

KWR PCD 3-2 | januari 2025

**Richtlijn
drinkwaterleidingen
buiten gebouwen
(gebaseerd op de
norm NEN-EN
805:2000)**

Deel 2: Planvorming

Richtlijn drinkwaterleidingen buiten gebouwen (gebaseerd op de norm NEN-EN 805:2000); *Deel 2: Planvorming*

KWR | PCD 3-2 | januari 2025

Opdrachtgever

Platform Bedrijfsvoering

Auteurs

R.H.S. (Ralph) Beuken en M.A. (Martin) Meerkerk

Jaar van publicatie
2025

Meer informatie
Ralph Beuken
T (030) 60 69 758
E Ralph.Beuken@kwrwater.nl

PO Box 1072
3430 BB Nieuwegein
The Netherlands

T +31 (0)30 60 69 511
F +31 (0)30 60 61 165
E info@kwrwater.nl
I www.kwrwater.nl

KWR

KWR PCD 3-2 | januari 2025 ©

Alle rechten voorbehouden aan KWR. Niets uit deze uitgave mag - zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van KWR - worden veeleelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier.

Praktijkcode Drinkwater

Status

De Nederlandse drinkwaterbedrijven maken in de dagelijkse bedrijfsvoering gebruik van richtlijnen met als doel het (hoge) kwaliteitsniveau van de bedrijfsvoering te handhaven en waar mogelijk verder te verbeteren, en/of de efficiëntie van de bedrijfsvoering te verhogen en bij te dragen aan het verder uniformeren van de werkwijzen binnen de drinkwatersector. Deze richtlijnen hebben doorgaans het karakter van een 'aanbeveling van een te volgen gedrag of handelswijze' en niet van een 'bindend voorschrift'¹. Het gaat om privaatrechtelijke richtlijnen voor de ondersteuning in de dagelijkse praktijk van de bedrijfsvoering ('best practices') in het gehele traject van bron tot tap. De richtlijnen (soms ook aangeduid als 'leidraad') worden sinds 2008 opgesteld en hebben in 2015 de aanduiding 'Praktijkcode Drinkwater' (PCD) gekregen.

Verantwoording

Praktijkcodes worden doorgaans opgesteld in opdracht van het Platform Bedrijfsvoering, waarin vertegenwoordigers van alle Nederlandse drinkwaterbedrijven en het Vlaamse bedrijf Pidpa participeren. Ook in opdracht van andere gremia kunnen praktijkcodes worden opgesteld. Dit Platform heeft het beheer van praktijkcodes gedelegeerd aan de Begeleidingsgroep Praktijkcodes, die de 'eigenaarsrol' vervult. Ook in die groep participeert in beginsel één vertegenwoordiger per bedrijf. De voorzittersrol wordt vervuld door een van deze vertegenwoordigers, terwijl KWR Water Research Institute dat doet ten aanzien van de rol van secretaris.

Totstandkoming en kwaliteitsborging

Een specifieke praktijkcode of een revisie daarvan (zie onder) komt met inhoudelijke bijdragen van deskundigen van drinkwaterbedrijven en onderzoekers van KWR Water Research Institute interactief tot stand onder begeleiding van een projectgroep bestaande uit deskundigen van de drinkwaterbedrijven en/of -laboratoria. De leden van die projectgroep worden aangezocht vanwege hun specifieke kennis en/of vaardigheden die noodzakelijk is/zijn voor het betreffende onderwerp. Het voorzitterschap wordt in beginsel ingevuld door een vertegenwoordiger van de drinkwaterbedrijven; KWR Water Research Institute vervult het secretariaat en rapporteert de voortgang aan de Begeleidingsgroep Praktijkcodes. Soms maken drinkwaterbedrijven gebruik van de mogelijkheid om zich als agendalid van een projectgroep te laten registreren. Na vaststelling van een praktijkcode door de begeleidende projectgroep wordt die ter formele vaststelling voorgelegd aan de Begeleidingsgroep Praktijkcodes.

Openbaarheid

Praktijkcodes Drinkwater zijn openbaar en zijn te vinden op de website www.PraktijkcodesDrinkwater.nl

Periodieke actualisatie

Bestaande praktijkcodes worden periodiek geëvalueerd. In beginsel is er sprake van een 'vijfjaarsrevisie': primair wordt de vraag gesteld en bediscussieerd of actualisatie gewenst dan wel noodzakelijk is en als dat het geval blijkt te zijn, wordt die volgens een afgesproken procedure projectmatig geactualiseerd. De vorige editie van een praktijkcode is daarbij uitgangspunt. Als actualisatie niet gewenst of noodzakelijk blijkt te zijn, wordt een praktijkcode in principe opnieuw voor een periode van vijf jaar vastgesteld.

¹ Beide omschrijvingen zijn afkomstig uit 'Van Dale'.

Voorwoord

Deze praktijkcode maakt onderdeel uit van een serie van in totaal drie delen. Een en ander is beschreven in het 'Voorwoord' van het eerste deel ([PCD 3-1²](#) [100]), waarnaar wordt verwezen. Daarin is ook een korte introductie opgenomen. Voor wat betreft dit tweede deel van de driedelige serie praktijkcodes PCD 3 worden vooraf verder nog de volgende opmerkingen gemaakt.

- **Editie**
Dit is (dus) de vijfde editie van de driedelige serie praktijkcodes PCD 3.
- **Begrippen, afkortingen en symbolen**
In deze praktijkcode gehanteerde begrippen met hun bijbehorende omschrijving, afkortingen en acroniemen met de bijbehorende betekenis, en symbolen die niet zijn opgenomen in Bijlage I respectievelijk Bijlage II van de praktijkcode [PCD 3-1](#) zijn opgenomen in Bijlage I respectievelijk Bijlage II van de voorliggende praktijkcode PCD 3-2.
- **Normen waaraan in deze praktijkcode wordt gerefereerd**
(Inter)nationale normen waaraan in deze praktijkcode wordt gerefereerd, zijn opgenomen in Bijlage III.
- **Onderzoeksprogramma**
In de praktijkcode [PCD 3-1](#) is het 'gezamenlijke onderzoek (BTO)' benoemd. In 2024 heeft dat onderzoek een naamsverandering ondergaan (van 'BTO' naar 'Waterwijs') en om die reden is ervoor gekozen dat in de voorliggende praktijkcode aan te duiden als 'onderzoeksprogramma'.
- **Inhoud van deze praktijkcode PCD 3-2**
De voorliggende praktijkcode PCD 3-2 omvat uitsluitend de hoofdstukken 7 'Vervangingsbeslissingen' en 8 'Ontwerp leidingnet' uit de bovenliggende Europese norm [NEN-EN 805](#). De belangrijkste wijzigingen van die hoofdstukken ten opzichte van die volgens de vorige editie van de praktijkcode (praktijkcode [PCD 3:2020](#) [4]) zijn als volgt.
- **Afwijkende opzet van hoofdstuk 8**
In het Voorwoord van de van de praktijkcode [PCD 3-1](#) is al aangegeven dat hoofdstuk 8 over het ontwerpen van leidingnetten afwijkt qua overeenkomst met de opzet van de Europese norm in verband met het verschil tussen ontwerpproces in Nederland en de opzet van het hoofdstuk volgens die norm.
- **Belangrijkste wijzigingen**
De volgende belangrijkste in de hoofdstukken 7 en 8 doorgevoerde wijzigingen ten opzichte van die volgens de vorige editie (praktijkcode [PCD 3:2020](#) [4]) kunnen worden genoemd:
 - meer aandacht voor stakeholders en een meer centrale rol van risico denken bij vervangingsbeslissingen;
 - meer aandacht voor de bepaling van het drinkwaterverbruik bij het ontwerp van leidingnetten;
 - aandacht voor de opwarming van drinkwater in de ondergrond en daarmee verband houdende regelgeving voor de afstand tussen drinkwaterleidingen en warmtenetten;
 - meer aandacht voor streefstructuren bij het ontwerp van leidingnetten;
 - diverse actualisaties als gevolg van de opbrengsten van in de achterliggende jaren uitgevoerd onderzoek;
 - de uitrol van geactualiseerde wet- en regelgeving;
 - gewijzigd assetmanagementbeleid van drinkwaterbedrijven;
 - wijzigingen in de redactionele sfeer.

² In dit document zijn enkelvoudig onderstreepte zaken van een hyperlink voorzien, bij dubbel onderstreepte zaken gaat het om het leggen van nadruk.

Samenstelling projectgroep

De samenstelling van de projectgroep die de totstandkoming van deze praktijkcode heeft begeleid, is hieronder weergegeven. De deelnemers zijn per bedrijf in alfabetische volgorde vermeld.

(Drinkwater)bedrijf of –laboratorium

Brabant Water

Dunea

Evides Waterbedrijf

KWR Water Research Institute

Oasen

Pidpa

PWN

Vitens

Waterbedrijf Groningen

Waternet

WMD Drinkwater

WML

Vertegenwoordiger(s)

Tjakko Haaijer (tot medio 2024)

Ton de Wit

Ronald Straatman

Christian Kivit (voorzitter)

Ralph Beuken

Martin Meerkerk (secretaris)

Patrick Klein

Alain Decamps

Karel Vangeel

Kjeld Gravesteijn

Ton Blom

Erik Schaft

Joost Louter

Derk Rouwhorst

Wim Lafeber

Vaststelling praktijkcode

Deze praktijkcode is vastgesteld door de Begeleidingsgroep Praktijkcodes in de vergadering van 30 januari 2025.

Beheer van de praktijkcode

Commentaar of opmerkingen betreffende de opzet en/of de inhoud van deze praktijkcode kunnen per e-mail worden verzonden aan KWR Water Research Institute: pcd@kwrwater.nl. Indien van toepassing zal een en ander worden gebruikt als input voor een volgende editie van het document.

Inhoud

Inhoud	6
7 Rehabilitation/Vervangingsbeslissingen	8
7.1 Inleiding	8
7.2 Langetermijninvesteringsplan	9
7.3 Context van vervangingsbeslissingen	10
7.3.1 Stakeholders in de externe omgeving	10
7.3.2 Veranderende externe omgeving	11
7.4 Levensduur en risicobepaling	12
7.4.1 Het begrip levensduur	12
7.4.2 De begrippen toestand en conditie	13
7.4.3 Nadere beschouwing op het gebruik van storingsgegevens	13
7.4.4 Nadere beschouwing op het gebruik van expertoordelen	14
7.5 Risicobeoordeling	14
7.5.1 Risico-identificatie	15
7.5.2 Risicoanalyses: kans op falen	15
7.5.3 Risicoanalyses: effect van falen	16
7.5.4 Risico-evaluatie	19
7.5.5 Methodiek voor een risicoanalyse voor leidingen in waterkeringen	20
7.5.6 Overige overwegingen voor het vervangen van leidingen	21
7.6 Aansluitleidingen	21
7.7 Vervangingsbeleid: van vervangingskandidaten naar projecten	22
8 Design/Ontwerp leidingnet	25
8.1 Inleiding	25
8.2 Functioneel ontwerp: achtergrond	26
8.3 Functioneel ontwerp: opbouw leidingnet	27
8.3.1 Inleiding	27
8.3.2 Primaire leidingen, functionele omschrijving	27
8.3.3 Secundaire leidingen, functionele omschrijving	27
8.3.4 Tertiaire leidingen, functionele omschrijving	27
8.3.5 Praktische toepassing	27
8.4 Functioneel ontwerp: drinkwaterverbruik	28
8.4.1 Afbakening gebied voor ontwerp (balansgebied)	28
8.4.2 Vereist volume op jaarbasis en prognoses	29
8.4.3 Maatgevend drinkwaterverbruik voor primaire en secundaire leidingen	32
8.4.4 Maatgevend huishoudelijk drinkwaterverbruik voor tertiaire leidingen	34

8.4.5	Maatgevend niet-huishoudelijk drinkwaterverbruik	36
8.5	Functioneel ontwerp: Leveringszekerheid en leveringscontinuïteit	37
8.6	Functioneel ontwerp: Inpassing bluswatervoorziening	37
8.7	Functioneel ontwerp: druk	38
8.7.1	Totaal beschikbare drukverliezen	38
8.7.2	Tertiair leidingnet	39
8.7.3	Secundair leidingnet	39
8.7.4	Primair leidingnet	39
8.8	Functioneel ontwerp: hydraulisch ontwerp	40
8.8.1	Overwegingen voor het dimensioneren van leidingen	40
8.8.2	Gewenste stroomsnelheden	41
8.8.3	Randvoorwaarden voor hydraulische berekeningen	42
8.8.4	Indeling van afsluitersecties	43
8.8.5	Indelingen in DMA's	44
8.8.6	Streefstructuren	44
8.9	Functioneel ontwerp: aansluitleidingen	44
8.9.1	Huishoudelijke aansluitingen	45
8.9.2	Niet-huishoudelijke aansluitingen	45
8.10	Ligging: tracébeplanning en diepte	46
8.10.1	Tracébeplanning en benodigde afstand tot objecten in boven- en ondergrond	46
8.10.2	Diepteligging	49
8.11	Constructie technisch ontwerp: achtergrond	51
8.12	Constructie technisch ontwerp: materiaalkeuze	51
8.13	Constructie technisch ontwerp: belastingsoorten	52
8.14	Constructietechnisch ontwerp: sterkteberekeningen	53
8.14.1	Algemene uitgangspunten	53
8.14.2	Leidingen in 'belangrijke waterstaatswerken'	54
8.15	Ontwerpen van appendages	55
16	Literatuur	56
I.	Begrippen met bijbehorende omschrijvingen en afkortingen inclusief acroniemen met bijbehorende betekenis	63
II.	Symbolen en bijbehorende betekenis	65
III.	In deze praktijkcode genoemde en voor deze praktijkcode relevante normen	66
IV.	Hydraulisch verlies over een aansluiting	67
V.	De drinkwater vraag zoals die wordt bepaald met SIMDEUM	68
VI.	Bepaling meest economische diameter	70
VII.	Benodigde lengte voor toepassen trekvaste koppelingen	71

7 Rehabilitation/Vervangingsbeslissingen

De uitwerking van hoofdstuk 7 'Rehabilitation' in de Europese norm NEN-EN 805 beperkt zich tot: '*For works of repair, renovation or replacement, the relevant requirements of this standard shall be followed. In case of repair or renovation the design life extension may be less than 50 years.*' Omdat Nederlandse en Vlaamse (drink)waterbedrijven de afgelopen jaren een uitgebreide visie hebben ontwikkeld voor het onderbouwen van vervangingsbeslissingen voor het leidingnet, is er voor gekozen een volledig nieuwe invulling te geven van dit hoofdstuk. De nadruk van dit hoofdstuk ligt op distributieleidingen die het grootste deel uitmaken van het leidingnet. Het vervangingsbeleid van distributieleidingen heeft in het algemeen een generiek karakter, dat drinkwaterbedrijven vastleggen in hun uitgewerkt beleid en processen. Vervanging van transportleidingen vergt een meer specifieke (projectmatige) aanpak en is meer locatie- en bedrijfsspecifiek. Ook aansluitleidingen komen in dit hoofdstuk aan bod. Hiervoor is er minder generiek beleid dan in het geval van distributieleidingen.

7.1 Inleiding

De functie van het leidingnet is het transporteren van drinkwater van productielocatie naar consumenten, met behoud van gestelde eisen aan waterkwaliteit, druk en hoeveelheid. Voor het in stand houden van deze functie zijn diverse beheermaatregelen mogelijk. De voornaamste daarvan zijn:

- vervangen van leidingen als het einde van de levensduur is bereikt of als het risico van instandhouding niet acceptabel is;
- repareren van leidingen als gevolg van mechanisch falen;
- preventief onderhoud om toekomstig falen te voorkomen (zoals het beheer van afsluiters, brandkranen, kathodische bescherming en verklikkers);
- schoonmaken van het leidingnet.

Het vervangen van leidingen wordt nader uitgewerkt in dit hoofdstuk. Voor het repareren van leidingen en het plegen van onderhoud wordt verwezen naar hoofdstuk 14. Voordat een leiding daadwerkelijk wordt vervangen, wordt een nieuw ontwerp gemaakt. Hiervoor wordt verwezen naar hoofdstuk 8. Voor het (opnieuw) aanleggen van een leiding wordt verwezen naar hoofdstuk 10. Het schoonmaken van leidingen wordt behandeld in praktijkcode PCD 2 [15].

Aanleidingen voor het vervangen van leidingen zijn als volgt in te delen:

1 Vervangen op eigen initiatief

Het drinkwaterbedrijf kiest ervoor om een leiding te vervangen, in de regel omdat die niet voldoet aan de gestelde functie. Dit wordt ook gekenschetst als actief vervangingsbeleid.

2 Vervangen op initiatief van derden of meegaan met derden

Een externe partij neemt het initiatief tot werkzaamheden in de boven- of ondergrond, waardoor er een gelegenheid ontstaat werkzaamheden gezamenlijk uit te voeren. Dit gezamenlijk uitvoeren kan leiden tot kostenvoordeel of minder overlast voor omwonenden. Ook kan het drinkwaterbedrijf inschatten dat er een ontoelaatbare kans op schade is door de bijbehorende werkzaamheden. Dit wordt ook gekenschetst als passief vervangingsbeleid.

3 Reconstructie

Een externe partij neemt het initiatief tot werkzaamheden in de boven- of ondergrond, waarbij de drinkwaterleiding dient te worden verplaatst. Dit kan zijn door de aanleg van een rotonde of bij dijkverzwaring, zie ook subparagraaf 4.5.6.

4 Integraal gebiedsplan

Het plannen van werkzaamheden in de ondergrond (met name in steden) wordt steeds complexer. Oorzaken hiervoor zijn de reeds bestaande drukte in de ondergrond, gecombineerd met nieuwe ruimtelijke opgaven zoals klimaatadaptatie en de energietransitie. Ook oefent de bovengrond steeds meer druk op de ondergrond uit, bijvoorbeeld bij de aanleg van ondergrondse vuilcontainers of de aanplant van nieuwe bomen. Een integrale aanpak vereist een duidelijke regie van de gemeenten en het vroeg betrekken van verschillende partijen. Hiermee kunnen plannen in een zo vroeg mogelijk stadium op elkaar worden afgestemd en kan worden ingespeeld op de toenemende complexiteit bij voorbereiding en de uitvoering van werkzaamheden.

Analyses van de toestand of het storingsgedrag van leidingen worden vaak uitgevoerd op groepen leidingen. Hierbij wordt ook het begrip 'leidingcohort' gebruikt. Het begrip cohort wordt gebruikt voor leidingen met overeenkomende eigenschappen. Bijvoorbeeld als voor alle PVC leidingen bij een drinkwaterbedrijf met dezelfde diameter en drukklasse eenzelfde storingsgedrag wordt verondersteld, wordt die groep als een cohort beschouwd.

Destructieve metingen (zoals exitbeoordelingen) geven informatie over de toestand op zeer beperkte schaal (een deel van een buis of een verbinding). In-line inspecties geven informatie over de onderzochte leidinglengte. Voor beide meetmethoden is het de vraag of de meetresultaten ook gelden voor identieke leidingen onder identieke belastingsituaties. Storingsregistratie geeft inzicht in het gedrag van het gehele leidingnet of cohorten daarvan. Het aantonen van een significante relatie tussen het storingsgedrag van leidingcohorten en toestandsbepalingen van individuele leidingen is tot op heden niet mogelijk gebleken.

Het vraagstuk over het vervangen van leidingen wordt vaak assetmanagement van het leidingnet genoemd. Dit komt omdat leidingen de assetgroep vormen die de hoogste vervangingswaarde vertegenwoordigen en het vervangingsvraagstuk van leidingen hoge investeringen vertegenwoordigt³. De mondiale norm [NEN-ISO 55000](#) houdt zich in brede zin bezig met assetmanagement. Voor veel drinkwaterbedrijven is deze norm leidend voor het inrichten van hun bedrijfs- en besluitvormingsmodel. Voor een toelichting op besluitvormingsprocessen voor assetmanagement bij drinkwaterbedrijven wordt verwezen naar [101].

7.2 Langetermijninvesteringsplan

Het komen tot een beleid voor het vervangen van leidingen start met een analyse van het huidige leidingnet en een globale inschatting op welk moment vervangingen zijn te verwachten, het zogenaamde langetermijninvesteringsplan. Bij een dergelijk plan wordt het leidingnet (idealiter inclusief aansluitleidingen) ingedeeld in cohorten, waarbij per cohort een aannames wordt gedaan van de (verdeling van de) restlevensduur. Op basis hiervan ontstaat inzicht in de periode waarin specifieke cohorten moeten worden vervangen en kan op basis daarvan een voorspelling worden gemaakt van de benodigde vervangingsinvesteringen op langere termijn. Een langetermijnbeeld over de benodigde vervangingen en bijbehorende investeringen kan drinkwaterbedrijven helpen om bepaalde acties op kortere termijn in gang te zetten. Zo kan een te verwachten vervangingsgolf voor een bepaalde groep leidingen aanleiding zijn om hierover meer kennis op te bouwen. Hiermee wordt een meer gedifferentieerd beeld verkregen welke leidingen als eerste voor vervanging in aanmerking komen (vanwege een relatief kortere restlevensduur) en welke leidingen waarschijnlijk pas op een later moment. Een ander voorbeeld is de keuze van drinkwaterbedrijf Brabant Water om actief leidingen te vervangen om zo de te verwachten investeringsbult af te vlakken [102]. Binnen het onderzoeksprogramma is hiervoor de methodiek met driehoeksverdelingen uitgewerkt, zie [103] en [104].

³ Voor de tien Nederlandse bedrijven gezamenlijk gaat het om een bedrag van 294 miljoen euro, dat 42% uitmaakt van de totale investeringen [166].

7.3 Context van vervangingsbeslissingen

7.3.1 Stakeholders in de externe omgeving

Beslissingen over het vervangen van leidingen hangen onder andere af van de omgeving waarin een leiding zich bevindt en de stakeholders die daarbij zijn betrokken. In Tabel 1 is een overzicht gegeven van de belangrijkste stakeholders met betrekking tot vervangingsbeslissingen, de interactie met het leidingnet en de mogelijke mitigerende maatregelen. Door planmatig prioriteiten te stellen voor het vervangen van leidingen kunnen drinkwaterbedrijven er naar streven om de initiatieven van derden hier zo goed mogelijk op aan te laten sluiten. Vanuit het perspectief van maatschappelijke verantwoordelijkheid dient te worden gestreefd naar een gezamenlijk infrastructuurplan met minimale maatschappelijke kosten en een minimaal geaccepteerd gemeenschappelijk risico. Het verdient aanbeveling om methodieken te ontwikkelen waarin meerdere partijen komen tot ondergrondse en bovengrondse afstemming. Hiervoor is een initiatief gestart in de normcommissie Ordening van ondergrondse netwerken (de nationale norm NEN 7171-1 en de praktijkrichtlijn NPR 7171-2). Naar oordeel van de drinkwaterbedrijven geven de gemeenten te weinig invulling van hun wettelijke regierol en de behorende langetermijnplanning.

De Omgevingswet [189] vereist dat gemeenten omgevingsplannen maken. Deze plannen hebben een brede reikwijdte en gaan over alle activiteiten die mogelijk gevolgen hebben voor de leefomgeving. Omgevingsplannen zijn de opvolgers van bestemmingsplannen en diverse verordeningen van de gemeenten. Deze plannen zijn tevens gebaseerd op landelijke en provinciale (instructie)regels. Vewin heeft de 'Staalkaart Drinkwater in het Omgevingsplan' gepubliceerd. Deze staalkaart is een hulpmiddel voor gemeenten om de belangen voor drinkwater goed te kunnen borgen in het omgevingsplan. In de staalkaart staan kant-en-klare regels die gemeenten in hun omgevingsplannen kunnen opnemen. Vewin adviseert drinkwaterbedrijven om deze staalkaart onder de aandacht van gemeenten te brengen. De meest actuele versie is te vinden op Vewin-Staalkaart [105].

In het rapport 'Stakeholderbetrokkenheid in assetmanagement' [106] wordt een afwegingskader gegeven voor het meer bewust inrichten van stakeholdermanagement en het opzetten van een meer bewuste benadering van stakeholders. Voor het meenemen van klantwensen en -verwachtingen in het beheren en managen van het leidingnet wordt verwezen naar het rapport 'Klantenwensen en -verwachtingen en het managen van assets' [107].

Tabel 1 Generieke beschrijving van stakeholders, interacties en mitigerende maatregelen van belang bij vervangingsbeslissingen en herontwerp van drinkwaterleidingen in de planvormingsfase. Voor individuele drinkwaterbedrijven kunnen specifieke interacties een rol spelen, bijvoorbeeld de aardbevingsproblematiek in Groningen.

Stakeholder	Interactie met vervanging van leidingen	Mitigatiemaatregelen
Gemeenten	Beheerder van de ondergrond	Regisseur van de ondergrond verantwoordelijk voor inrichting ondergrond en afstemming van werkzaamheden
	Bovengrondse planning	Afstemming over omgevingsplan, woningbouwplannen en werkzaamheden in de openbare ruimte, gemeente aanspreken op rol beheerder van de openbare ruimte
	Capaciteitseisen en locatie brandkranen	Overleg met gemeente en brandweer over het beschikbaar stellen van bluswater
Beheerders ondergrondse infrastructuur*. Hierbij ook rekening houden met nieuwe ontwikkelingen zoals het transport van warmte, koude, CO₂, et cetera.	Vervangingsplannen infrastructuur	Afstemmen werkzaamheden met andere beheerders ondergrondse infrastructuur
	Risico van schade drinkwaterleidingen als gevolg van werken door derden	Proactief in kaart brengen van risico's en monitoren werkzaamheden, leidingen vervangen als het risico onacceptabel is
	Risico van schade aan infrastructuur derden als gevolg van vervanging drinkwaterleidingen	Informeren derden, gepaste veiligheidsmaatregelen bij werkzaamheden
Klanten drinkwater	Minimaliseren ongeplande leveringsonderbrekingen en drukproblemen	Vervangingsbeleid en netontwerp gericht op het minimaliseren van geplande OLM, overzetten buiten momenten met maximum verbruik, aanschrijven van klanten
	Minimaliseren waterkwaliteitsklachten	Selecteren van leidingen waar regelmatig waterkwaliteitsproblemen optreden, vermijden van verhoogde stroomsnelheden en stroomomkering
Omwonenden en verkeersdeelnemers	Overlast vanwege (graaf)werkzaamheden voor leidingvervanging	Minimaliseren van de duur en de omvang van werkzaamheden of het uitvoeren van no-dig technieken
Diverse partijen in de omgeving van leidingen	Bijzondere belastingen	Informatievoorziening verzamelen over wijzigingen en indien noodzakelijk aanpassingen aan het leidingnet doen
Vergunningverleners	Eisen faalkans en ligging	Afstemmen met vergunningverleners over eisen en monitoren van beleidswijzigingen, specifieke dossieropbouw van leidingen met vergunningsregime
	Eisen beheermaatregelen	Nemen van specifieke beheermaatregelen voor leidingen met vergunningsregime om daarmee vervanging te voorkomen
Beheerders grootschalige wooneenheden (zoals woningbouwcoöperaties) en particuliere woningeigenaren	Renovatie en nieuwbouw van woningen	Optimaliseren aanleg en vervanging van aansluitleidingen en watermeters, afstemmen vervangingsprogramma op renovatie woningen

* Hieronder vallen ook gemeenten of waterschappen vanuit hun rol als beheerder van bijvoorbeeld rioleringen.

7.3.2 Veranderende externe omgeving

De in subparagraaf 7.3.1 genoemde stakeholders geven de huidige situatie weer. Het is voor een drinkwaterbedrijf ook van belang in te spelen op mogelijke veranderingen in de toekomst. Voor toekomstanalyses van het netwerk zijn twee begrippen van belang namelijk robuustheid en veerkracht. Deze begrippen zijn vertalingen van de door Kang en Lansley [108] gehanteerde begrippen 'robustness' en 'resilience'. Robuustheid is de capaciteit van het systeem om de functionaliteit te behouden onder verschillende toekomstige condities. Veerkracht is de geschiktheid van een systeem om een ongewenste gebeurtenis te ondergaan en vervolgens te herstellen. Een leidingnet is robuust als het in staat is om onder verschillende gewijzigde omstandigheden (veranderingen van het klimaat, de demografie, de drinkwatervraag, et cetera) te blijven voorzien in de gestelde functies. Een leidingnet is veerkrachtig als het bij uitval van elementen kan blijven voldoen aan de leveringseisen. Een voorbeeld van een test van de veerkracht van een systeem is de leveringszekerheidsanalyse [26]. Voor verdere uitwerkingen van

toekomstscenario's en de impact op het leidingnet voor drinkwater wordt verwezen naar [109] en [110]. Om drinkwaterbedrijven te ondersteunen om te komen tot een toekomst vaste inrichting van het leidingnet waarbij een veranderende omgeving kan worden meegenomen, is door KWR Water Research Institute de methodiek van de streefstructuur opgesteld. Hierbij kan gebruik worden gemaakt van het optimalisatieplatform Gondwana, zie [111] en [112]. Het begrip streefstructuur wordt gebruikt voor een ontwerp van de hoofdstructuur van een netwerk voor de middellange termijn dat als richtsnoer dient bij renovaties en vervangingen. In [110] is een methode beschreven om met Gondwana een groot aantal mogelijke vervangingsplannen te genereren en daarbij het meest optimale plan te selecteren (in dit geval het goedkoopste dat voldoet aan gestelde hydraulische randvoorwaarden). Het begrip streefstructuur wordt ook toegelicht in subparagraaf 8.8.6.

7.4 Levensduur en risicobepaling

7.4.1 Het begrip levensduur

De levensduur van een asset is in de mondiale norm NEN-ISO 55000 gedefinieerd als de periode vanaf het realiseren van een asset tot het einde van de levensduur daarvan. Opgemerkt wordt dat dit een cirkelredenering betreft. Een praktische vertaling voor leidingen is: de periode vanaf aanleg tot uitneming bij vervanging. In het geval van renovatie (zoals relining) blijft de oude leiding in gebruik en wordt de levensduur hiervan verlengd. In dat geval wordt gesproken van een levensduur verlengende techniek. Met een levensduuranalyse wordt bepaald op welk tijdstip een leiding niet meer voldoet aan de gestelde eisen en daardoor dient te worden vervangen. Het einde van de levensduur van een leiding kan worden vastgesteld op basis van de volgende aspecten:

- **Einde van de technische levensduur**
Dit betekent dat de leiding of een onderdeel daarvan niet meer in staat is te voldoen aan de technische prestatie-eisen die daaraan worden gesteld. Het kan zijn dat het aantal breuken groter is dan wat acceptabel is of dat de toestand niet meer voldoet aan de vereiste normtoestand. Ook kunnen prestatie-eisen met betrekking tot de waterkwaliteit van toepassing zijn, die leiden tot klachten van consumenten of tot normoverschrijding. Dit laatste kan aan de orde zijn bij permeabele leidingen in een verontreinigde bodem, bij leidingen die geregeld leiden tot bruinwaterklachten of bij grijs gietijzeren leidingen met coatings van koolteer [113].
- **Einde van de financiële levensduur**
Dit impliceert dat de kosten van instandhouding van de leiding hoger zijn dan de kosten voor het aanleggen van een nieuwe leiding. Omdat de aanlegkosten in het algemeen veel hoger zijn dan de kosten van reparatie, zal de financiële levensduur van een leiding in de meeste gevallen langer zijn dan de technische levensduur. Een uitzondering hierop vormen leidingen waarvan de kosten van falen heel hoog zijn, zoals belangrijke transportleidingen of leidingen in of nabij waterstaatswerken.
- **Einde van de functionele levensduur**
Het einde van de functionele levensduur betekent dat de eisen aan de leiding dusdanig veranderen dat het leidingontwerp niet meer voldoet aan de gestelde functies. Dit speelt bijvoorbeeld bij een toenemende of afnemende vraag naar drinkwater. In het geval van een toenemende vraag zal een leiding in de meeste gevallen niet worden vervangen, maar zal aanvullende capaciteit worden aangelegd.
- **In het geval van een reconstructie (zie ook § 7.1)**
Hierbij is de levensduur van de leiding weliswaar nog niet bereikt, maar dient die te worden vervangen als gevolg van een veranderende omgeving of veranderende omgevingseisen (zoals een wegverbreding of een dijkverzwaring). Ook veranderende eisen van een vergunningverlener kunnen leiden tot reconstructies.

Bij drinkwaterbedrijven wordt ook het begrip 'economische levensduur' gehanteerd. Dit is vooral een boekhoudkundig begrip dat wordt gehanteerd om de financiële afschrijvingstermijn te bepalen, dat van beperkt belang is voor de levensduuranalyses en investeringsprognoses.

Opgemerkt wordt dat de levensduur hier onafhankelijk is van de locatie en de functie van de leiding, en dat het effect van falen niet wordt beschouwd. Het effect van falen wordt nader uitgewerkt in § 7.5.

7.4.2 De begrippen toestand en conditie

De begrippen toestand en conditie leiden nogal eens tot verwarring. De toestand van een leiding is een meetbare objectieve maat van de technische staat. De conditie van een leiding zegt iets over de verhouding van de toestand ten opzichte van een normwaarde. Het proces van conditiebepaling bestaat uit drie stappen, waarbij de toestandsbepaling slechts de eerste twee beschrijft:

- 1 monsterneming (indien van toepassing);
- 2 beproeving of meting (ook wel inspectie genoemd), inclusief de eventuele interpretatie van meetresultaten;
- 3 vergelijking van het resultaat van de beproeving of meting met een geldende normwaarde.

Dit wordt geïllustreerd met het volgende voorbeeld. Een AC leiding heeft een wanddikte van 10 mm. Om voldoende sterkte te bezitten, is in een bepaalde situatie een wanddikte vereist van 2 mm. Als het drinkwaterbedrijf een veiligheidsfactor hanteert van 2 is de normwaarde 4 mm. Als er een uitloging wordt gemeten van 3 mm bedraagt de toestand 7 mm en de conditie 3 mm. In het geval een conditiegetal tussen 0 (bereiken normwaarde) en 1 (in perfecte staat/bij aanleg) wordt gehanteerd, is het conditiegetal 0,5. Als wordt uitgegaan van een constante degradatie in de tijd, geldt ter plaatse van de gemeten uitloging dat de leiding zich halverwege zijn technische levensduur bevindt.

Het onderbouwen van beslissingen over het vervangen van leidingen is veelal gerelateerd aan het bepalen van de technische levensduur van een leiding en is voornamelijk gebaseerd op de meting van de toestand van de leiding en het aantal storingen. Voor transportleidingen komen steeds meer inspectietechnieken op de markt die toegevoegde waarde hebben voor een nauwkeurige toestandsbepaling. Voor distributieleidingen is het in het algemeen niet kosteneffectief om de toestand op een betrouwbare manier vast te stellen door middel van leidinginspecties. Voor deze leidingen wordt vooral informatie verkregen door middel van het analyseren van storingen. Door het storingsverloop te volgen en dit te relateren aan een toelaatbaar aantal storingen, is te schatten wanneer een leiding zich aan het einde van zijn technische levensduur bevindt.

Voor het bepalen van kritische leidingen maken drinkwaterbedrijven gebruik van een risicomatrix. Hierbij wordt per leiding(cluster) de kans op falen uitgezet tegen het effect van falen. De bepaling van de kans op falen vindt meestal plaats op basis van storingen, aangevuld met expertgegevens. Voor transportleidingen kunnen inspecties belangrijke informatie geven voor het bepalen van de faalkans. In § 7.5 wordt hierop nader ingegaan.

7.4.3 Nadere beschouwing op het gebruik van storingsgegevens

Bij het gebruik van storingsgegevens worden historische gegevens van vergelijkbare situaties ingezet voor toekomstige voorspellingen. Hierbij wordt een aanpak op basis van cohorten gebruikt, waarbij storingen die eerder in het cohort zijn opgetreden de basis vormen voor de voorspelling van toekomstige storingen in vergelijkbare cohorten. Belangrijke vragen hierbij zijn:

- Hoeveel storingen dienen te zijn geregistreerd voor een betrouwbare voorspelling en wat is de bijbehorende onzekerheid van de voorspelling?
- Wat is de vorm van de extrapolatie (bijvoorbeeld lineair of exponentieel)?
- Wat zijn de belangrijkste oorzaken van falen als basis voor een op te stellen indeling in cohorten?
- Wat is de omvang van de cohorten? Hierbij geldt dat bij cohorten van te kleine omvang het aantal storingen beperkend kan zijn en dat bij cohorten van te grote omvang de voorspellende waarde beperkt kan zijn.

Bijzondere aandacht is noodzakelijk voor cohorten met geen of een zeer beperkt aantal storingen. Dit geldt met name voor grote transportleidingen, waarbij ontwerp en beheer er juist op zijn gericht om falen te voorkomen. Voor dergelijke leidingen zal het aantal storingen te beperkt zijn om een betrouwbare voorspelling te kunnen doen. Dit geldt ook voor nieuwe leidingmaterialen of toepassingen, zoals biaxiaal verstrekt PVC of materialen voor relining.

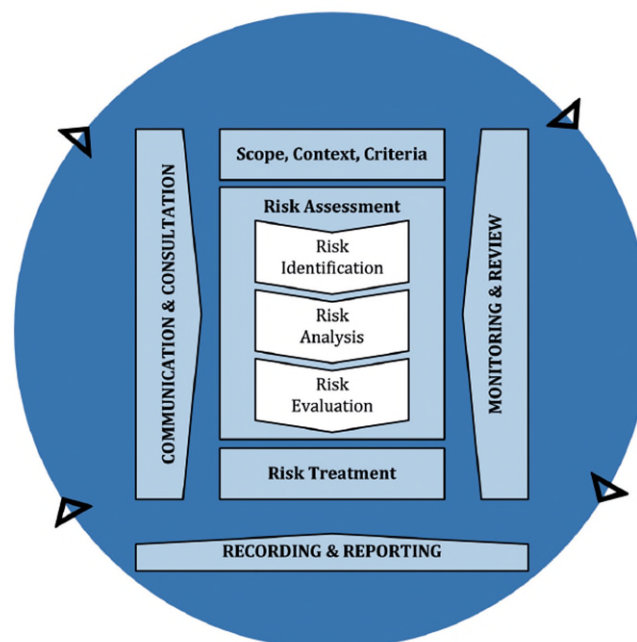
In het onderzoeksprogramma is in 2019 een rapport verschenen waarin een methodiek is verkend voor het voorspellen van toekomstige storingsfrequenties [114]. Hierbij is aanvullend op storingsgegevens het leidingconditiemodel Comsima gebruikt voor een onderbouwing van de fysische processen van leidingdegradatie. Comsima is een binnen het onderzoeksprogramma ontwikkeld model om op basis van mechanische berekeningen leidingen te identificeren met een verhoogde kans op falen als gevolg van hoge wandspanningen. Comsima is GIS-based en kan voor een heel leidingnet kritische leidingen identificeren.

7.4.4 Nadere beschouwing op het gebruik van expertoordelen

Bij het gebruik van expertmeningen dient zo veel mogelijk te worden uitgegaan van relevante vastgelegde informatie. Er zijn diverse technieken ontwikkeld om het proces van het vormen van die meningen te structureren. In dit kader noemt de Europese norm NEN-EN-IEC 31010 onder meer de 'Delphi-aanpak', de paarsgewijze vergelijking en de groepsgewijze indeling van leidingen in faalcategorieën. Een belangrijk nadeel van het gebruik van expertmeningen is dat objectiviteit, representativiteit, volledigheid en reproduceerbaarheid niet zijn te garanderen.

7.5 Risicobeoordeling

De mondiale norm NEN-ISO 55000 geeft aan dat risicomanagement een integraal onderdeel is van assetmanagement. Een nadere uitwerking van risicomanagement is gegeven in de mondiale norm NEN-ISO 31000. Een overzicht van de onderdelen van risicomanagement is weergegeven in Figuur 1. In die figuur staat de risicobeoordeling (risk assessment) centraal. Risicobeoordeling is onder te verdelen in risico-identificatie (zie onderdeel 7.3.3.1), risicoanalyse (zie de onderdelen 7.3.3.2 en 7.3.3.3) en risico-evaluatie (zie onderdeel 7.3.3.4). Verder wordt kort ingegaan op nieuwe ontwikkelingen over de voorgeschreven risicoanalyse voor leidingen in waterkeringen (zie onderdeel 7.3.3.5).



Figuur 1 Onderdelen van risicomanagement en de positionering van risicobeoordeling (risk assessment) en de onderdelen risk identification (risico identificatie), risk analysis (risicoanalyse) en risk evaluation (risico-evaluatie) volgens de mondiale norm NEN-ISO 31000.

7.5.1 Risico-identificatie

De mondiale norm [NEN-ISO 31000](#) stelt als doel van risico-identificatie het vinden, onderkennen en documenteren van alle risico's die van invloed kunnen zijn op het bereiken van de doelen die een organisatie zich stelt. Benadrukt wordt dat relevante, toepasbare en actuele informatie hierbij belangrijk is. De Europese norm [NEN-EN-IEC 31010](#) stelt dat de uitkomst van een risico-identificatie een lijst zou moeten zijn met ongewenste gebeurtenissen (risico's) en bijbehorende oorzaken en effecten. De [NEN-EN-IEC 31010](#) omschrijft diverse methoden voor de identificatie van ongewenste gebeurtenissen, zoals het gebruik van checklist, FME(C)A, HAZOP, scenario analyse en what-if analyse.

Te identificeren risico's voor leidingen (of het leidingnet, vaak ook aangeduid als faalmechanismen) zijn beperkt van omvang en bestaan voornamelijk uit:

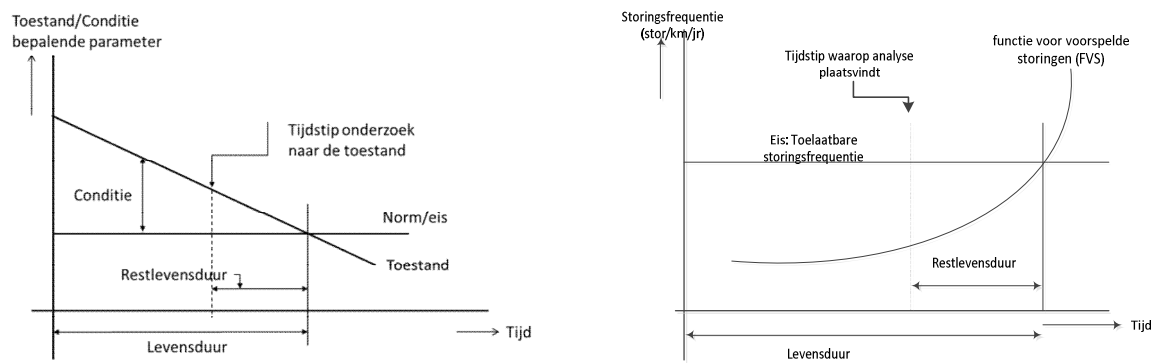
- lekkage als gevolg van degradatie van het buisdeel en/of ontoelaatbare belasting;
- lekkage als gevolg van degradatie van verbindingen en/of ontoelaatbare verplaatsingen;
- waterkwaliteitsproblemen als gevolg van ongewenste fysische, chemische of microbiologische processen, of een combinatie daarvan in het leidingnet, zie de praktijkcodes [PCD 1-4](#) [13] en [PCD 5](#) [16];
- falen van afsluiters, zie praktijkcode [PCD 15](#) [21];
- falen van brandkranen, zie praktijkcode [PCD 7](#) [18].

Voor de onderbouwing van vervangingsbeslissingen van leidingen spelen vooral de risico's van lekkage als gevolg van degradatie van het buisdeel en degradatie van verbindingen een rol. De aanleiding van dit falen kan ook extern zijn veroorzaakt als gevolg van werkzaamheden van derden of het optreden van buitengewone belastingen, zoals bijvoorbeeld veroorzaakt door ongelijkmatige zettingen in de bodem of zware verkeerslasten. De overige risico's spelen in het algemeen een minder belangrijke rol bij het onderbouwen van vervangingsbeslissingen, met uitzondering van de aanwezigheid van chemische bodemverontreinigende stoffen in combinatie met leidingmateriaal waarin permeatie op kan treden, zie hiervoor praktijkcode [PCD 5](#) [16].

7.5.2 Risicoanalyses: kans op falen

Het verloop van de toestand van een leiding in de tijd kan theoretisch worden weergegeven door de degradatiecurve (zie Figuur 2 – links). Degradatie of veroudering is de afname van de toestand van een leiding in de tijd. Het verloop van de storingsfrequentie⁴ in de tijd kan worden weergegeven door de functie voor voorspelde storingen (FVS), ook wel de storingsfrequentie leeftijdscurve of de storingscurve genoemd (zie Figuur 2 – rechts). Omdat voor een dergelijke functie meerdere storingen moeten zijn opgetreden, heeft die in de regel betrekking op leidingcohorten. Opgemerkt wordt dat er in de praktijk rekening moet worden gehouden met onzekerheden die worden gerepresenteerd met een 'bandbreedte'.

⁴ De storingsfrequentie is te bepalen door van een verzameling leidingen het aantal storingen in een jaar te delen door de totale leidinglengte in datzelfde jaar. Voor meer achtergronden wordt verwezen naar praktijkcode [PCD 9](#) [19].



Figuur 2 Theoretische weergave van de levensduur van een leiding op basis van de toestand (links) en de storingsfrequentie (rechts).

In theorie is het einde van de technische levensduur voor een leidingcohort ook het moment dat de storingsfrequentie gelijk is aan de toelaatbare storingsfrequentie. Het einde van de technische levensduur voor een individuele leiding is het moment dat het aantal storingen gelijk is aan het toelaatbaar aantal storingen of als de periode tussen storingen gelijk is aan de toelaatbare MTBF. Wat een bedrijf daarbij definieert als toelaatbaar is afhankelijk van de situatie en van de uitkomst van een risico-evaluatie, zie ook subparagraaf 7.5.4. Het begrip restlevensduur van een leiding of een leidingcohort wordt gehanteerd om de periode aan te duiden tussen het heden en het einde van de levensduur van de leiding. De begrippen storingsfrequentie en faalfrequentie worden beide gehanteerd. In de context van het leidingnet is de storingsfrequentie het aantal storingen per kilometer leiding per jaar en de faalfrequentie het aantal storingen op een leiding (met een bepaalde lengte) per jaar [19].

Het vaststellen van de levensduur van leidingen is mogelijk via de navolgende methoden. Deze methoden zijn gesorteerd naar afnemende betrouwbaarheid.

- Door het bepalen van de toestand van de leiding, waarvoor wordt verwezen naar diverse rapporten over conditiebepaling [115] tot en met [128]. De meest actieve bedrijven die toestandsbepalingen uitvoeren, zijn (anno 2024) [Rosen](#), [Aquaint](#) en [Xylem](#).
- Door het uitvoeren van storingsanalyses, waarvoor wordt verwezen naar de praktijkcode op het gebied van storingsregistratie [19].
- Door het hanteren van expertoordelen voor de levensduur, die kunnen zijn gebaseerd op ervaringen met het vervangen van leidingen. In dit kader wordt verwezen naar de driehoeksverdelingen die in het kader van het onderzoeksprogramma samen met experts van de drinkwaterbedrijven zijn opgesteld [103] en [104]. Een andere benadering is bijvoorbeeld door het hanteren van de kennisregels voor het schatten van de levensduur uit het voorspelmodel van het KSLB [129].

Bovengenoemde methoden kennen allemaal hun beperkingen die met name voortkomen uit de beperkte kwaliteit van de gegevens van leidingen, waaronder die van de vervaardiging en de aanleg, en de optredende (historische) belastingen. Deze beperkte datakwaliteit heeft als voornaamste oorzaak dat de volledigheid van de gegevens en de nauwkeurigheid van de metingen beperkt is, en de variabiliteit van parameters groot is (denk hierbij aan de processen van corrosie en uitloging, die een grote spreiding kennen). Daarbij zijn er ook veel relevante gegevens die niet meer zijn te achterhalen, zoals specifieke omstandigheden tijdens vervaardiging of aanleg, of in het verleden opgetreden storingen of belastingen. Om zo effectief mogelijk om te gaan met de beschikbare data is vaak een combinatie van methoden te verkiezen. Vanwege de beperkingen van de datakwaliteit is het noodzakelijk expliciet aandacht te besteden aan onzekerheden van de data, alsmede aan aannamen in rekenmodellen.

7.5.3 Risicoanalyses: effect van falen

Een analyse van de effecten van falen heeft als doel het vaststellen van de aard en de potentiële omvang van de impact van een ongewenste gebeurtenis. Een gebeurtenis kan meerdere ongewenste effecten hebben, met elk een

verschillende impact op de organisatie of de omgeving. De mogelijke effecten van een ongewenste gebeurtenis hebben een relatie met verschillende stakeholders en daardoor ook met de strategische doelstellingen van een organisatie. De ongewenste gebeurtenis leidingbreuk heeft meerdere mogelijke effecten, zie

Tabel 2 voor een overzicht. Een aantal van de in die tabel genoemde effecten heeft overlapping met andere effecten. Deze tabel heeft dwarsverbanden met de stakeholders die zijn genoemd in Tabel 1. Voor een voorbeeld voor het uitvoeren van een risicoanalyse van het leidingnet als basis voor een vervangingsprogramma, zie [130]. De effecten van een leidingbreuk in

Tabel 2 zijn onder te verdelen in effecten op de levering en effecten op de omgeving.

Tabel 2 Overzicht van mogelijke effecten voor de ongewenste gebeurtenis 'leidingbreuk', de bijbehorende stakeholders, de wijze van uitdrukken en de wijze van bepaling (de laatste twee niet alomvattend).

Mogelijk effect:	Stakeholders/benadeelden:	Uit te drukken in:	Bepaling:
1. Leveringsonderbreking	Consumenten drinkwater	<ul style="list-style-type: none"> Ondermaatse leveringsminuten (OLM) 	CAVLAR, OLM-registratie
2. Waterkwaliteitsproblemen	Consumenten drinkwater	<ul style="list-style-type: none"> Klachten waterkwaliteit Waterkwaliteitsmonsters Besmetting in een hydraulisch model Bruinwaterrisico Sedimentmassa 	Monsterneming, QMRA, waterkwaliteitsanalyse met een hydraulisch netwerkmodel
3. Schade aan omgeving	Maatschappij, bijvoorbeeld vergunningverleners of omwonenden	<ul style="list-style-type: none"> Risicovolle objecten die zich bevinden binnen de risicozone van de leiding 	GIS-analyse en berekening van potentiële ontgrondingskrater
4. Directe kosten	Drinkwaterbedrijf	<ul style="list-style-type: none"> Kosten van reparatie Kosten die op drinkwaterbedrijf worden verhaald 	Kostenanalyse
5. Maatschappelijke kosten	Maatschappij, bijvoorbeeld verkeer of zakelijke klanten	<ul style="list-style-type: none"> Maatschappelijke kosten als gevolg van een leidingbreuk of een leveringsonderbreking 	Maatschappelijke kostenanalyse
6. Ongevallen	Maatschappij, bijvoorbeeld verkeer, omwonenden of eigen personeel	<ul style="list-style-type: none"> Potentiële verkeersslachtoffers Potentieel te evacueren personen in geval van een overstroming veroorzaakt door een leidingbreuk in een waterkering Registraties voor niet voldoen aan ARBO-voorschriften 	Analyse van het aantal ongevallen die indirect gevolg zijn van een leidingbreuk Analyse van incidenten bij drinkwaterbedrijven
7. Imago	Drinkwaterbedrijf of Drinkwatersector	<ul style="list-style-type: none"> Potentiële negatieve publiciteit 	Kennisregels die de relatie aangeven tussen de mate van publiciteit en de leiding en omgeving

Effecten op de levering

In geval van een leidingbreuk (storing) zijn er twee mogelijke negatieve effecten op de levering.

- Ten tijde van de breuk zal een hoeveelheid water verloren gaan. Als deze hoeveelheid water voldoende groot is, zal dit leiden tot een drukverlaging in het leidingnet en mogelijk tot onderbreking van de levering. De mate en omvang hiervan kan uitsluitend worden bepaald met behulp van een leidingnetberekenningsprogramma.
- Vervolgens zal een negatief effect ontstaan als gevolg van handelingen van het drinkwaterbedrijf. In geval van een grootschalige drukverlaging door een groot lek zal de leiding (beter gezegd de afsluitersectie waar de leidingbreuk optrad) worden geïsoleerd. Omdat het leidingnet in de regel voldoende redundant is, zal dit niet of in beperkte mate leiden tot drukproblemen in achterliggende gebieden. In geval van een klein lek en beperkte drukverlaging wordt de afsluitersectie eenzijdig afgesloten, waardoor eventuele verontreiniging zich niet verder door het leidingnet verspreidt. Dit leidt dan niet tot een leveringsonderbreking. Kleine lekkages met een reparatieklem kunnen plaatsvinden ‘onder druk’, wat ook niet tot leveringsonderbreking leidt. Voor grotere lekkages, waarbij een buis geheel of gedeeltelijk wordt vervangen, dient de afsluitersectie te worden geïsoleerd. Tijdens deze reparatie zullen de betrokken consumenten geen drinkwater uit het leidingnet ontvangen.

De periode en de duur van een leveringsonderbreking direct na een storing en tijdens de reparatie wordt gemeten met de prestatie-indicator ‘ongeplande OLM’ (zie ook praktijkcode [PCD 20](#) [23]). Drinkwaterbedrijven houden overzichten bij van ‘kwetsbare consumenten’⁵. Dit zijn consumenten die betrekkelijk zwaar worden getroffen bij een leveringsonderbreking, zoals patiënten die thuis nierdialyse uitvoeren, tandartsen en scholen. In geval van een onderbreking zullen extra maatregelen worden getroffen om hen te ontlasten, bijvoorbeeld door het aanbieden van nooddrinkwater.

Effecten op de omgeving

Voor het uitvoeren van een effectanalyse gericht op de directe omgeving van de leiding is het nodig om te bepalen op welk gebied de ongewenste gebeurtenis van invloed kan zijn. In het geval van een leidingbreuk is daarom noodzakelijk de risicozone te bepalen. In de nationale norm [NEN 3651](#) is een methode gegeven om de potentiële ontgrondingskuil (ook erosiekater genoemd) te berekenen die kan optreden als gevolg van een leidingbreuk. Door het berekenen van de ontgrondingskuil wordt een bufferzone verkregen die rondom een leiding kan worden gelegd en die de basis vormt voor het identificeren van objecten die kunnen worden getroffen door een leidingbreuk. In bepaalde gevallen is het noodzakelijk deze bufferzone te vermeerderen (bijvoorbeeld in het geval van waterkeringen) met de stabiliteitszone.

De in de norm [NEN 3651](#) gepresenteerde rekenmethode is gebaseerd op modelproeven en gevalideerd met praktijkproeven waarbij een overschrijdingskans van circa 5% is vastgesteld. De proeven zijn uitgevoerd in fijn, waterverzadigd zand en daardoor conservatief voor de meeste ondergronden van waterkeringen. Deze berekeningsmethode is ook beschreven in [dit document](#). Berekeningen kunnen worden uitgevoerd met [een spreadsheet](#). De norm [NEN 3651](#) geeft ook een vereenvoudigde berekeningsmethode die echter vaak tot zeer grote (ongunstige) kuilafmetingen leidt. Aanvullend onderzoek naar ontgrondingskuilen in cohesieve grond is gewenst (witte vlek).

BEEL (acroniem voor Beoordeling Externe Effecten Leidinglekkage) is een door de drinkwatersector ontwikkelde beoordelingssystematiek naar aanleiding van de ‘Stein-affaire’ uit 2004 [131], die is gebaseerd op kennis uit de bedrijfstak en waarmee een risico-inschatting kan worden gemaakt van de kans op de lekkage van een leiding en de mogelijke externe effecten daarvan op risicovolle objecten in de omgeving van die lekkage. De methodiek wordt gebruikt bij de systematische beoordeling van primaire locaties (primaire waterkeringen, snelwegen en spoorwegen) en secundaire locaties (regionale waterkeringen, regionale wegen en overige locaties, zoals metrolijnen). Zie de nationale norm [NEN 3651](#) voor een nadere omschrijving van deze locaties.

⁵ Een ‘kwetsbare consument’ is in [Artikel 1](#) van de ministeriële [Regeling afsluitbeleid voor kleinverbruikers van drinkwater](#) [9] omschreven als ‘kleinverbruiker voor wie de beëindiging van de levering van drinkwater zeer ernstige gezondheidsrisico’s tot gevolg zou hebben voor de kleinverbruiker of huisgenoten van de kleinverbruiker’. In [Artikel 1](#) van de [Drinkwaterwet](#) [6] is ‘kleinverbruiker’ gedefinieerd als ‘consument of andere afnemer met een aansluiting waarbij de volumestroom van de levering van water niet meer bedraagt dan vijf kubieke meter per uur’.

De BEEL-activiteiten zijn een door de drinkwaterbedrijven opgestelde methodiek die ook door de waterschappen is geaccepteerd. In de afgelopen jaren is de BEEL-systematiek de grondslag geweest voor de beoordeling van de kans op het falen van leiding in primaire en regionale waterkeringen. De BEEL-systematiek is daarmee een private afspraak zonder wettelijk kader. Recent zijn door de rijksoverheid nieuwe eisen geformuleerd voor het beoordelen van leidingen in waterkeringen, zie hiervoor subparagraaf 7.5.5.

Het Vewin-rapport 'Richtlijn Beoordeling Externe Effecten Leidingen bij primaire- & secundaire locaties; Beoordeling Externe Effecten Leidingen' [132] is een handleiding voor het doorlopen van de beoordelingsmethode. De afgelopen jaren is op basis daarvan door de drinkwaterbedrijven een uitgebreide risicoanalyse uitgevoerd. In 2023 is een evaluatie uitgevoerd naar de stand van zaken, zie hiervoor [133]. Hierin is aangegeven dat drinkwaterbedrijven BEEL nog steeds hoog op de agenda hebben staan en dat zij dit dossier in hun reguliere bedrijfsvoering hebben verankerd.

Naast de voorgeschreven toetsing van de impact van een leidingbreuk op waterstaatwerken nemen drinkwaterbedrijven ook de mogelijke negatieve effecten mee voor overige objecten in de omgeving. Hierbij valt te denken aan ziekenhuizen, scholen, monumenten, et cetera. Hierbij speelt naast de vraag van schade als gevolg van een ontgrondingskuil ook het effect mee dat wateroverlast kan leiden tot ondergelopen gebouwen (met name kelders) of verkeersoverlast.

7.5.4 Risico-evaluatie

De Europese norm NEN-EN-IEC 31010 geeft aan dat een risico-evaluatie bestaat uit het vergelijken van de geschatte risico's in de risicoanalyse met de risicocriteria zoals die vooraf door de organisatie zijn opgesteld. Risico-evaluatie heeft als doel het vaststellen van de omvang en de aard van risico's, als basis voor toekomstige besluitvorming. Deze besluiten kunnen volgens genoemde norm zijn de vaststelling van:

- welke risico's binnen de scope van een risicoanalyse vallen;
- wat de prioriteiten zijn voor risicobeheersing;
- welke risico's maatregelen behoeven om de risico's te beperken;
- wat de beste opties is om de risico's te beperken.

De meest eenvoudige benadering voor het definiëren van risicocriteria is door in een risicomatrix een scherp onderscheid te maken tussen risicoscores waarbij wel of geen actie noodzakelijk is. In een risicomatrix is dit mogelijk door voor bepaalde categorieën het risico als niet-kritisch te benoemen en andere als kritisch (zie Figuur 3-links). Deze benadering is eenvoudig van opzet, maar houdt geen rekening met onzekerheden en onnauwkeurigheden die een rol spelen bij risicoanalyses. Bij de beslissing om risico's wel of niet te beheersen, speelt ook het kostenaspect mee en de vraag welke reductie van de risico's mogelijk is met de activiteiten voor risicobeheersing.

In de Europese norm NEN-EN-IEC 31010 wordt een algemene aanpak voor risico-evaluatie gegeven die bestaat uit drie categorieën:

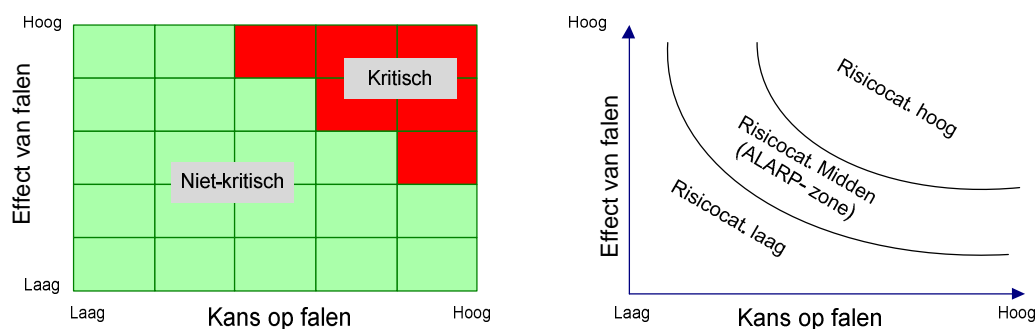
- Een hoge categorie waar het risiconiveau als onacceptabel wordt gezien en waar maatregelen voor het reduceren van risico's onvermijdelijk zijn.
- Een midden categorie waar kosten worden afgewogen tegen de mate van risicoreductie als gevolg van die maatregelen.
- Een lage categorie waar het risiconiveau als verwaarloosbaar wordt gezien of zo laag dat maatregelen voor risicobeheersing als onnodig worden gezien.

Een gebruikelijke aanpak voor gebeurtenissen die zich in de midden categorie bevinden, is het 'ALARP-principe'. Als basis voor deze analyse kan een business case dienen, waarbij de kosten van de ingreep worden afgewogen tegen de opbrengsten door reductie van risico's. Vanuit de maatschappelijke positie van drinkwaterbedrijven is het noodzakelijk dat dan ook maatschappelijke risicokosten worden gekwantificeerd.

Het vaststellen van de grenzen voor acceptatie van risico's en uitgangspunten voor het vaststellen van een ALARP-afweging dient te zijn gerelateerd aan de strategische doelstellingen van een bedrijf. Daarbij dient ook aandacht te zijn voor het combineren van risico's. In veel gevallen zal een leidingbreuk tot meerdere ongewenste effecten leiden, bijvoorbeeld een onderbreking van de levering, kosten en schade aan de omgeving. Het is dan van belang te bepalen hoe deze combinatie van ongewenste effecten uitwerkt in de beslissing om een leiding te vervangen. Dit kan door:

- het hoogste effect maatgevend te laten zijn;
- een combinatie-score te bepalen op basis van meerdere ongewenste effecten.

In Figuur 3 is aan de linkerkzijde een risicomatrix afgebeeld, bestaande uit een discrete verdeling in risicoklassen en onderscheid in indeling in een kritisch en niet-kritisch domein. In Figuur 3 is aan de rechterzijde een risicoverdeling afgebeeld, bestaande uit een continue indeling van kans en effect, en een indeling in drie categorieën volgens het ALARP-principe. Bij een risicomatrix worden leidingen ingedeeld in categorieën voor de kans en het effect van falen. Een indeling in categorieën heeft als voordeel dat dit eenvoudiger is uit te voeren, met name voor de meer kwalitatieve effecten zoals schade aan omgeving, ongevallen en imago. Het heeft als nadeel dat de bepaling vrij grof is en dat er weinig onderscheid is te maken tussen verschillende typen leidingen. Een continue indeling past beter bij analyses van grote groepen leidingen waarbij kansen en effecten door berekeningen worden vastgesteld.



Figuur 3 Voorbeeld van een risicomatrix (links) en een risicoplot.

Het is van belang dat een drinkwaterbedrijf in een kwaliteitsmanagementsysteem vastlegt met welke regelmaat een herberekening van de risico's zal plaatsvinden. Er kan een prioriteitstelling plaatsvinden waarbij leidingen in hogere risicosegmenten een kortere periode tot herberekening krijgen. Voor meer informatie over risicomatrices en het gebruik daarvan door drinkwaterbedrijven wordt verwezen naar [134].

Drinkwaterbedrijven maken gebruik van beslissingsondersteunende softwarepakketten voor het onderbouwen van beslissingen over het vervangen van leidingen. In de meeste gevallen combineren deze pakketten voor alle leidingen een FVS met de (of een aantal) effecten van een leidingbreuk. De risico-evaluatie bestaat er dan uit dat het berekende risicogetal wordt vergeleken met de beschikbare investeringsruimte om zo te komen tot een prioritering van te vervangen leidingen. In 2017 heeft een evaluatie plaatsgevonden van vier beslissingsondersteunende software pakketten [135]. Uit deze vergelijking bleek dat de resultaten van de pakketten slechts in beperkte mate overeenkomen en dat de resultaten in grote mate afhankelijk zijn van de wijze waarop gegevens over de leidingen, omgevingen en storingen worden geïnterpreteerd. Geconcludeerd werd dat om te komen tot goed onderbouwde besluitvorming een verdere verbetering noodzakelijk is van de wijze waarop de leiding- en omgevingsdata wordt geïnterpreteerd en bewerkt, en van kennisregels die de degradatie van leidingen en de effecten van falen beschrijven. Er is geen inzicht of er op dit gebied in de afgelopen jaren verbeteringen zijn doorgevoerd.

7.5.5 Methodiek voor een risicoanalyse voor leidingen in waterkeringen

Primaire waterkeringen moeten volgens het Besluit kwaliteit leefomgeving [190] (behorend bij de Omgevingswet [189]) periodiek door de beheerder van het waterstaatswerk worden beoordeeld op veiligheid. Niet-waterkerende

objecten zoals drinkwaterleidingen in of nabij de waterkering maken onderdeel uit van de beoordeling. Deze vindt plaats volgens het Beoordelings- en ontwerpinstrumentarium (BOI) bestaande uit een procedure en randvoorwaarden voor de beoordeling van de primaire waterkering (Omgevingsregeling [191], Bijlage XXXIIa en Bijlage XXXIIb)⁶. Door de Minister van Infrastructuur en Waterstaat is een basisinstrumentarium beschikbaar gesteld ter ondersteuning van de waterkeringbeheerder bij de beoordeling. Het beoordelen van waterkeringen dient te geschieden op basis van risico's met onderbouwde faalkansen, waarbij ook de faalkans van drinkwaterleidingen onderdeel moet zijn van de beoordelingsmethodiek. Beheerders van primaire waterkeringen moeten de beoordeling uitvoeren vóór 2035. Beoordeling van regionale waterkeringen dient te geschieden volgens de huidige (oudere) methodiek die verwijst naar de normenserie NEN 3650. De beoordeling van regionale waterkeringen is op dit moment in een afrondende fase, wat betekent dat een volgende ronde pas na 2035 jaar plaatsvindt.

In de periode 2017 – 2020 is met financiering uit het Hoogwaterbeschermingsprogramma het Project Overstijgende Verkenning Kabels & Leidingen (POV K&L) uitgevoerd. Doel was om beheerders van waterkeringen en ondergrondse netten bij elkaar te brengen en kennis te ontwikkelen. Een van de resultaten van de POV K&L was een nieuwe en integrale rekenmethodiek voor de beoordeling van kabels en leidingen in waterkeringen. Deze rekenmethodiek is ontwikkeld onder regie van kennisinstituut Deltares en is toegepast en verder uitgewerkt in meerdere praktijkcasussen. Hierbij waren de drinkwaterbedrijven Waternet, Dunea, PWN en Vitens betrokken. Verdere afstemming op strategisch niveau vindt nu plaats in de Strategische Samenwerking Water- en Netbeheerders (SSWN).

In 2025 verschijnt een nieuwe versie van de nationale norm NEN 3651, die zal verwijzen naar de nieuwe rekenmethodiek. Hierbij zal er nog sprake zijn van een overgangperiode, waarin waterschap en drinkwaterbedrijf onderling vrijheid hebben op welke wijze de beoordeling vorm te geven. Voorzien wordt dat in de NEN 3651 van 2030 de methodiek (voorzien van beter onderbouwde faalgegevens en kennisregels over de effecten van falen) een meer verplichtend karakter zal hebben. Hiervoor zullen de komende jaren nadere ontwikkelstappen moeten worden gezet.

7.5.6 Overige overwegingen voor het vervangen van leidingen

In de vorige subparagrafen is aangegeven op welke wijze leidingen kunnen worden geselecteerd op basis van een risico-evaluatie die is gebaseerd op het falen van een leiding door een leidingbreuk. Er kunnen ook andere overwegingen zijn die er toe kunnen leiden dat een leiding wordt vervangen (zie ook de risico's zoals die worden genoemd in onderdeel 7.3.3.1), zoals:

- het aanwezig zijn van verontreinigde bodem in combinatie met een voor permeatie gevoelig leidingmateriaal (zie ook praktijkcode PCD 5 [16]);
- het veelvuldig optreden van waterkwaliteitsklachten, bijvoorbeeld als dit het geval is in het geval van coatings van koolteer bij grijs gietijzeren leidingen [113];
- het niet-voldoen aan de vereiste capaciteit en het daaraan gekoppelde optreden van drukklachten;
- het niet meer voldoen aan hydraulische randvoorwaarden, bijvoorbeeld omdat er sprake is van een overgedimensioneerd leidingnet met grote verblijftijden;
- stalen leidingen waarbij de kathodische bescherming niet naar behoren functioneert;
- de aanwezigheid van ongewenst (incourant) leidingmateriaal, ook wel exoten genoemd.

7.6 Aansluitleidingen

Aansluitleidingen krijgen beperkt aandacht in het vervangingsbeleid van drinkwaterbedrijven. Ook in het onderzoeksprogramma is deze groep van assets nauwelijks in beeld geweest, behoudens vele jaren geleden waarbij

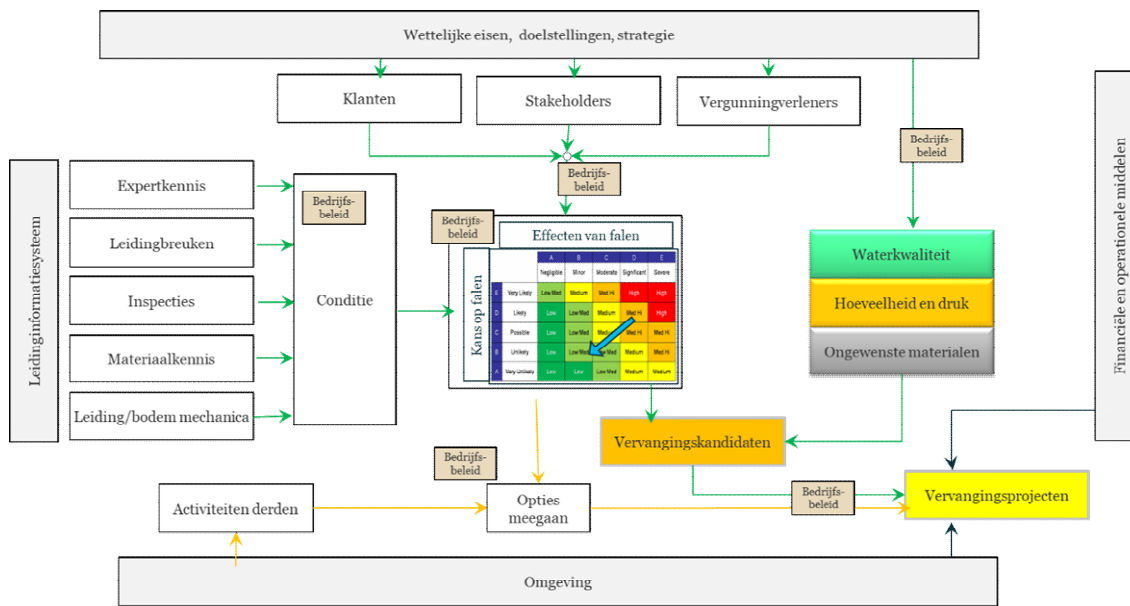
⁶ Voor alle documenten wordt verder verwezen naar <https://iplo.nl/thema/water/waterveiligheid/>

toen de nadruk lag op loden aansluitleidingen, die inmiddels zijn verwijderd [136]. De beperkte aandacht is te verklaren doordat (behalve bij enkele bijzondere groepen van beperkte omvang) aansluitleidingen slechts beperkt tot problemen leiden. Omdat de gezamenlijke vervangingswaarde van de aansluitleidingen zeer aanzienlijk is en de leeftijd van bepaalde groepen zich beweegt naar de oorspronkelijke geschatte levensduur, is in 2023 het rapport 'Zicht op aansluitleidingen' verschenen [137]. Uit vragenlijsten bij bedrijven en analyse van storingsdata van drinkwaterbedrijf Brabant Water komt een beeld naar voren dat het aantal storingen op aansluitleidingen geen reden tot zorg is. Er zijn wel groepen te identificeren met een aanzienlijk hogere storingskans. Bij veel drinkwaterbedrijven blijkt dat de gegevensverzameling over aansluitingen achterloopt bij die van distributieleidingen. Diverse bedrijven zijn bezig met verbeteracties. Vervanging van aansluitleidingen is (met uitzondering van storingen) vooral aangestuurd door initiatieven van derden of eigen initiatieven om de nabij gelegen distributieleidingen te vervangen. Aanbevolen wordt om op bedrijfsniveau te komen tot uniformering van het vervangingsbeleid en specifieke prioritaire groepen aan te wijzen die bij gelegenheid vervangen dienen te worden. Daarnaast wordt drinkwaterbedrijven aanbevolen criteria op te stellen om te beoordelen wanneer de risico's van niet-meegaan onaanvaardbaar hoog zijn en wanneer meegaan tot kostenvoordelen leidt. In het genoemde rapport worden handvatten geboden om te komen tot uniformering van storingsregistratie. Opgemerkt wordt dat in essentie het vervangingsbeleid voor aansluitleidingen niet wezenlijk anders is dan dat voor distributieleidingen. Kenmerkend is echter dat bij huishoudelijke aansluitingen het effect van falen zich in veel gevallen beperkt tot één woning en daardoor relatief klein is. In geval van aansluitingen bij grote afnemers (zoals appartementengebouwen) of kwetsbare consumenten (ziekenhuizen, verzorgingstehuizen, scholen, nierdialysepatiënten of bepaalde industrieën) is het effect van falen groter en zal het drinkwaterbedrijf een specifiek beleid hanteren.

7.7 Vervangingsbeleid: van vervangingskandidaten naar projecten

In bovenstaande paragrafen zijn methodieken besproken die drinkwaterbedrijven kunnen ondersteunen om uit het grote bestand aan leidingen, die exemplaren te selecteren die voor vervanging in aanmerking komen. Hierbij wordt ook wel de term portfoliomanagement gehanteerd, wat is te definiëren als het afwegen, selecteren en prioriteren van de meest waardevolle activiteiten, rekening houdend met de beschikbare middelen, en gericht op het realiseren van de strategische organisatiedoelen⁷. Hierbij wordt het actief vervangingsbeleid vormgegeven op basis van de eigen prioriteitstelling van de organisatie en het passief vervangingsbeleid op basis van de beleidskeuzes op welke wijze te reageren op initiatieven van derden (zie ook § 7.1). Drinkwaterbedrijven maken gebruik van beslissingsondersteunende software die hen helpt om op kwantitatieve gronden een zo objectief mogelijke prioritering te maken voor te vervangen leidingen. In *Figuur 4* is dit prioriteringsproces in generieke termen weergegeven. Drinkwaterbedrijven maken bij dergelijke afwegingen veelvuldig gebruik van de risicomatrix. Deze staat daarom centraal in dit prioriteringsproces.

⁷ <https://www.twynstragudde.nl/inzichten/portfoliomanagement-wat-is-het-en-wat-is-het-niet>



Figuur 4 Generieke weergave van het prioriteringsproces voor leidingvervanging (de specifieke invulling per bedrijf kan afwijken). Dit schema is in principe opgezet voor distributieleidingen, maar is in grote lijnen ook van toepassing op transportleidingen en aansluitleidingen. De groene pijlen geven het actieve vervangingsbeleid weer, de oranje pijlen het passief vervangingsbeleid.

Figuur 4 schetst de belangrijkste randvoorwaarden voor het vervangingsbeleid, namelijk: wettelijke eisen en de bedrijfsstrategie, het leidingnet zoals dat wordt weergegeven in het leidinginformatiesysteem, de omgeving en de beschikbare financiële en operationele middelen. De wettelijke eisen en de bedrijfsstrategie bepalen de visie van het bedrijf op de relatie met klanten, stakeholders en vergunningverleners. Deze hebben een directe relatie met de effecten van falen in de risicomatrix. Tevens geeft deze categorie richting aan de te leveren drinkwaterkwaliteit, het leveringsplan (voor onder andere hoeveelheid en druk) en het beleid ten opzichte van ongewenste materialen (wat vaak een relatie heeft met de drinkwaterkwaliteit). In het leidinginformatiesysteem⁸ is (idealerweise) kennis opgenomen van deskundigen over storingen, inspectieresultaten, kennis over leidingmateriaal en kennis (rekenresultaten) van de mechanische belasting op leidingen. Deze gegevens leveren voor de risicomatrix informatie op over de conditie van een leiding en de kans op falen. Relevante invloed vanuit de omgeving op de besluitvorming over de vervanging van een leiding betreft informatie over activiteiten van derden en besluiten en informatie die samenhangen bij het vormgeven van vervangingsprojecten. Verder zijn de beschikbare financiën en de operationele middelen (capaciteit van voorbereiding en uitvoering van werken) belangrijke randvoorwaarden bij het prioriteren van vervangingsprojecten.

Op basis van waarderingen van de kans op falen en de effecten daarvan, kunnen leidingen worden gepositioneerd in de risicomatrix en kunnen de meest kritische leidingen worden getypeerd als vervangingskandidaten. Ook kunnen leidingen die om andere reden (drinkwaterkwaliteit, et cetera) voor vervanging in aanmerking komen, worden aangemerkt als vervangingskandidaat. De vervangingskandidaten zijn het resultaat van de analyse om te komen tot een actief vervangingsbeleid. Dit zijn niet automatisch vervangingsprojecten. Hiervoor zullen de verschillende vervangingskandidaten op een logische manier geografisch moeten worden geclusterd. Daarnaast worden die tevens gecombineerd met leidingen die worden geselecteerd vanuit het passief vervangingsbeleid. Dit komt tot stand door activiteiten die in de nabijheid van leidingen plaatsvinden. Drinkwaterbedrijven gaan dan na of een dergelijke activiteit leidt tot een kans op meegaan of een noodzaak daartoe. Een kans treedt op als derden projecten starten nabij een leiding die al een vervangingskandidaat is of die dat binnen enkele jaren zal worden.

⁸ Dat kan bestaan uit formele informatie in bijvoorbeeld een GIS en informele informatie van deskundigen.

Een noodzaak treedt op als de werkzaamheden van derden een onacceptabele kans op schade aan de drinkwaterleiding opleveren. Ook kan een drinkwaterbedrijf besluiten dat bij activiteiten van derden een leiding die vanuit eigen perspectief nog geen vervangingskandidaat is, toch vervroegd wordt vervangen omdat men overlast voor omwonenden of het verkeer wil minimaliseren.

Het prioriteringsproces over leidingvervangning maakt (al dan niet formeel vastgelegd in een kwaliteitsmanagementsysteem) in zijn geheel deel uit van het bedrijfsbeleid. In *Figuur 4* zijn enkele onderdelen die als cruciaal worden gezien specifiek aangegeven. Deze onderdelen hebben betrekking op de vragen:

- 1 Hoe richten we de risicomatrix in, welke effecten nemen we mee en welke grenzen hanteren we?
- 2 Hoe vertalen we de visie over de relatie van klanten, stakeholders en vergunningsverleners naar effecten van falen in de risicomatrix?
- 3 Hoe combineren we verschillende informatiebronnen tot kennis over de conditie van het leidingnet en de kans op falen?
- 4 Hoe vertalen we wettelijke eisen in eisen voor de drinkwaterkwaliteit, hoeveelheid en druk, en ongewenste materialen?
- 5 Hoe beoordelen we het risico van activiteiten van derden op het eigen leidingnet?
- 6 Hoe vertalen we kandidaten van een actief en een van passief vervangingsbeleid tot vervangingsprojecten, inclusief een werkbare planning?

Bovenstaande beschrijving is een generieke weergave van het besluitvormingsproces voor leidingvervangning. Het zal nuances kennen voor elk drinkwaterbedrijf. In het kader van het onderzoeksprogramma op het gebied van distributie zijn verkenningen uitgevoerd die drinkwaterbedrijven kunnen helpen bij het opzetten van bedrijfsbeleid. Hierbij valt te denken aan het eerder genoemde rapport [130] en een analyse van kosten en ondermaatse leveringsminuten voor verschillende mogelijke vervangingsstrategieën [138].

8 Design/Ontwerp leidingnet

8.1 Inleiding

Voor het ontwerpen van leidingen en leidingnetten voor drinkwater zijn uitgangspunten gegeven vanuit de publiekrechtelijke regelgeving, zie hoofdstuk 4 van praktijkcode [PCD 3-1](#) [100]. De uitgangspunten zijn weergegeven in Tabel 3. Dit hoofdstuk heeft betrekking op het ontwerp van nieuwe leidingnetten en het herontwerp van te vervangen leidingnetten.

Tabel 3 Uitgangspunten bij het ontwerpen van leidingnetten op grond van publiekrechtelijke regelgeving en de vertaling naar paragrafen in dit hoofdstuk.

Aspect	Subparagraaf	Vertaling naar ontwerpproces
Waterkwaliteit met het oog op microbiologische, chemische en organoleptische parameters)	4.1.1	Materiaalkeuze
Erkende kwaliteitsverklaring van onderdelen	4.1.1	Materiaalkeuze
Druk en hoeveelheid	4.1.2	Hydraulisch ontwerp
Continuïteit van levering	4.1.3	Leveringszekerheid en Leveringscontinuïteit
NEN 3650 en NEN 3651	4.2.1	Constructie technisch ontwerp
NEN 7171-1 en NPR 7171-2	4.2.2	Ligging

Het ontwerpen van leidingnetten voor drinkwater wordt in dit hoofdstuk in vier achtereenvolgende delen onderscheiden:

- Deel 1: het functioneel ontwerp (de paragrafen 8.2 tot en 8.9);
- Deel 2: de ligging (§ 8.10);
- Deel 3: het constructie-technisch ontwerp (de paragrafen 8.11 tot en 8.14);
- Deel 4: het ontwerp van de appendages (§ 8.15).

De uitwerking van hoofdstuk 8 'Design' in de bovenliggende Europese norm [NEN-EN 805](#) komt maar beperkt overeen met de ontwerpfilosofie van de Nederlandse en Vlaamse drinkwaterbedrijven. Om die reden is er voor gekozen een volledig andere invulling te geven van dit hoofdstuk. De voornaamste verschillen tussen de methodiek volgens deze praktijkcode en genoemde norm zijn:

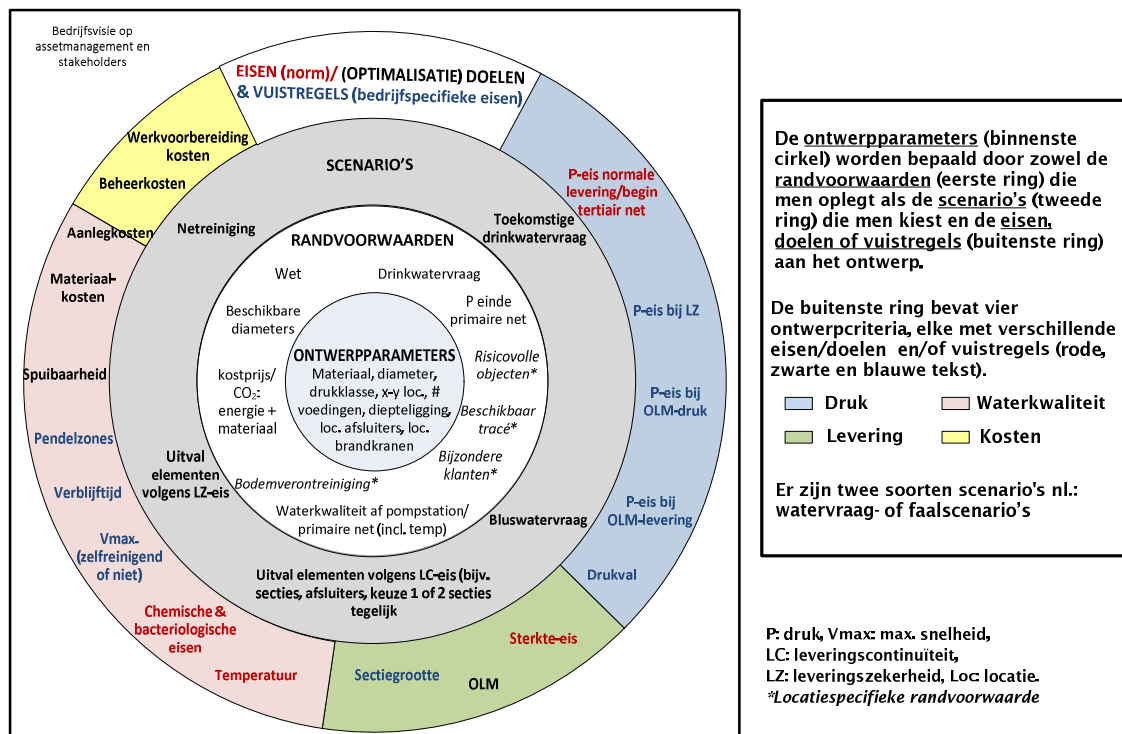
- Het hanteren van een indeling in primaire, secundaire en tertiaire leidingen in plaats van transport- en distributieleidingen.
- De voorkeur voor zelfreinigend ontwerpen in plaats van overgedimensioneerde en vermaasde netwerken.
- De meer op waarschijnlijkheid gebaseerde bepaling van het watergebruik ten opzichte van het gebruik van piekfactoren.
- De aandacht in deze praktijkcode voor inpassing van het leidingnet in de omgeving.

Deel 1: Functioneel ontwerp

8.2 Functioneel ontwerp: achtergrond

Het doel van het ontwerpproces is het ontwerpen van een leidingnet dat minimaal voldoet aan de van toepassing zijnde publiekrechtelijke regelgeving, dat past binnen de door het drinkwaterbedrijf gedefinieerde leveringsvoorwaarden en waarbij alle relevante economische en uitvoeringstechnische aspecten in acht zijn genomen. Dit deel geeft een overzicht van de ontwerpfilosofie van de Nederlandse drinkwaterbedrijven. Op basis van dit overzicht kunnen drinkwaterbedrijven een bedrijfseigen invulling geven.

De eerste beschrijving van zelfreinigende netten is te vinden in het rapport ‘Nieuwe ontwerprichtlijnen voor distributienetten’ [139]. In de jaren daarna hebben bedrijven de principes toegepast en heeft verder onderzoek plaatsgevonden. De wetenschappelijke onderbouwing van zelfreinigende netten is beschreven in het promotieonderzoek van Jan Vreeburg [140] en van Mirjam Blokker [141]. In 2006 heeft een bevestiging plaatsgevonden dat het concept van zelfreiniging ook daadwerkelijk leidt tot minder sediment in het leidingnet [142]. In 2009 heeft een evaluatie plaatsgevonden hoe drinkwaterbedrijven nieuwe ontwerprichtlijnen toepassen en die is beschreven in het rapport ‘Evaluatie ontwerprichtlijnen voor distributienetten’ [143]. Een indeling van het leidingnet in primaire, secundaire en tertiaire netten is verder beschreven in het rapport ‘Ontwerpen secundair leidingnet’ [144]. In het kader van dat project zijn de zogenaamde ontwerpcirkels opgesteld. Deze ontwerpcirkels zijn vervolgens aangepast [111] en de meest recente versie is weergegeven in Figuur 5. De ontwerpcirkel omvat alle relevante aspecten van het ontwerpproces. Het zelfreinigend ontwerp wordt toegepast op tertiaire leidingen. Hiervoor is tevens een ontwerptool ontwikkeld, die beschreven is in het rapport ‘Handleiding DiVerDi SIMDEUM 2.0’ [145]. Voor het ontwerp van secundaire leidingnetten wordt verwezen naar [144]. In het kader van het onderzoeksprogramma zal in 2025 een evaluatie worden uitgevoerd naar de toepassing van zelfreinigende netten.



Figuur 5 Ontwerpcirkel met de belangrijkste onderdelen van het ontwerpproces [111].

8.3 Functioneel ontwerp: opbouw leidingnet

8.3.1 Inleiding

De opbouw van het leidingnet volgt idealiter een hiërarchische indeling die samenhangt met de verschillende functies die daaraan worden toegekend en die bestaat uit primaire, secundaire en tertiaire leidingen. Deze drie onderdelen hebben elk een eigen ontwerpfilosofie. In het verleden is vaak de indeling transportnet en distributienet gehanteerd. Opgemerkt wordt dat in ontwerpen die niet zelfreinigend zijn aangelegd en die veelal zijn overgedimensioneerd geen tertiaire leidingen hebben. Hier is eerder sprake van transport of primaire leidingen en distributie of secundaire leidingen, waarbij vaak 100 mm als minimale diameter wordt aangehouden voor distributieleidingen.

8.3.2 Primaire leidingen, functionele omschrijving

De functie van primaire leidingen is het verdelen van grote hoeveelheden drinkwater naar grote woonkernen en industriële afnemers in het voorzieningsgebied en naar andere voorzieningsgebieden. De belangrijkste ontwerp eis is hierbij de leveringszekerheid. Vanuit dit oogpunt worden deze leidingen vaak redundant uitgevoerd, wat betekent dat bij uitval van een leiding de levering is gegarandeerd. Het primaire leidingnet (de verzameling primaire leidingen) verbindt de perszijde van pompen met het secundaire leidingnet. Hieruit volgt een vermaasde structuur waarin onder reguliere omstandigheden de stromingsrichting vastligt en de snelheden min of meer constant zijn. Er worden op primaire leidingen (behoudens enkele uitzonderingen) geen aansluitingen gemaakt.

8.3.3 Secundaire leidingen, functionele omschrijving

De functie van secundaire leidingen is het verdelen van middelgrote hoeveelheden drinkwater naar wijken en kleine woonkernen. Het secundaire leidingnet (de verzameling secundaire leidingen) verbindt het primaire leidingnet met het tertiaire leidingnet. De secundaire leidingen verbinden wijken of dorpskernen. De belangrijkste ontwerp eis is hierbij de leveringszekerheid en leveringscontinuïteit. De structuur van het secundaire leidingnet is vermaasd om de continuïteit van levering te waarborgen, waarbij het van belang is afsluiters op juiste locaties te plaatsen. Op secundaire leidingen zijn aansluitingen mogelijk. Naargelang de van toepassing zijnde afspraken over de levering van bluswater en water voor brandblusinstallaties (zie de beide onderdelen van subparagraaf 5.3.2) wordt in het ontwerp rekening gehouden met de in te passen bluswatervoorziening.

8.3.4 Tertiaire leidingen, functionele omschrijving

De functie van tertiaire leidingen is het verdelen van kleine hoeveelheden drinkwater naar individuele aansluitingen. Het tertiaire leidingnet (de verzameling tertiaire leidingen) verbindt het secundaire leidingnet met de aansluitingen. De belangrijkste ontwerp eis is hierbij behoud van goede waterkwaliteit. De structuur is vertakt en de diameters zijn ontworpen om het systeem zelfreinigend te maken. De levering van bluswater vindt bij voorkeur plaats via de secundaire leidingnetten, maar kan als dit niet anders kan ook via het tertiaire leidingnet plaatsvinden.

8.3.5 Praktische toepassing

Het onderscheid tussen primaire, secundaire en tertiaire leidingen is bij een nieuw ontwerp goed vast te stellen. Voor bestaande leidingnetten is dit onderscheid vaak minder goed te maken. Drinkwaterbedrijven wordt aanbevolen voor nieuwe ontwerpen de indeling in primaire, secundaire en tertiaire leidingen zo veel mogelijk expliciet door te voeren en dit in hun leidinginformatiesystemen aan te geven.

Het onderscheid tussen primaire en secundaire leidingnetten kan voor landelijke gebieden minder goed te maken zijn, omdat drinkwaterbedrijven er naar streven om leidingen naar kleine kernen (die volgens de leveringszekerheidseis niet leveringszeker behoeven te worden aangelegd) toch als primaire leidingen te beheren.

8.4 Functioneel ontwerp: drinkwaterverbruik

Dit aspect betreft de uitwerking van de eisen zoals gesteld in de van toepassing zijnde publiekrechtelijke regelgeving met betrekking tot het garanderen van voldoende drinkwater in het ontwerp van een leidingnet, zie ook subparagraaf 4.1.2.

8.4.1 Afbakening gebied voor ontwerp (balansgebied)

Om te komen tot het ontwerp van een leidingnet is het in eerste instantie noodzakelijk het gebied te definiëren waar de waterverdeling plaatsvindt: het balansgebied. In een balansgebied zijn de ingaande waterstromen en de uitgaande waterstromen met elkaar in evenwicht en kunnen deze waterstromen worden gemeten. Een balansgebied kan bijvoorbeeld bestaan uit een geheel voorzieningsgebied, een DMA (zie ook subparagraaf 8.8.5) of een vertakking in een tertiair leidingnet.

Voor het opstellen van een waterbalans zijn de volgende begrippen van belang (ontleend aan [146]):

- Drinkwaterverbruik: de som van het gerealiseerde of geprognoseerde verbruik van drinkwater op alle in het balansgebied aanwezige aansluitingen. Hier wordt ook de term drinkwatervraag gehanteerd.
- Distributieverliezen: de som van alle bekende en onbekende verliezen in het leidingnet. Hieronder worden lekverliezen, verliezen bij werkzaamheden, bluswater, ongemeten verbruik en meeton nauwkeurigheden geschaard. Drinkwaterbedrijven hanteren voor het distributieverlies ook wel de term NIRG.
- Doorleveringen: de som van alle leveringen die afkomstig zijn van of naar een ander balansgebied.
- Drinkwaterbehoefte: de totale hoeveelheid water die in een balansgebied stroomt, zijnde de som van het drinkwaterverbruik, de distributieverliezen en de doorleveringen.

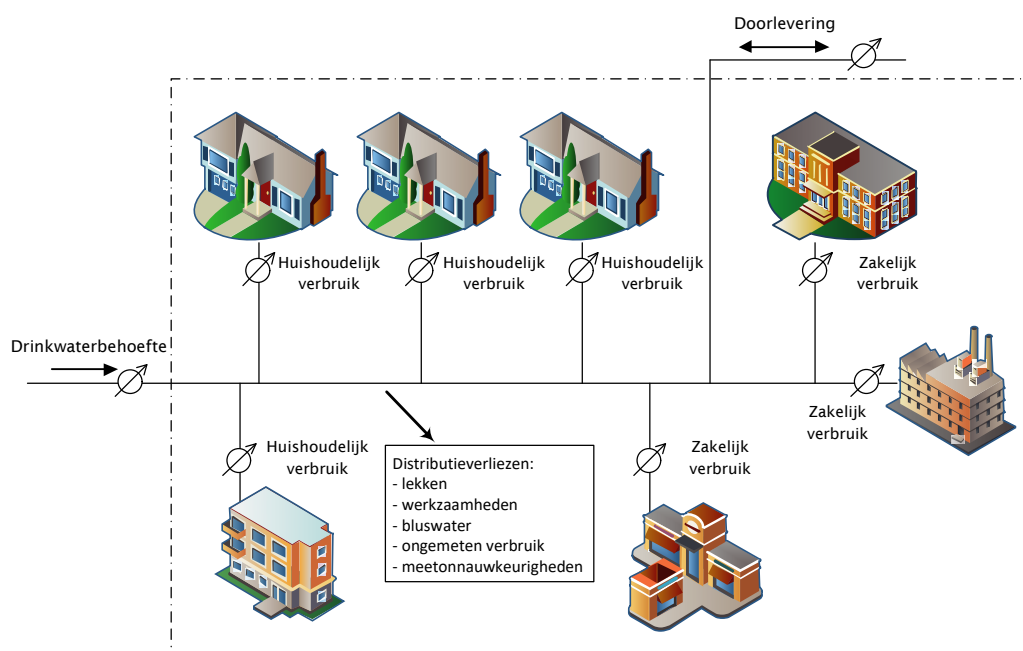
De waterbalans kan op verschillende tijdschalen, zoals op jaarbasis of dagbasis, worden opgesteld al naargelang de ontwerp vraag. Voor een waterbalans op dagbasis zal deze dienen te zijn afgestemd op het waterverbruik van die dag, bijvoorbeeld de gemiddelde dag of de maximum dag.

Voor een waterbalans geldt de volgende balansregel (zie ook Figuur 6):

Drinkwaterbehoefte = drinkwaterverbruik + distributieverliezen + doorleveringen

Drinkwaterverbruik = huishoudelijk verbruik + zakelijk verbruik

Distributieverliezen = lekverliezen + verliezen bij werkzaamheden + bluswaterleveringen + ongemeten verbruik + meeton nauwkeurigheden



Figuur 6 Bepaling van de drinkwaterbehoefte in een balansgebied, waarbij onderscheid is gemaakt tussen huishoudelijk en niet-huishoudelijk verbruik.

8.4.2 Vereist volume op jaarbasis en prognoses

Huidig drinkwaterverbruik

De waterbalans is de basis voor het ontwerp van een distributienet. De voornaamste component hiervan is het drinkwaterverbruik. Om inzicht te krijgen in het benodigde volume van het drinkwaterverbruik moet in het balansgebied bekend zijn: de soort verbruikers, het drinkwaterverbruik per soort, het aantal verbruikers per soort en de locatie van de verbruikers. Voor bestaande aansluitingen geeft de verbruikersadministratie van het drinkwaterbedrijf inzicht in deze gegevens.

Er zijn diverse indelingen om verbruikers in te delen naar soort. In de Vewin Drinkwaterstatistiek [147] wordt een onderverdeling aangehouden in huishoudelijk en zakelijk verbruik. Het zakelijk verbruik is hierbij gedefinieerd als afnemers met een jaarverbruik groter dan 300 m³/jaar. Overigens worden centraal bemeterde aansluitingen voor huishoudens zoals flatgebouwen met een verbruik dat in de regel groter is dan 300 m³/jaar, wel tot het huishoudelijk verbruik gerekend.

Het waterverbruik door huishoudens wordt in opdracht van Vewin elke drie jaar geanalyseerd. De meest recente versie is 'Watergebruik Thuis 2021' [148]. Dit rapport geeft inzicht in het gemiddeld waterverbruik per huishouden en beschrijft de ontwikkelingen van de specifieke deelverbruiken. Drinkwaterbedrijven kunnen de resultaten van deze studie vergelijken met de gegevens uit hun eigen verbruiksadministratie om te komen tot lokale voorspelling van het huishoudelijk waterverbruik. Voor een gemiddelde dag is het totale huishoudelijke waterverbruik te bepalen door het aantal inwoners in het balansgebied te vermenigvuldigen met het gemiddelde waterverbruik.

Het vaststellen van zakelijk verbruik is minder eenvoudig, omdat dit een grotere variatie kent dan het huishoudelijk verbruik. Drinkwaterbedrijven delen zakelijke verbruikers in volgens de SBI-code, de standaard bedrijfsindeling voor economische activiteiten zoals gehanteerd door het CBS [149]. Hiervoor kunnen ook gegevens worden gebruikt uit de Basisregistraties Adressen en Gebouwen (BAG), zie de webpagina <https://www.kadaster.nl/bag>. Drinkwaterbedrijven kunnen per verbruikerstype een gemiddeld jaarverbruik berekenen. Het CBS rapporteert daarnaast periodiek een uitsplitsing van het drinkwaterverbruik in Nederland, zie bijvoorbeeld de webpagina [Watergebruik Thuis \(WGT\) 2021 | CBS](#). In het geval er nog onbemeterde woningen zijn, dient onbemeterd verbruik

te worden geschat. Deze schatting kan bijvoorbeeld plaatsvinden op basis van de woningbezetting of het aantal kamers, afkomstig van de gemeentelijke basisregistratie.

Het indelen van zakelijk verbruikers wordt veelal gedaan op basis van de indeling in watermeterkalibers, zie hoofdstuk 4. Hiervoor wordt de volgende indeling gehanteerd:

- klein-zakelijke watermeters;
- groot-zakelijke watermeters;
- industriële watermeters.

Drinkwaterbedrijven hebben via de verbruiksadministratie inzicht in het jaarverbruik van de bestaande afnemers. Voor grote industriële afnemers is het verbruik bekend op een kortere tijdschaal, doordat de watermeters voor deze groep vaker worden afgelezen. Daarnaast worden voor deze groep gebruikers steeds vaker automatisch uitleesbare watermeters geïnstalleerd.

Het actuele drinkwaterverbruik van bovengenoemde categorieën wordt bepaald door het optellen van de bemeterde waterverbruiken van verschillende categorieën.

Verliezen bij werkzaamheden kunnen worden geschat, bijvoorbeeld door de tijdsduur van spuien te registreren of te schatten. Meeton nauwkeurigheden zijn te schatten met behulp van de maximale meetafwijking van watermeters die in regelgeving is vastgelegd [53, 54]. Verder kan het totaal van alle meeton nauwkeurigheden statistisch worden vastgesteld.

Het volume geleverd water vanuit het pompstation en op doorleveringen is bekend door meting van de hoeveelheden. In het geval van kleine onbemeterde doorleveringen kan op basis van karakteristieken van het achterliggende balansgebied een schatting worden gemaakt van het volume geleverd water.

Aangezien in de waterbalans het lekverlies de overgebleven onbekende is, wordt deze als resultante van bovenstaande componenten van de waterbalans bepaald. Hierbij kan ook gebruik worden gemaakt van de door de IWA opgestelde systematiek, zie subparagraaf 14.1.2.

Toekomstig drinkwaterverbruik

Een prognose voor het toekomstig verbruik is met toenemende nauwkeurigheid met drie methoden op te stellen [150, 151]:

- 1 Door extrapolatie van historische tijdreeksen: er wordt verondersteld dat het toekomstig verbruik is te bepalen door extrapolatie van historische meetreeksen. Hierbij kunnen nieuwe ontwikkelingen zoals de verandering van het waterverbruik door bijvoorbeeld nieuwe water verbruikende apparaten of demografische veranderingen niet mee worden genomen.
- 2 Door beredeneerd voorspellen: op basis van inzicht in de wijze waarop het waterverbruik is opgebouwd en kwalitatieve inzichten kan het toekomstige verbruik worden beredeneerd. Een voorbeeld hiervan is dat wordt aangenomen dat toekomstige wasmachines 20% minder water verbruiken. De TNS-NIPO analyse 'Watergebruik Thuis 2021' [148] is de basis voor het schatten van het aantal wasmachines en de frequentie van wassen. Hiermee is te beredeneren wat het toekomstig waterverbruik zal zijn voor het wassen van kleren.
- 3 Door inzicht in causale verbanden: hierbij is er ook inzicht in de wijze waarop het waterverbruik is opgebouwd en welke causale verbanden er zijn tussen deelverbruiken en verklarende factoren. Als voorbeeld omdat bekend is hoeveel drinkwater mensen verbruiken voor persoonlijk gebruik (eten en drinken) is er een causaal verband tussen het deelverbruik voor menselijke inname en de woningbezetting. Bij een verandering van de woningbezetting kan worden voorspeld wat het toekomstig waterverbruik op woningniveau is voor menselijke consumptie. Een ander voorbeeld is het op basis van klimaatscenario's voorspellen wat de toekomstige watervraag is voor het sproeien van tuinen.

De schatting van het toekomstig drinkwaterverbruik wordt de laatste jaren steeds lastiger. Door toename van de bevolking, economische groei en de toepassing van luxeartikelen zoals regendouches, kan het drinkwaterverbruik toenemen. Daarentegen kan het juist afnemen als gevolg van waterbesparing, zuiniger apparaten of hergebruik van water. Omdat de beschikbare capaciteit voor grondwater onder druk staat, zet de Nederlandse overheid in op waterbesparing, zie onderstaande tekst uit de brief van minister Harbers aan de Tweede Kamer [152].

Onzekerheden waterbesparing

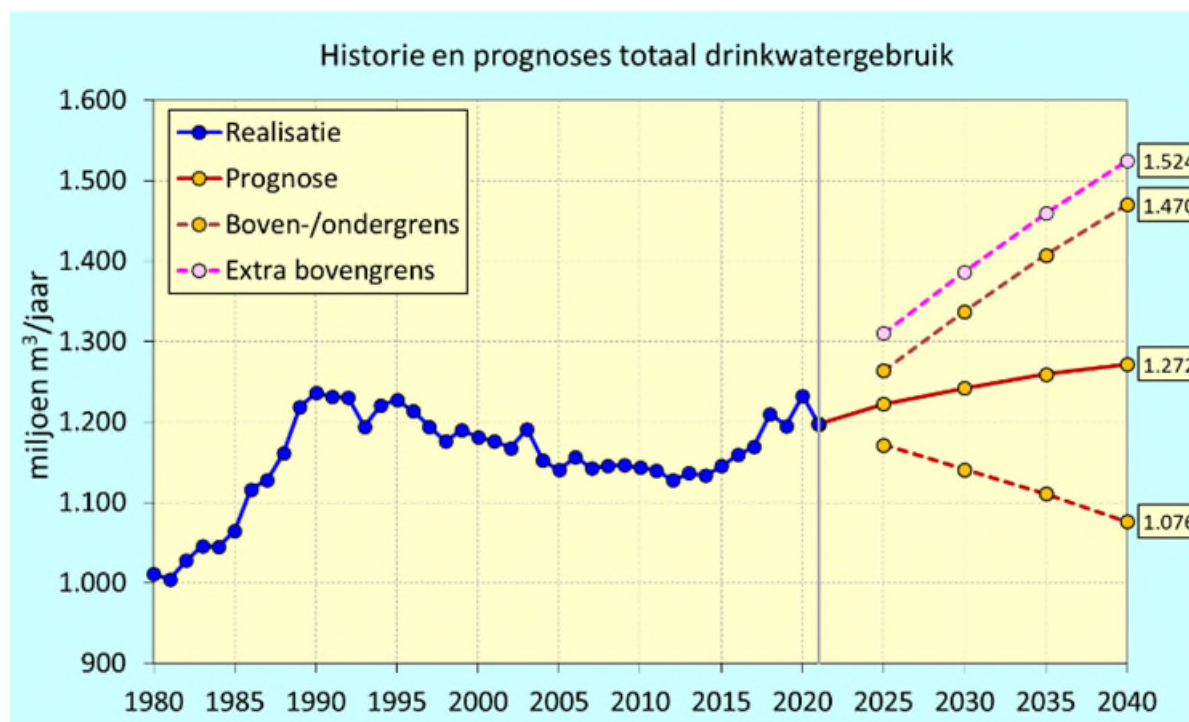
Naast het zoeken naar mogelijkheden om de bestaande bronnen volledig in te zetten en het zoeken naar nieuwe bronnen wordt ook ingezet op waterbesparing. Dat is in lijn met het gedachtegoed van Water en Bodem sturend, waarin de ambitie is neergelegd voor alle gebruikers om hun gebruik van (drink)water met 20% te reduceren. Omdat nog onbekend is hoe snel deze ambitie in de praktijk leidt tot een reductie van de drinkwatervraag, wordt voor de berekening van de benodigde leveringscapaciteit uitgegaan van het huidige drinkwatergebruik.

De ambitie in de Nota Water en Bodem Sturend [153] beschrijft dat voor gezonde grondwaterstanden en voldoende drinkwater op de langere termijn het noodzakelijk is dat de vraag naar drinkwater wordt beperkt. Dit vergt aanpassing van het gedrag van burgers en meer focus op circulariteit bij bedrijven en bij nieuwbouw van woningen. Er wordt gestreefd naar een huishoudelijk drinkwatergebruik per hoofd van de bevolking van 100 liter per dag in 2035 (nu 128 liter per dag) en meer in het algemeen het beperken van laagwaardig gebruik van drinkwater. Grootverbruikers wordt gevraagd het drinkwatergebruik met 20% te reduceren.

Vanwege de grote onzekerheden in het waterverbruik en de relatie tot beschikbaarheid van bronnen is in het onderzoeksprogramma een thema overkoepelend onderdeel Waterbeschikbaarheid en droogte lange termijn (2021 – 2024) uitgevoerd [154]. Hierbij is vanuit een brede scope uitwerking gegeven aan oplossingsrichtingen binnen de sporen waterbeschikbaarheid, distributie en waterbesparing, inclusief de governance van drinkwaterbedrijven. Met oog op de mogelijkheden van besparing van drinkwater wordt aangegeven dat deze niet eenvoudig zijn te realiseren en uitsluitend mogelijk zijn door grootschalige technologische aanpassingen in combinatie met aangepaste wet- en regelgeving.

In Vlaanderen stelt de overheid bij nieuwbouw van woningen of bij grote verbouwingsprojecten een regenwaterput verplicht voor gebruik van water voor het toilet, de wasmachine en het sproeien van tuinen. Als gevolg van deze ontwikkeling en een toenemend bewustzijn over watergebruik is het drinkwaterverbruik de laatste tien jaar ongeveer met 10% gedaald naar gemiddeld 84 liter per persoon per dag [155].

Gegeven de grote onzekerheden is het voor drinkwaterbedrijven moeilijk om een betrouwbare schatting te maken van het toekomstig drinkwaterverbruik. Dit blijkt ook uit de door Vewin aangegeven prognose tot en met 2040 [156], zie *Figuur 7* met een verandering tussen -10% en ruim +25%. Vooralsnog kunnen drinkwaterbedrijven voor prognoses uitgaan van het huidige drinkwaterverbruik [175].



Figuur 7 Historie en prognoses van het drinkwatergebruik [156].

Voor een uitwerking van het toekomstig drinkwaterverbruik zijn onderstaande rapporten te raadplegen:

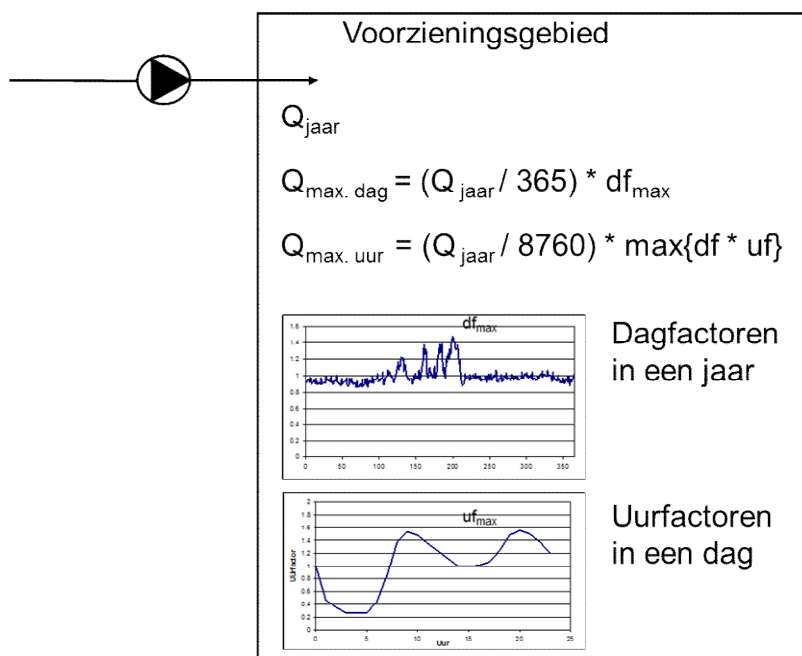
- Van Loon et al. [154] waarin oplossingsrichtingen worden gegeven als gevolg van beperkte waterbeschikbaarheid.
- Baltus et al. [157] waarin inzicht wordt gegeven in de effectiviteit en efficiëntie van mogelijke drinkwaterbesparingsmaatregelen en -instrumenten voor verschillende (drink)watergebruikers.
- Koop et al. [158] waarin wordt aangegeven welke waterbesparingsmaatregelen nodig zijn om te komen tot een verbruik van 100 liter per persoon per dag.
- Phernambucq et al. [159] waarin beschikbare informatie rond de toepassing van hemel- en grijswater is gebundeld.
- Baggelaar, Kuin en Geudens [156] voor een prognose van het drinkwaterverbruik in Nederland tot en met 2040.
- Baggelaar et al. [151] voor een prognose van het landelijk drinkwaterverbruik tot 2040 op basis van vier WLO-scenario's (scenario's voor Toekomstverkenning Welvaart en Leefomgeving) die zijn opgesteld door het Centraal Planbureau en Planbureau voor de Leefomgeving.
- Beuken en Vreeburg [146] en [160] voor een prognose van de drinkwatervraag en de beschikbare voorraden voor vijftien deelgebieden in Nederland.
- Blokker en Vloerbergh [161] berekenen met behulp van SIMDEUM het totaal verbruik en piekverbruik voor verschillende toekomstscenario's.
- Agudelo-Vera en Blokker [109] verkennen de robuustheid van drinkwaternetten voor mogelijke toekomstige veranderingen van het verbruik.

Op wijkniveau kan het toekomstig waterverbruik worden ingeschat met behulp van gegevens over de planning van lokale overheden, zoals gemeentelijke uitbreidingsplannen.

8.4.3 Maatgevend drinkwaterverbruik voor primaire en secundaire leidingen

Het maatgevend drinkwaterverbruik voor de dimensionering van primaire en secundaire leidingen wordt bepaald met behulp van piekfactoren. Omdat de drinkwatervraag een fluctuatie kent over de dag en over het jaar dient het ontwerp te zijn gebaseerd op de maatgevende volumestroom. Hierbij worden factoren gebruikt die de verhouding

aangeven tussen de gemiddelde volumestroom en de maximale volumestroom. Deze factoren zijn afkomstig van registraties van volumestromen gemeten op drinkwaterproductielocaties en doorleveringspunten in het distributienet. In Figuur 8 zijn ter illustratie de hoeveelheden drinkwater van een voorzieningsgebied inzichtelijk gemaakt.



Figuur 8 Maatgevende volumestromen in een voorzieningsgebied zonder reservoir.

In Figuur 8 is:

- Q_{jaar} = Jaarvraag in het balansgebied in m^3/jaar ;
- $Q_{\text{max. dag}}$ = Dagvraag op de maximum dag in m^3/dag ;
- $Q_{\text{max. uur}}$ = Uurvraag op het maximum uur in m^3/h ;
- df = Dagfactor, de verhouding tussen de dagvraag en de gemiddelde dagvraag over het beschouwde jaar (dimensieloos);
- df_{max} = Maxdagfactor, de verhouding tussen de maximum dagvraag en de gemiddelde dagvraag over het beschouwde jaar (dimensieloos);
- uf = Uurfactor, de verhouding tussen de uurvraag en de gemiddelde uurvraag over de beschouwde dag (dimensieloos);
- uf_{max} = Maxuurfactor, de verhouding tussen de maximum uurvraag en de gemiddelde uurvraag over de beschouwde dag (dimensieloos);
- $\max\{df * uf\}$ = De piekfactor: de maximum waarde van alle producten van dagfactoren en bijbehorende uurfactoren op die dag (NB dit betreft het maximum van $365 * 24$ waarden, anders gezegd de piekfactor hoeft niet op de maxdag te vallen).

De jaarvraag is de som van het verbruik in het balansgebied, zoals is beschreven in subparagraaf 8.4.2. De dagfactoren inclusief de maxdagfactor zijn af te leiden uit de gemeten fluctuaties van volumemeters op dagniveau. Dit geldt ook voor uurfactoren. In het geval reservoirs in het balansgebied aanwezig zijn, zal er een verevening moeten plaatsvinden van de ingaande en uitgaande hoeveelheden. De piekfactor is het maximum van alle producten van dagfactoren en uurfactoren. Een dergelijke benadering is noodzakelijk omdat de volumestroom op het maxuur van de maxdag niet de maximale waarde hoeft op te leveren (anders gezegd de piekfactor hoeft niet gelijk te zijn aan $df_{\text{max}} * uf_{\text{max}}$).

De dimensionering van primaire en secundaire leidingen vindt plaats op basis van een maxdagfactor met een overschrijdingskans van 1 maal per 10 jaar. In de praktijk wordt hiervoor de maximum dag aangehouden die de laatste 10 jaar is opgetreden.

Piekfactoren voor industriële en klein-zakelijke afnemers kunnen worden bepaald op basis van registraties van watermeters. In veel gevallen wordt de piekfactor per individuele klant gebaseerd op de in de leveringscontracten gegarandeerde capaciteit.

In het onderzoek Klimaatbestendige Drinkwatervoorziening is de impact onderzocht van diverse klimaat- en vakantiespreidingsscenario's op zowel het drinkwaterverbruik als de bijbehorende maxdagfactoren in 2050 en 2085 [162]. In dit project is een voorspellingsmodel ontwikkeld (EDWARD) waarmee drinkwaterbedrijven voor een specifiek voorzieningsgebied een statistisch onderbouwde inschatting kunnen maken van de veranderende maxdagfactoren onder invloed van het klimaat en vakantiespreiding (dus niet voor bijvoorbeeld een veranderende demografie). In [162] heeft een toepassing plaatsgevonden van dit model op onder andere Amsterdam. Het EDWARD-model is ook in de praktijk toegepast op twee rurale voorzieningsgebieden [163]. Uit de analyse blijkt dat de combinatie van het ongunstigste klimaatscenario (uit de KNMI-scenario's van 2014) en gespreide vakantieafwezigheid, in beide deelgebieden kan leiden tot een toename van de dagpiekfactor in 2085 met een bandbreedte van 5% tot 17%. De piekfactor lijkt groter bij grotere tuinoppervakken.

Momenteel loopt het onderzoek Piekfactoren nader bekeken [164] in het kader van het onderzoeksprogramma. Dit project geeft inzicht in de factoren die de totale watervraag, de hoogte van de maximale dag en het maximale uur beïnvloeden. Het geeft inzicht in de verhoudingen en of deze veranderd is. Het rapport levert verder een statistisch onderbouwde methode om het piekverbruik te bepalen met een overschrijdingskans van eens in de tien jaar.

8.4.4 Maatgevend huishoudelijk drinkwaterverbruik voor tertiaire leidingen

Het maatgevend huishoudelijk drinkwaterverbruik voor de dimensionering van tertiaire leidingen wordt bepaald met behulp van verbruikspatronen. Om de benodigde volumestroom te berekenen voor een leiding is inzicht nodig in het verbruik van drinkwater op de leveringspunten. Hiervoor worden twee methoden gebruikt: de qVn-methode en de SIMDEUM-methode.

De qVn-methode gaat uit van een standaard waterverbruik per tappunt, de zogenaamde tapeenheid die 0,0833 l/s bedraagt. Het verbruik per verbruiksadres wordt berekend als de wortel van het totaal aantal tappunten vermenigvuldigt met de tapeenheid. Voor huishoudelijk verbruik zijn schattingen gemaakt wat het aantal tapeenheden is voor specifieke type woningen. Voor niet-huishoudelijke verbruikers worden aangepaste schattingen gemaakt. Voor nadere informatie over de qVn-methode wordt verwezen naar [165]. De qVn-methode is geschikt voor een individuele woning maar zeer onnauwkeurig voor het schatten van de maximale volumestroom van meerdere woningen. Praktijkmetingen voor meerdere woningen laten overschattingen zien van de berekende volumestromen met een factor 2 tot 4 [142].

SIMDEUM berekent het waterverbruik per verbruiksadres op basis van inzichten in het waterverbruik. Per verbruiksadres wordt hiervoor een analyse gemaakt van alle tappunten waar water wordt verbruikt. De tappunten (types) kunnen op verschillende manieren worden ingevuld door subtypes. Een subtype is bijvoorbeeld een wc met een kleine stortbak en spoelonderbreker of een ouderwetse wc met hoge stortbak met grote inhoud en geen spoelonderbreker. Voor alle tappunten is een kansverdeling bekend voor de kans op toepassing bij een gebruiksadres van het type en subtype (de zogenaamde penetratiegraad), de frequentie van gebruik, de tijdsduur van gebruik, de volumestroom en de temperatuur. Deze kunnen nog samenhangen met het aantal bewoners of de leeftijd van een gebruiker. De gebruikers zijn gedefinieerd door hun leeftijd en geslacht, en een kansverdeling over de dag voor wat betreft hun waterverbruik. Als input wordt gebruik gemaakt van gegevens van TNS-NIPO [124], het Tijdsbestedingsonderzoek van het SCP [149] en van CBS-gegevens over huishoudens. In een Monte-Carlo-simulatie worden uit al deze kansverdelingen aselect waarden getrokken. De uitkomst is een reeks van mogelijke

dagpatronen die met behulp van een histogram worden gepresenteerd, zodat een gemiddelde en spreiding zichtbaar worden. Er zijn verbruikspatronen bepaald met SIMDEUM voor huishoudelijke en niet-huishoudelijke verbruikers. Voor nadere informatie over SIMDEUM wordt verwezen naar [79], [141], [142] en [166]. Op basis van meerdere validaties met metingen van volumestromen in het leidingnet is gebleken dat de bepaling van het maximale waterverbruik met SIMDEUM het meest nauwkeurig is en die met de qv_n-methode onnauwkeurig [118].

De algemene formule uit SIMDEUM voor het berekenen van het maatgevend drinkwaterverbruik ([43] en [79]):

$$Q_{max,SIMDEUM} = A + B\sqrt{n} + C \cdot n$$

In rapporten die de laatste jaren zijn verschenen, zijn de factoren A, B en C bepaald voor verschillende typen verbruikers. In Tabel 4 is een voorbeeld gegeven van de meest recente A, B en C-factoren voor appartementen, standaardwoningen en luxe woningen. Dit is gedaan voor nieuwbouwwoningen, omdat zelfreinigende netten over het algemeen ontworpen worden voor nieuwbouwwijken. De waarden uit Tabel 4 zijn tevens voor een verschillend aantal woningen weergegeven in Figuur 9. Hierbij zijn waarden aangegeven voor een maximum dagelijks verbruik op een gemiddelde en een maximum dag. Deze waarden zijn noodzakelijk voor het bepalen van het:

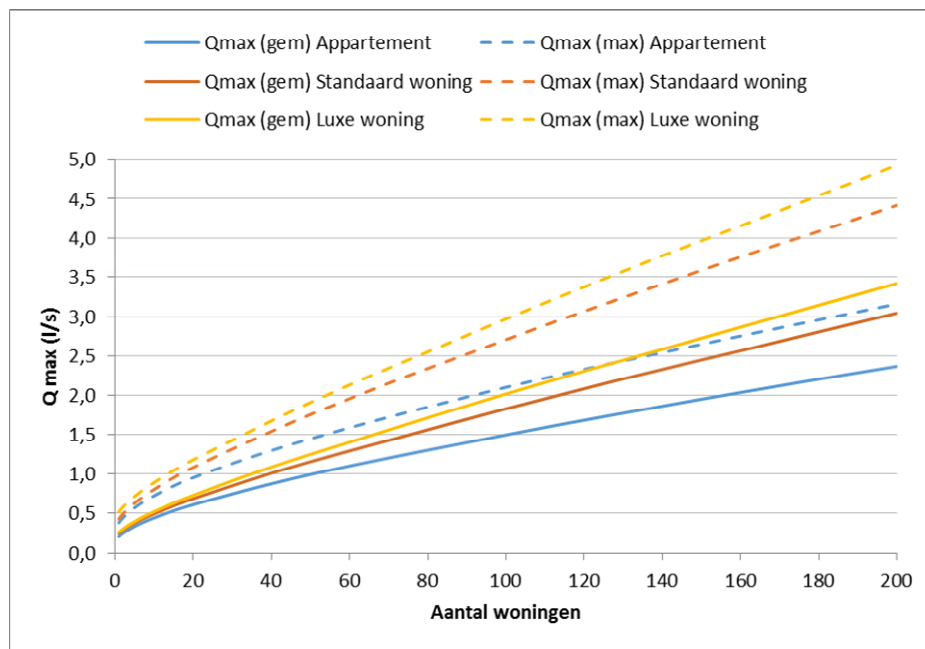
- maximum uur op een gemiddelde dag: de controle of in voldoende mate kan worden voldaan aan de snelheidseis voor zelfreiniging;
- maximum uur op de maximum dag: de maatgevende volumestroom voor het dimensioneren van de leiding en de controle of in voldoende mate kan worden voldaan aan de drukeis (zie hiervoor § 8.7).

In [166] worden voorbeelden gegeven op welke wijze verbruikspatronen worden toegepast. Uit berekeningen die aan deze voorbeelden ten grondslag hebben gelegen, blijkt dat de huishoudelijke verbruikspatronen specifiek zijn voor een bepaalde locatie. Met name de piekverbruiken zijn afhankelijk van de aard van de verbruikers voor wat betreft het waterverbruik en de gelijktijdigheid van verbruik.

Opgemerkt wordt dat de bepaling van de factoren A, B en C is uitgevoerd in 2012. In het onderzoeksprogramma van 2025 vindt een actualisatie daarvan plaats. Drinkwaterbedrijven kunnen ook kiezen voor een bedrijfseigen invulling, aangezien de factoren A, B en C ook kunnen variëren per regio. Zie Bijlage V voor een verdere toelichting op de SIMDEUM-methode.

Tabel 4 Voorbeelden van A, B en C-waarden voor toepassing in de formule uit SIMDEUM voor nieuwbouwwoningen, die zijn opgesteld in samenwerking met drinkwaterbedrijf Dunea [145].

Woningen								
Type woning	Bezettingsgraad	Hoofdelijk gebruik	Q_max (gem) [l/s]			Q_max (max) [l/s]		
	[# personen/woning]	[l/persoon.dag]	A	B	C	A	B	C
Appartement	1,8	113,1	0,110	0,089	0,005	0,240	0,136	0,005
Standaard woning	2,3	132,3	0,159	0,077	0,009	0,294	0,122	0,012
Luxe woning	2,3	140,3	0,176	0,074	0,011	0,395	0,108	0,015



Figuur 9 Met SIMDEUM berekent maximaal dagelijks verbruik (gebaseerd op de gegevens uit Tabel 4).

SIMDEUM is beschikbaar als MATLAB-code. Er is ook een open-source Python-versie beschikbaar genaamd pySIMDEUM (zie [Veelgebruikte software SIMDEUM nu nog toegankelijker - KWR](#)).

8.4.5 Maatgevend niet-huishoudelijk drinkwaterverbruik

Huishoudelijk verbruik is binnen bepaalde onzekerheidsmarges goed voorspelbaar, omdat het is opgebouwd uit diverse statistisch te onderbouwen deelverbruiken en woningbezettingen. Dat geldt echter niet voor niet-huishoudelijk verbruik, waarbij het waterverbruik direct samenhangt met de uitgevoerde activiteit. Bij grotere verbruikers is het verbruik te schatten als er op afstand uitleesbare watermeters zijn met een hoge meetfrequentie (de benodigde meetfrequentie hangt hierbij af van de fluctuaties in het verbruik, met name met oog op de piekverbruiken). Als er geen informatie is over het maatgevend niet-huishoudelijk verbruik, kan als maximale afname de capaciteit van de aansluiting worden gehanteerd. In de regel zal dit leiden tot een overschatting.

SIMDEUM is ook toegepast om verbruiken voor niet-huishoudelijke verbruikers te bepalen [167]. In de ISSO-publicatie 55 [79] zijn onder andere verbruiken vastgesteld voor het ontwerp van drinkwaterinstallaties in utiliteits- en woongebouwen. Hiermee kan ook het totale verbruik van de aansluiting worden bepaald. Voor kantoren, zorginstellingen, hotels, woontorens en studentencomplexen is SIMDEUM toegepast om de in genoemde ISSO-publicatie gehanteerde verbruiken te beschrijven. De resultaten zijn gevalideerd met metingen.

Drinkwaterbedrijven hanteren ook vuistregels om piekfactoren voor niet-huishoudelijk verbruik te schatten.

Drinkwaterbedrijf PWN bijvoorbeeld hanteert daarvoor de volgende regels [168]:

- Bedrijfsverzamelgebouw op een tertiaire leiding: het piekverbruik is gelijkgesteld aan dat van woningen, waarbij aan het laatste perceel een minimum verbruik wordt toegekend van 2,7 m³/u (de capaciteit van twee brandslanghaspels).
- Industriegebied op een tertiaire leiding: als er geen nadere informatie is over het piekwatervbruik:
 - 0 – 1 hectare: 280 tapeenheden per hectare (circa 1,4 m³/h per hectare);
 - 1 – 5 hectare: 200 tapeenheden per hectare (circa 1,2 m³/h per hectare);
 - 5 – 25 hectare: 156 tapeenheden per hectare (circa 1,0 m³/h per hectare);
 - > 25 hectare: 0,75 m³/h per hectare.

8.5 Functioneel ontwerp: Leveringszekerheid en leveringscontinuïteit

In de van toepassing zijnde publiekrechtelijke regelgeving is aangegeven wat de verplichtingen zijn van drinkwaterbedrijven aangaande de leveringszekerheid, zie hoofdstuk 4. Het leveringsplan dient een verstoringsparagraaf te bevatten, waarin het drinkwaterbedrijf middels een analyse aangeeft hoe om te gaan met onder andere uitval van elementen van de drinkwatervoorziening. Het drinkwaterbedrijf dient het leveringsplan ten minste eenmaal per vier jaar te herzien.

Aangezien de leveringszekerheidsanalyse gaat over de hoofdstructuur (levering aan zwaartepunten van verbruik) is die met name van toepassing op primaire leidingen en in mindere mate ook op secundaire leidingen. In de praktijk betekent dit dat er vanuit het oogpunt van leveringszekerheid een extra voeding noodzakelijk is indien een gebied vanuit één voeding wordt voorzien die niet is te repareren binnen 24 uur. Zie [26] voor het uitvoeren van een leveringszekerheidsanalyse.

Drinkwaterbedrijven hanteren daarnaast het begrip leveringscontinuïteit⁹. Dit begrip heeft geen wettelijke basis en wordt door bedrijven zelf ingevuld. De ongeplande OLM is een maat waarmee leveringsonderbrekingen worden uitgedrukt en zegt daarmee iets over de leveringscontinuïteit. Onder een leveringscontinu ontwerp wordt verstaan het dusdanig ontwerpen van een leidingnet dat bij verstoringen (zijnde normale verstoringen zoals als gevolg van lekkages of werkzaamheden) de drinkwaterlevering in de direct ernaast gelegen afsluitersecties ononderbroken kan plaatsvinden. Vanuit het oogpunt van leveringscontinuïteit betekent dit dat secundaire leidingen minimaal vanuit twee punten moeten kunnen worden gevoed. Ook geldt dat de aansluiting van een tertiair leidingnet moet plaatsvinden op een secundaire leiding die vanuit beide kanten voldoende capaciteit levert. Ook houdt leveringscontinuïteit in dat bij het afsluiten van een sectie er voldoende druk wordt gegarandeerd bij omliggende secties. Hierbij hanteren bedrijven verschillende uitgangspunten, zoals het berekenen op basis van een maximum dag of een gemiddelde dag.

8.6 Functioneel ontwerp: Inpassing bluswatervoorziening

Brandkranen kunnen in het leidingnet worden aangebracht ten behoeve van brandbestrijding. Brandkranen worden bij voorkeur geplaatst op secundaire leidingen. Plaatsing van brandkranen op primaire leidingen is ongewenst vanuit het oogpunt van beveiliging tegen terrorisme [90]. Plaatsing van brandkranen op tertiaire leidingen kan leiden tot een grotere leidingdiameter dan vanuit het oogpunt van waterkwaliteit wenselijk is, hoewel dit effect vaak kan worden beperkt door een goede leidingconfiguratie en locatiekeuze van de brandkraan hierin. Bij de inpassing van de bluswatervoorziening spelen onderstaande punten een rol:

- de benodigde capaciteit van de brandkraan;
- de benodigde dekkingscirkel, zijnde de maximale afstand van waaruit bluswater door een brandkraan kan worden geleverd;
- de te garanderen einddruk op de brandkraan (zie subparagraaf 8.7.2);
- de te garanderen druk op het leveringspunt in geval van inzet van de bluswatervoorziening.

Afspraken over de inpassing van de bluswatervoorziening worden gemaakt met het lokale bevoegd gezag, respectievelijk de brandweer (zie ook subparagraaf 5.3.2). Voor de wijze van inpassing van de levering van de bluswatervoorziening in tertiaire netten wordt verwezen naar [139] en voor de inpassing in secundaire netten naar [144]. Door diverse ontwikkelingen met betrekking tot processen en technieken van brandbestrijding wordt niet

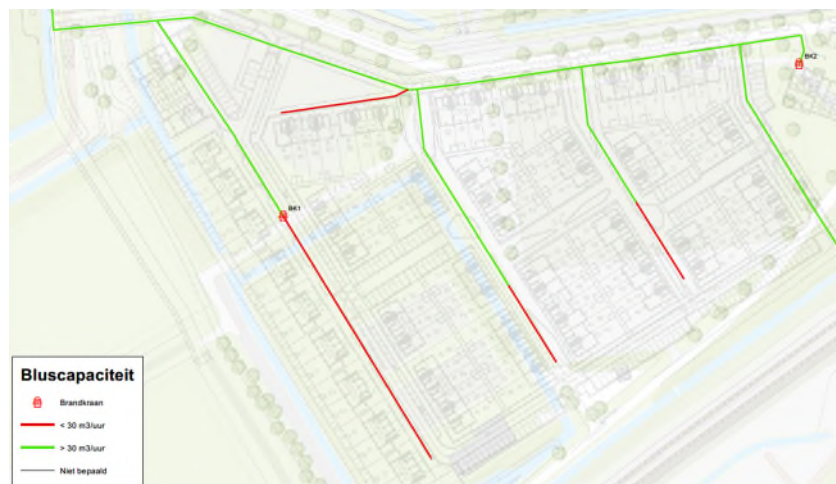
⁹ Leveringscontinuïteit is een begrip dat wordt gehanteerd om in geval van een verstoring aan te geven in hoeverre de levering van drinkwater mogelijk is zonder hinderlijke onderbrekingen voor de gebruiker. Het begrip kan ook worden ingezet in hydraulische berekeningen. In dat geval wordt bij de toetsing op leveringscontinuïteit gecontroleerd of als gevolg van de verstoring de druk op alle leveringspunten op de maximum dag gedurende 24 uur hoger is dan een af te spreken drempelwaarde. Er kan ook worden gesproken van een leveringscontinuïteit van bijvoorbeeld 99% als geldt dat als gevolg van de verstoring voor 99% van de leveringspunten de druk op de maximum dag gedurende die gehele dag hoger is dan een af te spreken drempelwaarde.

meer in alle gevallen een bluswatervoorziening aangebracht. Het standpunt van de brandweer inzake de benodigde capaciteit en de afstand tot bluswatervoorzieningen is weergegeven in het document 'Bluswatervoorziening en Bereikbaarheid' [81]. Dit standpunt heeft het karakter van een advies waarvan gemeenten kunnen afwijken. De brandweer hanteert vaak algemene regels zoals dat voor nieuwe laagbouw er een bluscapaciteit noodzakelijk is van $80 \text{ m}^3/\text{h}$ met een dekkingscirkel van 80 m.

Drinkwaterbedrijven en het bevoegd gezag gaan op verschillende manieren om met de inpassing van de bluswatervoorziening in het leidingnet, namelijk door:

- geen bluswatervoorziening aan te bieden en bestaande brandkranen te ontmantelen;
- de bluswatervoorziening aan te bieden, mits deze past in het hydraulisch ontwerp;
- de door de brandweer gewenste bluswatervoorziening in te passen in het hydraulisch ontwerp met de door de brandweer gevraagde capaciteit.

In Figuur 10 is een voorbeeld gegeven hoe drinkwaterbedrijf Evides Waterbedrijf met de brandweer communiceert over op welke leidingen een bluswatercapaciteit kan worden geleverd van $30 \text{ m}^3/\text{h}$ of meer.



Figuur 10. Voorbeeld van Evides Waterbedrijf waarin voor een nieuwbouwplan met *groen* wordt aangegeven welke leidingen een bluswatercapaciteit kunnen leveren van meer dan $30 \text{ m}^3/\text{h}$.

8.7 Functioneel ontwerp: druk

8.7.1 Totaal beschikbare drukverliezen

Voor het ontwerp van primaire, secundaire en tertiaire leidingen gelden randvoorwaarden om te garanderen dat op alle leveringspunten en in alle situaties voldoende dynamische druk is ten opzichte van het maaiveld om te voldoen aan de eisen zoals die worden gesteld in de van toepassing zijnde publiekrechtelijke regelgeving (zie hoofdstuk 4). De ontwerpdruk aan de beginzijde van een primaire, secundaire en tertiaire leiding wordt bepaald door:

- de benodigde druk aan het einde van de leiding;
- weerstandsverliezen over de betreffende leiding(en);
- eventueel te vereffenen hoogteverschillen.

De vereffening voor hoogteverschillen (verschillen in maaiveldhoogte) maakt dat berekeningen ten opzichte van een vast referentieniveau dienen te worden uitgevoerd, te weten het NAP.

Lokale omstandigheden kunnen leiden tot specifieke randvoorwaarden voor drukken in het leidingnet, bijvoorbeeld als:

- een leidingnet onderdelen heeft waarvoor slechts een beperkte druk toelaatbaar is, bijvoorbeeld bij leidingen met een beperkte drukklasse;

- een leidingnet gebieden heeft met een relatief hoog maaiveld (heuvels, duinen, et cetera);
- in het gebied een functionerende watertoren aanwezig is;
- bedrijfsonderdelen (bijvoorbeeld pompen) niet boven een bepaalde druk kunnen functioneren.

8.7.2 Tertiair leidingnet

De drukeis zoals die is opgenomen in de van toepassing zijnde publiekrechtelijke regelgeving (zie ook subparagraaf 4.1.2) bepaalt dat onder niet verstoorde omstandigheden op een willekeurig moment van de dag in één uur tijd 1.000 l water op het leveringspunt (te weten direct na de watermeter) van een enkelvoudige huishoudelijke installatie moet kunnen worden geleverd, terwijl de druk ter plaatse van het leveringspunt ten minste 150 kPa ten opzichte van het maaiveld is. Omdat de drukeis van toepassing is op het leveringspunt is het noodzakelijk een vertaling te maken van deze eis naar het aansluitpunt op de tertiaire leiding. In een project dat drinkwaterbedrijf Dunea en KWR Water Research Institute hebben uitgevoerd voor het opstellen van een ontwerphandboek is een analyse uitgevoerd om het drukverlies te bepalen over een aansluiting bestaande uit een aansluitpunt (zijnde een dienstkraan in dit geval), een aansluitleiding en een watermeteropstelling. In Bijlage IV zijn rekenresultaten weergegeven voor standaardoplossingen zoals die door Dunea zijn uitgewerkt. Voor een standaard huishoudelijke aansluiting geldt dat de hydraulische weerstand bij een afname van 1000 l/h ongeveer 30 kPa bedraagt. Dit wil zeggen dat (om te voldoen aan de voorgeschreven drukeis) de hydrostatische druk op de laatste dienstkraan van een tertiaire leiding 180 kPa moet zijn bij een levering van 1.000 l in een uur.

Voor het ontwerpen van een leidingnet is het het meest praktisch om een drukeis te hebben die aangeeft wat de minimale druk is op een maximum dag op het einde van een vertakking. Drinkwaterbedrijven hanteren hiervoor in veel gevallen een minimale druk op een maximum dag variërend van 220 tot 250 kPa. Opgemerkt wordt dat deze drukeis aanzienlijk hoger is dan noodzakelijk is op basis van de drukeis in de van toepassing zijnde publiekrechtelijke regelgeving.

De minimum druk bij het gebruik van een brandkraan dient voldoende te zijn om de benodigde capaciteit te kunnen leveren. Hierbij dient rekening te worden gehouden met de hydraulische weerstand in de brandkraan, het opzetstuk en de bluswaterslangen en de hoogte van de pomp in de tankauto. Een vuistregel die door meerdere drinkwaterbedrijven wordt gehanteerd, is dat er bij de gevraagde capaciteit een minimale druk benodigd is van 50 kPa ten opzichte van het maaiveld op het uitstroompunt van de brandkraan.

Drinkwaterbedrijven kunnen eisen opnemen voor de maximum druk met als doel het vermijden van lekkages in het leidingnet of bij consumenten, of dat bij een lekkage een grote hoeveelheid water wegstroomt. Drinkwaterbedrijven kunnen ook eisen opnemen voor een maximum druk in verband met het garanderen van comfort bij de levering.

8.7.3 Secundair leidingnet

De minimum druk die moet kunnen worden gegarandeerd in het secundaire leidingnet is te bepalen door de door het drinkwaterbedrijf gehanteerde minimum druk in het tertiaire leidingnet te vermeerderen met hydraulische verliezen op de maatgevende tak. De maatgevende tak is hier die vertakking in het tertiaire leidingnet met de hoogste hydraulische weerstand op de maximum dag.

Bij het bepalen van de minimale gegarandeerde druk in het secundaire leidingnet is ook aandacht nodig voor het inpassen van de bluswatervoorziening, afhankelijk van het geldende bedrijfsbeleid met betrekking tot bluswatervoorziening.

8.7.4 Primair leidingnet

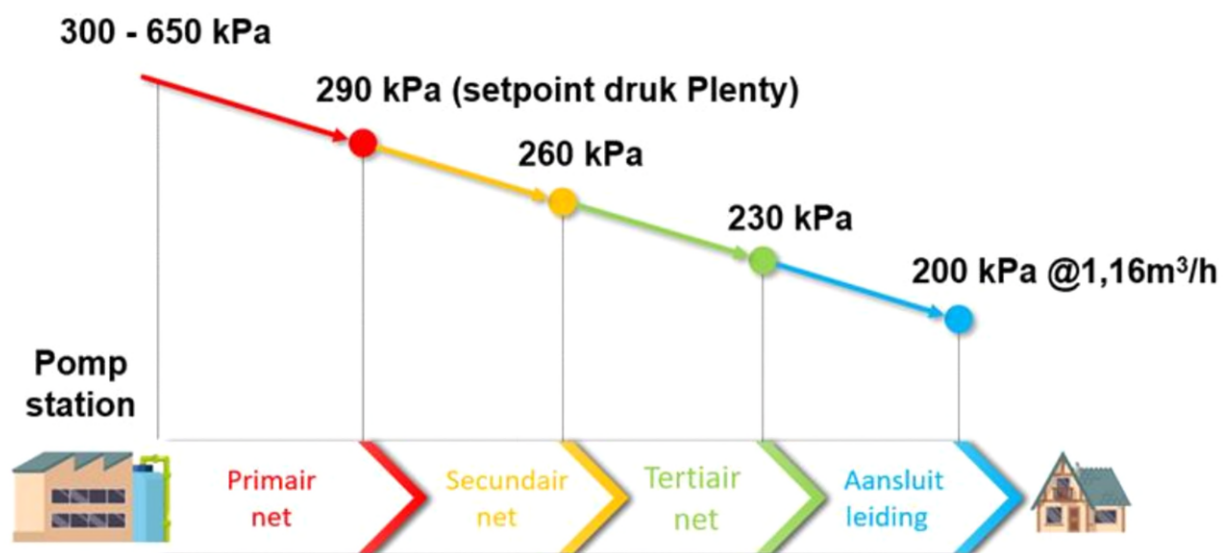
De randvoorwaarden voor de druk in het primaire leidingnet worden bepaald door:

- de minimum druk die moet worden gegarandeerd op alle secundaire leidingen, met name in de periferie van het voorzieningsgebied;

- de minimum druk die moet worden gegarandeerd aan de zuigzijde van eventuele opjagers in het voorzieningsgebied;
- de minimum druk die moet worden gegarandeerd op de inlaatklep van een eventuele decentrale berging (bijvoorbeeld een watertoren) om voldoende water te kunnen innemen;
- de maximum druk die kan worden geleverd op het pompstation;
- de maximum druk die toelaatbaar is op (oude) leidingen om storingen te voorkomen;
- de eisen gesteld door vergunningverleners ten aanzien van de maximum druk en bijbehorende maximum volumestroom.

In het rapport Flexibele oplossingen in transportleidingen voor hoge drinkwatervraag [169] zijn vijf generieke systeemconfiguraties beschreven voor primaire leidingen met het oog op de plaatsing van een berging en aanjagers. In het geval van vraagverandering bij bestaande primaire leidingen kunnen deze configuraties worden gebruikt om het bestaande systeem zo goed mogelijk in te zetten (anders gezegd om desinvesteringen te voorkomen).

In *Figuur 11* is schematisch weergegeven welke minimale drukeisen drinkwaterbedrijf PWN hanteert in het primaire, secundaire en tertiaire leidingnet, alsmede in aansluitleidingen.



Figuur 11 Schematische weergave van na te streven minimale druken in het leidingnet (bron: Handboek Aanleg Leidingen van drinkwaterbedrijf PWN).

8.8 Functioneel ontwerp: hydraulisch ontwerp

8.8.1 Overwegingen voor het dimensioneren van leidingen

In voorgaande paragrafen zijn de belangrijkste uitgangspunten genoemd bij het ontwerpen van leidingen. Drinkwaterbedrijven hanteren daarnaast overwegingen om te komen tot een optimaal hydraulisch ontwerp. De volgende overwegingen spelen hierbij een rol.

- 1 De maatgevende berekende volumestroom van de leiding voor de periode waarvoor de leiding wordt geprognosticeerd.
- 2 De opzet van het voorzieningsgebied
Een gebied dat wordt gevoed door relatief kleine drinkwaterproductielocaties kan kleinere primaire leidingen hebben dan bij voeding door één drinkwaterproductielocatie. De inrichting van het gebied (redundantie binnen het systeem, koppelingen, de te overbruggen afstand naar een berging) spelen hierbij een rol.

- 3 Als pompen een omvangrijk gebied voorzien, zal dat beperkingen opleveren aan de hydraulische weerstand en daarmee de keuze voor de diameter van met name primaire leidingen. Pompen en leidingen kennen immers beperkingen voor wat betreft de maximum druk en dat betekent dat bij een relatief omvangrijk gebied grotere diameters worden toegepast dan bij een relatief klein gebied.
- 4 Plaats van de berging in het voorzieningsgebied
Als de noodzakelijke berging niet op de productielocatie ligt, kunnen de primaire leidingen tussen de drinkwaterproductielocatie en de berging met een dagfactor worden ontworpen. De leidingen die een gebied voeden vanuit een berging moeten met een dagfactor en een uurfactor worden ontworpen.
- 5 Eisen voor leveringszekerheid en leveringscontinuïteit [26]
Op grond van een leveringszekerheidsanalyse kan het noodzakelijk zijn om primaire leidingen redundant aan te leggen, zie ook § 8.5. Leveringscontinuïteit stelt eisen aan de omvang van tertiaire leidingnetten en afsluitersecties en aan de wijze van voeding door secundaire leidingen.
- 6 Eisen die worden gesteld aan de dagelijks optredende snelheid om het leidingnet zelfreinigend te maken
Dit is verder uitgewerkt in § 8.8.
- 7 Eisen die worden gesteld door bijzondere afnemers (volumestroom, minimumdruk, bluswater enzovoort).
- 8 Bij de diameterkeuze van primaire leidingen spelen economische afwegingen een rol, zoals die worden genoemd in subparagraaf 8.8.2. Bij de diameterkeuze van tertiaire leidingnetten speelt de bedrijfskeuze voor beschikbare leidingdiameters een rol.

Drinkwaterbedrijven hebben bij het ontwerpen van leidingnetten een afweging tussen de keuze voor een 'slank ontwerp' of een 'ruim ontwerp'. Onder een slank ontwerp wordt verstaan een ontwerp met een slimme configuratie en een keuze voor kleine diameters, met inachtneming van de geldende druk- en hoeveelheidseisen, waarbij vooral wordt gestreefd naar het leveren van een goede drinkwaterkwaliteit bij de afnemer. Onder een ruim ontwerp wordt verstaan een ontwerp met veel onderlinge verbindingen en een keuze voor grotere diameters, waarbij vooral wordt gestreefd naar het hebben van voldoende capaciteit voor een eventuele hogere watervraag en het kunnen leveren in geval van stringen.

Door een consequente doorvoering van een leidingnetstructuur die op een eenduidige stromingsrichting met zelfreinigende stroomsnelheden is gebaseerd, wordt de verblijftijd tot een minimum beperkt. De impact van de verblijftijd op de drinkwaterkwaliteit is overigens sterk afhankelijk van lokale omstandigheden, zoals de toegepaste leidingmaterialen.

Voordelen van leidingnetten die zijn ontworpen volgens de principes van zelfreiniging zijn:

- een optimaal ontwerp van het distributienetwerk, zowel op het gebied van kwaliteit als operationele kosten (spuien);
- ongeveer 20% besparing op investeringen en ingebruikneming van nieuwe en gerenoveerde netwerken ten opzichte van de conventionele aanpak;
- controle van bron tot kraan, met de mogelijkheid te voldoen aan voorwaarden om te voorzien in kwalitatief hoogwaardig, chloorvrij drinkwater;
- tevreden klanten gevrijwaard van bruinwaterproblemen of andere zichtbare tekortkomingen van de drinkwaterkwaliteit.

Drinkwaterbedrijven maken gebruik van ontwerptools voor het ontwerpen van hun leidingnet. Voor het primaire en secundaire leidingnet wordt gebruik gemaakt van leidingnetberekeningsprogramma's. Voor het tertiaire leidingnet hanteren bedrijven verschillende tools, variërend van de qvN-methode tot softwaretools gebaseerd op SIMDEUM-patronen.

8.8.2 Gewenste stroomsnelheden

Primair leidingnet

Bij de diameterkeus gebaseerd op de stroomsnelheid in primaire leidingen gelden overwegingen van economische

aard, waarbij de investeringen in de leiding plus de energiekosten van de pompen worden geminimaliseerd over de levensduur van de leiding. In de meeste gevallen volgt voor deze leidingen een maximale snelheid tussen 0,8 – 1,2 m/s, waarbij drukgradiënten ontstaan van 0,5 – 1,5 mwk/km. Bij het uitvoeren van deze berekeningen is het van belang dat een goede inschatting van de toekomstige drinkwatervraag wordt gemaakt. Voor een analyse voor het bepalen van de meest economische diameter wordt verwezen naar Kiwa-Mededeling 59 [170] en Bijlage VI.

Secundair leidingnet

Het is van belang dat het ontwerp er op is gericht om een bepaalde leveringscontinuïteit te garanderen en de doorstroming te optimaliseren (anders gezegd: de verblijftijd zo kort mogelijk te houden). Er is geen vastgestelde minimumsnelheid of maximale verblijftijd voor het secundaire leidingnet. Door de wijken op een beperkt aantal plaatsen te voeden (2 tot 5) en zo klein mogelijke diameters toe te passen, wordt doorstroming bevorderd. Voor nadere informatie zie [144].

Tertiair leidingnet

Bij het ontwerp van het tertiaire leidingnet wordt een afweging gemaakt tussen zelfreiniging en toelaatbaar drukverlies. Het tertiaire leidingnet wordt uitgevoerd als vertakt stelsel, waarbij de diameter wordt verkleind met het afnemen van de volumestroom. De volumestroom voor het ontwerp in deze systemen wordt bij voorkeur bepaald met SIMDEUM, zie subparagraaf 8.4.4. De met SIMDEUM berekende dagelijks optredende stroomsnelheden moeten minimaal 0,2 m/s bedragen om sprake te laten zijn van een zelfreinigend leidingnet [143].

In het geval wordt ontworpen met de qVn -methode moet er rekening worden gehouden met het feit dat deze methode de berekende volumestromen overschat. In dit geval moet rekening worden gehouden met een ontwerpstroomsnelheid van minimaal 0,4 m/s [143]. Door de grote onnauwkeurigheden wordt de toepassing van de qVn -methode afgeraden.

8.8.3 Randvoorwaarden voor hydraulische berekeningen

Hydraulische berekeningen moeten worden uitgevoerd om aan te tonen dat het systeem voor wat betreft de dimensionering voldoet aan de gestelde randvoorwaarden voor wat betreft:

- de benodigde volumestroom;
- de minimum druk onder maximum vraagomstandigheden en specifieke ontwerpomstandigheden;
- de maximum druk onder maximum vraagomstandigheden en specifieke ontwerpomstandigheden;
- eisen ten aanzien van leveringszekerheid en leveringscontinuïteit;
- eisen ten aanzien van stroomsnelheid, stromingsrichting, vermijden pendelzones, enzovoort.

De berekeningen worden in Nederland over het algemeen uitgevoerd met de formules van Darcy-Weissbach, Colebrook-White en Reynolds. Bij deze berekeningen wordt uitgegaan van een watertemperatuur van 10°C. In de bij de drinkwaterbedrijven in gebruik zijnde leidingnetberekeningsprogramma's kan worden gekozen welke formules te hanteren.

Voor hydraulische berekeningen (handmatig of met leidingnetmodellen) worden de k -waarden (Colebrook-White) over het algemeen vastgesteld volgens vaste tabellen die het bedrijf heeft ontwikkeld op basis van ervaring, metingen en validaties van modellen. Generieke k -waarden zijn in Tabel 5 samengevat.

Tabel 5 Generieke k-waarden in hydraulische berekeningen (afgeleid uit [171]).

Materiaal	k-waarde (mm)
PVC, PE, PE-ALU	0,015
Asbestcement	0,1 – 2,1
Onbekleed grijs gietijzer	0,2 – 5,5
Beton	0,3 – 3
Onbekleed staal	0,2 – 5,5
Staal/NGIJ Cement coating	0,4-1,2
Staal/NGIJ PE coating	0,06
Bitumenbekleding	0,1 – 2,1

Onderdelen in een leidingnet met een sterk afwijkend lokaal verlies (zoals bij diameterveranderingen en bochten) kunnen apart in een berekening worden meegenomen. In de meeste gevallen zijn lokale verliezen dermate klein dat zij kunnen worden verwaarloosd. Leidingen van grijs gietijzer kunnen sterk afwijken van de oorspronkelijke diameter door de volumineuze incrustatie die ontstaat bij corrosie van het materiaal. Voor deze leidingen kan aanpassing van de inwendige diameter in het leidingnetmodel noodzakelijk zijn.

Het regelmatig doorrekenen van een leidingnet is noodzakelijk voor bijvoorbeeld:

- het controleren of er aanpassingen nodig zijn aan het bestaande net als gevolg van uitbreidingen;
- het valideren of een leiding bij werkzaamheden buiten gebruik kan worden gesteld en het bepalen van maatregelen om de levering tijdens werkzaamheden te garanderen;
- het analyseren van druk- en capaciteitsproblemen;
- het simuleren van storingen en calamiteiten;
- het controleren of wordt voldaan aan eisen van leveringszekerheid;
- het bepalen of wijzigingen van de bedrijfsvoering mogelijk zijn;
- het analyseren van mogelijkheden van energiebesparing op drinkwaterproductielocaties;
- diverse analyses, zoals voor de verspreiding van verschillende watertypes, de verblijftijd en de plaatsing van waterkwaliteitssensoren.

De wijze waarop de leidingnetmodellen zijn gebouwd en wat de status is van de gebruikte invoer (verbruiken, sturing enzovoort) moet worden vastgelegd in de bij het model behorende rapportages.

8.8.4 Indeling van afsluitersecties

Afsluiters zijn noodzakelijk om een leiding of een deel van het leidingnet af te kunnen sluiten wanneer dit nodig is. Een afsluitersectie is een verzameling leidingen die middels een of meer afsluiters kan worden geïsoleerd. Een tertiair leidingnet kan als één afsluitersectie worden ontworpen. Dit kan door één afsluiter te plaatsen op de aftakkende tertiaire leiding of door twee afsluiters te plaatsen op de secundaire leiding aan weerszijde van de aftakkende tertiaire leiding, waarbij de laatste methode de voorkeur heeft. Primaire en secundaire leidingen bevatten daarentegen altijd twee of meer afsluiters per sectie. In oudere ontwerpen van leidingnetten zijn vaak veel afsluiters geplaatst. Het kan voorkomen dat deze oude afsluiters niet goed afsluiten. In dat geval zullen achtergelegen afsluiters moet worden gesloten. Dit maakt het soms moeilijk om een gebied te isoleren.

Het aantal aansluitingen in een afsluitersectie is een afspiegeling van het bedrijfsbeleid, waarbij geldt dat grotere afsluitersecties worden bereikt door inzet van minder afsluiters (dit leidt tot minder investeringen en kosten voor onderhoud) en dat kleinere afsluitersecties worden bereikt door inzet van meer afsluiters (dit leidt tot minder grote effecten op de leveringsonderbreking in geval van leidingbreuk en werkzaamheden, maar ook tot een kleinere kans op succesvolle afsluiting van de sectie). Voor de drinkwaterbedrijven Brabant Water, Dunea, PWN en Waternet is een methodiek uitgewerkt om te komen tot een optimale sectie-grootte [172]. Voor het beheer van afsluiters en

het inrichten van afsluitersecties wordt verwezen naar [173]. Er zijn softwarepakketten ontwikkeld die drinkwaterbedrijven ondersteunen bij het optimaal indelen van afsluitersecties, namelijk CAVLAR [174], de Rolsch afsluitertool (<http://www.rolsch.nl>) en Bestvalve van Spatial Insight ([Spatial Insight](#)).

8.8.5 Indelingen in DMA's

DMA betreft een afgebakend/begrensd (deel)gebied in een balansgebied waarvan de in- en uitstromende hoeveelheid water wordt gemeten, meestal met als doel het beheersen of verminderen van het lekverlies. Omdat een DMA een afgesloten en bemeterd balansgebied is, levert dit goed inzicht in het actuele waterverbruik. Een DMA kan fysiek zijn afgesloten van aangrenzende gebieden door gesloten afsluiters of door permanent losgekoppelde leidingen. Een DMA kan ook worden begrensd door 'open leidingen' waarop watermeters zijn geplaatst. In dat geval wordt gesproken van een virtuele DMA. Zie [175] voor meer informatie over DMA's.

In [176] is een inventarisatie gemaakt van de toepassing van DMA's in Nederland en zijn overwegingen gegeven die kunnen dienen bij het inrichten daarvan.

8.8.6 Streefstructuren

In 2011 en 2016 is door KWR Water Research Institute onderzoek gedaan naar hoe het secundaire leidingnet het beste kan worden ontworpen [111, 144]. Dit heeft geleid tot een stappenplan om te komen tot een goed ontwerp (met oog op prestatiecriteria zoals leveringszekerheid, drinkwaterkwaliteit, enzovoorts) met een betere onderbouwing van ontwerpkeuzes (rond bijvoorbeeld leidingnetstructuur, diameter, plaatsing van afsluiters, enzovoorts). De bevindingen van bovengenoemd onderzoek hebben inmiddels hun weg gevonden richting de ontwerphandboeken van de drinkwaterbedrijven.

Sommige drinkwaterbedrijven maken aan de hand van deze ontwerprichtlijnen ook een integraal herontwerp van de structuur van hun (secundaire) leidingnet dat is afgestemd op de toekomstige ontwikkelingen die worden verwacht in het betreffende gebied. Dergelijke ontwerpen kunnen vervolgens als leidraad dienen om te bewaken dat de invulling van specifieke aanleg- en renovatieprojecten (waarbij altijd maar een deel van het leidingnet kan worden aangepast) in lijn blijft met het grotere toekomstbeeld. De drinkwaterbedrijven noemen deze integrale ontwerpen van het secundaire leidingnet streefstructuren of blauwdrukken.

Om drinkwaterbedrijven te ondersteunen bij het formuleren van systematisch onderbouwde, toekomstbestendige streefstructuren, zijn door KWR Water Research Institute methodieken onderzocht en gedemonstreerd voor automatisering van het ontwerpproces met behulp van numerieke optimalisatie. Met behulp van deze technieken wordt het mogelijk om complexe aspecten systematisch in te bedden in een ontwerp, zoals de robuustheid van een streefstructuur en de interactie tussen de vervangingsplannen van een drinkwaterbedrijf en de transitie richting een streefstructuur [175], [176] en [177].

8.9 Functioneel ontwerp: aansluitleidingen

Voor het ontwerp van aansluitleidingen gelden in principe dezelfde aspecten als voor tertiaire leidingen. Aansluitleidingen moeten zo recht mogelijk zijn en de kortst mogelijke route volgen vanaf de tertiaire leiding tot aan het leveringspunt.

Ten aanzien van de bepalingen rond de aansluitleiding die in het perceel van de afnemer is gelegd, wordt verwezen naar Artikel 4 in het '[Model Aansluitvoorwaarden Drinkwater 2011](#)' [33].

In het geval van een aanvraag voor niet-reguliere voorziening voor de levering van drink- of bluswater kan het drinkwaterbedrijf deze aanvraag afwijzen als dit leidt tot een leidingnetontwerp dat ongunstig is vanuit oogpunt van de drinkwaterkwaliteit.

8.9.1 Huishoudelijke aansluitingen

De diameter van de aansluitleiding wordt bepaald op basis van de vereiste volumestroom op de aansluiting en het maximum energieverlies. Het maximum energieverlies over de aansluitleiding volgt uit de in de leveringsvoorwaarden [32] omschreven randvoorwaarden voor ontwerp en levering, zie ook Bijlage IIV. Bij de bepaling van de maximum energieverliezen moeten de weerstanden van de dienstkraan, de hoofdkraan voor de watermeter, de watermeter met de (daarin) aanwezige keerklep worden betrokken. De minimum druk op het leveringspunt is vastgesteld in de van toepassing zijnde publiekrechtelijke regelgeving.

8.9.2 Niet-huishoudelijke aansluitingen

De diameter wordt bepaald op basis van de overeengekomen volumestroom en de maximum energieverliezen. Verder wordt verwezen naar de ISSO-publicatie 55 [79] waarin voorschriften en richtlijnen zijn opgenomen voor het realiseren van collectieve leidingwaterinstallaties in utiliteits- en woongebouwen.

De bluswaterlevering via aansluitleidingen wordt vastgesteld op basis van de mogelijke levering op dit deel van het leidingnet in overleg met de afnemer, zie ook subparagraaf 5.3.2.

Drinkwaterbedrijven hanteren ook de term gezeekerde aansluitingen. Dit geldt bij verbruikers van groot belang, zoals ziekenhuizen, waarbij vanuit het oogpunt van leveringscontinuïteit twee aansluitingen zijn gemaakt vanuit twee verschillende afsluitersecties.

Deel 2: Ligging

8.10 Ligging: tracébeplanning en diepte

8.10.1 Tracébeplanning en benodigde afstand tot objecten in boven- en ondergrond

Drinkwaterbedrijven stellen in overleg met gemeenten, projectontwikkelaars en andere infrastructuurbeheerders tracés vast voor secundaire en tertiaire leidingen. In de regel liggen deze leidingen in openbare grond. Primaire leidingen vergen een grootschalig en veelal langdurig voorbereidingstraject waarbij tracéverkenningen en afspraken met grondeigenaren nodig zijn. De door Vewin opgestelde Staalkaart [105] is een hulpmiddel voor gemeenten om belangen met betrekking tot drinkwater goed te kunnen borgen in het omgevingsplan. Voor meer achtergronden bij de wettelijke aspecten van de Omgevingswet [189] en de betekenis hiervan voor de ligging van leidingen wordt verwezen naar het door Vewin uitgebrachte 'Handboek Omgevingswet voor een duurzame veiligstelling van de openbare drinkwatervoorziening' [178].

Bij het vaststellen van de ligging van nieuwe leidingen wordt gecontroleerd of de positie van een leiding voldoet aan de van toepassing zijnde publiekrechtelijke en privaatrechtelijke regelgeving en de planologische ontwikkelingen waarbij alle relevante economische en uitvoeringstechnische aspecten in acht zijn genomen. De tracébeplanning in het horizontale vlak is afhankelijk van de ruimtelijke context. Door een toenemend gebruik van de ondergrond en de wens om kabels en leidingen goed te bereiken, is een goede ordening van de ondergrond van belang. Om dit in goede banen te leiden, dient een drinkwaterbedrijf een dwarsprofiel op te stellen dat de aanwezige ruimte zo efficiënt mogelijk benut. De nationale norm NEN 7171-1 (verbindend, zie hoofdstuk 4) bevat de standaardcriteria die hiervoor als basis kunnen dienen. Ook de invloed van voorzieningen en/of objecten bovengronds komt daarbij aan bod. De Nederlandse praktijkrichtlijn NPR 7171-2 geeft aan hoe procesmatig kan worden gehandeld om tot een acceptabele ordening van de ondergrondse netten te komen en welke prestaties daarvoor nodig zijn. Soms moet daarbij rekening worden gehouden met lokale vergunning- of toestemmingsvoorwaarden. De normen hebben betrekking op nieuwbouwsituaties en zijn ook bruikbaar voor bestaande situaties, en sluiten tevens aan op de uitgangspunten van de 'Wet informatie-uitwisseling bovengrondse en ondergrondse netten en netwerken', WIBON [56] (zie ook de hoofdstukken 4 en 10) en op de richtlijn Veilig Grondroeren (CROW-publicatie 500) [179].

De volgende aspecten kunnen een rol spelen bij het bepalen van een tracé:

- een zo kort mogelijke route met zo min mogelijk (planologische) obstakels, zoals:
 - risicovolle objecten zoals waterkeringen, kanalen, rivieren, wegen, en spoorwegen;
 - gebieden met zakelijk-rechtsovereenkomsten of vergunningen;
 - inpassing in bestemmingsplannen;
 - bestaande bebouwing en geplande bouw- en ontwikkelingsplannen;
 - ligging onder gesloten verharding en/of parkeerstroken;
 - natuurgebieden;
 - extreme verschillen in maaiveldhoogten;
 - gebieden met een ongunstige bodemgesteldheid, waaronder agressieve of verontreinigde grond;
 - ongunstige belastingssituaties, zoals grondbelasting, verkeersbelasting of bomen;
 - andere ondergrondse infrastructuur;
 - het optreden van zwerfstromen bij stalen leidingen;
- onderlinge afstanden ten opzichte van andere ondergrondse infra, in het bijzonder het op afstand houden van warmtebronnen (stadsverwarming, transformatorhuisjes, et cetera) die aanleiding kunnen geven tot opwarming van het drinkwater;
- toegankelijkheid voor het uitvoeren van beheer en reparaties, wat ook geldt voor de ligging van objecten die noodzakelijk zijn voor de bedrijfsvoering, zoals afsluiters brandkanen en installaties voor kathodische bescherming.

In het kader van de Basisregistratie Ondergrond (zie [Home - Basisregistratieondergrond](#)) en de WIBON komt er steeds meer 3D-informatie beschikbaar over de ondergrond en de ligging van kabels en leidingen, zie ook § 4.4.

In straten met aan twee zijden bebouwing kunnen tertiaire leidingen eenzijdig of tweezijdig worden aangelegd. Eenzijdig wil zeggen dat de tertiaire leiding zich aan één zijde van de straat bevindt, waarbij de aansluitleidingen voor de overzijde onder de rijbaan worden aangebracht. Bij een tweezijdige aanleg bevindt zich aan weerszijden van de rijbaan een tertiaire leiding. In het algemeen wordt de voorkeur gegeven aan enkelzijdige aanleg, omdat dit de meeste mogelijkheden biedt om de tertiaire leiding aan de schaduwzijde of in een groenstrook te positioneren. Er zal voor tweezijdige aanleg worden gekozen in het geval:

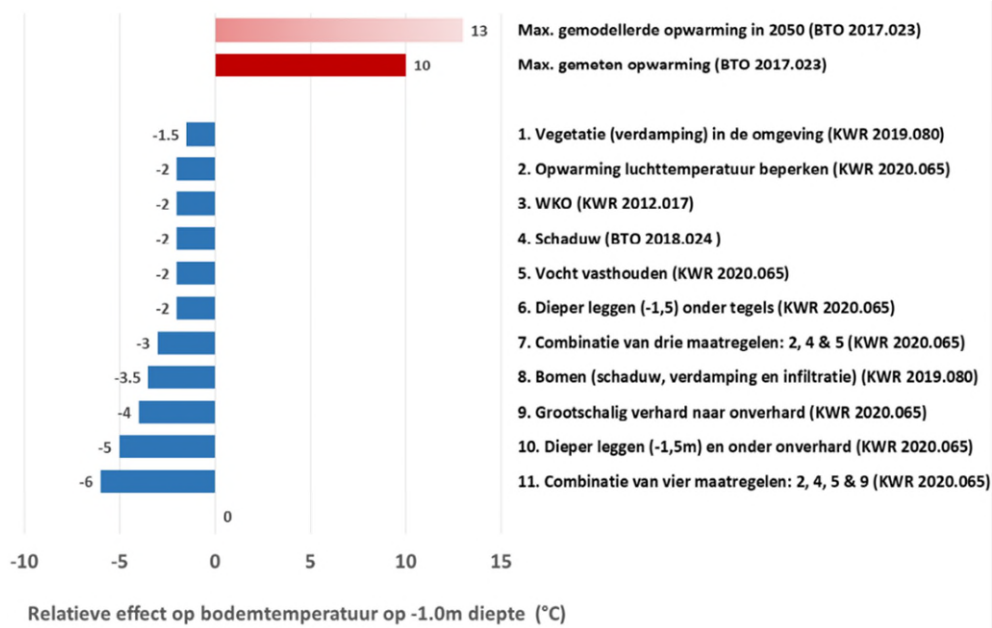
- de lengte van de aansluitleiding onder de rijbaan lang is, drinkwaterbedrijven stellen hier zelf normafstanden voor op;
- de rijbaan bestaat uit asfalt of beton;
- er voor de wegfundering gebruik wordt gemaakt van moeilijk doordringbaar materiaal.

Als gevolg van opwarming van het klimaat en de toenemende aanwezigheid van warmtebronnen in boven- en ondergrond, warmt de bodem steeds meer op. Dit kan leiden tot een temperatuur van het drinkwater aan de tap hoger dan 25°C, waarmee niet wordt voldaan aan de in het Drinkwaterbesluit voorgeschreven grenswaarde [7]. Opwarming van de bodem kan optreden als gevolg van een hogere luchttemperatuur (klimaatopwarming) of door de aanleg van antropogene warmtebronnen (ook wel hotspots genoemd) zoals warmtenetten, elektriciteitskabels, elektrische laadpalen en transformatorhuisjes. In [180] is aangetoond dat lokale aanpassingen of beheermaatregelen zoals aanpassingen van de diameter, het leidingmateriaal of de leidingconfiguratie niet effectief zijn tegen de opwarming nabij hotspots. Dit geldt ook voor extra spuien. De betreffende referentie geeft aan dat voldoende afstand tot antropogene bronnen en diepere aanleg (zie verder subparagraaf 8.10.2) effectieve maatregelen zijn om opwarming tegen te gaan. Het is echter ook mogelijk om opwarming te reduceren door aanpassing van de bodem, de bodembedekking of ligging in de schaduw [181]. Dit rapport bevat meetresultaten, die in combinatie met eerder onderzoek zijn verwerkt tot vuistregels om in te schatten wat het effect is van een maatregel (of een combinatie van maatregelen) op de bodemtemperatuur op 1 m diepte, zie ook *Figuur 12*. In dit figuur is ook aangegeven dat de maximaal gemodelleerde opwarming in 2050 op 1 m diepte (op basis van de klimaatscenario's van 2006) 13°C kan zijn, dat wil zeggen 13°C meer dan de maximale temperatuur die in 2006 werd gemeten. In [180] zijn fluctuaties in temperatuurmetingen op 1 m diepte aangetroffen van 10°C. Maatregelen die kunnen leiden tot verlaging van de bodemtemperatuur zijn:

- het aanbrengen van vegetatie boven leidingen (of in ieder geval het zo veel mogelijk vermijden van ligging onder verhard oppervlak);
- het zorgdragen voor een beperking van de luchttemperatuur, zoals het voorkomen van hittestress of het op afstand leggen van bovengrondse hittebronnen;
- het koelen van water;
- het positioneren van leidingen in schaduwgebieden (op het warmst van de dag);
- vocht vasthouden in de bodem;
- dieper leggen.

Het combineren van maatregelen blijkt effectief te zijn, zo is de aanleg van bomen gunstig aangezien zij schaduw geven en door verdamping bijdragen aan een koelere bodem. Opgemerkt wordt dat deze maatregelen effectief zijn als zij grootschalig worden toegepast; toepassing op kleine schaal zal een beperkt verkoelend effect hebben en stroomafwaarts zal snel weer opwarming optreden.

Bovengenoemde maatregelen zijn niet zelfstandig door drinkwaterbedrijven te realiseren, maar zijn alleen mogelijk in afstemming met gemeenten en ontwikkelaars. Hiervoor zullen in een vroeg stadium in het ontwerpproces afspraken moeten worden gemaakt. Deze afspraken zullen een langdurige werking dienen te hebben.



Figuur 12 Relatieve effect van opwarming en van maatregelen om opwarming tegen te gaan op 1 m diepte ten opzichte van de nulsituatie (KNMI-klimaatscenario's 2006) [189].

In [182] wordt een overzicht gegeven van bestaande kennis over opwarming van drinkwater en de bijbehorende risico's en beheermaatregelen. Op basis van zes onderdelen van risicomanagement zijn beheermaatregelen benoemd, waarvan de meeste betrekking hebben op de aanleg van nieuwe leidingen, zie *Figuur 13*.



Figuur 13 Aanbevelingen voor risicomanagement gerelateerd aan de temperatuur van drinkwater in het leidingnet [190].

Drinkwater kan ook opwarmen door de nabijheid van antropogene warmtebronnen. De meest voorkomende warmtebronnen zijn warmtenetten en elektriciteitskabels. Op basis van onderzoek (TKI-Engine, dat werd uitgevoerd van 2020 tot en met 2023, [183] en [184]) is een overeenkomst opgesteld tussen Energie Nederland en Vewin met afspraken over de afstand tussen ondergrondse warmtenetten en drinkwaterleidingen [185]. In 2025 start een vervolgonderzoek waarin de mogelijke opwarming van drinkwater door elektriciteitskabels wordt onderzocht.

Het uitgangspunt van de afspraken tussen Energie Nederland en Vewin is een minimale beïnvloeding van maximaal 1°C relatieve temperatuurstijging in 5% van de drinkwateraansluitingen. Voor nieuwe warmtenetten (van hoge- en middentemperatuur) in bestaande bebouwing is afgesproken dat er naar wordt gestreefd om zoveel mogelijk ruimte te houden tussen warmteleidingen en drinkwaterleidingen, die in parallellegging minimaal 1,5 m (dagmaat) moet zijn. Omdat dit in de praktijk niet altijd mogelijk zal zijn, zijn de volgende uitzonderingen mogelijk (waarbij de uitzonderingen 1 en 2 mogen worden gecombineerd):

- 1 om beperktere parallellegging op kortere afstand mogelijk te maken: tot maximaal 25% van de leidinglengte van het drinkwaternet per buurt (op basis van het CBS) mag de minimale afstand 1,0 m zijn over een lengte van maximaal 100 m;
- 2 om te anticiperen op ondergrondse barrières (bijvoorbeeld vuilcontainers) of bij expansielussen van warmtenetten: tot maximaal 5% van de leidinglengte van het leidingnet voor drinkwater per buurt (op basis van het CBS) mag de minimale afstand 0,5 m zijn over een lengte van maximaal 5 m;
- 3 in geval van onwerkbaar situaties: overige uitzonderingen zijn uitsluitend mogelijk in onderling overleg tussen drinkwaterbedrijf en energieleverancier, én op basis van locatie specifiek onderzoek;
- 4 voor (vrijwel haaks) kruisende leidingen: hier dient een minimale afstand van 0,25 m te worden aangehouden, ter voorkoming van schade, behalve bij kruisingen waar zettingen kunnen optreden en waar een aanvullende beoordeling is vereist.

In de overeenkomst [185] zijn procesafspraken vastgesteld hoe te handelen in geval van de aanleg van een warmtenet nabij drinkwaterleidingen. Tevens is aangegeven dat afspraken worden geëvalueerd en dat beide partijen ernaar streven om de genoemde afspraken op te nemen in de norm [NEN 7171-1](#) en de praktijkrichtlijn [NPR 7171-2](#), en in de handboeken voor kabels en leidingen van gemeenten.

In een recent onderzoek is opwarming van drinkwater gemeten aan het tappunt als gevolg van nabijgelegen warmteleidingen (met een watertemperatuur van 30°C) in het aansluittraject [186]. In dit rapport wordt geconcludeerd dat op basis van een ruwe inschatting er tientallen centimeters afstand nodig zijn tussen aansluitleidingen voor drinkwater en voor warmte om te voorkomen dat er opwarming van het drinkwater zal optreden die meer is dan 1°C.

8.10.2 Diepteligging

Subparagraaf 6.6.6 van de nationale norm [NEN 7171-1](#) heeft betrekking op de functionele eisen van 'Waterleidingen'. Hier is aangegeven: *'Waterleidingen moeten vorstvrij worden aangelegd en vorstvrij liggen. Afhankelijk van de geografische omstandigheden is hiervoor een dekking noodzakelijk van ten minste 800 mm tot 1.000 mm en mogen de leidingen niet te veel worden opgewarmd'*.

De sleuf moet zo diep worden uitgegraven dat de leiding vorstvrij ligt en voldoende is beschermd tegen te grote opwarming. De vorstindringing komt onder Nederlandse klimaatomstandigheden niet dieper dan 1 m, zie ook subparagraaf 10.2.2. Wanneer dit niet mogelijk is, moeten beschermende maatregelen worden getroffen. Andere overwegingen die een rol spelen bij de diepteligging zijn:

- belasting: hoe dieper, des te groter de grondbelasting en des te lager de verkeersbelasting;
- bescherming tegen graafschade: hoe dieper, des te kleiner de kans op graafschade;
- opwarming: hoe dieper, des te kleiner de kans op opwarming;
- aanleg- en beheerskosten: hoe dieper, des te hoger de kosten.

Drinkwaterleidingen die niet de bestaande infrastructuur volgen (meestal betreft het primaire leidingen en gaat het vooral om landelijk niet-openbaar gebied), liggen vaak met een grotere dekking (dat wil zeggen meer dan 1,5 m) ter voorkoming van schade als gevolg van grondwerkzaamheden.

In diverse onderzoeken is kennis opgedaan van de opwarming van drinkwater in leidingen en de extra risico's die kunnen optreden als gevolg van opwarming van het klimaat. Met oog op klimaatverandering is in [187] nagegaan in hoeverre het dieper leggen van leidingen een effectieve en haalbare oplossing is om opwarming tegen te gaan.

Geconcludeerd wordt dat dieper leggen uitsluitend zinvol is als dat grootschalig wordt uitgevoerd. Dat betekent dat het verdiepen van het gehele leidingnet minimaal 100 jaar zal vergen. De additionele aanlegkosten van verdiept leggen zijn hoog: ordegrootte een factor 1,5 voor een diepte van 1,5 m en een factor 2 voor een diepte van 2 m. Deze hoge kosten worden veroorzaakt doordat grondwerk een groot deel van de aanlegkosten uitmaakt en er vaak extra voorzieningen nodig zijn voor bemaling en bekisting.

Bij een kruising van een watergang gelden bijzondere voorwaarden. Lekkages onder watergangen zijn niet of nauwelijks te detecteren en in het geval van een reparatie is een dergelijke leiding slecht bereikbaar. In veel gevallen is de watergang onder beheer van een waterschap en hanteren zij voorwaarden voor de diepte waarmee een drinkwaterleiding onder het theoretisch bodemprofiel. Voor grote watergangen en kruisingen met waterkeringen worden specifieke afspraken gemaakt over de aan te houden diepteligging.

Deel 3: Constructie technisch ontwerp

8.11 Constructie technisch ontwerp: achtergrond

Het doel van het engineeringproces is dat leidingen worden ontworpen die voldoen aan alle relevante eisen die worden gesteld aan de sterkte, ligging en veiligheid van de drinkwaterleidingen. Vanuit het oogpunt van risicobeheersing is de engineering erop gericht om de kans op falen en de effecten van falen op een aanvaardbaar niveau te krijgen. Wat een aanvaardbaar niveau is, wordt bepaald door de geldende wet- en regelgeving, en door het drinkwaterbedrijf opgestelde ontwerpnormen. In het Drinkwaterbesluit [7] wordt hiervoor verwezen naar de normenserie NEN 3650 en de norm NEN 3651, zie § 4.2.

In de NEN 3650 behandelt hoofdstuk 8 het constructief ontwerp, wat als leidraad is gehanteerd voor het constructie technisch ontwerp.

In de NEN 3650 zijn leidingsystemen voor het transport en de distributie van drinkwater ingedeeld in Groep II Buisleidingen. Deze groep betreft leidingsystemen met een medium dat uitsluitend gevaar veroorzaakt voor mens en/of milieu door het effect bij uittreden. Voor water dat niet belastend is voor het milieu (zoals drinkwater, ruwwater, hemelwater) behoeft uitsluitend de waterstaatkundige veiligheid te worden beschouwd. Een veiligheidsevaluatie met betrekking tot het milieu kan achterwege blijven.

Er is ook andere publiek- en privaatrechtelijke regelgeving die eisen stelt aan het constructie technisch ontwerp, zoals de lokale regelgeving van gemeenten of waterschappen, zie § 4.6.

Overigens geldt voor de meeste situaties, met name in het geval van secundaire en primaire leidingen, dat er sprake is van een beperkt aantal belastingsituaties die door fabrikanten van leidingen zijn verdisconteerd in verschillende materiaalklassen. Hierbij kan worden gedacht aan de verschillende drukklassen van kunststof leidingen.

In de herziene versie van de bovenliggende Europese norm NEN-EN 805 (in voorbereiding, zie Bijlage III) wordt aangegeven dat een drinkwatervoorzieningssysteem (waaronder het leidingnet) dient te worden ontworpen voor een levensduur van 50 tot 100 jaar. Daarbij wordt aangegeven dat lokale omstandigheden of economische overwegingen een aanleiding kunnen zijn om hiervan af te wijken.

8.12 Constructie technisch ontwerp: materiaalkeuze

Door KWR Water Research Institute is een multicriteriamodel opgesteld voor het ondersteunen van beslissingen over het selecteren van een leidingmateriaal [76]. Dit model dateert uit 2011 en is het niet aan te raden de uitkomsten direct over te nemen. Het is echter wel nuttig de belangrijkste factoren te noemen die betrekking hebben op de materiaalkeuze:

- bodem: pH bodem, zettingsgevoeligheid, chemische verontreinigingen, bodem en de ligging ten opzichte van het grondwater;
- drinkwaterkwaliteit: de pH en de Si;
- omgeving: verkeersbelasting, de kans op bouwactiviteiten, bomen en zwerfstromen;
- kans op beschadiging bij aanleg en beheer;
- bedrijfsspecifieke aspecten: ruimtebeslag bij opslag, hanteerbaarheid, snelheid van uitvoeren reparatie en eisen voor het gebruik specifiek gereedschap en materieel;
- invloed op waterkwaliteit: biofilmvormingspotentie en afgifte van stoffen;
- duurzaamheid: uitputting van grondstoffen, energie en vervuiling over de levenscyclus;
- kosten.

Drinkwaterbedrijven hanteren PVC als standaardmateriaal voor de meest gangbare leidingen. Hierbij wordt de laatste jaren steeds meer overgegaan op biaxiaal verstrekt PVC (PVC-O). In zettingsgevoelige bodems wordt vaak gekozen voor PE als leidingmateriaal. Voor de grootste transportleidingen wordt de laatste jaren voornamelijk gebruik gemaakt van staal of nodulair gietijzer.

In het geval agressieve stoffen in de bodem voorkomen, moet daarmee met de materiaalkeuze voor de leidingen (en eventuele uitwendige bekleding) rekening worden gehouden. Als er sprake is van een organische bodemverontreiniging of kans daarop komen niet alle materialen in aanmerking. In de praktijkcode [PCD 5](#) [16] dat kan worden gezien als een actualisatie van [76], zijn richtlijnen vastgelegd ten behoeve van de selectie van materialen in specifieke situaties van bodemverontreiniging (aard en concentratie van stoffen). Hierbij is een stappenplan gegeven hoe om te gaan met het permeatierisico bij bestaande drinkwaterleidingen. Voor nieuwe leidingen is een overzicht gegeven van de permeatieweerstand van verschillende materialen voor buizen en verbindingen.

Bij het opstellen van bedrijfsspecifieke richtlijnen spelen afspraken met vergunningsverleners een rol. Drinkwaterbedrijf Evides Waterbedrijf geeft bijvoorbeeld aan dat waterschappen in de Rijnmondregio bij het kruisen van een watergang vaak een vergunning en een eenvoudige sterkteberekening eisen. Op basis daarvan wordt in veel gevallen gekozen voor PE 100 met SDR 11. In Zeeland worden minder strikte eisen gesteld en is het ook mogelijk om PVC met trekvraste verbindingen toe te passen.

8.13 Constructie technisch ontwerp: belastingsoorten

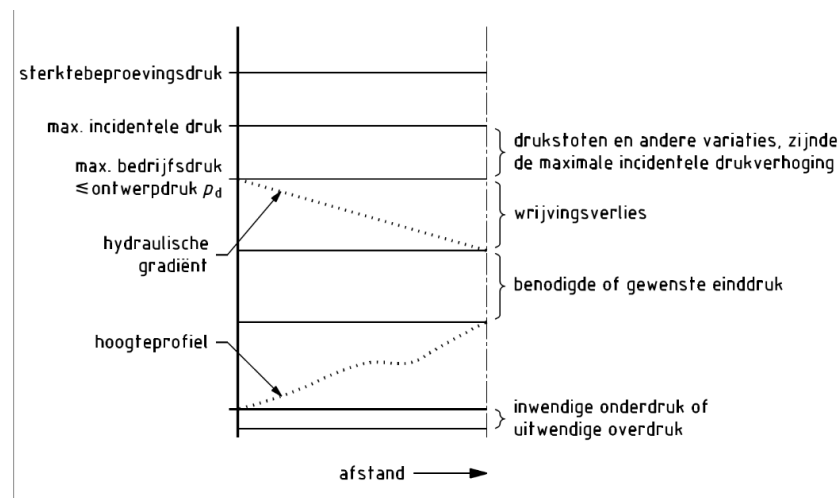
In subparagraaf 8.2.7 van de norm [NEN 3650-1](#) zijn de belastingsoorten aangegeven waarmee rekening moet worden gehouden bij het sterkte constructief ontwerp. Deze belastingsoorten zijn:

- interne druk;
- temperatuur;
- grond;
- verkeer;
- eigen gewicht;
- aansluitende constructies;
- trillingen;
- transport en opslag;
- aanleg;
- incidentele inwendige belasting;
- incidentele uitwendige belasting.

De NEN 3650 geeft aan dat de volgende drukken dienen te worden beoordeeld:

- de maximale resp. minimale over- en onderdruk (maximale bedrijfsdruk, ontwerpdruk), waarbij de onderdruk moet worden vermeerderd met de eventueel aanwezige (hydrostatische) uitwendige overdruk, bijvoorbeeld als een leiding onder de grondwaterspiegel ligt (kan liggen);
- drukstoten in het medium ten gevolge van het openen of sluiten van afsluiters en/of starten of stoppen van pompen, compressoren en dergelijke (incidentele drukverhoging), cavitatie na leidingbreuk;
- inwendige druk tijdens beproeving;
- drukvariaties tijdens de bedrijfsvoering (in verband met de grenstoestand voor vermoeiing).

Een schematisch overzicht van drukniveaus in een leiding is weergegeven in Figuur 14.



Figuur 14 Druk niveaus (ontleend aan NEN 3650).

Bij het bepalen van de maximale bedrijfsdruk is het van belang rekening te houden met het hoogteprofiel van het maaiveld. Met name leidingen die lager zijn gelegen dan drinkwaterlocaties (bijvoorbeeld ook boringen) verdienen hier bijzondere aandacht.

De maximum incidentele druk is de maximumbedrijfsdruk vermeerderd met de extra druk als gevolg van drukfluctuaties. De leiding dient te zijn ontworpen op de sterktebeproevingdruk. Dit is de maximum incidentele druk vermeerderd met de beproevingsdruk. Voor de beproeving, zie hoofdstuk 11.

Voor meer nauwkeurigere berekeningen van drukfluctuaties als gevolg van waterslag kan gebruik worden gemaakt van een dynamische berekening, zoals in het door Deltares ontwikkelde softwarepakket WANDA [188].

De inwendige drukken veroorzaken bij bochten (horizontaal en verticaal), bij diameterwisselingen, bij T-stukken en op eindstukken (een gesloten afsluiter met enkelzijdige druk is ook een eindstuk) krachten op de leiding (spatkrachten), die moeten worden opgevangen. Drinkwaterbedrijf PWN heeft berekeningen laten uitvoeren voor PVC en nodulair gietijzer leidingen om vast te stellen over welke lengte trekvasten koppelingen moeten worden toegepast bij bochten, T-stukken of eindkappen, zie hiervoor Bijlage VII.

8.14 Constructietechnisch ontwerp: sterkteberekeningen

8.14.1 Algemene uitgangspunten

In de norm NEN 3650-1 is opgenomen dat 'buisleidingen zo moeten worden ontworpen en geconstrueerd dat de kans om een grenstoestand te overschrijden gedurende de voorziene gebruiksduur aanvaardbaar klein is'. De grenstoestand is hier gedefinieerd als een toestand waarbij juist niet meer wordt voldaan aan de gestelde prestatie-eisen. Er wordt onderscheid gemaakt tussen uiterste grenstoestanden en bruikbaarheidsgrenstoestanden:

- uiterste grenstoestanden zijn toestanden waarbij bezwijken of andere vormen van constructief falen optreedt ofwel de maximale draagkracht wordt overschreden (bijvoorbeeld openscheuren van de buisleiding en lekkage van stoffen die onaanvaardbare schade veroorzaken);
- bruikbaarheidsgrenstoestanden zijn toestanden waarbij niet meer wordt voldaan aan de gestelde eisen in verband met het goed functioneren van de constructie (bijvoorbeeld het te onroond worden, het optreden van hinderlijke trillingen of geluid, lekkage van stoffen die geen onaanvaardbare schade veroorzaken).

In het geval van drinkwaterleidingen kan aan de bruikbaarheidstoestand worden toegevoegd het niet meer voldoen aan de eisen met betrekking tot de kwaliteit van het drinkwater, bijvoorbeeld het optreden van bruinwater als gevolg van beschadiging van de liner.

Grenstoestanen en bijbehorende sterktefuncties zijn opgenomen in de materiaal specifieke delen van de normen NEN 3650-2 (stalen leidingen), NEN 3650-3 (kunststof leidingen), NEN 3650-4 (betonnen leidingen) en NEN 3650-5 (gietijzeren leidingen). In NEN 3650-1 en de materiaal specifieke normen zijn ook bepalingen opgenomen voor bijzondere constructies zoals mantelbuizen, sleufloze technieken en boringen.

Afhankelijk van de belastingsituaties en eigenschappen van het leidingmateriaal, de druk en de diameter zal worden gekozen voor een vereenvoudigde of een gedetailleerde berekening. Onder bepaalde voorwaarden is het toegestaan gebruik te maken van een vereenvoudigde berekening, waarbij doorgaans uitsluitend rekening wordt gehouden met de inwendige druk en het aanwezige grondpakket.

In § 7.3 stelt de norm NEN 3650-1 eisen aan een systeem voor drukbeheersing. Voor groep II-buisleidingen mag van een dergelijk drukbeheerssysteem worden afgezien onder de voorwaarde dat procescondities gedurende de bedrijfsvoering niet wijzigen ten opzichte van de ontwerpuitgangspunten bij de aanleg van de leidingen.

Voor leidingen langs en onder spoorwegen wordt verwezen naar de subparagrafen 4.6.3 en 4.6.4 van praktijkcode PCD 3-1 [100].

8.14.2 Leidingen in 'belangrijke waterstaatswerken'

Voor leidingen in belangrijke waterstaatswerken (volgens titel NEN 3651) gelden specifieke beoordelingsregels. Deze zijn opgenomen in die nationale norm. Belangrijke waterstaatswerken zijn volgens de NEN 3651:

- primaire waterkeringen;
- boezemwaterkeringen;
- secundaire waterkeringen;
- primaire wegen;
- secundaire wegen;
- rijks- of provinciale vaarwegen.

Deel 4: Ontwerpen van appendages

8.15 Ontwerpen van appendages

De functie van appendages zoals afsluiters, brandkranen, spui punten voor ontluchting en waterslagbeveiliging hebben vooral betrekking op de aanleg en bedrijfsvoering van leidingen, zie hoofdstuk 10 respectievelijk hoofdstuk 14. Verder wordt voor brandkranen verwezen naar praktijkcode PCD 7 [18] en voor afsluiters naar praktijkcode PCD 15 [21].

16 Literatuur

Voor de referenties 1 tot en met 99, zie hoofdstuk 16 van praktijkcode PCD 3-1 [100] (deel 1 van de driedelige serie praktijkcodes PCD 3).

100. Meerkerk, M.A., Beuken, R.H.S., en Brand, T.P.H. van den (2023): 'Richtlijn drinkwaterleidingen buiten gebouwen (gebaseerd op de norm NEN-EN 805:2000); Deel 1: Algemeen en uitgangspunten', praktijkcode PCD 3-1:2023, KWR Water Research Institute, Nieuwegein.
101. Koop, S.H.A., Bouziotas, D, en Beuken, R.H.S. (2020): 'Besluitvormingsprocessen voor Integraal Assetmanagement', rapport BTO 2020.005, KWR Water Research Institute, Nieuwegein.
102. Nieuwenhuijze, Ruud van, Ferry Smits, Kees de Jong (2020): 'Slim vervangen, slim distributienet, slim innoveren', H2O-Online / 21 juli 2014.
<https://www.h2owaternetwerk.nl/vakartikelen/slim-vervangen-slim-distributienet-slim-innoveren>
103. Beuken, R.H.S., en Mesman, G.A.M. (2011): 'Technische levensduur voor groepen leidingen; Naar een onderbouwing van het investeringsbeleid', rapport BTO 2011.038, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
104. Beuken, R.H.S., en Mesman, G.A.M. (2015): 'Actualisatie driehoeksverdelingen voor onderbouwing investeringsprognoses leidingen', rapport BTO 2015.223(s), KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
105. Vewin (2023): 'Staalkaart, drinkwater in het omgevingsplan', Vewin, Den Haag.
<https://www.vewin.nl/wp-content/uploads/2024/08/Staalkaart-omgevingswet-Vewin.pdf>
106. Aalderen, Nicolien van, Stijn Brouwer, Stef Koop, Stefanie Salmon (2021): 'Stakeholderbetrokkenheid in assetmanagement', rapport BTO 2021.009, KWR Water Research Institute, Nieuwegein.
107. Aalderen, Nicolien van, Stijn Brouwer, Alexander van Dorssen, Ralph Beuken (2020): 'Klantenwensen en – verwachtingen en het managen van assets', rapport BTO 2020.008, KWR Water Research Institute, Nieuwegein.
108. Kang, D. and Lansey, K. (2013): 'Scenario-based robust optimization of regional water and wastewater infrastructure', Journal of Water Resources Planning and Management, 139 (3), 325 – 338.
109. Agudelo-Vera, C.M., and Blokker, E.J.M. (2014): 'How future proof is our drinking water infrastructure? Hydraulic stress test for drinking water distribution systems', rapport BTO 2014.011, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
110. Vertommen, I., Laarhoven, K.A. van, en Agudelo-Vera, C.M. (2020): 'Optimaal ontwerp van robuuste en toekomstbestendige streefstructuren', rapport BTO 2020.002, KWR Water Research Institute, Nieuwegein.
111. Agudelo-Vera, C.M., en Blokker E.J.M. (2017): 'Evaluatie Streefstructuren; Vijf jaar praktijkervaring met aanscherping van het secundair netontwerp', rapport BTO 2016.090, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.

112. Vertommen, I., C.M. Agudelo-Vera, K.A. van Laarhoven en P. van Thienen (2017): 'Optimaal ontwerp en transitie van streefstructuren', rapport [BTO 2017.081](#), KWR Water Research Institute, Nieuwegein.
113. Blokker E.J.M., Ven, B.M. van de (RIVM), Tankerville M. en Mesman G.A.M. (2010) 'Invloed coating grijs gietijzeren leidingen op drinkwaterkwaliteit', rapport BTO 2010.044, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
114. Laarhoven, K.A van, J. van Vossen en B. Hillebrand (2019) 'Beoordeling van methodieken voor het voorspellen van toekomstige storingsfrequenties: resultaten van een pilot met AC Sterkteonderzoek asbestcementbuizen', rapport [BTO 2019.050](#), KWR Water Research Institute, Nieuwegein.
115. Mesman, G.A.M., Slaats, P.P.G. (2004) 'Conditiebepaling gietijzeren waterleidingen', rapport BTO 2003.038, KIWA N.V., Nieuwegein.
116. Slaats, P.P.G. en Mesman, G.A.M. (2004) 'Conditiebepaling AC waterleidingen', rapport BTO 2003.039, KIWA N.V., Nieuwegein.
117. Kater, H. de, R. Beuken, A. Vogelaar (2010) 'Inspectietechnieken voor rationeel saneringsbeleid van leidingnetten - een overzicht van technieken en randvoorwaarden', rapport [BTO 2010.013](#) KWR Nieuwegein.
118. Beuken R., Eijk R. van en Slaats N. (2014) 'De waarde van exitbeoordelingen op AC en GGJ leidingdelen', rapport [BTO 2014.016](#), KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
119. Eijk, R. (2014) 'Betonnen leidingen: inventarisatie, conditiebepaling en onderhoud', rapport [BTO 2014.001](#), KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
120. Beuken, R.H.S., K.A van Laarhoven (2019) 'Sterkteonderzoek asbestcementbuizen', rapport [BTO 2019.008](#), KWR Water Research Institute, Nieuwegein.
121. Hillebrand, B., K.A van Laarhoven (2020) 'Exitbeoordelingen faalmechanismen distributienet Een overzicht van verschillende exitbeoordelingstechnieken', rapport [BTO 2020.030](#), KWR Water Research Institute, Nieuwegein.
122. Driessen, John en Renske te Horst (2020) 'Handreiking voor in-line inspecties van drinkwater- en afvalwaterpersleidingen Handreiking voor in-line inspecties van drinkwater- en afvalwaterpersleidingen, basis voor afspraken tussen leidingbeheerder en inspectiebedrijf', SWECO projectnummer 343445.
123. Steen, J.E. van, P.M. Holzhaus, K.A van Laarhoven (2021) 'Kennispbouw AC met behulp van CT', rapport BTO 2021.028, KWR Water Research Institute, Nieuwegein.
124. Beuken, R.H.S. (2021) 'Analyse meetresultaten AC-onderzoek Apeldoorn', rapport [BTO 2021.032](#), KWR Water Research Institute, Nieuwegein.
125. Marlow, D., Heart, S., Burn, S., Urquhart, A., Gould, S., Anderson, M., Cook, S., Ambrose, M., Madin, B., and Fitzgerald, A. (2007). "Condition Assessment Strategies and Protocols for Water and Wastewater Utility Assets" Water Environment Research Foundation, Alexandria, VA, USA.
126. Liu, Zheng, Yehuda Kleiner, Balvant Rajani, Lili Wang and Wendy Condit (2012). " Condition Assessment Technologies for Water Transmission and Distribution Systems" EPA/600/R-12/017, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati OH, USA.

127. Nestleroth, Bruce, Stephanie Flamberg, Vivek Lal, Wendy Condit, and John Matthews Battelle (2013). " Field demonstration of innovative condition assessment technologies for water mains: acoustic pipe wall assessment, internal inspection, and external inspection, Volume 1: technical report " National Risk Management Research Laboratory, Edison, NJ, USA.
128. Sinha, Sunil k. and Nisha Thuruthy (2013). "Condition assessment for drinking water pipelines" Water Environment Research Foundation, Alexandria, VA, USA.
129. Trietsch, E.A., en Rosenthal, L.P.M. (2004): 'Centraal Kennissysteem Levensduurbepaling; Specificaties', rapport BTO 2004.035, Kiwa Water Research, Nieuwegein.
130. Agudelo-Vera, C.M., Moerman, A., en Vogelaar, A.J. (2016): 'Kwantitatieve risicoanalyse van leidingnetten; Stand van zaken sinds 2008', rapport BTO 2016.040, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
131. Onderzoeksraad voor Veiligheid (2005): 'Leidingbreuk veroorzaakt dijkverzakking op 27 januari 2004 te Stein', rapport CB-9-04-010, Onderzoeksraad voor Veiligheid , Den Haag.
https://onderzoeksraad.nl/wp-content/uploads/2023/11/rapport_leidingbreuk_stein.pdf
132. Boomen, M. van den (2011): 'Richtlijn Beoordeling Externe Effecten Leidingen bij primaire- & secundaire locaties; Beoordeling Externe Effecten Leidingen', Vewin-nummer 2011/106/6290, Vewin, Rijswijk.
133. Vewin (2023): '2022-2023 BEEL-meting, Beoordeling Externe Effecten Leidingen', Vewin, Rijswijk.
134. Beuken, R.H.S. (2024): 'Naar een integraal risicokader voor onderhoud en vervanging', rapport BTO 2024.036, KWR Water Research Institute, Nieuwegein.
135. Beuken, R.H.S., en Vossen, J. van (2017): 'Kwantitatieve vergelijking van beslissingsondersteunende software voor leidingsanering', rapport BTO 2017.066, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
136. Steen, Jip van, Ina Vertommen, Nellie Slaats (2021): 'Monitoren loden leidingbestand in Nederland, - voortgangsresultaten verwijderen loden leidingen door de Nederlandse drinkwaterbedrijven', rapport KWR 2021.025, KWR Water Research Institute, Nieuwegein.
137. Beuken, R.H.S., Dash, A., en Galama-Tirtamarina A. (2023): 'Zicht op aansluitleidingen', rapport BTO 2023.070, KWR Water Research Institute, Nieuwegein.
138. Agudelo-Vera, C.M. en E.J.M. Blokker (2018) 'Vergelijken vervangingsstrategieën AC-leidingen', rapport BTO 2018.047, KWR Water Research Institute, Nieuwegein.
139. Boomen, M. van den, en Vreeburg, J.H.G. (1999); 'Nieuwe ontwerprichtlijnen voor distributienetten', Kiwa-rapport SWE 99.011, ISBN 90-74741-78-9, VEWIN, Rijswijk.
140. Vreeburg, J.H.G. (2007): 'Discolouration in drinking water systems: A particular approach', dissertatie, Technische Universiteit Delft, Delft.
141. Blokker, E.J.M. (2010): 'Stochastic water demand modelling for a better understanding of hydraulics in water distribution networks', proefschrift, Water Management Academic Press, Delft.
142. Blokker, E.J.M., en Schaap, P.G. (2006): 'Evaluatie zelfreinigende netten; metingen zomer 2006 in Hoofddorp (PWN)', rapport KWR 06.096, Kiwa Water Research, Nieuwegein.

143. Mesman, G.A.M., en Meerkerk, M.A. (2010): 'Evaluatie ontwerprichtlijnen voor distributienetten; Vertakte netten', rapport [KWR 09.073](#), KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
144. Blokker, E.J.M., en Vogelaar, A.J. (2011): 'Ontwerpen secundair leidingnet', rapport [BTO 2011.025](#), KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
145. Blokker, E.J.M. (2012): 'Handleiding DiVerDi_Dunea; Ontwerptool Dimensioneren Vertakt Distributienet op basis van SIMDEUM', rapport KWR 2012.074, KWR, Nieuwegein.
146. Beuken, R.H.S., en Vreeburg, J.H.G. (2015): 'Behoefteprognose en behoeftedekking Nederlandse drinkwatervoorziening; 2015 – 2039', rapport KWR 2015.054, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
147. Geudens, P.J.J.G., en Kramer, O.A.A. (2022): '[Drinkwaterstatistieken 2022; Van bron tot kraan](#)', Vereniging van waterbedrijven in Nederland (Vewin), Den Haag.
148. Bakker, Jeldrik, Francis van der Mooren, Harm Jan Boonstra Thiel, L. van (2022): '[Watergebruik Thuis \(WGT\) 2021](#)', TNS Nipo in opdracht van de Vereniging van waterbedrijven in Nederland (Vewin), Amsterdam.
149. Centraal Bureau voor de Statistiek: <http://statline.cbs.nl/Statweb/>
150. Billings, B., and Jones, C. (2008): 'Forecasting Urban Water Demand', second edition, American Waterworks Association.
151. Baggelaar, P.K., Hummelen, A.M. en Büscher, C. (2020): 'Vier scenario's voor de drinkwatervraag in 2040', rapport [KWR 2020.012](#), KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
152. Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2023): 'Rapport Waterbeschikbaarheid voor de bereiding van drinkwater tot 2030 - knelpunten en oplossingsrichtingen', Brief aan de Tweede Kamer van 3 april 2023 met kenmerk E NW/BSK-2023/81347.
<https://open.overheid.nl/documenten/ronl-8a6adb0078ccc01d65dbfa5a1765c1e5f64610de/pdf>
153. Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2022): 'Water en Bodem sturend', Brief aan de Tweede Kamer van 25 november 2022 met kenmerk E NW/BSK- 2022/283041.
<https://open.overheid.nl/documenten/ronl-c35e65eba0903d738ae26dab222462337b0d8de7/pdf>
154. Loon, Arnaut van, Jos Frijns, Karel van Laarhoven, Marjolein van Huijgevoort (2024): 'Waterbeschikbaarheid en droogte lange termijn: syntheserapport', [BTO 2024.038](#), KWR Water Research Institute, Nieuwegein.
155. Hofman-Caris, R., Smeets, P., en Reus, A. (2024): 'WiCE: Veilig alternatief water uit alternatieve bronnen', rapport BTO 2024.xxx, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein (in voorbereiding).
156. Baggelaar, P., Kuin P. en Geudens, P.J.J.G. (2022): 'Prognoses drinkwatergebruik in Nederland t/m 2040', Icastat, RHDHV en Vewin, den Haag.
https://www.vewin.nl/wp-content/uploads/2024/06/vewin-rapport_2022_prognoses_drinkwatergebruik_nl.pdf
157. Baltus, R., Sanders, R., Schreuders, R., Droge, J. en Posma, J., (2022): 'Bewust en zuinig drinkwatergebruik: verkenning effectief instrumentarium', Beerenschot en Arcadis, rapp. Nr. 66483.
<https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2023/02/09/bijlage-1-verkenning-bewust-en-zuinig-drinkwatergebruik>

158. Koop, S. H. A., Brouwer, S. en Zeidan, M. (2023). '100 liter per persoon per dag – Welke waterbesparingsmaatregelen zijn nodig?', BTO 2023.037, KWR Water Research Institute, Nieuwegein.
159. Phernambucq, Inge, Jaap Klein, Eefje Remijn (AT Osborne), Peter Hermans (2023): 'Hemelwater- en grijswatergebruik in het gebouw. Mogelijke verplichting in het Bbl', Witteveen+Bos, 135780/23-009.557. <https://www.tweedekamer.nl/downloads/document?id=2023D28930>
160. Beuken, R.H.S., en Vreeburg, J.H.G. (2015): 'Behoefteprognose en behoeftedekking Nederlandse drinkwatervoorziening, methodiek', rapport KWR 2015.019, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
161. Blokker, E.J.M., en Vloerbergh, I.N. (2011): 'Kwantitatieve toekomstscenario's waterverbruik', rapport [BTO 2011.060](#), KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
162. Vonk, E., Cirkel, D.G., en Leunk, I. (2017): 'De gevolgen van klimaatverandering en vakantiespreiding voor de drinkwatervraag', rapport [BTO 2017.043](#), KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
163. Hillebrand, B., E. Vonk en B.W. Raterman (2019): 'Oorzaak piekverbruik, technisch memo', rapport [BTO 2019.205a \(s\)](#), KWR Water Research Institute, Nieuwegein.
164. Hillebrand en Mitrovic (2025): Rapport van het project 'Piekverbruiken nader bekeken', verwachte realisatie 2025 Q1, KWR Water Research Institute, Nieuwegein.
165. Mesman, G.A.M., en Trietsch, E.A. (2000): 'Ontwerprichtlijnen voor een vertakt leidingnet; Achtergrondinformatie bij SWE 99.011 "Nieuwe ontwerprichtlijnen voor distributienetten"', rapport [BTO 2000.003](#), Kiwa Onderzoek en Advies, Nieuwegein.
166. Pieterse-Quirijns, E.J., en Roer, M. van de (2013): 'Verbruikspatronenbibliotheek', rapport [BTO 2013.058](#), KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
167. Pieterse-Quirijns, E.J., E.J.M. Blokker en A.J. Vogelaar (2009): 'Modelleren van niet-huishoudelijk waterverbruik', rapport [BTO 2009.013](#), KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
168. PWN (jaar onbekend): 'Handboek Aanleg Leidingen', PWN, Velsbroek.
169. Agudelo-Vera, C.M., en Mesman, G.A.M. (2019): 'Flexibele oplossingen in transportleidingen voor hoge drinkwatervraag', KWR 2019.026, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
170. Vaessen, H. (1979): 'De contante waarde als maatstaf voor de lange-termijn-planning bij het waterleidingbedrijf', Mededeling [59](#), Waterleidingmaatschappij Gelderland.
171. Walski Thomas M., Donald V. Chase and Dragan A. Savic (2001): 'Water distribution modelling', Haestad Methods.
172. Vogelaar, A., en Pieterse-Quirijns, E.J. (2013): 'Methode voor bepalen optimale sectiegrootte; op basis van ontwerpen van een specifiek net', rapport [KWR 2013.048](#), KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
173. Trietsch, E. A., Schaap, P.G., en Wielen, J.M.L. van der (2005): 'Betrouwbaarheid van afsluiters en sectie-isolaties', rapport [BTO 2005.044](#), Kiwa Water Research, Nieuwegein.
174. Meerkerk, M.A., Mesman, G.A.M., en Pieterse-Quirijns, E.J. (2009): 'Handleiding 'CAVLAR'; Beschrijving en interpretatie; Versie 1.1', rapport BTO(s) 2009.003, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.

175. Vertommen, I. (2017): 'Praktijkervaring bij het inrichten van DMA's', rapport [KWR 2017.056](#), KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
176. Vertommen I. en K. A. van Laarhoven (2017): 'Optimale inrichting van DMA's', [KWR 2017.083](#), KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
177. Vertommen, I. Summeren, J.R.G. van Laarhoven, K.A. Raterman, B.W. (2021): 'Transitie Streefstructuren II: inzicht in risicogedreven en hydraulische grondslagen', rapport [BTO 2021.042](#), KWR Water Research Institute, Nieuwegein.
178. Sterk Consulting BV en FLO Legal BV (2022), 'Handboek Omgevingswet voor een duurzame veiligstelling van de openbare drinkwatervoorziening', uitgebracht in opdracht van Vewin.
<https://www.vewin.nl/nieuws/nieuwe-uitgave-handboek-omgevingswet/>
179. CROW (2024): 'Schade voorkomen aan kabels en leidingen, richtlijn zorgvuldig grondroeren van initiatief- tot gebruiksfase', Kennisplatform CROW.
<https://www.crow.nl/kennisproducten/schade-voorkomen-aan-kabels-en-leidingen/>
180. Agudelo-Vera, C.M., en Fujita, Y. (2017): 'Hotspots in het leidingnet', rapport [BTO 2017.023](#), KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
181. Agudelo-Vera, C.M., Blokker, E.J.M., en Quintiliani, C. (2020): 'Maatregelen tegen ongewenste opwarming van het drinkwater in het leidingnet', rapport [BTO 2020.015](#), KWR Water Research Institute, Nieuwegein.
182. Agudelo-Vera, C.M., en Summeren, J.R.G. van (2020): 'Effectiviteit maatregelen klimaatadaptatie', rapport KWR 2020.065, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
183. Blokker, E.J.M. en Q. Pan (2022): 'Invloed warmtenetten op drinkwatertemperatuur, inzicht in invloed onderlinge afstanden', rapport [KWR 2022.212](#), KWR Water Research Institute, Nieuwegein.
184. Hillebrand, Bram, Amitosh Dash (2024): 'Extra scenario's bij TKI Engine', rapport KWR 2024.031, KWR Water Research Institute, Nieuwegein.
185. Vewin en Energie-Nederland (2024): 'Intersectorale overeenkomst drinkwater- en warmteleidingen: afspraken over afstanden'.
<https://www.vewin.nl/nieuws/afspraken-tussen-drinkwater-en-energiesector-nu-inzichtelijk/>
186. Laarhoven, K.A. van, Dash, A., en Zeidan, M. (2024): 'Warmtebeïnvloeding van aansluitleidingen door warmtenetten; Verkenning van een meetmethode', rapport KWR 2024.099, KWR Water Research Institute, Nieuwegein.
187. Steen, J.E. van (2021): 'Dieper leggen van drinkwaterleidingen', rapport [KWR 2021.086](#), KWR Water Research Institute, Nieuwegein.
188. Deltares: het softwarepakket WANDA, <https://www.deltares.nl/nl/software/wanda-2/#1>
189. Staatsblad (2023): 'Verzamelwet Omgevingswet 2023', Staatsblad van het Koninkrijk der Nederlanden, jaargang 2023, nummer 376, 27 oktober 2023 ([oorspronkelijke editie](#))
vigerend vanaf 1 januari 2024: [Omgevingswet](#)

190. Staatsblad (2018): 'Besluit kwaliteit leefomgeving' van 3 juli 2018, Staatsblad van het Koninkrijk der Nederlanden, jaargang 2018, nummer 292, 31 augustus 2018 (oorspronkelijke editie) vigerend vanaf 21 december 2024: Besluit kwaliteit leefomgeving
191. Staatscourant (2019): 'Omgevingsregeling' van 21 november 2019, Staatcourant van het Koninkrijk der Nederlanden, jaargang 2019, nummer 56288, 22 november 2019 (oorspronkelijke editie) vigerend vanaf 1 januari 2025: Omgevingsregeling

I. Begrippen met bijbehorende omschrijvingen en afkortingen inclusief acroniemen met bijbehorende betekenis

Voor begrippen en afkortingen wordt verwezen naar Bijlage I van praktijkcode [PCD 3-1](#) [100]. Begrippen en afkortingen die daarin niet voorkomen, zijn te vinden in het onderstaande.

ALARP

'As Low As Reasonably Practical'

BAG

Basisregistraties Adressen en Gebouwen

BOI

Beoordelings- en OntwerpInstrumentarium

CBS

Centraal Bureau voor de Statistiek

Comsima

'COMputation of Stresses In MAins', zie de webpagina <https://www.kwrwater.nl/tools-producten/comsima/>

EDWARD

voorspellingsmodel

FME(C)A

'Failure Mode and Effect (and Criticality) Analysis', zie webpagina [FMEA en FMECA: wat is het verschil? - MAAK Techniek](#)

FVS

Functie voor Voorspelde Storingen

Gondwana

zie de webpagina [Gondwana - KWR](#)

HAZOP

'Hazard and Operability', een (geaccepteerde) methode voor het identificeren van gevaren en ongewenste situaties in (onder andere industriële) installaties

ISSO

Instituut voor Studie en Stimulering van Onderzoek

KNMI

Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, nationaal kennisinstituut voor weer, klimaat en seismologie

MTBF

'Mean Time Between Failures', een begrip afkomstig uit reliability engineering, zie ook de webpagina https://en.wikipedia.org/wiki/Mean_time_between_failures

POV K&L

Project Overstijgende Verkenning Kabels & Leidingen

SBI

Standaard BedrijfsIndeling

SCP

Sociaal en Cultureel Planbureau

SDR

'Standard Dimension Ratio', de verhouding tussen de buitenmiddellijn en de wanddikte van een buis

SI

Saturatie Index

TKI

Topconsortia voor Kennis en Innovatie

TNS-NIPO

samenvoeging van 'Taylor Nelson Sofres' en 'Nederlands Instituut voor Publieke Opinie', een Nederlands opinieonderzoekbureau

WANDA

waterslagsoftware van onafhankelijk kennisinstituut Deltares

WLO

Welvaart en Leefomgeving

II. Symbolen en bijbehorende betekenis

Enkele symbolen met de bijbehorende betekenis komen voor in Bijlage II van praktijkcode PCD 3-1 [100]), waarnaar primair wordt verwezen. In de voorliggende praktijkcode komen symbolen uitsluitend voor in de subparagrafen 8.4.3 (Figuur 8) en 8.4.4 inclusief de bijbehorende Bijlage V, en betekenis van die symbolen is daarbij gegeven.

III. In deze praktijkcode genoemde en voor deze praktijkcode relevante normen

Behalve om de drie onderstaande internationale normen gaat het in de voorliggende praktijkcode om de nationale normen [NEN 7171-1](#) en [NEN 3651](#), de Nederlandse praktijkrichtlijn [NPR 7171-2](#), de vijfdelige nationale normenserie [NEN 3650](#) en de Europese norm [NEN-EN 805:2000](#). Deze documenten zijn al genoemd in Bijlage III van praktijkcode [PCD 3-1 \[100\]](#), waarnaar wordt verwezen. Daarbij wordt nog het volgende opgemerkt:

- De in (Bijlage III van) praktijkcode [PCD 3-1](#) genoemde norm [NEN 717-1](#) betreft de editie van 2009 ([NEN 7171-1:2009](#)), maar sinds 1 februari 2024 is de [NEN 7171-1:2024](#) vigerend.
- De vigerende editie van de Nederlandse praktijkrichtlijn dateert weliswaar van 2009 ([NPR 7171-2:2009](#)), maar inmiddels is er het ontwerp van een update daarvan, zie [NPR 7171-2:2024 Ontw.](#)
- Ook van de Europese norm [NEN-EN 805:2000](#) is er inmiddels het (tweede) ontwerp van een update, zie [NEN-EN 805:2023 2e Ontw.](#)

[NEN-ISO 31000:2018](#): 'Risicomanagement – Richtlijnen', 1 maart 2018

[NEN-EN-IEC 31010:2019](#): 'Risicomanagement – Risico-evaluatietechnieken', 1 augustus 2019

[NEN-ISO 55000:2024](#): 'Assetmanagement – Terminologie, overzicht en principes', 1 juli 2024

IV. Hydraulisch verlies over een aansluiting

Hydraulische verliezen over een aansluiting bestaande uit een dienstkraan of aanboorzadel, een aansluitleiding en een watermeter (de rekenmethodiek is ontwikkeld door drinkwaterbedrijf Dunea).

Volumestroom (m ³ /h)	1	2,5	5
Dienstkraantype (kPa)			
Dienstkraan 1/2" x 3/4"	3,2	20,3	77
Aanboorzadel 1 1/2" 15 mm boorgat	0,6	5,3	25,7
Dienstkraan 3/4" x 3/4"	0	2,8	17
Dienstkraan 1" x 5/4"	0	0,9	4,7
Aanboorzadel 1 1/2" 36 mm boorgat	0	0,8	3,1
Aansluitleiding (kPa/m)			
25 PE	0,73	3,86	14,62
32 PE	0,17	1,14	4,25
50 PE	0,01	0,10	0,36
63 PE	0,08	0,10	0,18
Watermeter (kPa)			
Q ₃ 2,5	17,4	97,2	391,0
Q ₃ 4	4,1	26,9	100,3
Q ₃ 10	3,7	9,6	33,7
Q ₃ 16	0,8	2,3	8,6
Q ₃ 24	0,0	0,0	5,1

Voor een standaard huishoudelijke aansluiting (dienstkraan 1/2" x 3/4", Q₃ 2,5) met een lengte van 10 m geldt dat de hydraulische wrijvingsweerstand 27,8 kPa bedraagt.

V. De drinkwater vraag zoals die wordt bepaald met SIMDEUM

De maximale volumestroom die maatgevend is voor de drinkwater vraag wordt met SIMDEUM berekend op onderstaande wijze:

- de basisformule heeft de vorm $Q_{\max} = A + B\sqrt{N} + C \cdot N$. Hierbij zijn de parameters A , B en C bepaald uit simulaties met SIMDEUM voor drie verschillende type woningen (appartementen, standaardwoningen en luxe woningen) en voor twee situaties (gemiddelde dag en maximale dag). Deze parameters dienen specifiek bepaald te worden afhankelijk van het type en woning en de wijze van waterverbruik.
- Het optellen van de maximale volumestroom van verschillende type woningen is niet zonder meer lineair. Er wordt een weegfactor (compensatiefactor) geïntroduceerd die gelijk is aan 0,7 in geval er twee woningtypen bij elkaar geteld moeten worden en gelijk is aan 1,0 bij drie woningtypen (of per definitie bij slechts één woningtype)

$$Q_{\max} = \sum_{i=1}^M A_i \frac{N_i}{N} + B_i \sqrt{w \cdot N} \frac{N_i}{N} + C_i \cdot N_i \left\{ \begin{array}{l} w = 0.7 \text{ als } M = 2 \\ w = 1 \text{ als } M = 3 \end{array} \right.$$

- In deze formule is M het aantal verschillende woningtypen (1, 2, 3), i is een teller voor de verschillende woningtypen, N_i is het aantal woningen van type i , N is het totaal aantal woningen ($N = N_1 + N_2 + N_3$), A_i , B_i en C_i zijn de parameters van de SIMDEUM-formule voor woningtype i , en w is de weegfactor.

Rekenvoorbeeld

Op een leidingdeel bevinden zich 200 woningen: 57 luxe woningen aan het eind en 143 standaardwoningen daarvoor. Tussen iedere aansluitleiding wordt 5 m verondersteld, de totale leidinglengte is dus 1 km. Voor de eerste 285 m wordt Q_{\max} berekend volgens:

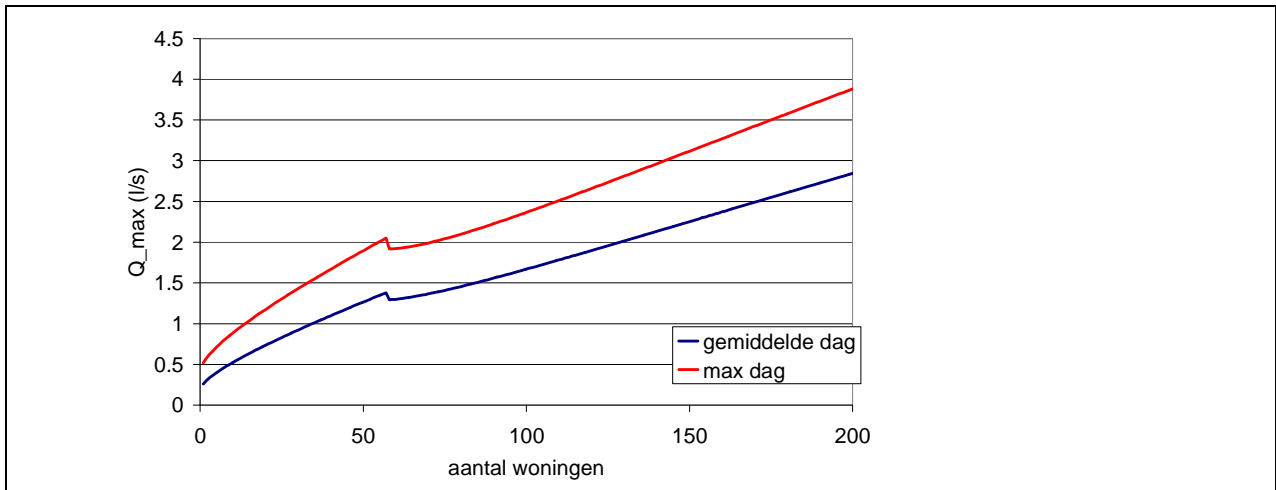
$$Q_{\max} = A_3 + B_3 \sqrt{N} + C_3 \cdot N, \text{ met } N = 1 \text{ tot } 57$$

Voor de volgende 715 meter wordt Q_{\max} berekend volgens

$$Q_{\max} = A_1 \frac{N_1}{N} + B_1 \sqrt{0.7 \cdot N} \frac{N_1}{N} + C_1 \cdot N_1 + A_3 \frac{57}{N} + B_3 \sqrt{0.7 \cdot N} \frac{57}{N} + C_3 \cdot 57 \text{ met } N_1 = 1 \text{ tot } 143 \text{ en } N = N_1$$

+ 57. De parameters $[A_1, B_1, C_1]$ en $[A_3, B_3, C_3]$ horen bij respectievelijk de standaard woning en de luxe woning.

Voor de gemiddelde en max. dag ziet dat er dan uit als in onderstaand plaatje. Er is een kleine discontinuïteit in de overgang van luxe naar standaardwoningen.

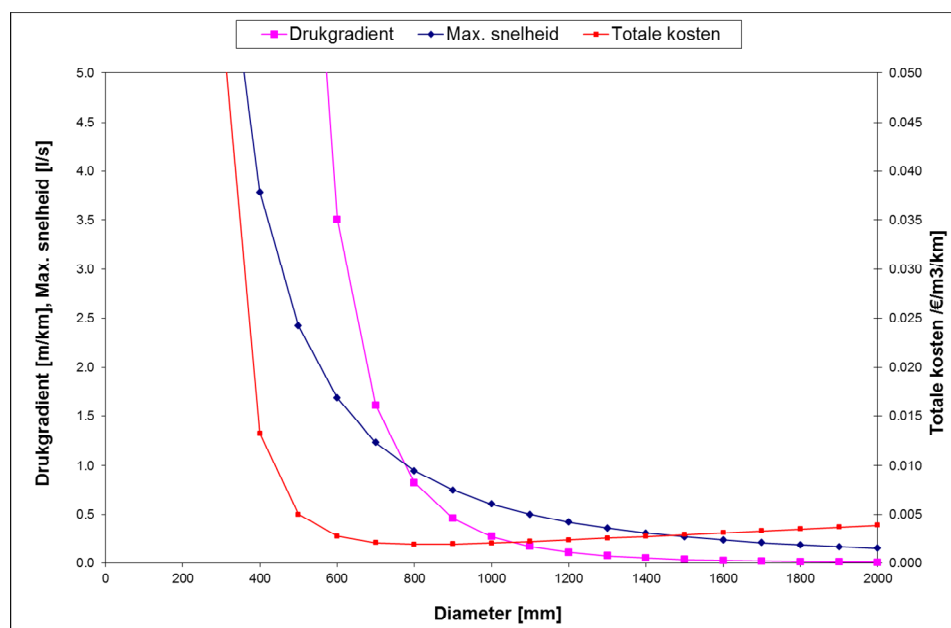


VI. Bepaling meest economische diameter

De meest economische diameter wordt bepaald door de combinatie van de jaarlijkse energiekosten en annuïteit van de investering. Bij een te kleine diameter zal de stroomsnelheid hoog zijn en daarmee de energiekosten hoog. Bij een te grote diameter zullen de kosten van de leiding hoog zijn. De methode voor het bepalen van de meest economische diameter staat omschreven in Kiwa Mededeling 59 [136]. De uitkomst zal moeten worden gecontroleerd op aanvaardbaarheid van de optredende stroomsnelheden en optredende drukken.

De invoer voor het bepalen van de meest economische diameter bestaat uit de:

- gemiddelde volumestroom
- k-waarde van de leidingwand
- gemiddelde temperatuur van het water
- piekfactor
- ideële volumestroom
- kostprijs leiding (in €/mm diameter per meter)
- afschrijvingstermijn
- effectieve rente (zonder inflatie)
- de prijs van energie (€/kWh)
- rendement van de pompen



Figuur 15 Voorbeeld van een berekeningsresultaat van de meest economische diameter. Deze heeft in dit voorbeeld een diameter van 800 mm.

Opmerking: De dimensie op de y-as is niet l/s, maar m/s.

VII. Benodigde lengte voor toepassen trekvaste koppelingen

Drinkwaterbedrijf PWN heeft onderzoek laten uitvoeren naar de benodigde trekvaste lengtes voor de opvang van spatkrachten bij bochten. In Tabel 6 zijn de minimaal benodigde trekvaste lengtes in meters aangegeven voor leidingen van PVC en nodulair gietijzer in zand- en kleigrond.

Tabel 6 Benodigde trekvaste lengte bij bochten (bron Handboek Distributie, PWN).

trekvaste lengte [m]						
α	\varnothing	T-stuk, eindkap 90° bocht	45° bocht	30° bocht	22° bocht	11° bocht
pvc leiding in zandgrond						
	40*	1,9	0,6	0,3	0,2	0,1
	50	1,9	0,6	0,3	0,2	0,1
	63	2,3	0,7	0,4	0,2	0,1
	90	3,3	1,0	0,5	0,3	0,1
	110	4,0	1,2	0,6	0,3	0,1
	160	5,7	1,7	0,8	0,5	0,1
	200	7,0	2,1	1,0	0,6	0,2
	250	8,6	2,5	1,2	0,7	0,2
	315	10,6	3,1	1,5	0,8	0,2
pvc leiding in kleigrond						
	40*	5,4	1,6	0,8	0,4	0,1
	50	5,4	1,6	0,8	0,4	0,1
	63	6,8	2,0	1,0	0,5	0,2
	90	9,7	2,9	1,3	0,7	0,2
	110	11,8	3,5	1,6	0,9	0,3
	160	16,9	5,0	2,3	1,3	0,4
	200	20,9	6,1	2,8	1,6	0,4
	250	25,8	7,6	3,5	1,9	0,5
	315	32,0	9,4	4,3	2,4	0,6
ngij leiding in zandgrond						
	80	2,2	1,6	0,8	0,4	0,1
	100	2,8	2,1	1,0	0,6	0,2
	150	4,5	3,3	1,5	0,8	0,2
	200	6,1	4,4	2,1	1,1	0,3
	250	7,6	5,6	2,6	1,4	0,4
	300	9,1	6,7	3,1	1,7	0,5
ngij leiding in kleigrond						
	80	5,4	3,8	1,8	1,0	0,3
	100	6,0	4,1	1,9	1,1	0,3
	150	7,7	4,9	2,2	1,2	0,3
	200	9,3	5,6	2,6	1,4	0,4
	250	16,1	6,3	2,9	1,6	0,4
	300	18,0	6,9	3,2	1,8	0,5

*: de trekvaste lengtes zijn niet berekend, maar veiligheidshalve gelijk gehouden aan die van de DN 50 mm pvc.