



Notitie

Warmtenet KMA

Toetsing ontwerp aan EN13941 middels AGFW401

Opdrachtgever: Rijksvastgoedbedrijf
Project: Aanleg SV-leidingen Koninklijke Militaire Academie
Kenmerk: 22768-N01
Revisie: A

Auteur(s): ing. C. Huang

Datum: 12-01-2022

auteur

ing. C. Huang

paraaf:

controle:

ir. P. Kreuk

paraaf:

Inleiding

In het kader van vergunningverlening verzorgt Rotterdam Engineering (RE) in opdracht van Rijksvastgoedbedrijf de toetsing van stadsverwarmingsleidingen (SV). Deze notitie behandelt de toetsing van de aanleg van stadsverwarmingsleidingen op het terrein van Koninklijke Militaire Academie (KMA) te Breda aan de Europese norm voor stadsverwarmingsleidingen, de EN13941-1:2019. In dit tracé bevindt zich een HDD en een zinker. Deze twee onderdelen kunnen niet getoetst worden middels AGFW en wordt in dit rapport buiten beschouwing gelaten. De sterkte-technische berekening (PLE) van de HDD en zinker wordt in dezelfde opdracht meegeleverd in een ander document (zie document: 22768-R02 Sterkterapportage d.d. 12-01-2022).

Deze notitie bevat de volgende onderdelen:

- Beschouwing van de normen die van toepassing zijn op warmteleidingen;
- Uitgangspunten van het ontwerp;
- Toetsing van het ontwerp middels AGFW401;
- Conclusie;
- Bijlagen.

1. Normen sterktechnisch ontwerp

In Nederland is voor transportleidingen de NEN3650:2020 van toepassing. Deze norm maakt onderscheid op basis van de te transporteren stoffen, namelijk Groep I voor intrinsiek gevaarlijke stoffen en groep II voor indirect gevaarlijke stoffen. Stadsverwarmingsleidingen met een diameter kleiner of gelijk aan DN300 vallen onder groep II. Voor groep II warmteleidingen verwijst de NEN3650 naar de EN13941-1:2019. Het huidige ontwerp betreft leidingdelen met diameters kleiner of gelijk aan DN300 en valt dus onder de EN13941-1.

1.1. Toepassing Europese norm op sterktechnisch ontwerp warmteleidingen

De EN13941-1:2019 is de Europese norm voor ondergrondse Staal-PUR-PE warmteleidingen. In Duitsland is de toepassing van deze norm nader uitgewerkt in het AGFW-Arbeitsblatt FW 401. Deze AGFW FW 401 wordt toegepast voor de toetsing van het in deze notitie besproken tracé.

1.2. Toepassing Duitse richtlijn

Het te toetsen warmtetracé wordt getoetst aan de EN13941-1 middels de diagrammen die zijn opgenomen in de AGFW401 Teil II. Op basis van de ontwerpuitgangspunten wordt in deze diagrammen gespecificeerd over welke lengte expansiekussens toegepast dienen te worden en met welke dikte.

2. Uitgangspunten

2.1. Ontwerpuitgangspunten

Het te toetsen tracé heeft de volgende ontwerpuitgangspunten:

Ontwerp van het tracé:

- Ontwerptekeningen : Bijgevoegd in Bijlage 1
- AGFW-Arbeitsblatt FW 401, Teil 11 : Bijgevoegd in Bijlage 2

Algemeen:

- Locatie : Koninklijke Militaire Academie, Breda
- Ontwerptekeningen : 22768-SV-UO-RK01 t/m 22768-SV-UO-RK03
(3 routekaarten)
- Grondslag : Aanleg in zandgrond
- Materiaal : Standaard Isoplus materiaal
- Expansiekussens : 110 kPa bij 50% indrukking

Proces- en aanlegcondities:

- Ontwerptemperatuur : 90°C (primair net)
- Aanlegtemperatuur : 10°C
- Ontwerpdruk : 16,0 bar(g)
- Voorspanning : n.v.t.
- Gronddekking : 0,70m > 1,86m

Diameter & wanddikte:

- DN65 : 3,2mm wanddikte staal
- DN80 : 3,2mm wanddikte staal
- DN100 : 3,6mm wanddikte staal
- DN125 : 4,0mm wanddikte staal
- DN150 : 4,5mm wanddikte staal

2.2. Overige ontwerpuitgangspunten

De volgende uitgangspunten zijn van toepassing op de te toetsen elementen:

- Bij de toetsing is de bocht Nummering aangehouden zoals op de ontwerptekeningen is gehanteerd;
- De muurdoorvoeren vallen buiten de scope van deze notitie. Er wordt uitgegaan dat er vanuit de muurdoorvoer en de bijbehorende vastpunt constructie of ophanging geen verschilzettingen ontstaan op de leiding;
- De AGFW diagrammen gaan uit van 0,8m, 1,2m of 1,6m dekking. Er is conservatief 0,8m dekking aangehouden, ook waar de leiding dieper ligt, omdat dit de minste wrijving en dus de grootste uitzetting geeft;
- Het T-stuk (T1-02) betreft een DN125xDN125. Dit T-stuk ontbreekt bij de AGFW en kan daardoor niet getoetst worden. Aangezien het T-stuk relatief dichtbij het natuurlijk vastpunt ligt en korte beenlengte heeft, wordt het T-stuk als een DN125xDN100 beschouwd en getoetst middels AGFW;
- Het T-stuk (T1-03) betreft een DN125xDN125. Dit T-stuk ontbreekt bij de AGFW en kan daardoor niet getoetst worden. Aangezien het T-stuk relatief dichtbij het natuurlijk vastpunt ligt, wordt het T-stuk als een DN125xDN100 beschouwd en getoetst middels AGFW;
- Bochten met bocht nummer B1-09, B1-14 en B3-13 hebben een dekking van minder dan 0,8m, dus kunnen niet getoetst worden middels AGFW. Aangezien de beperkte beenlengte (weinig expansie) en beperkte afwijking van de 0,8m dekking, worden deze bochten getoetst middels AGFW;
- Bocht met bocht nummer B1-12 is de diepteligging in het werk te bepalen. Aangezien de beperkte beenlengte (weinig expansie) wordt deze bocht getoetst middels AGFW;
- Bochten (B2-09) met een hoek kleiner of gelijk aan 15° worden als een rechte leidingdeel beschouwd en wordt niet getoetst middels AGFW;
- Bochten met bocht nummer B3-08 en B3-31 heeft een hoek van 22° en 20°. Aangezien de beperkte beenlengte (weinig expansie), wordt deze bocht als een rechte leidingdeel beschouwd en wordt niet getoetst middels AGFW.

3. Toetsing ontwerp

3.1. Voorgeschreven condities AGFW – Bochten

Bochtcategorie 1

Bocht (90°)	: B1-02 t/m B1-05, B1-09, B1-12, B1-13 t/m B1-16, B2-10, B3-09, B3-21 t/m B3-25, B3-27 t/m B3-29, B3-33 t/m B3-37
Diameter	: DN150, DN125, DN100, DN80, DN65
Maximale beenlengte	: ≤ 6 m (tot nvp)
Dekking	: 0,8 m
Toetsing op basis van Diagramm 7	: AGFW-Arbeitsblatt FW 401, Teil 11,
Lengte expansiekussen	: 0,5 m
Dikte expansiekussen	: 30 mm

Bochtcategorie 2

Bocht (90°)	: B1-01
Diameter	: DN150, DN125
Maximale beenlengte	: ≤ 15 m (tot nvp)
Dekking	: 0,8 m
Toetsing op basis van Diagramm 7	: AGFW-Arbeitsblatt FW 401, Teil 11,
Lengte expansiekussen	: 1,0 m
Dikte expansiekussen	: 30 mm

Bochtcategorie 3

Bocht (90°)	: B3-10, B3-12 t/m B3-20 en B3-26
Diameter	: DN100, DN80
Maximale beenlengte	: ≤ 17 m (tot nvp)
Dekking	: 0,8 m
Toetsing op basis van Diagramm 7	: AGFW-Arbeitsblatt FW 401, Teil 11,
Lengte expansiekussen	: 1,0 m
Dikte expansiekussen	: 30 mm

Bochtcategorie 4

Bocht (90°)	: B3-30 en B3-32
Diameter	: DN65
Maximale beenlengte	: ≤ 22 m (tot nvp)

Dekking	: 0,8 m
Toetsing op basis van Diagramm 7	: AGFW-Arbeitsblatt FW 401, Teil 11,
Lengte expansiekussen	: 1,0 m
Dikte expansiekussen	: 30 mm

Bochtcategorie 5

Bocht (90°)	: B1-06 en B1-07
Diameter	: DN150
Maximale beenlengte	: ≤ 52 m (tot nvp)
Dekking	: 0,8 m
Toetsing op basis van Diagramm 7	: AGFW-Arbeitsblatt FW 401, Teil 11,
Lengte expansiekussen	: 2,5 m
Dikte expansiekussen	: 60 mm

Bochtcategorie 6

Bocht (90°)	: B1-10 en B1-11
Diameter	: DN125
Maximale beenlengte	: ≤ 20 m (tot nvp)
Dekking	: 0,8 m
Toetsing op basis van Diagramm 7	: AGFW-Arbeitsblatt FW 401, Teil 11,
Lengte expansiekussen	: 1,5 m
Dikte expansiekussen	: 30 mm

Bochtcategorie 7

Bocht (60°)	: B3-11
Diameter	: DN100
Maximale beenlengte	: ≤ 15 m (tot de bocht)
Dekking	: 0,8 m
Toetsing op basis van Diagramm 23	: AGFW-Arbeitsblatt FW 401, Teil 11,
Lengte expansiekussen	: 1,5 m
Dikte expansiekussen	: 30 mm

3.2. T-stukken

3.2.1. Toelichting

Ten gevolge van verankering (vastliggen door grondwrijving) wordt er axiale spanning opgebouwd in een T-stuk. Deze spanning moet worden bepaald. Conform de AGFW-methodiek loopt deze op vanaf het bochtspunt tot aan de verankeringslengte L_0 , waar deze de maximale waarde bereikt ($\Delta\sigma_{\max}$). Daar wordt de uitzetting volledig tegengewerkt. De maximale axiale spanning bij verankering volgt uit volgende formule:

$$\Delta\sigma_{\max} = \alpha_{\text{staal}} \cdot \Delta T \cdot E_{\text{staal}}$$

De axiale spanning in het T-Stuk ter hoogte van het T-stuk (op afstand L_{bocht} van de dichtstbijzijnde 90°-bocht) conform de AGFW-methodiek wordt berekend middels de volgende formule:

$$\Delta\sigma_{\text{axiaal}} = \frac{L_{\text{bocht}}}{L_0} \cdot \Delta\sigma_{\max} \quad \text{als } L_{\text{bocht}} < L_0$$

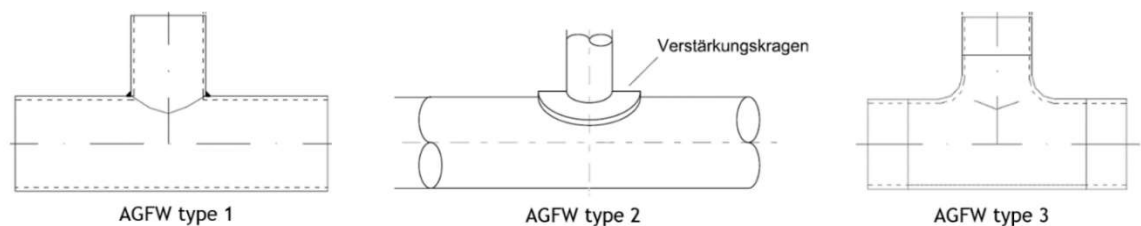
of:

$$\Delta\sigma_{\text{axiaal}} = \Delta\sigma_{\max} \quad \text{als } L_{\text{bocht}} \geq L_0$$

Op basis van de berekende spanning kan de spanningsbereiklijn bepaald worden (100, 200 of 300). Er kan conservatief een hogere spanningslijn worden gebruikt.

Daarnaast wordt op basis van de lengte tot het vast punt L_{VP} de axiale uitzetting van de doorgaande leiding (run) ter hoogte van het T-stuk bepaald.

Op basis van de te gebruiken spanningsbereiklijn, de axiale verplaatsing van de doorgaande leiding en de lengte van de aftakking wordt in het relevante diagram bepaald of het T-stuk voldoet, en welk type T-stuk minimaal vereist is voor de gegeven combinatie van axiale verplaatsing en lengte van de aftakking (zie figuur 2 voor de verschillende types T-stukken die de AGFW onderscheidt). Indien het T-stuk voldoet, wordt de vereiste kussendikte bepaald (1,5 keer de axiale verplaatsing van de doorgaande leiding, met een minimum dikte van 40 mm). De kussenlengte is standaard 2 meter, vanuit de aftakking.



Figuur 2: AGFW T-stuk types

3.2.2. Voorgeschreven condities AGFW - T-stukken

T1-01

T-stuk	: Onversterkt T-stuk (AGFW type 1)
Diameter	: DN150 x DN65
Afstand T-stuk tot NVP (run)	: 4 m
Lengte aftak	: 6 m
L_{bocht}	: 41,1 m
L_0	: 118 m
Dekking	: 0,8 m
Toetsing op basis van Diagramm 103	: AGFW-Arbeitsblatt FW 401, Teil 11,
Spanning t.p.v. T-stuk	$\Delta\sigma_{\text{max}} = \alpha_{\text{staal}} \cdot \Delta T \cdot E_{\text{staal}}$ $\Delta\sigma_{\text{max}} = 1,24 \cdot 10^{-5} \cdot 80 \cdot 207000 = 205 \text{ MPa}$ $\Delta\sigma = \frac{L_{\text{bocht}}}{L_0} \cdot \Delta\sigma_{\text{max}} = \frac{41,1}{118} \cdot 205 = 71 \text{ N/mm}^2$ Spanningslijn 100
Verplaatsing t.p.v. T-stuk (ΔU) Diagramm 127	: AGFW-Arbeitsblatt FW 401, Teil 11, $\approx 5 \text{ mm}$
Max. lengte aftakking	: 9,5 m $\rightarrow$ aftaklengte van 6 m voldoet
Lengte expansiekussens	: 2 m vanaf de aftakking. Tot de onderbocht rondom de leiding en vervolgens aan weerszijden
Minimale dikte kussens	: $1,5 \cdot 5 = 7,5 \text{ mm}$

T1-02

T-stuk	: Smeedstuk (AGFW type 3)
Diameter	: DN125 x DN125 getoetst als DN125-DN100
Afstand T-stuk tot NVP (run)	: 1,1 m
Lengte aftak	: 3,0 m
L_{bocht}	: 6,8 m
L_0	: 100 m
Dekking	: 0,8 m
Toetsing op basis van Diagramm 98	: AGFW-Arbeitsblatt FW 401, Teil 11,
Spanning t.p.v. T-stuk	$\Delta\sigma_{\text{max}} = \alpha_{\text{staal}} \cdot \Delta T \cdot E_{\text{staal}}$ $\Delta\sigma_{\text{max}} = 1,24 \cdot 10^{-5} \cdot 80 \cdot 207000 = 205 \text{ MPa}$ $\Delta\sigma = \frac{L_{\text{bocht}}}{L_0} \cdot \Delta\sigma_{\text{max}} = \frac{7,0}{100} \cdot 205 = 14 \text{ N/mm}^2$ Spanningslijn 100
Verplaatsing t.p.v. T-stuk (ΔU) Diagramm 127	: AGFW-Arbeitsblatt FW 401, Teil 11,

Max. lengte aftakking	≈ 1 mm
Lengte expansiekussen	: 16,6 m → aftaklengte van 3,0 m voldoet
	: 2 m vanaf de aftakking. Tot de onderbocht
	rondom de leiding en vervolgens aan weerszijden
Minimale dikte kussens	: $1,5 \cdot 1 = 1,5 \text{ mm}$

T1-03

T-stuk	: Onversterkt T-stuk (AGFW type 1)
Diameter	: DN150 x DN125 wordt getoetst als DN150-DN100
Afstand T-stuk tot NVP (run)	: 11 m
Lengte aftak	: 4,5 m
L_{bocht}	: 16,0 m
L_0	: 118 m
Dekking	: 0,8 m
Toetsing op basis van Diagramm 105	: AGFW-Arbeitsblatt FW 401, Teil 11,
Spanning t.p.v. T-stuk	: $\Delta\sigma_{\text{max}} = \alpha_{\text{staal}} \cdot \Delta T \cdot E_{\text{staal}}$

$$\Delta\sigma_{\text{max}} = 1,24 \cdot 10^{-5} \cdot 80 \cdot 207000 = 205 \text{ MPa}$$

$$\Delta\sigma = \frac{L_{\text{bocht}}}{L_0} \cdot \Delta\sigma_{\text{max}} = \frac{16,0}{118} \cdot 207 = 28 \text{ N/mm}^2$$

Spanningslijn 100

Verplaatsing t.p.v. T-stuk (ΔU)	: AGFW-Arbeitsblatt FW 401, Teil 11,
Diagramm 127	

	≈ 13 mm
Max. lengte aftakking	: 8,5 m → aftaklengte van 4,5 m voldoet
Lengte expansiekussen	: 2 m vanaf de aftakking. Tot de onderbocht
	rondom de leiding en vervolgens aan weerszijden
Minimale dikte kussens	: $1,5 \cdot 8,5 = 12,8 \text{ mm}$

T3-01

T-stuk	: Onversterkt T-stuk (AGFW type 1)
Diameter	: DN125 x DN65
Afstand T-stuk tot NVP (run)	: Bocht B3-01 is een DN125 leiding en B3-02 is een DN100 leiding. De natuurlijk vastpunt zal met factor circa 1,5 verplaatsen; $1,5 \times 2,2 = 3,3 \text{ m}$
Lengte aftak	: 3,7 m
L_{bocht}	: 6,1 m
L_0	: 100 m
Dekking	: 0,8 m
Toetsing op basis van Diagramm 96	: AGFW-Arbeitsblatt FW 401, Teil 11,
Spanning t.p.v. T-stuk	: $\Delta\sigma_{\text{max}} = \alpha_{\text{staal}} \cdot \Delta T \cdot E_{\text{staal}}$

$$\Delta\sigma_{\text{max}} = 1,24 \cdot 10^{-5} \cdot 80 \cdot 207000 = 205 \text{ MPa}$$

	$\Delta\sigma = \frac{L_{\text{bocht}}}{L_0} \cdot \Delta\sigma_{\text{max}} = \frac{6,1}{100} \cdot 205 = 13 \text{ N/mm}^2$
Verplaatsing t.p.v. T-stuk (ΔU)	: AGFW-Arbeitsblatt FW 401, Teil 11,
Diagramm 127	
	$\approx 4 \text{ mm}$
Max. lengte aftakking	: 10,2 m $\rightarrow$ aftaklengte van 3,7 m voldoet
Lengte expansiekussen	: 2 m vanaf de aftakking. Tot de onderbocht rondom de leiding en vervolgens aan weerszijden
Minimale dikte kussens	: $1,5 \cdot 4 = 6 \text{ mm}$
T3-02	
T-stuk	: Onversterkt T-stuk (AGFW type 1)
Diameter	: DN100 x DN65
Afstand T-stuk tot NVP (run)	: 1,3 m
Lengte aftak	: 3,3 m
L_{bocht}	: 4,2 m
L_0	: 93 m
Dekking	: 0,8 m
Toetsing op basis van	: AGFW-Arbeitsblatt FW 401, Teil 11,
Diagramm 96	
Spanning t.p.v. T-stuk	$\Delta\sigma_{\text{max}} = \alpha_{\text{staal}} \cdot \Delta T \cdot E_{\text{staal}}$ $\Delta\sigma_{\text{max}} = 1,24 \cdot 10^{-5} \cdot 80 \cdot 207000 = 205 \text{ MPa}$ $\Delta\sigma = \frac{L_{\text{bocht}}}{L_0} \cdot \Delta\sigma_{\text{max}} = \frac{4,2}{93} \cdot 205 = 9 \text{ N/mm}^2$
	Spanningslijn 100
Verplaatsing t.p.v. T-stuk (ΔU)	: AGFW-Arbeitsblatt FW 401, Teil 11,
Diagramm 127	
	$\approx 1 \text{ mm}$
Max. lengte aftakking	: 10,2 m $\rightarrow$ aftaklengte van 3,3 m ffvoldoet
Lengte expansiekussen	: 2 m vanaf de aftakking. Tot de onderbocht rondom de leiding en vervolgens aan weerszijden
Minimale dikte kussens	: $1,5 \cdot 1 = 1,5 \text{ mm}$
03-T03:	
T-stuk:	: Parallel T-stuk
Diameter:	: DN100 x DN50
Dekking:	: 0,8 m
L,I	: 1,11 m
L,II	: 15,55 m
x	: 11,16 m
I,2	: 2,5 m

Toetsing op basis van: : AGFW-Arbeitsblatt FW 401, Teil 11, Diagramm 120
(voor toetsing van parallel T-stukken)

Spanning t.p.v. T-stuk: : $\Delta\sigma = \alpha_{st} * \Delta T * E$
: $\Delta\sigma = 1,24 * 10^{-5} * 80 * 207000 = 205 \text{ N/mm}^2$

Verplaatsing volgt uit: : AGFW-Arbeitsblatt FW 401, Teil 11, Diagramm 121

$U_{MAX} (L,I) =$: 1 mm

$U_{MAX} (L,II) =$: 20 mm Leidend

$\Delta U_{T-STUK} =$: $20 * ((16-11) / 16) = 6\text{mm}$ (t.p.v. T-stuk)

Resultaat:

Lengte expansiekussens: : 1,8m vanaf aftakking (Tot bocht rondom & erna
aan weerszijde van de leiding)

Min. dikte expansiekussens: : $1,7 * 7 = 12\text{mm}$

4. Kussenspecificatie

De minimale eisen aan het ontwerp betreffende de expansievoorzieningen conform de AGFW-Arbeitsblatt FW 401, Teil 11 volgen uit de toetsing in hoofdstuk 3.

Bij het toepassen van stijve en half stijve kussens dient een correctiefactor op de kussendikte te worden toegepast. Voor stijve kussens is deze factor 1,4, terwijl voor half stijve kussens 1,2 kan worden aangehouden (hoofdstuk 6 van de AGFW-Arbeitsblatt FW 401 – Teil 11). Rijksvastgoedbedrijf maakt gebruik van kussens waarbij een druk van 110 kPa een indrukking geeft van 50%. Volgens grafiek A2-12 van AGFW-401-10 ligt de opgegeven kussenstijfheid dicht bij 'stijf' dan bij 'middelstijf'. Een factor van 1,4 wordt derhalve toegepast. Rijksvastgoedbedrijf werkt met standaardlengtes (0,5m) en diktes (40mm), waardoor de berekende lengtes en diktes afgerond worden. Zie Tabel 1 voor het definitieve kussenontwerp.

Tabel 1: Samenvatting kussenspecificatie

Type	DN-maat	AGFW lengte kussen [m]	AGFW dikte kussen ¹ [mm]	Ontwerp lengte kussen [m]	Ontwerp dikte kussen [mm]	Voldoet
BC1	Alle DN-maten	0,5	42	0,5	40	Ja ²
BC2	DN150 & DN125	1,0	42	1,0	40	Ja ²

¹ Inclusief correctiefactor voor middelstijve kussens (1,4)

² De minimale kussendikte conform AGFW bedraagt 30mm. Met de correctiefactor op de dikte van 1,4 komt dit uit 42mm. Dit is afgerond naar 40mm, omdat de toelaatbare indrukking niet wordt bereikt.

BC3	DN100 & DN80	1,0	42	1,0	40	Ja ²
BC4	DN65	1,0	42	1,0	40	Ja ²
BC5	DN150	2,5	84	2,5	80	Ja ²
BC6	DN125	1,5	42	1,5	80	Ja
BC7	DN100	1,5	42	1,5	80	Ja
T1-01	DN150-DN65	2,0	3	2,0	40	Ja
T1-02	DN125-DN125	2,0	8	2,0	40	Ja
T1-03	DN150-DN125	2,0	2	2,0	40	Ja
T3-01	DN125-DN65	2,0	13	2,0	40	Ja
T3-02	DN100-DN65	2,0	2	2,0	40	Ja
T3-03	DN100-DN50	2,0	12	2,0	40	Ja

5. Conclusie

Op basis van het ontwerp van het primaire SV-tracé voor het tracé op het terrein van Koninklijke Militaire Academie te Breda (zie Bijlage 1 voor de ontwerptekeningen) en de in deze rapportage gepresenteerde toetsing wordt het volgende geconcludeerd: de spanningen, vervormingen en contactdrukken blijven beneden de maximaal toelaatbare waarden, onder de volgende voorwaarden:

- Plaatsen van kussens op de bochten en T-stuk zoals aangegeven op de ontwerptekeningen en zoals aangegeven in hoofdstuk 3 van deze notitie;
- De grond dient, na de werkzaamheden aan de leiding, goed te worden verdicht.

De afsluiters die zich in het tracé bevinden vallen buiten de scope van dit project en zijn om die reden niet getoetst in deze notitie.

Bijlagen

Bijlage 1

Ontwerptekeningen

Bijlage 2
121,en 127

AGFW-Arbeitsblatt FW 401, Teil 11, Diagramm 7, 23, 96, 98, 103, 105, 120,

Bijlage 1

Ontwerptekeningen

Bijlage 2

AGFW-Arbeitsblatt FW 401, Teil II, Diagramm 7, 23, 96, 98,
103, 105, 120, 121 en 127