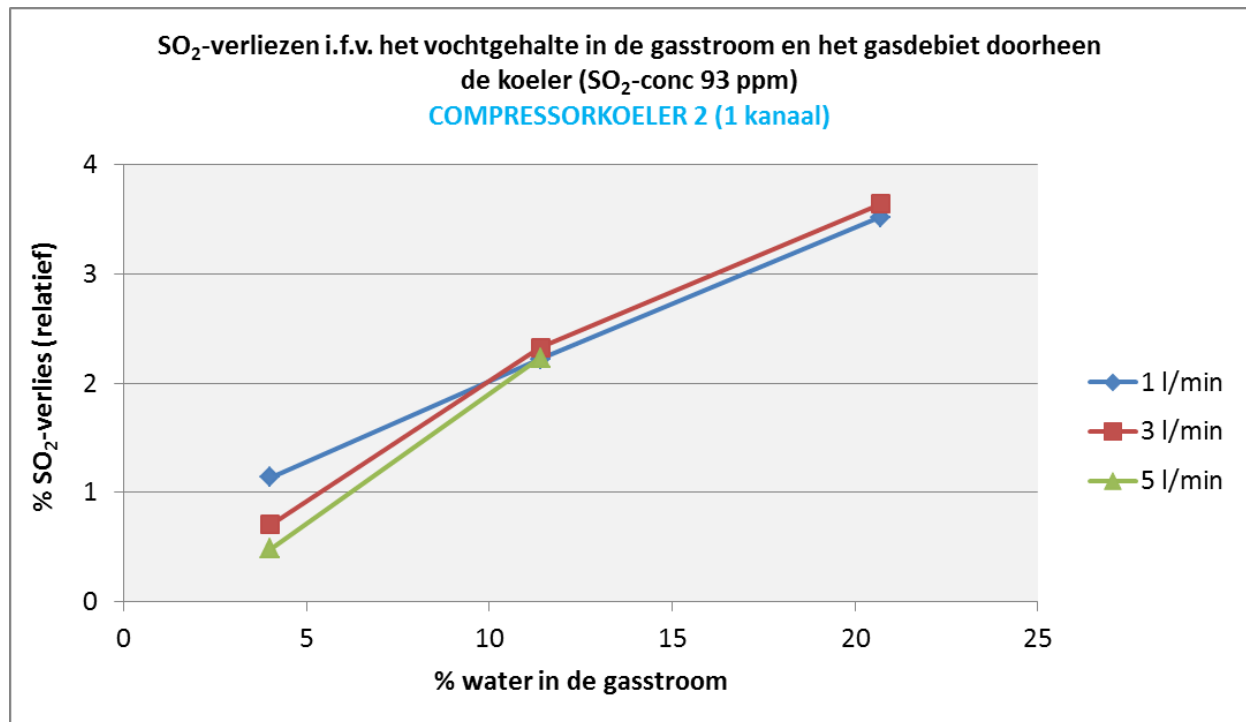
Tabel 30: SO₂-verliezen i.f.v. het watergehalte en debiet voor de compressorkoeler 1 (2-kanaals)

Koeler-debiet l/min	t gas ingang koeler °C	% water	ppm SO ₂ ^(a) referentie	Tijdstip meting	ppm SO ₂ in de natte gasstroom	Vochtgehalte na de koeler ^(b)	ppm SO ₂ in de droge gasstroom ^(c)	Verlies %	Verlies (ppm)
	80	0	92,9	10:55		-	92,9		
1	80	4,0	92,9	11:00	90,8	0,8	91,5	1,5	1,4
3	80	4,0	92,9	11:10	91,2	0,8	91,9	1,0	1,0
5	80	4,0	92,9	11:20	91,3	0,9	92,1	0,8	0,8
	80	0,0	92,9	11:30		-	92,9		
1	80	11,4	92,9	11:40	88,1	0,8	88,8	4,4	4,1
3	80	11,4	92,9	11:50	88,4	0,8	89,1	4,1	3,8
5	80	11,4	92,9	12:00	89,1	1,1	90,1	3,0	2,8
	80	0,0	92,9	12:10		-	92,9		
1	80	20,7	92,9	12:15	84,8	0,8	85,5	8,0	7,4
3	80	20,7	92,9	12:25	85,5	0,9	86,3	7,1	6,6
5	80	20,7	92,9	12:35	86,2	0,9	87,0	6,4	5,9
	80	0,0	92,9	12:45		-	92,9		

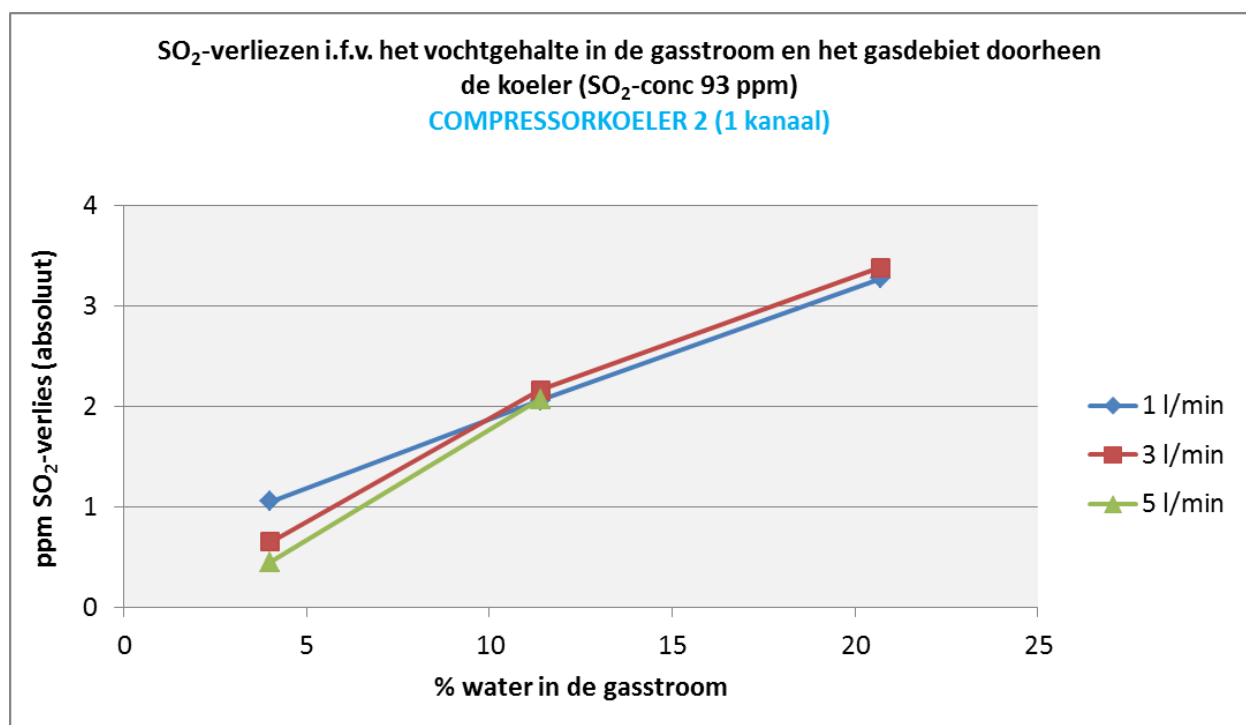
Stikstof: 49,52 Nl/min, MFC SO₂ (10%): 4,60 Nml/min, water 1,66 g/min voor 4,0%, 5,13 g/min voor 11,4 g/min en 10,39 g/min voor 20,7%

- (a) De rechtstreeks met monitor gemeten SO₂ concentratie in de droge gasstroom in de gasverdeelleiding wordt als referentiepunt genomen.
- (b) Het watergehalte in de gasstroom na de koeler wordt berekend aan de hand van de dauwpuntsmeting na de koeler bij de capaciteitstesten
- (c) De met monitoren gemeten concentraties aan de uitgang van de koeler worden naar concentraties in het absoluut droge gas omgerekend met het watergehalte dat nog na de koeler aanwezig is.

COMPRESSORKOELER 2



Figuur 34: Relatieve verliezen aan SO₂ in de koeler i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en het aanzuigdebiet doorheen de koeler



Figuur 35: Absolute verliezen aan SO₂ in de koeler in ppm i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en het aanzuigdebiet doorheen de koeler

Tabel 31: SO₂-verliezen i.f.v. het watergehalte en debiet voor de compressorkoeler 2

Koeler-debiet l/min	t gas ingang koeler °C	% water	ppm SO ₂ ^(a) referentie	Tijdstip meting	ppm SO ₂ in de natte gasstroom	Vochtgehalte na de koeler ^(b)	ppm SO ₂ in de droge gasstroom ^(c)	Verlies %	Verlies (ppm)
	80	0	92,9	9:30		-	92,9		
1	80	4,0	92,9	9:37	91,2	0,7	91,8	1,1	1,1
3	80	4,0	92,9	9:50	91,6	0,7	92,2	0,7	0,7
5	80	4,0	92,9	9:57	91,8	0,7	92,4	0,5	0,5
	80	0,0	92,9	10:04		-	92,9		
1	80	11,4	92,9	10:10	90,2	0,7	90,8	2,2	2,1
3	80	11,4	92,9	10:25	90,1	0,7	90,7	2,3	2,2
5	80	11,4	92,9	10:35	90,1	0,8	90,8	2,2	2,1
	80	0,0	92,9	10:44		-	92,9		
1	80	20,7	92,9	10:55	89,0	0,7	89,6	3,5	3,3
3	80	20,7	92,9	11:05	88,8	0,8	89,5	3,6	3,4
	80	0,0	92,9	11:15		-	92,9		

Stikstof: 49,52 Nl/min, MFC SO₂ (10%): 4,60 Nml/min, water 1,66 g/min voor 4,0%, 5,13 g/min voor 11,4 g/min en 10,39 g/min voor 20,7%

- (a) De rechtstreeks met monitor gemeten SO₂ concentratie in de droge gasstroom in de gasverdeelleiding wordt als referentiepunt genomen.
- (b) Het watergehalte in de gasstroom na de koeler wordt berekend aan de hand van de dauwpuntsmeting na de koeler bij de capaciteitstesten
- (c) De met monitoren gemeten concentraties aan de uitgang van de koeler worden naar concentraties in het absoluut droge gas omgerekend met het watergehalte dat nog na de koeler aanwezig is.

BIJLAGE D: SO₂-VERLIEZEN I.F.V. WATER EN DE SO₂-CONCENTRATIE

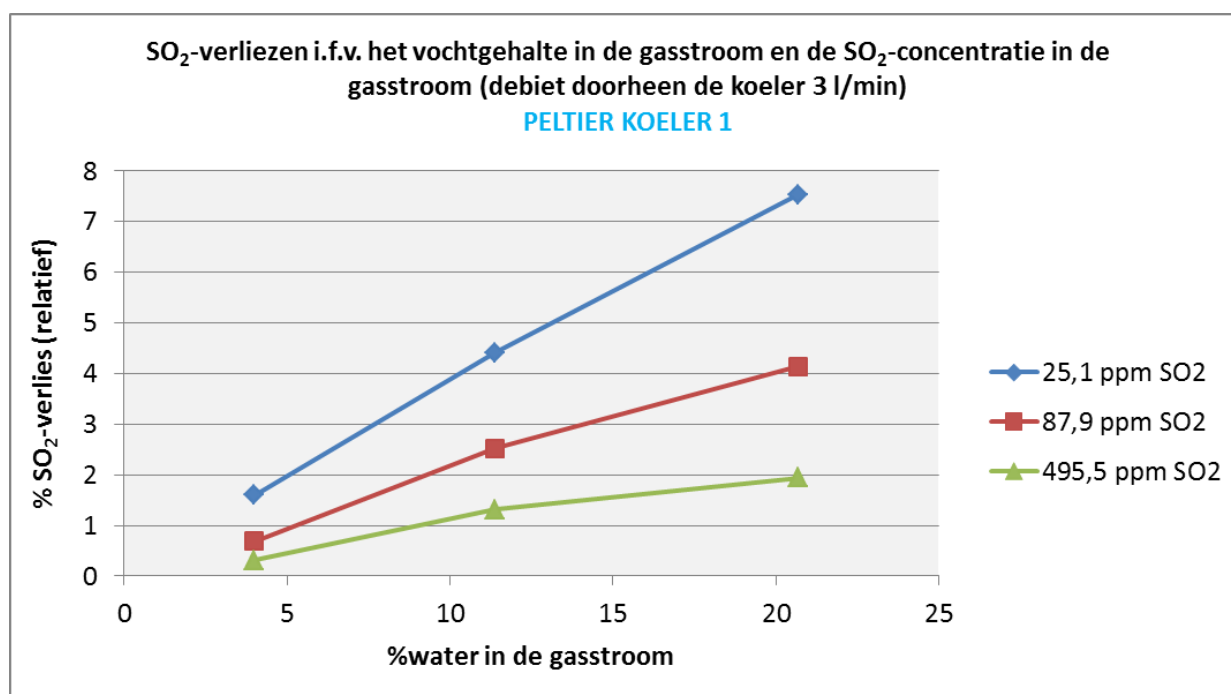
PELTIER KOELER 1 GEÏNTEGREERD IN EEN DRAAGBAAR GASCONDITIONERINGS- EN BEMONSTERINGSSYSTEEM

De relatieve en absolute verliezen aan SO₂ in de koeler in functie van verschillende watergehaltes (≈ 4 , 11 en 20%) en verschillende SO₂-concentraties in de gasstroom (25,1, 87,9 en 496 ppm) zijn resp. weergegeven in Figuur 36 en Figuur 37. De onderliggende gegevens zijn in Tabel 32 opgenomen.

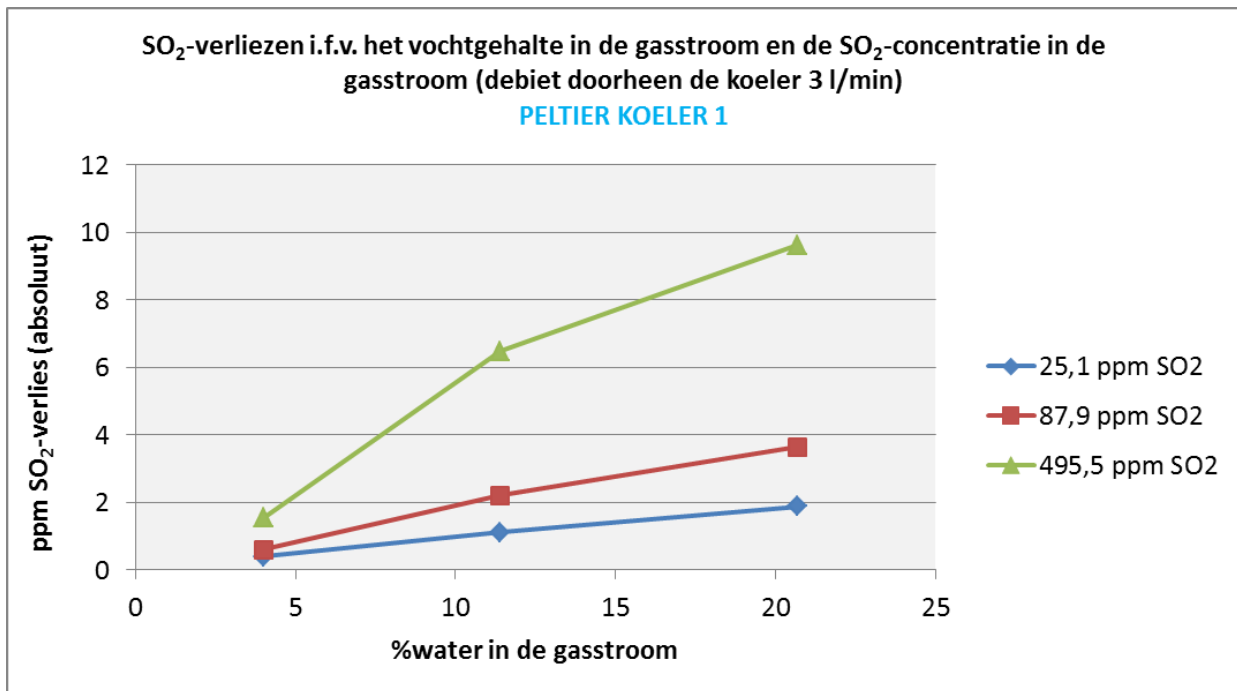
Uit de capaciteitstesten van de koeler (3.1) bleek dat het gemeten dauwpunt na de koeler bij een aanzuigdebiet van 3 l/min beneden de toegelaten bovengrens van 7°C blijft tot 20,7% aangeboden vocht. Bij een debiet van 5 l/min en een watergehalte van de gasstroom van 8% was het dauwpunt na de koeler reeds 7°C. Aangezien het vochtgehalte in de praktijk meestal lager ligt dan 20,7%, wordt ervoor geopteerd om de testen bij verschillende SO₂-concentraties uit te voeren bij een vast debiet doorheen de koeler van 3 l/min.

Uit Figuur 36 en Figuur 37 blijkt dat de absolute verliezen aan SO₂ in de koeler bij eenzelfde watergehalte toenemen bij stijgende concentratie maar dat de relatieve verliezen dalen bij toenemende SO₂-concentratie. De absolute en relatieve verliezen aan SO₂ in de koeler nemen toe bij een stijgend vochtgehalte in de gasstroom.

De SO₂-verliezen in de koeler zijn dus functie van zowel het watergehalte van de gasstroom als de SO₂-concentratie.



Figuur 36: Relatieve verliezen aan SO₂ in de koeler i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en de SO₂-concentratie in de gasstroom



Figuur 37: Absolute verliezen aan SO₂ in de koeler in ppm i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en de SO₂-concentratie in de gasstroom

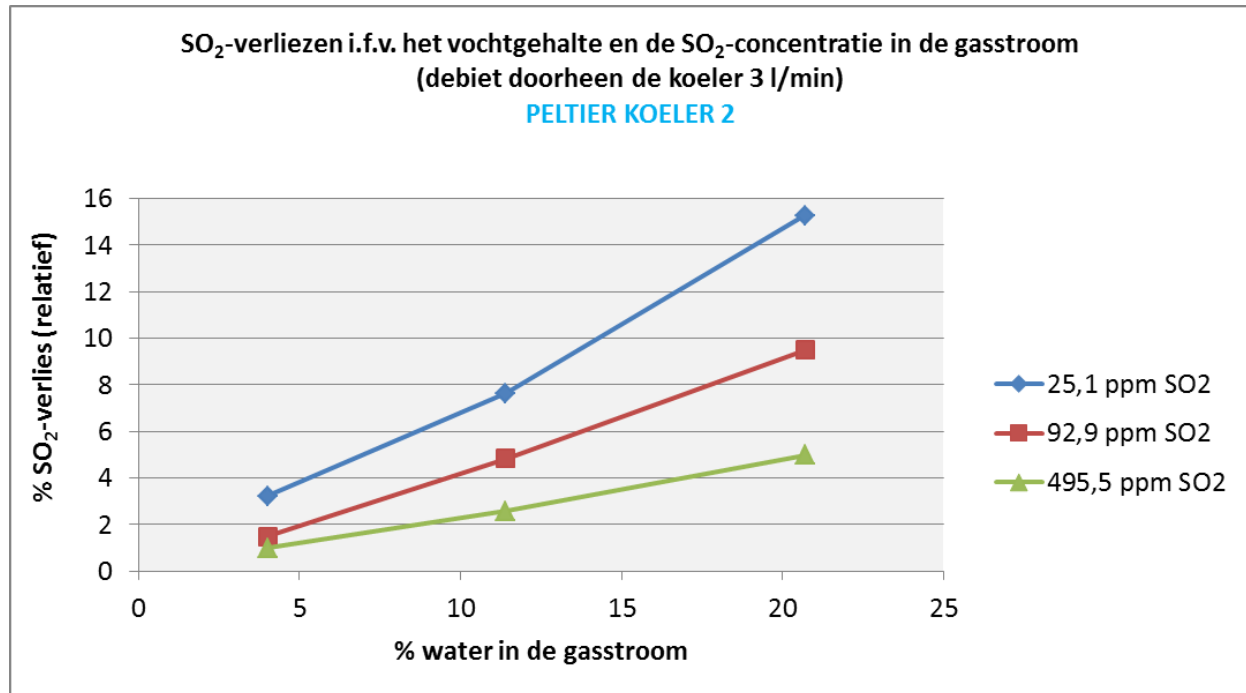
Tabel 32: SO₂-verliezen i.f.v. het watergehalte en de SO₂-concentratie in de gasstroom (testen 16/03/2016)

Koeler-debiet l/min	t gas ingang koeler °C	% water	ppm SO ₂ ^(a) referentie	Tijdstip meting	ppm SO ₂ in de natte gasstroom	Vochtgehalte na de koeler ^(b)	ppm SO ₂ in de droge gasstroom ^(c)	Verlies %	Verlies (ppm)
	80	0	25,1	8:35		-	25,1		
3	80	4,0	25,1	8:51	24,5	0,8	24,7	1,6	0,4
3	80	11,4	25,1	9:08	23,8	0,8	24,0	4,4	1,1
3	80	20,7	25,1	9:21	23,0	0,9	23,2	7,5	1,9
	80	0,0	25,1	9:30		-	25,1		
	80	0,0	87,9	9:36		-	87,9		
3	80	4,0	87,9	9:46	86,6	0,8	87,3	0,7	0,6
3	80	11,4	87,9	10:00	85,0	0,8	85,7	2,5	2,2
3	80	20,7	87,9	10:14	83,5	0,9	84,3	4,1	3,6
	80	0,0	87,9	10:22		-	87,9		
	80	0,0	495,5	10:27		-	495,5		
3	80	4,0	495,5	10:44	490,0	0,8	494,0	0,3	1,5
3	80	11,4	495,5	10:59	485,1	0,8	489,0	1,3	6,5
3	80	20,7	495,5	11:20	481,5	0,9	485,9	1,9	9,6
	80	0,0	495,5	11:20		-	495,5		

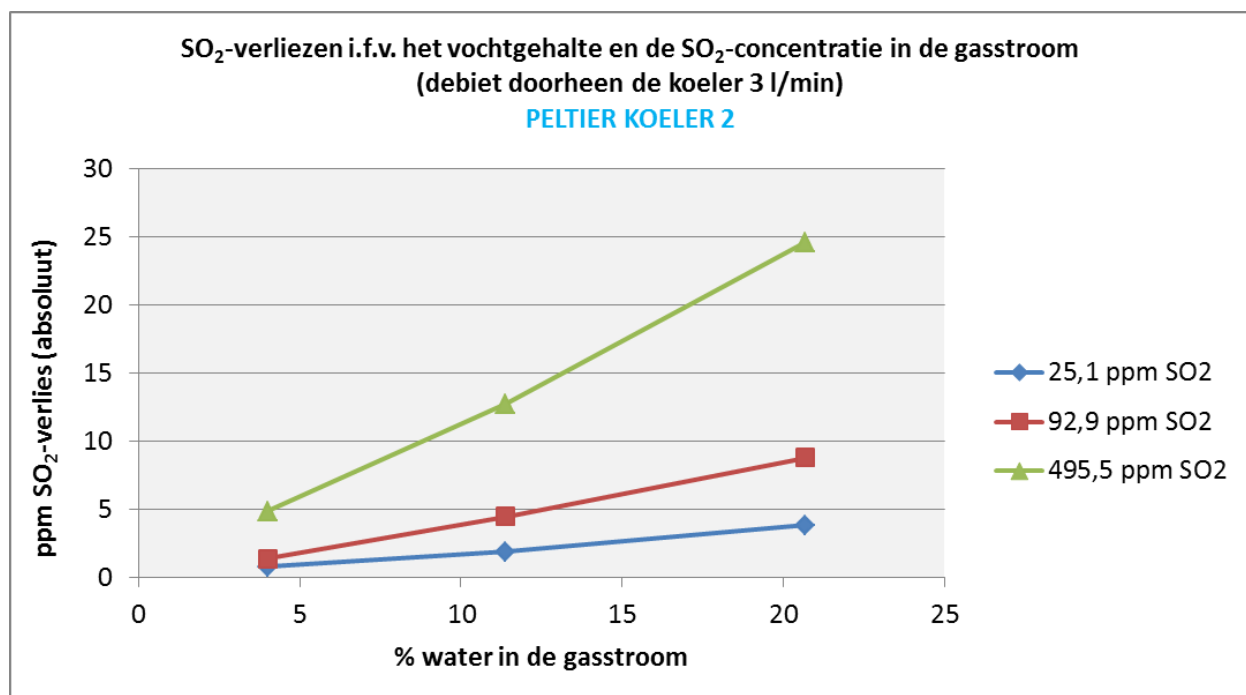
Stikstof: 49,44 Nl/min, MFC SO₂ (2,4, 10, 58%), water 1,66 g/min voor 4,0%, 5,13 g/min voor 11,4% en 10,39 g/min voor 20,7%

- (a) De rechtstreeks met monitor gemeten SO₂ concentratie in de droge gasstroom in de gasverdeelleiding wordt als referentiepunt genomen.
- (b) Het watergehalte in de gasstroom na de koeler wordt berekend aan de hand van de dauwpuntsmeting na de koeler bij de capaciteitstesten (zie 3.1)
- (c) De met monitoren gemeten concentraties aan de uitgang van de koeler worden naar concentraties in het absoluut droge gas omgerekend met het watergehalte dat nog na de koeler aanwezig is.

PELTIER KOELER 2 (1-KANAALS PFA-GECOAT) GEÏNTEGREERD IN EEN DRAAGBAAR GASCONDITIONERINGS- EN BEMONSTERINGSSYSTEEM



Figuur 38: Relatieve verliezen aan SO₂ in de koeler i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en de SO₂-concentratie in de gasstroom



Figuur 39: Absolute verliezen aan SO₂ in de koeler in ppm i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en SO₂-concentratie in de gasstroom

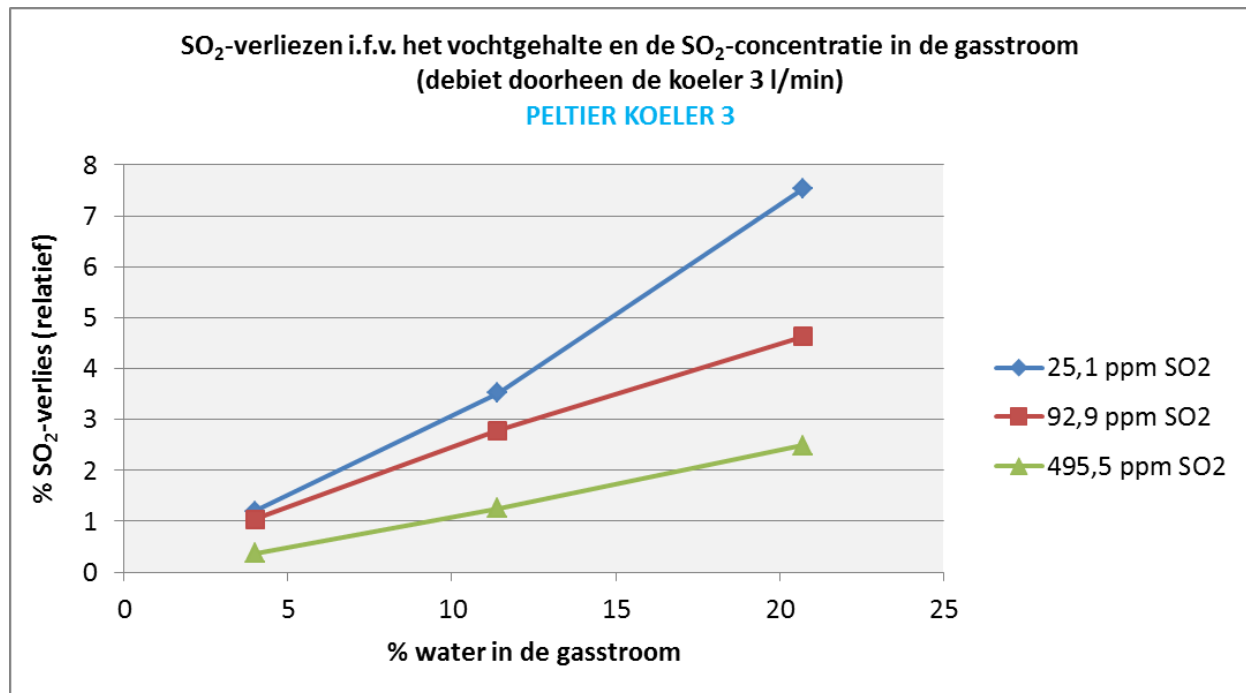
Tabel 33: SO₂-verliezen i.f.v. het watergehalte en de SO₂-concentratie in de gasstroom (testen 15/02/2017)

Koeler-debiet l/min	t gas ingang koeler °C	% water	ppm SO ₂ ^(a) referentie	Tijdstip meting	ppm SO ₂ in de natte gasstroom	Vochtgehalte na de koeler ^(b)	ppm SO ₂ in de droge gasstroom ^(c)	Verlies %	Verlies (ppm)
	80	0	25,1	11:25		-	25,1		
3	80	4,0	25,1	11:35	24,1	0,8	24,3	3,2	0,8
3	80	11,4	25,1	11:43	23,0	0,8	23,2	7,6	1,9
3	80	20,7	25,1	11:53	21,1	0,8	21,3	15,3	3,8
	80	0,0	25,1	12:00		-	25,1		
	80	0,0	92,9	12:15		-	92,9		
3	80	4,0	92,9	12:28	90,8	0,8	91,5	1,5	1,4
3	80	11,4	92,9	12:45	87,7	0,8	88,4	4,8	4,5
3	80	20,7	92,9	12:58	83,4	0,8	84,1	9,5	8,8
	80	0,0	92,9	13:05		-	92,9		
	80	0,0	495,5	13:10		-	495,5		
3	80	4,0	495,5	13:25	486,7	0,8	490,6	1,0	4,9
3	80	11,4	495,5	13:33	478,9	0,8	482,8	2,6	12,7
3	80	20,7	495,5	13:40	467,1	0,8	470,9	5,0	24,6
	80	0,0	495,5	13:50		-	495,5		

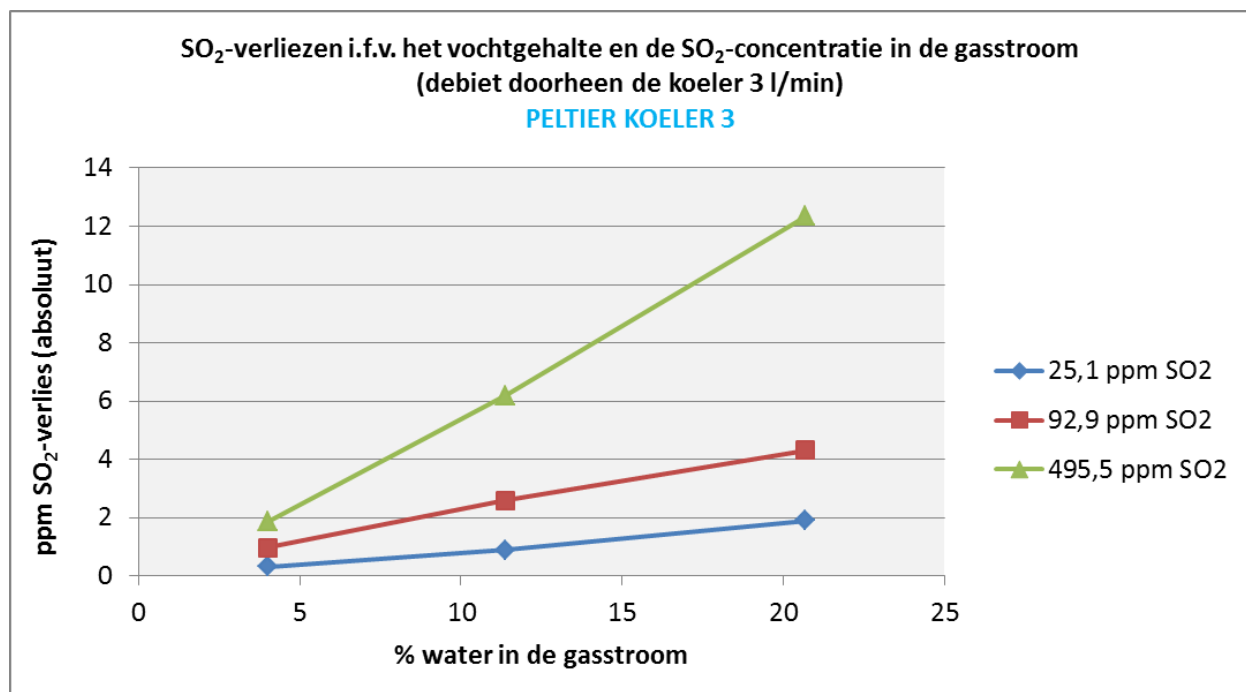
Stikstof: 49,44 Nl/min, MFC SO₂ (2,4, 10, 54,5%), water 1,66 g/min voor 4,0%, 5,13 g/min voor 11,4% en 10,39 g/min voor 20,7%

- (a) De rechtstreeks met monitor gemeten SO₂ concentratie in de droge gasstroom in de gasverdeelleiding wordt als referentiepunt genomen.
- (b) Het watergehalte in de gasstroom na de koeler wordt berekend aan de hand van de dauwpuntsmeting na de koeler bij de capaciteitstesten
- (c) De met monitoren gemeten concentraties aan de uitgang van de koeler worden naar concentraties in het absoluut droge gas omgerekend met het watergehalte dat nog na de koeler aanwezig is.

PELTIER KOELER 3 (1-KANAALS)



Figuur 40: Relatieve verliezen aan SO₂ in de koeler i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en de SO₂-concentratie in de gasstroom



Figuur 41: Absolute verliezen aan SO₂ in de koeler in ppm i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en de SO₂-concentratie in de gasstroom

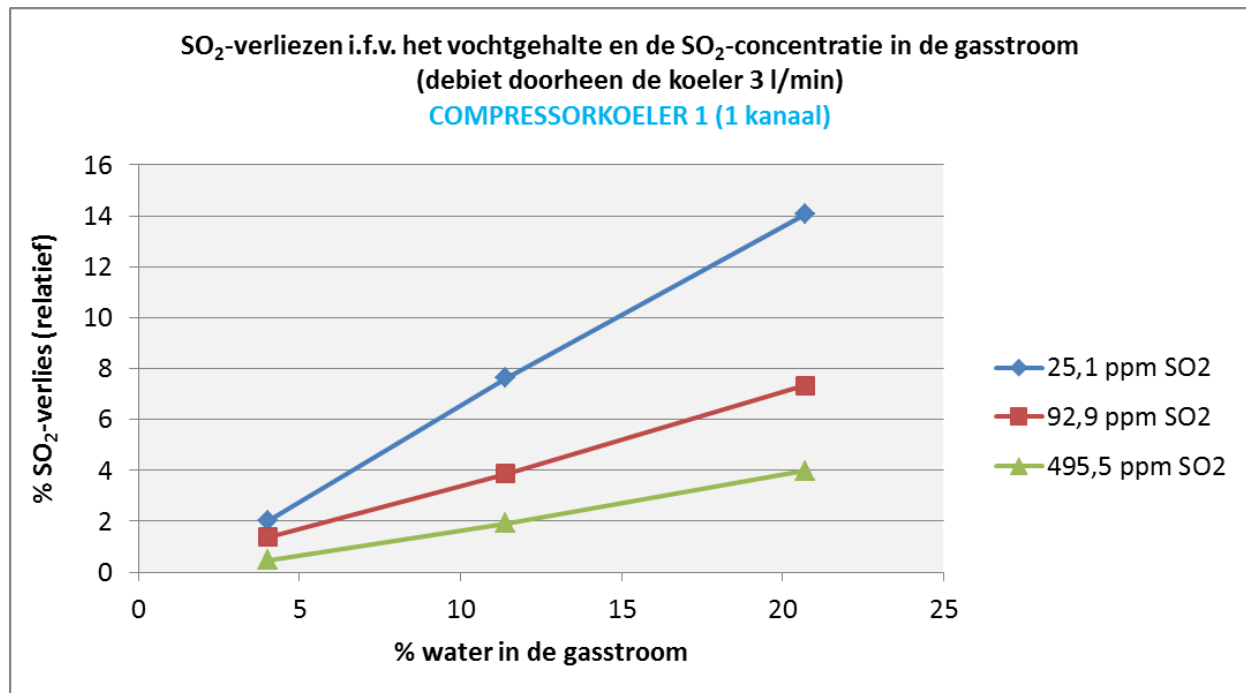
Tabel 34: SO₂-verliezen i.f.v. het watergehalte en de SO₂-concentratie in de gasstroom (testen 15/03/2017)

Koeler-debiet l/min	t gas ingang koeler °C	% water	ppm SO ₂ ^(a) referentie	Tijdstip meting	ppm SO ₂ in de natte gasstroom	Vochtgehalte na de koeler ^(b)	ppm SO ₂ in de droge gasstroom ^(c)	Verlies %	Verlies (ppm)
	80	0	25,1	10:00		-	25,1		
3	80	4,0	25,1	10:20	24,6	0,8	24,8	1,2	0,3
3	80	11,4	25,1	10:30	24,0	0,9	24,2	3,5	0,9
3	80	20,7	25,1	10:35	23,0	0,9	23,2	7,5	1,9
	80	0,0	25,1	10:40		-	25,1		
	80	0,0	92,9	10:45		-	92,9		
3	80	4,0	92,9	10:55	91,2	0,8	91,9	1,0	1,0
3	80	11,4	92,9	11:00	89,5	0,9	90,3	2,8	2,6
3	80	20,7	92,9	11:09	87,8	0,9	88,6	4,6	4,3
	80	0,0	92,9	11:15		-	92,9		
	80	0,0	495,5	11:24		-	495,5		
3	80	4,0	495,5	11:35	489,7	0,8	493,6	0,4	1,9
3	80	11,4	495,5	11:40	484,9	0,9	489,3	1,3	6,2
3	80	20,7	495,5	11:48	478,8	0,9	483,1	2,5	12,4
	80	0,0	495,5	11:57		-	495,5		

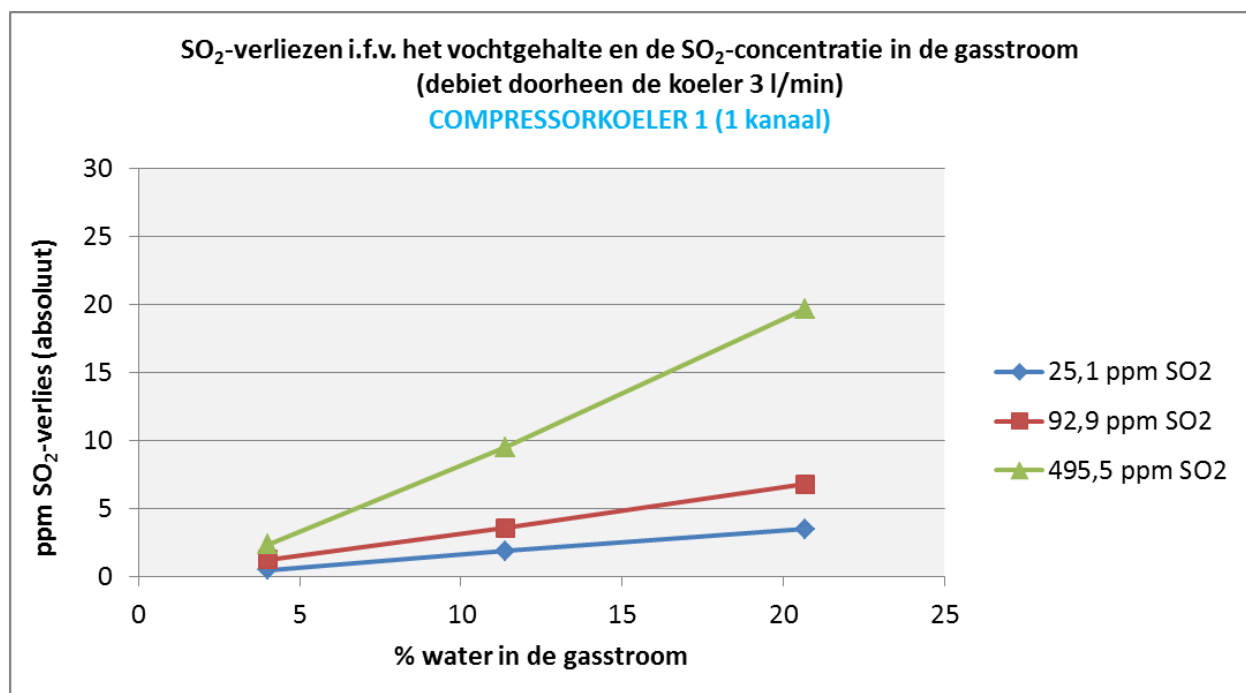
Stikstof: 49,44 Nl/min, MFC SO₂ (2,4, 10, 54,5%), water 1,66 g/min voor 4,0%, 5,13 g/min voor 11,4% en 10,39 g/min voor 20,7%

- (a) De rechtstreeks met monitor gemeten SO₂ concentratie in de droge gasstroom in de gasverdeelleiding wordt als referentiepunt genomen.
- (b) Het watergehalte in de gasstroom na de koeler wordt berekend aan de hand van de dauwpuntsmeting na de koeler bij de capaciteitstesten
- (c) De met monitoren gemeten concentraties aan de uitgang van de koeler worden naar concentraties in het absoluut droge gas omgerekend met het watergehalte dat nog na de koeler aanwezig is.

COMPRESSOR KOELER 1 (1-KANAALS)



Figuur 42: Relatieve verliezen aan SO₂ in de koeler i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en de SO₂-concentratie in de gasstroom



Figuur 43: Absolute verliezen aan SO₂ in de koeler in ppm i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en de SO₂-concentratie in de gasstroom

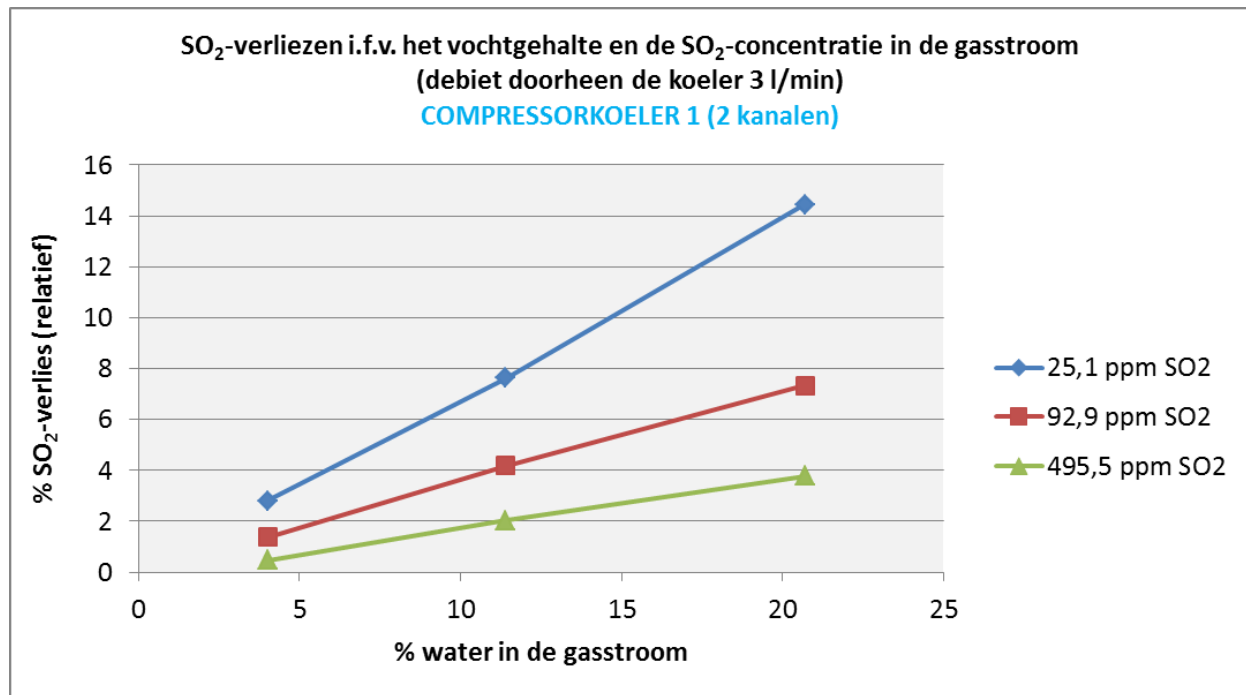
Tabel 35: SO₂-verliezen i.f.v. het watergehalte en de SO₂-concentratie in de gasstroom (testen 14/02/2017)

Koeler-debiet l/min	t gas ingang koeler °C	% water	ppm SO ₂ ^(a) referentie	Tijdstip meting	ppm SO ₂ in de natte gasstroom	Vochtgehalte na de koeler ^(b)	ppm SO ₂ in de droge gasstroom ^(c)	Verlies %	Verlies (ppm)
	80	0	25,1	8:25		-	25,1		
3	80	4,0	25,1	8:30	24,4	0,8	24,6	2,0	0,5
3	80	11,4	25,1	8:40	23,0	0,8	23,2	7,6	1,9
3	80	20,7	25,1	8:50	21,4	0,8	21,6	14,1	3,5
	80	0,0	25,1	9:00		-	25,1		
	80	0,0	92,9	9:07		-	92,9		
3	80	4,0	92,9	9:15	90,9	0,8	91,6	1,4	1,3
3	80	11,4	92,9	9:25	88,6	0,8	89,3	3,9	3,6
3	80	20,7	92,9	9:35	85,4	0,8	86,1	7,3	6,8
	80	0,0	92,9	9:45		-	92,9		
	80	0,0	495,5	9:55		-	495,5		
3	80	4,0	495,5	10:05	489,2	0,8	493,1	0,5	2,4
3	80	11,4	495,5	10:15	482,1	0,8	486,0	1,9	9,5
3	80	20,7	495,5	10:25	472,0	0,8	475,8	4,0	19,7
	80	0,0	495,5	10:35		-	495,5		

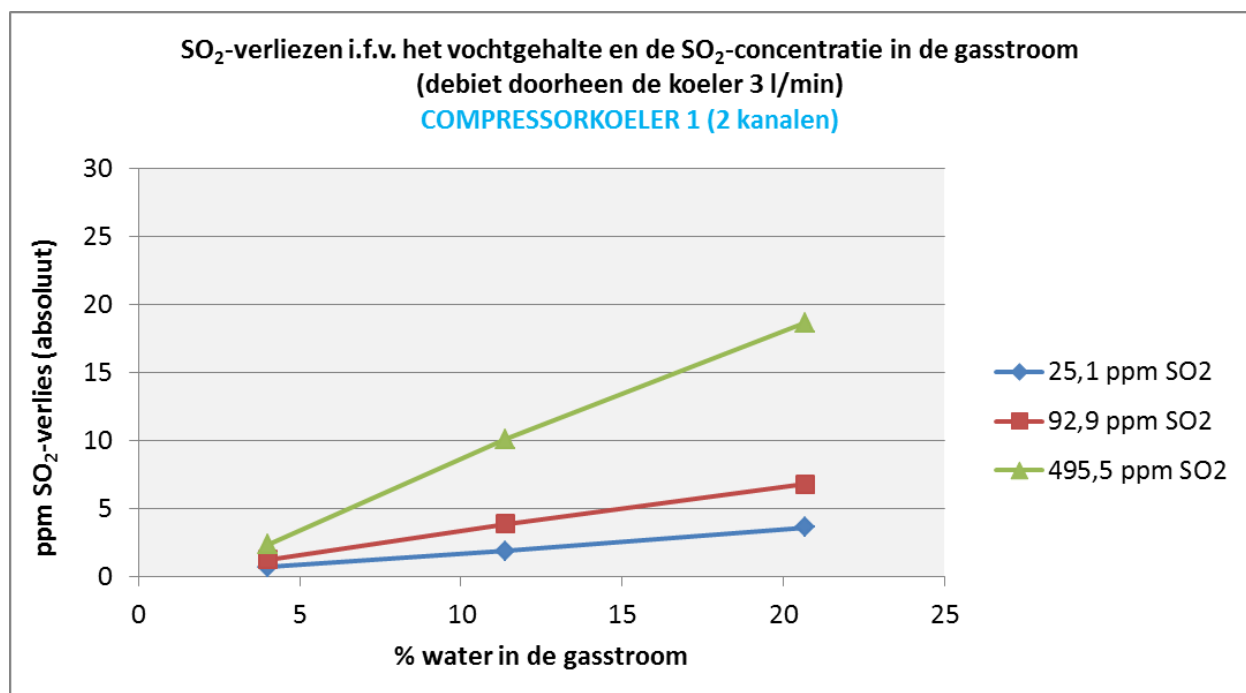
Stikstof: 49,44 Nl/min, MFC SO₂ (2,4, 10, 54,5%), water 1,66 g/min voor 4,0%, 5,13 g/min voor 11,4% en 10,39 g/min voor 20,7%

- (a) De rechtstreeks met monitor gemeten SO₂ concentratie in de droge gasstroom in de gasverdeelleiding wordt als referentiepunt genomen.
- (b) Het watergehalte in de gasstroom na de koeler wordt berekend aan de hand van de dauwpuntsmeting na de koeler bij de capaciteitstesten
- (c) De met monitoren gemeten concentraties aan de uitgang van de koeler worden naar concentraties in het absoluut droge gas omgerekend met het watergehalte dat nog na de koeler aanwezig is.

COMPRESSOR KOELER 1 (2-KANAALS)



Figuur 44: Relatieve verliezen aan SO₂ in de koeler i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en de SO₂-concentratie in de gasstroom



Figuur 45: Absolute verliezen aan SO₂ in de koeler in ppm i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en de SO₂-concentratie in de gasstroom

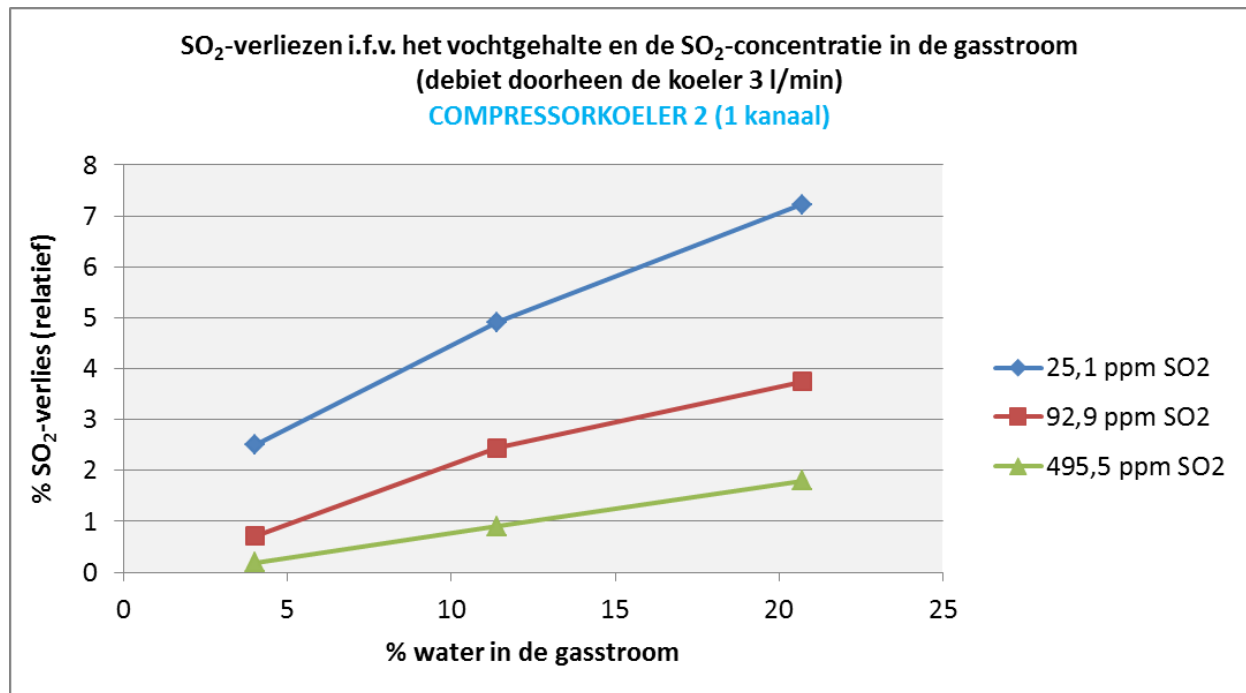
Tabel 36: SO₂-verliezen i.f.v. het watergehalte en de SO₂-concentratie in de gasstroom (testen 15/02/2017)

Koeler-debiet l/min	t gas ingang koeler °C	% water	ppm SO ₂ ^(a) referentie	Tijdstip meting	ppm SO ₂ in de natte gasstroom	Vochtgehalte na de koeler ^(b)	ppm SO ₂ in de droge gasstroom ^(c)	Verlies %	Verlies (ppm)
	80	0	25,1	8:35		-	25,1		
3	80	4,0	25,1	8:45	24,2	0,8	24,4	2,8	0,7
3	80	11,4	25,1	8:55	23,0	0,8	23,2	7,6	1,9
3	80	20,7	25,1	9:05	21,3	0,8	21,5	14,5	3,6
	80	0,0	25,1	9:20		-	25,1		
	80	0,0	92,9	9:30		-	92,9		
3	80	4,0	92,9	9:37	90,9	0,8	91,6	1,4	1,3
3	80	11,4	92,9	9:45	88,3	0,8	89,0	4,2	3,9
3	80	20,7	92,9	9:55	85,4	0,8	86,1	7,3	6,8
	80	0,0	92,9	10:05		-	92,9		
	80	0,0	495,5	10:13		-	495,5		
3	80	4,0	495,5	10:29	489,2	0,8	493,1	0,5	2,4
3	80	11,4	495,5	10:40	481,5	0,8	485,4	2,0	10,1
3	80	20,7	495,5	10:50	473,0	0,8	476,8	3,8	18,7
	80	0,0	495,5	11:00		-	495,5		

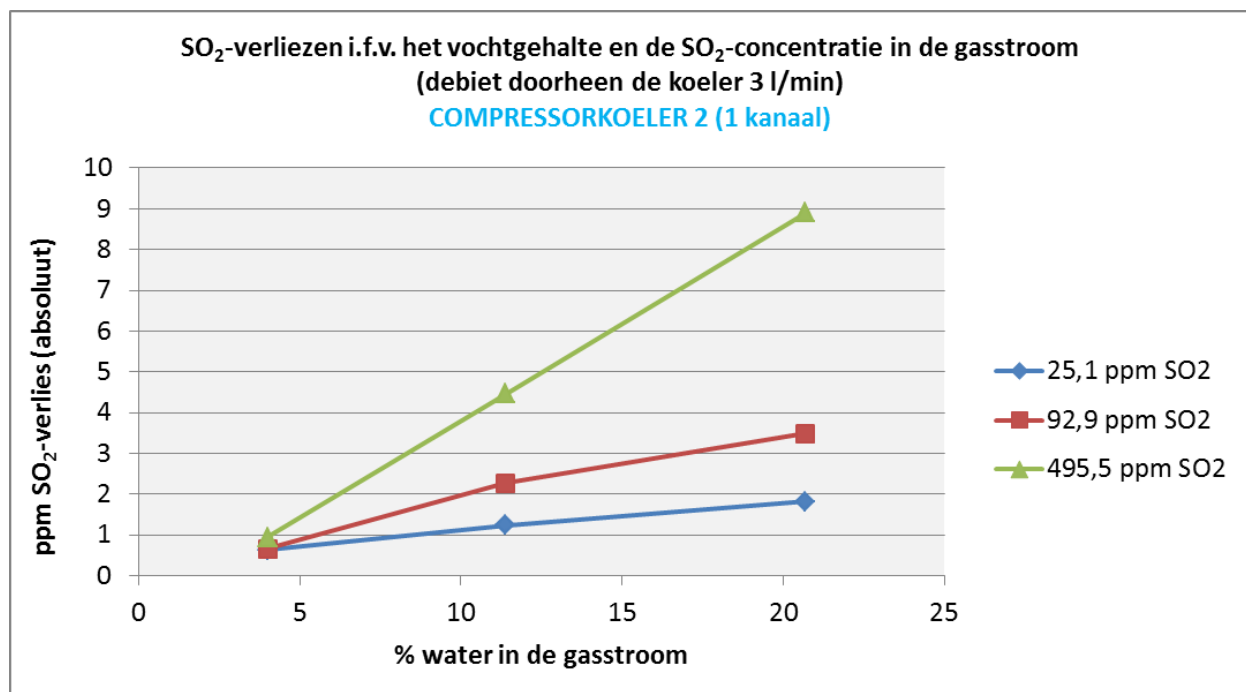
Stikstof: 49,44 NI/min, MFC SO₂ (2,4, 10, 54,5%), water 1,66 g/min voor 4,0%, 5,13 g/min voor 11,4% en 10,39 g/min voor 20,7%

- (a) De rechtstreeks met monitor gemeten SO₂ concentratie in de droge gasstroom in de gasverdeelleiding wordt als referentiepunt genomen.
- (b) Het watergehalte in de gasstroom na de koeler wordt berekend aan de hand van de dauwpuntsmeting na de koeler bij de capaciteitstesten
- (c) De met monitoren gemeten concentraties aan de uitgang van de koeler worden naar concentraties in het absoluut droge gas omgerekend met het watergehalte dat nog na de koeler aanwezig is.

COMPRESSORKOELER 2



Figuur 46: Relatieve verliezen aan SO₂ in de koeler i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en de SO₂-concentratie in de gasstroom



Figuur 47: Absolute verliezen aan SO₂ in de koeler in ppm i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en de SO₂-concentratie in de gasstroom

Tabel 37: SO₂-verliezen i.f.v. het watergehalte en de SO₂-concentratie in de gasstroom (testen 22/03/2017)

Koeler-debiet l/min	t gas ingang koeler °C	% water	ppm SO ₂ ^(a) referentie	Tijdstip meting	ppm SO ₂ in de natte gasstroom	Vochtgehalte na de koeler (b)	ppm SO ₂ in de droge gasstroom ^(c)	Verlies %	Verlies (ppm)
	80	0,0	25,1	9:40		-	25,1		
3	80	4,0	25,1	9:50	24,3	0,7	24,5	2,5	0,6
3	80	11,4	25,1	10:00	23,7	0,7	23,9	4,9	1,2
3	80	20,7	25,1	10:07	23,1	0,8	23,3	7,2	1,8
	80	0,0	25,1	10:15		-	25,1		
	80	0,0	92,9	10:22		-	92,9		
3	80	4,0	92,9	10:30	91,6	0,7	92,2	0,7	0,7
3	80	11,4	92,9	10:37	90,0	0,7	90,6	2,4	2,3
3	80	20,7	92,9	10:47	88,7	0,8	89,4	3,8	3,5
	80	0,0	92,9	10:55		-	92,9		
	80	0,0	495,5	11:03		-	495,5		
3	80	4,0	495,5	11:13	491,1	0,7	494,6	0,2	0,9
3	80	11,4	495,5	11:23	487,6	0,7	491,0	0,9	4,5
3	80	20,7	495,5	11:30	482,7	0,8	486,6	1,8	8,9
	80	0,0	495,5	11:42		-	495,5		

Stikstof: 49,44 NI/min, MFC SO₂ (2,4, 10, 54,5%), water 1,66 g/min voor 4,0%, 5,13 g/min voor 11,4% en 10,39 g/min voor 20,7%

- (a) De rechtstreeks met monitor gemeten SO₂ concentratie in de droge gasstroom in de gasverdeelleiding wordt als referentiepunt genomen.
- (b) Het watergehalte in de gasstroom na de koeler wordt berekend aan de hand van de dauwpuntsmeting na de koeler bij de capaciteitstesten
- (c) De met monitoren gemeten concentraties aan de uitgang van de koeler worden naar concentraties in het absoluut droge gas omgerekend met het watergehalte dat nog na de koeler aanwezig is.

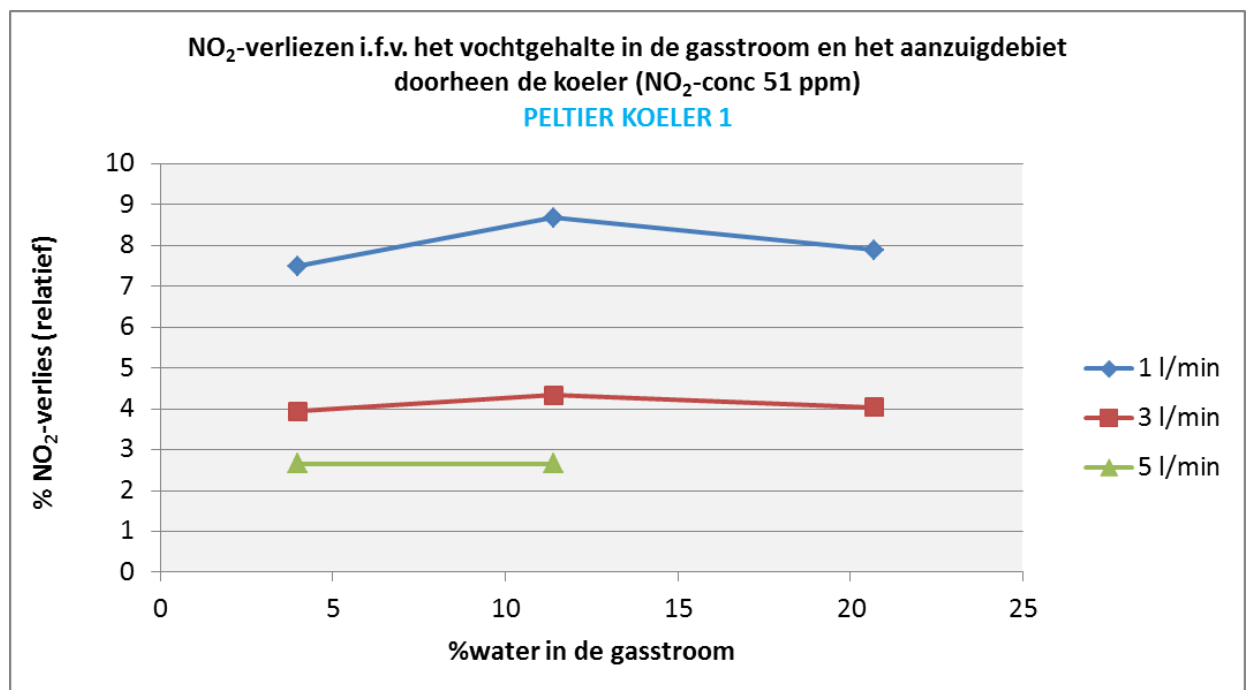
BIJLAGE E: NO₂-VERLIEZEN I.F.V. WATER EN DEBIET

PELTIER KOELER 1 GEÏNTEGREERD IN EEN DRAAGBAAR GASCONDITIONERINGS- EN BEMONSTERINGSSYSTEEM

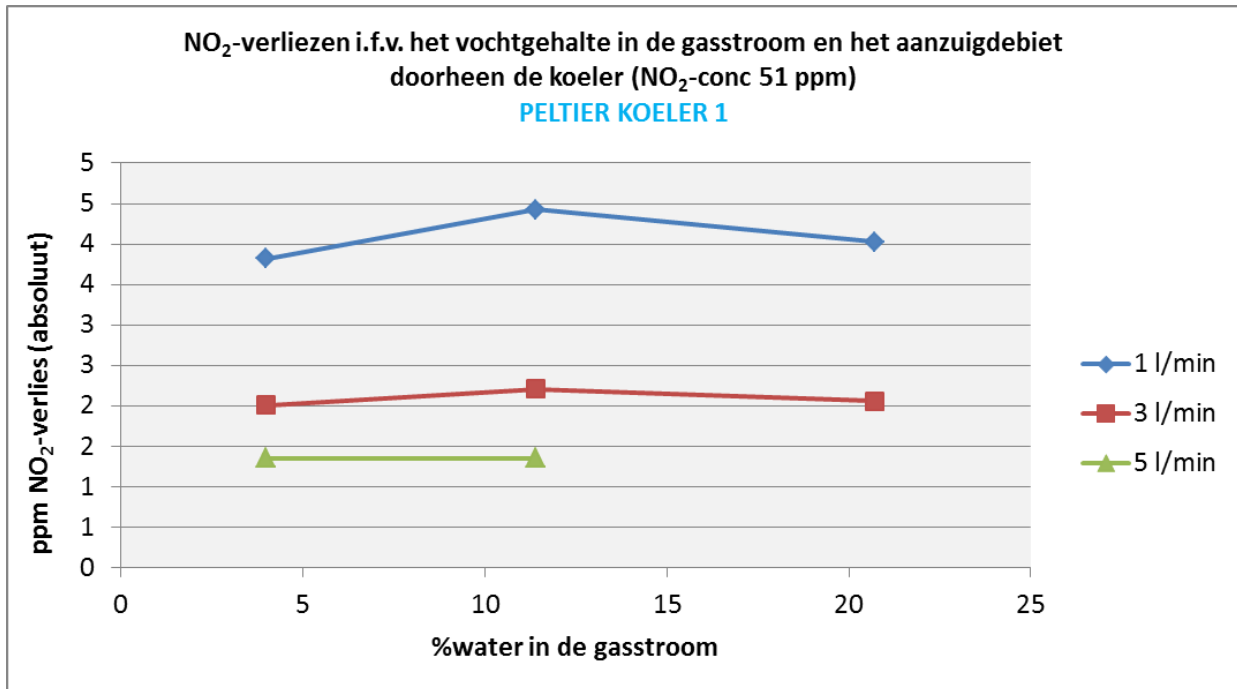
Bij een NO₂-concentratie van 51 ppm in de gasstroom werd nagegaan hoe groot het verlies aan NO₂ in de koeler in functie van verschillende watergehaltes (≈ 4 , 11 en 20%) en aanzuigdebieten (resp. 1, 3 en 5 l/min) is. De relatieve verliezen zijn weergegeven in Figuur 48, de absolute NO₂-verliezen (in ppm) in Figuur 49. De onderliggende data zijn opgenomen in Tabel 38.

Uit deze figuren blijkt dat de absolute en relatieve verliezen aan NO₂ in de koeler groter zijn naarmate het debiet doorheen de koeler lager is. Dit kan verklaard worden door de langere contacttijd tussen het gas en condensaat in de koeler bij lagere aanzuigdebieten.

De absolute en relatieve verliezen aan NO₂ in de koeler zijn echter onafhankelijk van het watergehalte in de gasstroom.



Figuur 48: Relatieve verliezen aan NO₂ in de koeler i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en het aanzuigdebiet doorheen de koeler



Figuur 49: Absolute verliezen aan NO₂ in de koeler in ppm i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en het aanzuigdebiet doorheen de koeler

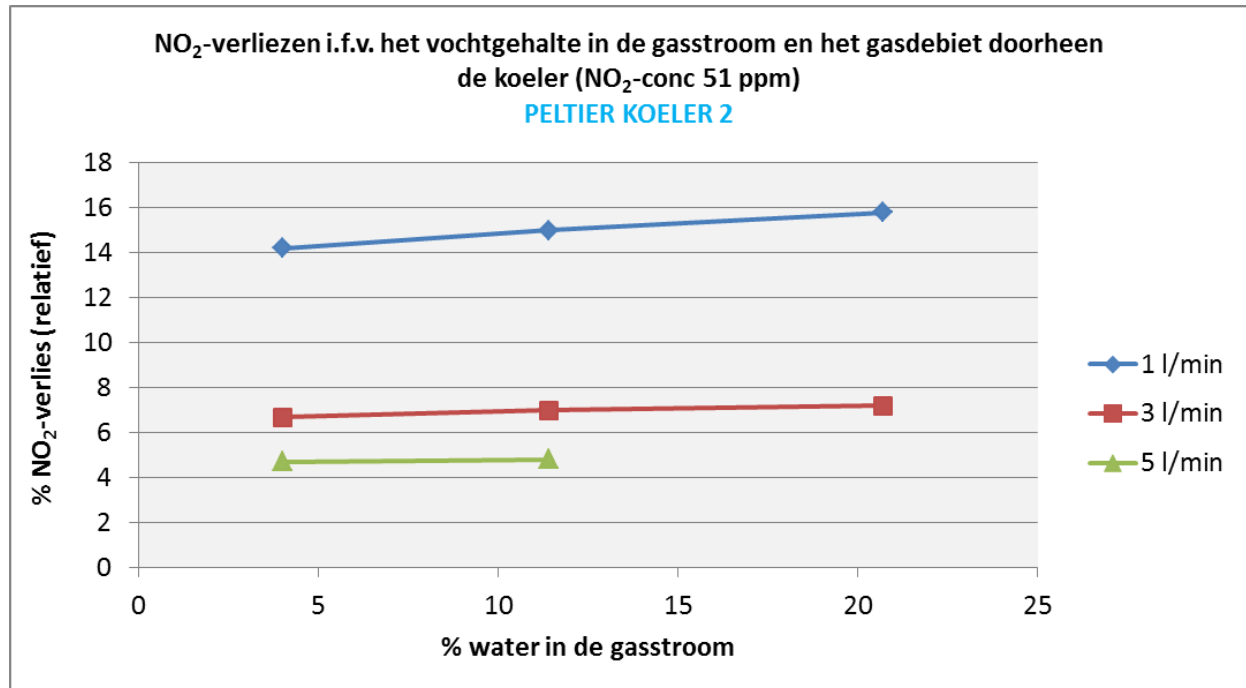
Tabel 38: NO₂-verliezen i.f.v. het watergehalte en debiet (testen 17/03/2016)

Koeler-debiet l/min	t gas ingang koeler °C	% water	ppm NO ₂ ^(a) referentie	Tijdstip meting	ppm NO ₂ in de natte gasstroom	Vochtgehalte na de koeler ^(b)	ppm NO ₂ in de droge gasstroom ^(c)	Verlies %	Verlies (ppm)
	80	0	51,0	10:50		-	51,0		
1	80	4,0	51,0	11:16	46,8	0,8	47,2	7,5	3,8
3	80	4,0	51,0	11:59	48,6	0,8	49,0	3,9	2,0
5	80	4,0	51,0	12:05	49,2	0,9	49,6	2,7	1,4
	80	0,0	51,0	12:13		-	51,0		
1	80	11,4	51,0	12:24	46,2	0,8	46,6	8,7	4,4
3	80	11,4	51,0	12:57	48,4	0,8	48,8	4,3	2,2
5	80	11,4	51,0	13:03	49,1	1,1	49,6	2,7	1,4
	80	0,0	51,0	13:11		-	51,0		
1	80	20,7	51,0	13:15	46,6	0,8	47,0	7,9	4,0
3	80	20,7	51,0	13:32	48,5	0,9	48,9	4,0	2,1
	80	0,0	51,0	13:42		-	51,0		

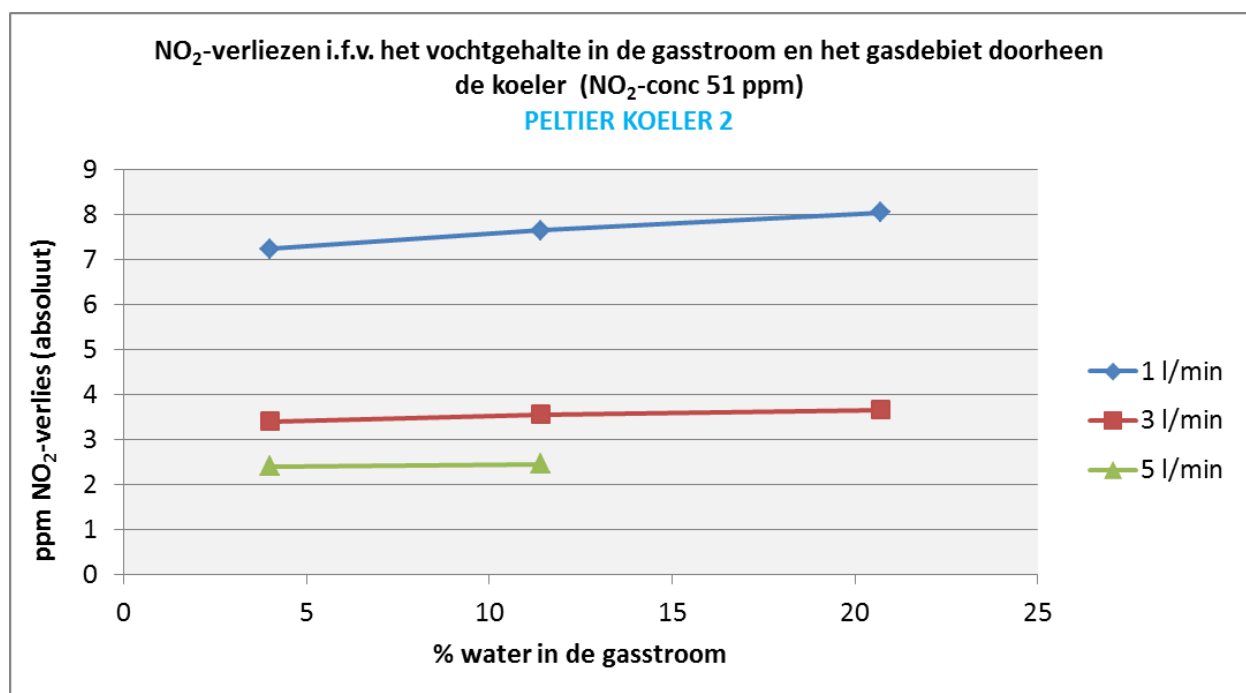
Stikstof: 49,44 NI/min, MFC NO₂:22%, water 1,66 g/min voor 4,0%, 5,13 g/min voor 11,4% en 10,39 g/min voor 20,7%

- (a) De rechtstreeks met monitor gemeten NO₂ concentratie in de droge gasstroom in de gasverdeelleiding wordt als referentiepunt genomen.
- (b) Het watergehalte in de gasstroom na de koeler wordt berekend aan de hand van de dauwpuntsmeting na de koeler bij de capaciteitstesten (zie 3.1)
- (c) De met monitoren gemeten concentraties aan de uitgang van de koeler worden naar concentraties in het absoluut droge gas omgerekend met het watergehalte dat nog na de koeler aanwezig is.

PELTIER KOELER 2 (1-KANAALS PFA-GECOAT) GEÏNTEGREERD IN EEN DRAAGBAAR GASCONDITIONERINGS- EN BEMONSTERINGSSYSTEEM



Figuur 50: Relatieve verliezen aan NO₂ in de koeler i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en het aanzuigdebiet doorheen de koeler



Figuur 51: Absolute verliezen aan NO₂ in de koeler in ppm i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en het aanzuigdebiet doorheen de koeler

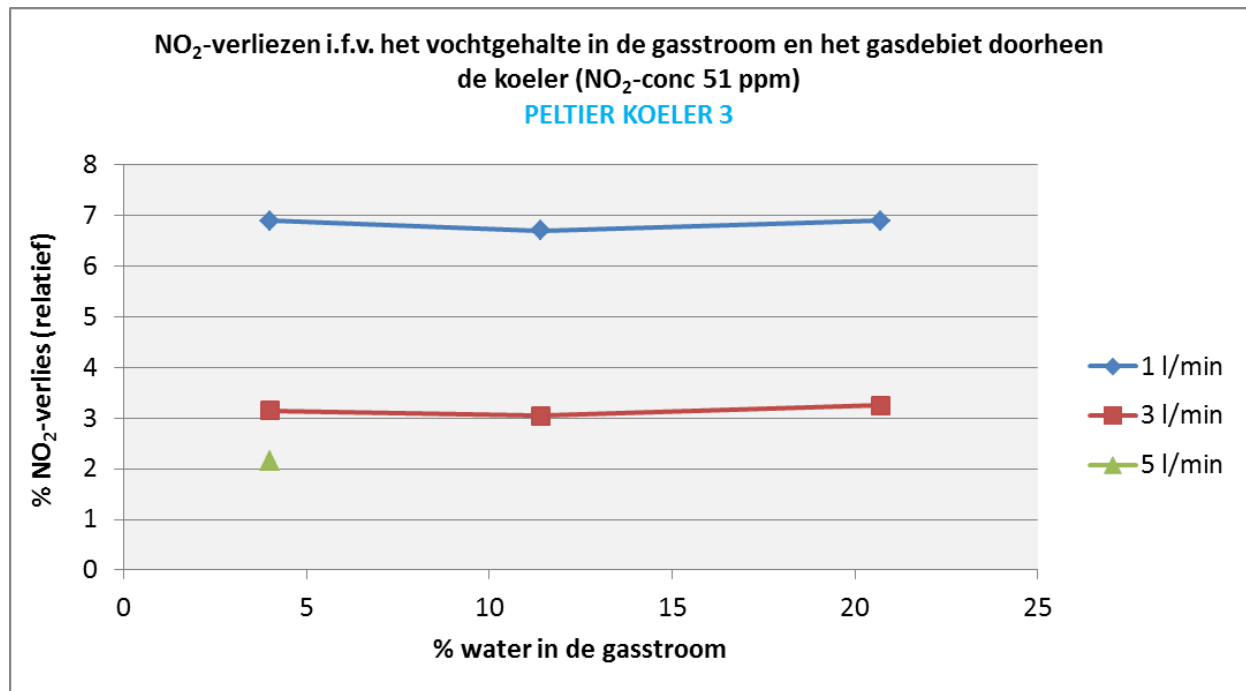
Tabel 39: NO₂-verliezen i.f.v. het watergehalte en debiet (testen 16/02/2017)

Koeler-debiet l/min	t gas ingang koeler °C	% water	ppm NO ₂ ^(a) referentie	Tijdstip meting	ppm NO ₂ in de natte gasstroom	Vochtgehalte na de koeler ^(b)	ppm NO ₂ in de droge gasstroom ^(c)	Verlies %	Verlies (ppm)
	80	0	51,0	11:28		-	51,0		
1	80	4,0	51,0	11:35	43,4	0,8	43,8	14,2	7,3
3	80	4,0	51,0	11:40	47,2	0,8	47,6	6,7	3,4
5	80	4,0	51,0	11:45	48,2	0,8	48,6	4,7	2,4
	80	0,0	51,0	11:50		-	51,0		
1	80	11,4	51,0	11:55	43,0	0,8	43,3	15,0	7,7
3	80	11,4	51,0	12:00	47,0	0,9	47,4	7,0	3,6
5	80	11,4	51,0	12:05	48,1	0,9	48,5	4,8	2,5
	80	0,0	51,0	12:10		-	51,0		
1	80	20,7	51,0	12:15	42,6	0,8	42,9	15,8	8,1
3	80	20,7	51,0	12:22	46,9	0,9	47,3	7,2	3,7
	80	0,0	51,0	12:27		-	51,0		

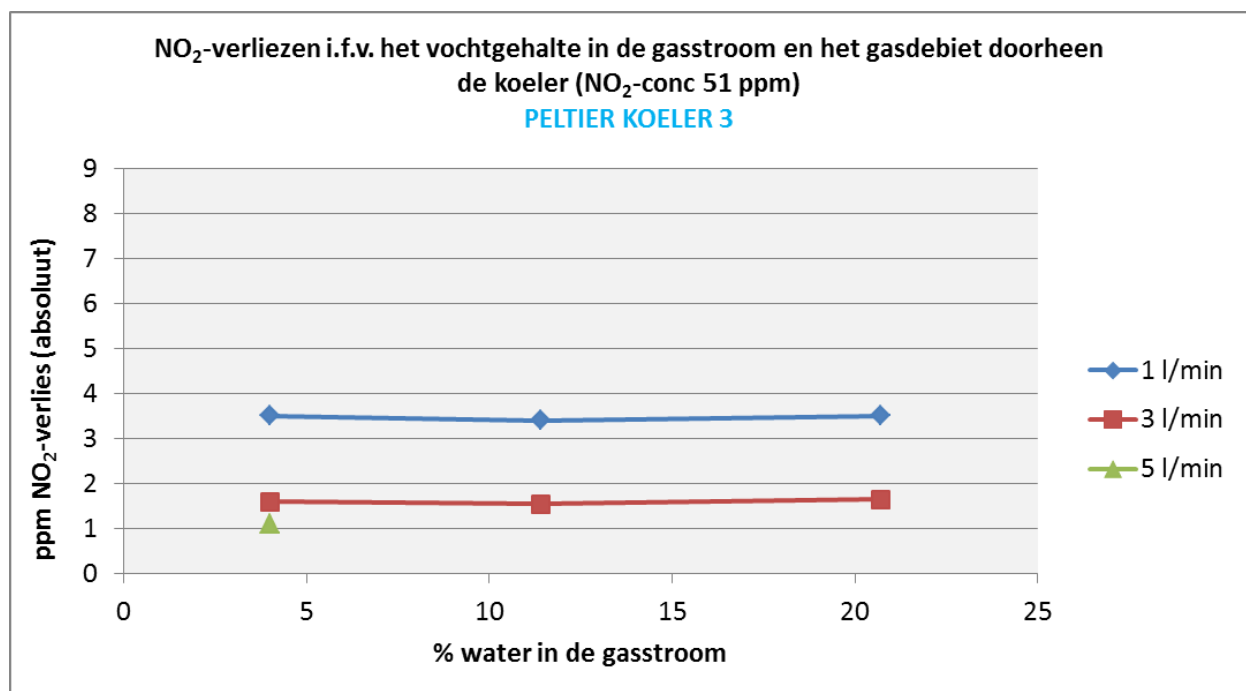
Stikstof: 49,44 NI/min, MFC NO₂:37%, water 1,66 g/min voor 4,0%, 5,13 g/min voor 11,4% en 10,39 g/min voor 20,7%

- (a) De rechtstreeks met monitor gemeten NO₂ concentratie in de droge gasstroom in de gasverdeelleiding wordt als referentiepunt genomen.
- (b) Het watergehalte in de gasstroom na de koeler wordt berekend aan de hand van de dauwpuntsmeting na de koeler bij de capaciteitstesten (zie 3.1)
- (c) De met monitoren gemeten concentraties aan de uitgang van de koeler worden naar concentraties in het absoluut droge gas omgerekend met het watergehalte dat nog na de koeler aanwezig is.

PELTIERKOELER 3 (1-KANAALS)



Figuur 52: Relatieve verliezen aan NO₂ in de koeler i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en het aanzuigdebiet doorheen de koeler



Figuur 53: Absolute verliezen aan NO₂ in de koeler in ppm i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en het aanzuigdebiet doorheen de koeler

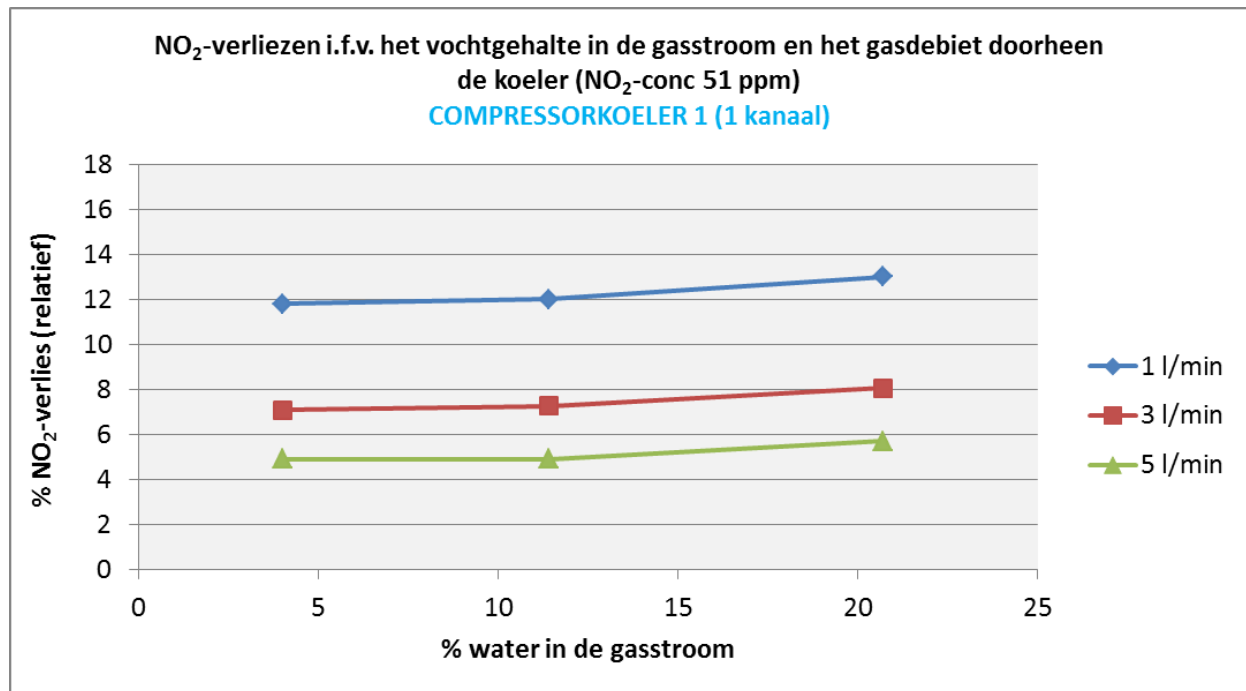
Tabel 40: NO₂-verliezen i.f.v. het watergehalte en debiet (testen 15/03/2017)

Koeler-debiet l/min	t gas ingang koeler °C	% water	ppm NO ₂ ^(a) referentie	Tijdstip meting	ppm NO ₂ in de natte gasstroom	Vochtgehalte na de koeler ^(b)	ppm NO ₂ in de droge gasstroom ^(c)	Verlies %	Verlies (ppm)
	80	0	51,0	14:08		-	51,0		
1	80	4,0	51,0	14:15	47,1	0,8	47,5	6,9	3,5
3	80	4,0	51,0	14:20	49,0	0,8	49,4	3,1	1,6
5	80	4,0	51,0	14:30	49,5	0,8	49,9	2,2	1,1
	80	0,0	51,0	13:45		-	51,0		
1	80	11,4	51,0	13:50	47,2	0,8	47,6	6,7	3,4
3	80	11,4	51,0	14:01	49,0	0,9	49,4	3,0	1,6
	80	0,0	51,0	14:33		-	51,0		
1	80	20,7	51,0	14:40	47,1	0,8	47,5	6,9	3,5
3	80	20,7	51,0	14:50	48,9	0,9	49,3	3,2	1,7
	80	0,0	51,0	14:55		-	51,0		

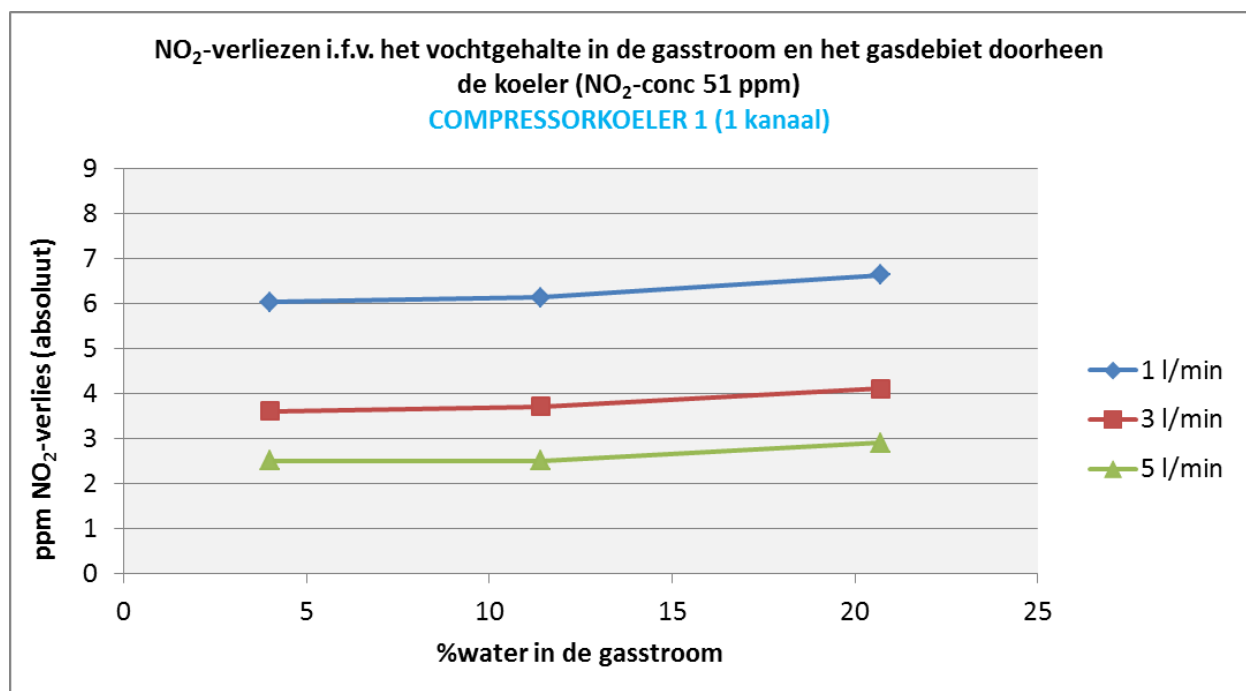
Stikstof: 49,44 NI/min, MFC NO₂:37%, water 1,66 g/min voor 4,0%, 5,13 g/min voor 11,4% en 10,39 g/min voor 20,7%

- (a) De rechtstreeks met monitor gemeten NO₂ concentratie in de droge gasstroom in de gasverdeelleiding wordt als referentiepunt genomen.
- (b) Het watergehalte in de gasstroom na de koeler wordt berekend aan de hand van de dauwpuntsmeting na de koeler bij de capaciteitstesten (zie 3.1)
- (c) De met monitoren gemeten concentraties aan de uitgang van de koeler worden naar concentraties in het absoluut droge gas omgerekend met het watergehalte dat nog na de koeler aanwezig is.

COMPRESSOR KOELER 1 (1-KANAALS)



Figuur 54: Relatieve verliezen aan NO₂ in de koeler i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en het aanzuigdebiet doorheen de koeler



Figuur 55: Absolute verliezen aan NO₂ in de koeler in ppm i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en het aanzuigdebiet doorheen de koeler

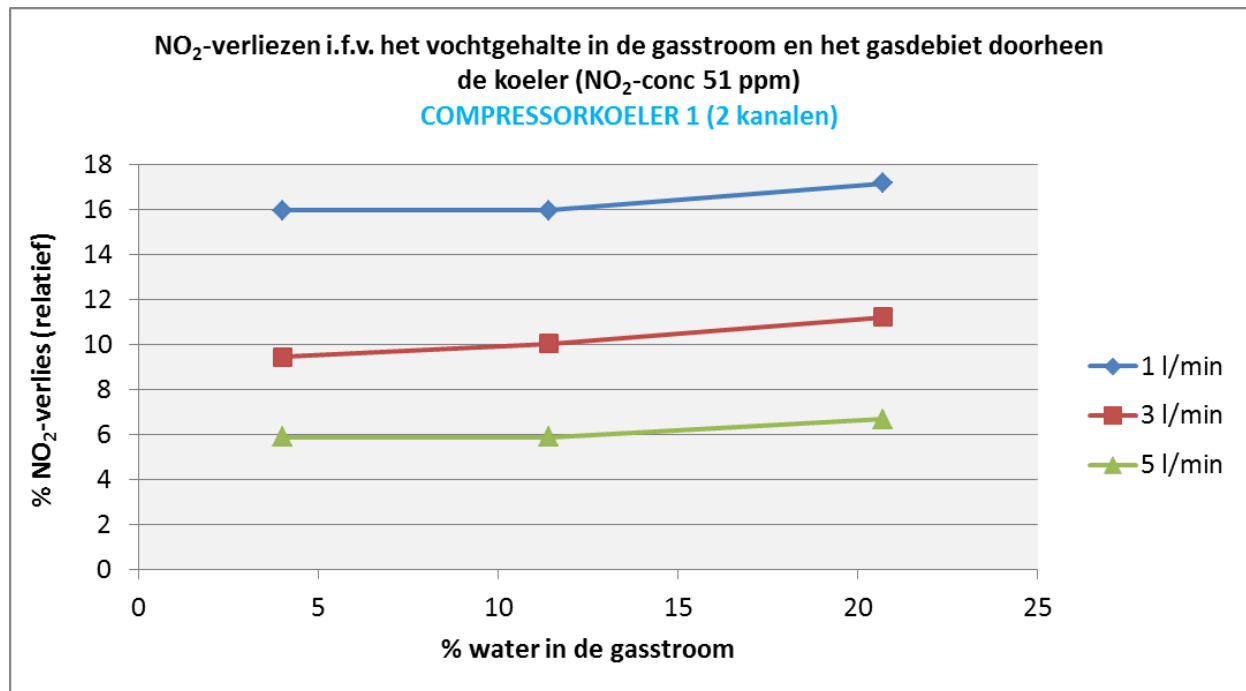
Tabel 41: NO₂-verliezen i.f.v. het watergehalte en debiet (testen 20/02/2017)

Koeler-debiet l/min	t gas ingang koeler °C	% water	ppm NO ₂ ^(a) referentie	Tijdstip meting	ppm NO ₂ in de natte gasstroom	Vochtgehalte na de koeler ^(b)	ppm NO ₂ in de droge gasstroom ^(c)	Verlies %	Verlies (ppm)
	80	0	51,0	13:10		-	51,0		
1	80	4,0	51,0	13:20	44,6	0,8	45,0	11,8	6,0
3	80	4,0	51,0	13:30	47,0	0,8	47,4	7,1	3,6
5	80	4,0	51,0	13:36	48,1	0,8	48,5	4,9	2,5
	80	0,0	51,0	13:42		-	51,0		
1	80	11,4	51,0	13:55	44,5	0,8	44,9	12,0	6,1
3	80	11,4	51,0	14:00	46,9	0,8	47,3	7,3	3,7
5	80	11,4	51,0	14:05	48,1	0,8	48,5	4,9	2,5
	80	0,0	51,0	14:10		-	51,0		
1	80	20,7	51,0	14:15	44,0	0,8	44,4	13,0	6,6
3	80	20,7	51,0	14:25	46,5	0,8	46,9	8,1	4,1
5	80	20,7	51,0	14:30	47,7	0,8	48,1	5,7	2,9
		0,0	51,0	14:35		-	51,0		

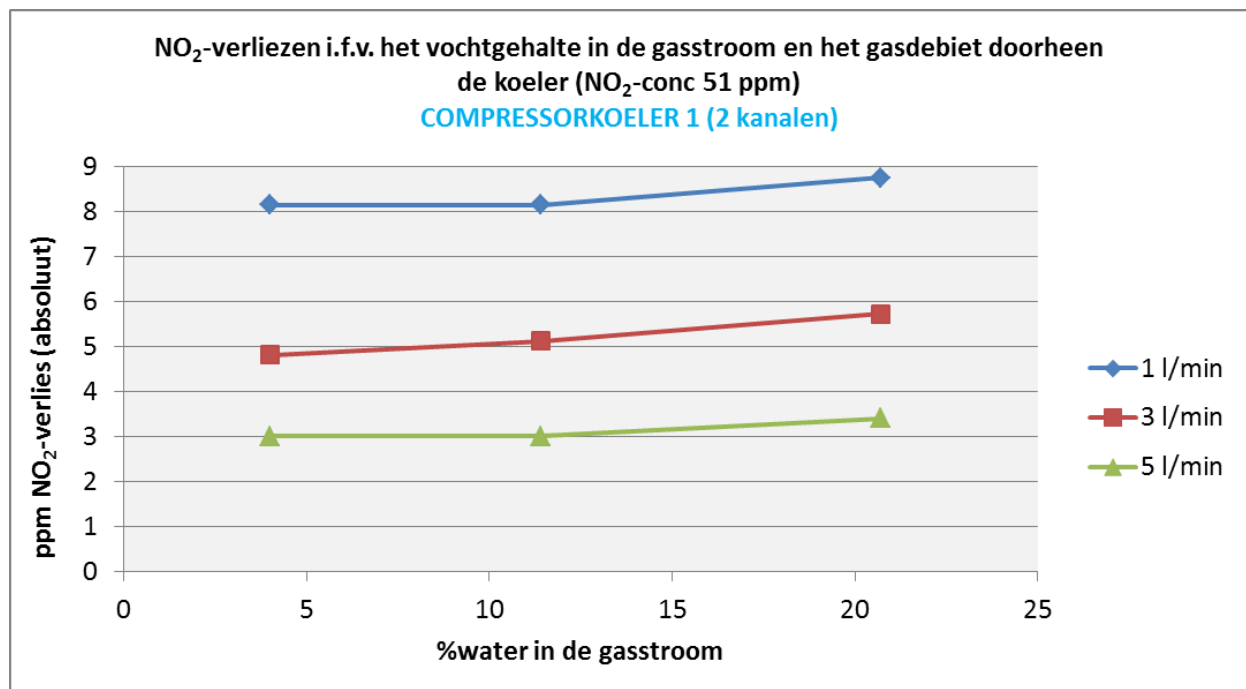
Stikstof: 49,52 NI/min, MFC NO₂:37%, water 1,66 g/min voor 4,0%, 5,13 g/min voor 11,4% en 10,39 g/min voor 20,7%

- (a) De rechtstreeks met monitor gemeten NO₂ concentratie in de droge gasstroom in de gasverdeelleiding wordt als referentiepunt genomen.
- (b) Het watergehalte in de gasstroom na de koeler wordt berekend aan de hand van de dauwpuntsmeting na de koeler bij de capaciteitstesten (zie 3.1)
- (c) De met monitoren gemeten concentraties aan de uitgang van de koeler worden naar concentraties in het absoluut droge gas omgerekend met het watergehalte dat nog na de koeler aanwezig is.

COMPRESSOR KOELER 2 (2-KANAALS)



Figuur 56: Relatieve verliezen aan NO₂ in de koeler i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en het aanzuigdebiet doorheen de koeler



Figuur 57: Absolute verliezen aan NO₂ in de koeler in ppm i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en het aanzuigdebiet doorheen de koeler

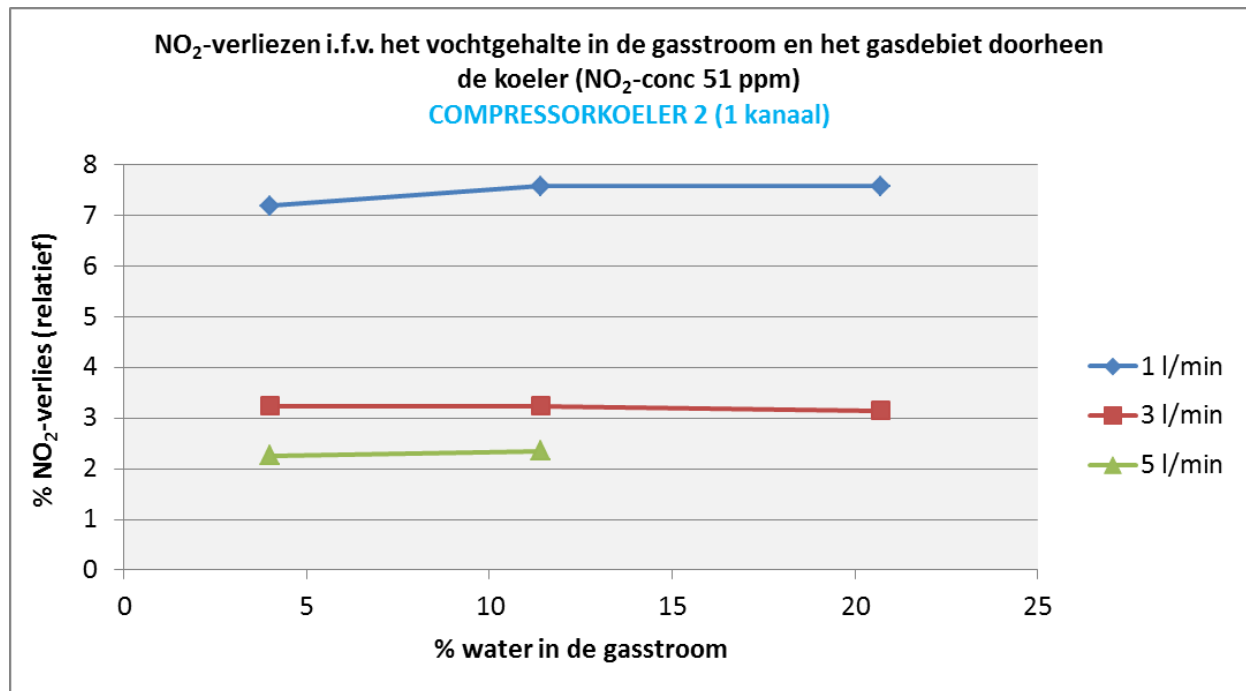
Tabel 42: NO₂-verliezen i.f.v. het watergehalte en debiet (testen 21/02/2017)

Koeler-debiet l/min	t gas ingang koeler °C	% water	ppm NO ₂ ^(a) referentie	Tijdstip meting	ppm NO ₂ in de natte gasstroom	Vochtgehalte na de koeler ^(b)	ppm NO ₂ in de droge gasstroom ^(c)	Verlies %	Verlies (ppm)
	80	0	51,0	11:08		-	51,0		
1	80	4,0	51,0	11:13	42,5	0,8	42,8	16,0	8,2
3	80	4,0	51,0	11:19	45,8	0,8	46,2	9,5	4,8
5	80	4,0	51,0	11:25	47,6	0,8	48,0	5,9	3,0
	80	0,0	51,0	11:30		-	51,0		
1	80	11,4	51,0	11:37	42,5	0,8	42,8	16,0	8,2
3	80	11,4	51,0	11:44	45,5	0,8	45,9	10,1	5,1
5	80	11,4	51,0	11:49	47,6	0,8	48,0	5,9	3,0
	80	0,0	51,0	11:55		-	51,0		
1	80	20,7	51,0	12:18	41,9	0,8	42,2	17,2	8,8
3	80	20,7	51,0	12:25	44,9	0,8	45,3	11,3	5,7
5	80	20,7	51,0	12:30	47,2	0,8	47,6	6,7	3,4
		0	51,0	12:35		-	51,0		

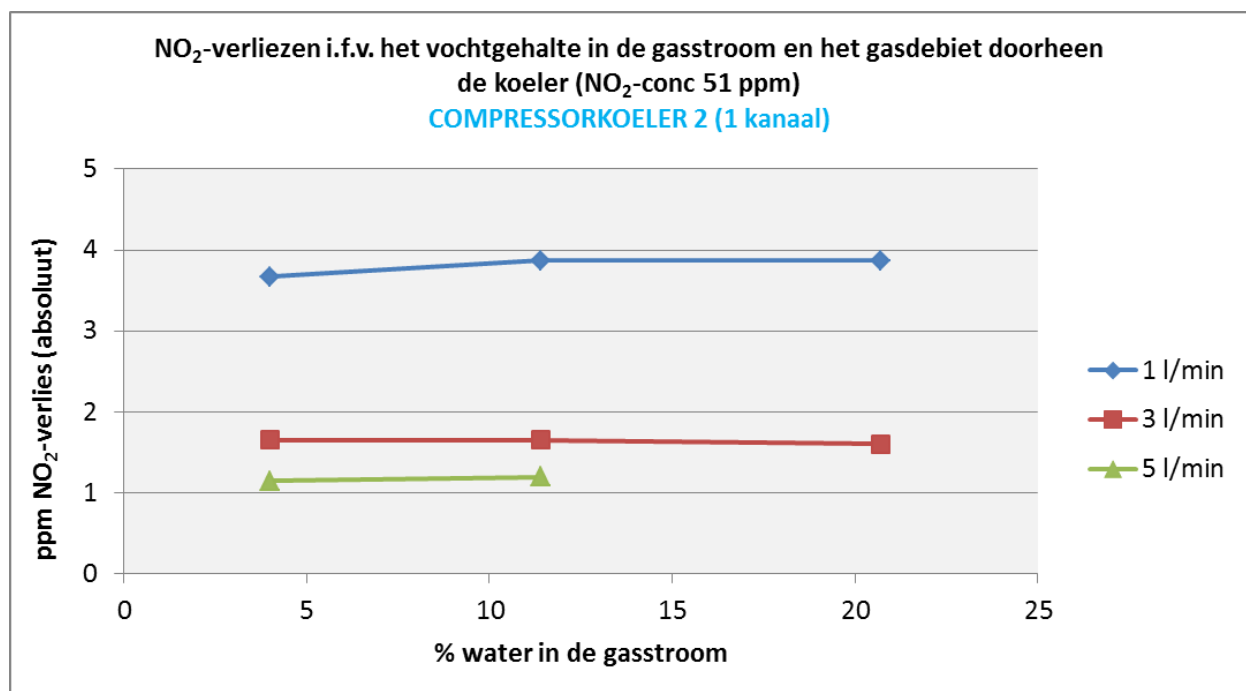
Stikstof: 49,52 NI/min, MFC NO₂:22%, water 1,66 g/min voor 4,0%, 5,13 g/min voor 11,4% en 10,39 g/min voor 20,7%

- (a) De rechtstreeks met monitor gemeten NO₂ concentratie in de droge gasstroom in de gasverdeelleiding wordt als referentiepunt genomen.
- (b) Het watergehalte in de gasstroom na de koeler wordt berekend aan de hand van de dauwpuntsmeting na de koeler bij de capaciteitstesten (zie 3.1)
- (c) De met monitoren gemeten concentraties aan de uitgang van de koeler worden naar concentraties in het absoluut droge gas omgerekend met het watergehalte dat nog na de koeler aanwezig is.

COMPRESSORKOELER 2 (1-KANAALS)



Figuur 58: Relatieve verliezen aan NO₂ in de koeler i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en het aanzuigdebiet doorheen de koeler



Figuur 59: Absolute verliezen aan NO₂ in de koeler in ppm i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en het aanzuigdebiet doorheen de koeler

Tabel 43: NO₂-verliezen i.f.v. het watergehalte en debiet (testen 16/03/2017)

Koeler-debiet l/min	t gas ingang koeler °C	% water	ppm NO ₂ ^(a) referentie	Tijdstip meting	ppm NO ₂ in de natte gasstroom	Vochtgehalte na de koeler ^(b)	ppm NO ₂ in de droge gasstroom ^(c)	Verlies %	Verlies (ppm)
	80	0	51,0	10:35		-	51,0		
1	80	4,0	51,0	10:40	47,0	0,7	47,3	7,2	3,7
3	80	4,0	51,0	10:48	49,0	0,7	49,3	3,2	1,7
5	80	4,0	51,0	10:57	49,5	0,7	49,8	2,3	1,2
	80	0,0	51,0	11:04		-	51,0		
1	80	11,4	51,0	11:10	46,8	0,7	47,1	7,6	3,9
3	80	11,4	51,0	11:18	49,0	0,7	49,3	3,2	1,7
5	80	11,4	51,0	11:24	49,4	0,8	49,8	2,4	1,2
	80	0,0	51,0	11:30		-	51,0		
1	80	20,7	51,0	11:55	46,8	0,7	47,1	7,6	3,9
3	80	20,7	51,0	12:04	49,0	0,8	49,4	3,1	1,6
	80	0,0	51,0	12:10		-	51,0		

Stikstof: 49,44 NI/min, MFC NO₂:22%, water 1,66 g/min voor 4,0%, 5,13 g/min voor 11,4% en 10,39 g/min voor 20,7%

- (a) De rechtstreeks met monitor gemeten NO₂ concentratie in de droge gasstroom in de gasverdeelleiding wordt als referentiepunt genomen.
- (b) Het watergehalte in de gasstroom na de koeler wordt berekend aan de hand van de dauwpuntsmeting na de koeler bij de capaciteitstesten (zie 3.1)
- (c) De met monitoren gemeten concentraties aan de uitgang van de koeler worden naar concentraties in het absoluut droge gas omgerekend met het watergehalte dat nog na de koeler aanwezig is.

BIJLAGE F: NO₂-VERLIEZEN I.F.V. WATER EN DE NO₂-CONCENTRATIE

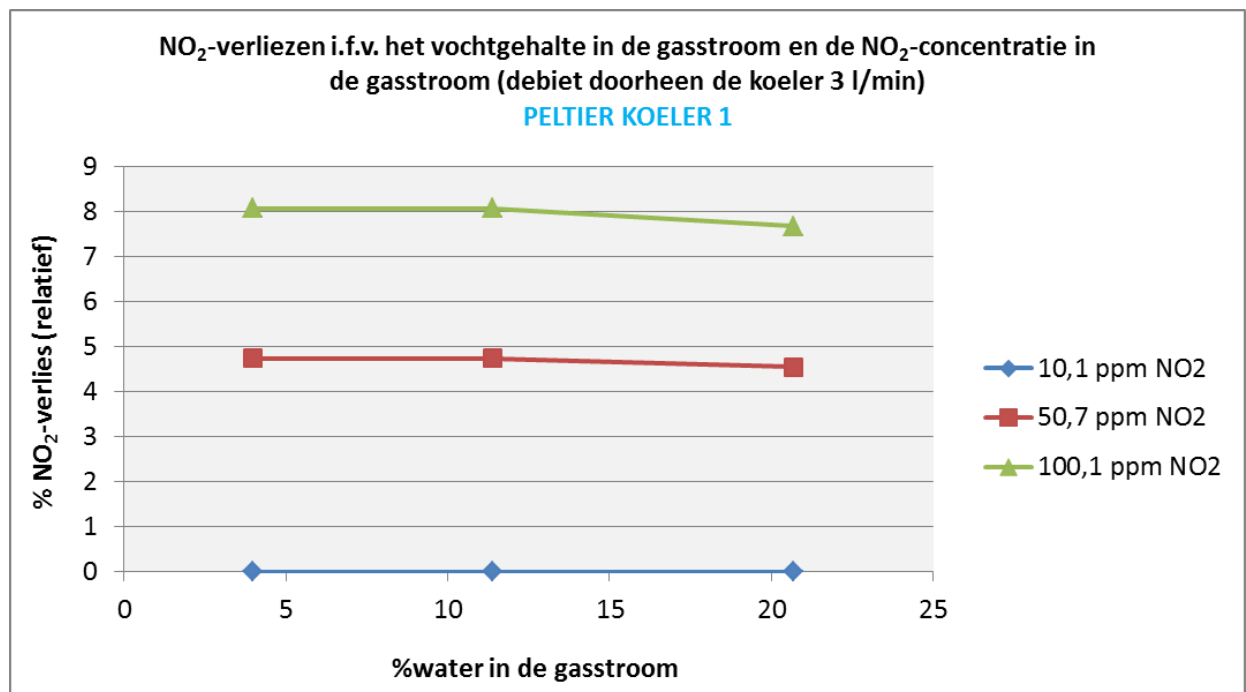
PELTIER KOELER 1 GEÏNTEGREERD IN EEN DRAAGBAAR GASCONDITIONERINGS- EN BEMONSTERINGSSYSTEEM

De relatieve en absolute verliezen aan NO₂ in de koeler in functie van verschillende watergehaltes (≈ 4 , 11 en 20%) en verschillende NO₂-concentraties in de gasstroom (10,1 ppm, 50,7 ppm en 100,1 ppm) zijn resp. weergegeven in Figuur 60 en Figuur 61. De onderliggende data zijn in Tabel 44 opgenomen.

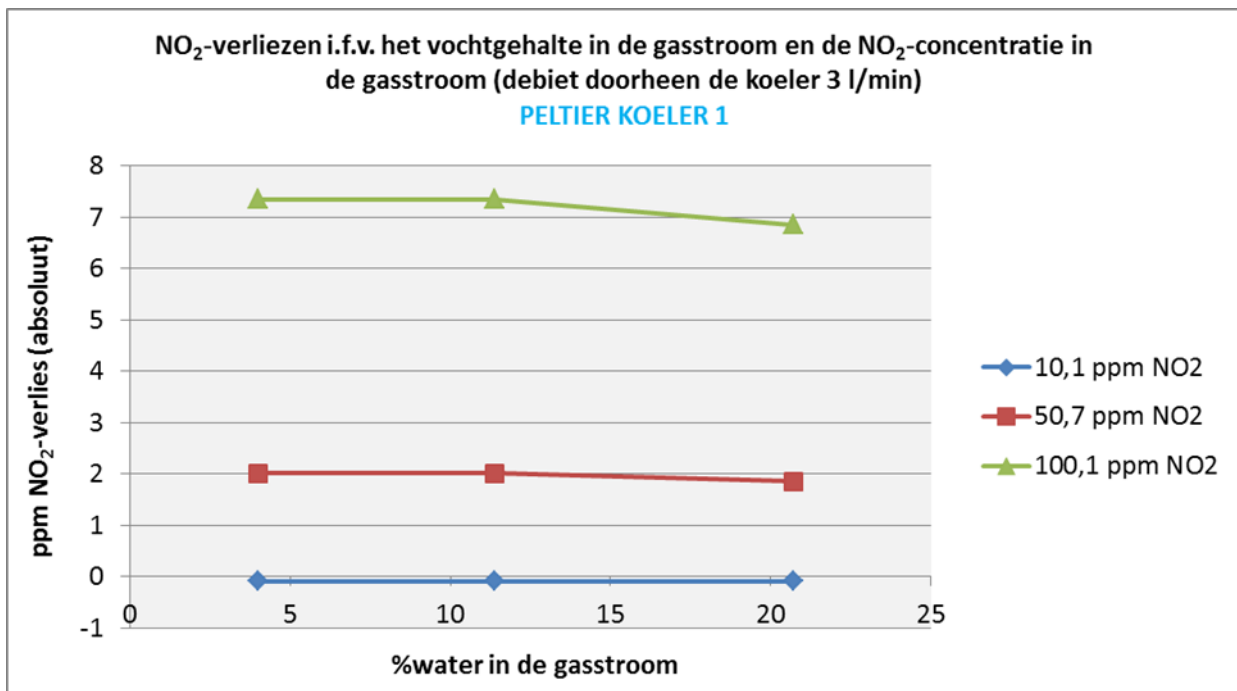
Uit de capaciteitstesten van de koeler (3.1) bleek dat het gemeten dauwpunt na de koeler bij een aanzuigdebiet van 3 l/min beneden de toegelaten bovengrens van 7°C blijft tot ongeveer 20% aangeboden vocht. Aangezien het vochtgehalte in de praktijk meestal lager ligt dan 20%, wordt ervoor geopteerd om de testen bij verschillende NO₂-concentraties uit te voeren bij een vast debiet doorheen de koeler van 3 l/min.

Uit Figuur 60 en Figuur 61 blijkt dat de relatieve en absolute verliezen van NO₂ in de koeler functie zijn van de NO₂-concentratie maar onafhankelijk zijn van het watergehalte van de aangeboden gasstroom. Bij een hogere NO₂-concentratie stijgt zowel het procentueel als absoluut verlies van NO₂ in de koeler.

De NO₂-verliezen in de koeler zijn dus enkel afhankelijk van de NO₂-concentratie in de gasstroom en niet van het watergehalte van de gasstroom.



Figuur 60: Relatieve verliezen aan NO₂ in de koeler i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en de NO₂-concentratie in de gasstroom



Figuur 61: Absolute verliezen aan NO₂ in de koeler in ppm i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en de NO₂-concentratie in de gasstroom

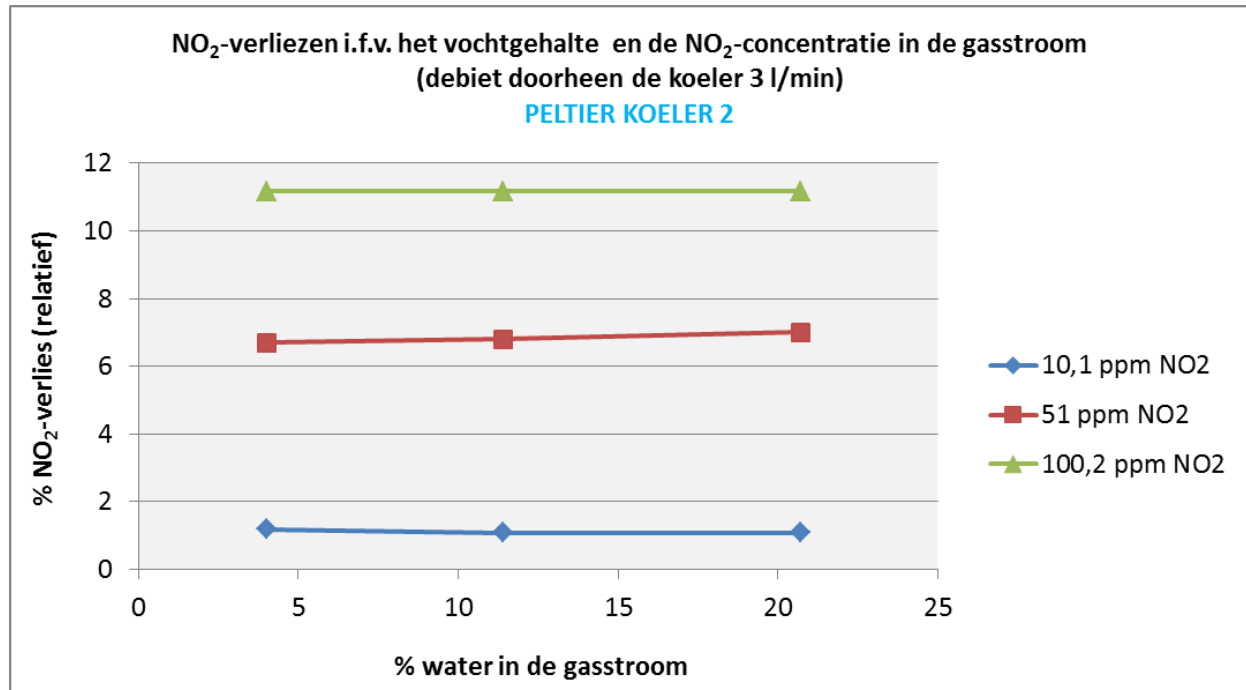
Tabel 44: NO₂-verliezen i.f.v. het watergehalte en de NO₂-concentratie in de gasstroom (testen 14/03/2016)

Koeler-debiet l/min	t gas ingang koeler °C	% water	ppm NO ₂ ^(a) referentie	Tijdstip meting	ppm NO ₂ in de natte gasstroom	Vochtgehalte na de koeler ^(b)	ppm NO ₂ in de droge gasstroom ^(c)	Verlies %	Verlies (ppm)
	80	0	10,1	7:50		-	10,1		
	80	0	50,7	8:02		-	50,7		
	80	0	100,1	8:22		-	100,1		
3	80	4,0	10,1	8:56	10,1	0,8	10,2	0,0	-0,1
3	80	11,4	10,1	9:07	10,1	0,8	10,2	0,0	-0,1
3	80	20,7	10,1	9:17	10,1	0,9	10,2	0,0	-0,1
	80	0,0	10,1	9:28		-	10,1		
	80	0,0	50,5	9:35		-	50,8		
3	80	4,0	50,5	9:43	48,1	0,8	48,5	4,8	2,0
3	80	11,4	50,5	9:56	48,1	0,8	48,5	4,8	2,0
3	80	20,7	50,5	10:06	48,2	0,9	48,6	4,6	1,9
	80	0,0	50,5	10:17		-	50,8		
	80	0,0	100,2	10:24		-	100,2		
3	80	4,0	100,2	11:24	92,1	0,8	92,8	8,1	7,4
3	80	11,4	100,2	11:42	92,1	0,8	92,8	8,1	7,4
3	80	20,7	100,2	11:53	92,5	0,9	93,3	7,7	6,9
	80	0,0	100,2	12:03		-	100,2		

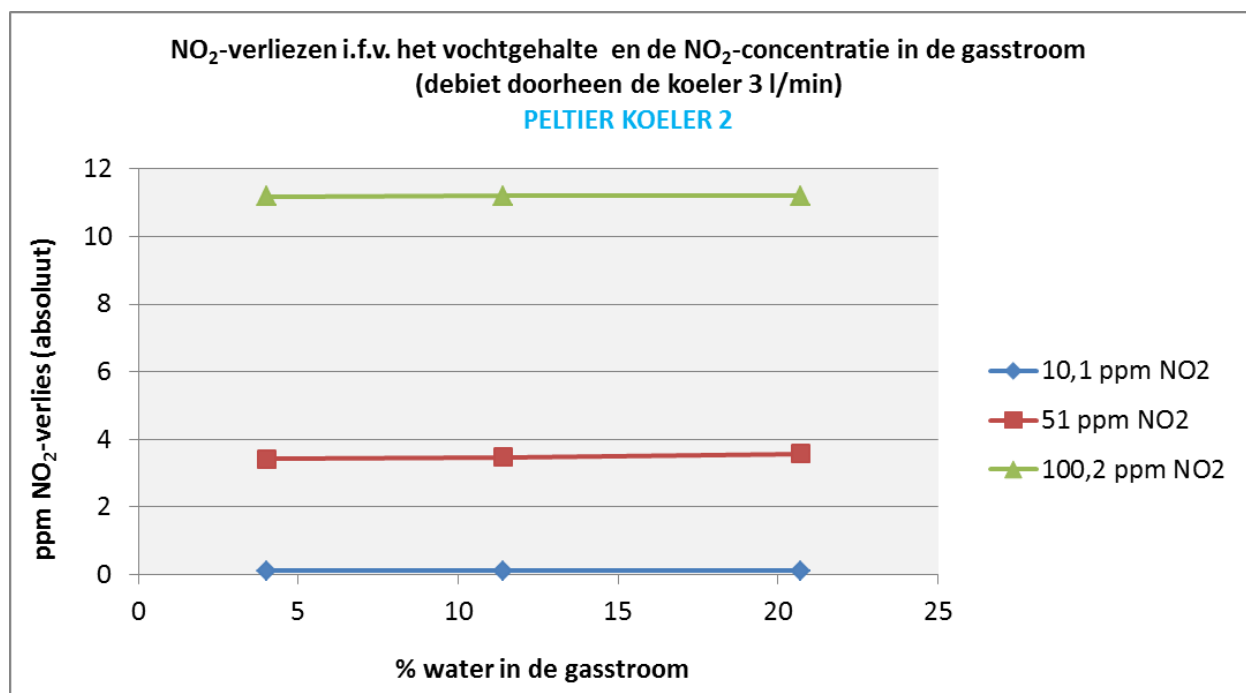
Stikstof: 49,44 NI/min, MFC NO₂ (3,7, 22, 50%), water 1,66 g/min voor 4,0%, 5,13 g/min voor 11,4% en 10,39 g/min voor 20,7%

- (a) De rechtstreeks met monitor gemeten NO₂ concentratie in de droge gasstroom in de gasverdeelleiding wordt als referentiepunt genomen.
- (b) Het watergehalte in de gasstroom na de koeler wordt berekend aan de hand van de dauwpuntsmeting na de koeler bij de capaciteitstesten (zie 3.1)
- (c) De met monitoren gemeten concentraties aan de uitgang van de koeler worden naar concentraties in het absoluut droge gas omgerekend met het watergehalte dat nog na de koeler aanwezig is.

PELTIER KOELER 2 (1-KANAALS PFA-GECOAT) GEÏNTEGREERD IN EEN DRAAGBAAR GASCONDITIONERINGS- EN BEMONSTERINGSSYSTEEM



Figuur 62: Relatieve verliezen aan NO₂ in de koeler i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en de NO₂-concentratie in de gasstroom



Figuur 63: Absolute verliezen aan NO₂ in de koeler in ppm i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en NO₂-concentratie in de gasstroom

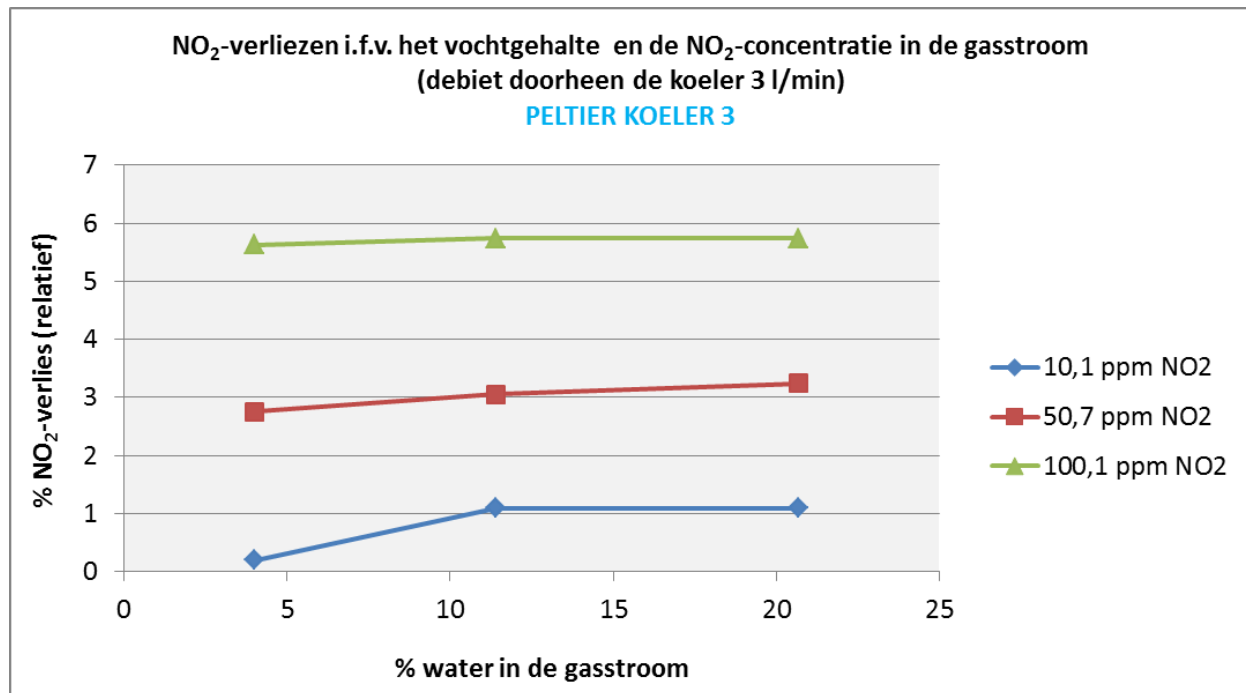
Tabel 45: NO₂-verliezen i.f.v. het watergehalte en de NO₂-concentratie in de gasstroom (testen 16/02/2017)

Koeler-debiet l/min	t gas ingang koeler °C	% water	ppm NO ₂ ^(a) referentie	Tijdstip meting	ppm NO ₂ in de natte gasstroom	Vochtgehalte na de koeler ^(b)	ppm NO ₂ in de droge gasstroom ^(c)	Verlies %	Verlies (ppm)
	80	0	10,1	9:30		-	10,1		
3	80	4,0	10,1	9:35	9,9	0,8	10,0	1,2	0,1
3	80	11,4	10,1	9:45	9,9	0,9	10,0	1,1	0,1
3	80	20,7	10,1	9:50	9,9	0,9	10,0	1,1	0,1
	80	0,0	10,1	10:03		-	10,1		
	80	0,0	51,0	10:09		-	51,0		
3	80	4,0	51,0	10:20	47,2	0,8	47,6	6,7	3,4
3	80	11,4	51,0	10:30	47,1	0,9	47,5	6,8	3,5
3	80	20,7	51,0	10:40	47,0	0,9	47,4	7,0	3,6
	80	0,0	51,0	10:45		-	51,0		
	80	0,0	100,2	10:52		-	100,2		
3	80	4,0	100,2	11:14	88,3	0,8	89,0	11,2	11,2
3	80	11,4	100,2	11:08	88,2	0,9	89,0	11,2	11,2
3	80	20,7	100,2	11:00	88,2	0,9	89,0	11,2	11,2
	80	0,0	100,2	11:20		-	100,2		

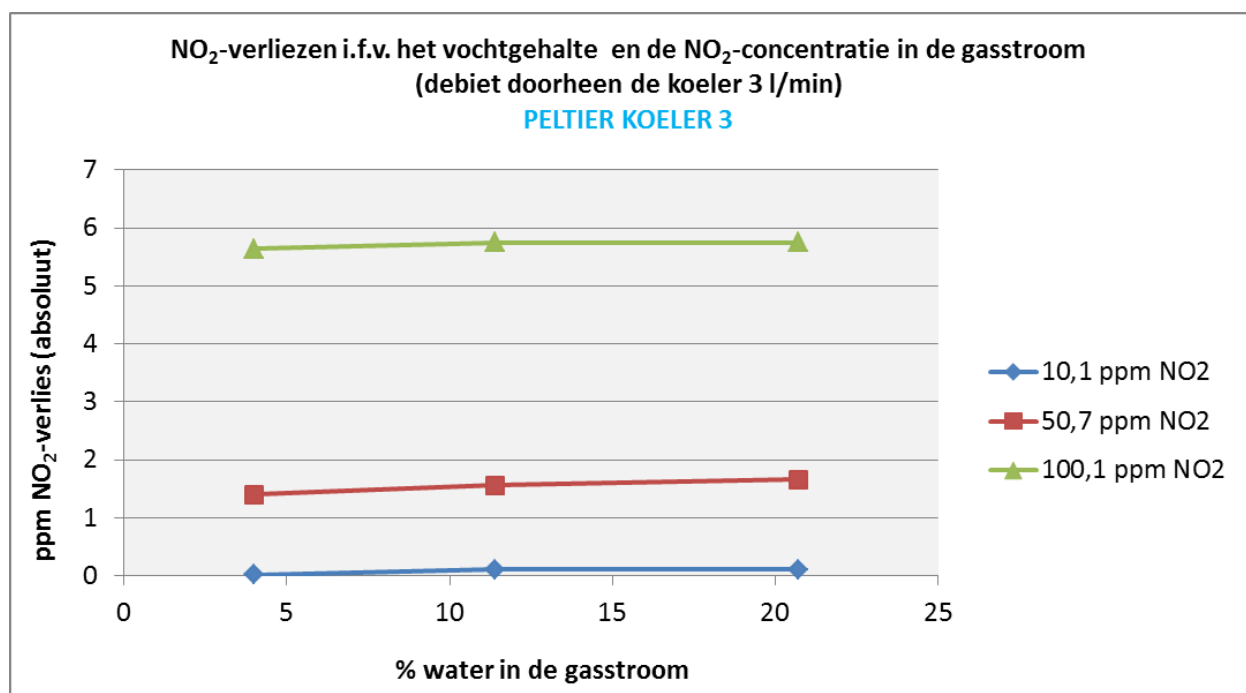
Stikstof: 49,44 NI/min, MFC NO₂ (7, 37, 71%), water 1,66 g/min voor 4,0%, 5,13 g/min voor 11,4% en 10,39 g/min voor 20,7%

- (a) De rechtstreeks met monitor gemeten NO₂ concentratie in de droge gasstroom in de gasverdeelleiding wordt als referentiepunt genomen.
- (b) Het watergehalte in de gasstroom na de koeler wordt berekend aan de hand van de dauwpuntsmeting na de koeler bij de capaciteitstesten (zie 3.1)
- (c) De met monitoren gemeten concentraties aan de uitgang van de koeler worden naar concentraties in het absoluut droge gas omgerekend met het watergehalte dat nog na de koeler aanwezig is.

PELTIER KOELER 3 (1-KANAALS)



Figuur 64: Relatieve verliezen aan NO₂ in de koeler i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en de NO₂-concentratie in de gasstroom



Figuur 65: Absolute verliezen aan NO₂ in de koeler in ppm i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en de NO₂-concentratie in de gasstroom

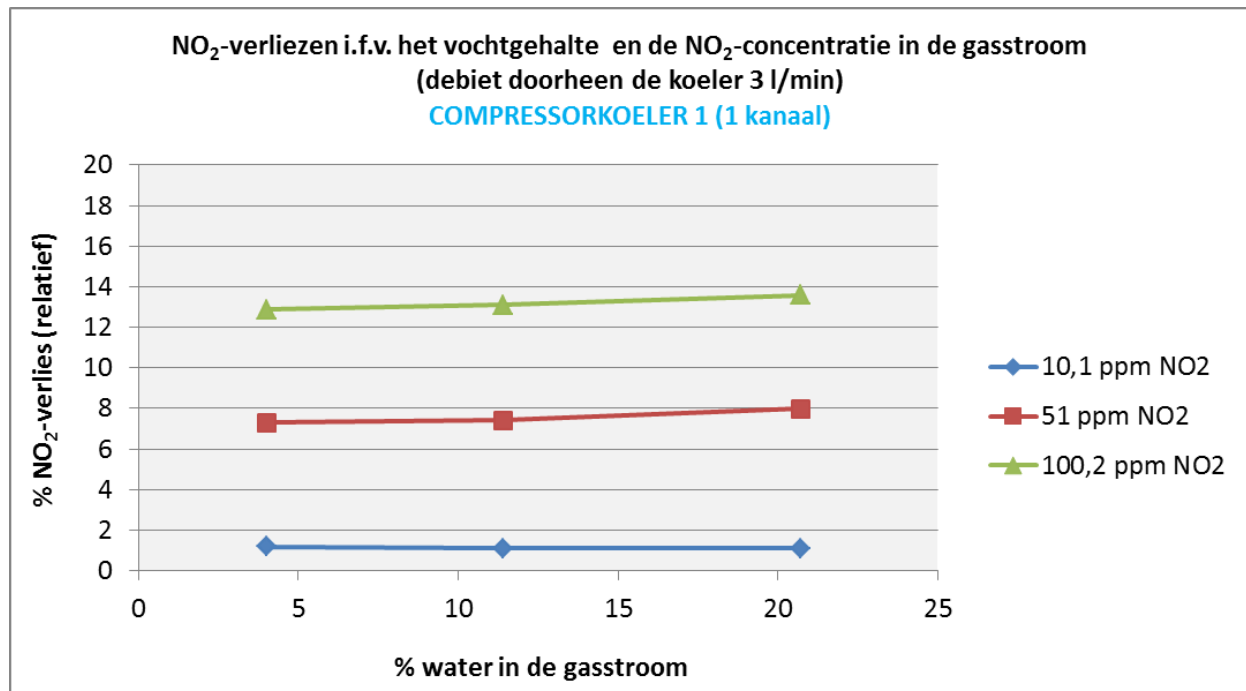
Tabel 46: NO₂-verliezen i.f.v. het watergehalte en de NO₂-concentratie in de gasstroom (testen 16/03/2017)

Koeler-debiet l/min	t gas ingang koeler °C	% water	ppm NO ₂ ^(a) referentie	Tijdstip meting	ppm NO ₂ in de natte gasstroom	Vochtgehalte na de koeler ^(b)	ppm NO ₂ in de droge gasstroom ^(c)	Verlies %	Verlies (ppm)
	80	0	10,1	7:50		-	10,1		
3	80	4,0	10,1	8:00	10,0	0,8	10,1	0,2	0,0
3	80	11,4	10,1	8:05	9,9	0,9	10,0	1,1	0,1
3	80	20,7	10,1	8:10	9,9	0,9	10,0	1,1	0,1
	80	0,0	10,1	8:15		-	10,1		
	80	0,0	50,5	8:22		-	51,0		
3	80	4,0	50,5	8:30	49,2	0,8	49,6	2,8	1,4
3	80	11,4	50,5	8:35	49,0	0,9	49,4	3,0	1,6
3	80	20,7	50,5	8:40	48,9	0,9	49,3	3,2	1,7
	80	0,0	50,5	8:45		-	51,0		
	80	0,0	100,2	8:50		-	100,2		
3	80	4,0	100,2	9:03	93,8	0,8	94,6	5,6	5,6
3	80	11,4	100,2	9:10	93,6	0,9	94,5	5,7	5,7
3	80	20,7	100,2	9:15	93,6	0,9	94,5	5,7	5,7
	80	0,0	100,2	9:20		-	100,2		

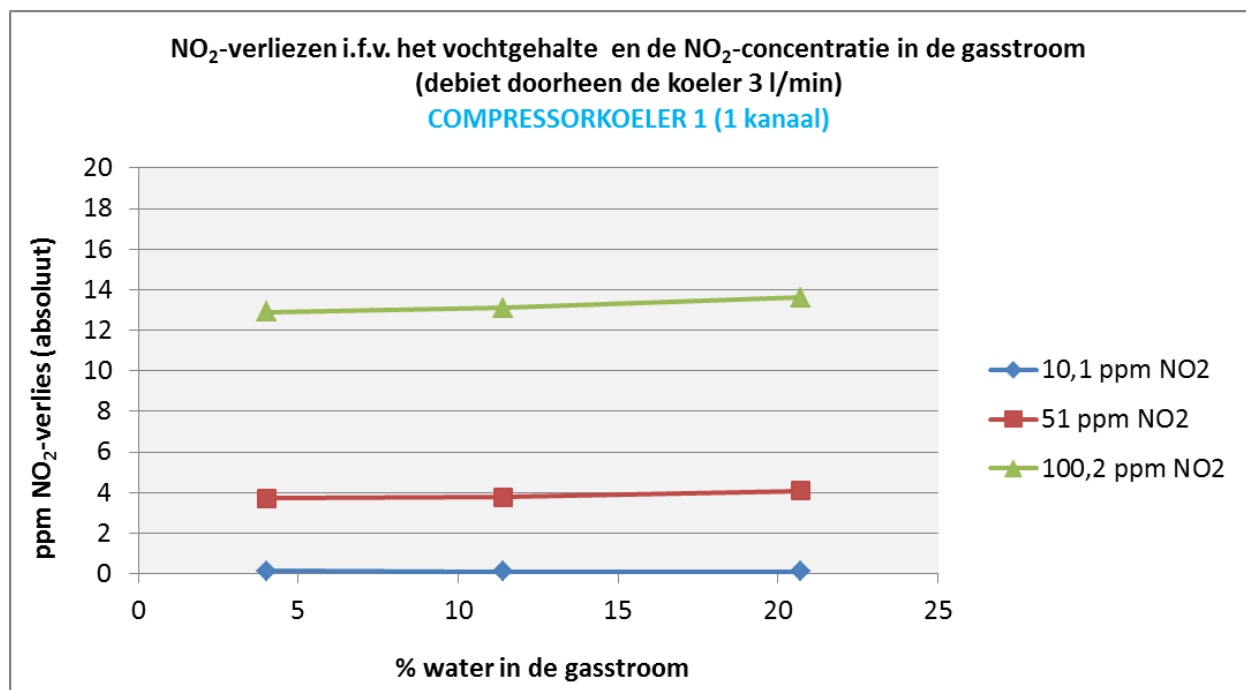
Stikstof: 49,44 Nl/min, MFC NO₂ (7, 37, 71%), water 1,66 g/min voor 4,0%, 5,13 g/min voor 11,4% en 10,39 g/min voor 20,7%

- (a) De rechtstreeks met monitor gemeten NO₂ concentratie in de droge gasstroom in de gasverdeelleiding wordt als referentiepunt genomen.
- (b) Het watergehalte in de gasstroom na de koeler wordt berekend aan de hand van de dauwpuntsmeting na de koeler bij de capaciteitstesten (zie 3.1)
- (c) De met monitoren gemeten concentraties aan de uitgang van de koeler worden naar concentraties in het absoluut droge gas omgerekend met het watergehalte dat nog na de koeler aanwezig is.

COMPRESSOR KOELER 1 (1-KANAALS)



Figuur 66: Relatieve verliezen aan NO₂ in de koeler i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en de NO₂-concentratie in de gasstroom



Figuur 67: Absolute verliezen aan NO₂ in de koeler in ppm i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en de NO₂-concentratie in de gasstroom

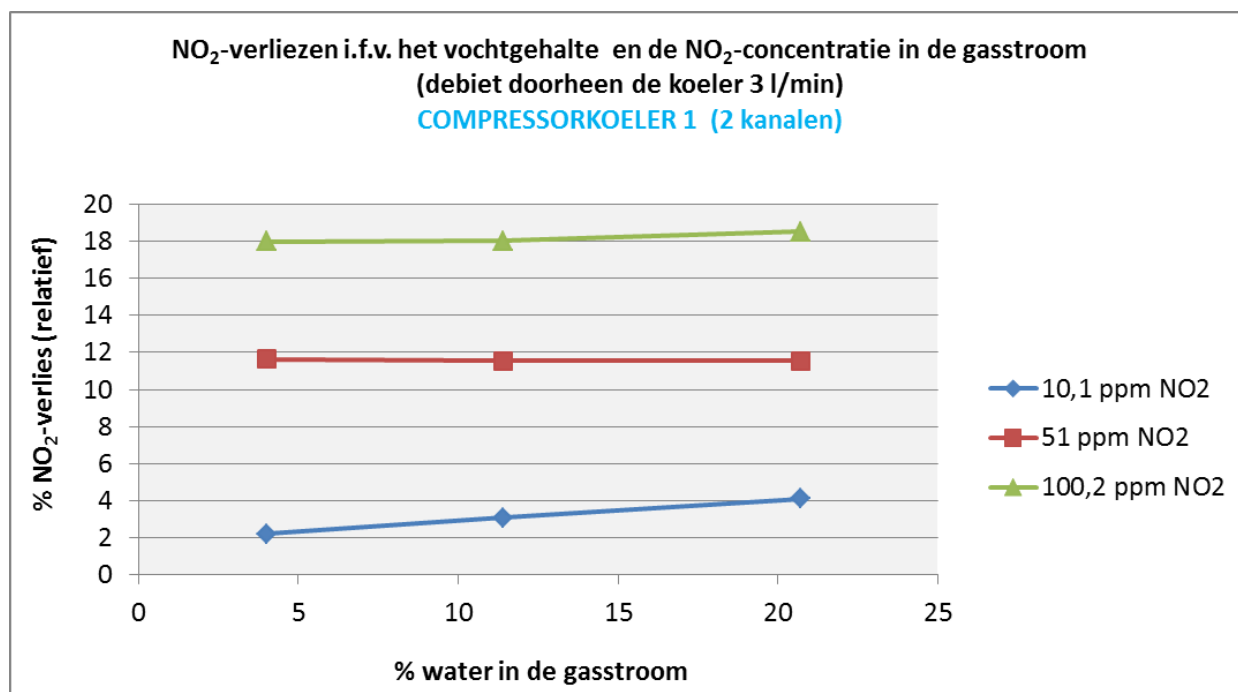
Tabel 47: NO₂-verliezen i.f.v. het watergehalte en de NO₂-concentratie in de gasstroom (testen 21/02/2017)

Koeler-debiet l/min	t gas ingang koeler °C	% water	ppm NO ₂ ^(a) referentie	Tijdstip meting	ppm NO ₂ in de natte gasstroom	Vochtgehalte na de koeler ^(b)	ppm NO ₂ in de droge gasstroom ^(c)	Verlies %	Verlies (ppm)
	80	0,0	10,1	8:45		-	10,1		
3	80	4,0	10,1	8:50	9,9	0,8	10,0	1,2	0,1
3	80	11,4	10,1	8:55	9,9	0,9	10,0	1,1	0,1
3	80	20,7	10,1	9:00	9,9	0,9	10,0	1,1	0,1
	80	0,0	10,1	9:05		-	10,1		
	80	0,0	51,0	9:10		-	51,0		
3	80	4,0	51,0	9:15	46,9	0,8	47,3	7,3	3,7
3	80	11,4	51,0	9:20	46,8	0,9	47,2	7,4	3,8
3	80	20,7	51,0	9:25	46,5	0,9	46,9	8,0	4,1
	80	0,0	51,0	9:30		-	51,0		
	80	0,0	100,2	9:35		-	100,2		
3	80	4,0	100,2	9:45	86,6	0,8	87,3	12,9	12,9
3	80	11,4	100,2	9:50	86,3	0,9	87,1	13,1	13,1
3	80	20,7	100,2	10:00	85,8	0,9	86,6	13,6	13,6
	80	0,0	100,2	10:07		-	100,2		

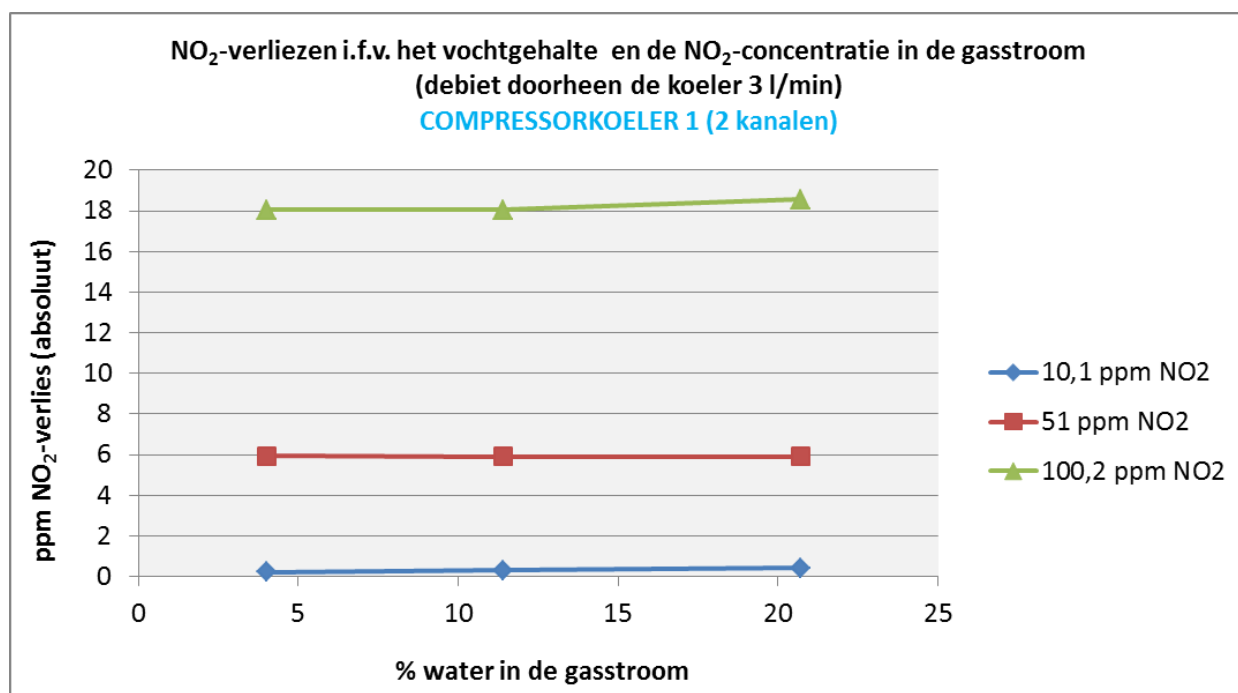
Stikstof: 49,52 Nl/min, MFC NO₂ (7, 37, 71%), water 1,66 g/min voor 4,0%, 5,13 g/min voor 11,4% en 10,39 g/min voor 20,7%

- (a) De rechtstreeks met monitor gemeten NO₂ concentratie in de droge gasstroom in de gasverdeelleiding wordt als referentiepunt genomen.
- (b) Het watergehalte in de gasstroom na de koeler wordt berekend aan de hand van de dauwpuntsmeting na de koeler bij de capaciteitstesten (zie 3.1)
- (c) De met monitoren gemeten concentraties aan de uitgang van de koeler worden naar concentraties in het absoluut droge gas omgerekend met het watergehalte dat nog na de koeler aanwezig is.

COMPRESSOR KOELER 1 (2-KANAALS)



Figuur 68: Relatieve verliezen aan NO₂ in de koeler i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en de NO₂-concentratie in de gasstroom



Figuur 69: Absolute verliezen aan NO₂ in de koeler in ppm i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en de NO₂-concentratie in de gasstroom

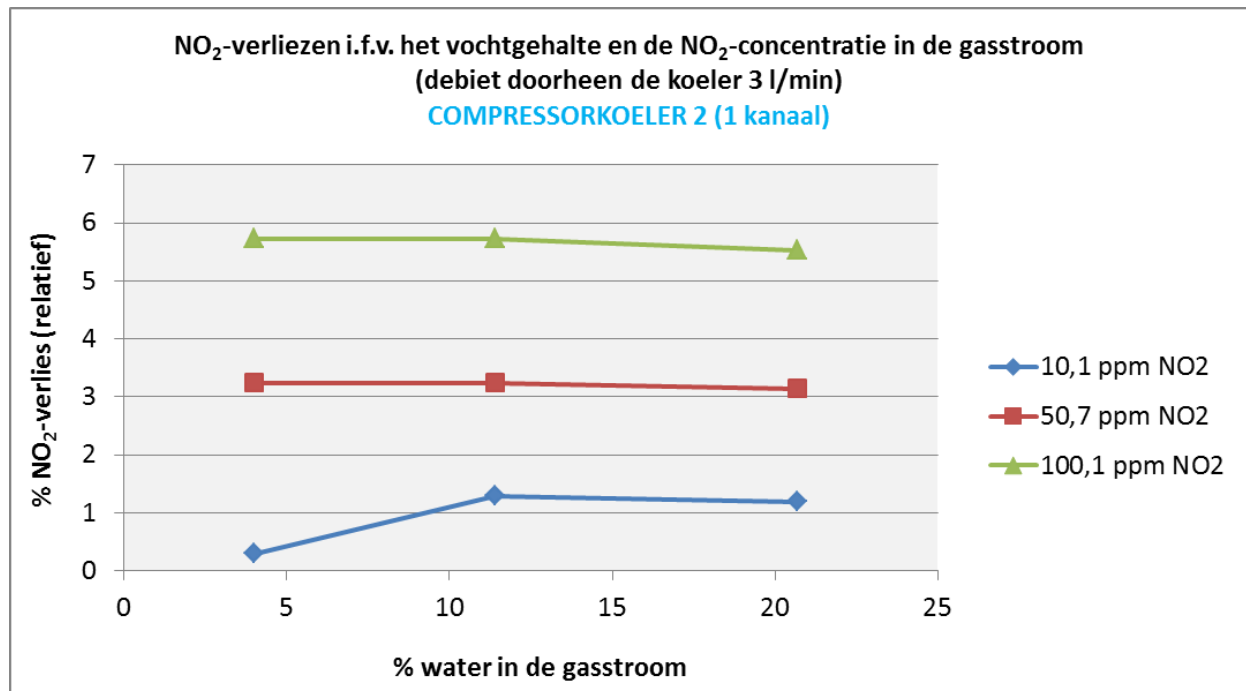
Tabel 48: NO₂-verliezen i.f.v. het watergehalte en de NO₂-concentratie in de gasstroom (testen 21/02/2017)

Koeler-debiet l/min	t gas ingang koeler °C	% water	ppm NO ₂ ^(a) referentie	Tijdstip meting	ppm NO ₂ in de natte gasstroom	Vochtgehalte na de koeler ^(b)	ppm NO ₂ in de droge gasstroom ^(c)	Verlies %	Verlies (ppm)
	80	0,0	10,1	12:47		-	10,1		
3	80	4,0	10,1	12:55	9,8	0,8	9,9	2,2	0,2
3	80	11,4	10,1	13:00	9,7	0,9	9,8	3,1	0,3
3	80	20,7	10,1	13:05	9,6	0,9	9,7	4,1	0,4
	80	0,0	10,1	13:12		-	10,1		
	80	0,0	51,0	13:17		-	51,0		
3	80	4,0	51,0	13:25	44,7	0,8	45,1	11,6	5,9
3	80	11,4	51,0	13:33	44,7	0,9	45,1	11,6	5,9
3	80	20,7	51,0	13:39	44,7	0,9	45,1	11,6	5,9
	80	0,0	51,0	13:45		-	51,0		
	80	0,0	100,2	13:50		-	100,2		
3	80	4,0	100,2	13:55	81,5	0,8	82,2	18,0	18,0
3	80	11,4	100,2	14:05	81,4	0,9	82,1	18,0	18,1
3	80	20,7	100,2	14:10	80,9	0,9	81,6	18,5	18,6
	80	0,0	100,2	14:15		-	100,2		

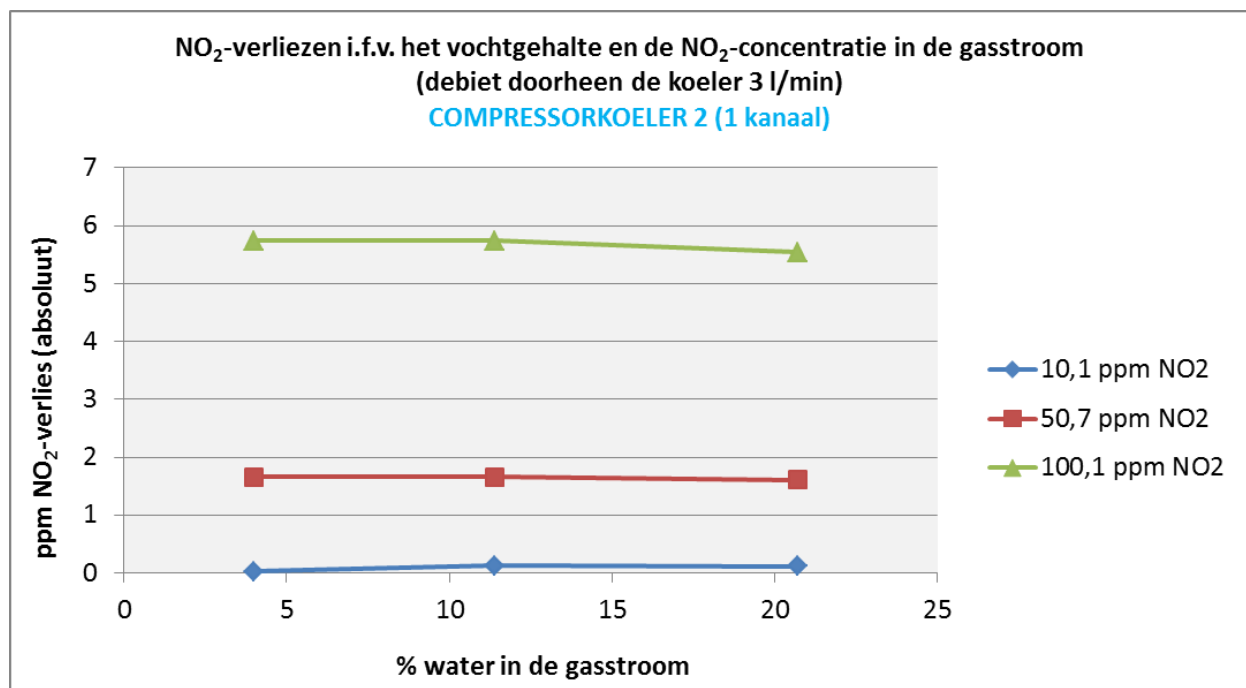
Stikstof: 49,52 Nl/min, MFC NO₂ (7, 37, 71%), water 1,66 g/min voor 4,0%, 5,13 g/min voor 11,4% en 10,39 g/min voor 20,7%

- (a) De rechtstreeks met monitor gemeten NO₂ concentratie in de droge gasstroom in de gasverdeelleiding wordt als referentiepunt genomen.
- (b) Het watergehalte in de gasstroom na de koeler wordt berekend aan de hand van de dauwpuntsmeting na de koeler bij de capaciteitstesten (zie 3.1)
- (c) De met monitoren gemeten concentraties aan de uitgang van de koeler worden naar concentraties in het absoluut droge gas omgerekend met het watergehalte dat nog na de koeler aanwezig is.

COMPRESSORKOELER 2



Figuur 70: Relatieve verliezen aan NO₂ in de koeler i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en de NO₂-concentratie in de gasstroom



Figuur 71: Absolute verliezen aan NO₂ in de koeler in ppm i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en de NO₂-concentratie in de gasstroom

Tabel 49: NO₂-verliezen i.f.v. het watergehalte en de NO₂-concentratie in de gasstroom (testen 16/03/2017)

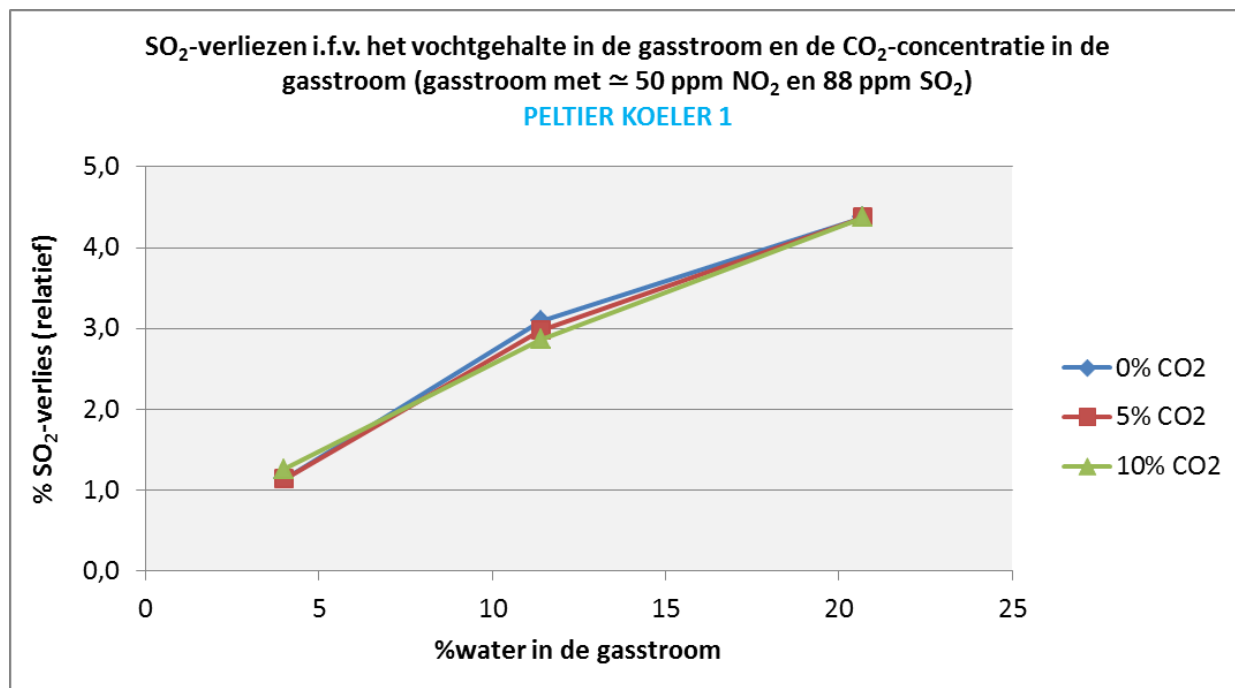
Koeler-debiet l/min	t gas ingang koeler °C	% water	ppm NO ₂ ^(a) referentie	Tijdstip meting	ppm NO ₂ in de natte gasstroom	Vochtgehalte na de koeler ^(b)	ppm NO ₂ in de droge gasstroom ^(c)	Verlies %	Verlies (ppm)
	80	0,0	10,1	12:20		-	10,1		
3	80	4,0	10,1	12:35	10,0	0,7	10,1	0,3	0,0
3	80	11,4	10,1	12:45	9,9	0,7	10,0	1,3	0,1
3	80	20,7	10,1	13:00	9,9	0,8	10,0	1,2	0,1
	80	0,0	10,1	13:15		-	10,1		
	80	0,0	51,0	13:25		-	51,0		
3	80	4,0	51,0	13:31	49,0	0,7	49,3	3,2	1,7
3	80	11,4	51,0	13:37	49,0	0,7	49,3	3,2	1,7
3	80	20,7	51,0	13:43	49,0	0,8	49,4	3,1	1,6
	80	0,0	51,0	13:50		-	51,0		
	80	0,0	100,2	13:55		-	100,2		
3	80	4,0	100,2	14:05	93,8	0,7	94,5	5,7	5,7
3	80	11,4	100,2	14:10	93,8	0,7	94,5	5,7	5,7
3	80	20,7	100,2	14:15	93,9	0,8	94,7	5,5	5,5
	80	0,0	100,2	14:20		-	100,2		

Stikstof: 49,44 Nl/min, MFC NO₂ (7, 37, 71%), water 1,66 g/min voor 4,0%, 5,13 g/min voor 11,4% en 10,39 g/min voor 20,7%

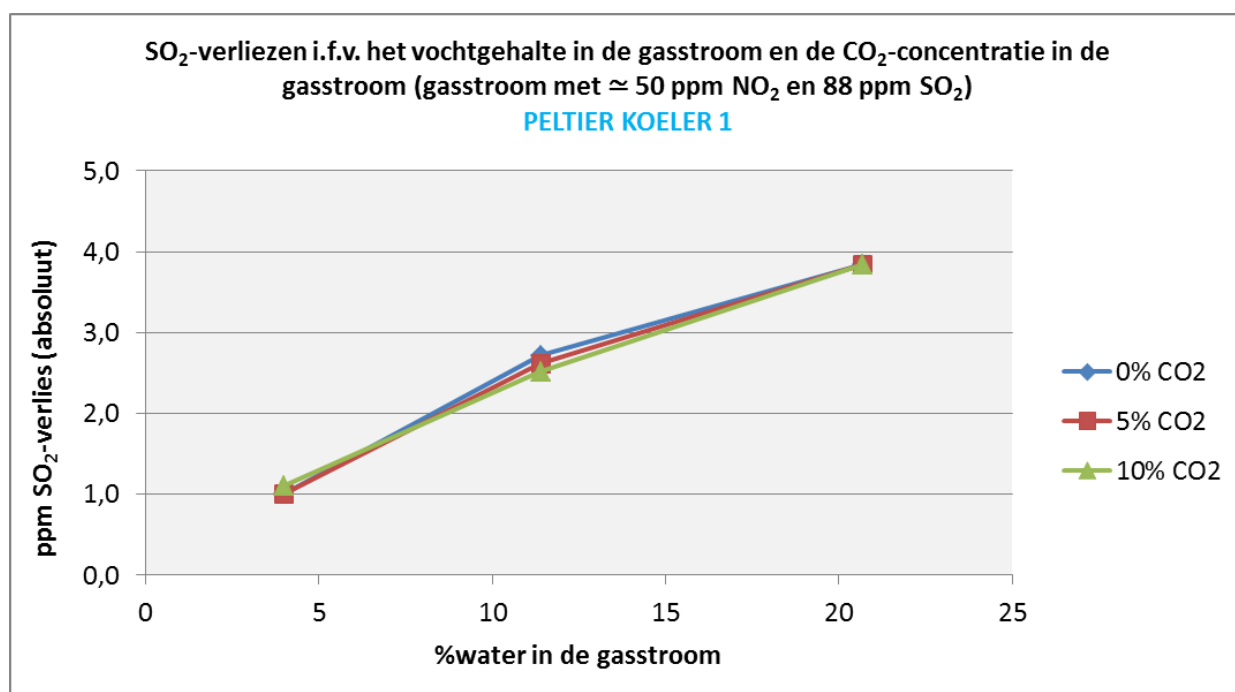
- (a) De rechtstreeks met monitor gemeten NO₂ concentratie in de droge gasstroom in de gasverdeelleiding wordt als referentiepunt genomen.
- (b) Het watergehalte in de gasstroom na de koeler wordt berekend aan de hand van de dauwpuntsmeting na de koeler bij de capaciteitstesten (zie 3.1)
- (c) De met monitoren gemeten concentraties aan de uitgang van de koeler worden naar concentraties in het absoluut droge gas omgerekend met het watergehalte dat nog na de koeler aanwezig is.

BIJLAGE G: SO₂ EN NO₂-VERLIEZEN BIJ GEMIDDELDE NO₂/SO₂ CONCENTRATIES I.F.V. CO₂ EN VERSCHILLENDE WATERGEHALTES (DEBIET 3 L/MIN)

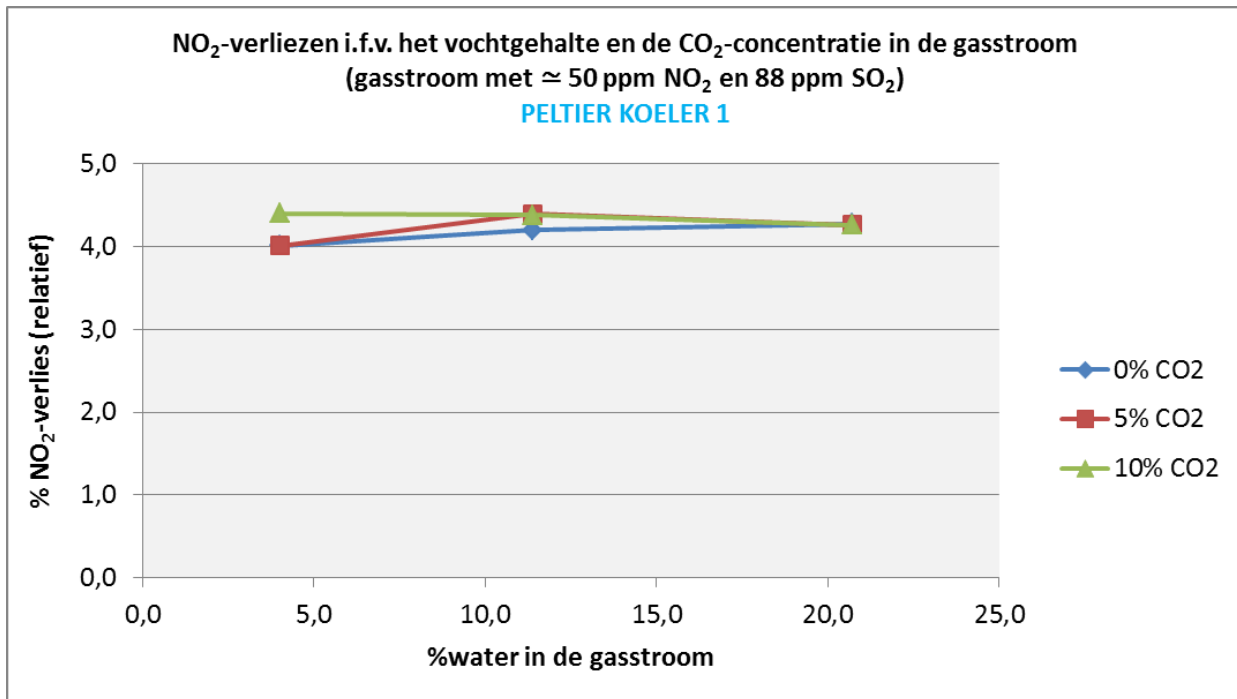
PELTIER KOELER 1



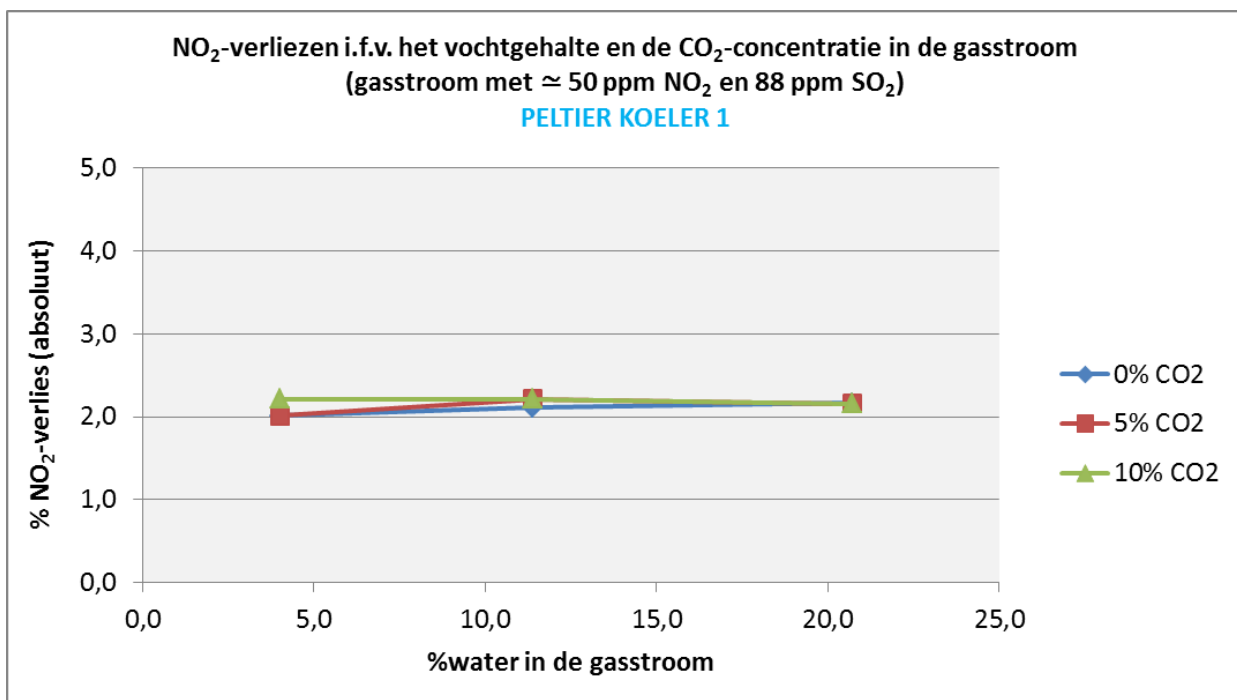
Figuur 72: Relatieve verliezen aan SO₂ in de koeler i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en de CO₂-concentratie in de gasstroom (gasstroom met NO₂ en SO₂)



Figuur 73: Absolute verliezen aan SO₂ in de koeler i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en de CO₂-concentratie in de gasstroom (gasstroom met NO₂ en SO₂)



Figuur 74: Relatieve verliezen aan NO₂ in de koeler i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en de CO₂-concentratie in de gasstroom (gasstroom met NO₂ en SO₂)



Figuur 75: Absolute verliezen aan NO₂ in de koeler i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en de CO₂-concentratie in de gasstroom (gasstroom met NO₂ en SO₂)

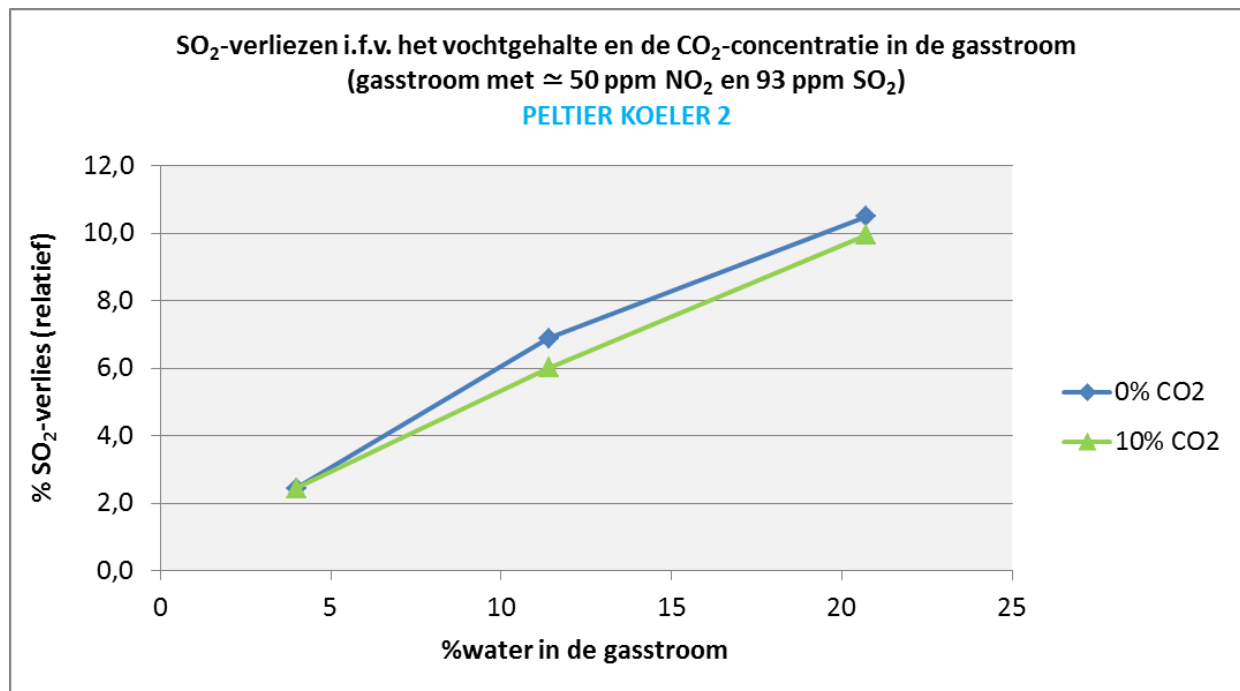
Tabel 50: NO₂/SO₂ verliezen i.f.v. het watergehalte en de CO₂-concentratie in de gasstroom –NO₂/SO₂ in gasstroom aanwezig (testen 15/03/2016)

Koeler Debiet l/min	t gas ingang koeler °C	% water	ppm SO ₂ ref (a)	ppm NO ₂ Ref (a)	%CO ₂	Tijdstip meting	ppm NO ₂ in de natte gasstroom	ppm NO ₂ in de droge gasstroom (b)	NO ₂ verlies %	NO ₂ verlies ppm		ppm SO ₂ in de natte gasstroom	ppm SO ₂ in de droge gasstroom (b)	SO ₂ verlies %	SO ₂ verlies ppm
	80	0	87,8	50,1	0	9:00		50,1				87,8	87,8		
	80	0	87,8	50,1	5	9:20		50,1				87,8	87,8		
	80	0	87,8	50,1	10	9:31		50,1				87,8	87,8		
3	80	4,0	87,8	50,2	0	9:45	47,8	48,2	4,0	2,0		86,1	86,8	1,1	1,0
3	80	4,0	87,8	50,2	5	9:58	47,8	48,2	4,0	2,0		86,1	86,8	1,1	1,0
3	80	4,0	87,8	50,3	10	10:10	47,7	48,1	4,4	2,2		86,0	86,7	1,3	1,1
3	80	11,4	87,8	50,3	0	10:20	47,8	48,2	4,2	2,1		84,4	85,1	3,1	2,7
3	80	11,4	87,8	50,4	5	10:34	47,8	48,2	4,4	2,2		84,5	85,2	3,0	2,6
3	80	11,4	87,8	50,5	10	10:46	47,9	48,3	4,4	2,2		84,6	85,3	2,9	2,5
3	80	20,7	87,8	50,6	0	10:58	48,0	48,4	4,3	2,2		83,2	84,0	4,4	3,8
3	80	20,7	87,8	50,7	5	11:14	48,1	48,5	4,3	2,2		83,2	84,0	4,4	3,8
3	80	20,7	87,8	50,7	10	11:27	48,1	48,5	4,3	2,2		83,2	84,0	4,4	3,8
	80	0	87,8	50,8	0	11:40		50,8				87,8	87,8		
	80	0	87,8	50,8	5	11:48		50,8				87,8	87,8		
	80	0	87,8	50,8	10	11:55		50,8				87,8	87,8		

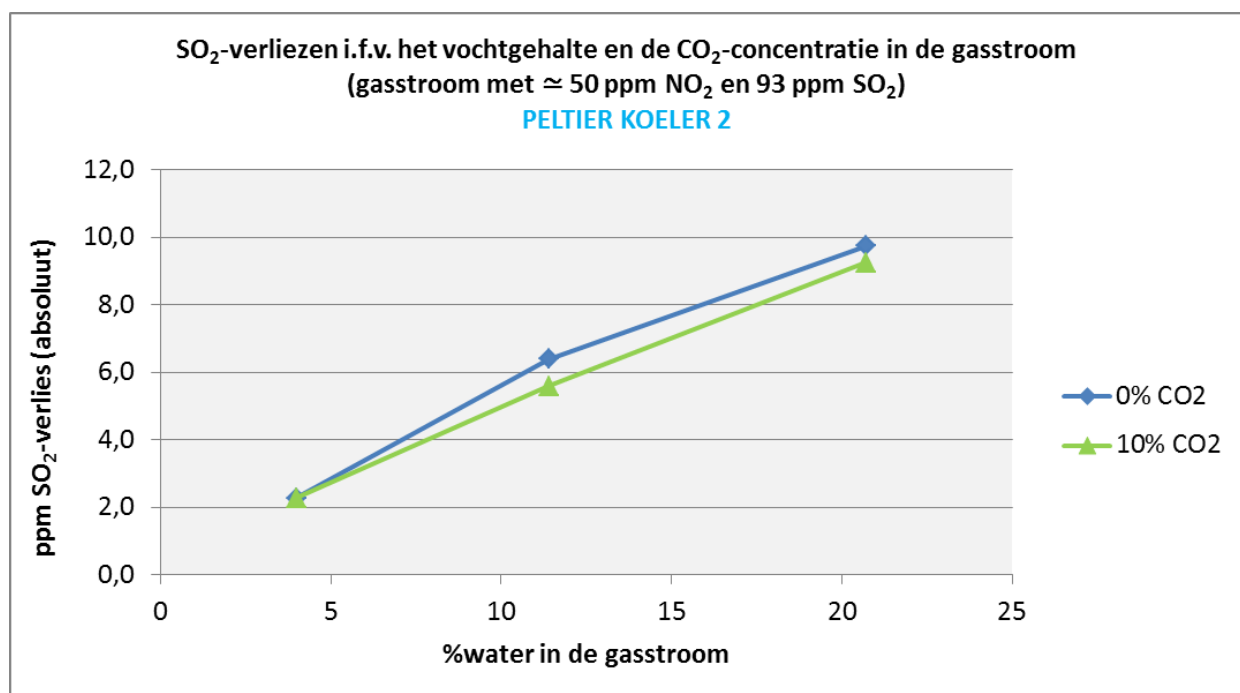
(a) De rechtstreeks met monitor gemeten NO₂ en SO₂ concentraties in de droge gasstroom in de gasverdeelleiding worden als referentiepunt genomen.

(b) De met monitoren gemeten concentraties aan de uitgang van de koeler worden naar concentraties in het absoluut droge gas omgerekend met het watergehalte dat nog na de koeler aanwezig is.

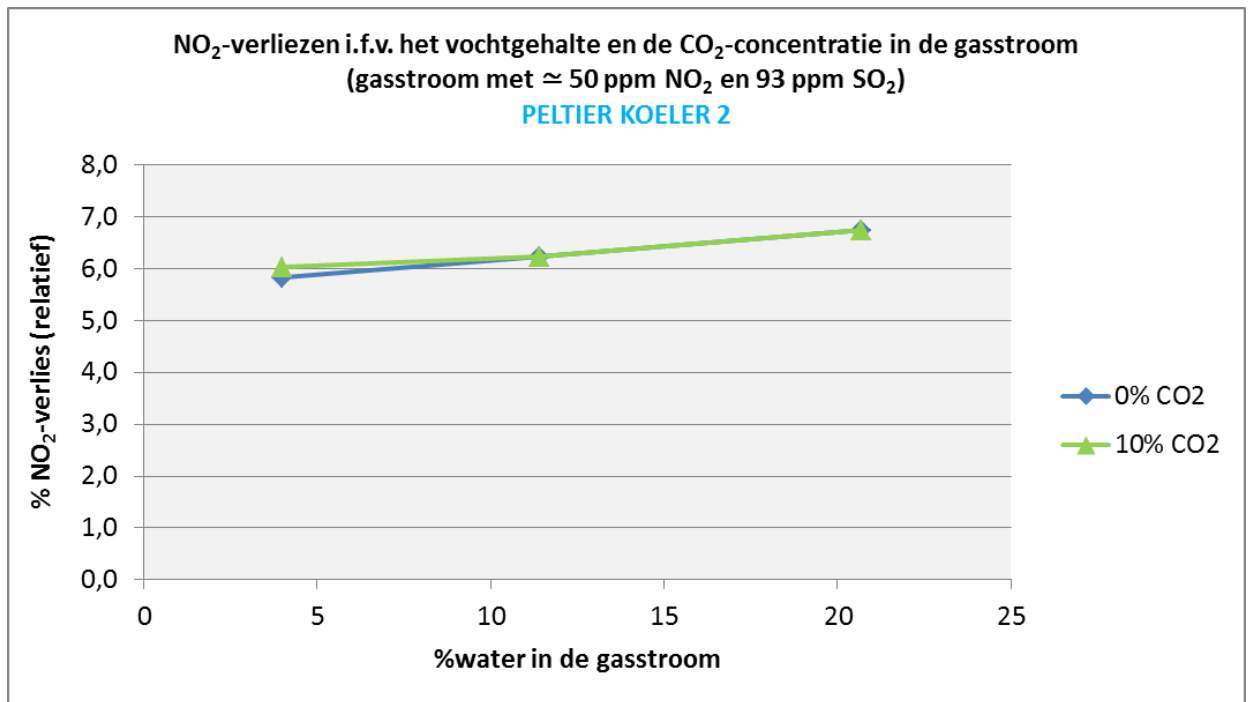
PELTIER KOELER 2



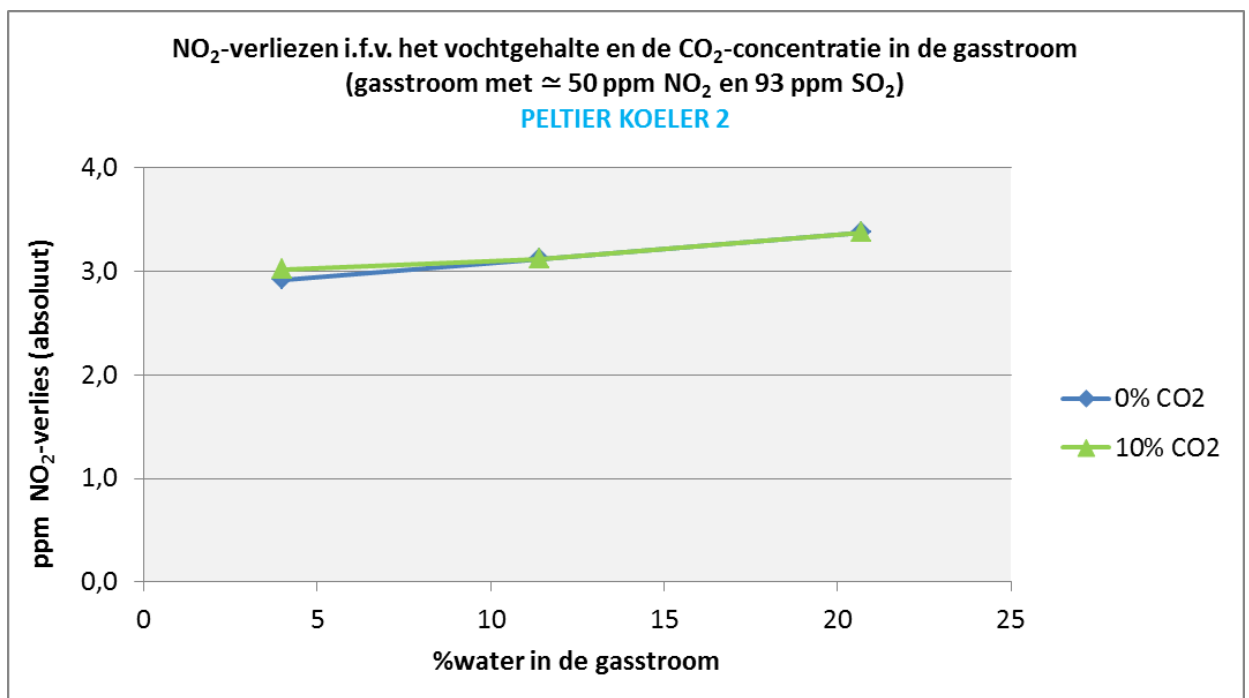
Figuur 76: Relatieve verliezen aan SO₂ in de koeler i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en de CO₂-concentratie in de gasstroom (gasstroom met NO₂ en SO₂)



Figuur 77: Absolute verliezen aan SO₂ in de koeler i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en de CO₂-concentratie in de gasstroom (gasstroom met NO₂ en SO₂)



Figuur 78: Relatieve verliezen aan NO₂ in de koeler i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en de CO₂-concentratie in de gasstroom (gasstroom met NO₂ en SO₂)



Figuur 79: Absolute verliezen aan NO₂ in de koeler i.f.v. het watergehalte van de gasstroom en de CO₂-concentratie in de gasstroom (gasstroom met NO₂ en SO₂)

Tabel 51: NO₂/SO₂ verliezen i.f.v. het watergehalte en de CO₂-concentratie in de gasstroom –NO₂/SO₂ in gasstroom aanwezig (testen 16/02/2017)

Koeler Debiet l/min	t gas ingang koeler °C	% water	ppm SO ₂ ref (a)	ppm NO ₂ Ref (a)	%CO ₂	Tijdstip meting	ppm NO ₂ in de natte gasstroom	ppm NO ₂ in de droge gasstroom (b)	NO ₂ verlies %	NO ₂ verlies ppm	ppm SO ₂ in de natte gasstroom	ppm SO ₂ in de droge gasstroom (b)	SO ₂ verlies %	SO ₂ verlies ppm
	80	0	92,9	50,1	10	12:37		51,0				92,9		
	80	0	92,9	50,1	0	12:45		51,0				92,9		
3	80	4,0	92,9	50,1	10	13:00	46,8	47,2	5,8	2,9	89,9	90,6	2,4	2,3
3	80	4,0	92,9	50,1	0	12:50	46,7	47,1	6,0	3,0	89,9	90,6	2,4	2,3
3	80	11,4	92,9	50,1	10	13:08	46,6	47,0	6,2	3,1	85,8	86,5	6,9	6,4
3	80	11,4	92,9	50,1	0	13:15	46,6	47,0	6,2	3,1	86,6	87,3	6,0	5,6
3	80	20,7	92,9	50,1	10	13:30	46,3	46,7	6,7	3,4	82,4	83,1	10,5	9,8
3	80	20,7	92,9	50,1	0	13:24	46,3	46,7	6,7	3,4	82,9	83,7	10,0	9,2
	80	0	92,9	50,1	10	13:40		51,0				92,9		
	80	0	92,9	50,1	0	13:47		51,0				92,9		

(a) De rechtstreeks met monitor gemeten NO₂ en SO₂ concentraties in de droge gasstroom in de gasverdeelleiding worden als referentiepunt genomen.

(b) De met monitoren gemeten concentraties aan de uitgang van de koeler worden naar concentraties in het absoluut droge gas omgerekend met het watergehalte dat nog na de koeler aanwezig is.