



Nieuwe lekverliesbepalingsmethoden

Inventarisatie van benaderingen, toepassing van SIMDEUM en uitwerking van een nieuwe methode voor het vaststellen van lekverliezen in het distributienet

BTO 2011.053
November 2011

Nieuwe lekverliesbepalingsmethoden

Inventarisatie van benaderingen, toepassing van SIMDEUM en uitwerking van een nieuwe methode voor het vaststellen van lekverliezen in het distributienet

BTO 2011.053
November 2011

© 2011 KWR

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, 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, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Colofon

Titel

Nieuwe lekverliesbepalingsmethoden - Inventarisatie van benaderingen, toepassing van SIMDEUM en uitwerking van een nieuwe methode voor het vaststellen van lekverliezen in het distributienet

Opdrachtnummer

B111694-002

Onderzoeksprogramma

BTO

Projectmanager

Nellie Slaats

Opdrachtgever

CvO

Kwaliteitsborger

Mirjam Blokker

Auteurs

Peter van Thienen en Ilse Pieterse-Quirijns

Verzonden aan

Dit rapport is verspreid onder BTO-participanten en is openbaar.

Samenvatting

Lekverlies is een probleem dat wereldwijd grote aandacht heeft. Aan water dat weglekt uit het distributienet zijn hoge kosten verbonden. Een lekkage heeft namelijk gevolgen voor de levering van (drink)water en heeft effecten op de omgeving. In landen met slechte distributienetten kan het lekverlies oplopen tot 70%. In de Verenigde Staten en het Verenigd Koninkrijk bedraagt het lekverlies 10 tot 30%. Nederland staat bekend om de lage lekverliezen bij de waterleidingbedrijven. Deze variëren van 3-7%.

De effecten van lekverliezen zijn veelzijdig. Ze bestaan uit materiële schade (onderspoeling dijken, wegen, funderingen; vollopen kelders; wegspoeling of breuk van nabijgelegen kabels en leidingen), immateriële schade (letselschade; overlast; imagoschade waterbedrijven) en claims van getroffen en/of van verhoogde verzekeringspremies. Met name in tijden van en gebieden met watertekorten zal er steeds minder maatschappelijke acceptatie zijn van het weglekken van goed drinkwater. Daarnaast is het optreden van lekverlies of van startende lekkages een indicatie voor de achteruitgang in kwaliteit van het leidingnet.

Lekverlies kan o.a. worden vastgesteld op basis van modellen plus beschikbare metingen van bijvoorbeeld de volumestroom of de druk in het voorzieningsgebied of een District Meter Area (DMA). Dit rapport richt zich op de modelmatige bepalingen van lekverliezen. De doelstelling het rapport is driedelig:

1. inventariseren van op modellen gebaseerde methoden om lekverliezen te bepalen, gevolgd door toepassing van een geselecteerde methode op voor dit project verzamelde data;
2. onderzoeken of de verbruikvoorspelling door SIMDEUM, dat binnen het BTO is ontwikkeld, in de methoden gebruikt kan worden en tot een verbetering kan leiden;
3. ontwikkelen van een nieuwe methode om op basis van leveringspatronen lekverliezen te bepalen.

Tabel S1 geeft een overzicht van de modelmatige en/of op data-analyse gebaseerde lekverliesbepalingsmethoden die in dit rapport aan de orde komen. Voor de verschillende methoden komen wij tot de volgende bevindingen:

- 1,2) De 'klassieke' top-down- en bottom-up-methoden blijven goed toepasbare methoden voor het bepalen van lekverliezen, zij het elk met hun eigen beperkingen.
- 3) De statistische analyse van volumestroommetingen (Buchberger en Nadimpalli, 2003) blijkt niet te werken in de onderzochte gevallen, doordat niet aan een of meer van de voor de methode essentiële aannames wordt voldaan.
- 4-6) In de op modeloptimalisatie gebaseerde methoden vindt nog veel ontwikkeling plaats, maar slechts een enkele (drukafhankelijke lekdetectie) is inmiddels commercieel geïmplementeerd en met redelijk (maar wisselend) succes toegepast op een enkel Brits voorzieningsgebied (Wu et al., 2010).
- 7) Het gebruik van SIMDEUM als schatter van het nachtverbruik voor toepassing in de bottom-up-methode blijkt goed te werken voor (rand)stedelijke woongebieden. Over de kwaliteit van de lekverliesbepalingen op deze wijze buiten de (rand)stedelijke woongebieden kunnen bij gebrek aan validaties geen uitspraken worden gedaan. Een veelvoorkomende moeilijkheid bij de bottom-up-methode, zowel met een klassieke verbruiksschatting als met een schatting op basis van SIMDEUM, blijkt vervuiling van leveringspatronen door onbekend nachtelijk grootverbruik. Verder kan nog in algemene zin worden geconcludeerd dat het erg belangrijk is goed te meten en

ook om precies te weten wat er tijdens de metingen in het net gebeurt.

- 8) De in dit rapport nieuw ontwikkelde Vergelijking van LeveringsPatroonVerdelingen-methode (VLPV-methode) blijkt voldoende robuust om in de praktijk toe te passen in gebieden van uiteenlopende omvang, met inachtneming van een aantal vuistregels. De methode is vervolgens succesvol toegepast op ook eerder in dit rapport gebruikte data. De methode maakt onderscheid tussen zogenaamde consistente veranderingen in het leveringspatroon, die het oude patroon volgen qua vorm, en zogenaamde inconsistente veranderingen, die in de regel wijzen op hetzij nieuwe of verdwijnende karakteristieke verbruiken (tuinsproeien) of (groot)verbruikers, hetzij op een verandering in het lekverlies. Met enige kennis van een leveringsgebied is het onderscheid hiertussen eenvoudig te maken.

De VLPV-methode werkt uitsluitend op basis van gemeten leveringspatronen. Omdat er dus geen numeriek model aan ten grondslag ligt, worden de volgende potentiële problemen vermeden:

- identificatie van verschillende (typen) gebruikers in gebied (arbeidsintensief);
- aannames over diverse invoerparameters van modellen;
- aannames en onzekerheden in de modelberekeningen zelf.

Desondanks kan er met enige kennis van een leveringsgebied op basis van deze eenvoudige patroonvergelijking een nauwkeurige en kwantitatieve uitspraak over veranderingen in het lekverlies in het betreffende leveringsgebied worden gedaan.

Doordat de VLPV-methode inzicht biedt in het ontstaan van nieuwe lekken, vormt zij ook een middel om de ontwikkeling van de toestand van het leidingnet in de gaten te houden.

Aanbevolen wordt om de VLPV-methode toe te passen in combinatie met een andere methode:

- Voorspel het nachtverbruik voor een leveringsgebied met SIMDEUM of maak op een andere wijze een schatting hiervoor (afhankelijk van de aard van het gebied) en vergelijk dit met de gemeten levering om een idee te krijgen van het actuele absolute lekverlies.
- Pas in de daarop volgende maanden en/of jaren de VLPV-methode toe om eventuele wijzigingen in het verbruik en het lekverlies te kwantificeren (korte screening om relevante en/of verdachte gebieden te identificeren).
- Ga op basis van de resultaten hiervan actief op zoek naar lekken in het veld in gebieden die als verdacht zijn gekarakteriseerd, bijvoorbeeld met *noise correlators*.

Tabel S1: Overzicht van in dit rapport behandelde op modellen en/of data-analyse gebaseerde methoden voor de bepaling van lekverliezen. 1 en 2 zijn de 'klassieke methoden', 3-6 worden in de academische literatuur beschreven, en 7 en 8 zijn nieuwe benaderingen die in dit rapport zijn uitgewerkt en getest.

	methode	status	type	omschrijving	in dit rapport
1	top-down	veel toegepast in NL	waterbalans	vergelijking van geleverd water in een jaar met gefactureerd water	kort beschouwd
2	bottom-up	veel toegepast in GB	waterbalans	vergelijking van geschat nachtverbruik met gemeten nachtverbruik in klein leveringsgebied	kort beschouwd
3	Statistische analyse van volumestroommetingen	academisch	statistisch	analyse van afwijking van nachtleveringspatroon van verwachte statistische distributie	beschouwd en getest
4	drukafhankelijk lekdetectiemodel	enkele veldtoepassing	optimalisatie	verfijnd hydraulisch model met druk-afhankelijke lekken	beschouwd
5	Inverse Transiëntanalyse	academisch	optimalisatie	verfijnd hydraulisch model; lekdetectie op basis van voortplanting van drukgolven	beschouwd
6	probabilistische lekdetectie	academisch	optimalisatie	verfijnd hydraulisch model met lekken; voorspelling met marges	beschouwd
7	bottom-up met SIMDEUM	verfijning van 1	waterbalans	als 1 met schatting van nachtverbruik door SIMDEUM	ontwikkeld en getest
8	Vergelijking van LeveringsPatroon-Verdelingen	nieuw ontwikkeld in dit rapport	statistisch	vergelijking van statistische distributies van leveringspatronen in opeenvolgende perioden	ontwikkeld en getest

Inhoud

Samenvatting	1
Inhoud	5
1 Inleiding	9
1.1 Achtergrond	9
1.2 Doel van het rapport	10
1.3 Leeswijzer	10
2 Bestaande lekverliesbepalingsmethoden	11
2.1 De 'klassieke' methoden	11
2.2 Nieuwe methoden uit de academische literatuur	13
2.2.1 Statistische analyse van volumestroommetingen (3)	13
2.2.2 Lekdetectiemethoden gebaseerd op modeloptimalisatie(4-6)	16
3 Nieuw uitgewerkte benaderingen voor lekverliesbepaling	19
3.1 Bottom-up lekverliesbepaling met SIMDEUM	19
3.2 Vergelijking van LeveringsPatroonVerdelingen	20
3.2.1 Inleiding	20
3.2.2 Principe	20
3.2.3 Procedure	20
3.2.4 Optel- en schaaleigenschappen	21
3.2.5 Onzekerheidsmarges van coëfficiënten a en b	23
3.2.6 Onzekerheden in de meetgegevens	23
3.2.7 Toepasbaarheid	23
3.3 Conclusies	23
4 Beschouwing van meetgegevens	25
4.1 Inleiding	25
4.2 Toepassingsgebied 1: Tholen (Evides)	25
4.2.1 Beschrijving	25
4.2.2 Gemeten leveringspatroon en top-down bepaling NIRG verbruik	26
4.3 Toepassingsgebied 2: Balansgebied 3 (Vitens)	26
4.3.1 Beschrijving	26
4.3.2 Gemeten leveringspatroon en top-down bepaling NIRG verbruik	26
4.4 Toepassingsgebied 3: Postel (Pidpa)	27
4.4.1 Beschrijving	27
4.4.2 Gemeten leveringspatroon en top-down bepaling NIRG verbruik	27
4.5 Toepassingsgebied 4: Vlietregio (Dunea)	31
4.5.1 Beschrijving	31
4.5.2 Gemeten leveringspatronen	31
4.6 Toepassingsgebied 5: drie anonieme Engelse DMA's	31
4.6.1 Beschrijving van toepassingsgebied	31
4.6.2 Gemeten leveringspatroon en bottom-up bepaling NIRG verbruik	32

5	Toepassing van SIMDEUM voor het vaststellen van lekverliezen	37
5.1	Simulaties van verbruikspatronen met SIMDEUM	37
5.1.1	Inleiding	37
5.1.2	Simulatie van huishoudelijk verbruik	37
5.1.3	Simulatie van niet-huishoudelijk verbruik	38
5.2	Vergelijking van gesimuleerde en gemeten verbruikspatronen	38
5.2.1	SIMDEUM in de bottom-up-methode	38
5.2.2	Betekenis van het verschil	38
5.2.3	Berekenen van het verschil	39
5.2.4	Middelperiode	39
5.2.5	Toetsen van gelijkheid	39
5.3	Onzekerheden in en validatie van SIMDEUM-patronen	40
5.3.1	Onzekerheden	40
5.3.2	Validaties	41
5.4	Kansverdeling en onzekerheden van simulaties	44
5.4.1	Stochastische variabiliteit	44
5.4.2	Verbruikspatronen als functie van bevolkingsgegevens	47
5.5	Conclusies met betrekking tot gesimuleerde patronen van huishoudelijk en niet-huishoudelijk verbruik	47
5.6	Kansverdeling en onzekerheden van gemeten patronen	48
5.6.1	Spreiding	48
5.6.2	Onzekerheden in meetgegevens	49
5.7	Onzekerheden in berekende lekverliezen	49
5.8	Toepassingsgebied 1: Tholen (Evides)	50
5.9	Toepassingsgebied 2: Balansgebied 3 Vitens Midden Nederland	53
5.10	Toepassingsgebied 3: Postel Pidpa	54
5.11	Toepassingsgebied 4: Vlietregio Dunea	55
5.12	Toepassingsgebied 5: Enkele Engelse DMA's	63
5.13	Vergelijking en conclusies	65
6	Toepassing van de Buchberger-Nadimpalli-methode	67
6.1	Inleiding	67
6.2	Normaliteit van validatiepatronen	67
6.3	Toepassing op data Postel	68
6.4	Conclusie	69
7	Lekverliesbepaling door verdelingsvergelijking	71
7.1	Inleiding	71
7.2	Gevoeligheidsbepaling van de methode	71
7.2.1	Vergelijking van patronen uit verschillende gebieden	71
7.2.2	Vergelijking met SIMDEUM-patronen	71
7.2.3	Effecten van variabiliteit	75
7.2.4	Effecten van verstoringen	75
7.2.5	Effecten van de omvang van het tijdvenster	80
7.2.6	Effecten van de lengte van de vergelijkingsperiode	81
7.2.7	Effect van meetinterval	84
7.3	Vuistregels voor de toepassing van de VLPV-methode	85

7.4	Toepassing op de testgebieden	86
7.4.1	Tholen	86
7.4.2	Balansgebied 3	88
7.4.3	Postel	89
7.4.4	Vlietregio	90
7.4.5	Engelse DMA's	94
7.5	Conclusie	98
7.6	Mogelijke toepassingen	98
8	Conclusies en aanbevelingen	99
8.1	Conclusies	99
8.1.1	Klassieke en nieuwe methoden	99
8.1.2	Bottom-up-methode op basis van SIMDEUM	99
8.1.3	De methode Buchberger-Nadimpalli	100
8.1.4	Vergelijking van LeveringsPatroonVerdelingen-methode	100
8.2	Aanbevelingen	101
9	Literatuur	103
10	Verklarende woordenlijst	105
I	Bevolkingsgegevens	107

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Lekverlies is een probleem dat wereldwijd grote aandacht heeft. Aan water dat weglekt uit het distributienet zijn hoge kosten verbonden. Een lekkage heeft namelijk gevolgen voor de levering van (drink)water en heeft effecten op de omgeving. In Nederland kunnen, gezien de hoge bevolkingsdichtheid en het intensieve landgebruik, de gevolgen van een leidinglekkage aanzienlijk zijn. In landen met slechte distributienetten kan het lekverlies oplopen tot 70%. In de Verenigde Staten en het Verenigd Koninkrijk bedraagt het lekverlies 10 tot 30%. Nederland staat bekend om de lage lekverliezen bij de waterleidingbedrijven. Deze variëren van 3 tot 7%.

Internationaal is er veel interesse in het onderzoek naar lekverliezen (zoals blijkt uit bijdragen op conferenties als WDSA, LESAM en CCWI). Ook bij BTO deelnemers bestaat deze interesse. Evides heeft belangstelling vanwege de projecten die Vitens-Evides-International uitvoert in het buitenland en daarbij geconfronteerd wordt met hoge lekverliezen (Vietnam en Afrika). Daarnaast blijkt bij Evides dat bij het opstellen van de waterbalans het percentage niet in rekening gebracht verbruik, waaronder het lekverlies, per deelgebied varieert. De oorzaak hiervan kan administratief of technisch van aard zijn. Met het onderzoek in het voorliggende rapport naar het modelmatig vaststellen van lekverliezen kan de oorzaak opgehelderd worden. Pidpa heeft interesse vanwege het hoge lekverliespercentage in België ($\pm 10\%$), waarvan de oorzaak onbekend is. Pidpa hoopt met het onderzoek naar lekverliezen dit percentage terug te kunnen dringen. Na aanvang van het project hebben ook Vitens en Dunea zich aangesloten met belangstelling vanuit hun eigen activiteiten op lekverliezengebied. Vitens is begonnen met het implementeren van een lekverliesbepalings- en zoekprogramma. Dunea is met gerichte nachtmetingen bezig geweest om lekverliezen in een deel van haar leveringsgebied in kaart te brengen.

De effecten van lekverliezen zijn veelzijdig. Ze bestaan uit materiële schade (onderspoeling dijken, wegen, funderingen; vollopen kelders; wegspoeling of breuk van nabijgelegen kabels en leidingen; etc.), immateriële schade (letselschade; overlast; imagoschade waterbedrijven) en claims van getroffen en/of van verhoogde verzekeringspremies. Met name in tijden van en gebieden met watertekorten zal er steeds minder maatschappelijke acceptatie zijn van het weglekken van goed drinkwater. Daarnaast is het optreden van lekverlies of van startende lekkages een indicatie van de achteruitgang van de kwaliteit van het leidingnet. Door het totale lekverlies (per deelgebied) en de geleidelijke veranderingen hierin over meerdere jaren te volgen kan een beeld van de kwaliteitsverandering van het leidingnet verkregen worden. In minder ontwikkelde landen kan het effect van lekverliezen nog veel groter zijn, namelijk een intermitterende waterlevering over de dag omdat er gewoon niet genoeg is voor de vraag inclusief lekverlies.

Tabel 1: IWA-standaardterminologie voor een waterbalans (Lambert, 2003, Beuken et al., 2005)

Netto afzet	Verbruik	verrekend	bemeten	totaal verrekend
			onbemeten	
		niet verrekend	bemeten	NIRG (Niet In Rekening Gebracht)
			onbemeten	
	Distributieverliezen	schijnbare verliezen	illegaal verbruik	
			onnauwkeurigheid watermeter	
		echte verliezen	lekken transport en distributie	
			lekken reservoires lekken dienstkranen en dienstleidingen	

Lekken kunnen gedetecteerd worden met conventionele lekdetectieapparatuur. Geavanceerde technieken zijn camera-inspecties, georadar en *intelligent pigs*. Echter, door de lage lekverliezen in Nederland is het actief en op grote schaal zoeken naar lekken in het Nederlandse leidingnet in de meeste gevallen vanuit economisch opzicht niet zinvol (Beuken et al., 2005).

Een andere mogelijkheid is om het lekverlies vast te stellen op basis van modellen en van beschikbare metingen van bijvoorbeeld de volumestroom of de druk in het voorzieningsgebied of een District Meter Area (DMA). Gezien de vele verschillende aspecten van lekverliezen is een heldere definitie hierbij noodzakelijk. Hiervoor is vanuit de IWA een raamwerk opgezet, dat is weergegeven in Tabel 1. In eerder onderzoek zijn door KWR twee van deze methoden met elkaar vergeleken: de top-down-methode en de bottom-up-methode. Er zijn in de afgelopen jaren echter nog meer op modellen gebaseerde methoden ontwikkeld, waarmee binnen het BTO nog niet eerder gewerkt is.

1.2 Doel van het rapport

De doelstelling van het project waarover in dit rapport wordt gerapporteerd is driedig:

1. inventariseren van op modellen gebaseerde methoden om lekverliezen (*echte verliezen*, zie Tabel 1) te bepalen, gevolgd door toepassing van een geselecteerde methode op voor dit project verzamelde data;
2. onderzoeken of de verbruiksvoorspelling door SIMDEUM, dat binnen het BTO is ontwikkeld, in de methoden gebruikt kan worden en tot een verbetering kan leiden;
3. ontwikkelen van een nieuwe methode om op basis van leveringspatronen lekverliezen te bepalen.

De eerste twee punten beantwoorden aan de het projectplan gestelde doelen; het derde punt is een extra opbrengst.

1.3 Leeswijzer

Allereerst biedt dit rapport een inventarisatie van lekverliesbepalingsmethoden in Hoofdstuk 2, waarin zowel de klassieke methoden als recent ontwikkelde en gepubliceerde methoden worden behandeld, evenals een uitgebreide en een nieuwe benadering die in dit rapport verder worden uitgewerkt.

In Hoofdstuk 5 wordt vervolgens de bottom-up-methode uitgebreid met SIMDEUM als verbruiksschatter toegepast op een aantal datasets, die in hoofdstuk 4 worden geïntroduceerd.

Hoofdstuk 6 beschrijft een poging (zonder succes) tot toepassing van de statistische lekverliesbepalingsmethode van Buchberger en Nadimpalli (2003) op de eerder genoemde datasets. In Hoofdstuk 7 wordt de in dit rapport nieuw voorgestelde methode van verdelingsvergelijking toegepast op dezelfde datasets. Ten slotte biedt Hoofdstuk 8 een overzicht van de bevindingen in de vorm van een aantal conclusies en aanbevelingen voor implementatie.

2 Bestaande lekverliesbepalingsmethoden

2.1 De 'klassieke' methoden

Om de omvang van het niet in rekening gebrachte verbruik, hetgeen in de praktijk voor een groot deel zal samenvallen met het lekverlies, te bepalen wordt in de regel een van twee 'klassieke' methoden toegepast (zie Tabel 2). De eerste is de zogenaamde *Top-Down*-methode, welke veel wordt toegepast in Nederland. Hierbij wordt een waterbalans opgesteld van aan de ene kant de gemeten levering vanaf de pompstations en aan de andere kant het geregistreerde verbruik van klanten. Aspecten als doorlevering aan andere balansgebieden, water voor eigen gebruik en niet-verrekenende verkoop worden in de balans meegenomen. Van de laatste twee punten kan slechts een schatting worden gemaakt, waardoor er een onzekerheid in de balans wordt geïntroduceerd.

Een methode die in Groot-Brittannië veel wordt toegepast is de *Bottom-Up*-methode. Hierin wordt op het niveau van een klein leveringsgebied (een DMA of district metered area) een schatting van het huishoudelijk en niet-huishoudelijk nachtverbruik vergeleken met de gemeten levering aan het betreffende leveringsgebied. Hierbij wordt de in- dan wel uitstroom via alle koppelpunten van het leveringsgebied beschouwd. Het verschil tussen het geschatte verbruik en de gemeten levering is het niet in rekening gebrachte verbruik.

Tabel 2: Overzicht van klassieke methoden voor het vaststellen van lekverliezen.

Methode		1) Top-down	2) Bottom-up
Klasse		waterbalans	waterbalans
Omschrijving		bepaling lekverlies op basis van waterbalans van gemeten productie en afzet	bepaling lekverlies op basis van voorspeld nachtverbruik en gemeten toelevering
Toepassingsgebied		voorzieningsgebied of deel daarvan	volledig geïsoleerd meetgebied waarvan alle in- en uitstroompunten (afgezien van leveringspunten) bemeterd zijn
Benodigde gegevens	model	balans	balans
	metingen	- afzet naar leidingnet (pompstations of koppelpunten) - uitgaande waterstromen: verkoop klanten en doorlevering koppelpunten - water voor eigen gebruik - niet-verrekenende verkoop - getallen terugreken naar zelfde moment	- in- en uitgaande waterstromen aan randen meetgebied (continu, resolutie 1 per minuut) - huishoudelijk nachtverbruik - niet-huishoudelijk nachtverbruik
	schattingen	- water voor eigen gebruik - niet-verrekenende verkoop	- nachtafzet (statistische afgeleide van gemeten nachtstromen) - niet-huishoudelijk nachtverbruik
Tijdschaal		langere periode (orde jaar)	minimaal 14 dagen gedurende 4 uur in de nacht
Resultaat		lekverlies	lekverlies
Nauwkeurigheid		afhankelijk van meet- en administratieve onnauwkeurigheden en schattingen	afhankelijk van nauwkeurigheid geschatte waarden en meetnauwkeurigheid
Opmerkingen		veel toegepast in Nederland	veel toegepast in Verenigd Koninkrijk
Bronnen		Farley en Trow (2003), Beuken et al. (2005)	Farley en Trow (2003), Beuken et al. (2005)
Toepasbaarheid in BeNe		goed	geen DMA's
Mogelijke rol SIMDEUM		nee, tijd- en ruimteschaal te groot	schatting nachtafzet en niet-huishoudelijk nachtverbruik

Tabel 3: Overzicht van nieuwe methoden voor het vaststellen van lekverliezen.

Methode		3) Statistische analyse van volumestroommetingen	4) Drukafhankelijk lekdetectiemodel	5) Inverse Transiëntanalyse	6) Probabilistische lekdetectie
Klasse		statistische analyse	optimalisatie van modelvoorspelling	optimalisatie van modelvoorspelling	optimalisatie van modelvoorspelling
Omschrijving		Statistische evaluatie van afnamepatroon voor kleine geïsoleerde netten.	Het verschil tussen voorspelde (uit nauwkeurig en gecalibreerd hydraulisch model van het net) en gemeten waarden voor volumestroom en druk op een aantal plaatsen in het net wordt geminimaliseerd met behulp van een genetisch algoritme.	Op basis van een nauwkeurig en gecalibreerd hydraulisch model van het net en drukmetingen van gecontroleerde drukgolven kunnen locaties en groottes van lekken worden bepaald in de vorm van een optimalisatieprobleem.	Op basis van een nauwkeurig en gecalibreerd hydraulisch model van het net en metingen van druk en volumestroom op verschillende locaties in het net kunnen kansverdelingen zowel locaties als groottes van lekken worden bepaald in een optimalisatieprobleem.
Toepassingsgebied		kleine geïsoleerde netten in woonwijken (minder dan 1000 aansluitingen)	heel distributienetwerk door aggregatie van knooppunten in coherente subsystemen	maximale schaal onduidelijk, vooralsnog vooral transportnet	maximale schaal beperkt door benodigde computerkracht
Benodigde gegevens	model	hydraulisch model	gedetailleerd hydraulisch netmodel	gedetailleerd hydraulisch netmodel	gedetailleerd hydraulisch netmodel
	metingen	- volumestroommetingen - drukmetingen - resolutie: eens per 30 minuten (gebruikt door Wu et al.)	- druk- en/of volumestroommetingen - zeer hoge tijdsresolutie; niet gespecificeerd maar naar schatting in de orde van 100 Hz	- druk- en/of volumestroommetingen - zeer hoge tijdsresolutie; niet gespecificeerd maar naar schatting in de orde van 100 Hz	- druk- en/of volumestroommetingen - tijdreeksen niet relevant; meerdere metingen onder verschillende condities wel
	schattingen	- weegfactoren voor waargenomen verhang - emittercoëfficiënten	- frictiecoëfficiënten - evt. schatting van lekkages - emittercoëfficiënten (?)	- frictiecoëfficiënten - evt. schatting van lekkages - emittercoëfficiënten (?)	- frictiecoëfficiënten - emittercoëfficiënten
Tijdschaal		enkele uren	korte tijdschaal (Wu et al.: 48 uur)	korte tijdschaal (minuten)	arbitrair
Resultaat		lekverlies	lekverlies en -locaties	lekverlies en locaties lekken	lekverlies en locaties inclusief marges
Nauwkeurigheid		op basis van simulaties en een enkele praktijktest in de orde van 90%	Schijnbare nauwkeurigheid van ca. 80% in geciteerde paper; onduidelijk of hier de beste resultaten zijn geselecteerd.	afhankelijk van plaatsing sensoren en lokale stroomcondities (weinig stroming -> lage nauwkeurigheid)	afhankelijk van configuratie en karakteristieken van DWDS
Opmerkingen		Afgezien van enkel testgeval in oorspronkelijke werk (2003) nog geen praktijktests in de literatuur gevonden.		Vooralsnog geen meldingen van succesvolle toepassing op DWDS in de literatuur (Wu et al., 2010)	uitsluitend getest op gesimuleerde data
Bronnen		Nadimpalli (2003), Buchberger & Nadimpalli (2004)	Wu et al. (2010)	Savic et al (2005), Wu et al. (2010), Liggett & Chen (1994), Vitkovský et al. (2007), Colombo et al. (2009)	Poulakis et al. (2003), Puust et al. (2006)
Toepasbaarheid in BeNe		vermoedelijk goed	- alleen toepasbaar bij relatief grote volumestroom en drukval, aangezien model en metingen anders niet voldoende nauwkeurig zijn	in principe toepasbaar, met name op transportleidingen	- lijkt nog niet rijp voor toepassing in DWDS - alleen bij grote volumestroom en drukval, model en metingen anders niet nauwkeurig genoeg
Mogelijke rol SIMDEUM		referentie-afnamepatroon	afnamepatronen	nee	statistieken afnamepatronen

Beide methoden worden in meer detail beschreven in het rapport *Lekverlies bij DPW en Oasen* (Beuken et al., 2005). Farley en Trow (2003) besteden veel aandacht aan de bottom-up-methode.

2.2 Nieuwe methoden uit de academische literatuur

Naast de hierboven beschreven 'klassieke' methoden, is er in de literatuur een viertal alternatieve methoden aangetroffen, die op basis van andere dan de hierboven gebruikte principes tot een schatting van het niet in rekening gebrachte verbruik komen. Tabel 3 beschrijft deze alternatieve, nieuwe methoden. Met name van de methoden die gebaseerd zijn op optimalisatie bestaan veel meer varianten dan hier besproken. De gekozen methoden worden door ons echter als representatief beschouwd voor de grotere verzamelingen waar zij deel van uitmaken.

2.2.1 Statistische analyse van volumestroommetingen (3)

Buchberger en Nadimpalli (2004) beschrijven een methode waarin de distributie van gemeten volumestromen wordt vergeleken met een theoretische distributie. Zij richten zich hierbij op de daluren in de nacht en gaan uit van Poisson-verdeelde verbruikspulsen die resulteren in een getrunceerde normaalverdeling voor de leveringsmetingen gedurende de daluren. Wanneer een normaal verdeelde dataset in een normale waarschijnlijkheidsplot wordt weergegeven, levert deze een rechte lijn op. In het geval van een getrunceerde normaalverdeling wordt deze rechte lijn ook gezien voor een deel van de dataset maar ziet men aan het getrunceerde uiteinde van de verdeling een afwijking van deze rechte lijn. Hiermee beschikken we over een test om te bepalen of gemeten leveringspatronen (getrunceerd) normaal verdeeld zijn.

Figuur 1 toont een tijdreeks van een volumestroom richting een kleine geïsoleerde groep huishoudens. Er worden drie gevallen onderscheiden, namelijk één zonder lekverlies (a), één met een constant lekverlies (c) en één met een variabel lekverlies (e). Wanneer voor deze tijdreeksen normale waarschijnlijkheidsplots worden gemaakt (resp. Figuur 1b,d,f) zien we voor het eerste geval zonder lekverlies dat de volumestromen netjes op een rechte lijn liggen, afgezien van een aantal tijdsblokken waarin de levering 0 was. Deze niet-0 volumestromen zijn dus normaal verdeeld. In het geval van een constant lekverlies zien we deze zelfde normale verdeling opduiken (d), afgezien van een aantal 'metingen' waarvoor de volumestroom gelijk is aan het lekverlies. Bij een variabel lekverlies zien we een afwijkend staartje aan het begin van de verder normale verdeling (f). Deze afwijking aan het begin van de normaalverdeling vormt, samen met de aanname dat de volumestroom gedurende de nachtelijke daluren verder normaal verdeeld is, de basis van de door Buchberger en Nadimpalli voorgestelde methode.

Het basisconcept van de methode is dat een dataset van nachtelijke volumestroommetingen (bij voorkeur op secondeschaal) stap voor stap wordt verkleind door alle volumestroomwaarden in de dataset onder een bepaald zogenaamd *truncatieniveau* te negeren en voor de resterende set het gemiddelde en de standaarddeviatie te berekenen. Deze worden vervolgens geplot als functie van het truncatieniveau. In Figuur 2 is de methode schematisch weergegeven: De dataset (Figuur 2a) wordt gesorteerd op magnitude van de volumestroom (Figuur 2b). Vervolgens worden 1000 truncatieniveaus gedefinieerd oplopend van de laagst optredende volumestroom tot en met de hoogst optredende volumestroom. Voor elk van deze truncatieniveaus wordt een aangepaste dataset gegenereerd (Figuur 2c-e, boven) volgens:

$$Q_{Ti} = \begin{cases} Q_i - T, & Q_{Ti} \geq T \\ 0, & Q_{Ti} < T \end{cases}$$

met Q_{Ti} element i uit de getrunceerde dataset voor truncatieniveau T en Q_i het corresponderende element uit de oorspronkelijke dataset. Voor iedere getrunceerde dataset wordt een genormaliseerd gemiddelde en een genormaliseerde standaarddeviatie uitgerekend:

$$\overline{Q^*} = \frac{1}{N\hat{\sigma}} \sum_{i=1}^N Q_{Ti}$$

$$S^* = \frac{1}{N\hat{\sigma}} \sqrt{N \left(\sum_{i=1}^N Q_{Ti}^2 \right) - \left(\sum_{i=1}^N Q_{Ti} \right)^2}$$

Deze parameters worden uitgezet tegen het genormaliseerde truncatieniveau:

$$\varepsilon = \frac{T - \hat{\mu}}{\hat{\sigma}}$$

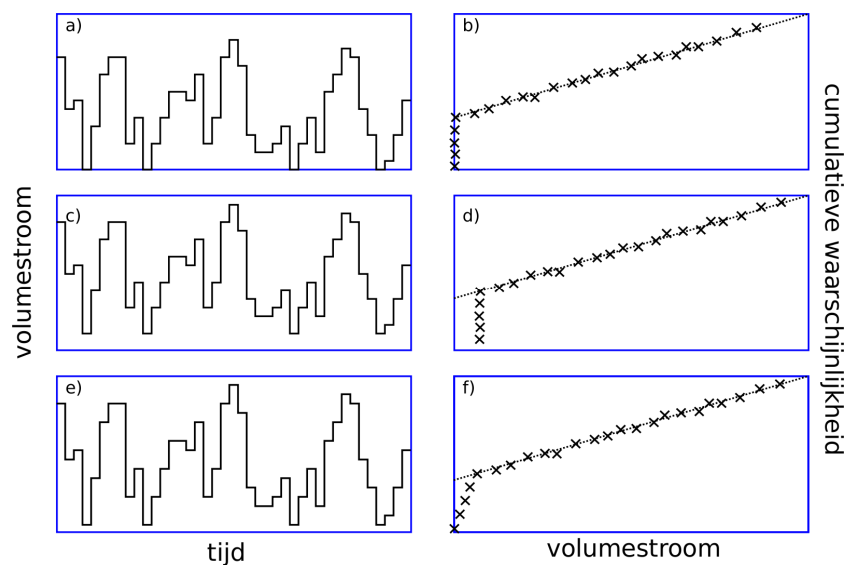
Hierbij wordt gebruik gemaakt van een schatting van het gemiddelde $\hat{\mu}$ en de standaarddeviatie $\hat{\sigma}$ vanuit het niet-getrunceerde gedeelte van de oorspronkelijke dataset.

Figuur 3 laat zien hoe de zo verkregen gestandaardiseerde curves voor een dataset met een lekverlies (groter dan nul) afwijken van dezelfde curves voor een dataset zonder lekverlies. Er kunnen hierbij twee specifieke punten worden aangewezen. Het eerste is het *plateaupunt*. Dit is het punt waar de afgeleide van de gemiddelde-curve omhoog komt vanaf de waarde -1. In de afgeleide van de standaarddeviatiecurve is dit punt te zien daar waar de curve onder de nullijn duikt. Dit punt representeert de kleinste waargenomen volumestroom en is dus de laagste lekverlieswaarde die consistent is met de metingen (in het geval deze laagste gemeten waarde alleen maar lekverlies vertegenwoordigt).

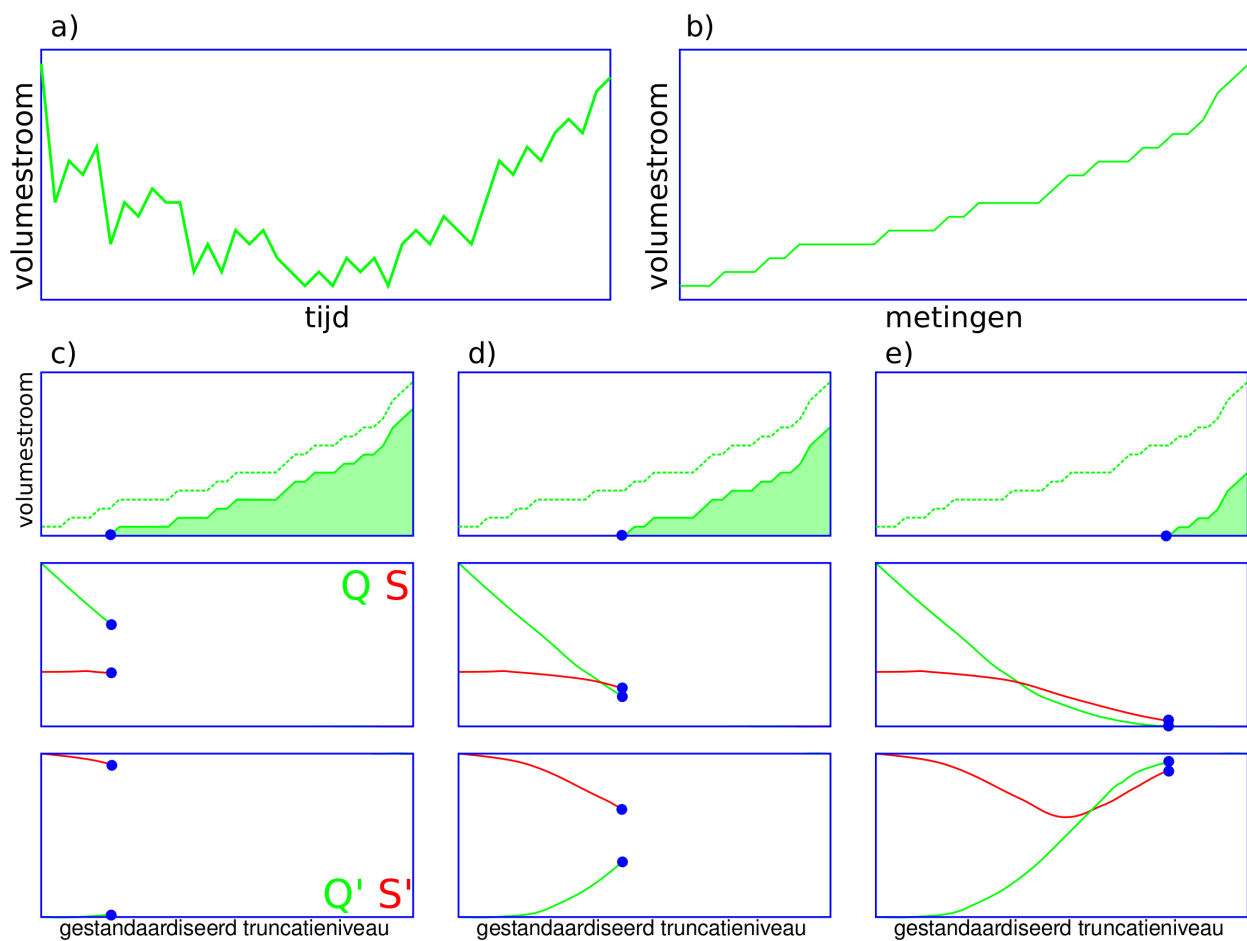
Het tweede punt dat aangegeven kan worden is het zogenaamde *vertretpunt*. Dit is het punt waar, voor toenemende ε vanaf het *plateaupunt*, de afgeleiden van de observatiecurves voor gemiddelde en standaarddeviatie de theoretische curves (bij benadering) raken. Dit punt representeert de maximale volumestroom aan lekverlies die uit de meetgegevens naar voren komt.

Naast de aanname dat het nachtverbruik getrunceerd normaal verdeeld is, is de methode uitsluitend toepasbaar op secties met maximaal ca. 1000 aansluitingen. De reden hiervoor is dat de methode momenten zonder watervraag (exclusief lekverlies) vergt, die bij een groter aantal aansluitingen naar verwachting niet of nauwelijks zullen optreden.

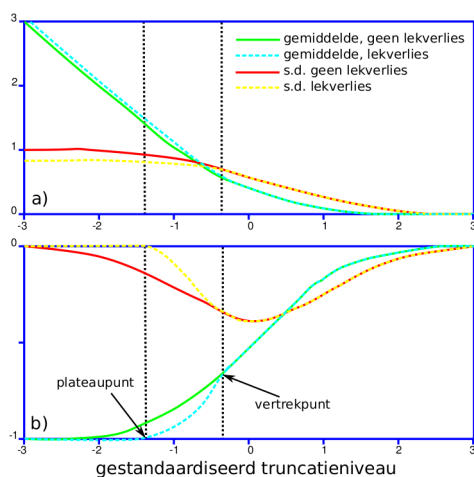
De toepassing van deze methode is in de literatuur beperkt gebleven tot een voorbeeld in de oorspronkelijke publicatie van Buchberger en Nadimpalli (2004). Dit geeft te denken over de praktische toepasbaarheid, maar gezien de vernieuwende benadering wordt deze methode desondanks in dit rapport geëvalueerd en wordt de toepasbaarheid ervan op Nederlandse en Vlaamse data vastgesteld.



Figuur 1: Levering aan een kleine groep huishoudens gedurende de nachtelijke daluren en bijbehorende normale waarschijnlijkheidsplots voor drie verschillende situaties: a,b) geen lekverlies; c,d) constant lekverlies; e,f) variabel lekverlies. Naar Buchberger en Nadimpalli (2003).



Figuur 2: Schematische weergave van de lekverliesbepalingsmethode van Buchberger en Nadimpalli (2003). a) Tijdreeks gedurende de nachtelijke daluren van volumestroom naar geïsoleerde sectie; b) tijdreeksdata gesorteerd naar magnitude; c-e) Dataset voor verschillende oplopende truncatieniveaus (boven) met bijbehorende gemiddelde (Q, groen) en standaarddeviatie (S, rood) (midden) en de eerste afgeleiden hiervan (onder).



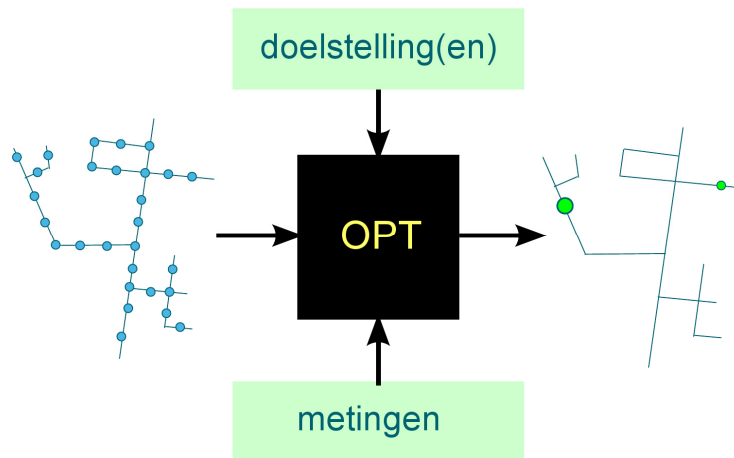
Figuur 3: Kenmerkende afwijkingen van gestandaardiseerde curves in geval van lekverlies. a) gemiddelden en standaarddeviaties als functie van gestandaardiseerd truncatieniveau ε voor de ideale standardsituatie (geen lekverlies) en de situatie met lekverlies; b) afgeleiden hiervan naar ε .

2.2.2 Lekdetectiemethoden gebaseerd op modeloptimalisatie(4-6)

Modeloptimalisatie

Zoals Tabel 3 weergeeft is een belangrijk deel van de moderne lekverliesbepalingsmethoden gebaseerd op de optimalisatie van een model. In deze gevallen wordt een meer of minder gedetailleerd hydraulisch model opgezet van het (deel)netwerk waarvoor een lekverliesbepaling moet worden uitgevoerd. In dit model wordt vervolgens een groot aantal potentiële lekken aangebracht met elk een instelbare omvang. Deze potentiële lekken representeren geen locaties in het net waar men om een of andere reden een lek verwacht, maar zouden bij benadering het volledige net moeten omvatten. In de regel zullen alle knooppunten van het netmodel worden gebruikt. Vervolgens wordt een optimalisatietechniek toegepast om die combinatie van lekken (omvangsparameters of emittercoëfficiënten) te vinden die zorgt voor een hydraulisch model dat een set van metingen het beste voorspelt (Figuur 4). Deze set van metingen kan eenvoudigweg een aantal druk- en volumestroommetingen omvatten, maar kan bijvoorbeeld ook hogeresolutiedrukmetingen bevatten waarin drukgolven goed te zien zijn.

Wat 'het beste voorspellen' in deze context betekent, kan op verschillende manieren worden ingevuld, maar in de regel wordt als doelstelling de minimalisatie van een som van gekwadraterde of absolute verschillen tussen voorspellingen en waarnemingen gebruikt. Bij verschillende methoden wordt hier een verschillende invulling aan gegeven.



Figuur 4: Schematische weergave van lekverliesbepalingsmethoden gebaseerd op modeloptimalisatie.

Bij elk van de modeloptimalisatiemethoden is het van groot belang dat het model een goede representatie van de werkelijke situatie vormt.

Drukafhankelijk lekdetectiemodel (4)

Bij het drukafhankelijke lekdetectiemodel van Wu et al. (2010) wordt er een hydraulisch model opgesteld voor het gebied waar de lekdetectie moet worden toegepast. In het hydraulische model worden een groot aantal potentiële lekken verspreid over het gehele model opgenomen. De volumestroom uit deze lekken wordt als een functie van de lokale druk gedefinieerd (Wu et al., 2010):

$$Q_{i,l}(t) = K_i [P_i(t)]^\alpha$$

Hierin is $Q_{i,l}(t)$ de lekkage op knooppunt i op tijdstip t , $P_i(t)$ de druk op dit knooppunt i op tijdstip t , en K_i de zogenaamde emittercoëfficiënt voor dit knooppunt, dat in feite de relatieve omvang van het lek aangeeft. α is een exponent die de drukafhankelijkheid van de volumestroom representeert – de waarde hiervan wordt meestal op 0,5 gezet.

Er wordt een optimalisatie uitgevoerd op de emittercoëfficiënten K_i . Hierbij wordt een vergelijking gemaakt tussen berekende volumestromen en hydraulische gradiënten in het model en de corresponderende gemeten volumestromen en hydraulische gradiënten in het betreffende gebied volgens een van de volgende doelstellingen:

1. minimalisatie van de som van de kwadraten van de verschillen;
2. minimalisatie van de som van de absolute verschillen;
3. minimalisatie van het maximale absolute verschil.

In deze doelstellingen zitten weegfactoren verwerkt om het relatieve belang van volumestromen en hydraulische gradiënten in de optimalisatie te kiezen.

In de regel is een compleet hydraulisch model van (een deel van) een voorzieningsgebied te groot en te complex om aan deze optimalisatieprocedure te onderwerpen. Daarom gaat er hieraan een aggregatiestap vooraf, waarin knooppunten uit een subsysteem worden samengevoegd tot een zogenaamde vraaggroep (verdunning van het model).

Er zijn diverse optimalisatie-algoritmen beschikbaar die gebruikt kunnen worden om een optimalisatie voor het gestelde probleem met de hierboven genoemde doelstellingen uit te voeren. Wu et al. (2010) gebruiken een genetisch algoritme.

In het artikel van Wu et al. (2010) worden enkele voorbeelden van min of meer succesvolle lekdetecties op basis van deze methode getoond in een enkel DMA van niet nader gespecificeerde omvang, gebruik makend van het pakket WaterGEMS waarin de methode is geïmplementeerd.

Inverse Transiëntanalyse (5)

Drukgolven in het leidingnet, veroorzaakt door alledaagse aspecten van de bedrijfsvoering, worden op twee verschillende manieren door lekken beïnvloed (Colombo, 2009):

1. Zoals iedere onregelmatigheid in de structuur van de buis veroorzaakt ook een lek reflecties van een drukgolf.
2. Doordat een lek als het ware een uitlaatklep biedt voor drukgolven, zorgen lekken voor een verzwakking van de amplitude van deze golven.

Beide effecten zijn in een numeriek model op te nemen, zodat een voorspelling kan worden gedaan van druktijdreeksen bij nauwkeurige drukmeters die in het net zijn geïnstalleerd wanneer een drukgolf in het net wordt opgewekt. Door deze drukgolf ook daadwerkelijk in het net op te wekken en de bijbehorende druksignalen te registreren wordt een dataset verkregen. Er kan vervolgens een optimalisatie uit worden gevoerd in de zin van Figuur 4, waarbij een minimalisatie van het verschil tussen de metingen en voorspelde druksignalen wordt gezocht, om de locatie en omvang van lekken in het net te bepalen.

Voor deze optimalisatie kan gebruik worden gemaakt van verschillende optimalisatietechnieken, zowel niet-lineair (bijv. Levenberg-Marquardt) als heuristisch (bijv. een genetisch algoritme).

Colombo et al. (2009) concluderen in hun review dat hoewel de methode bemoedigende resultaten oplevert in transportleidingen, er nog veel werk verricht moet worden om hem algemeen toepasbaar te maken.

Probabilistische lekdetectie (6)

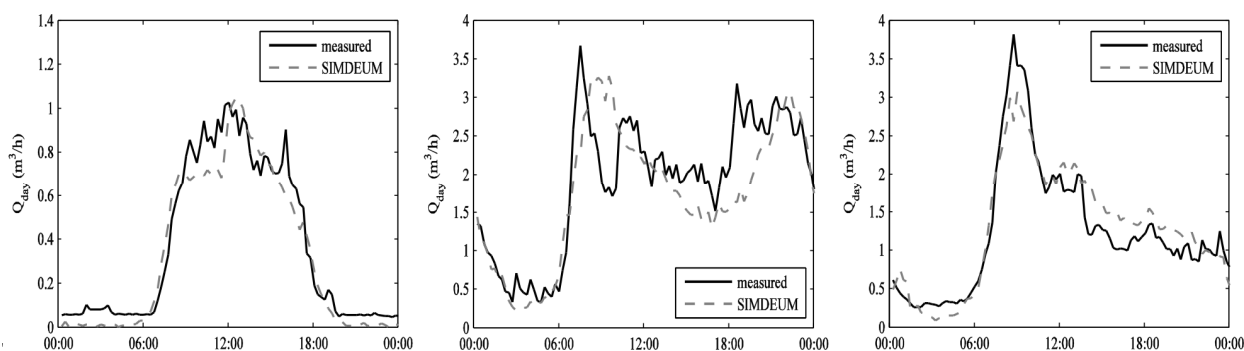
Ook in dit geval vindt een optimalisatie plaats op basis van een nauwkeurig hydraulisch model van het net en metingen van druk en volumestroom op verschillende locaties in het net om zowel locaties als groottes van lekken te bepalen. In tegenstelling tot de eerder besproken methoden worden hierbij in een probabilistische benadering kansdichtheidsfuncties voor een reeks lekscenario's bepaald (Poulakis et al, 2003). Dit betekent dat er van ieder knooppunt in een hydraulisch model dat als potentieel lek wordt beschouwd de waarschijnlijkheid wordt bepaald dat er lekkage plaatsvindt op dit punt. Vervolgens wordt ook de bijbehorende volumestroom berekend. De methode wordt door Poulakis et al. (2003) toegepast op een theoretisch netwerk met één respectievelijk twee lekken, die in het eerste geval goed worden teruggevonden en in het tweede geval met redelijk succes.

Puust et al. (2006) hebben deze methode verder uitgewerkt en toegepast op Anytown (een veelgebruikt testmodel van EPANET). Zij geven echter aan dat de methodologie nog steeds niet volledig uitgewerkt is en dat verdere ontwikkeling en verificatie van de methodologie nodig is.

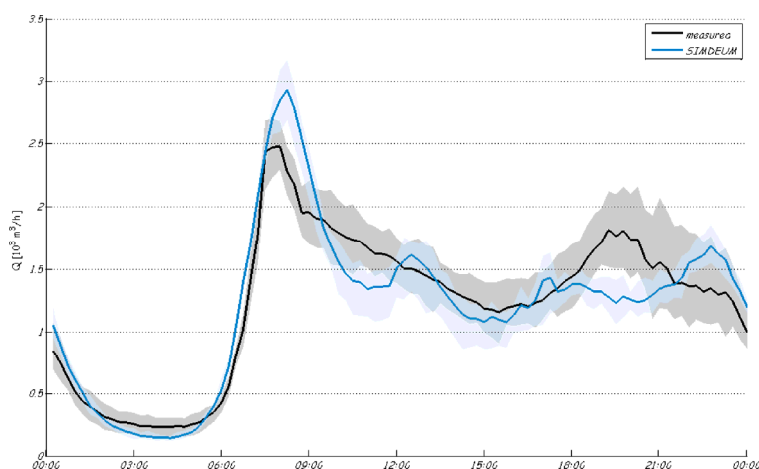
3 Nieuw uitgewerkte benaderingen voor lekverliesbepaling

3.1 Bottom-up lekverliesbepaling met SIMDEUM

In de afgelopen jaren is binnen het BTO SIMDEUM ontwikkeld waarmee zowel huishoudelijk als niet-huishoudelijk waterverbruik voorspeld kan worden. SIMDEUM kan worden ingezet om het geschatte nachtverbruik voor woningen en utiliteitsbouw binnen een voorzieningsgebied te leveren voor de bottom-up-methode. In Figuur 5 en Figuur 6 is hiervan ter illustratie een voorbeeld weergegeven. Deze figuren tonen een goede overeenkomst tussen gemeten en gesimuleerde patronen op de hoofdlijnen met afwijkingen op detailniveau. In hoofdstuk 5 wordt onderzocht of de door SIMDEUM voorspelde nachtverbruiken ingezet kunnen worden bij het opsporen van lekverliezen in leveringsgebieden via de bottom-up-methode. Wanneer het gemeten nachtverbruik hoger is dan het door SIMDEUM voorspelde nachtverbruik, kan dit duiden op een lekverlies. Wanneer het gemeten nachtverbruik lager is dan voorspeld, duidt dit op een onnauwkeurige of niet-representatieve voorspelling van SIMDEUM.



Figuur 5: Vergelijking tussen het gemeten (----) en het door SIMDEUM gesimuleerde (- - - -) dagpatroon voor een kantoor (links), een hotel (midden) en een zorginstelling (rechts).



Figuur 6: Vergelijking tussen het gemeten (----) en het door SIMDEUM gesimuleerde (---) dagpatroon van Haarlem.

3.2 Vergelijking van LeveringsPatroonVerdelingen

3.2.1 Inleiding

Binnen dit project is een volledig nieuwe methode ontwikkeld die op eenvoudige wijze inzicht geeft in veranderingen in verbruik en lekverlies en hiertussen ook onderscheid kan maken. Deze methode draagt de naam *Vergelijking van LeveringsPatroonVerdelingen* (VLPV) of *Comparison of Flow Pattern Distributions* (CFPD). Hieronder worden het principe waarop de methode is gebaseerd en de uitwerking hiervan beschreven.

3.2.2 Principe

Het is te verwachten dat leveringspatronen tussen verschillende gebieden in grote lijnen (ochtendpiek, avondpiek, nachtelijke daluren) overeenkomst vertonen, maar in meer detail zijn er verschillen te verwachten gezien de wisselende aard en verhouding van waterafnemers tussen de verschillende leveringsgebieden. Binnen een enkel leveringsgebied kan men echter wel verwachten dat het patroon van weekdag tot weekdag zeer vergelijkbaar is, met name in perioden zonder extreem warm weer (extra verbruik in de tuin).

Wanneer men patronen van perioden die in de tijd ver uit elkaar liggen met elkaar gaat vergelijken, kan het totale verbruik aanzienlijk veranderd zijn, bijvoorbeeld door bevolkingsgroei. Wanneer de samenstelling van het gebied qua afnemers (en technische binneninstallaties) niet significant is veranderd maar de omvang van de bevolking wel, zal de vorm van het patroon niet wezenlijk anders zijn. Het zal slechts met een bepaalde factor iets groter dan 1 (of kleiner in geval van bevolkingskrimp) vermenigvuldigd zijn. Deze verandering noemen we een *consistente* verandering, omdat het patroon niet van vorm verandert.

Als in de tussenliggende periode echter een toename van het lekverlies optreedt, bijvoorbeeld door het ontstaan van nieuwe lekken of het groter worden van bestaande, dan is de verwachting dat het gehele patroon naar boven (hogere volumestroom) opschuift. In feite wordt er een bepaalde factor bij het patroon opgeteld. Dergelijke veranderingen noemen we *inconsistente* veranderingen. Tabel 4 geeft een overzicht van mogelijk veranderingen in een leveringsgebied en de gevolgen daarvan op het leveringspatroon in termen van consistente en inconsistente veranderingen.

Andere denkbare variaties zijn verschuivingen van pieken t.g.v. vakantieperioden (later opstaan), mooi weer (later eten koken), etc., die niet zozeer het verbruik als wel het verbruiksmoment beïnvloeden. Deze verschuivingen verstoren het simpele beeld van schaal- en optelfactoren en zullen patroonveranderingen tot gevolg hebben.

Directe vergelijking van leveringspatronen wordt bemoeilijkt door o.a. stochastische variaties in de watervraag. Om dit effect te omzeilen kan de tijdfactor uit een verbruikspatroon worden gehaald en gekeken worden naar de frequentieverdeling van volumestromen binnen een bepaalde, voldoende lange periode. Hieronder wordt een procedure geschetst die dit doet. Hiermee kunnen de hierboven genoemde schaalfactor, die we *a* zullen noemen, en optelfactor, die we *b* noemen, direct worden bepaald.

3.2.3 Procedure

De procedure is als volgt (zie ook Figuur 7):

1. Neem twee tijdreeksen van de volumestroom met willekeurige maar gelijke tijdsresolutie uit hetzelfde leveringsgebied of waarvan dezelfde leveringspatroonvorm verondersteld kan worden; hierbij kan ook gebruik worden gemaakt van gesimuleerde gegevens (Figuur 7a).
2. Neem de volumestromen van de datasets en sorteer deze van laag naar hoog (Figuur 7b).
3. Herbemonster een van de twee datasets (indien niet van gelijke lengte) zodanig dat beide sets een gelijk aantal waarnemingen bevatten (Figuur 7c). De herbemonstering wordt gedaan door lineaire interpolatie van de te herbemonsteren set op de ordinaal van de andere set.
4. Zet beide sets uit tegen elkaar in een grafiek (VLPV-plot, Figuur 7d).
5. Voer een lineaire kleinste-kwadratenfit uit op de curve. Deze levert direct de schaalfactor *a* en de optelfactor *b* (Figuur 7e).

Tabel 4: Verschillende scenario's die consistente en inconsistente veranderingen in het leveringspatroon van een leveringsgebied tot gevolg hebben.

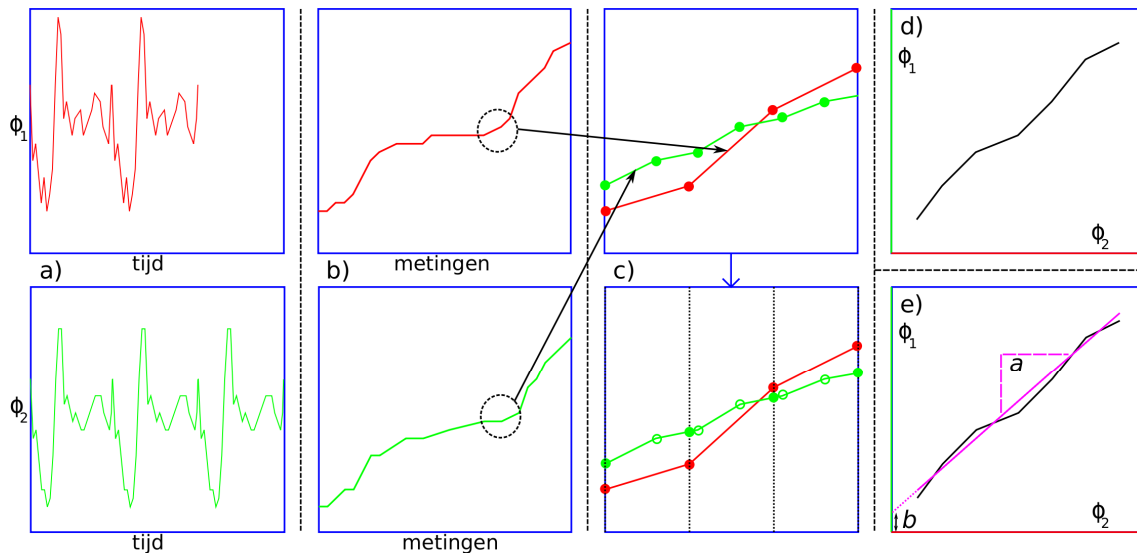
scenario	aspect	verandering	opmerking
bevolkings- omvang verandert	nieuwe wijk wordt gebouwd en bewoond	consistent met huishoudelijk deel van bestaande patroon	aanname dat gedrag vergelijkbaar is met dat van bestaande populatie
	vakantieperiode	afname consistent met huishoudelijk deel van bestaande patroon	minder mensen aanwezig, maar met zelfde vraagpatroon
	seizoensgebonden bezoek toeristen	deel consistent, deel inconsistent	toeristen hebben waarschijnlijk een vergelijkbaar verbruikspatroon, maar waarschijnlijk niet identiek
warme periode	douche/badkamer	toename	gecombineerde effect is een toename met een grote consistente component en een kleine inconsistente component in de huishoudelijke vraag
	was	toename	
	toiletgebruik	zelfde/afname?	
	keuken	toename	
	buitenkraan	inconsistente toename	
grootverbruiker komt of vertrekt		inconsistente verandering	klantspecifiek vraagpatroon
nieuw lek		inconsistente verandering	

De zo verkregen factoren a en b hebben een duidelijke betekenis: a beschrijft de (consistente) toename of afname van het verbruik door bijvoorbeeld bevolkingsgroei en b beschrijft de (inconsistente) verandering in het basisniveau van verbruik. Dit wordt bepaald door het gemiddelde lekverlies, maar hierin zullen ook incidentele gebruiken zoals het zomerse tuinsproeien in voorkomen indien dit wel in het ene patroon maar niet in het andere patroon zit.

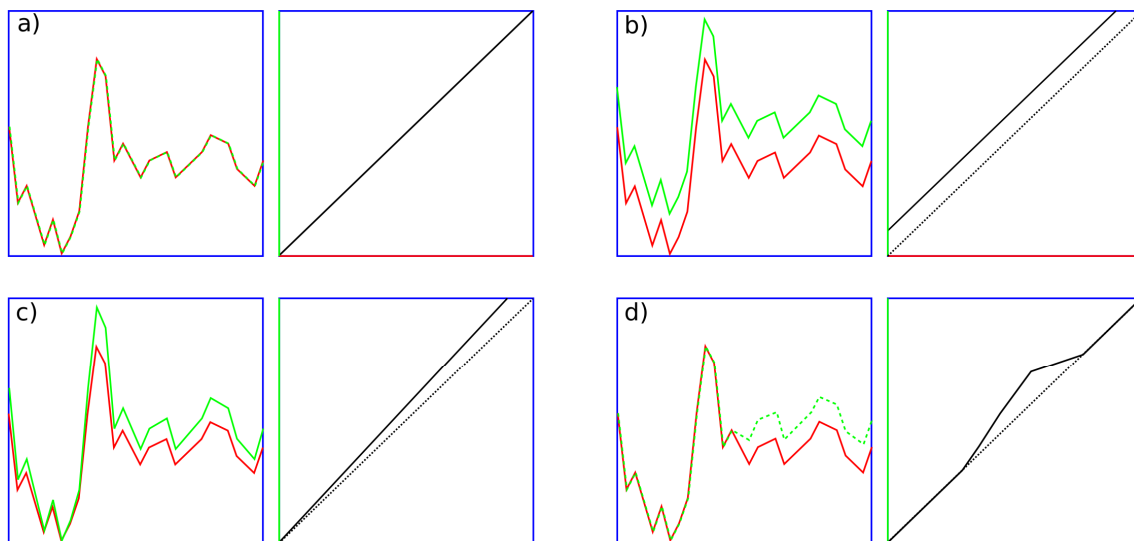
3.2.4 Optel- en schaaleigenschappen

Wanneer twee identieke patronen met elkaar worden vergeleken, zal de bijbehorende VLPV-plot een rechte lijn door de oorsprong met richtingscoëfficiënt 1 tonen (Figuur 8a). Een basislekkageniveau van bijvoorbeeld $1 \text{ m}^3/\text{uur}$ in het tweede patroon zal de volledige curve met $1 \text{ m}^3/\text{uur}$ naar boven verschuiven (Figuur 8b). Een verdubbeling van iedere individuele waarde in het tweede patroon, oftewel een schaling van het patroon met een factor 2, zal de curve ook met dezelfde factor schalen en dus ook de helling verdubbelen (Figuur 8c).

Wanneer de patronen slechts voor een deel van de dag afwijken, wordt het beeld complexer. In Figuur 8d is het verbruik in middag bij het tweede patroon hoger dan bij het eerste, maar in de ochtend identiek. We zien nu dat voor de verbruiksmagnitudes die optreden in de periode van verschuiving de VLPV-curve gaat afwijken van de ideale curve. Voor de verbruiksmagnitudes die niet in de periode van verschuiving voorkomen zien we dat de VLPV-curve nog steeds samenvalt met de ideale curve.



Figuur 7: Procedure voor verdelingsvergelijking. a) Neem twee leveringspatronen (ϕ_1 en ϕ_2) uit hetzelfde voorzieningsgebied maar van verschillende opnamemomenten; b) Neem uitsluitend de leveringsdata en sorteer deze van klein naar groot; c) herbemonster een van de dataset zodanig dat beide evenveel datapunten bevatten; d) zet ze tegen elkaar uit in een VLPV-plot; e) maak een lineaire kleinste kwadratenfit. Hierbij is de helling a de schaalfactor tussen de twee patronen (afname/toename van verbruik) en de intercept b de niet aan verbruiksverandering gerelateerde verschuiving (te interpreteren als NIRG of buitengewoon verbruik).



Figuur 8: Effecten van patroonverschillen op VLPV-plots. a) identieke patronen leveren een rechte VLPV-curve met een helling van 1; b) een constant verschil (bijvoorbeeld door toegenomen lekverlies) tussen de twee patronen levert een verschoven VLPV-curve op; c) bij een schaalverschil tussen de twee patronen (consistente toename van de water vraag) is de helling van de VLPV-curve ook geschaald, maar de curve loopt nog wel door de oorsprong van de plot; d) Wanneer het verbruik slechts op een beperkt deel van de dag anders is, wijkt de VLPV-curve af van de basiscurve voor de verbruiksmagnitudes waarvoor de verschuiving is opgetreden.

3.2.5 Onzekerheidsmarges van coëfficiënten a en b

De standaarddeviaties in de factoren a en b kunnen ook worden bepaald om de onzekerheidsmarges van de lineaire fit vast te stellen (formeel gaat het hierbij om de standaarddeviaties van de schattingen van deze factoren) (Weisstein, 2011):

$$s_a = \sqrt{\frac{\frac{1}{n-2} \sum_{i=1}^n \hat{\varepsilon}_i^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}}$$

en

$$s_b = \sqrt{\frac{\frac{1}{n-2} \sum_{i=1}^n \hat{\varepsilon}_i^2}{\frac{1}{n} + \frac{\bar{x}^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}}}$$

met x de onafhankelijke parameter (de eerste van de twee datasets), n het aantal meetpunten (na herbemonsteren), \bar{x} het gemiddelde van alle x_i en $\hat{\varepsilon}_i$ de residuen.

3.2.6 Onzekerheden in de meetgegevens

Wanneer twee tijdreeksen die met elkaar worden vergeleken dezelfde systematische afwijking bevatten, wordt deze afwijking door de VLPV-methode in de bepaling van de interceptcoëfficiënt geëlimineerd. Niet-systematische afwijkingen in de metingen en veranderingen van de nauwkeurigheid van en afwijkingen in de metingen tussen de twee beschouwde perioden resulteren in een toename van de onzekerheid van de bepaling van coëfficiënten a en b . Deze toename wordt hier niet gekwantificeerd.

3.2.7 Toepasbaarheid

De hier beschreven methode biedt niet zonder meer een mogelijkheid om het lekverlies vast te stellen. Hij kan echter wel een verandering in het lekverlies signaleren bij herhaalde metingen in bijvoorbeeld opeenvolgende jaren. De kracht van de methode is dat er hierbij onderscheid wordt gemaakt tussen natuurlijke veranderingen in de afname en veranderingen door daadwerkelijke lekken. Ook bepaalt de methode, in tegenstelling tot bijvoorbeeld de bottom-up-methode, het gemiddelde lekverlies over de gehele beschouwde periode in plaats van het instantane lekverlies in de nachtelijke daluren. Een belangrijk voordeel van de methode is dat er geen numeriek model aan ten grondslag ligt waarmee de introductie van aannames (zoals bijvoorbeeld een schatting voor het nachtverbruik per aansluiting) wordt vermeden. Het belangrijkste nadeel is het feit dat er geen absolute inschatting van het lekverlies wordt gemaakt maar alleen een verandering ten opzichte van een bepaalde situatie, die op zichzelf niet gegarandeerd lekvrij is.

De methode is relatief eenvoudig te implementeren in software en toe te passen door de waterbedrijven. De werkzaamheid van de methode wordt in Hoofdstuk 7 aangetoond.

3.3 Conclusies

Vooralsnog lijken de 'klassieke' top-down- en bottom-up-methoden de best toepasbare methoden te blijven voor het bepalen van lekverliezen, hoewel sommige ontwikkelingen voor de verdere toekomst veelbelovend zijn. Een uitbreiding van de bottom-up-methode door het gebruik van SIMDEUM voor de schatting van het nachtverbruik is erg interessant en zal in Hoofdstuk 5 verder worden uitgewerkt. In de op modeloptimalisatie gebaseerde methoden vindt nog veel ontwikkeling plaats, maar een enkele (drukafhankelijke lekdetectie) is inmiddels in een commercieel softwarepakket (WaterGEMS) geïmplementeerd en met redelijk (maar wisselend) succes toegepast op een enkel Brits voorzieningsgebied (Wu et al., 2010). De methode van Buchberger en Nadimpalli (2003) is veelbelovend voor kleine secties of DMA's. Hoewel het ontbreken van toepassingen van de methode in de literatuur enigszins te denken geeft, zal de methode in Hoofdstuk 6 aan nader onderzoek worden onderworpen. De hier ontwikkelde VLPV-methode lijkt een veelbelovende aanvullende tool te zijn om veranderingen

in de consumptie te onderscheiden van toenames in het lekverlies. In Hoofdstuk 7 wordt deze aan een praktijktoets onderworpen.

4 Beschouwing van meetgegevens

4.1 Inleiding

De aan het project deelnemende bedrijven, Dunea, Evides, Pidpa en Vitens, hebben elk voor een of meer geïsoleerde leveringsgebieden gemeten leveringspatronen aangeleverd. Ook hebben zij gegevens over de aansluitingen in de betreffende gebieden verschaft. In het kader van een samenwerking met de Universiteit van Exeter hebben wij eveneens de beschikking gekregen over metingen voor een drietal Engelse DMA's. **Error! Reference source not found.** geeft een overzicht van meetgegevens die in het onderzoek zijn gebruikt. In de hierop volgende hoofdstukken zullen verschillende lekverliesbepalingsmethoden op deze gegevens worden toegepast.

bedrijf	gebied	aantal aansluitingen	meetperiode	meetduur	meetfrequentie (eens per ...)
Evides	Tholen	9981	april-mei 2010	5 weken	1 minuut
Evides	Tholen	9981	oktober 2010	maand	1 minuut
Vitens Midden Nederland	Balansgebied 3	14847	september-december 2010	4 maanden	1 minuut
Pidpa	Postel	78	juni 2009-december 2010	18 maanden	15 minuten
Dunea	1	13707	15-12-2010, 17-12-2010, 28-1-2011, 9-2-2011	nacht 0:00-5:00	5 minuten
Dunea	2	18836	17-12-2010, 11-2-2011	nacht 0:00-5:00	5 minuten
Dunea	2a Berkel	9606	2-11-2011	nacht 0:00-5:00	5 minuten
Dunea	2b Bleiswijk	5333	2-11-2011	nacht 0:00-5:00	5 minuten
Dunea	2c Bergschenhoek	6466	2-11-2011	nacht 0:00-5:00	5 minuten
Dunea	3	48585	11-12-2009, 21-12-2010	nacht 0:00-5:00	5 minuten
Dunea	4	27132	19-1-2011	nacht 0:00-5:00	5 minuten
Dunea	5	17595	21-1-2011, 16-2-2011	nacht 0:00-5:00	5 minuten
Dunea	5a Broeksloot	4971	16-2-2011	nacht 0:00-5:00	5 minuten
Dunea	5b Trekweg	10544	16-2-2011	nacht 0:00-5:00	5 minuten
Dunea	5c Maanweg	2047	16-2-2011	nacht 0:00-5:00	5 minuten
Dunea	6	29897	6-1-2010, 26-1-2011	nacht 0:00-5:00	5 minuten
Een Brits waterbedrijf	DMA a	2640/122/1	maart 2006 - april 2010	4 jaar	15 minuten
Een Brits waterbedrijf	DMA b	4336/6/1	maart 2006 - april 2010	4 jaar	15 minuten
Een Brits waterbedrijf	DMA c	1515/96/0	juni 2007-april 2010	31 maanden	15 minuten

4.2 Toepassingsgebied 1: Tholen (Evides)

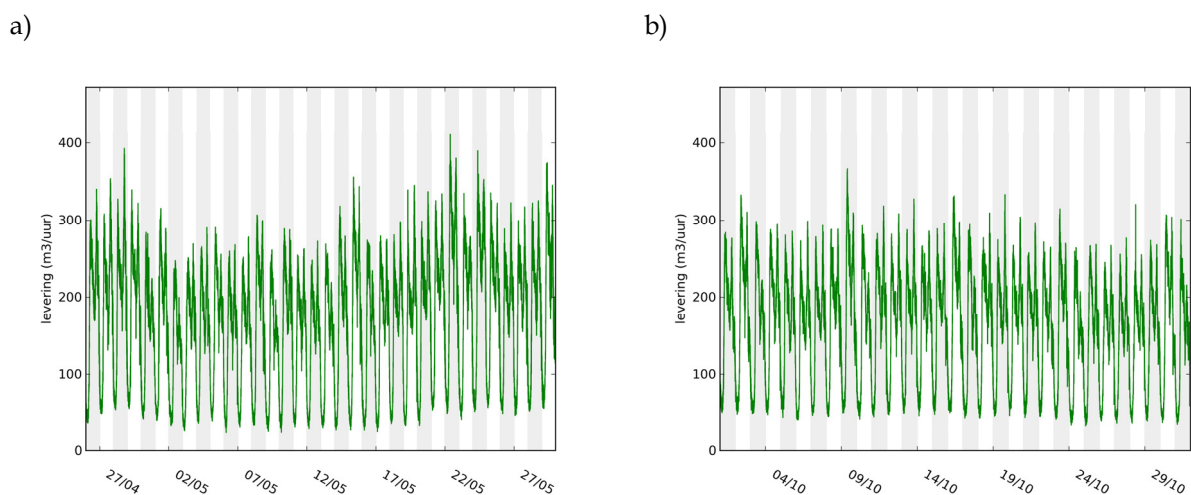
4.2.1 Beschrijving

Het eerste toepassingsgebied is het eiland Tholen, dat zich in het voorzieningsgebied van Evides bevindt. Het is een landelijk gebied met enkele kleine woonkernen en een met name agrarische en

toeristische functie. De relevante bevolkingsgegevens zijn opgenomen in Bijlage I, Tabel 19. Het eiland wordt door een gescheiden en apart bemeterde pompgroep gevoed.

4.2.2 Gemeten leveringspatroon en top-down bepaling NIRG verbruik

Figuur 9 toont de gemeten levering aan Tholen voor de periode 26 april 2010 t/m 29 mei 2010 (a) en oktober 2010 (b). Tabel 5 toont de waterbalans voor 2009, waarbij een niet in rekening gebracht verbruik van 10,3% wordt geconstateerd. Als hierbij wordt uitgegaan van een onzekerheid (95% betrouwbaarheidsinterval) van 1,0% voor de levering en 2,0% in de gefactureerde hoeveelheid, dan is de onzekerheid (opnieuw 95% betrouwbaarheidsinterval) in het verschil 9,6%-punt, waarmee het NIRG verbruik zich dus ergens tussen 0,7% en 19,9% bevindt. Hierbij moet worden opgemerkt dat in de regel de gefactureerde hoeveelheid water is gebaseerd op meterstanden die het hele jaar door worden opgenomen en op basis waarvan een terugrekening naar het verbruik in een kalenderjaar moet worden gemaakt. Deze terugrekening introduceert extra onzekerheid.



Figuur 9: Gemeten levering aan Tholen voor de perioden 26 april t/m 29 mei 2010 (a) en oktober 2010 (b).

Tabel 5: Verschil tussen geleverd en gefactureerd water voor Tholen voor 2009.

geleverd	1423854 m ³		+/- 1,0%	s=7.3·10 ³ m ³	
gefactureerd	1277811 m ³		+/- 2,0 %	s=1,3·10 ⁴ m ³	
verschil	146043 m ³	10,3%		s=1,4·10 ⁴ m ³	+/- 9,6%

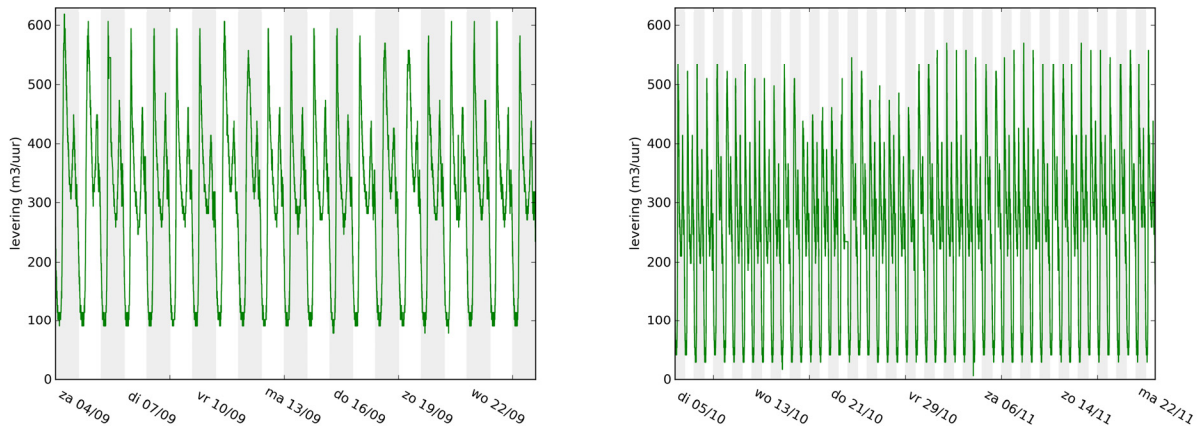
4.3 Toepassingsgebied 2: Balansgebied 3 (Vitens)

4.3.1 Beschrijving

Dit toepassingsgebied is een balansgebied, oftewel alle in- en uitstromen zijn bemeterd. Het bevindt zich ten noorden van de stad Utrecht en omvat (delen van) de gemeenten Hilversum, Wijdmeren, Loenen Abcoude, Maarssen, De Bilt, Breukelen en Nieuwkoop. De relevante bevolkingsgegevens zijn opgenomen in Bijlage I, Tabel 20.

4.3.2 Gemeten leveringspatroon en top-down bepaling NIRG verbruik

Uit een grotere dataset zijn twee relevante perioden geselecteerd. De eerste periode gaat vooraf aan de reparatie van een groot lek; de tweede periode volgt hierop. Op basis van leveringsgegevens van het meest nabije pompstation is de omvang van dit gerepareerde lek door Vitens geschat op 40-50 m³/uur. De duur van met name de tweede periode is beperkt om enkele verdachte onregelmatigheden in de meetwaarden uit te sluiten. In Figuur 10 wordt de levering aan Balansgebied 3 voor deze twee perioden weergegeven. Let op dat de afname van de ochtendpieken die gedurende twee weken wordt waargenomen in de rechterafbeelding van Figuur 10 samenvalt met de herfstvakantie.



Figuur 10: Gemeten levering aan Balansgebied 3 voor de periodes 4-24 september 2010 (links) en 5 oktober t/2 22 november 2010 (rechts). Let op dat de verticale schaal in beide gevallen hetzelfde is.

Op basis van de top-down-methode is bij Vitens het lekverlies voor dit gebied vastgesteld op circa 15% voor de reparatie van het bovengenoemde lek. Het ligt niet voor de hand dat met deze reparatie het lekverlies voor dit gebied naar 0 is teruggebracht.

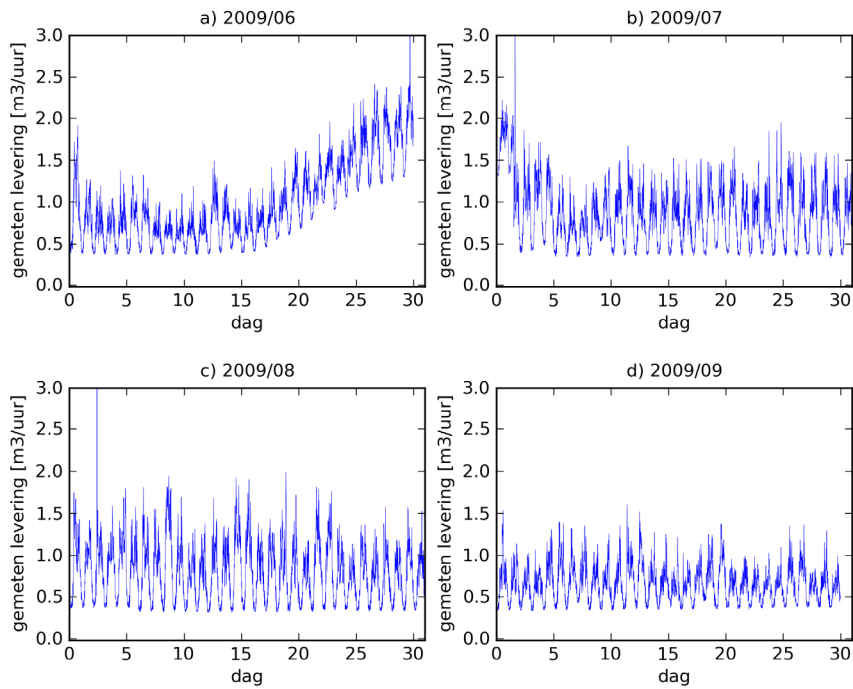
4.4 Toepassingsgebied 3: Postel (Pidpa)

4.4.1 Beschrijving

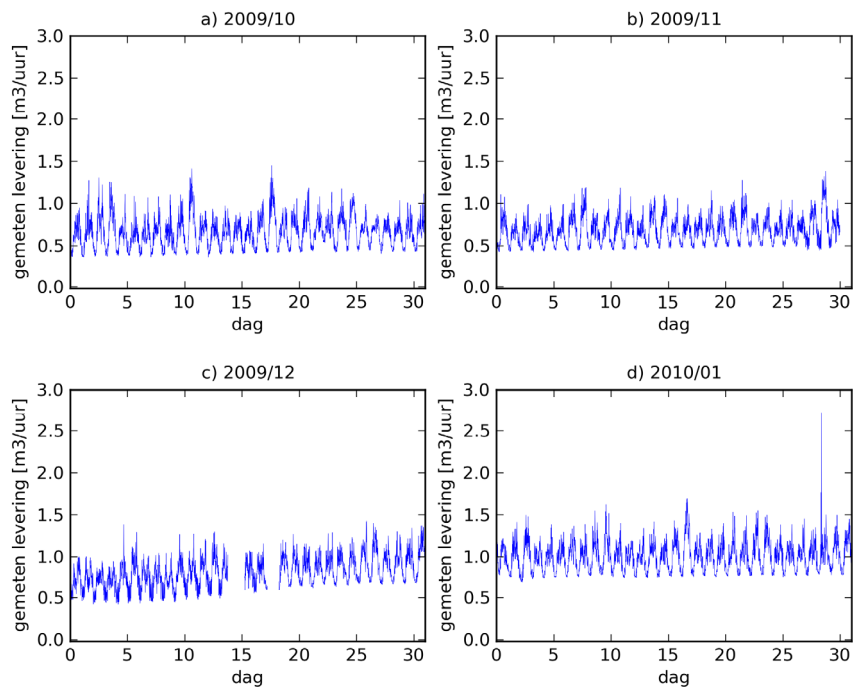
Postel is een gehucht in een agrarisch gebied in de provincie Antwerpen dicht bij de Nederlandse grens met een abdij, enkele horecagelegenheden en beperkte lintbebouwing langs enkele wegen. Het wordt van twee kanten gevoed. De relevante bevolkingsgegevens zijn opgenomen in Bijlage I, Tabel 21. Pidpa heeft grote, vaak seizoensgebonden verschillen geconstateerd tussen de geleverde en gefactureerde hoeveelheid water.

4.4.2 Gemeten leveringspatroon en top-down bepaling NIRG verbruik

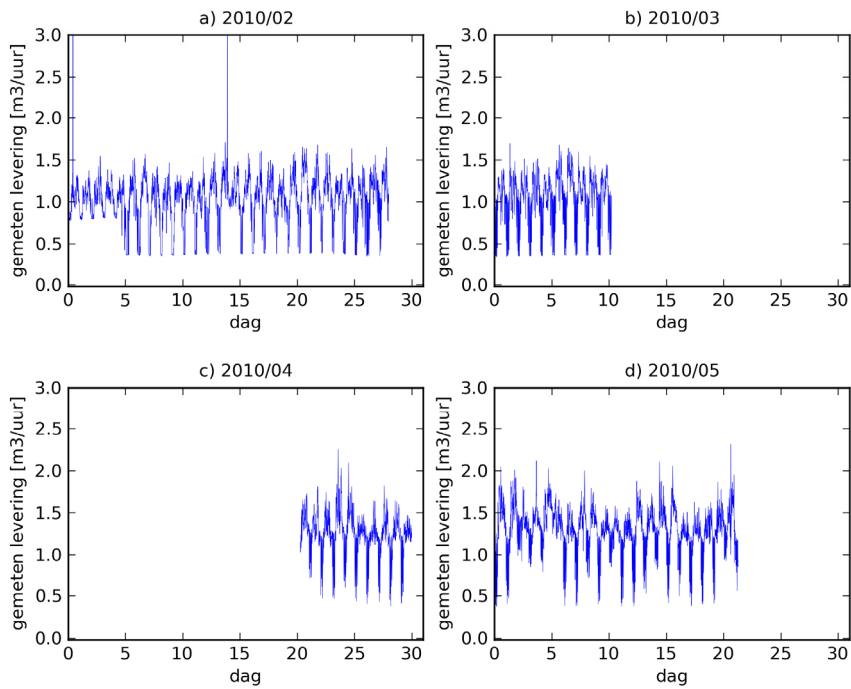
Gedurende een periode van 18 maanden is de levering aan Postel via twee aanvoerpunten met elk twee watermeters geregistreerd. Door technische problemen is de datareeks voor deze periode niet compleet voor alle vier de watermeters. Waar dit wel het geval is, is de gesommeerde levering weergegeven in Figuur 11 t/m Figuur 15. Wat direct opvalt is dat de staart van de meetperiode (augustus t/m december 2010) veel nachten bevat waarin de levering naar 0 terugvalt (rode stippen in Figuur 14 en Figuur 15). Dit suggereert dat het lekverlies in dit voorzieningsgebied kleiner is dan de laagst meetbare volumestroom met de gebruikte combinatie van watermeters. Er zijn echter ook lange perioden waarin het nachtverbruik consequent op ca. 0,4 m³/uur of ca. 0,8 m³/uur ligt (zie Figuur 11 t/m Figuur 14). Het vermoeden bestaat bij Pidpa dat het hier niet-legitiem verbruik betreft.



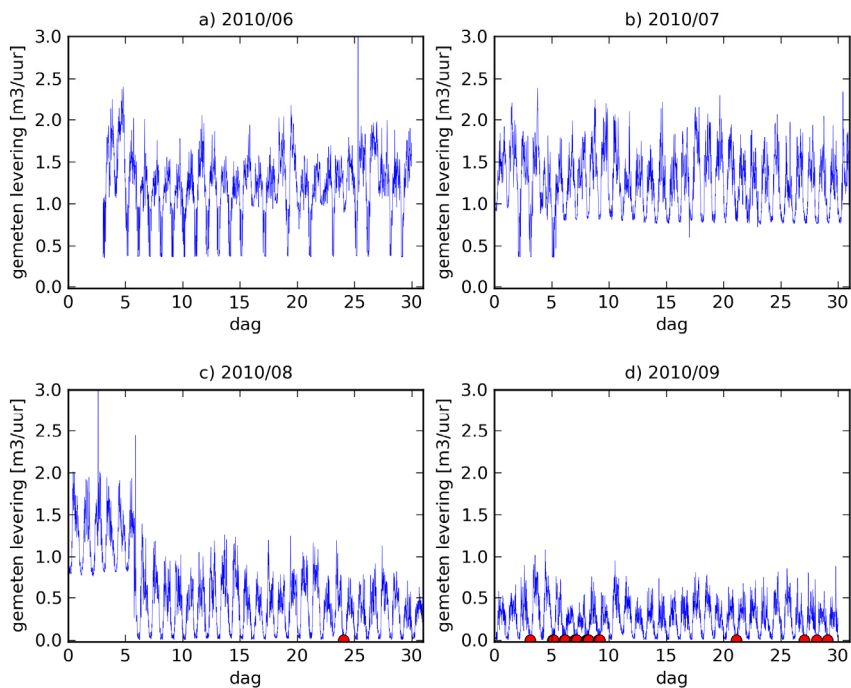
Figuur 11: Gemeten levering aan Postel in de periode juni-september 2009.



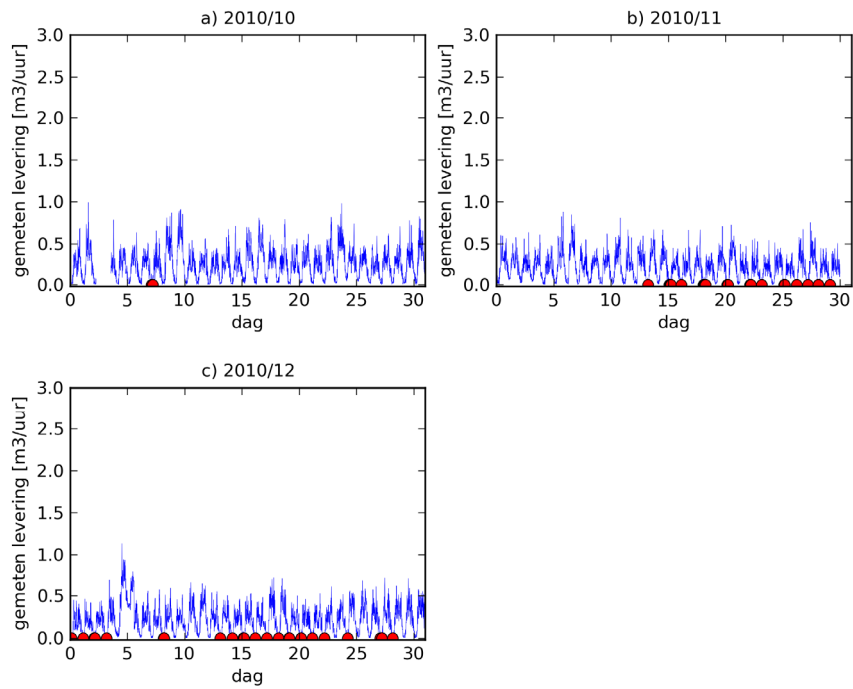
Figuur 12: Gemeten levering aan Postel in de periode oktober 2009 t/m januari 2010.



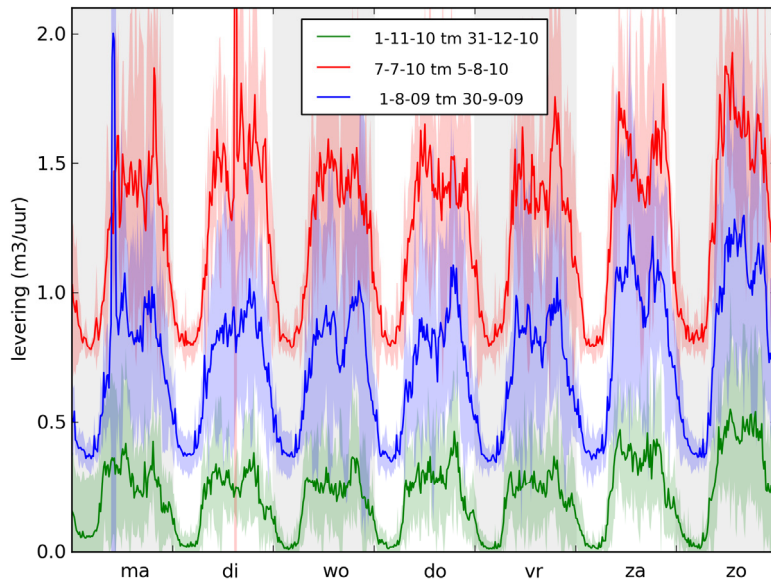
Figuur 13: Gemeten levering aan Postel in de periode februari-mei 2010.



Figuur 14: Gemeten levering aan Postel in de periode juni-september 2010. Rode stippen geven perioden zonder meetbare waterlevering aan.



Figuur 15: Gemeten levering aan Postel in de periode oktober-december 2010. Rode stippen geven perioden zonder meetbare waterlevering aan.



Figuur 16: Gemiddelde levering en marge (2 maal standaarddeviatie) voor de perioden 1 november t/m 31 december 2010,) 7 juli t/m 5 augustus 2010 en 1 augustus t/m 30 september 2009. De middelperiode is gelijk aan de meetinterval, namelijk 15 minuten.

Figuur 16 toont gemiddelde weekpatronen met marges (twee maal standaarddeviatie) voor drie verschillende aaneengesloten perioden in de dataset met ieder een karakteristiek patroon, waarvan er bij één (periode 1-11-2010 t/m 31-12-2010) het nachtverbruik nagenoeg naar nul terugvalt, en waarvan de twee anderen een nachtniveau van ca. 0,8 m³/uur respectievelijk 0,4 m³/uur tonen.

4.5 Toepassingsgebied 4: Vlietregio (Dunea)

4.5.1 Beschrijving

Dunea heeft in het kader van het gericht opsporen van lekken een aantal nachtmetingen uitgevoerd in geïsoleerde gebieden in de Vlietregio ten noorden van Rotterdam. Het betreft 6 gebieden, waarvan er 2 zijn onderverdeeld in 3 kleinere gebieden. De relevante bevolkingsgegevens zijn opgenomen in Bijlage I, Tabel 22.

Tabel 6 toont een aantal specifieke opmerkingen bij de verschillende gebieden. Vanwege de grote onzekerheden in het verbruik van niet-huishoudelijke afnemers beperken wij ons in de simulatie tot huishoudens en in de vergelijking tot de nachtelijke uren.

Tabel 6: Opmerkingen bij de verschillende proefgebieden van Dunea.

gebied	commentaar
1	waarschijnlijk zit hier een grootverbruiker
2	in januari 2010 is hier een lek van 25 m ³ /uur gevonden; eind 2010 toch weer hoge metingen; gebied 2b (Bleiswijk) is verdacht
3	onbemeterde grootverbruiker van 800.000 m ³ , waardoor metingen onbruikbaar zijn
4	geen bijzonderheden
5	hier is vermoedelijk iets aan de hand
6	-

4.5.2 Gemeten leveringspatronen

Dunea heeft gericht nachtmetingen uitgevoerd in individuele nachten, waardoor er steeds een korte tijdreeks van 6 uur beschikbaar is. Vanwege het feit dat individuele nachten zijn gemeten kan er geen uitspraak worden gedaan over de stochastische variabiliteit van het signaal, maar hiermee moet wel rekening worden gehouden bij de interpretatie. De individuele patronen worden getoond in Figuur 17. In alle gevallen zijn gemeten leveringen aan bepaalde grootverbruikers van het patroon afgetrokken.

4.6 Toepassingsgebied 5: drie anonieme Engelse DMA's

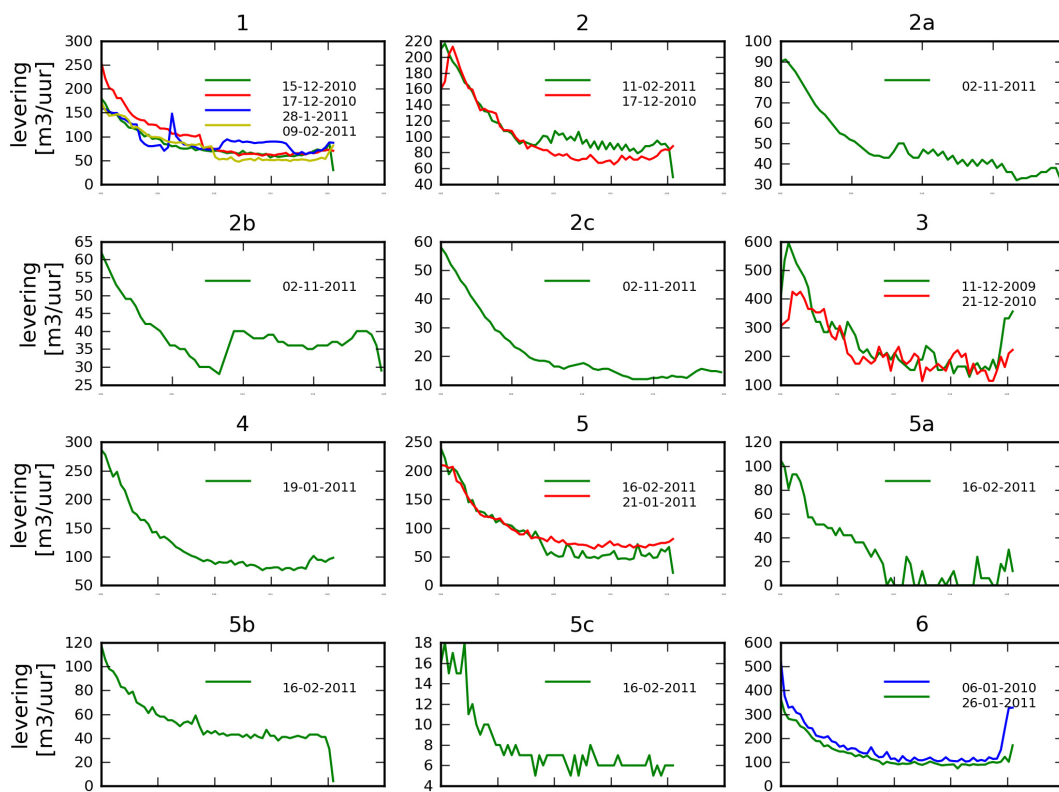
4.6.1 Beschrijving van toepassingsgebied

Een van de Engelse waterbedrijven heeft meetgegevens ter beschikking gesteld van drie anonieme DMA's, waarvan de karakteristieken in Tabel 7 zijn weergegeven. De corresponderende bevolkingsgegevens zijn weergegeven in Bijlage I, Tabel 23.

Tabel 7: Kenmerken van de drie bestudeerde DMA's.

DMA	huishoudelijke aansluitingen	commercieel >200m ³	grootverbruik (bemeterd)	invoer	uitvoer
a	2640	122	1	1	1
b	4336	6	1	2	0
c	1515	96	0	1	0

DMA a bevat een hotel met een jaarverbruik van 12072 m³. De bij dit hotel in de meetperiode geregistreerde volumestroomgegevens zijn niet bruikbaar gebleken, zodat het patroon voor het volledige



Figuur 17: Leveringspatronen van de nachtmetingen in de Vlietregio van Dunea. De nummers boven individuele grafieken verwijzen naar gebiednummers binnen de Vlietregio.

DMA hiervoor niet gecorrigeerd kan worden. DMA b bevat een bedrijf met een jaarverbruik van 7869 m³. De bij dit bedrijf in de meetperiode geregistreerde data is evenmin bruikbaar gebleken, zodat ook hier geen correctie kan worden toegepast. Ook is er in dit DMA een ziekenhuis met een jaarverbruik van 61957 m³.

4.6.2 Gemeten leveringspatroon en bottom-up bepaling NIRG verbruik

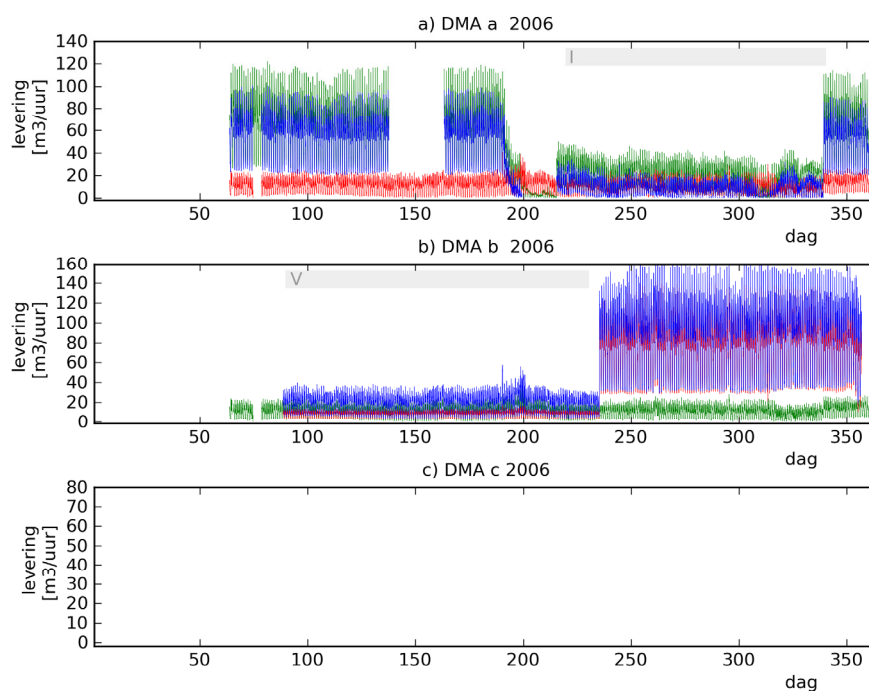
De drie gemeten DMA's hebben ieder een iets andere configuratie:

- een toevoer en een doorvoer;
- twee toevoeren;
- een toevoer.

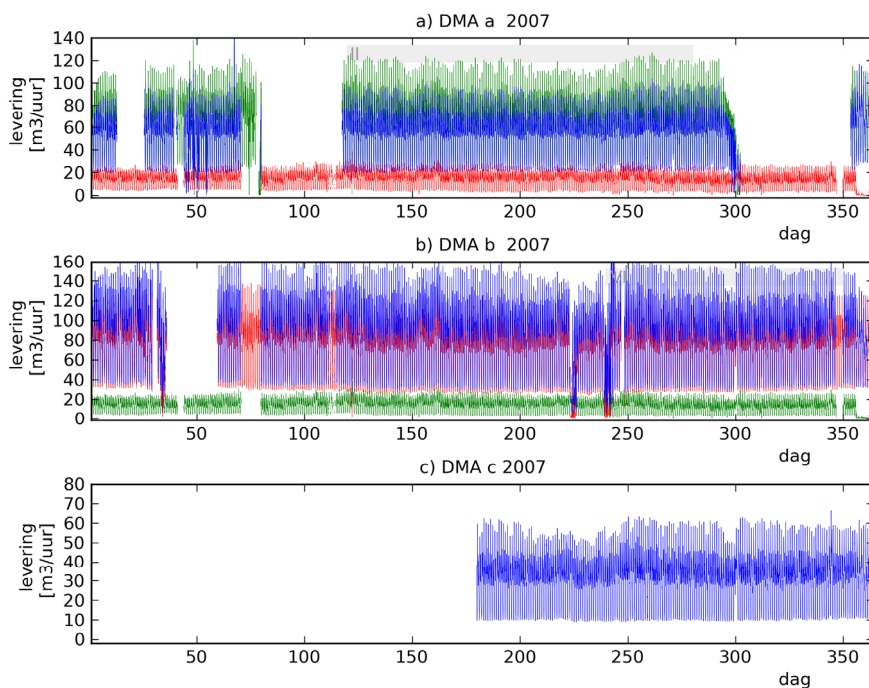
De gemeten volumestroom op de respectievelijke toe- en afvoeren zijn in Figuur 18 t/m Figuur 22 weergegeven in rood en groen. De netto afzet (a: verschil, b:som, c: direct) is eveneens weergegeven in blauw. Aangezien de registratie niet continu is geweest, vermoedelijk vanwege technische kwesties, vallen er gaten in de netto tijdreeksen. Ook zijn er enkele opvallende anomalieën in de netto levering te zien, zoals:

- Figuur 18a ca. dag 220-340: zeer laag netto verbruik;
- Figuur 18b ca. dag 235-355: zeer hoog netto verbruik;
- Figuur 20b ca. dag 160-270: zeer laag netto verbruik;
- Figuur 21b diverse korte periodes met zeer laag netto verbruik;
- Figuur 21c rond dag 250: zeer laag netto verbruik.

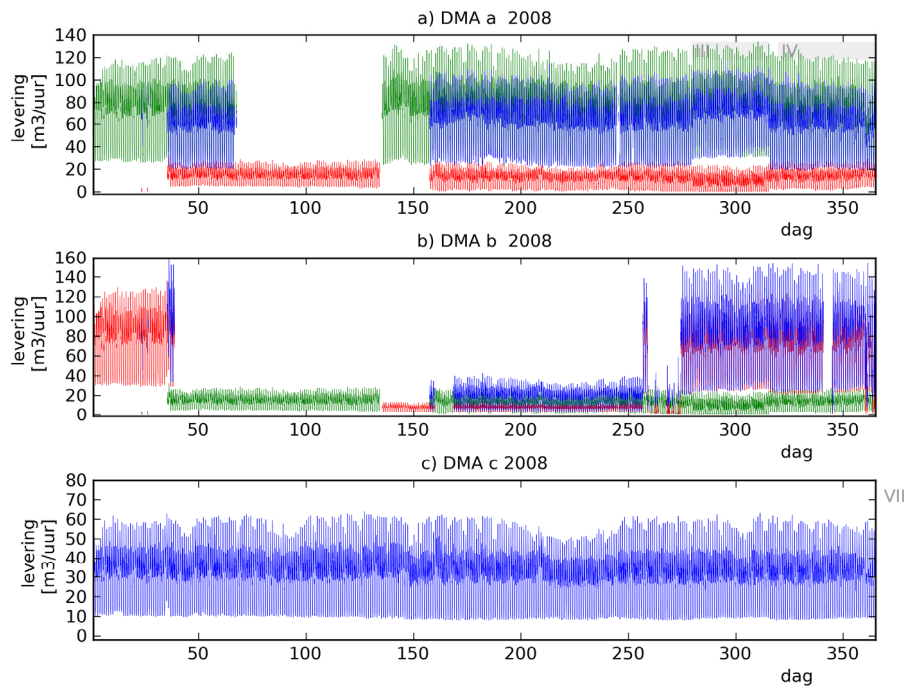
Het waterbedrijf dat aan deze DMA's levert heeft een bottom-up-schatting van het lekverlies voor deze drie DMA's gemaakt. Deze is weergegeven in Tabel 8.



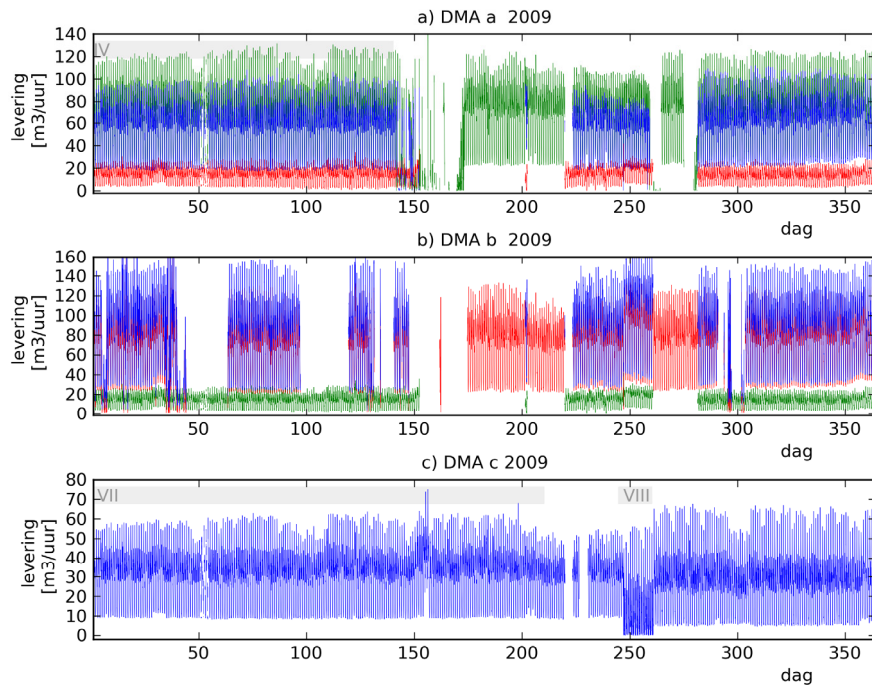
Figuur 18: Gemeten levering in 2006 aan drie Britse DMA's (a,b,c). Toe/afvoer via in- en uitlaatpunten (groen, rood) en netto levering (blauw) zijn weergegeven.



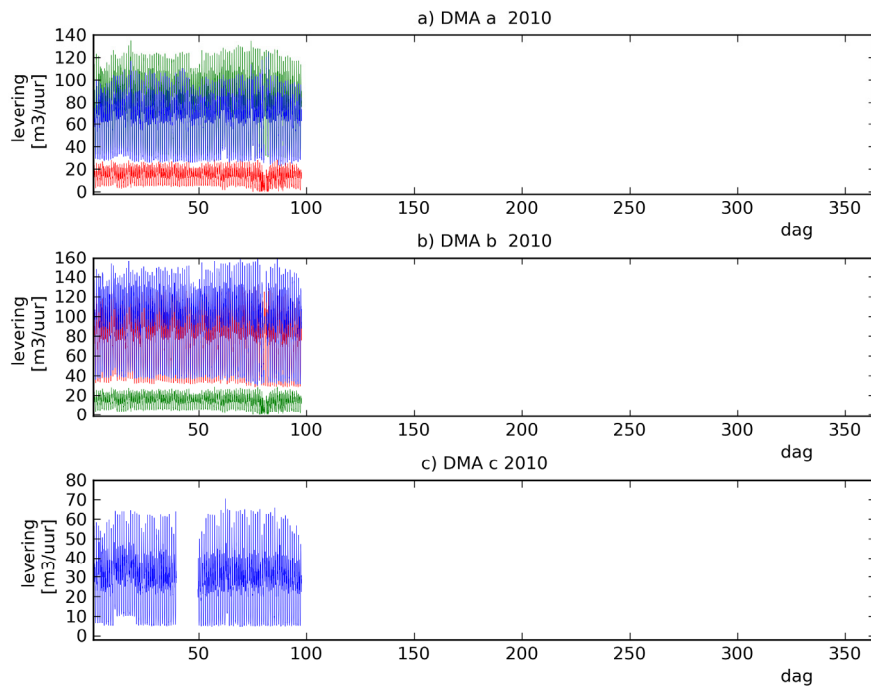
Figuur 19: Gemeten levering in 2007 aan drie Britse DMA's (a,b,c). Toe/afvoer via in- en uitlaatpunten (groen, rood) en netto levering (blauw) zijn weergegeven.



Figuur 20: Gemeten levering in 2008 aan drie Britse DMA's (a,b,c). Toe/afvoer via in- en uitlaatpunten (groen, rood) en netto levering (blauw) zijn weergegeven.



Figuur 21: Gemeten levering in 2009 aan drie Britse DMA's (a,b,c). Toe/afvoer via in- en uitlaatpunten (groen, rood) en netto levering (blauw) zijn weergegeven.



Figuur 22: Gemeten levering in 2010 aan drie Britse DMA's (a,b,c). Toe/afvoer via in- en uitlaatpunten (groen, rood) en netto levering (blauw) zijn weergegeven.

Tabel 8: Schatting van het lekverlies in de drie Engelse DMA's door het betreffende waterbedrijf op basis van de bottom-up-methode. Volumestromen van lekverlies zijn bepaald op basis van nachtmetingen. Lekverliespercentages zijn gebaseerd op geïntegreerde volumestromen op dagbasis.

gebied	lekverlies (l/s)	lekverlies (m ³ /uur)	lekverlies (%)
DMA a	2,7	9,7	16,4%
DMA b	6,5	23,4	21,5%
DMA c	4,3	15,5	42,4%

5 Toepassing van SIMDEUM voor het vaststellen van lekverliezen

5.1 Simulaties van verbruikspatronen met SIMDEUM

5.1.1 Inleiding

SIMDEUM (SIMulation of water Demand: an End-Use Model; Blokker, 2006, 2010, Pieterse-Quirijns en Blokker, 2010) is een in MATLAB ontwikkelde simulatietool voor het verbruik van water. Het waterverbruik wordt gesimuleerd op het niveau van individuele waterverbruikers en waterverbruikende apparaten en is stochastisch van opzet. Dit betekent dat iedere opeenvolgende simulatie met dezelfde invoerparameters een iets ander verbruikspatroon oplevert door gebruik van willekeurige waarden uit voorgeschreven statistische distributies voor diverse componenten van het model. Door een reeks simulaties voor eenzelfde gebied uit te voeren, kan een idee van de stochastische variabiliteit van het waterverbruik worden verkregen.

Het doel van dit hoofdstuk is te bepalen of SIMDEUM bruikbaar is als schatter voor het (nacht)verbruik in de bottom-up-methode voor het bepalen van lekverliezen.

In het onderstaande wordt eerst kort de mathematische basis van het model uitgelegd in §5.1.2 en §5.1.3. Vervolgens wordt ingegaan op technische aspecten van de methoden voor de vergelijking tussen een SIMDEUM-patroon en een gemeten patroon in het kader van de bottom-up-methode in §5.2. De methoden worden toegepast in de validatie van de SIMDEUM-patronen, die wordt besproken in §5.3, samen met de onzekerheden in de SIMDEUM-simulaties. Het stochastische karakter van de gesimuleerde patronen wordt onderzocht in §5.4, zodat de hier opgedane kennis kan worden gebruikt bij de interpretatie van simulatieresultaten later in dit hoofdstuk. De bevindingen van deze eerste reeks secties worden samengevoegd in een concluderende §5.5.

Vervolgens worden ook het stochastische karakter van en de onzekerheden in gemeten patronen onder de loep genomen in §5.6. Om verderop in dit hoofdstuk bepaalde lekverliezen in een context te kunnen plaatsen, worden onzekerheden in de lekverliesbepaling met de klassieke bottom-up-methode besproken in §5.7. Uiteindelijk worden vanaf §5.8 de simulatieresultaten en vergelijking met metingen voor de verschillende toepassingsgebieden gepresenteerd.

5.1.2 Simulatie van huishoudelijk verbruik

Om enig inzicht te verschaffen in de manier waarop relevante parameters in de simulatie van het waterverbruik worden meegenomen, worden hier de basisvergelijkingen van de simulatie gepresenteerd (Blokker, 2010, hoofdstuk 3):

$$Q = \sum_{k=1}^M \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^{F_{jk}} B(I_{ijk}, D_{ijk}, \tau_{ijk})$$
$$B(I_{ijk}, D_{ijk}, \tau_{ijk}) = \begin{cases} I_{ijk}, & \tau_{ijk} < T < \tau_{ijk} + D_{ijk} \\ 0 & \text{elders} \end{cases}$$

In de eerste van deze twee vergelijkingen vindt een sommatie plaats over alle M verbruikstoepassingen k , alle N gebruikers j , en alle F_{jk} gebruiksmomenten i . Hierbij is D de pulsduur, I de pulsintensiteit en τ het tijdstip waarop het verbruik begint. B is een blokfunctie.

De verbruikstoepassingen omvatten een badkraan, een badkamerkraan, een vaatwasmachine, een keukenkraan, een buitenkraan, een douche, een wasmachine en een toilet. Aangezien het persoonlijke waterverbruik varieert als functie van geslacht en leeftijd, en het verbruik van een huishouden

afhankelijk van het aantal personen per huishouden, worden deze statistische bevolkingsgegevens in de berekening meegenomen. Het verbruikstijdstip hangt bovendien sterk samen met de aanwezigheid overdag (al dan niet naar werk/school). Gebruiksfrequenties zijn bepaald aan de hand van een tijdsbestedingsonderzoek (zie Blokker, 2010). De gebruiksfrequentie, pulsduur en -intensiteit worden met behulp van verschillende statistische distributies gemodelleerd. Voor meer details wordt de lezer verwezen naar Blokker (2010).

5.1.3 Simulatie van niet-huishoudelijk verbruik

Hoewel SIMDEUM oorspronkelijk is opgezet om huishoudelijk waterverbruik te simuleren, is het uitgebreid om ook niet-huishoudelijk verbruik te kunnen voorspellen (Blokker, 2010, hoofdstuk 4, Pieterse-Quirijns en Blokker, 2010) voor hotels, kantoren en verzorgingstehuizen. Hiertoe worden de genoemde verbruikscategorieën verdeeld in functionele ruimten. De gebruikte vergelijkingen zijn identiek aan die voor het huishoudelijke verbruik:

$$Q = \sum_{k=1}^M \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^{F_{jk}} B(I_{ijk}, D_{ijk}, \tau_{ijk})$$

$$B(I_{ijk}, D_{ijk}, \tau_{ijk}) = \begin{cases} I_{ijk}, & \tau_{ijk} < T < \tau_{ijk} + D_{ijk} \\ 0 & \text{elders} \end{cases}$$

In de eerste van deze twee vergelijkingen vindt een sommatie plaats over alle M verbruikstoepassingen k , alle N gebruikers j , en alle F_{ij} gebruiksmomenten i . Hierbij is D de pulsduur, I de pulsintensiteit en τ het tijdstip waarop het verbruik begint. B is een blokfunctie. Bij niet-huishoudelijk verbruik wordt de volumestroom per functionele ruimte h bepaald en vervolgens gesommeerd over alle L functionele ruimten:

$$Q = \sum_{h=1}^L Q_h$$

Voor kantoren, hotels en verzorgingshuizen worden de volgende functionele ruimten onderscheiden: ontmoetingsruimten, overnachtingsruimten, restaurants, fitnessruimten en andere ruimten (bijvoorbeeld technische ruimten), waarbij voor iedere ruimte verbruikstoepassingen en gebruikers zijn gedefinieerd. Simulaties worden gebaseerd op blokuren van aanwezigheid en andere verbruiksapparaten zoals koffieautomaten en industriële afwasmachines worden gesimuleerd. De verdere benadering is vergelijkbaar met die voor het huishoudelijke verbruik. Voor meer details wordt de lezer verwezen naar Blokker (2010) en Pieterse-Quirijns en Blokker (2010).

5.2 Vergelijking van gesimuleerde en gemeten verbruikspatronen

5.2.1 SIMDEUM in de bottom-up-methode

Doel van de in dit hoofdstuk beschreven exercitie is te bepalen of SIMDEUM ingezet kan worden om een nauwkeurige en betrouwbare verbruikvoorspelling te genereren die vervolgens met een gemeten leveringspatroon kan worden vergeleken in de bottom-up-methode (§2.1). Het basisidee is dat het verschil tussen het voorspelde ('ideale') patroon en het gemeten patroon zou kunnen aangeven hoeveel water er door lekverlies verloren gaat.

5.2.2 Betekenis van het verschil

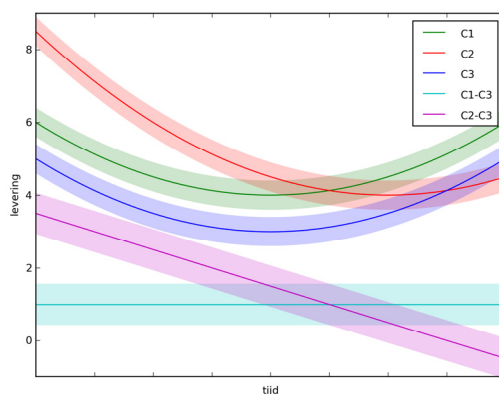
Tabel 1 geeft een overzicht van de verschillende componenten in standaard IWA-terminologie van geleverd water in de context van NIRG verbruik. In deze tabel komt de gemeten levering overeen met de *Netto afzet*. Het gesimuleerde verbruik van SIMDEUM komt in principe overeen met de categorie *Verbruik* (exclusief lekken in de binneninstallatie) in de tabel. Het verschil tussen gemeten en gesimuleerde patronen kan dus aan *Distributieverliezen* worden toegeschreven, waaronder zowel *echte* als *schijnbare* verliezen worden gerekend. Hiertussen kan in de vergelijking geen onderscheid worden gemaakt.

5.2.3 Berekenen van het verschil

Vooruitlopend op de resultaten van dit werk kan worden gesteld dat een vergelijking van patronen in de nachtelijke daluren het minst problematisch is om redenen die verderop zullen worden toegelicht. Om deze reden richten wij ons hier op nachtelijke daluren.

Bij het berekenen van het verschil tussen een gemeten tijdreeks voor de nachtelijke uren (of een gemiddelde met variantie van een reeks nachtmetingen) en een berekende set patronen voor het nachtverbruik, kan het zonder meer van elkaar aftrekken van de individuele getallen op corresponderende tijdstippen tot merkwaardige resultaten lijden wanneer het tijdstip van het minimum verbruik niet geheel overeenkomt tussen meting en simulatie. Figuur 23 toont de verschilcurve van twee enigszins verticaal ten opzichte van elkaar verschoven curves C1 en C3 als een nette horizontale lijn. Wanneer C1 echter enigszins in de tijd wordt verschoven (C2), is er geen sprake meer van een eenduidig verschil. Om dit probleem bij de vergelijking van gemeten en berekende patronen te voorkomen, wordt een van de twee met behulp van een kwadratische best fit van beide opgelijnd met de andere, zodanig dat de minima van de gefitte curves samenvallen.

Voor het berekenen van de standaarddeviatie van de verschilcurves, die de onzekerheidsmarge van het bepaalde lekverlies (t.g.v. de variantie van gemeten en gesimuleerde levering) representeren, wordt gebruik gemaakt van de formule van Bienaymé, die stelt dat de varianties van de broncurves moeten worden opgeteld om de variantie van de verschilcurve te verkrijgen.



Figuur 23: Gevolg van tijderschuiving voor verschilcurves (met marges).

5.2.4 Middelperiode

Om bij een gering aantal metingen voor hetzelfde tijdstip (bijvoorbeeld een gering aantal dinsdagmiddagen, oftewel een gering aantal weken metingen) een betere kwantificering van de variabiliteit te krijgen, kan worden gekozen de watervraag binnen een bepaalde periode van bijvoorbeeld 5 minuten constant te veronderstellen. Hierbij wordt dus aangenomen dat alle variaties die binnen deze middelperiode worden waargenomen stochastisch van aard zijn en geen wijzigingen in het afnamepatroon representeren. Deze periode van in dit voorbeeld 5 minuten noemen we de *middelperiode*.

5.2.5 Toetsen van gelijkheid

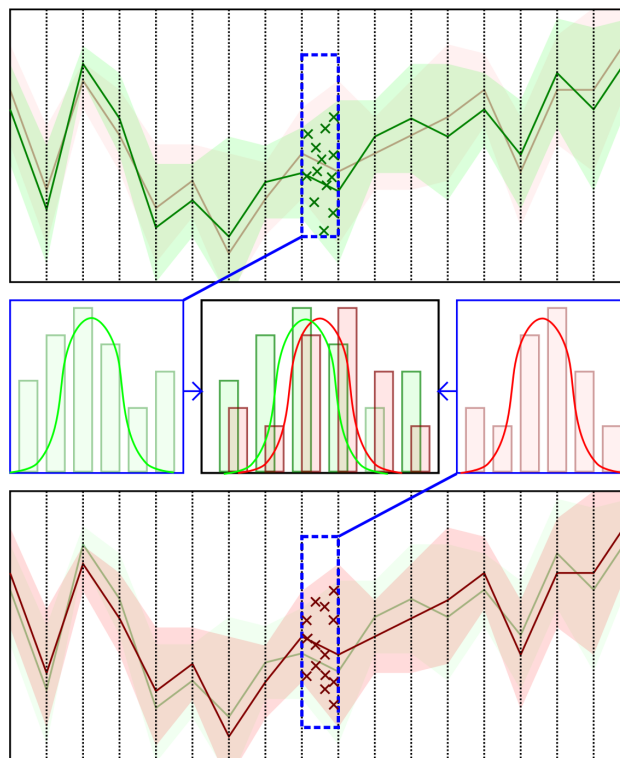
Bij het vergelijken van een set gesimuleerde patronen met een set gemeten patronen willen we in de eerste plaats vaststellen of de gemeten patronen een significante hoeveelheid NIRG verbruik bevatten. Om dit op statistische wijze vast te stellen, wordt met behulp van de t-toets gekeken of de gesimuleerde patronen en de gemeten patronen per gekozen tijdblok van bijvoorbeeld 5 minuten (middelperiode) tot dezelfde populatie behoren, oftewel of we op statistische gronden kunnen zeggen dat het gemeten patroon hetzelfde (hypothese H_0) is als het gesimuleerde patroon of niet (hypothese H_1):

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

waarbij μ_1 en μ_2 de gemiddelden van het gesimuleerde respectievelijk het gemeten patroon in een tijdsblokje zijn.

Hierbij wordt aangenomen dat zowel de gesimuleerde als de gemeten data normaal zijn verdeeld met gelijke varianties. Het proces is schematisch weergegeven in Figuur 24. De datasets die met elkaar worden vergeleken worden elk onderverdeeld in gelijke perioden van bijvoorbeeld 5 minuten, waarbij gegevens van gelijke weekdaysamen worden gevoegd. Binnen ieder blokje worden de statistieken (gemiddelde en standaarddeviatie) bepaald, waarna de t-toets op basis van deze gegevens aangeeft of de nulhypothese H_0 al dan niet verworpen dient te worden. Als deze wordt verworpen, concluderen we dat de twee patronen voor het betreffende tijdsblok verschillend zijn. Als de nulhypothese niet wordt verworpen, vinden we geen significant verschil tussen de twee patronen voor dit tijdsblok. Bij het toepassen van de toets wordt uitgegaan van een significantieniveau van 95%.



Figuur 24: Schematische weergave van de toepassing van de t-toets per tijdsblok bij vergelijking van twee leveringspatronen.

In het vervolg zal de t-toets diverse malen worden toegepast om patronen met elkaar te vergelijken, in de regel een gesimuleerd patroon met een gemeten patroon. We zullen steeds vaststellen dat zij hetzij statistisch identiek zijn hetzij dat we dit niet kunnen beweren. Steeds zal in figuren de bij de t-waarden behorende waarschijnlijkheid worden weergegeven. Bij het genoemde significantieniveau van 95% betekent dit dat iedere overschrijding van de kanswaarde 0,05 een acceptatie van de nulhypothese (geen onderscheid) impliceert.

5.3 Onzekerheden in en validatie van SIMDEUM-patronen

5.3.1 Onzekerheden

Voor een formele onzekerheidsanalyse van de gegenereerde SIMDEUM-patronen is de formele onzekerheid van alle componenten van de berekening die leidt tot deze patronen nodig. Hoewel dit in de praktijk ondoenlijk blijkt, is het zinvol om stil te staan bij de verschillende bronnen van onzekerheid.

Hieronder volgt een kort overzicht; voor meer details wordt verwezen naar hoofdstuk 3 van Blokker (2010).

Een belangrijke bron van onzekerheid in de gesimuleerde huishoudelijke patronen is de ge- en verbruiksgegevens die de invoer vormen voor de stochastische simulatie van het waterverbruik:

- tap/verbruikspunten
 - penetratiegraad
 - typisch verbruik voor specifieke toepassingen (spoelbak toilet etc.)
- statistieken over de omvang en samenstelling van huishoudens
- gebruiksfrequentie – statistische verdeling gefit op resultaten van gebruiksenquête
- pulsintensiteit – deels uit gebruiksenquête, deels uit technische informatie van waterverbruikende apparaten
- puls/verbruiksduur - statistische verdeling gefit op resultaten van gebruiksenquête of waarde uit technische informatie van waterverbruikende apparaten
- gebruik van de diverse tap/verbruikspunten in de tijd – gebaseerd op tijdsbestedingsonderzoek (indirect)

Voor niet-huishoudelijk verbruik kan een vergelijkbare opsomming worden gemaakt:

- penetratiegraad van diverse waterverbruikende apparaten in de gedefinieerde functionele ruimten – uniforme vastgestelde waarden per type ruimte
- gebruikersgroepen per functionele ruimte – afhankelijk van aantal mensen in betreffende gebouw
- gebruiksfrequentie – gebaseerd op frequenties van huishoudelijk verbruik en/of gefundeerde schattingen
- intensiteit en duur van verbruikspuls – gebaseerd op gegevens van huishoudelijk verbruik en technische informatie van waterverbruikende apparaten
- tijdspatroom van verbruik – gerelateerd aan tijden van aanwezigheid en specifiek gebruik (bijv. eettijden voor restaurants)

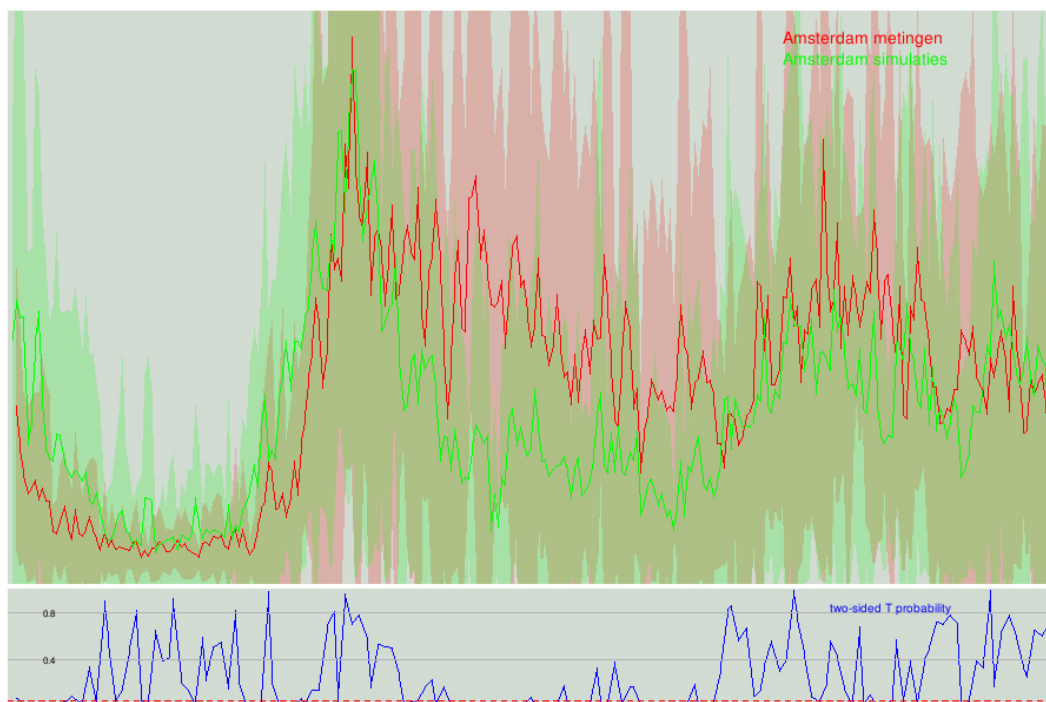
De gebruikte gegevens met betrekking tot deze aspecten zijn gebaseerd op de Nederlandse situatie.

5.3.2 Validaties

De verbruikspatroomvoorspellingen van SIMDEUM voor huishoudens zijn gevalideerd aan de hand van metingen gedurende 7 dagen bij 43 Amsterdamse huishoudens gecombineerd met een watergebruiksenquête bij deze huishoudens (Blokker, 2010). Opgemerkt wordt dat de samenstelling van deze huishoudens evenals de populatie waterverbruikende apparaten enigszins afwijkt van het landelijke gemiddelde. Een vergelijking is uitgevoerd op verschillende tijdschalen en zowel voor individuele huishoudens als voor de volledige populatie.

Voor individuele huishoudens wordt een goede overeenkomst gevonden tussen meting en simulatie, met een gemiddelde fout (ME) en de wortel van de gemiddelde gekwadrateerde fout (RMSE) kleiner dan 30%. Voor de volledige populatie van 43 huishoudens wordt het gemiddelde waterverbruik (per 5 minuten) met ongeveer 17% (ME) van het gemiddelde van de metingen, oftewel zo'n 20% van het gemiddelde van de simulaties, onderschat. De bijbehorende RMSE is 54,8% van het gemiddelde van de metingen. Let overigens op dat deze foutmaten (ME en RMSE) voor individuele tijdreeksen bij stochastische processen minder geschikt zijn als maat voor de overeenkomst tussen in dit geval de metingen en de simulaties.

Nadere inspectie van deze meetgegevens en de bijbehorende simulaties (Figuur 25) laat zien dat een groot deel van deze verschillen niet in de nachtelijke daluren maar gedurende de dag optreedt. Wanneer de gegevens van 7 dagen metingen samen worden genomen en deze worden vergeleken met de samengevoegde gegevens van 10 simulaties en hier vervolgens een t-toets op wordt toegepast, dan zien we bij een significantieniveau van 95% dat de gemeten en gesimuleerde levering voor een groot deel van de nachtelijke daluren niet significant van elkaar afwijken (bij t-waarde behorende waarschijnlijkheid groter dan drempelwaarde van 0,05).



Figuur 25: Toepassing van de t-toets op de verzamelde metingen voor 43 huishoudens in Amsterdam (rood) en gesimuleerde patronen (groen) met een middelperiode van 5 minuten.

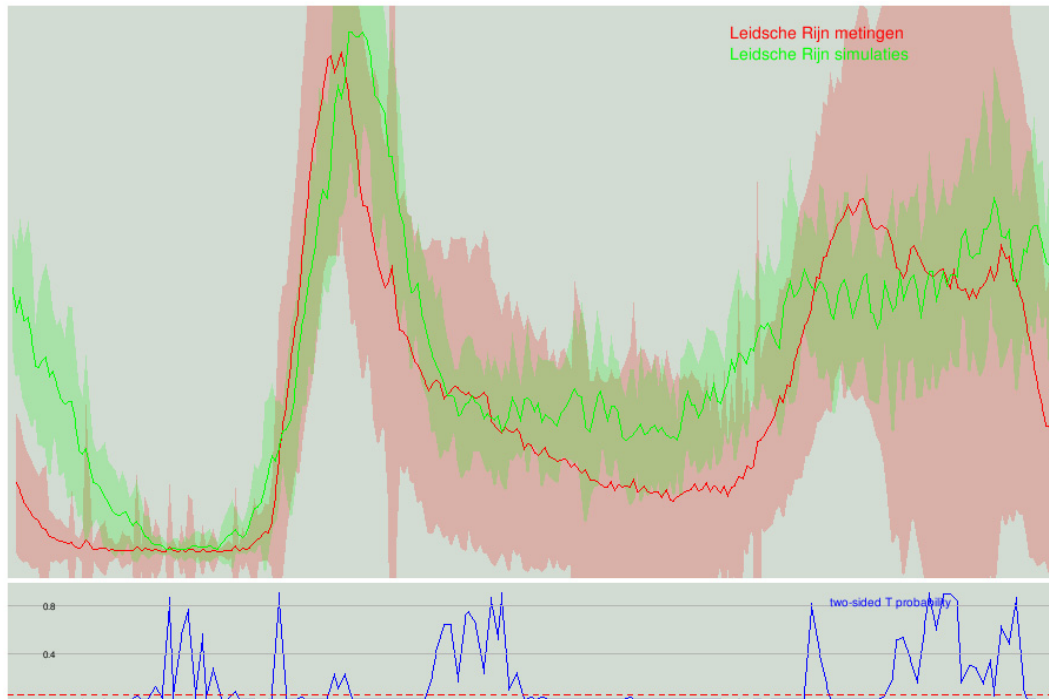
Voor een groter aantal aansluitingen is een validatie uitgevoerd op basis van metingen bij 512 woningen in de Utrechtse wijk Leidsche Rijn (Blokker, 2006). Aangezien het hier een nieuwbouwwijk betreft, kan worden aangenomen dat de metingen niet significant worden vervuild door lekverliezen, hetgeen vooral ook in de context van dit rapport een relevante overweging is. Voor de vergelijking tussen deze metingen en de corresponderende simulaties worden in Blokker (2006) geen ME en RMSE gerapporteerd.

Ook deze gegevens zijn opnieuw geanalyseerd met een focus op de nachtelijke daluren. Figuur 26 laat zien dat het gemeten en gesimuleerde nachtelijke dalverbruik nagenoeg samenvalt. Dit wordt bevestigd door een t-toets.

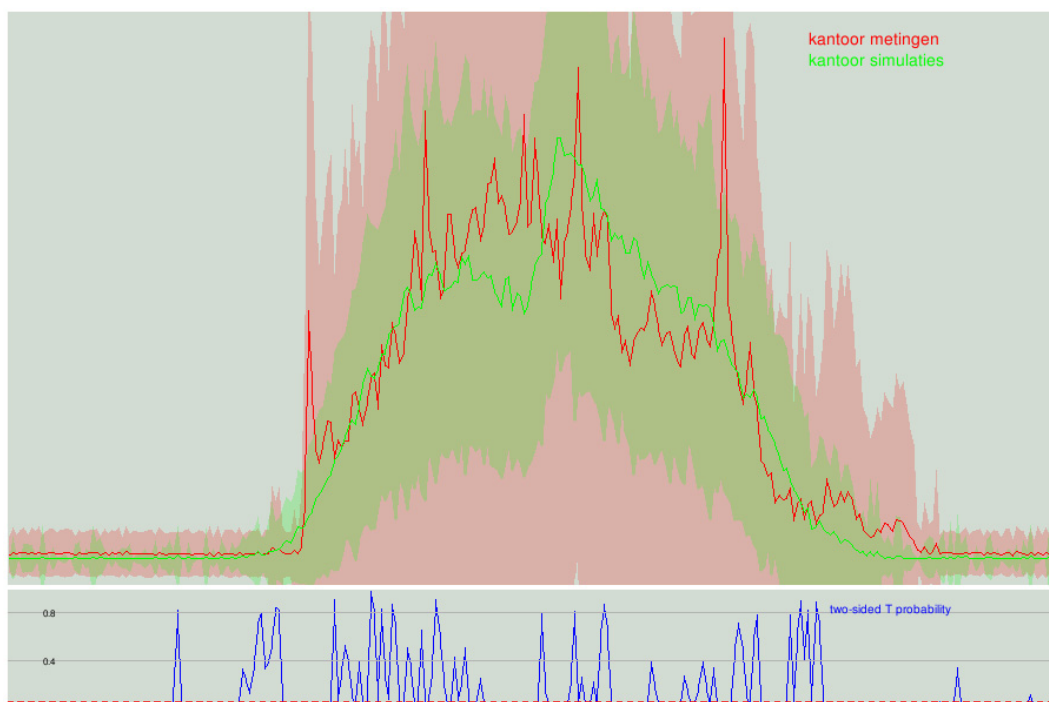
De uitgevoerde validaties bieden vertrouwen dat het nachtverbruik dat door SIMDEUM wordt voorspeld realistisch is en niet significant afwijkt van het daadwerkelijke verbruik. Wel moet hierbij worden aangetekend dat het in beide gevallen een validatie in een stedelijk gebied betreft.

Ook de simulaties van kantoren, hotels en verzorgingstehuizen zijn gevalideerd aan de hand van metingen, waarbij de gemiddelde fout en RMSE in de maximale volumestroom op een tijdschaal van 5 minuten en 1 uur, het totale dagverbruik en het dagpatroon opnieuw kleiner dan 30% bleken.

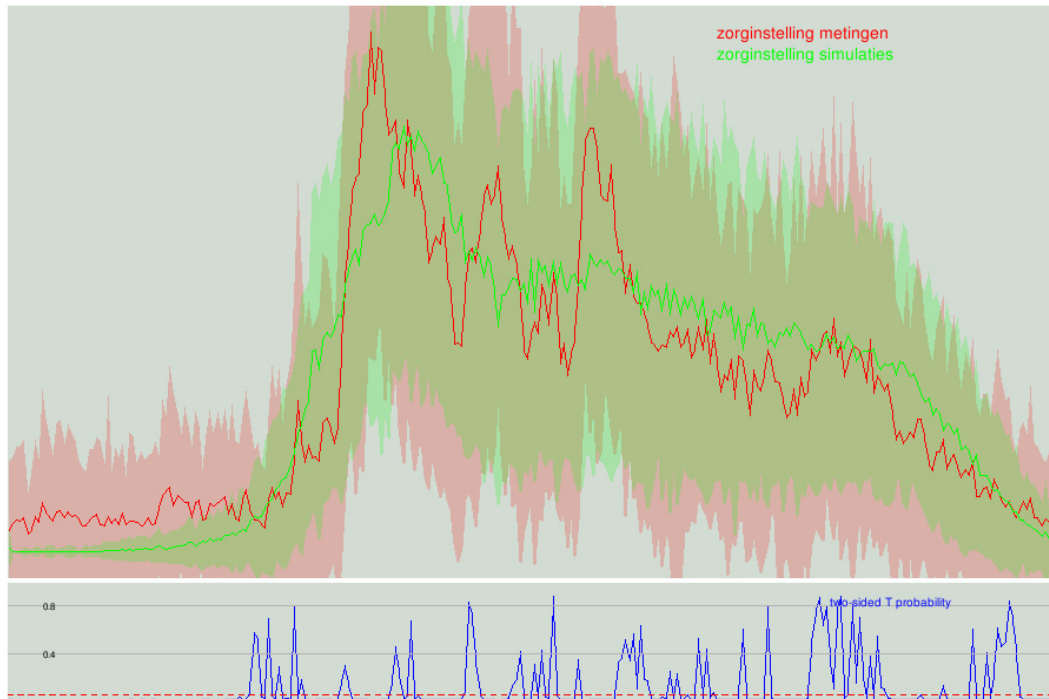
Een vergelijking van patronen, die eveneens aan de t-toets worden onderworpen, wordt weergegeven in Figuur 27 (Kantoor) en Figuur 28 (Zorginstelling). Voor zowel het kantoor als de zorginstelling geldt dat de algehele overeenkomst tussen de gemeten en de gesimuleerde patronen goed is, maar dat de simulaties het nachtverbruik lichtelijk onderschatten.



Figuur 26: Toepassing van de t-toets op de verzamelde metingen voor 512 huishoudens in Leidsche Rijn (rood) en gesimuleerde patronen (groen) met een middelperiode van 5 minuten.



Figuur 27: Toepassing van de t-toets op de verzamelde metingen voor een kantoor (rood) en gesimuleerde patronen (groen) met een middelperiode van 5 minuten.



Figuur 28: Toepassing van de t-toets op de verzamelde metingen voor een zorginstelling (rood) en gesimuleerde patronen (groen) met een middelperiode van 5 minuten.

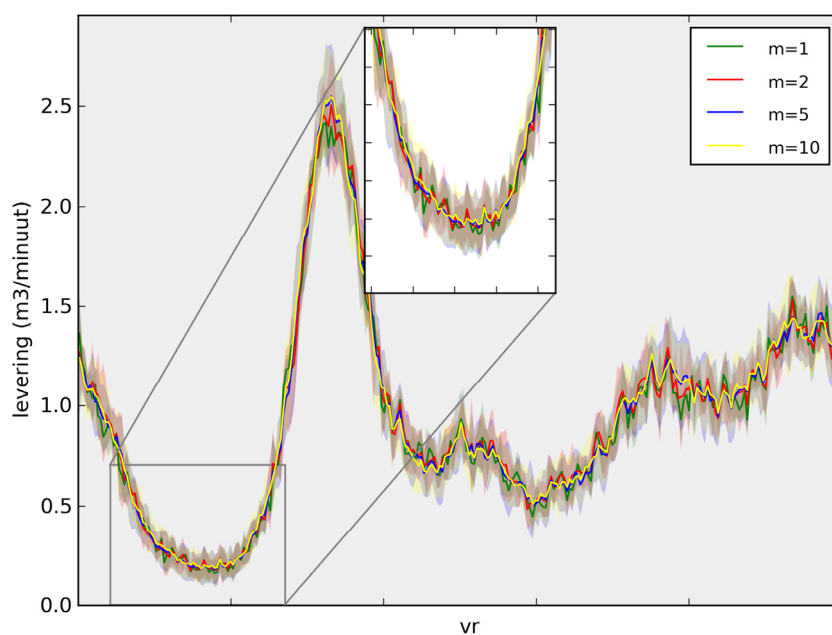
5.4 Kansverdeling en onzekerheden van simulaties

5.4.1 Stochastische variabiliteit

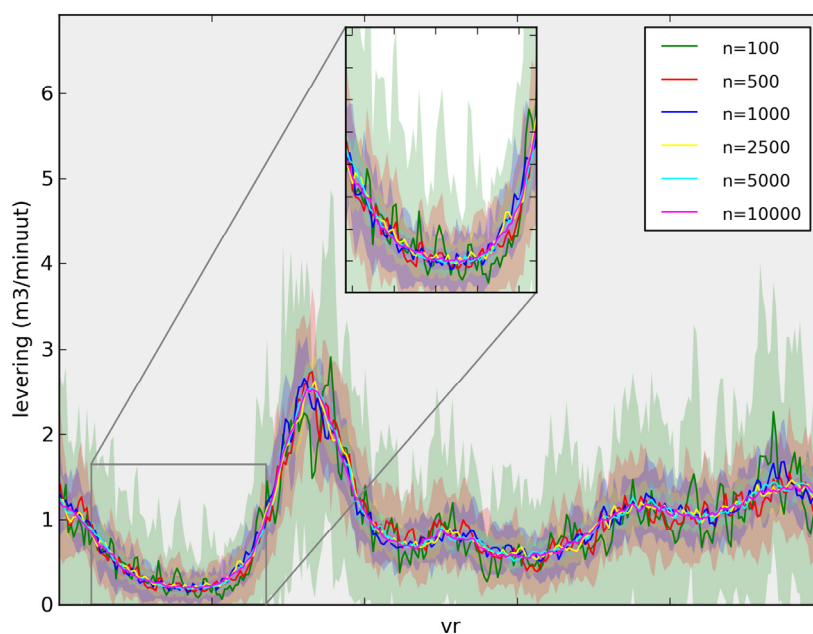
Aangezien SIMDEUM stochastische simulaties uitvoert, zal iedere simulatie met dezelfde parameters een enigszins afwijkend patroon opleveren, net zoals een werkelijk verbruikspatroon iedere nacht net iets anders is. Een verzameling van gesimuleerde patronen met dezelfde parameters vertoont voor ieder tijdstip een min of meer normale verdeling, waarvoor een gemiddelde en standaarddeviatie kan worden berekend. Om een goede interpretatie en vergelijking met gemeten data mogelijk te maken, is het van belang om de stochastische variabiliteit en haar afhankelijkheid van diverse parameters te begrijpen. Deze paragraaf vormt hiervoor een basis.

Figuur 29 toont gemiddeldes en marges (2 maal standaarddeviatie) voor een aantal simulaties van een weekdag en een weekenddag voor verschillende aantallen patronen. Let op dat bij de berekening van het gemiddelde en de standaarddeviatie uitgegaan is van tijdsblokken van 5 minuten, waarbinnen alle waarden zijn samengebracht voor alle beschikbare patronen en waarvoor de statistische parameters zijn bepaald (de zogenaamde *middelperiode*). Hierbij wordt aangenomen dat alle variaties die binnen deze middelperiode worden waargenomen stochastisch van aard zijn en geen wijzigingen in het afnamepatroon representeren.

In Figuur 30 worden gemiddelde patronen met marges getoond voor week- en weekenddagen voor verschillende aantallen gesimuleerde aansluitingen (genormaliseerd naar gelijk verbruik). De figuur laat duidelijk zien dat naarmate het aantal aansluitingen toeneemt, de stochastische variatie uitmiddelt en de standaarddeviatie kleiner wordt.



Figuur 29: Gemiddelden (doorgetrokken lijnen) en standaarddeviaties (gekleurde zones, 2σ) van met SIMDEUM gegenereerde verbruikspatronen voor $m=1, 2, 5$ en 10 samengevoegde simulaties. Voor de berekening is een middelperiode van 5 minuten gebruikt. De simulaties zijn uitgevoerd voor 5000 huishoudens.



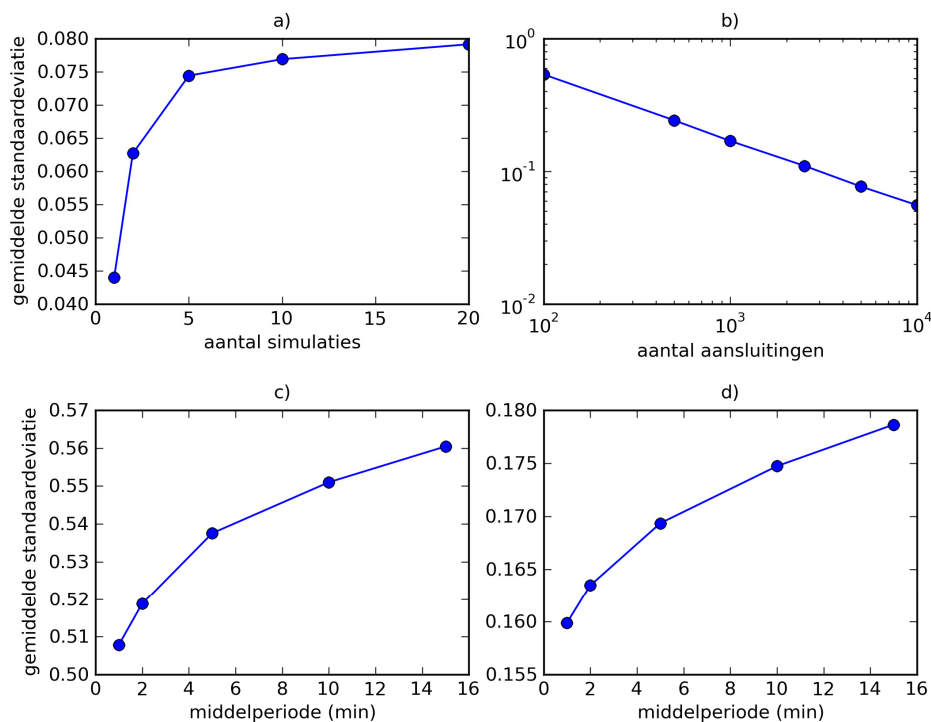
Figuur 30: Gemiddelde gesimuleerde verbruikspatronen met marges (tweemaal standaarddeviatie met middelperiode van 5 minuten) voor 10 simulaties en een reeks verschillende aantallen aansluitingen ($n=100$ t/m $n=10000$ aansluitingen).

Hoe de breedte van de marges zich ontwikkelt als functie van het aantal simulaties en het aantal aansluitingen is kwantitatief weergegeven in Figuur 31. Hierin wordt de ontwikkeling van de gemiddelde standaarddeviatie, d.w.z. het gemiddelde van de standaarddeviaties van alle 5-minuten-blokjes in een gesimuleerd patroon (1 weekdag + 1 weekenddag), weergegeven als functie van het aantal simulaties respectievelijk het aantal aansluitingen.

Figuur 31a laat zien dat bij een gering aantal simulaties (voor 5000 aansluitingen) de gemiddelde standaarddeviatie laag is en dat hij voor een groter aantal simulaties asymptotisch naar een bepaald niveau lijkt op te lopen. Dit wil zeggen dat het waarnemingsgetal in tijdsblokken van 5 minuten bij een gering aantal simulaties nog niet voldoende hoog is om een representatief monster te vormen met een standaarddeviatie die overeenkomt met dit van de populatie waaruit wordt gemonsterd. Boven de 5 simulaties zien we hier een afvlakking. In het vervolg wordt, afhankelijk van de situatie, een aantal simulaties van 10 of gelijk aan het aantal weken meetgegevens toegepast.

Figuur 31b laat duidelijk zien dat de gemiddelde standaarddeviatie van de gesimuleerde patronen (met 10 simulaties) afneemt met het aantal aansluitingen, en wel met een machtsfunctie (rechte lijn in dubbellogaritmische plot). Voor grotere voorzieningsgebieden verwachten we dus een kleinere stochastische variabiliteit.

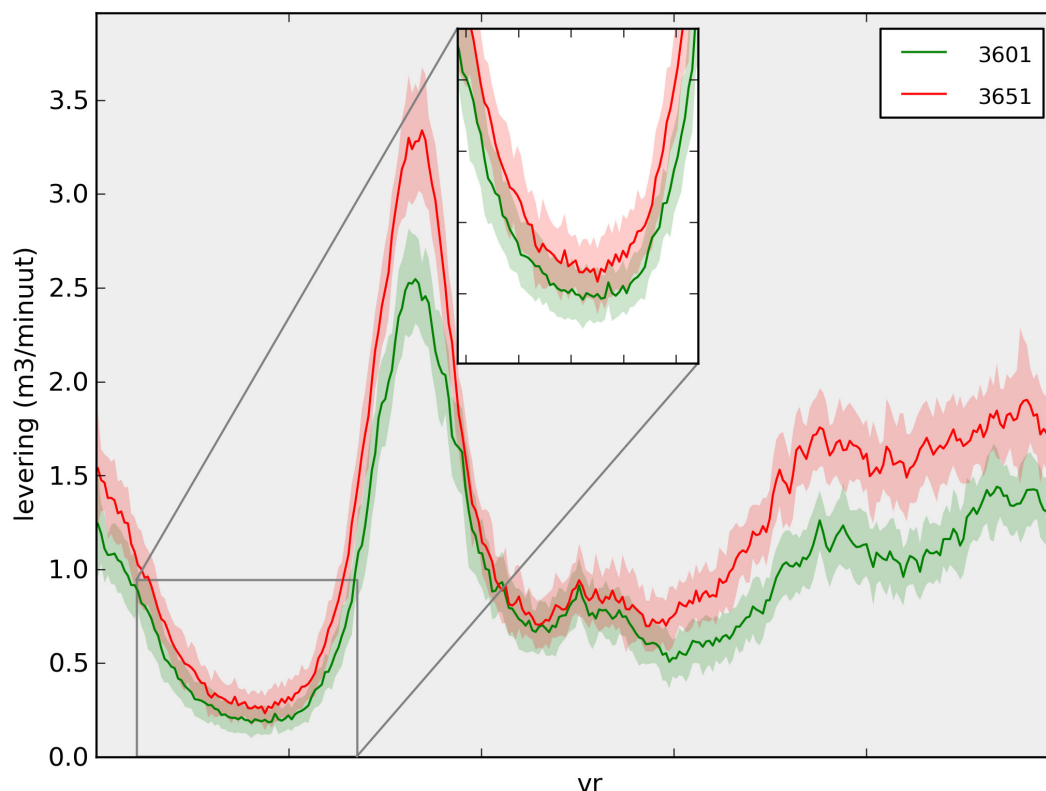
Figuur 31c-d toont hoe de gemiddelde standaarddeviatie varieert als functie van de gekozen middelperiode, oftewel de duur van de tijdsblokken waarin alle gesimuleerde verbruiken worden gemiddeld. Er bestaat een aanzienlijke variatie van de gemiddelde standaarddeviatie voor een variërende middelperiode, hetgeen aangeeft dat het van belang is in vergelijkingen dezelfde duur voor de te vergelijken gegevens te kiezen.



Figuur 31: Variatie van de gemiddelde standaarddeviatie van gesimuleerde patronen (tijdsblokken van 5 minuten) als functie van het aantal simulaties (a, voor 5000 aansluitingen) en het aantal aansluitingen (b, voor 10 simulaties) en de gemiddelde standaarddeviatie als functie van de middelperiode voor 100 huishoudens (c, 10 simulaties) en 1000 huishoudens (d, 10 simulaties).

5.4.2 Verbruikspatronen als functie van bevolkingsgegevens

De invloed van de bevolkingssamenstelling op het waterverbruik wordt in SIMDEUM verdisconteerd. Hierbij wordt rekening gehouden met zowel de gezinsgrootte (aantallen een- en meerpersoons-huishoudens zonder respectievelijk met kinderen) als het aandeel van leeftijdscategorieën in de bevolking. De benodigde gegevens hiervoor worden per postcodegebied geleverd door het CBS (Statline). Voor twee postcodegebieden met een duidelijk verschillende bevolkingssamenstelling (zie Tabel 20, appendix I) resulteert dit in significant verschillende verbruikspatronen voor een gelijk aantal aansluitingen, zie Figuur 32. Postcodegebied 3601 bevat veel eenpersoonshuishoudens en 65-plussers, terwijl postcodegebied 3651 juist veel gezinnen met kinderen bevat, hetgeen resulteert in een beduidend hoger waterverbruik. De voorspelde verschillen in waterverbruik tussen postcodegebieden zijn in principe te valideren met behulp van facturatiegegevens.



Figuur 32: Gemiddelden (doorgetrokken lijnen) en standaarddeviaties (gekleurde zones, 2σ) van met SIMDEUM gegenereerde verbruikspatronen voor verschillende bevolkingsstatistieken (behorende bij postcodegebieden 3601 en 3651, respectievelijk) met gelijke aantallen (5000) gesimuleerde aansluitingen. Voor de berekening is een middelperiode van 5 minuten gebruikt.

5.5 Conclusies met betrekking tot gesimuleerde patronen van huishoudelijk en niet-huishoudelijk verbruik

Door de stochastische aard van waterverbruiksgegevens, zowel gemeten als gesimuleerd, is het van belang om bij beschouwing hiervan nooit uit te gaan van een meting gedurende een enkele periode (dag of kleiner), omdat hiermee de natuurlijke variabiliteit niet wordt geobserveerd. Op basis van dit gegeven kunnen we een aantal eisen formuleren die gesteld kunnen worden aan SIMDEUM-simulaties ten behoeve van hun geschiktheid voor vergelijking met gemeten patronen:

- Er moeten minimaal 5 simulaties worden uitgevoerd, oftewel 5 patronen voor eenzelfde groep aansluitingen worden gegenereerd. Wanneer de SIMDEUM-simulaties als representatief worden beschouwd, betekent dit dat voor een zinvolle vergelijking ook minstens 5 patronen van hetzelfde dagdeel op dezelfde of een vergelijkbare weekday moeten worden gebruikt (Figuur 31a).
- Er moet een simulatie gedaan worden van de volledige set aansluitingen; het doen van een simulatie van een deel van de aansluitingen gevolgd door opschalen volstaat niet, omdat hiermee de spreiding van de patronen wordt overschat (Figuur 31b).
- Het is van belang om de bevolkingsgegevens op gedetailleerde wijze mee te nemen in de simulaties in die zin dat individuele postcodegebieden stuk voor stuk met hun eigen bevolkingskarakteristieken moeten worden gesimuleerd (Figuur 32).
- In een vergelijking van gesimuleerde gegevens met metingen moet voor beide dezelfde middelperiode worden gebruikt, zodat de bepaalde standaarddeviatie in beide gevallen in principe dezelfde betekenis heeft.
- Ter controle kan de magnitude van de standaarddeviatie van de simulaties vergeleken worden met die van de metingen. Indien aan bovengestelde voorwaarden wordt voldaan, zijn deze naar verwachting vergelijkbaar qua omvang.

Op basis hiervan zijn bij simulaties van patronen de volgende richtlijnen toegepast:

- Evenveel simulaties als weken data.
- Simulatie van alle aansluitingen met bijbehorende bevolkingsgegevens.
- Bij een relatief laagfrequent meting (eens per 5 minuten of minder vaak) wordt de middelperiode gelijkgesteld aan de meetinterval van de velddata.

Met betrekking tot de onzekerheid in de gesimuleerde patronen kan worden gesteld dat het moeilijk is om de formele onzekerheid voor een patroon te kwantificeren. Echter, in twee uitgevoerde validatietests (§5.3.2) is er over het geheel genomen op basis van de t-toets geen statistisch significant onderscheid geconstateerd tussen gemeten en gesimuleerde patronen gedurende de nachtelijke daluren voor huishoudelijk verbruik. Validatietests bij een kantoor en een zorginstelling laten zien dat SIMDEUM het nachtverbruik hiervoor onderschat.

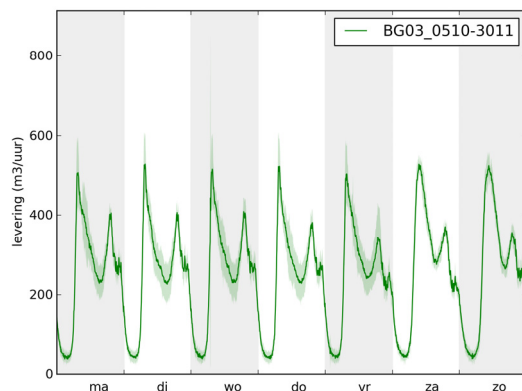
5.6 Kansverdeling en onzekerheden van gemeten patronen

5.6.1 Spreiding

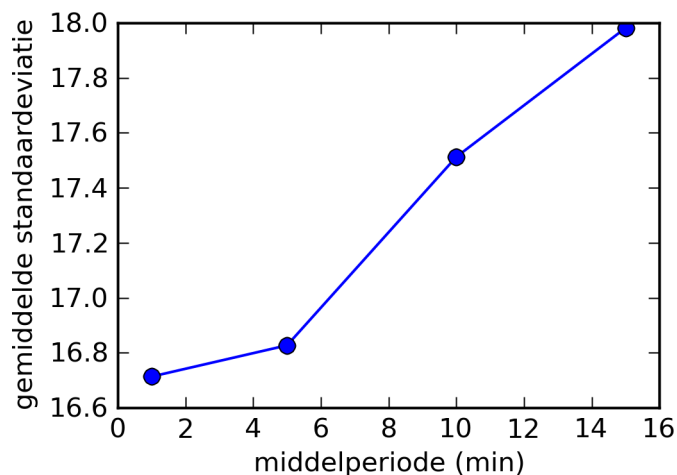
Gezien de stochastische aard van het daadwerkelijke waterverbruik is het niet te verwachten dat het afnamepatroon van een bepaalde weekday de daarop volgende week identiek is, zelfs niet bij gelijke omstandigheden die het verbruik beïnvloeden. Om deze natuurlijke variabiliteit te karakteriseren, kijken we naar de gemeten afzet in Balansgebied 3 van Vitens Midden Nederland, in de periode van 5 oktober tot en met 30 november 2010. Aangezien deze periode buiten het zomerseizoen (tuinsproeien) ligt en de temperaturen gematigd tot laag waren, verwachten we een relatief geringe invloed van het weer op het waterverbruik. Figuur 33 toont het gemiddelde verbruik en de bandbreedte (twee maal de standaarddeviatie) van het geregistreerde verbruik voor alle weekdays. De gemiddelde standaarddeviatie is 16,8 m³/uur. In de nachtelijke uren, die voor vergelijking met simulaties het meest geschikt zijn, is de waargenomen variabiliteit van vergelijkbare omvang. Het valt op dat de variabiliteit gedurende de dag geringer is op maand- en dinsdagen dan op de overige dagen van de week.

Het effect van de duur van de middelperiode op de waargenomen gemiddelde standaarddeviatie is weergegeven in Figuur 34 als functie van de grootte van de middelperiode, de periode waarbinnen waarnemingen samen worden gevoegd. Naarmate de middelperiode langer wordt, neemt naar verwachting het aandeel van de stochastische variatie in de standaarddeviatie af en het aandeel van de door de dag heen veranderende gemiddelde consumptie toe.

Als we veronderstellen dat een gesimuleerd patroon en een gemeten patroon dezelfde variantie hebben, dan moeten we in de vergelijking voor beide dezelfde middelperiode kiezen.



Figuur 33: Gemiddelde levering en bandbreedte (2 maal standaarddeviatie) voor Balansgebied 3 van Vitens Midden Nederland in de periode van 5 oktober t/m 30 november 2010. Statistieken zijn berekend met een middelperiode van 5 minuten.



Figuur 34: Variatie van de gemiddelde standaarddeviatie als functie van de grootte van de middelperiode voor de data weergegeven in Figuur 33.

5.6.2 Onzekerheden in meetgegevens

Evides heeft zich steekproefsgewijs een beeld gevormd van de nauwkeurigheid van watermeters in hun voorzieningsgebied. Bij zakelijke watermeters kwam men hierbij uit op een gemiddelde afwijking van -6%, waarbij als oorzaken overdimensionering en slijtage/beschadigingen worden genoemd. Hun steekproef bij huishoudelijke watermeters leverde een gemiddelde afwijking van -2% op bij een afname van 0-500 l/ uur. Hierbij worden als oorzaken defecten, verkleving, harde bestanddelen en slijtage genoemd. Evides geeft aan dat grote volumestroommeters bij productielocaties van hogere kwaliteit zijn en bovendien beter worden onderhouden en gekalibreerd, zodat een nauwkeurigheid van 1% wordt bereikt.

5.7 Onzekerheden in berekende lekverliezen

Onzekerheden in berekende lekverliezen zijn eenvoudig vast te stellen door de varianties (kwadraten van de standaarddeviaties) behorende bij de onzekerheden van de individuele componenten (i.e. gemeten levering en gefactureerde levering dan wel gesimuleerde levering) bij elkaar op te tellen.

Wanneer men uitgaat van een betrouwbaarheidsinterval van 95% bij gespecificeerde onzekerheden, dan komt de gestelde marge overeen met 1,96 maal de standaarddeviatie.

Farley en Trow (2003) bespreken een waterbalansberekening die is uitgevoerd voor een leveringsgebied met een laag lekverlies in Nieuw Zeeland, waarbij eveneens 95% betrouwbaarheidsintervallen zijn vastgesteld. Tabel 9 geeft een overzicht van de onzekerheidsmarges die bij deze balansberekening gebruikt dan wel uitgerekend zijn. Opvallend is dat een onzekerheid van 2% in de netto afzet en een onzekerheid van 1,6% in de bemeting bij de consumenten leiden tot een onzekerheidsmarge van tientallen procenten in het vastgestelde verlies.

Tabel 9: Onzekerheidsmarges bij een betrouwbaarheidsinterval van 95% voor een waterbalansberekening in Nieuw Zeeland (Farley en Trow, 2003).

Netto afzet +/- 2,0 %	Verbruik +/- 1,6 %	verrekend +/- 1,6 %	bemeten +/- 1,6 %	totaal verrekend +/- 1,6 %
			onbemeten	
	distributieverliezen +/- 23,2 %	niet verrekend +/- 29,4 %	bemeten	NIRG +/- 22,6%
			onbemeten +/- 29,4 %	
		schijnbare verliezen +/- 52,2 %	illegaal verbruik +/- 80 %	
			onnauwkeurigheid watermeter +/- 52,7 %	
echte verliezen +/- 28,9 %	lekken transport en distributie			
	lekken reservoirs			
	lekken dienstkransen en dienstleidingen			

5.8 Toepassingsgebied 1: Tholen (Evides)

Voor de simulatie van het verbruik op Tholen zijn alle verbruikers opgedeeld in een aantal categorieën, die ieder apart zijn gesimuleerd. Deze categorieën zijn weergegeven in Tabel 10. Let op dat een aantal afnemers niet zijn gesimuleerd vanwege de onregelmatigheid van hun verbruik (enkele bedrijven) of het feit dat het patroon niet bekend is. De afnemers die wel zijn gesimuleerd representeren gezamenlijk 98% van het jaarverbruik van Tholen.

Figuur 35 geeft het gemiddelde verbruik met marges (2 sigma) zoals gemeten in de maand oktober 2010 weer (groene curve), evenals het gesimuleerde verbruik (rood). In de gesimuleerde curve zijn afnemers meegenomen die samen 98% van het totale verbruik representeren. De overeenkomst tussen het gemeten en het gesimuleerde patroon is slechts op hoofdlijnen herkenbaar. De volgende punten vallen op:

- Het gesimuleerde nachtdal is iets later en dieper dan het gemeten patroon.
- De gesimuleerde ochtendpiek is beduidend hoger en smaller.
- Het gesimuleerde dagverbruik is aanzienlijk lager dan het gemeten verbruik; bovendien is het patroon anders.
- De gesimuleerde avondpiek is veel lager dan de gemeten waarde.
- Hoewel het gesimuleerde weekenddagverbruik lager ligt dan het gesimuleerde wekdagverbruik, zien we in de meetgegevens juist een hoger dagverbruik op de zaterdag.

Wat niet terug te zien is in de figuur maar wel geconstateerd bij het bestuderen van de resultaten is dat het niet-huishoudelijke nachtverbruik in dit gebied nagenoeg nul is.

Tabel 10: Verbruikerscategorieën en daarbij toegepaste simulatiecategorieën.

Groep	simulatiecategorie
Huishoudens Tholen	huishouden
Huishoudens Poortvliet	huishouden
Huishoudens Scherpenisse	huishouden
Huishoudens St Maartensdijk	huishouden
Huishoudens Stavenisse	huishouden
Huishoudens St Annaland	huishouden
Huishoudens Oud Vossemeer	huishouden
Bedrijf	kantoor
Gemeente	kantoor
Gemeente	kantoor
Gemeente	kantoor
Gemeente	kantoor
Gemeente	kantoor
Kleinzakelijk Tholen	kantoor
Kleinzakelijk Poortvliet	kantoor
Kleinzakelijk Scherpenisse	kantoor
Kleinzakelijk St Maartensdijk	kantoor
Kleinzakelijk Stavenisse	kantoor
Kleinzakelijk St Annaland	kantoor
Kleinzakelijk Oud Vossemeer	kantoor
School	kantoor
Kwekerij	niet
Kwekerij	niet
Kwekerij	niet
Kwekerij	niet
Bakker	niet
Bedrijf	niet
Woonboulevard	niet
Bedrijf	niet
Bedrijf	niet
Blokmeters	huishouden
Blokmeters	huishouden
Camping X	recreatie
Camping Y	recreatie
Camping Z	recreatie
Recreatieterrein X	recreatie
Recreatieterrein Y	recreatie
Recreatieterrein Z	recreatie
Zorgcentrum	zorg
Zorgcentrum	zorg

Figuur 36 toont een vergroting van de zoom-in uit Figuur 35 met daaraan toegevoegd een curve die het verschil tussen de gemeten en gesimuleerde curves weergeeft. Let op dat de gesimuleerde curve 45 minuten is verschoven om de patronen netjes op te lijnen (zie § 5.2.3). De verschilcurve toont een maximum bij de minimale levering. Deze vorm kan samenhangen met:

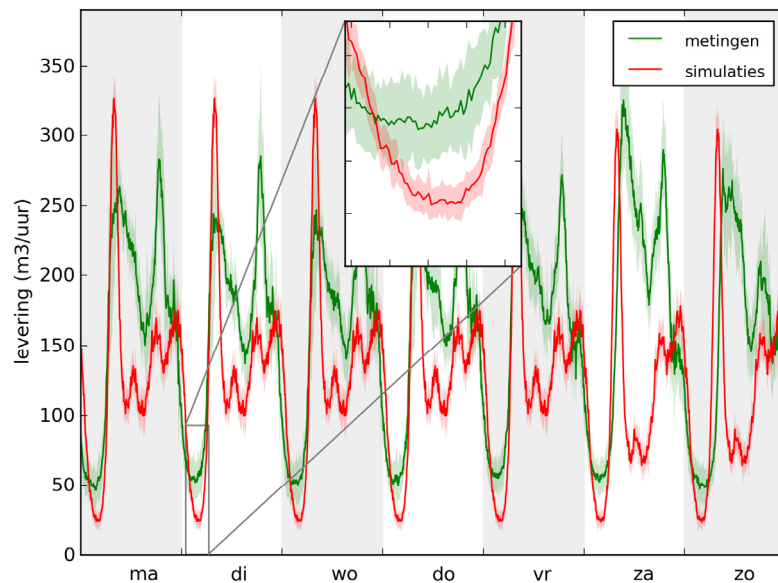
- een hoger lekverlies bij een hogere druk die gepaard kan gaan met een geringere afname;
- het vormverschil tussen het gemeten en het gesimuleerde patroon.

Het maximale verschil van de gemiddelde leveringscurves is van de orde 30 m³/uur, met een marge van +/- 18 m³/uur. Deze waarde geldt voor de nacht, wanneer de druk laag is. Gemeten drukvariaties zijn maximaal in de orde van 40% (meestal 20%) t.o.v. dit lage niveau. Een veelgebruikte uitdrukking voor de volumestroom van een lek als functie van de druk is

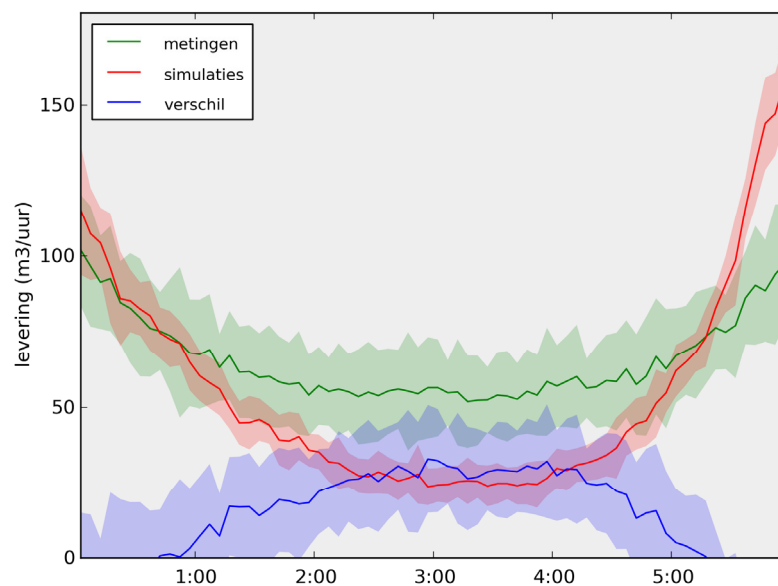
$$Q_l(t) = K \cdot P(t)^\alpha$$

waarin $Q_l(t)$ de volumestroom als functie van de tijd is, K een constante die wordt bepaalde voor een individueel lek, $P(t)$ de lokale druk als functie van de tijd en α een exponent waarvan in de regel wordt aangenomen dat de waarde in de buurt van 0,5 ligt (zie bijvoorbeeld Wu et al., 2010). Op basis van deze formule resulteert een druktoename van 20% in een toename van het lekverlies van 10% en een

druktoename van 40% in een toename van het lekverlies van 20%, waardoor het voorspelde lekverlies voor de gehele dag naar schatting 5-10% hoger ligt dan de genoemde waarde van 30 m³/uur.



Figuur 35: Gemeten levering in de periode oktober 2010 en gesimuleerd verbruik voor Tholen. De omhullenden geven de marges van variabiliteit (2 sigma) aan. Een middelperiode van 5 minuten is toegepast.

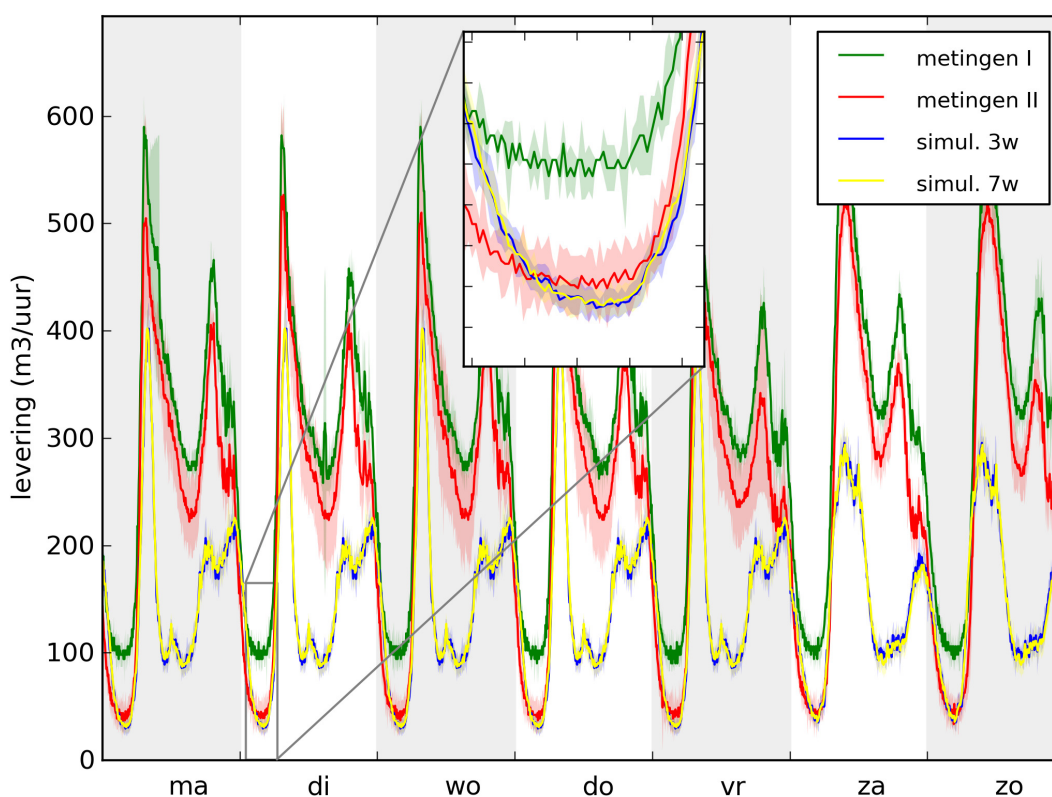


Figuur 36: Verschil tussen levering en gesimuleerd verbruik voor de maand oktober 2010 voor Tholen. Let op dat het gesimuleerde verbruik 45 minuten is verschoven t.o.v. het gemeten verbruik om de dalen van de respectievelijke patronen gelijk te trekken. Variabiliteitsmarges (2 sigma) zijn opnieuw aangegeven met gekleurde zones.

5.9 Toepassingsgebied 2: Balansgebied 3 Vitens Midden Nederland

Gezien de aanzienlijke inspanning die nodig zou zijn om relevante gegevens voor alle niet-huishoudelijke verbruikers te verzamelen (voor deze toepassing zijn de bij Vitens beschikbare gegevens niet volledig en specifiek genoeg) en omdat bij de beschouwing van Tholen is vastgesteld dat het leeuwendeel van het verbruik in de nachtelijke uren van huishoudelijke aard is, is besloten om de simulatie van het verbruik in Balansgebied 3 te beperken tot huishoudelijk verbruik. Het resultaat van deze benadering is weergegeven in Figuur 37. Hierin valt een aantal zaken op:

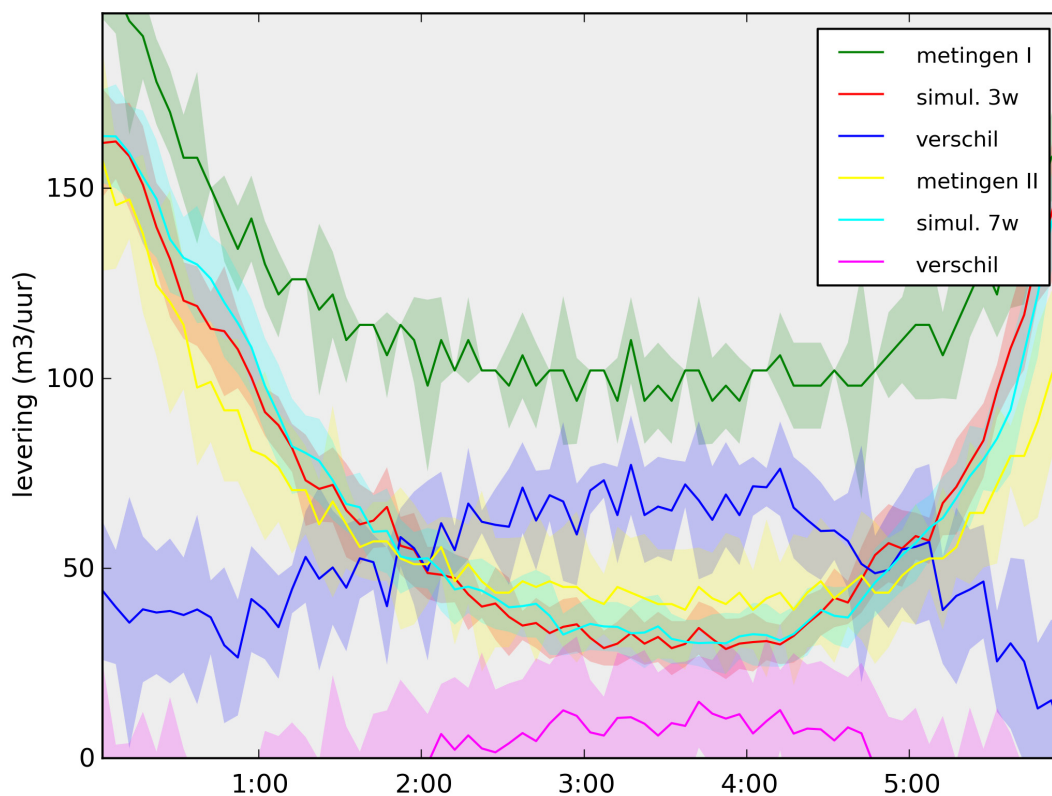
- Een verticale verschuiving van het gemeten patroon van oktober-november (metingen II) ten opzichte van het patroon van september (metingen I), corresponderend met het tussen de twee beschouwde tijdsblokken gerepareerde lek in het balansgebied.
- Een slechte overeenkomst van het gesimuleerde verbruik met de gemeten levering ten gevolge van het niet meenemen van niet-huishoudelijk verbruik in de simulaties gedurende de dag.
- Een goede overeenkomst tussen de voorspelde en de gemeten levering in de periode oktober-november 2010 in de nachtelijke uren.



Figuur 37: Gemeten en gesimuleerde levering aan Balansgebied 3. metingen I: gemeten leveringen in de periode 4-24 september 2010 (3 weken); metingen II: gemeten levering in de periode 5 oktober t/m 22 november 2010 (7 weken); simu. 3w/7w: gesimuleerde levering voor een periode van 3 resp. 7 weken. Let op dat de gesimuleerde levering uitsluiting huishoudelijk verbruik omvat. De gebruikte middelperiode is 5 minuten.

Het verschil tussen het gemeten en gesimuleerde verbruik in de nachtelijke daluren is weergegeven in Figuur 38 voor de periode voor (metingen I) en die na (metingen II) de bovengenoemde reparatie, waarbij een tijdsverschuiving van 30 respectievelijk 25 minuten is gebruikt om het dalverbruik op te lijnen (zie §5.2.3). Net als bij de vergelijking voor Tholen in het voorgaande kan worden opgemerkt dat de verschilcurves een maximum tonen bij de minimale levering, mogelijk samenhangend met een hoger lekverlies bij een hogere druk die gepaard kan gaan met een geringere afname en/of het vormverschil tussen de gemeten en de gesimuleerde patronen. De gemiddelde verschilcurves suggereren een

maximaal lekverliesniveau van ca 70 m³/uur vóór de reparatie en ca 10 m³/uur na de reparatie. Dit suggereert dat het lek dat inmiddels is gerepareerd een lekverlies van ca 60 m³/uur (+/- 15 m³/uur) in de nachtelijke uren vertegenwoordigde. Dit getal komt goed overeen met de eerder genoemde schatting van 40-50 m³/uur door Vitens (§ 4.3).



Figuur 38: Uitvergrotingen van de zoom-in van Figuur 37 met verschilcurves. De toegepaste middelperiode is 5 minuten.

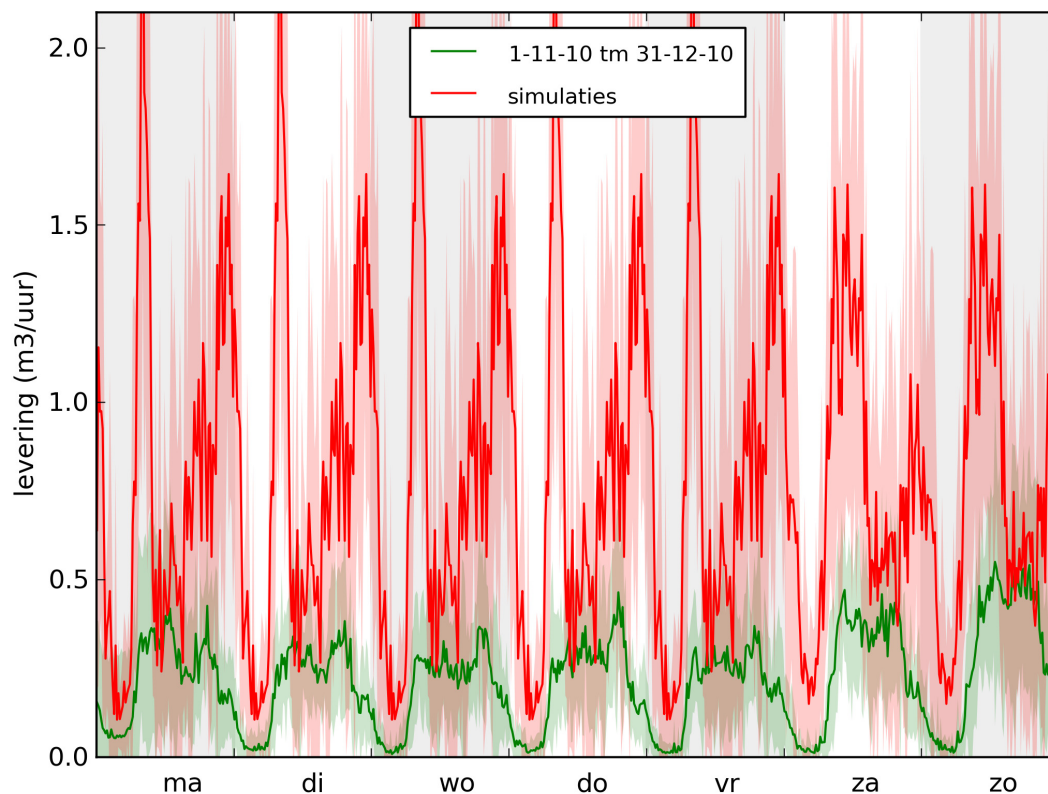
5.10 Toepassingsgebied 3: Postel Pidpa

Omdat het gebied een periode kent waarin het nachtverbruik met regelmaat naar 0 terugvalt, kan worden geconcludeerd dat het lekverlies hier kleiner is dan de kleinst meetbare volumestroom. Vergelijking met een gesimuleerd patroon is dus niet nodig voor het vaststellen van het lekverlies. Toch zijn de simulaties uitgevoerd om te kijken of er wellicht andere interessante zaken naar voren komen uit de vergelijking.

Vanwege de grote onzekerheden in het verbruik van niet-huishoudelijke afnemers en de constatering voor Tholen dat het nachtverbruik voornamelijk huishoudelijk van aard is beperken wij ons in de simulatie tot huishoudens en in de vergelijking tot de nachtelijke uren.

Een gesimuleerd gemiddeld weekpatroon voor Postel is samen met het gemeten gemiddelde weekpatroon (periode 1-11-2010 t/m 31-12-2010) weergegeven in Figuur 39. Het valt op dat SIMDEUM een beduidend hoger verbruik voorspelt dan wordt gemeten voor zowel de dag als de nacht. Dit hangt mogelijk samen met het feit dat het in België gebruikelijker is water uit een eigen put te winnen dan in Nederland, terwijl voor de simulaties Nederlandse verbruiksstatistieken zijn gebruikt.

Opgemerkt wordt dat de SIMDEUM-simulaties geen terugval naar 0 in de nacht voorspellen (zie Figuur 39).



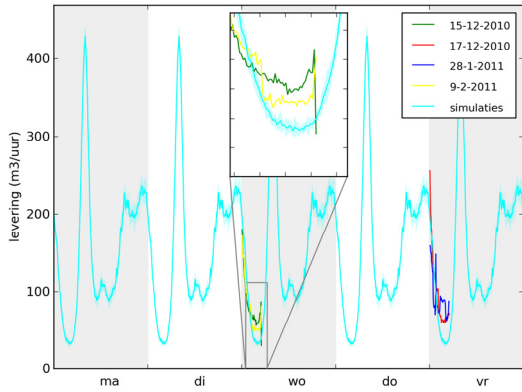
Figuur 39: Gemeten basisniveau (1-11-2010 t/m 31-12-2010) in vergelijking met gesimuleerd patroon (10 simulaties) voor huishoudelijk verbruik. De gebruikte middelperiode is gelijk aan de meetinterval, namelijk 15 minuten.

5.11 Toepassingsgebied 4: Vlietregio Dunea

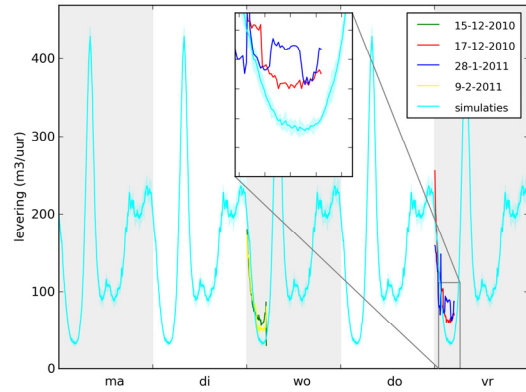
Aangezien er in de Vlietregio metingen in individuele nachten zijn uitgevoerd, is het niet mogelijk een schatting te maken van de stochastische variabiliteit van de volumestromen. Daarom wordt er in deze paragraaf geen uitspraak gedaan over de marges van de bepaalde lekverliesschattingen.

Gemeten patronen voor gebied 1 in de Vlietregio worden met een gesimuleerd gemiddeld patroon met marges vergeleken in Figuur 40. Figuur 40 a-b geven een overzicht, c-f tonen zoom-ins van de respectievelijke gemeten nachtpatronen in vergelijking met het simulatieresultaat, inclusief verschilcurves. Figuur 40c toont een verschil tussen gemeten en gesimuleerd verbruik van ca. 30 m³/uur. Figuur 40d toont een plotselinge sterke afname van het verbruik even na 2:00 uur, waarna het verschil tussen meting en simulatie zich stabiliseert rond de 25 m³/uur. Figuur 40e lijkt een basisverschilniveau van rond de 30 m³/uur te hebben, waarbovenop tussen 2:45 en 4:00 een aanzienlijk extra verbruik wordt geregistreerd. Er lijkt hier sprake te zijn van een grootverbruiker die zo nu en dan gedurende enkele uren 20-30 m³/uur extra afneemt. Ook in Figuur 40f zien we een plotselinge aanzienlijke terugval van het verbruik rond 2:30 uur. Hierna schommelt het verschil tussen meting en simulatie rond de 20 m³/uur, waarna tegen 5:00 uur het niveau plotseling weer omhoog schiet. Ook hier kan aan een grootverbruiker met een sterk wisselende watervraag worden gedacht. Deze resultaten suggereren een lekverlies van de orde van 20-30 m³/uur.

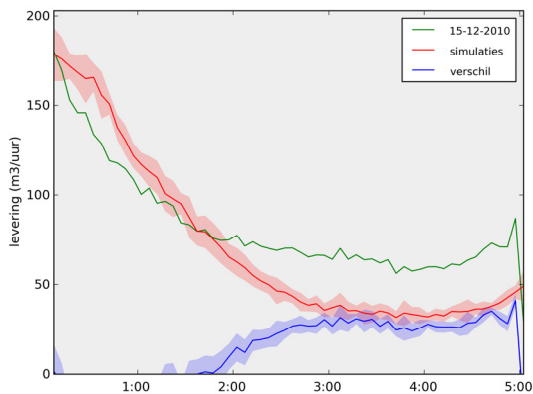
a)



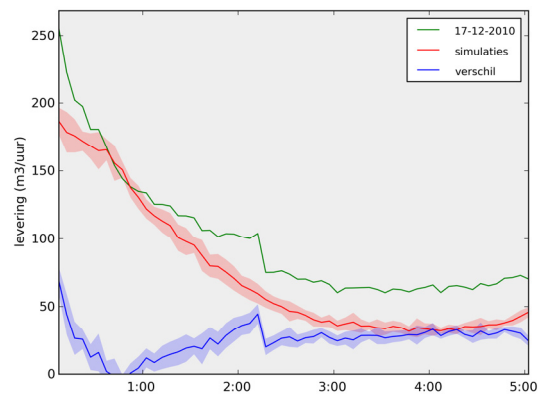
b)



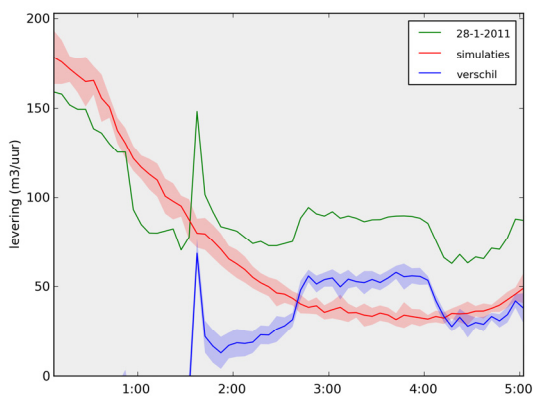
c)



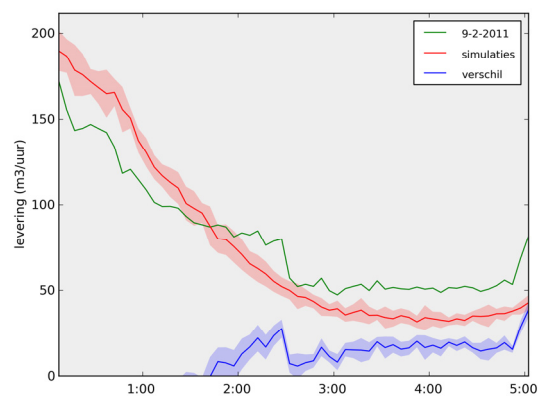
d)



e)

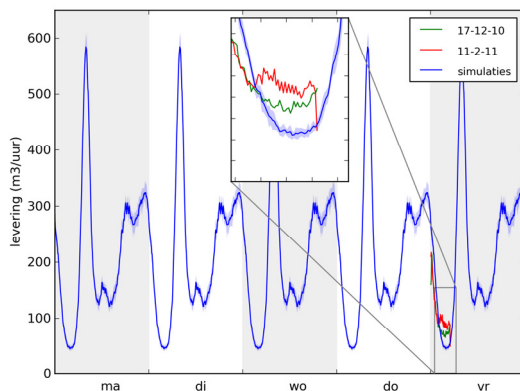


f)

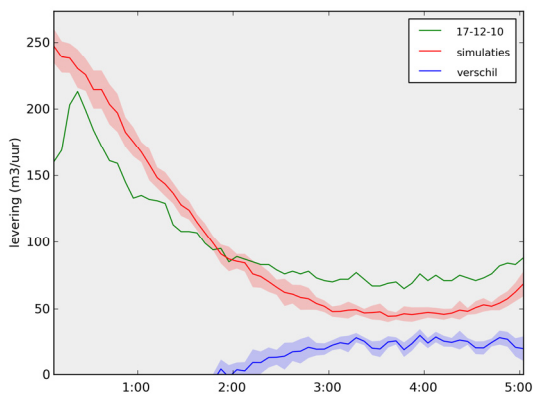


Figuur 40: Gemeten (exclusief grootverbruikers) en gesimuleerd (uitsluiting huishoudelijk) verbruik en verschillen hiertussen voor gebied 1 van Dunea. a,b) Gemeten en gesimuleerd verbruik; c-f) Vergelijking van gemeten patroon (met gesimuleerde patroon) met verschil voor de respectievelijke dagen 15-12-2010, 17-12-2010, 28-1-2011 en 9-2-2011. De gebruikte middelperiode voor het gesimuleerde patroon is 5 minuten, gelijk aan het door Dunea toegepaste meetinterval.

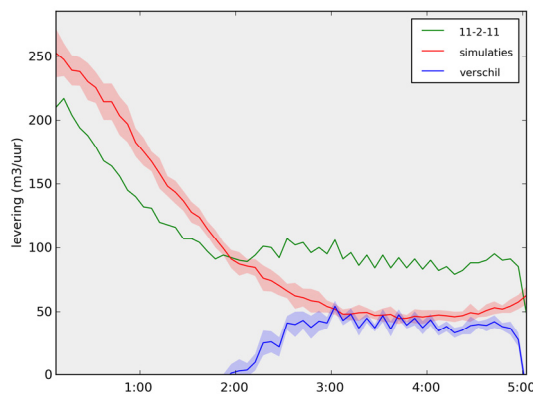
a)



b)



c)

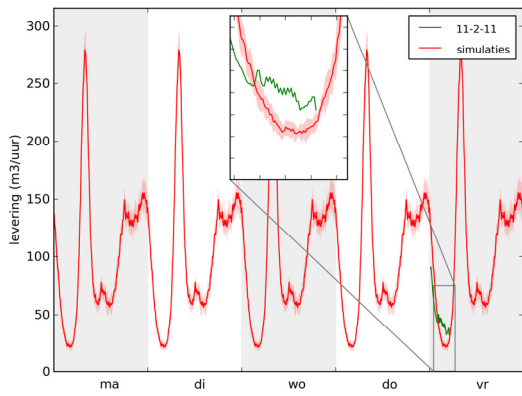


Figuur 41: Gemeten (exclusief grootverbruikers) en gesimuleerd (uitsluiting huishoudelijk) verbruik en verschillen hiertussen voor gebied 2 van Dunea. a) Gemeten en gesimuleerd verbruik; b,c) Vergelijking van gemeten patroon met gesimuleerde patroon met verschil voor de respectievelijke dagen 17-12-2010 en 11-2-2011. De gebruikte middelperiode voor het gesimuleerde patroon is 5 minuten, gelijk aan het door Dunea toegepaste meetinterval.

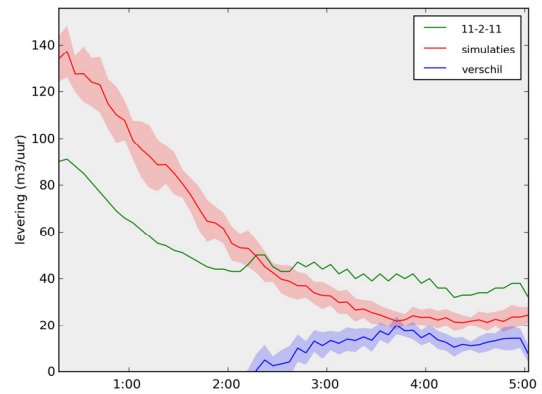
Figuur 41 toont metingen en simulaties voor gebied 2 van Dunea. Het geconstateerde verschil tussen meting en simulatie is ca 25 m³/uur (17-12-2010) respectievelijk ca. 40 m³/uur (11-2-2011). Het patroon van de laatstgenoemde datum (Figuur 41c) toont echter een verdachte stijging van het verbruik rond 2.00 uur, hetgeen een significant toegenomen afname van een grootverbruiker kan betekenen. Daarom ligt het voor de hand de eerstgenoemde waarde van 25 m³/uur als maximale schatting voor het lekverlies te nemen.

Dit gebied is verder onderverdeeld in deelgebieden 2a, 2b en 2c, waarvoor een meting en een gemiddeld gesimuleerd verbruikspatroon zijn weergegeven in Figuur 42. Deze tonen verschilcurves met een basisniveau in de nacht van ca. 15, 10 en 0 m³/uur, respectievelijk. Deze waarden kunnen weer als maximaal lekverlies worden geïnterpreteerd. In Figuur 42d zien we hierbovenop voor deelgebied 2b nog een aanvullend verbruik van ca 15 m³/uur tussen 2.15 en 5.00 uur. Het geregistreerde verbruik in gebied 2c ligt aan de onderrand van het door SIMDEUM voorspelde bereik, hetgeen een minimaal lekverlies in dit deelgebied suggereert.

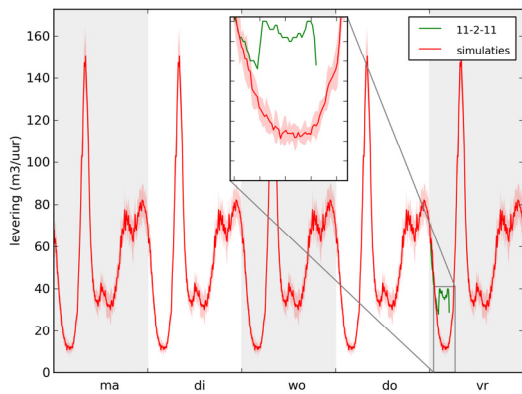
a)



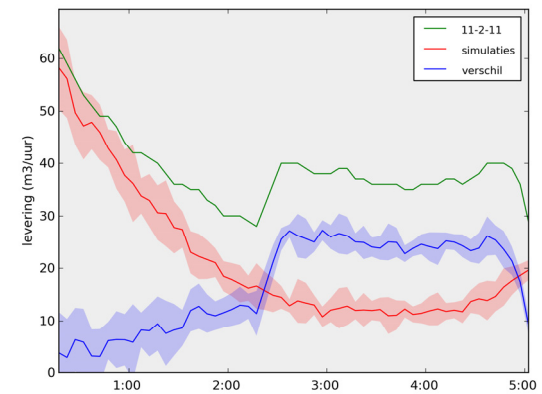
b)



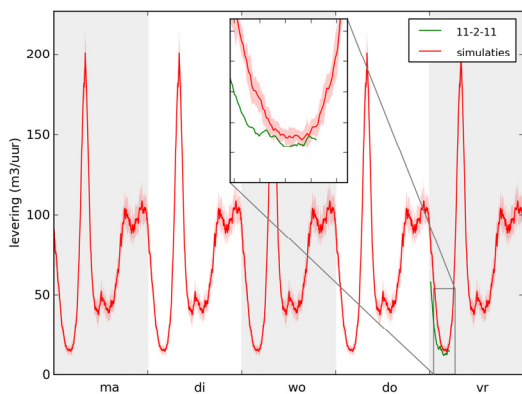
c)



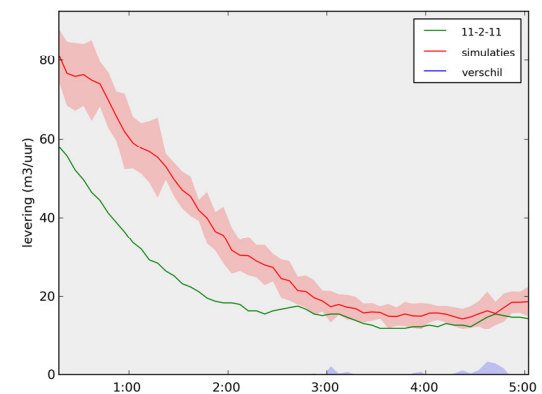
d)



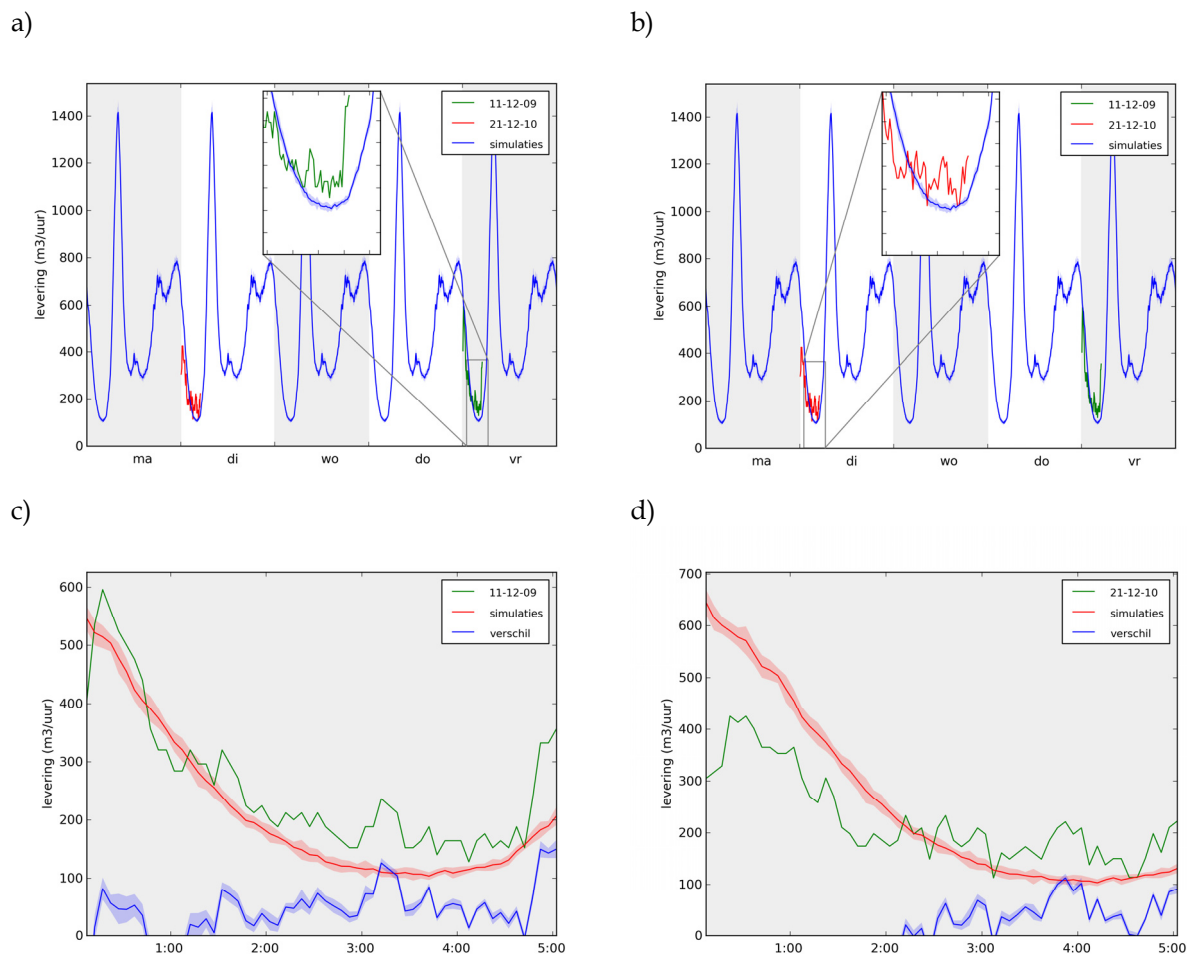
e)



f)



Figuur 42: Gemeten (exclusief grootverbruikers) en gesimuleerd (uitsluiting huishoudelijk) verbruik en verschillen hiertussen voor deelgebieden 2a (a,b), 2b (c,d) en 2c (e,f) van Dunea. a,c,f) Gemeten en gesimuleerd (10 simulaties) verbruik. b,d,f) Vergelijking van het gemeten patroon met het gesimuleerde patroon met verschil. De gebruikte middelperiode voor het gesimuleerde patroon is 5 minuten, gelijk aan het door Dunea toegepaste meetinterval.



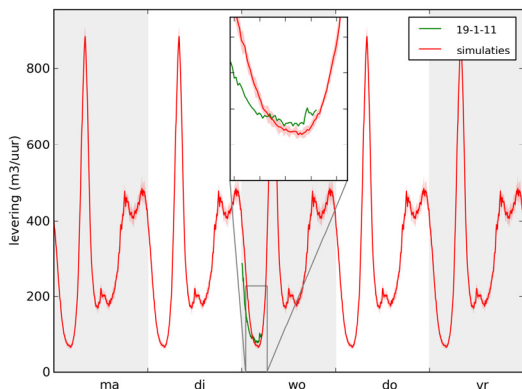
Figuur 43: Gemeten (exclusief grootverbruikers) en gesimuleerd (uitsluiting huishoudelijk) verbruik en verschillen hiertussen voor gebied 3 van Dunea. a,b) Gemeten en gesimuleerd verbruik; c,d) Vergelijking van gemeten patroon met gesimuleerde patroon met verschil voor de respectievelijke dagen 11-12-2009 en 21-12-2010. De gebruikte middelperiode voor het gesimuleerde patroon is 5 minuten, gelijk aan het door Dunea toegepaste meetinterval.

De gemeten en gesimuleerde curves en verschilcurves voor gebied 3 van Dunea zijn weergegeven in Figuur 43. Hierin valt meteen op dat de variabiliteit van de levering gedurende de nacht veel groter is dan de variabiliteit die uit de simulaties volgt. Het is goed mogelijk dat dit samenhangt met de aanwezigheid van een grootverbruiker in dit gebied die ca 800.000 m³ water per jaar afneemt, hetgeen overeenkomt met een gemiddelde van meer dan 90 m³/uur. De waargenomen variabiliteit in de metingen is van dezelfde orde van grootte.

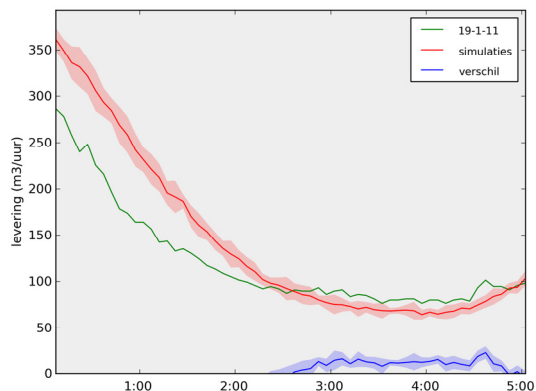
Figuur 44 toont gemeten en gesimuleerde verbruikscures voor gebied 4 van Dunea. De verschilcurve heeft een niveau van ca 15 m³/uur gedurende de nachtelijke daluren. Deze waarde representeert een schatting van het maximale lekverlies.

In Figuur 45 zijn de curves voor gebied 5 van Dunea weergegeven. De metingen van 16-2-2011 (Figuur 45b,d) verschillen aanzienlijk van die van 21-1-2011 (Figuur 45a,c). Het laatstgenoemde patroon heeft een variabiliteit die enigszins in overeenstemming lijkt met die van de simulaties en een verschilniveau van ca. 40 m³/uur. De eerstgenoemde, daarentegen, toont een lager verschilniveau maar een veel grotere variabiliteit. Dit laatste, in combinatie met de grote geconstateerde verschillen tussen twee nachten die slechts enkele weken uit elkaar liggen, doet vermoeden dat ook hier het signaal wordt gestoord door een grootverbruiker.

a)



b)

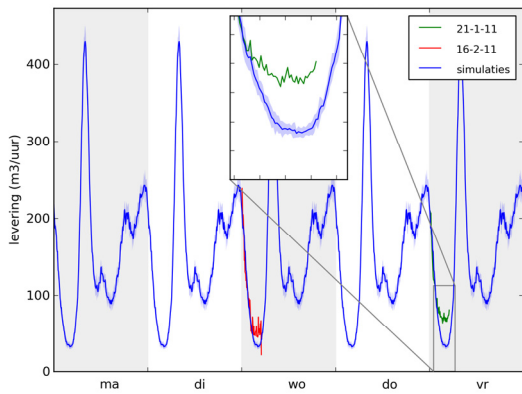


Figuur 44: Gemeten (exclusief grootverbruikers) en gesimuleerd (uitsluiting huishoudelijk) verbruik en verschillen hiertussen voor gebied 4 van Dunea. a) Gemeten en gesimuleerd verbruik; b) Vergelijking van gemeten patroon met gesimuleerde patroon met verschil voor 19-1-2011. De gebruikte middelperiode voor het gesimuleerde patroon is 5 minuten, gelijk aan het door Dunea toegepaste meetinterval.

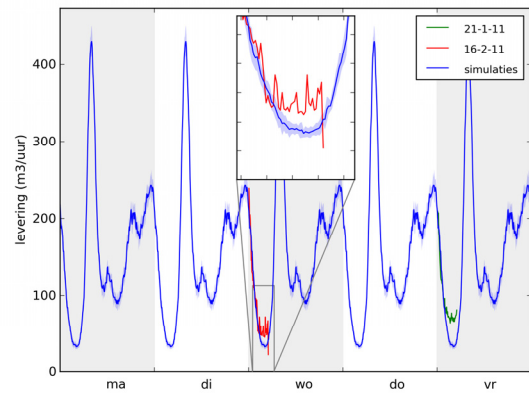
Om verder in te zoomen is gebied 5 door Dunea opgedeeld in drie deelgebieden, waarvoor metingen en simulaties zijn weergegeven in Figuur 46. Deelgebied 5a (Figuur 45a,b) toont een grote variabiliteit in het nachtsignaal en bovendien perioden van 5-15 minuten waarin het gemeten verbruik terugvalt naar 0 bij een voorspeld verbruik van meer dan 10 m³/uur. Derhalve worden deze metingen hier als niet betrouwbaar beschouwd. Deelgebied 5b (Figuur 45c,d) toont een redelijk constant verschilniveau gedurende de daluren van iets meer dan 20 m³/uur. Tegen 5.00 uur treedt er echter een merkwaardige terugval van de gemeten levering naar bijna 0 m³/uur op. Deelgebied 5c (Figuur 45e,f) is relatief klein qua verbruik en heeft een verschilniveau in de daluren van ca. 2 m³/uur.

Ten slotte toont gebied 6 van Dunea (Figuur 47) zeer verschillende verschilniveaus voor de daluren voor twee verschillende nachten (6-1-2010, Figuur 47a,c, en 26-1-2011, Figuur 47b,d) van ca. 50 respectievelijke ca. 25 m³/uur. In beide gevallen is er sprake van aanzienlijke variabiliteit in het signaal, veel meer dan op grond van de simulaties verwacht kan worden. Naar verwachting is er hier sprake van een aanzienlijke niet-huishoudelijke component in de nachtelijke levering.

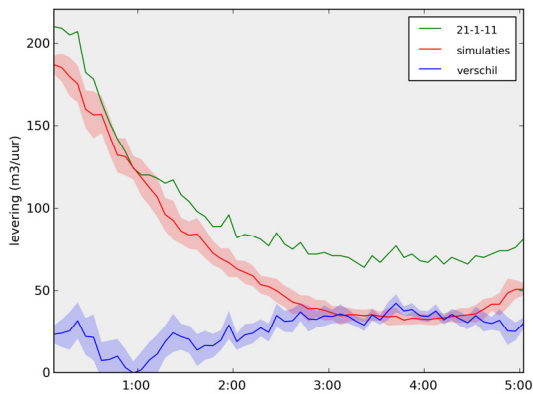
a)



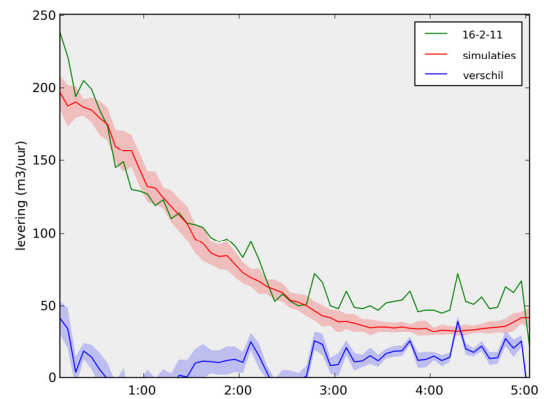
b)



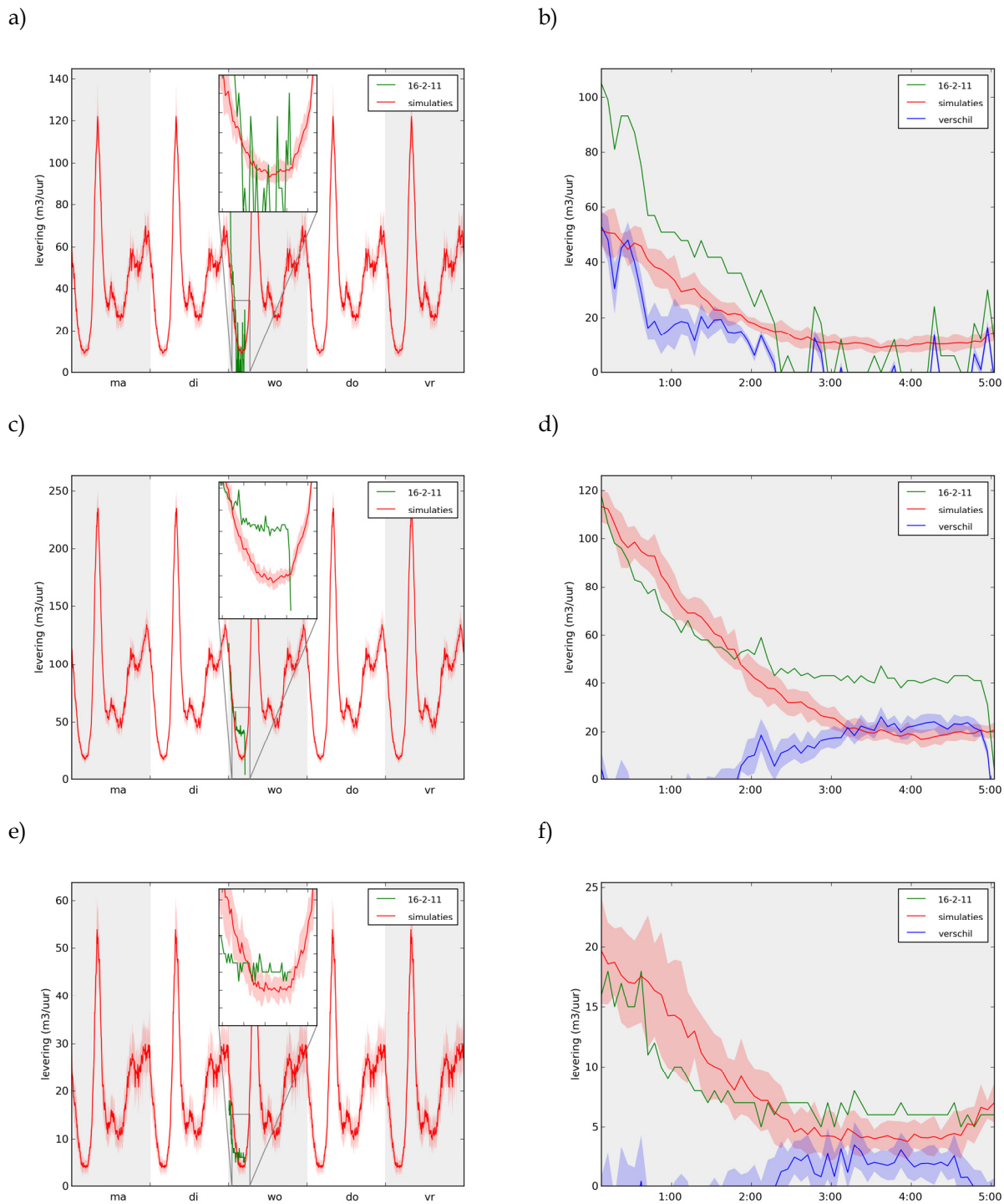
c)



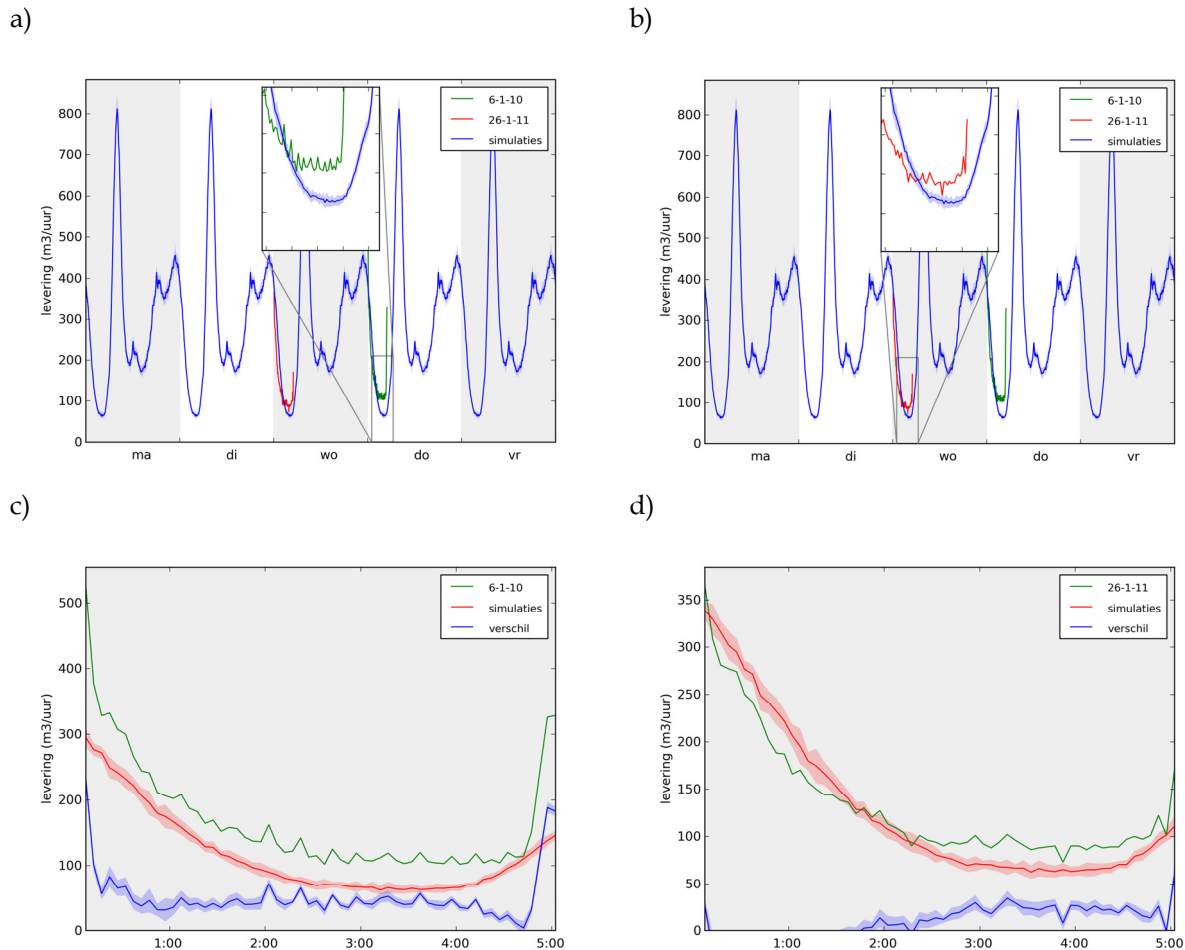
d)



Figuur 45: Gemeten (exclusief grootverbruikers) en gesimuleerd (uitsluiting huishoudelijk) verbruik en verschillen hiertussen voor gebied 5 van Dunea. a,b) Gemeten en gesimuleerd(10 simulaties) verbruik voor resp. 21-2-2011 en 16-2-2011, c-d) Vergelijking van gemeten patroon met gesimuleerde patroon met verschil voor de respectievelijke dagen 21-1-2011 en 16-2-2011. De gebruikte middelperiode voor het gesimuleerde patroon is 5 minuten, gelijk aan het door Dunea toegepaste meetinterval.



Figuur 46: Gemeten (exclusief grootverbruikers) en gesimuleerd (uitsluiting huishoudelijk) verbruik en verschillen hiertussen voor deelgebieden 5a (a,b), 5b (c,d) en 5c (e,f) van Dunea. a,c,e) Gemeten en gesimuleerd (10 simulaties)verbruik. b,d,f) Vergelijking van gemeten patroon met gesimuleerde patroon met verschil. De gebruikte middelperiode voor het gesimuleerde patroon is 5 minuten, gelijk aan het door Dunea toegepaste meetinteraal.



Figuur 47: Gemeten (exclusief grootverbruikers) en gesimuleerd (uitsluiting huishoudelijk) verbruik en verschillen hiertussen voor gebied 6 van Dunea. a,b)Gemeten en gesimuleerd (10 simulaties) verbruik voor 6-1-2010 en 26-1-2011, c,d) Vergelijking van gemeten patroon met gesimuleerde patroon met verschil voor de respectievelijke dagen 6-1-2010 en 26-1-2011. De gebruikte middelperiode voor het gesimuleerde patroon is 5 minuten, gelijk aan de door Dunea toegepaste meetinterval.

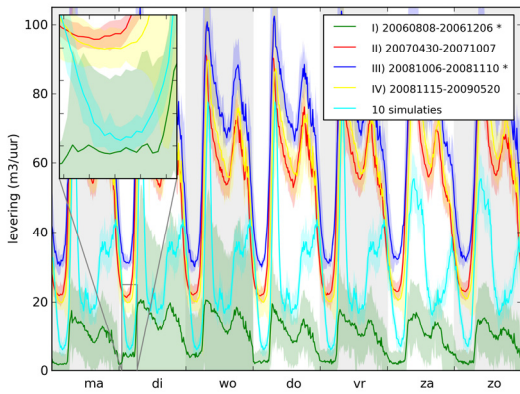
5.12 Toepassingsgebied 5: Enkele Engelse DMA's

Uit de grote dataset die tot onze beschikking staat zijn voor elk van de drie DMA's enkele perioden geselecteerd die op een of andere manier karakteristiek zijn. Deze zijn weergegeven met grijze balken en Romeinse cijfers in Figuur 18 t/m Figuur 22 en eveneens in Tabel 11.

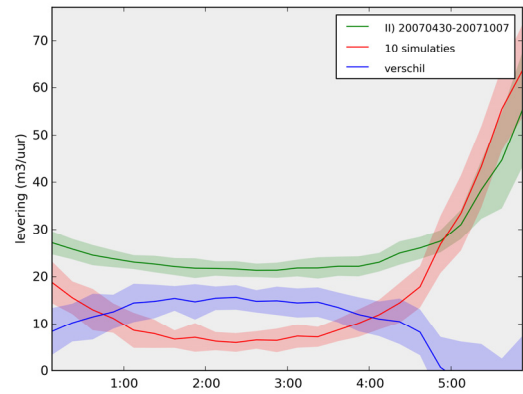
Tabel 11: Geselecteerde perioden in de Britse dataset.

DMA	periode	begin	eind	kenmerken
a	I	8/8/2006	6/12/2006	afwijkend
	II	30/4/2007	7/10/2007	normaal
	III	6/10/2008	10/11/2008	afwijkend
	IV	15/11/2008	20/5/2009	normaal
b	V	31/3/2006	18/8/2006	laag
	VI	28/8/2007	16/12/2007	hoog
c	VII	1/1/2009	29/7/2009	normaal
	VIII	2/9/2009	17/9/2009	laag

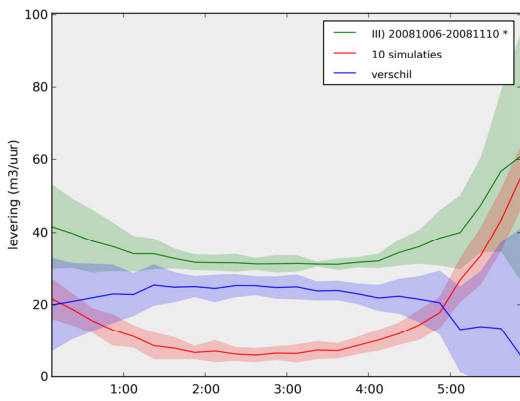
a)



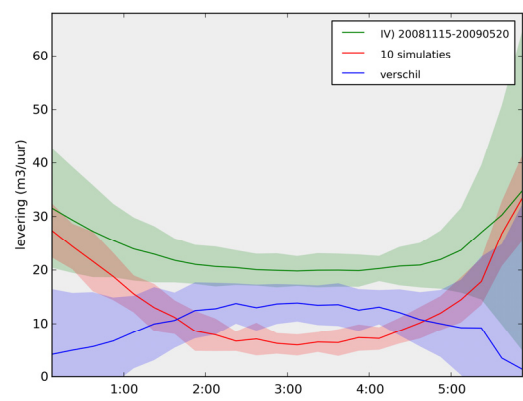
b)



c)

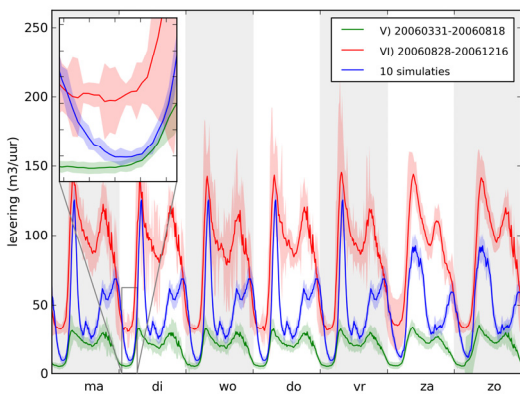


d)

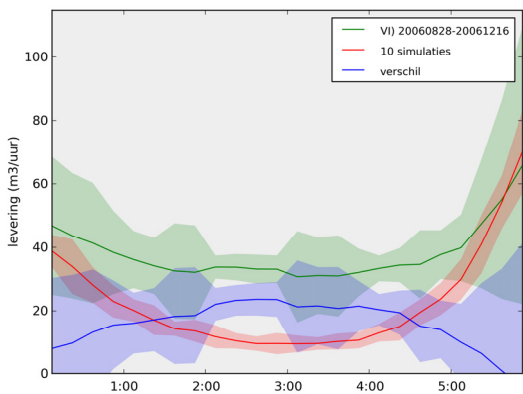


Figuur 48: Gemeten levering en gesimuleerd verbruik voor DMA a (a) en verschillen (b-d).

a)

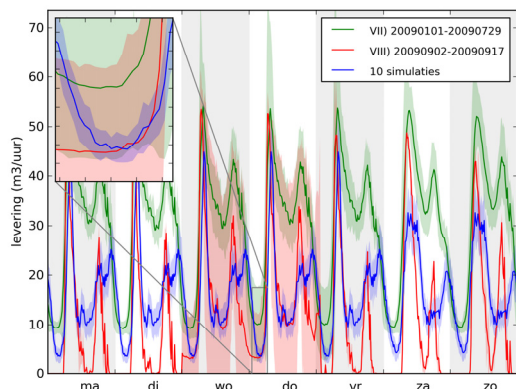


b)

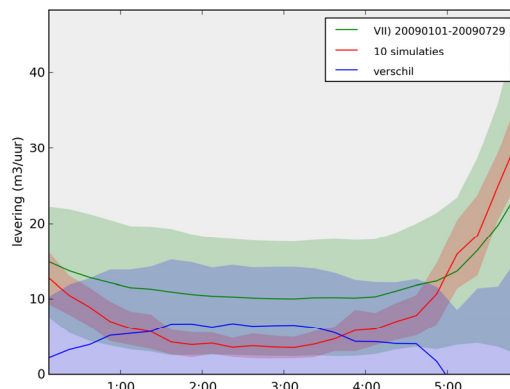


Figuur 49: Gemeten levering en gesimuleerd verbruik voor DMA b (a) en verschilcurve (b).

a)



b)



Figuur 50: Gemeten levering en gesimuleerd verbruik voor DMA c (a) en verschilcurve (b).

Voor deze drie DMA's zijn verbruikspatronen voorspeld met SIMDEUM. Let op dat de onderliggende statistische gegevens die hierbij zijn gebruikt (o.a. tijdsbesteding, penetratiegraad van verbruikspunten, etc.) zijn gebaseerd op Nederland.

Voor DMA a zien we in Figuur 48a drie perioden (II, III en IV) waarin het gemeten verbruik in de nachtelijke daluren ruim hoger is dan het voorspelde verbruik. Dit wordt bevestigd wanneer we op deze drie perioden inzoomen (Figuur 48b-d). Een periode met anomaal laag verbruik (I) ligt duidelijk onder het gesimuleerde verbruik, in de overige perioden ligt het nachtverbruik (Figuur 48b-d) ca. 25-30 m³/uur boven de gesimuleerde waarde. Ter vergelijking: Het op basis van de bottom-up-methode door het waterbedrijf voorspelde lekverlies is 9,7 m³/uur (§ 4.6.2).

Dit zelfde beeld vinden we terug in DMA b (Figuur 49) en DMA c (Figuur 50). In beide gevallen is er een anomale periode te identificeren (V respectievelijk VII) waarin het gemeten verbruik onder het gesimuleerde verbruik ligt, en een 'normale' periode waarin het dalverbruik boven het gesimuleerde verbruik ligt (ca. 22 m³/uur respectievelijk ca. 6 m³/uur). Opnieuw ter vergelijking: Het op basis van de bottom-up-methode door het waterbedrijf voorspelde lekverlies is respectievelijk 23,4 en 15,5 m³/uur (§ 4.6.2).

Het feit dat de als regulier gekarakteriseerde metingen voor DMA's a, b en c consequent hoger zijn dan de gesimuleerde waarden van uitsluitend huishoudelijk verbruik is niet verwonderlijk. Ten eerste: DMA a bevat naast huishoudens ook een hotel, en DMA b naast huishoudens ook een bedrijf (met mogelijk nul verbruik in de nacht) en een ziekenhuis (met vermoedelijk een significant verbruik in de nacht). Ten tweede: het is de vraag in hoeverre de Nederlandse verbruiks- en tijdsbestedingsstatistieken die in SIMDEUM worden gebruikt representatief zijn voor Groot Brittannië.

5.13 Vergelijking en conclusies

Bij de in het voorgaande uitgevoerde vergelijkingen tussen gemeten en gesimuleerde leveringspatronen zijn verschillende constatering gedaan:

- Het door SIMDEUM voorspelde huishoudelijke nachtverbruik voor (rand)stedelijke woongebieden komt zeer goed overeen met validatiemetingen.
- Over de kwaliteit van de voorspellingen voor het huishoudelijke nachtverbruik buiten de (rand)stedelijke woongebieden kunnen bij gebrek aan validaties geen uitspraken worden gedaan.
- Bij gebruik van kwalitatief goede en geschikte meetgegevens kan met SIMDEUM in de bottom-up-methode een goede voorspelling van het lekverlies met stochastische variantie worden verkregen.

- De indruk is ontstaan dat er mogelijk regionale variaties in het waterverbruik bestaan die niet in de landelijke tijdsbestedingsgegevens die aan de basis staan van de SIMDEUM-simulaties tot uiting komen. Zo blijkt dat wanneer er wel voldoende gegevens over niet-huishoudelijk verbruik beschikbaar zijn (Tholen), het voorspelde dagpatroon niet noodzakelijkerwijs goed overeenkomt met het gemeten patroon. In het geval van Tholen kan worden gespeculeerd dat het tijdsbestedingsonderzoek waarop bepaalde aspecten van SIMDEUM zijn gebaseerd niet representatief is voor een uitgesproken landelijk gebied als Tholen.
- Veel nachtmetingen lijken door niet-huishoudelijke afnemers 'vervuild' te worden. Ook andere dan de hier toegepaste lekverliesbepalingsmethoden zullen last hebben van moeilijk te kwantificeren nachtelijke grootverbruikers. Om dit probleem te omzeilen kunnen deze grootverbruikers individueel bemeterd worden, waarna hun afnamepatronen voor aanvang van de analyse van het patroon van het leveringsgebied worden afgetrokken.
- Voor Tholen is vastgesteld dat de met behulp van SIMDEUM bepaalde waarde voor het lekverlies (ca 30 m³/uur) aanzienlijk hoger is dan de op traditionele (top-down) wijze bepaalde waarde (ca. 10 m³/uur). Als de onzekerheidsmarge t.g.v. stochastische variantie van deze bepaling ook in beschouwing wordt genomen ($s \approx 9$ m³/uur) en eveneens de onzekerheidsmarge van top-down-bepaling ($s = \text{ca. } 0,5$ m³/uur), dan is het duidelijk dat het verschil significant is. Gezien het ontbreken van validaties van de SIMDEUM-voorspellingen voor landelijke gebieden, kunnen echter geen uitspraken over de betrouwbaarheid van het op SIMDEUM gebaseerde lekverlies worden gedaan.
- Voor balansgebied 3 wordt na de reparatie een beperkt nachtelijk lekverlies van de orde van 10 m³/uur gevonden met een aanzienlijke spreiding ($\sigma = \text{ca. } 8$ m³/uur).
- SIMDEUM voorspelt voor Postel een aanzienlijk hoger nachtverbruik dan de waarde die wordt gemeten in de periode van laag verbruik, waarin het verbruik gedurende meerdere maanden in de nacht zo nu en dan naar 0 terugvalt. Dit suggereert dat het leveringsgebied geen significante lekken bevat. Gedurende andere perioden ligt het nachtverbruik consequent aanzienlijk hoger.
- De lekverliesbepaling voor verschillende gebieden van Dunea wordt bemoeilijkt door de schijnbare aanwezigheid van niet-huishoudelijk verbruik in de gemeten nachtpatronen. Ook is er geen idee van de stochastische variabiliteit doordat er slechts gedurende enkele nachten is gemeten.
- Het voorspelde nachtverbruik in de onderzochte Engelse DMA's is beduidend lager dan de gemeten waarden in niet-anomale perioden. De met behulp van SIMDEUM verkregen schattingen voor het lekverlies in deze drie DMA's zijn aanzienlijk hoger (DMA a), vergelijkbaar (DMA b) en aanzienlijk lager (DMA c) dan de door het waterbedrijf gemaakte schattingen. De eerste twee van de drie DMA's bevatten enkele niet-huishoudelijke klanten die vermoedelijk ook 's nachts water afnemen. De vraag is in hoeverre de Nederlandse verbruiks- en tijdsbestedingsstatistieken die in SIMDEUM worden gebruikt representatief zijn voor Groot Brittannië. Vermoedelijk moeten land- of streekspecifieke statistieken worden toegepast.
- De T-toets lijkt een aardig instrument om te bepalen of sets van patronen (gemeten dan wel gesimuleerd) significant van elkaar afwijken. Echter, in de praktijk liggen patronen vaak heel snel buiten elkaars varianties, zodanig dat het eenvoudig wordt met het blote oog vast te stellen dat deze patronen niet als behorende tot dezelfde populatie kunnen worden beschouwd. Voor het beoordelen van validaties is de t-toets wel goed bruikbaar en van nut.
- Het voordeel van de toepassing van SIMDEUM als nachtverbruiksschatter is dat er naast een waarde ook een stochastische variantie voor de waarde wordt verkregen.
- Het is met de beschikbare gegevens moeilijk te beoordelen in hoeverre een schatting van SIMDEUM beter is dan een op andere wijze verkregen schatting voor het nachtverbruik.

Verder kan er nog in algemene zin worden geconcludeerd dat het erg belangrijk is goed te meten en ook om precies te weten wat er tijdens de metingen in het net gebeurt:

- Leveringspatronen van grootverbruikers zijn bij voorkeur bekend, zodat de gemeten leveringspatronen voor het leveringsgebied hiervoor gecorrigeerd kunnen worden bij vergelijking met simulatieresultaten.
- De stand van afsluiters en hun functioneren moet bekend zijn om zeker te zijn voor welk leveringsgebied een leveringspatroon geldt.

6 Toepassing van de Buchberger-Nadimpalli-methode

6.1 Inleiding

De methode van Buchberger en Nadimpalli (2003) is uitgebreid beschreven in §2.2.1. In dit hoofdstuk zal deze methode worden toegepast op enkele van de proefgebieden uit Hoofdstuk 4. Niet al deze metingen zijn geschikt om met deze methode te worden bekeken, aangezien zij niet voldoen aan een of meer van de volgende vereisten:

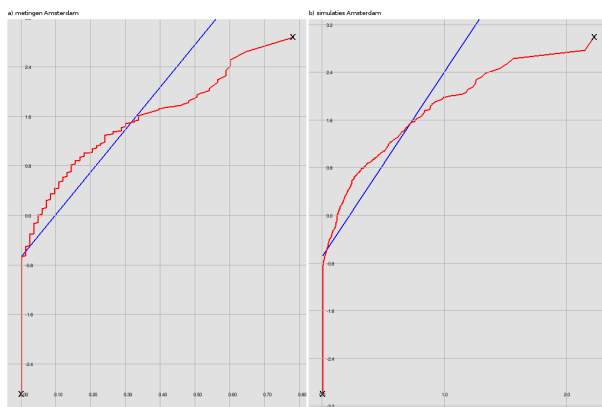
- perioden van stagnatie/geen vraag in de metingen
- hiermee samenhangend: hoge tijdsresolutie (exacte benodigde resolutie hangt af van het aantal aansluitingen; orde 1 seconde voor 1000 aansluitingen, orde 5 minuten voor 200 aansluitingen)
- en: maximaal 1000 aansluitingen

De methode vereist dat het verbruik gedurende de nachtelijke daluren getrunceerd normaal verdeeld is (zie § 2.2.1). Of dit ook geldt voor de metingen waarop de methode wordt toegepast, is gemakkelijk vast te stellen.

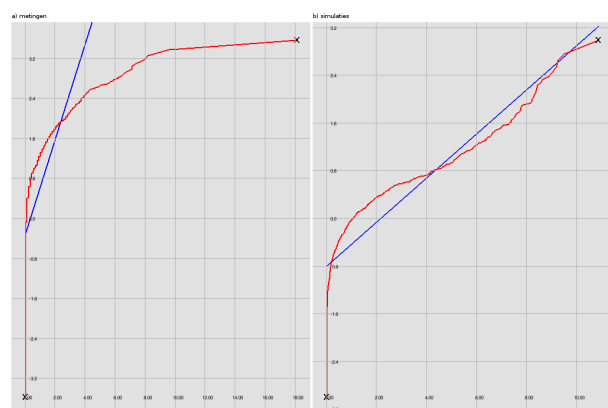
Allereerst wordt vastgesteld of de in § 5.3.2 beschreven validatiepatronen, waarvan bekend is of wordt verondersteld dat deze geen lekverlies bevatten, aan deze eis voldoen. Vervolgens wordt hetzelfde gedaan voor de enige beschikbare dataset die aan de eisen m.b.t. tijdsresolutie in combinatie met het aantal aansluitingen voldoet, namelijk Postel.

6.2 Normaliteit van validatiepatronen

Allereerst wordt getest of de validatiepatronen van Amsterdam en Leidsche Rijn (zie § 5.3), waarin het lekverlies nul zou moeten zijn, verdeeld zijn volgens de getrunceerde normale verdeling van Figuur 1b. De betreffende normale waarschijnlijkheidsplots worden getoond in Figuur 51 voor Amsterdam en Figuur 52 voor Leidsche Rijn. Hieruit blijkt dat van een (getrunceerde) normale verdeling in geen geval sprake is, voor de gemeten noch voor de gesimuleerde patronen. Hierbij moet worden opgemerkt dat voor Amsterdam de tijdsresolutie (eens per 5 minuten) voldoende is om de methode toe te passen op een dataset van enkele tientallen aansluitingen, maar dat de data van Leidsche Rijn niet aan dit criterium voldoen. Dit criterium is echter opgesteld om te zorgen dat momenten van stagnatie een goede kans hebben om geregistreerd te worden. In de data van Leidsche Rijn staan echter wel degelijk stagnaties geregistreerd.



Figuur 51: Normale waarschijnlijkheidsplots voor de validatiemetingen in Amsterdam (a) met bijbehorende simulaties (b).

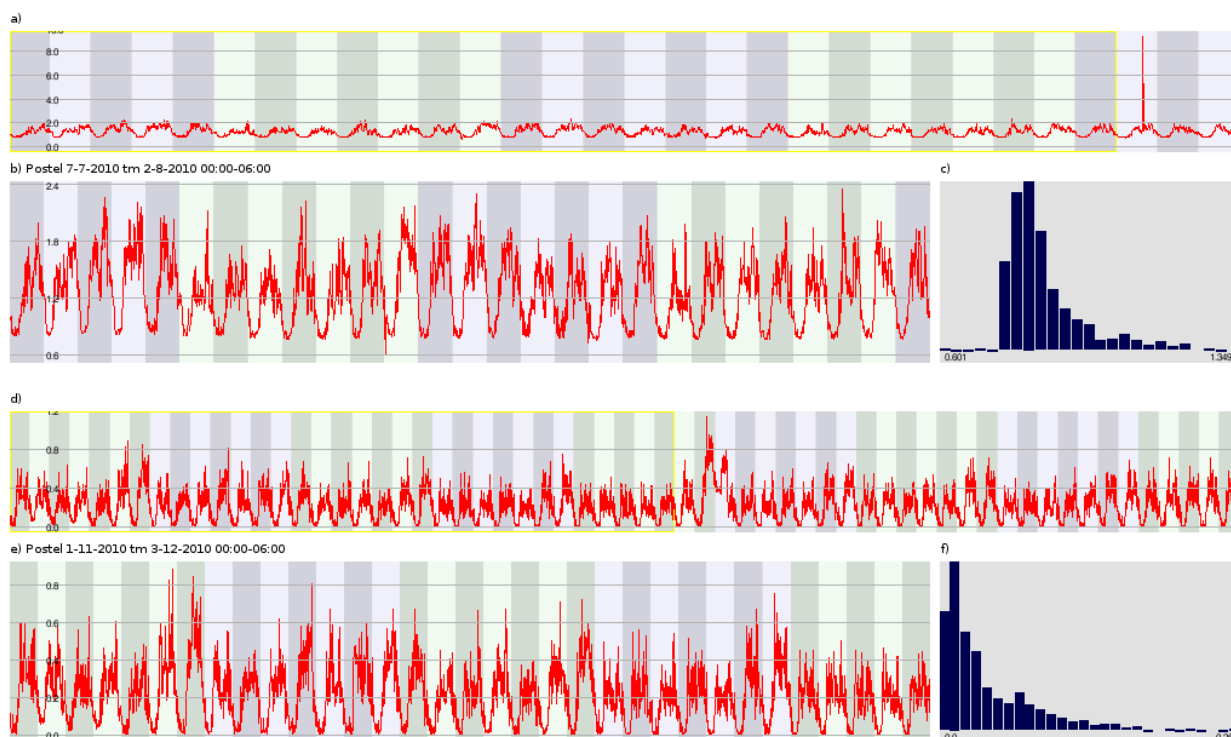


Figuur 52: Normale waarschijnlijkheidsplots voor de validatiemetingen in Leidsche Rijn (a) met bijbehorende simulaties (b).

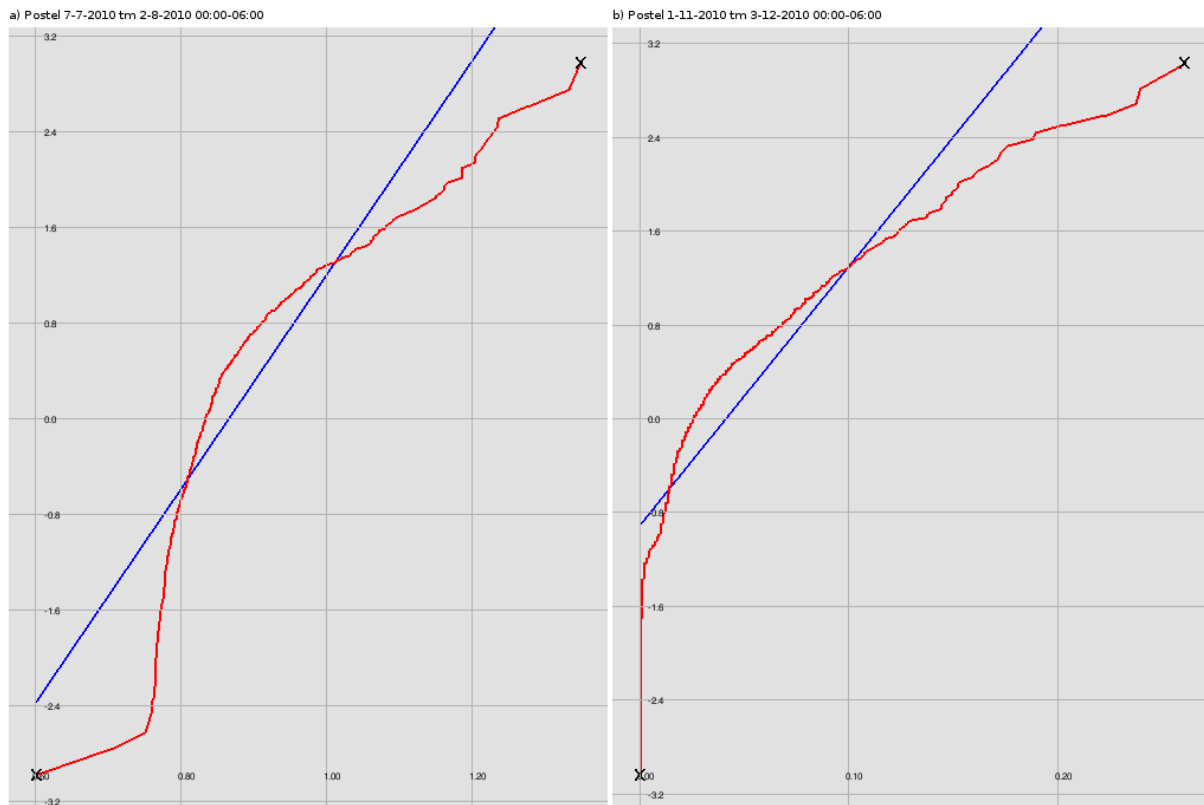
6.3 Toepassing op data Postel

Van alle metingen die in het vorige hoofdstuk zijn besproken bevatten alleen die van Postel plausibele perioden van stagnatie en bovendien is dit het enige gebied dat volgens de criteria van Buchberger en Nadimpalli klein genoeg is om de methode op toe te passen. In dit geval is de meetinterval niet ideaal, namelijk eens per 15 minuten. Echter, ook in dit gebied is gedurende een periode regelmatige stagnatie in de nachtelijke daluren geconstateerd, zodat ook hier het niet strikt voldoen aan dit criterium geen belemmering vormt voor het toepassen van de methode.

Figuur 53 toont een tweetal geregistreerde tijdreeksen uit Postel, eerder besproken in § 5.10. Er wordt ingezoomd op schijnbaar uniforme patronen binnen deze reeksen en hiervoor wordt een histogram van de volumestroom gemaakt voor de tijdvakken 00:00-06:00 (Figuur 53c resp. f). De getoonde histogrammen wekken de suggestie dat de volumestroom hier niet (getrunceerd) normaal verdeeld is.



Figuur 53: Tijdreeksen van de geregistreerde levering aan Postel, met zoom-in op min of meer uniform patroon en histogram van volumestromen in het tijdblok 00:00-06:00. a) periode 7-7-2010 t/m 5-8-2010, b) zoom-in op periode 7-7-2010 t/m 2-8-2010, c) histogram behorende bij b), d) periode 1-11-2010 t/m 31-12-2010, e) zoom-in op periode 1-11-2010 t/m 3-12-2010, f) histogram behorende bij e).



Figuur 54: Normale waarschijnlijkheidsplots voor de twee tijdreeksen (b,e) van Figuur 53 in rood. In het geval van een normale verdeling zou er sprake zijn van een rechte lijn (blauw).

Dit wordt bevestigd in Figuur 54, waarin de betreffende gegevens in de vorm van normale waarschijnlijkheidsplots worden gepresenteerd. In geval van een normale verdeling zouden de data op een rechte lijn liggen en zou de linker staart van de data afwijken van de rechte lijn. Het is duidelijk in deze figuur dat geen significant gedeelte van de dataset op een rechte lijn ligt en dus normaal verdeeld is. Hiermee wordt niet voldaan aan een voorwaarde voor de toepassing van de methode van Buchberger en Nadimpalli (2003).

6.4 Conclusie

Aangezien de uitgevoerde metingen niet volgens getrunceerde normaalverdelingen verdeeld zijn, is het niet mogelijk geweest de methode van Buchberger en Nadimpalli toe te passen. Het kan interessant zijn de methode te generaliseren naar willekeurige statistische distributies. Dit ligt echter buiten het blikveld van dit rapport.

7 Lekverliesbepaling door verdelingsvergelijking

7.1 Inleiding

De in § 3.2 uitgewerkte Vergelijking van LeveringsPatroonVerdelingen-methode wordt in dit hoofdstuk toegepast op alle data die in Hoofdstuk 4 zijn beschreven. Hieraan voorafgaand wordt eerst een gevoeligheidsanalyse van de methode gedaan. Op basis van de resultaten hiervan worden er vuistregels opgesteld voor de toepassing van de VLPV-methode.

7.2 Gevoeligheidsbepaling van de methode

Vergelijking van patronen uit verschillende gebieden

In de beschrijving van de VLPV-methode in § 3.2 wordt gesteld dat patronen van verschillende tijdsblokken uit hetzelfde leveringsgebied met elkaar moeten worden vergeleken, uitgaande van de veronderstelling dat de vorm van het patroon afhangt van de verschillende afnemers die in het leveringsgebied zitten. De vraag dringt zich op in hoeverre de patronen daadwerkelijk significant verschillen tussen de verschillende leveringsgebieden. Indien dit niet het geval is, zouden gemeten leveringen alle gebieden met een enkel standaardpatroon vergeleken kunnen worden. In deze paragraaf wordt dit punt onderzocht.

Figuur 55 toont een vergelijking van patronen (meerdere weken) van de verschillende in het voorgaande onderzochte leveringsgebieden, uitgezet in VLPV-plots (de metingen van de Vlietregio zijn niet meegenomen vanwege het feit dat zij, in tegenstelling tot de andere metingen, slechts een enkele nacht omvatten en daarom te weinig metingen bevatten). Hieruit blijkt dat in sommige gevallen de vormen enigszins overeen komen, hetgeen zich uit in een enigszins rechte VLPV-curve op grote schaal, maar dat er in de details de nodige verschillen schuilen (afwijkingen van de ideale VLPV-curve). Het leveringspatroon van Postel blijkt volledig anders van vorm dan de drie andere.

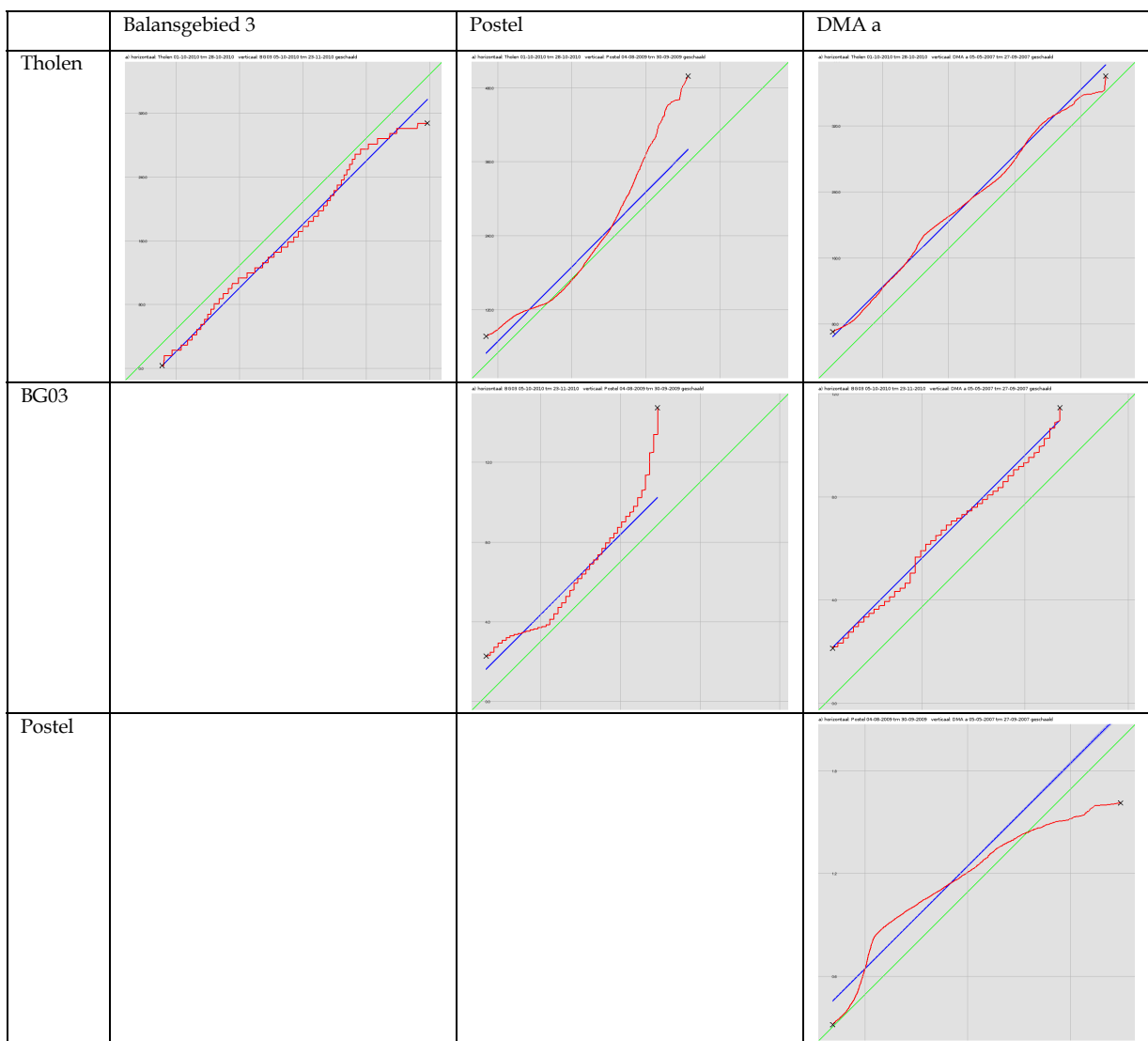
De veronderstelling dat de vorm van een patroon karakteristiek is voor een enkel leveringsgebied is hiermee bevestigd. Het feit dat er bij de vergelijking van Tholen, Balansgebied 3 en DMA a wel een enigszins rechte lijn wordt gevonden, suggereert dat er een wellicht min of meer universeel basispatroon bestaat waarop deze gebieden variaties vormen (die wellicht uit simulaties kunnen worden gehaald).

7.2.2 Vergelijking met SIMDEUM-patronen

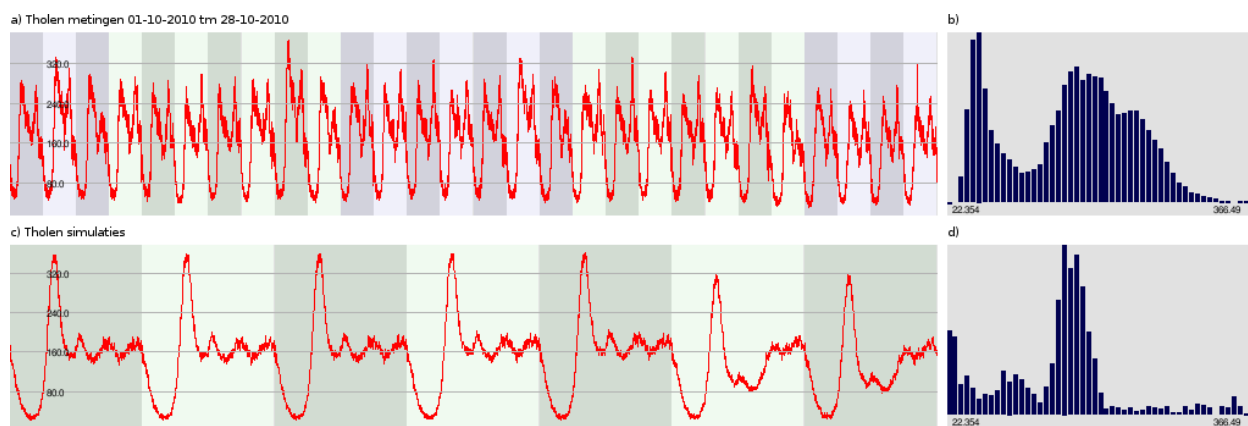
Indien een SIMDEUM-patroon als vergelijkingspatroon voor in een VLPV-plot gebruikt zou kunnen worden, zouden we beschikken over een basispatroon waarmee het absolute NIRG verbruik bepaald kan worden. Hiertoe moet eerst worden vastgesteld in hoeverre door SIMDEUM gegenereerde patronen qua vorm overeenkomen met gemeten patronen.

Vanwege het ontbreken van niet-huishoudelijk verbruik in alle simulaties behalve die voor Tholen, is het vergelijken van volledige patronen in deze gevallen zinloos. Wel kan het zinvol zijn om de patronen te vergelijken voor de nachtelijke daluren, als het niet-huishoudelijk verbruik minimaal is. Ook lenen de validatieberekeningen voor 43 Amsterdamse woningen en voor 512 huishoudens in Leidsche Rijn (§5.3.2) zich voor vergelijking, omdat deze metingen geen niet-huishoudelijk verbruik bevatten.

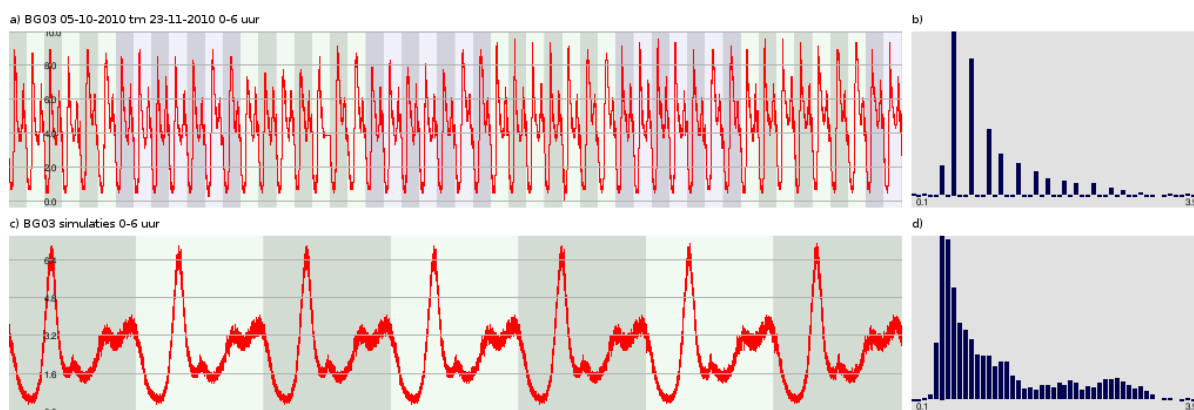
Figuur 56 toont patronen en histogrammen hiervan voor gemeten en gesimuleerd verbruik voor Tholen (inclusief niet-huishoudelijk verbruik) en Figuur 57 voor Balansgebied 3 (alleen huishoudelijk verbruik, periode 00:00-06:00). Deze data zijn in VLPV-plots weergegeven in Figuur 58. In beide gevallen kunnen aanzienlijke afwijkingen worden geconstateerd.



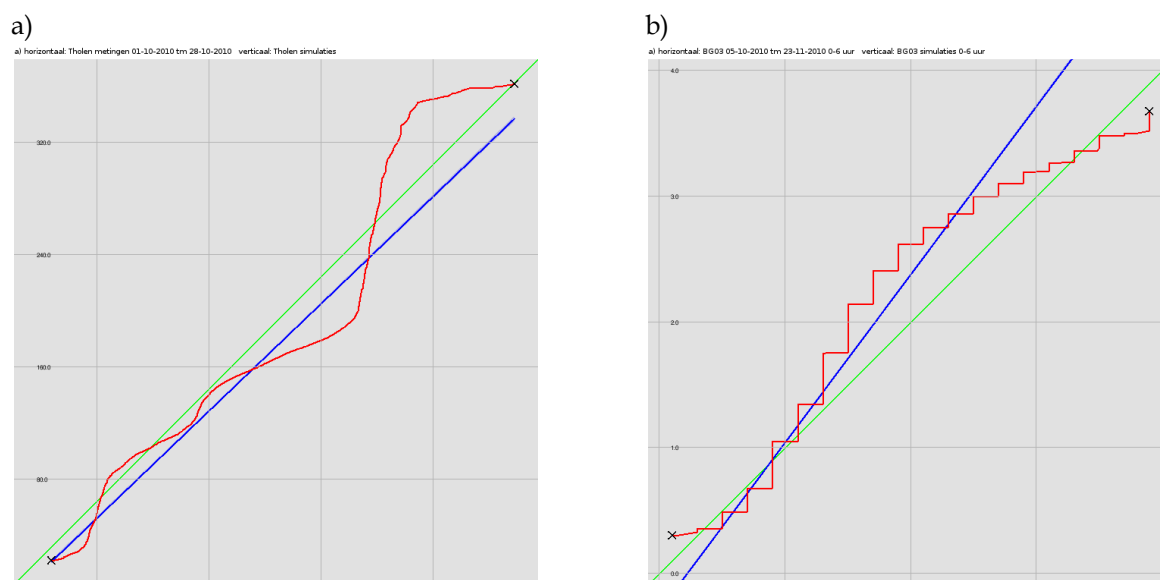
Figuur 55: Vergelijking van leveringspatronen uit verschillende gebieden in VLPV-plots. VLPV-curves worden weergegeven in rood, lineaire fits in blauw en 1:1-lijnen in groen. Let op dat in alle gevallen het tweede patroon is geschaald om vormvergelijking te vereenvoudigen.



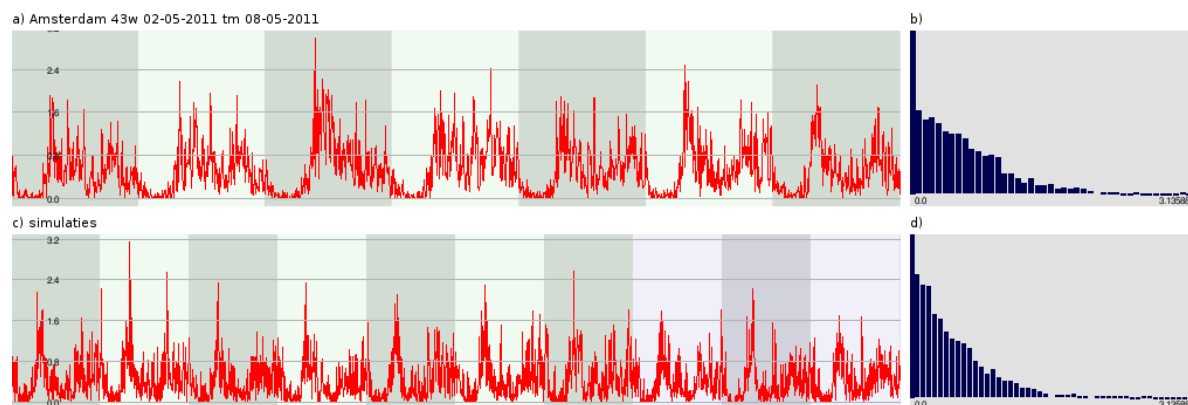
Figuur 56: Vergelijking van gemeten patronen met door SIMDEUM gegenereerde patronen voor Tholen.



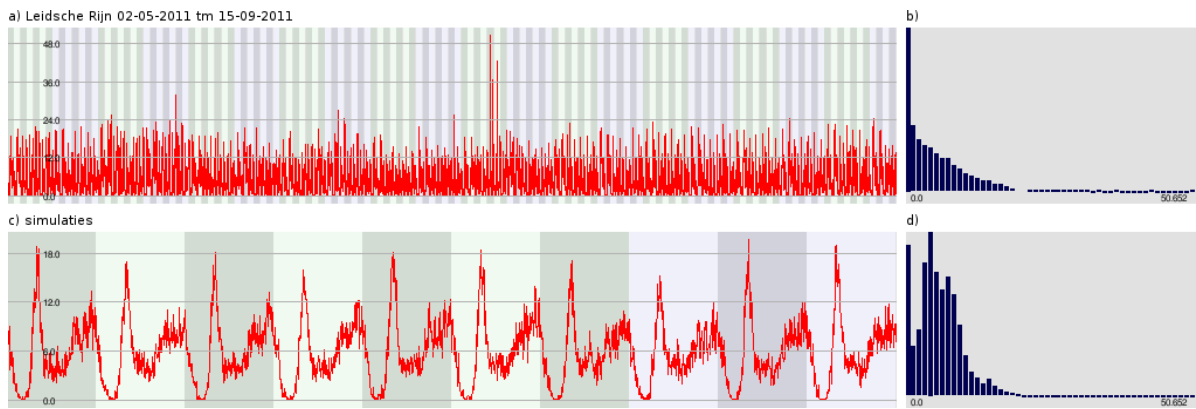
Figuur 57: Vergelijking van gemeten patronen met door SIMDEUM gegenereerde patronen voor Balansgebied 3. Let op dat de simulaties alleen huishoudelijk verbruik omvatten. Om die reden is de vergelijking beperkt tot de periode middernacht tot 6 uur in de morgen.



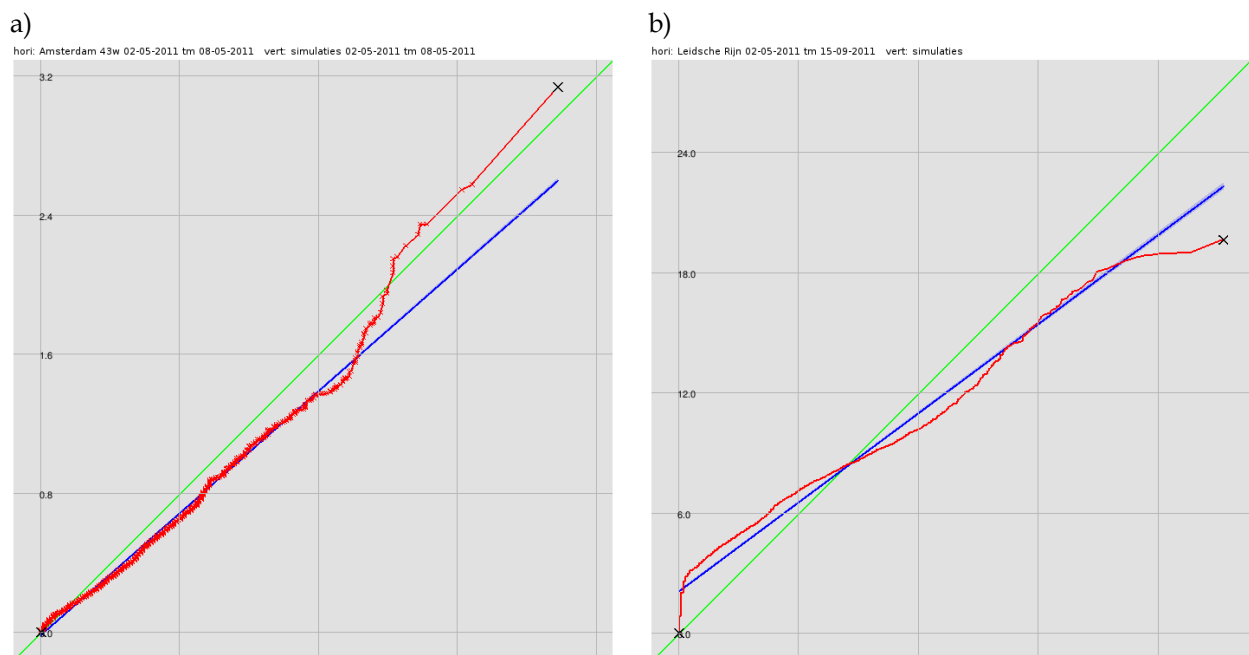
Figuur 58: VLPV-plots voor de vergelijking van gemeten en gesimuleerde patronen voor Tholen (a, volledig verbruik) en Balansgebied 3 (b, alleen huishoudelijk verbruik, . 00:00-06:00). VLPV-curves worden weergegeven in rood, lineaire fits in blauw en 1:1-lijnen in groen.



Figuur 59: Vergelijking van gemeten patronen met door SIMDEUM gegenereerde patronen voor 43 Amsterdamse woningen.



Figuur 60: Vergelijking van gemeten patronen met door SIMDEUM gegenereerde patronen voor Leidsche Rijn (512 woningen).



Figuur 61: VLPV-plots voor de vergelijking van gemeten en gesimuleerde patronen voor Amsterdam (a, 43 woningen, individuele datapunten met kruisjes weergegeven) en Leidsche Rijn (b, 512 woningen). VLPV-curve worden weergegeven in rood, lineaire fits in blauw en 1:1-lijnen in groen.

Figuur 59 toont patronen en histogrammen hiervan voor gemeten en gesimuleerd verbruik voor 43 Amsterdamse woningen (uitsluitend huishoudelijk verbruik) en Figuur 60 voor Leidsche Rijn (alleen huishoudelijk verbruik). Deze data zijn in VLPV-plots weergegeven in Figuur 61. In deze gevallen is de patroonovereenkomst wat betreft vorm aanzienlijk beter dan bij de vergelijkingen voor Tholen en Balansgebied 3. Figuur 61a (Amsterdam, 43 woningen) toont dat verreweg de meeste datapunten dicht bij een rechte lijn liggen, hetgeen een goede patroonovereenkomst aangeeft. Uitzondering vormen enkele datapunten in het piekbereik. Voor Leidsche Rijn (Figuur 61b) worden iets grotere afwijkingen geconstateerd

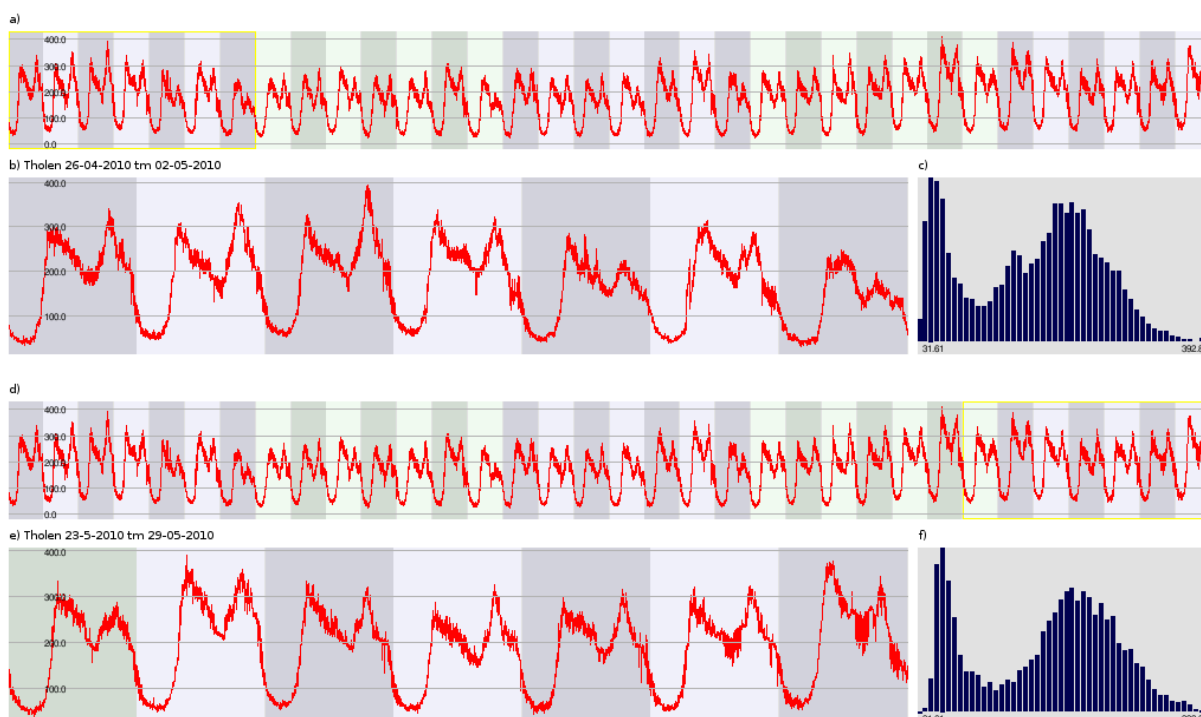
Op basis van deze beperkte vergelijking lijkt het gebruik van SIMDEUM voor het genereren van een basispatroon voor deze methode op het moment niet voldoende robuust maar wel veelbelovend. Een interessante vraag is wat de wisselende mate van overeenkomst tussen gemeten en gesimuleerd patroon veroorzaakt en hoe deze informatie gebruikt kan worden om de voorspellingen van SIMDEUM verder te verbeteren.

7.2.3 Effecten van variabiliteit

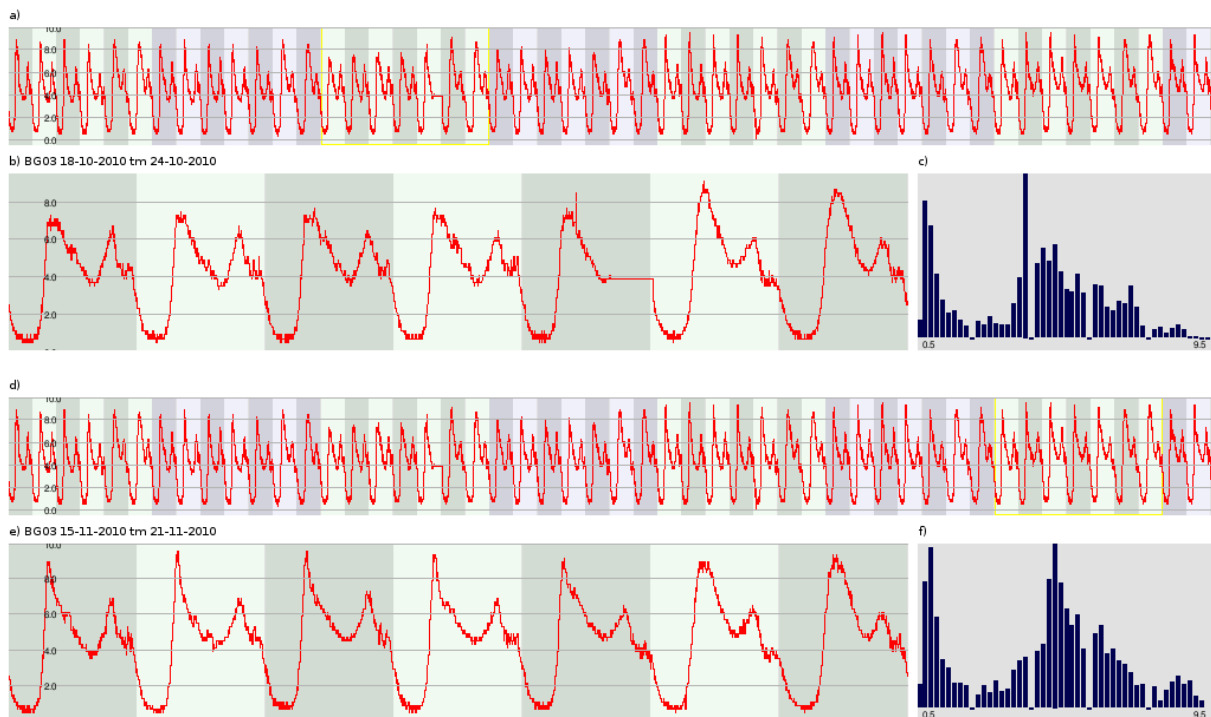
Binnen een patroon van een aantal aansluitende weken van een leveringsgebied treden ook variaties op, bijvoorbeeld samenhangend met weersomstandigheden (tuinsproeien) maar ook met de stochastische aard van de patronen. In Figuur 62 zijn in aaneengesloten meetperiodes voor Tholen en in Figuur 63 voor Balansgebied 3 telkens twee verschillende weken geselecteerd die met elkaar zijn vergeleken. De histogrammen in deze figuur illustreren reeds dat de statistieken van de patronen niet gelijk zijn. De bijbehorende VLPV-plots worden getoond in Figuur 64. Deze laten met name een iets andere helling zien (consistente afwijking), hetgeen duidt op een licht gewijzigd verbruik, maar daarnaast ook enkele afwijkingen van de rechte lijn (inconsistente afwijkingen), die op wijzigingen in het patroon wijzen, met name in het piekverbruik (rechterkant van de curves). Zo is de meest prominente afwijking voor Balansgebied 3 in Figuur 64b volledig toe te schrijven aan het lager zijn van de ochtendpieken in de eerste periode dan in de tweede. Figuur 65 toont de betreffende datapunten in de tweede tijdreeks. In Figuur 63 is te zien dat deze hoger zijn dan de corresponderende pieken in de eerste tijdreeks. Dit hangt waarschijnlijk samen met het feit dat de eerste periode in de herfstvakantie viel.

7.2.4 Effecten van verstoringen

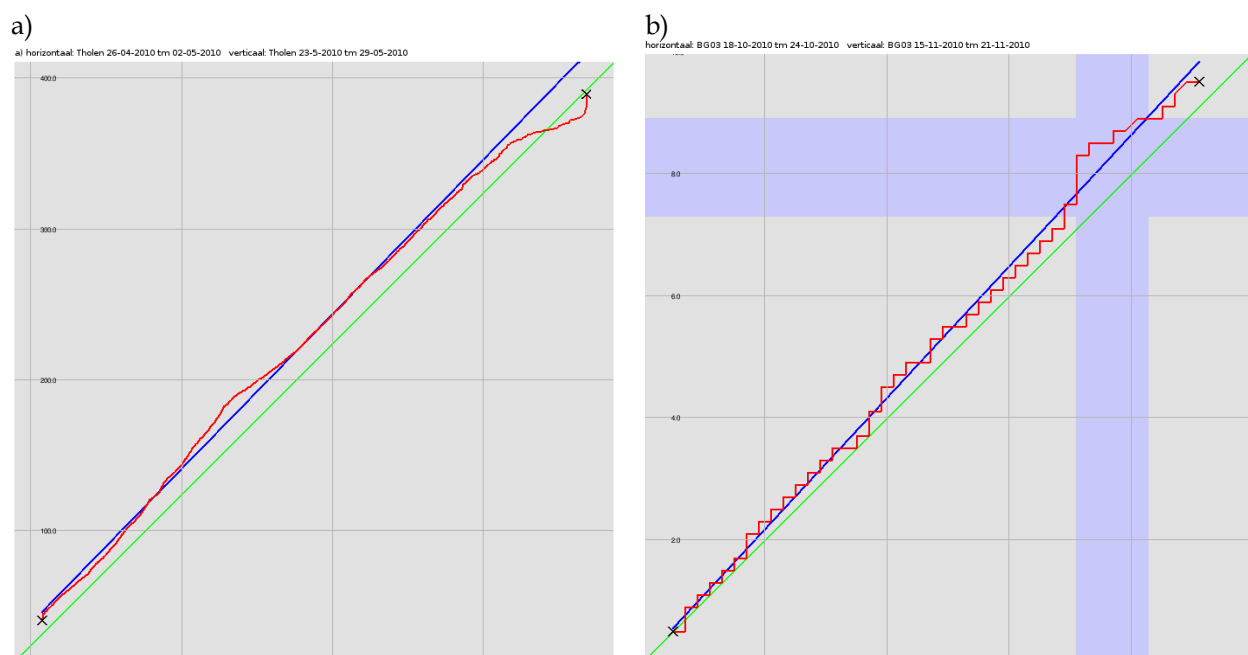
Wanneer de verhouding tussen zakelijke en niet-zakelijke afnemers verandert, of wanneer er afnemers met een specifiek afnamepatroon bijkomen in of vertrekken uit een leveringsgebied, zal het leveringspatroon enigszins van vorm veranderen. Het effect hiervan is reeds schematisch weergegeven in Figuur 8. In deze paragraaf wordt dit effect onderzocht door (inconsistente) verstoringen (zie Tabel 12 en Figuur 66 t/m Figuur 69) aan te brengen in het gemeten patroon van Tholen (oktober 2010) op bepaalde delen van de dag.



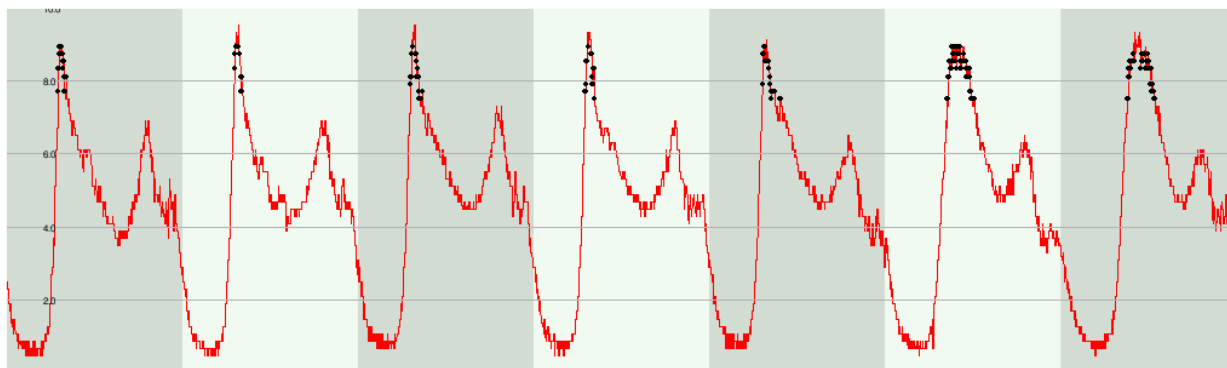
Figuur 62: Weekpatroon en bijbehorend histogram voor twee verschillende weken in een aaneengesloten meetperiode voor Tholen.



Figuur 63: Weekpatroon en bijbehorend histogram voor twee verschillende weken in een aaneengesloten meetperiode voor Balansgebied 3.



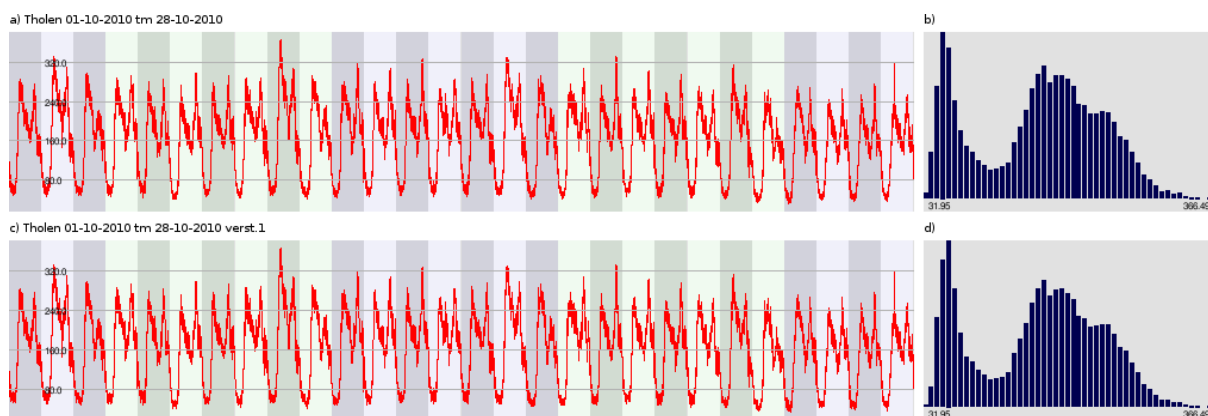
Figuur 64: VLPV-plots voor de vergelijking van gemeten patronen voor twee verschillende weken in aaneengesloten meetperiodes voor Tholen (a) en Balansgebied 3(b). VLPV-curves worden weergegeven in rood, lineaire fits in blauw en 1:1-lijnen in groen. Datapunten uit het blauw gekleurde gebied zijn weergegeven in Figuur 65.



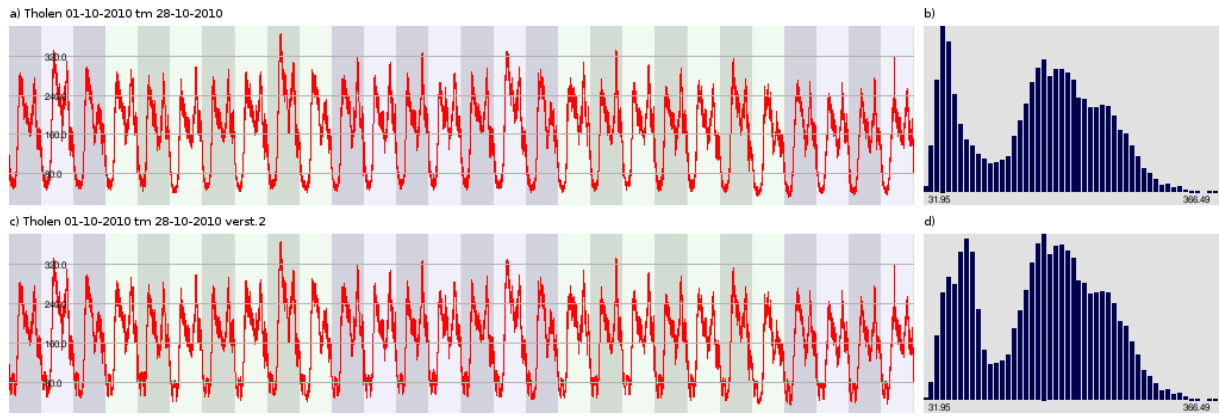
Figuur 65: Localisatie van de meeste prominente afwijking (zwarte stippen) rechtsboven in Figuur 64b (blauw gekleurd gebied): Lagere ochtendpieken in de eerste periode, die samenvalt met de herfstoakantie.

Tabel 12: Toegepaste verstoringen op het patroon van Tholen (oktober 2010) ter verkenning van het effect hiervan op de VLPV-plots. Let op dat de gemiddelde levering in deze periode ca 163 m³ per uur is en ochtendpieken rond de 300 m³/uur liggen.

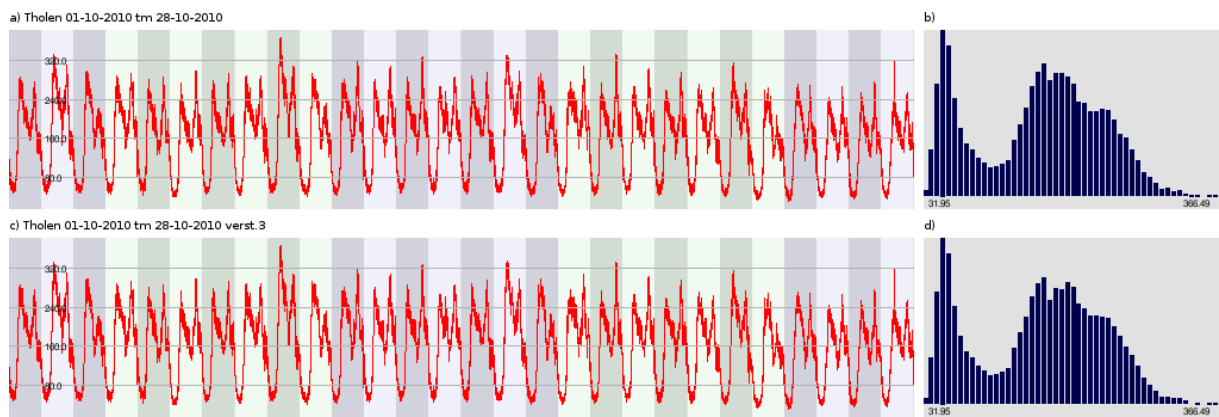
verstoring	volumestroom	tijd
1	+5 m ³ /uur	02:00-04:00
2	+30 m ³ /uur	02:00-04:00
3	+5 m ³ /uur	10:00-14:00
4	+30 m ³ /uur	10:00-14:00
5	+10% +30 m ³ /uur	volledig patroon 10:00-14:00



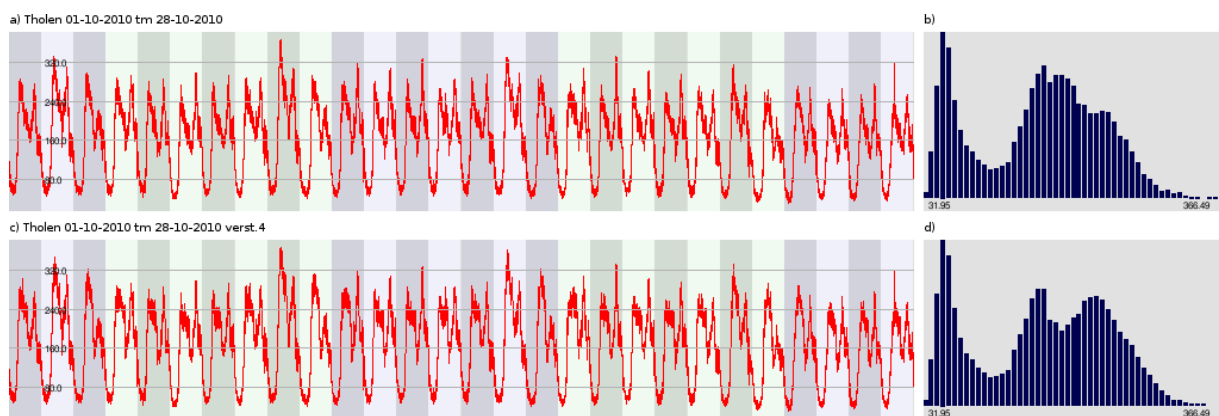
Figuur 66: Basispatroon en patroon met verstoring 1 met bijbehorende histogrammen.



Figuur 67: Basispatroon en patroon met verstoring 2 met bijbehorende histogrammen.

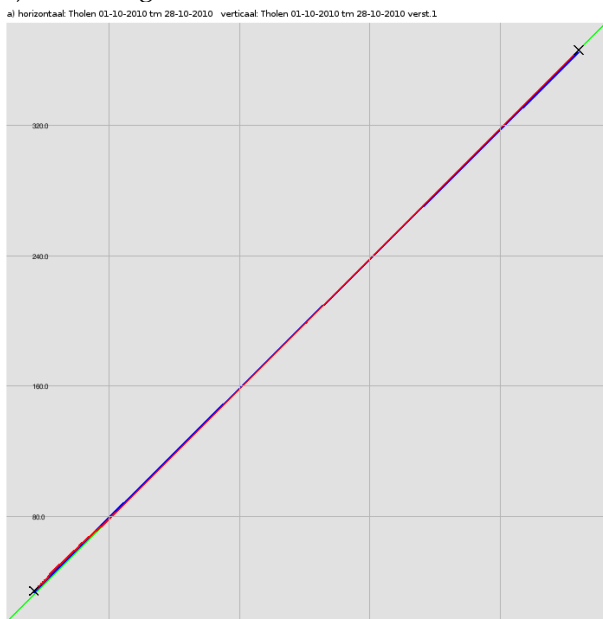


Figuur 68: Basispatroon en patroon met verstoring 3 met bijbehorende histogrammen.

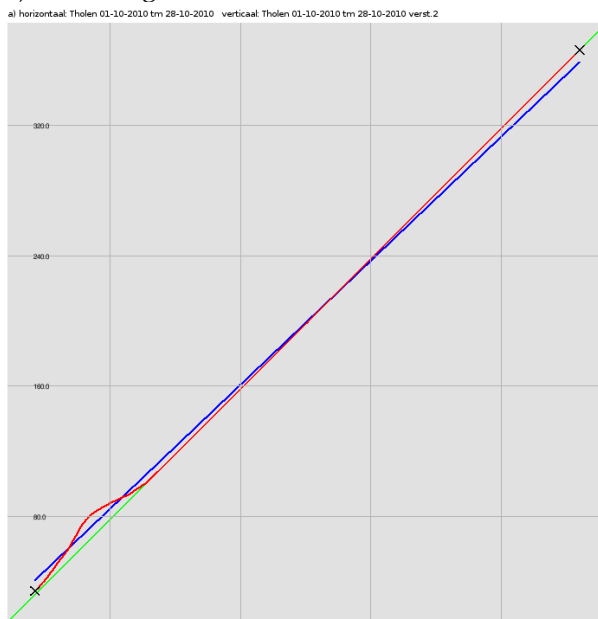


Figuur 69: Basispatroon en patroon met verstoring 4 met bijbehorende histogrammen.

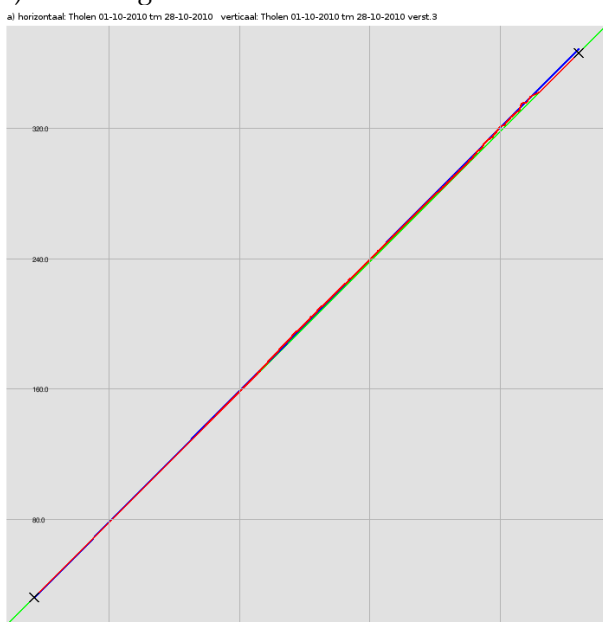
a) verstoring 1



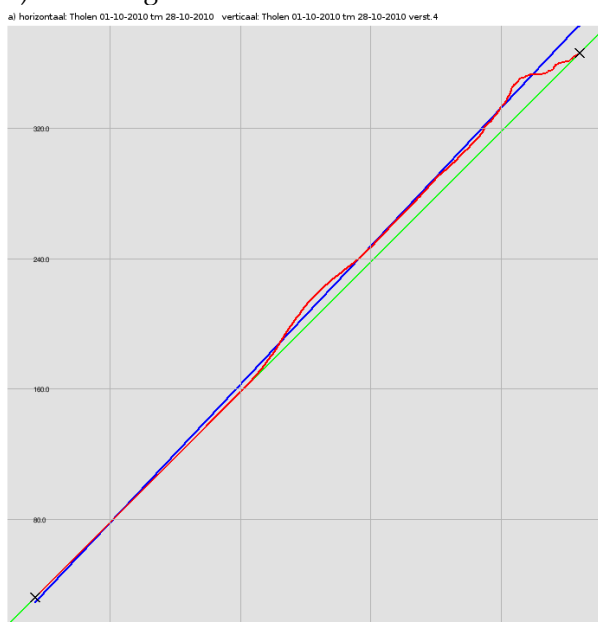
b) verstoring 2



c) verstoring 3



d) verstoring 4

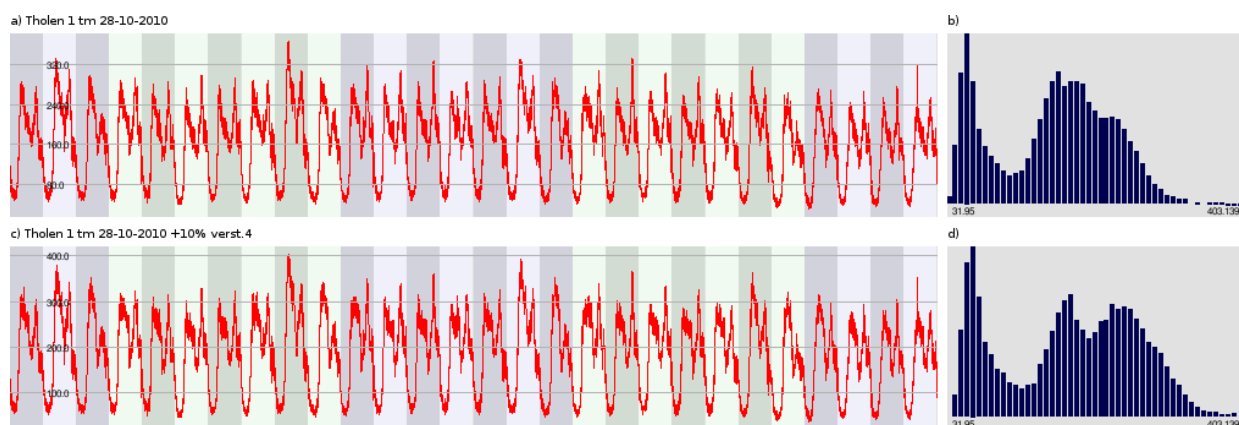


Figuur 70: VLPV-plots voor metingen van Tholen gesteld tegen dezelfde metingen met een verstoring volgens Tabel 12. VLPV-curves worden weergegeven in rood, lineaire fits in blauw en 1:1-lijnen in groen.

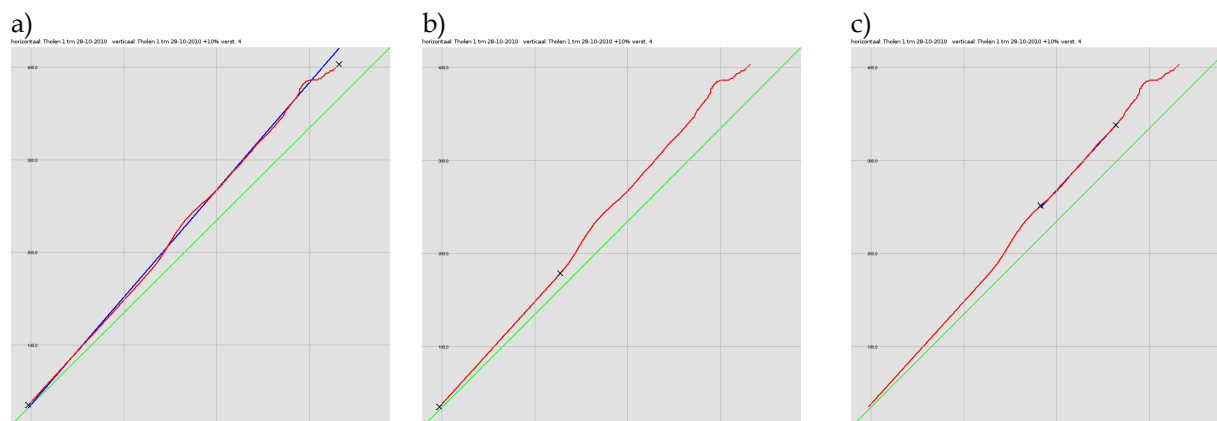
De inconsistente verstoring van 5 m³/uur (op een gemiddelde levering in deze periode van ca 163 m³ per uur en ochtendpieken rond de 300 m³/uur) zien we nauwelijks terug in de VLPV-plot van Figuur 70a en c. Een inconsistente verstoring van 30 m³/uur daarentegen is wel duidelijk herkenbaar, zowel in Figuur 70b (verstoring 2, in de nacht) als in Figuur 70d (verstoring 4, overdag). In beide gevallen is slechts een deel van de curve verstoord en valt het overige deel nog steeds precies samen met de ideale curve.

In een volgende test wordt het gecombineerde effect van een uniforme schaling van de watervraag (+10%) met een extra volumestroom van 30 m³/uur tussen 10:00 en 14:00 bekeken (verstoring 5). De bijbehorende tijdreeksen en histogrammen zijn weergegeven in Figuur 71 en de VLPV-plot in Figuur 72a-c. De histogrammen tonen reeds duidelijk dat de verschuiving van het verbruik uitsluitend optreedt bij de hogere volumestromen. Dit is eveneens goed terug te zien in de VLPV-plots. Wanneer een lineaire

fit wordt gemaakt van het volledige, verstoorde patroon (Figuur 72a), dan krijgen we hier voor de helling $a=1,16$ uit en voor de intercept $b=-4,80$. Deze waarden wijken duidelijk af van de ingebrachte schaling ($a=1,10$) en verstoring ($b=30,0$ voor het tijdblok 10:00-14:00 en $b=0,0$ voor de overige tijden). Wanneer de fit echter uitsluitend van het onverstoord gedeelte van de VLPV-curve wordt gemaakt (Figuur 72b), dan vinden we de ingebrachte waarden wel nagenoeg exact terug: $a=1,101$ en $b=-0,066$). Uit een fit op het centrale deel van de verstoord curve (Figuur 72c) komt de schalingsfactor iets minder goed terug ($a=1,094$) en de interceptfactor is duidelijk anders ($b=11,27$). Dit komt doordat een deel van de gegevens die zich in deze sectie van de curve bevinden verstoord zijn (+30m³/uur) en een deel ervan niet, aangezien de karakteristieke volumestromen uit de periode 10.00-14.00 plus 30 m³/uur ook buiten deze periode veelvuldig voorkomen (zie histogrammen Figuur 71).



Figuur 71: Effect van schaling en lokale verstoring van het leveringspatroon van Tholen (oktober 2010) op de verdelingsvergelijking: Vergelijking van patronen en histogrammen.

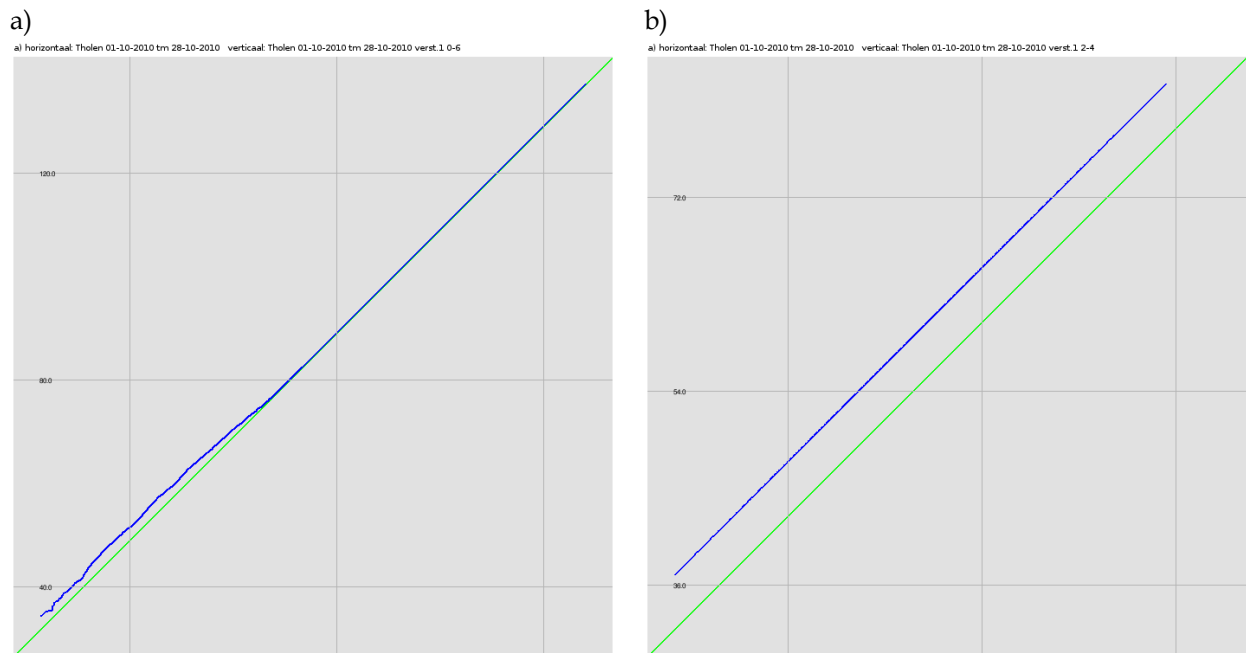


Figuur 72: Effect van schaling en lokale verstoring van het leveringspatroon van Tholen (oktober 2010) op de verdelingsvergelijking. a) VLPV-plot met lineaire fit van gehele patroon; b) VLPV-plot met lineaire fit van onverstoord deel van het patroon; c) VLPV-plot met lineaire fit van het centrale verstoord deel van het patroon. VLPV-curves worden weergegeven in rood, lineaire fits in blauw en 1:1-lijnen in groen.

7.2.5 Effecten van de omvang van het tijdsvenster

De toegepaste methode is toepasbaar op willekeurige tijdsvensters in een meetreeks. Zo kan men bijvoorbeeld besluiten de vergelijking uitsluitend toe te passen op alle metingen die tussen middernacht en 5 uur 's morgens zijn uitgevoerd – voor de methode maakt dit geen verschil. Het nut hiervan kan worden geïllustreerd aan de hand van het eerste verstoringsvoorbeeld uit de vorige paragraaf. In Figuur 70a is het effect van deze verstoring nauwelijks terug te zien. Wanneer we het tijdsvenster echter beperken tot de periode 00:00-06:00 (Figuur 73a), wordt de verstoring al veel duidelijker zichtbaar, en

wanneer het tijdvenster gelijk wordt gesteld aan het verstoringsvenster (Figuur 73b), dan wordt de verstoring direct en exact teruggevonden ($b=5 \text{ m}^3/\text{uur}$, $R^2=1,0$). Dit betekent dat het inzoomen op een bepaald tijdvenster als hulpmiddel kan worden gebruikt om een specifieke verstoring te identificeren en te karakteriseren.



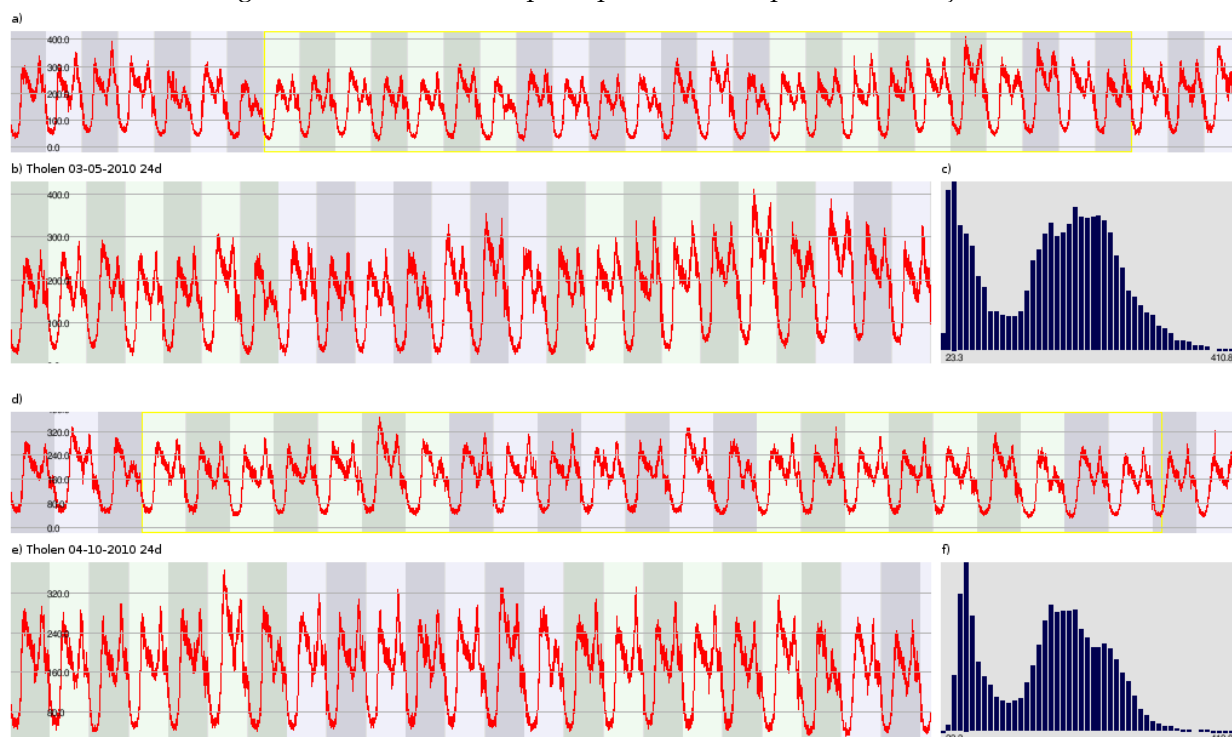
Figuur 73: VLPV-plots voor de vergelijking van een onverstoord dataset met een verstoord dataset (verstoring 1, zie Tabel 12) met tijdvensters 00:00-06:00 (a) en 02:00-04:00 (b). Fitlijnen zijn weggelaten om een duidelijker beeld te geven. VLPV-curves worden weergegeven in rood, lineaire fits in blauw en 1:1-lijnen in groen.

7.2.6 Effecten van de lengte van de vergelijkingsperiode

Om het effect van de keuze van de vergelijkingsperiode te illustreren, wordt een vergelijking uitgevoerd tussen metingen van Tholen van mei en oktober 2010. Telkens wordt een tijdreeks voor elk van de gebieden genomen vanaf een vaste startdatum met een vergelijkingsperiode beginnende met 6 uur en oplopend tot 24 dagen. De vergeleken patronen en maximale vergelijkingsperiode zijn weergegeven in Figuur 74. De uit de vergelijking volgende VLPV-diagrammen zijn weergegeven in Figuur 75. Deze laat zien dat de patroonovereenkomst in algemene zin beter wordt naarmate de vergelijkingsperiode langer wordt. Echter, willekeurige afwijkingen op individuele dagen blijken een sterke invloed te hebben op het totaalbeeld bij de gebruikte vergelijkingsperiodes. De geconstateerde algemene trend wordt bevestigd door de toenemende determinatiecoëfficiënt R^2 voor toenemende lengte van de vergelijkingperiode in Tabel 13. De gevoeligheid voor afwijkingen op een enkele dag wordt bevestigd door het niet-monotoon toenemen van R^2 . Let op dat de variaties in de getallen in Tabel 13 met name indicatief zijn voor de variabiliteit van het patroon van dag tot dag. Zo is de plotselinge afname van de helling (coëfficiënt a) in Figuur 75h te verklaren uit het plotseling hogere waterverbruik in de laatste dagen van de vergelijkingperiode in patroon 1 (zie Figuur 74). Wanneer dit in het achterhoofd wordt gehouden, doet het geen afbreuk aan de toepasbaarheid van de methode.

Telkens moet worden bedacht dat de gevonden fit en parameters a en b formeel uitsluitend betekenis hebben voor de vergelijking tussen de gekozen perioden. Wanneer de gekozen perioden kort zijn en de variabiliteit in de patronen relatief groot, dan kunnen de parameters a en b relatief sterk afwijken wanneer iets andere vergelijkingsperiodes gekozen worden. Dit is duidelijk te zien in de eerste paar afbeeldingen van Figuur 75. Men moet echter duidelijk voor ogen houden dat voor ieder van de gekozen periodevergelijkingen de gevonden waarden van a en b juist zijn. De vraag is wel in hoeverre zij representatief zijn. Wanneer een korte vergelijkingsperiode wordt gekozen zal dit minder waarschijnlijk

zijn dan wanneer een lange vergelijkingsperiode wordt gekozen. De representativiteit moet worden beoordeeld door degene die de methode toepast op basis van inspectie van de tijdreeksen.

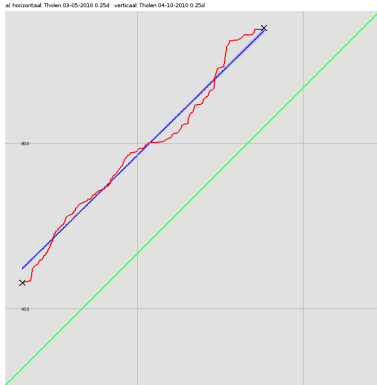


Figuur 74: Met elkaar vergelijken tijdreeksen van Tholen van 3 t/m 26 mei 2010 (a-c) en 4 t/m 27 oktober 2010 (d-f). Beide zijn een selectie (b,e) uit een langere tijdreeks (a,d).

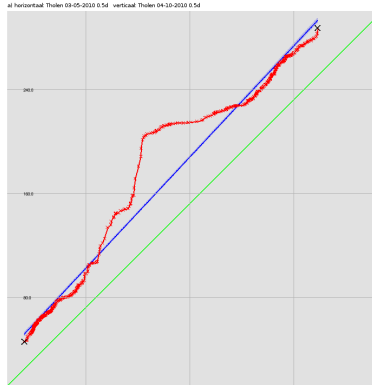
Tabel 13: Fitparameters voor verschillende lengten van de vergelijkingsperiode voor Tholen.

lengte	helling a	intercept b	R^2
6 uur	0,9861	24,51	0,9831
12 uur	1,071	24,66	0,9784
1 dag	1,040	20,18	0,9958
2 dagen	0,9886	17,62	0,9961
4 dagen	0,9681	14,08	0,9978
8 dagen	1,006	12,49	0,9965
16 dagen	0,9592	18,41	0,9988
24 dagen	0,8710	16,84	0,9991

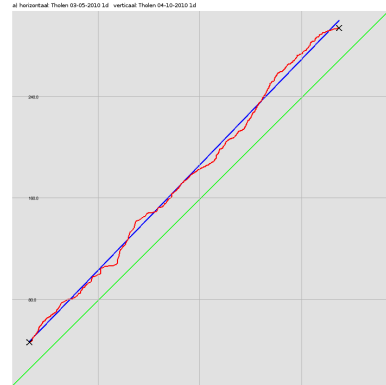
a) 6 uur



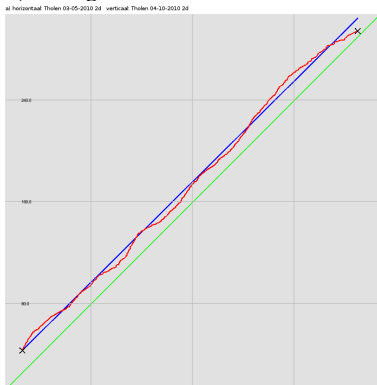
b) 12 uur



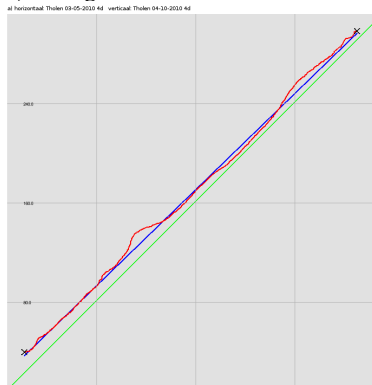
c) 1 dag



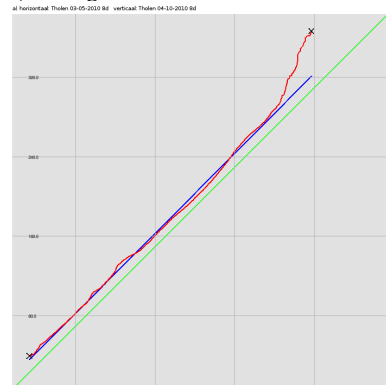
d) 2 dagen



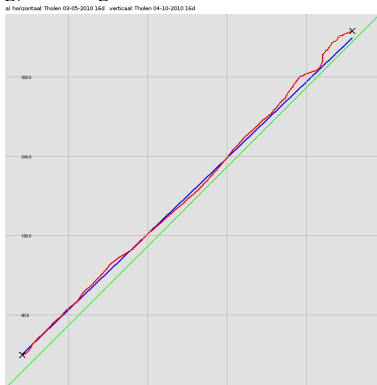
e) 4 dagen



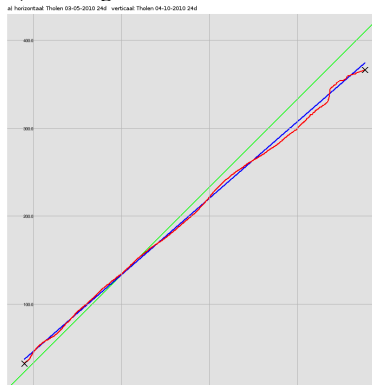
f) 8 dagen



g) 16 dagen

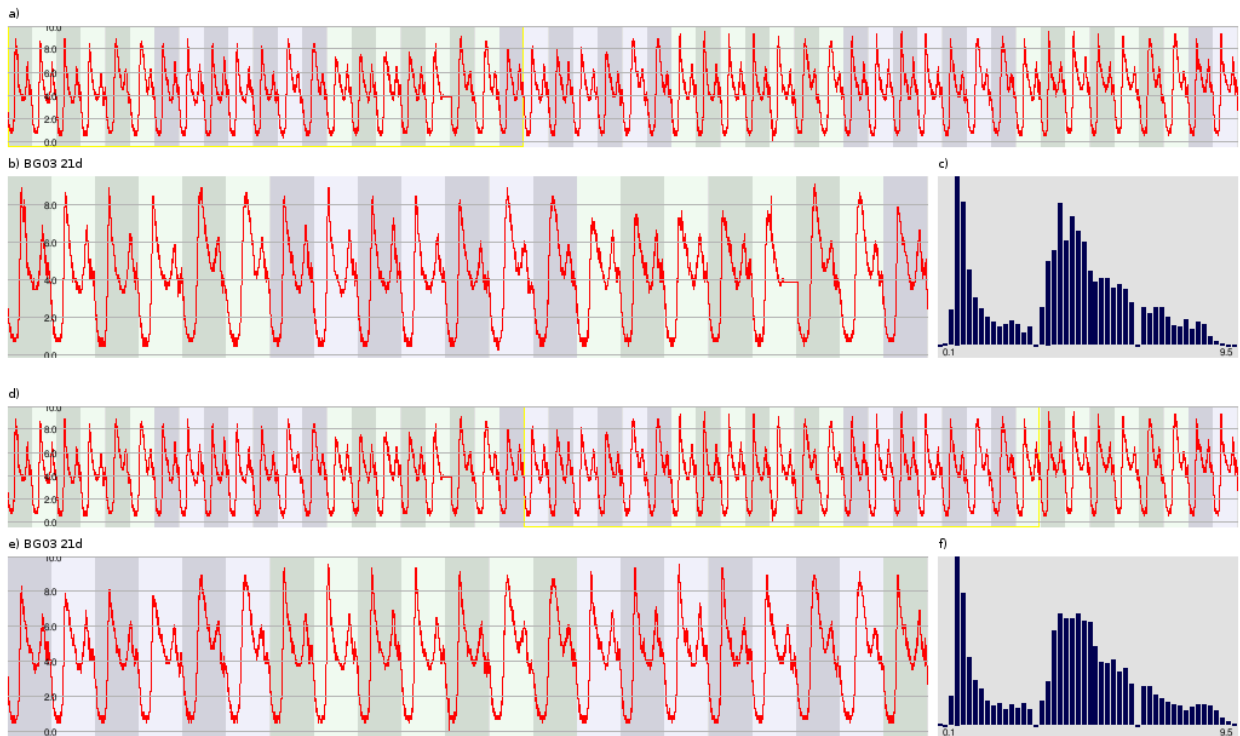


h) 24 dagen



Figuur 75: VLPV-plots voor Tholen voor een oplopende lengte van de vergelijkingsperiode van 6 uur (a) tot 24 dagen (h). VLPV-curves worden weergegeven in rood, lineaire fits in blauw en 1:1-lijnen in groen.

Dezelfde exercitie kan worden uitgevoerd op de data van Balansgebied 3. Hier kiezen we ervoor om de periode van oktober-november in twee blokken te splitsen die met elkaar worden vergeleken. Let op dat we hierbij in feite vrijwel identieke patronen vergelijken en dus een hellingscoëfficiënt $a=1$ en een interceptcoëfficiënt $b=0$ verwachten. Op het eerste oog lijkt er in deze data minder variatie van dag tot dag te zitten dan in de data van Tholen (Figuur 76). Dit wordt weerspiegeld in de VLPV-plots voor oplopende vergelijkingsduur in Figuur 77, die vanaf 8 dagen een uitstekende (nauwelijks afwijkingen van de rechte lijn) overeenkomst tonen (zie ook Tabel 14). We zien wel dat zowel de helling als de intercept voor de vergelijkingsduren 8, 16 en 24 dagen duidelijk anders zijn. Deze afwijkingen representeren lichte wijzigingen in het leveringspatroon gedurende de volledige periode van 24 dagen, waarvan de perioden van 8 en 16 dagen deelverzamelingen zijn.



Figuur 76: Met elkaar vergelijken tijdreeksen van Balansgebied 3 van 5 t/m 25 oktober 2010 (a-c) en 26 oktober 2010 t/m 15 november 2010 (d-f). Beide zijn een selectie (b,e) uit een langere tijdreeks (a,d).

Tabel 14: Fitparameters voor verschillende lengten van de vergelijkingsperiode voor Balansgebied 3.

lengte	helling a	intercept b	R^2
6 uur	1,133	-0,3399	0,9479
12 uur	0,9245	-0,01288	0,9904
1 dag	0,9391	0,1311	0,9835
2 dagen	0,9596	0,1438	0,9861
4 dagen	0,9699	0,1716	0,9904
8 dagen	1,001	0,05947	0,997
16 dagen	1,026	0,01556	0,998
21 dagen	1,03	-0,0056	0,9979

7.2.7 Effect van meetinterval

Het meetinterval van de volumestroomgegevens moet voldoende kort zijn om de vorm van het patroon te karakteriseren. De vraag is echter wat voldoende is. Om dit vast te stellen zijn de meetgegevens van Tholen (§ 4.2) meet een oorspronkelijke meetinterval van 1 minuut geaggregeerd tot tijdreeksen met een grotere meetinterval. De fitparameters voor de bijbehorende VLPV-curves zijn weergegeven in Tabel 15. Deze tabel laat zien dat de fitparameters bij een meetinterval van 1 uur nog steeds erg dicht bij die van 1 minuut liggen, met slechts een afwijking in de derde decimaal. Langere intervallen resulteren in een onderschatting van de schaalfactor a en een overschatting van de interceptfactor b .

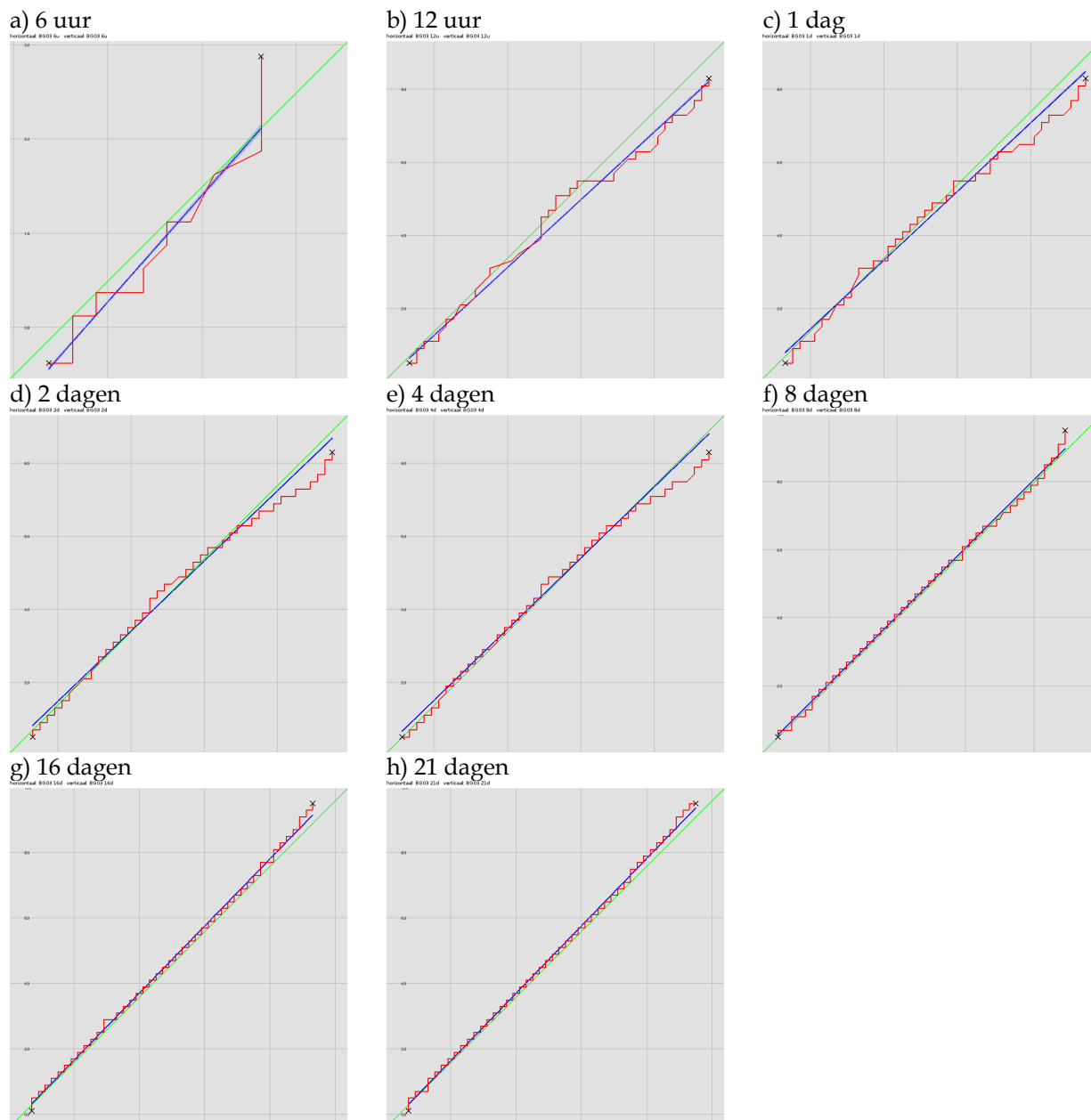
Tabel 15: Variatie van VLPV-fitparameters als functie van de meetinterval. De vergelijking is gemaakt op basis van data met een meetinterval van 1 minuut, waarbij de langere intervallen zijn verkregen door aggregatie van de 1-minuutsdata.

meetinterval	schaalfactor a (-)	intercept b (m^3/uur)
1 minuut	0,874	12,6
15 minuut	0,873	12,8
1 uur	0,870	13,2
4 uur	0,863	14,3
8 uur	0,844	17,5
24 uur	0,716	38,1

7.3 Vuistregels voor de toepassing van de VLPV-methode

Op basis van de ervaringen opgedaan bij de gevoeligheidsanalyse in de vorige paragraaf kunnen we een aantal vuistregels opstellen voor de toepassing van de VLPV-methode:

- Hoewel zelfs een vergelijking van patronen met een lengte van minder dan een dag interpreteerbare beelden oplevert, wordt een stabiel beeld gevonden bij patronen van minimaal enkele weken lengte.
- Wanneer een deel van de VLPV-curve afwijkt van de ideale rechte lijn, spreken we van een verstoring.
- Interceptwaarden b moeten worden vastgesteld op basis van die delen van de VLPV-curve die duidelijk niet verstoord zijn. Deze geven aan welke volumestroom in het tweede patroon niet door schaling van het eerste patroon wordt verkregen (inconsistente veranderingen) en dus indicatief kunnen zijn voor veranderd lekverlies.
- Afwijkende/verstoorde delen van VLPV-plots zijn niet geschikt om intercepts te bepalen. Indien zij duidelijk op een rechte lijn liggen zijn zij wel geschikt om hellingscoëfficiënten a te bepalen. Deze representeren de patroonschalingsfactor en dus consistente veranderingen.
- Hellingscoëfficiënten a kunnen uiteraard ook uit niet-verstoorde delen van de VLPV-plot worden gehaald.
- De minimale omvang van het leveringsgebied waarop de methode kan worden toegepast wordt bepaald door het aantal aansluitingen dat nodig is om een coherent en (in grote lijnen) reproduceerbaar leveringspatroon te genereren.
- Variaties van dag tot dag in de watervraag moeten in het oog worden gehouden bij de interpretatie van VLPV-plots.
- Bij toepassing van verschillende vergelijkingsduren levert geen van de duren 'de juiste' waarden van a en b op. Alle leveren de juiste waarde voor de gekozen perioden. Het is aan degene die de methode toepast om te beoordelen welke perioden representatief zijn.



Figuur 77: VLPV-plots voor Balansgebied 3 voor een oplopende lengte van de vergelijkingsperiode van 6 uur (a) tot 21 dagen (h). VLPV-curves worden weergegeven in rood, lineaire fits in blauw en 1:1-lijnen in groen.

7.4 Toepassing op de testgebieden

7.4.1 Tholen

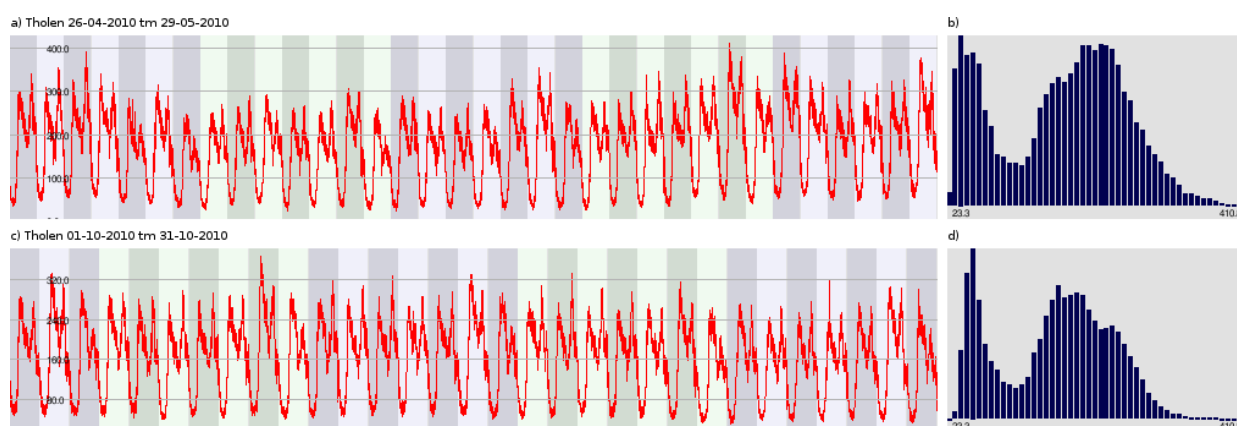
Voor Tholen (Evides) zijn leveringsgegevens van de periode 26-4-2010 t/m 29-5-2010 vergeleken met de leveringsgegevens van oktober 2010 die in Hoofdstuk 5.8 zijn behandeld. De histogrammen (Figuur 78) van de respectievelijke tijdreeksen laten het volgende zien:

- een iets bredere distributie van de lage volumestromen in april-mei dan in oktober, hetgeen kan worden geïnterpreteerd als een grotere variabiliteit in het minimale (nacht-)verbruik
- een hogere frequentie van hoge volumestromen in april-mei dan in oktober.

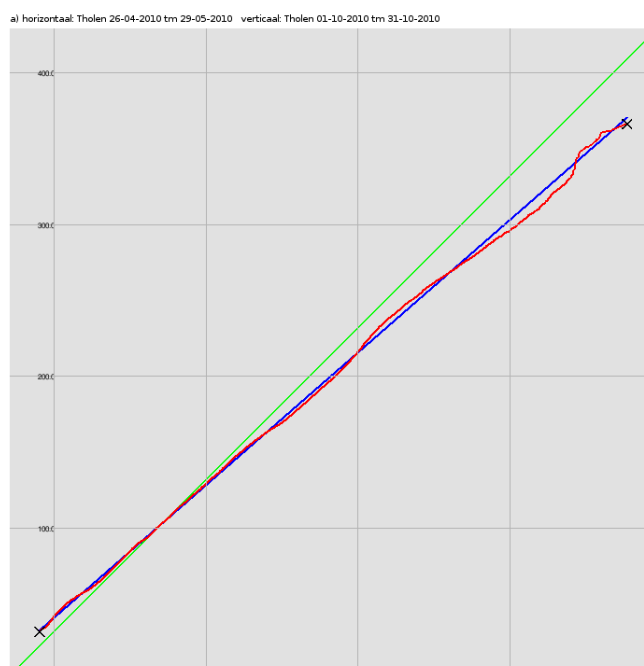
Wanneer beide herbemonsterde gesorteerde tijdreeksen tegen elkaar worden uitgezet (Figuur 79), zien we dat de data netjes op een rechte lijn liggen ($R^2=0.9991$), met een helling (schalingsfactor a) van 0,874 en een y-intercept (optelfactor b) van $12,6 \text{ m}^3/\text{uur}$. Uitgaande van uniforme schaling en verschuiving (conform het rechtlijnige karakter van de curve) betekent dit dat het verbruik in oktober gemiddeld 87,4% van dat in april-mei was, oftewel 12,6% lager lag in oktober dan in de periode eind april-eind mei 2010 (NB: de overeenkomst tussen de afname van 12,6% en de verschuiving van $12,6 \text{ m}^3/\text{uur}$ is toeval). De hangt vermoedelijk samen met:

- het mooie weer van eind april 2010;
- het verblijf van meer toeristen op Tholen in de eerste periode.

Het feit dat de factor b niet gelijk is aan nul geeft aan dat het gemiddelde niet-schalende deel van het verbruik, mogelijk te interpreteren als NIRG, in de periode oktober 2010 gemiddeld $12,6 \text{ m}^3/\text{uur}$ hoger lag dan in de periode eind april-eind mei 2010.



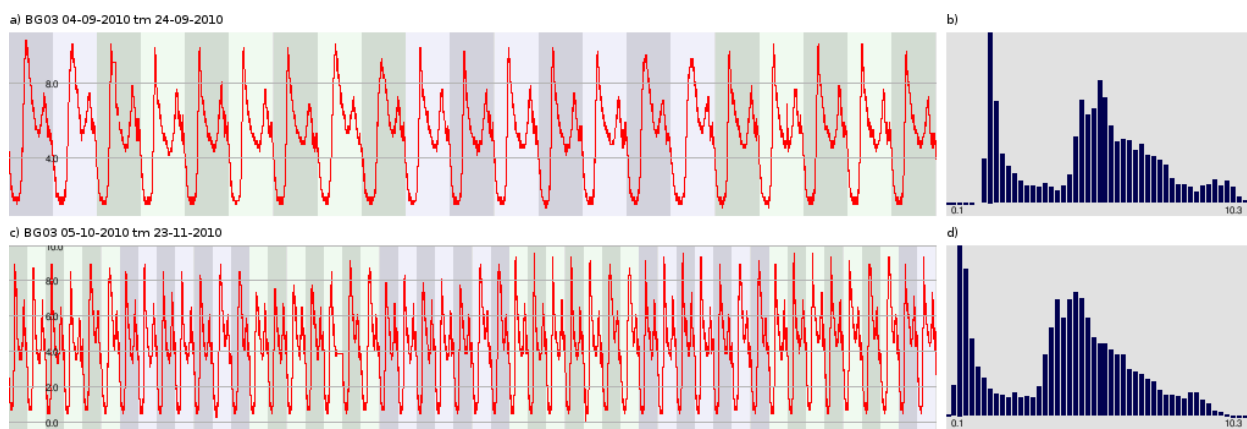
Figuur 78: Leveringspatronen en histogrammen van Tholen voor de perioden 26-4-2010 t/m 29-5-2010 en oktober 2010.



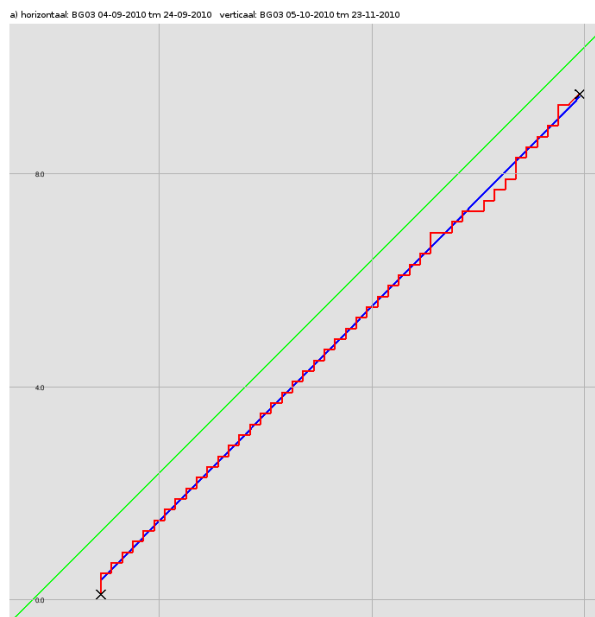
Figuur 79: Bijbehorende VLPV-plot voor Tholen. VLPV-curves worden weergegeven in rood, lineaire fits in blauw en 1:1-lijnen in groen.

7.4.2 Balansgebied 3

Vergelijkbare plots zijn gemaakt voor Balansgebied 3 van Vitens Midden Nederland in Figuur 80 en Figuur 81. Hierbij is het leveringspatroon van voor de in § 4.3 beschreven reparatie van een lek (Figuur 80a,b) uitgezet tegen het leveringspatroon in de periode na de reparatie (Figuur 80c,d). De reparatie van het lek is goed terug te zien in de relatieve verschuiving van het volledige histogram; qua vorm zijn de histogrammen verder redelijk vergelijkbaar. De VLPV-plot in Figuur 81 toont opnieuw een strakke rechte lijn ($R^2=0,998$), hetgeen op vormgelijkheid van de patroonfrequentieverdelingen wijst. Let op dat de stapvorm van het patroon wordt veroorzaakt door het beperkte aantal decimalen in de verkregen leveringsdata. Een lineaire kleinste kwadratenfit door deze curve levert een factor a op van 1,008, hetgeen aangeeft dat het gemiddelde verbruik in beide perioden nagenoeg gelijk was. De factor b , met een waarde van $-0,941 \text{ m}^3/\text{min}$ representeert het verschil in NIRG tussen de twee perioden, dat dus neerkomt op ca. $56,5 \text{ m}^3/\text{uur}$. Dit getal is vergelijkbaar met de waarde van circa $60 \text{ m}^3/\text{uur}$ die eerder uit de vergelijking van nachtpatronen bleek en iets hoger dan de door Vitens bepaalde waarde van $40\text{-}50 \text{ m}^3/\text{uur}$. Echter, het hier genoemde getal is gebaseerd op het volledige dagpatroon in de gehele periode in plaats van uitsluitend het nachtverlies. Gedurende de dag was het verlies, vermoedelijk door een ander drukregime, kennelijk nog iets groter.



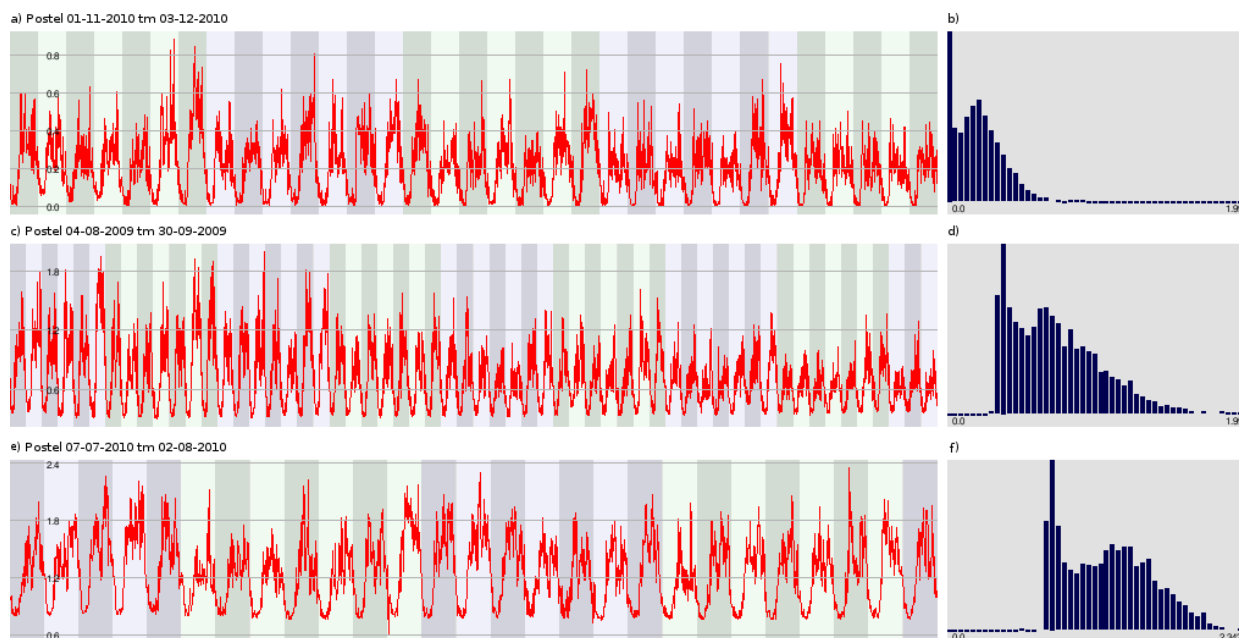
Figuur 80: Leveringspatronen en histogrammen van Balansgebied 3 voor de perioden 4-9-2010 t/m 24-9-2010 en 5-10-2010 t/m 23-11-2010.



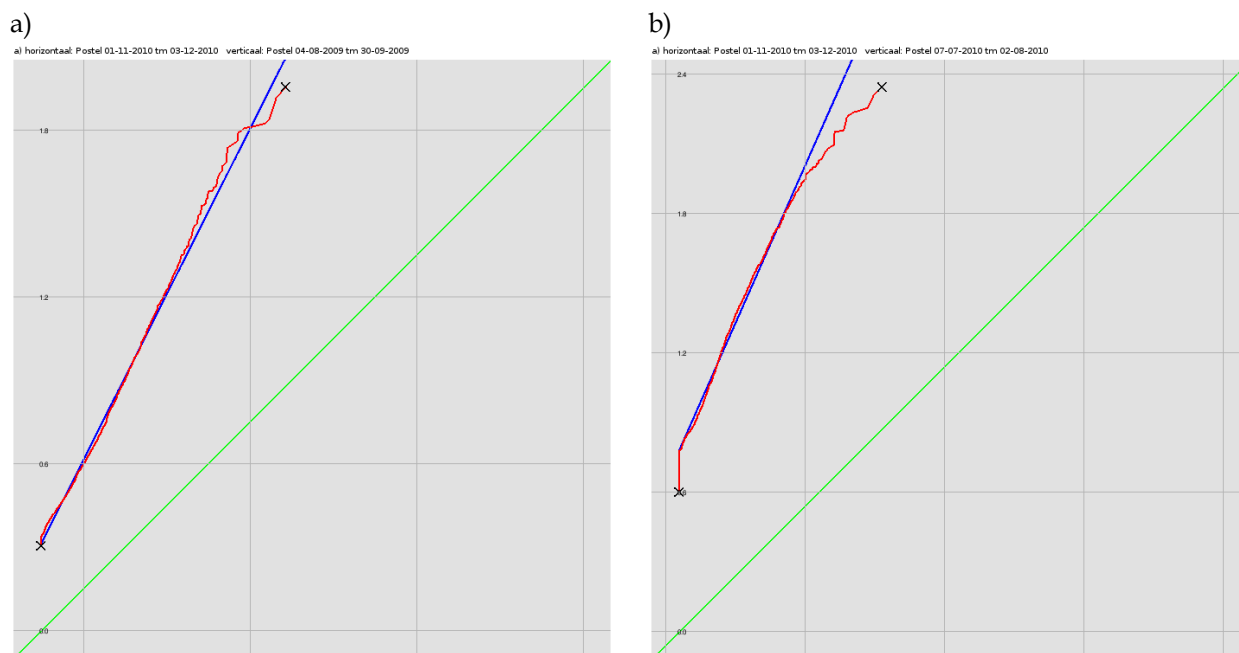
Figuur 81: Bijbehorende VLPV-plot voor Balansgebied 3. VLPV-curves worden weergegeven in rood, lineaire fits in blauw en 1:1-lijnen in groen.

7.4.3 Postel

Voor Postel (Pidpa) toont Figuur 82 de vergelijking tussen een 'basispatroon' met stilvallende vraag in de nacht van de periode 1-11-2010 t/m 3-12-2010 aan de ene kant en twee 'anomale' perioden met een hoger (nacht- en totaal)verbruik aan de andere kant. Het betreft hier de perioden die eveneens zijn weergegeven in Figuur 16, hoewel iets ingekort om enkele verdachte uitschieters in de meetdata niet mee te hoeven nemen. Voor de vergelijking met de periode 4-8-2009 t/m 30-9-2009 (Figuur 82c,d) zien we in de histogrammen reeds dat er zowel van een verschuiving als een schaling sprake is, oftewel een consistente toename van het reguliere afnamepatroon en een inconsistente additionele levering.



Figuur 82: Leveringspatronen van Postel. a,b) basispatroon 1-11-2010 t/m 3-12-2010; c,d) anomaal patroon 4-8-2009 t/m 30-9-2010; e,f) anomaal patroon 7-7-2010 t/m 2-8-2010.

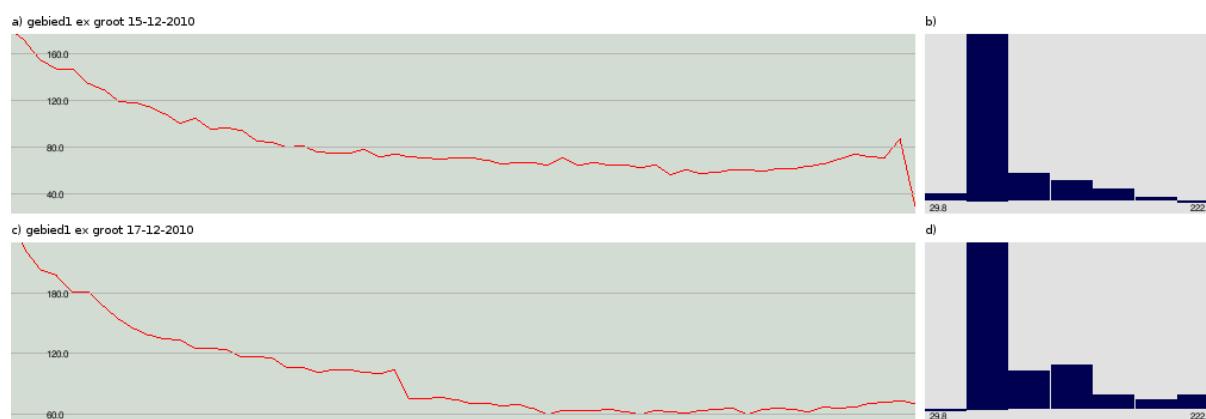


Figuur 83: VLPV-plots voor leveringspatronen van Postel voor de perioden 1-11-2010 t/m 3-12-2010 tegen 4-8-2009 t/m 30-9-2009 (a) respectievelijk 7-7-2010 t/m 2-8-2010 (b). VLPV-curves worden weergegeven in rood, lineaire fits in blauw en 1:1-lijnen in groen.

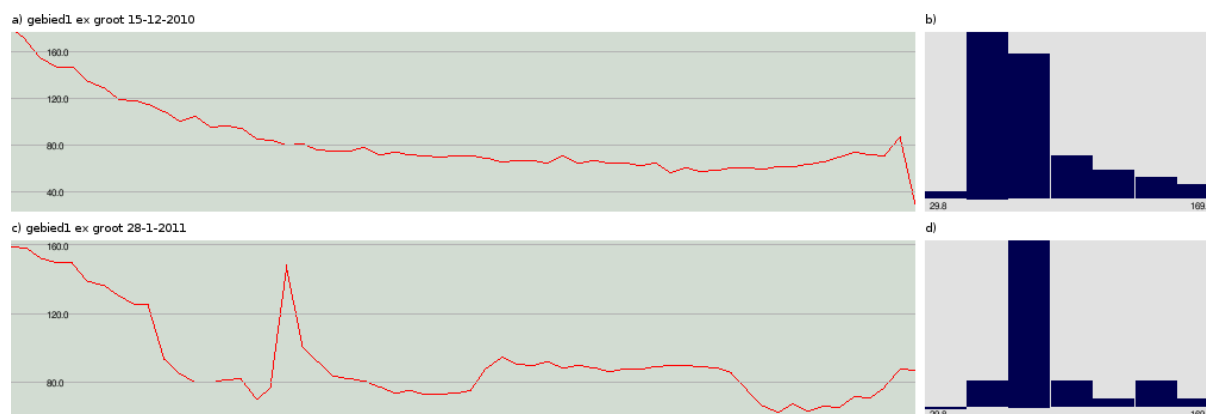
De fit in de VLPV-plot (Figuur 83a) toont een verdubbeling van het reguliere verbruikspatroon ($a=1,984$), dat qua vorm zeer vergelijkbaar is met het 'basispatroon' ($R^2=0,983$), en bovendien een extra inconsistente toename van gemiddeld $0,310 \text{ m}^3/\text{uur}$. Voor de periode 7-7-2010 t/m 2-8-2010 (Figuur 82e,f, Figuur 83b) zien we zelfs een nog iets grotere consistente toenamefactor voor het reguliere verbruikspatroon ($a=2,261$) en een inconsistente additionele levering van gemiddeld $0,778 \text{ m}^3/\text{uur}$. Hierbij is de vormvastheid van de frequentieverdeling ($R^2=0,957$) niet zo goed, maar de afwijking blijkt vooral in de rechterstaart te zitten, oftewel extra hoog piekverbruik in de zomermaanden t.o.v. de wintermaanden. Een verklaring hiervoor kan worden gezocht in het besproeien van tuinen. In beide gevallen verdubbelt het reguliere verbruik (volgens het bestaande patroon) in de zomermaanden t.o.v. de wintermaanden. Dit hangt mogelijk samen met een groter aantal bezoekers aan de abdij van Postel en horecagelegenheden in het zomerseizoen. Tevens is er een inconsistente toename te zien, die een extra watervraag buiten het vaste patroon representeert.

7.4.4 Vlietregio

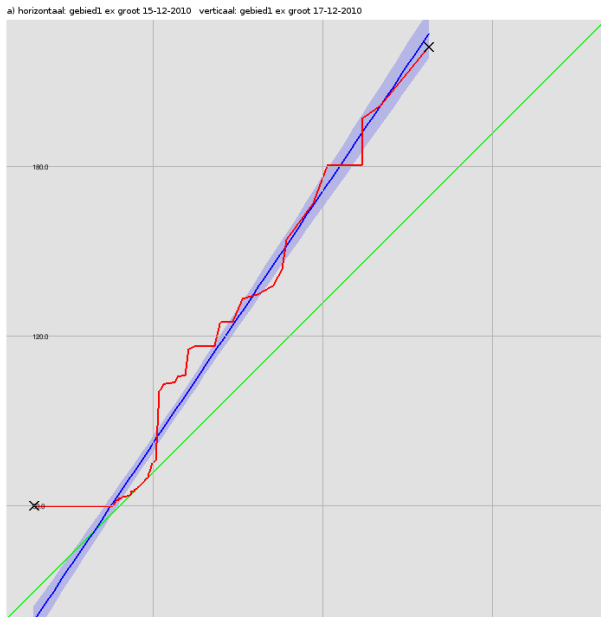
Voor verschillende gebieden in de Vlietregio van Dunea zijn meerdere metingen beschikbaar, die met elkaar kunnen worden vergeleken. Dit is gedaan in Figuur 84 t/m Figuur 99. In al deze figuren worden VLPV-curves weergegeven in rood, lineaire fits in blauw en 1:1-lijnen in groen. In § 7.2.6 is reeds gebleken dat bij een korte vergelijkingsperiode er snel afwijkingen in een VLPV-plot te zien zijn. Dit effect is ook terug te zien in deze figuren. De bijbehorende fit- en determinatiecoëfficiënten zijn weergegeven in Tabel 16. Alleen voor gebied 3 is er in de getallen relatief weinig verschil te zien tussen de opeenvolgende metingen; de bijbehorende VLPV-plots (Figuur 94 en Figuur 95) laten echter zien dat de patroonvorm wel afwijkt. De hier verzamelde vergelijkingen suggereren dat de gebruikte meetperiode te kort is om met deze methode tot zinnige resultaten te komen. Deze conclusie komt overeen met de bevindingen van § 7.2.6.



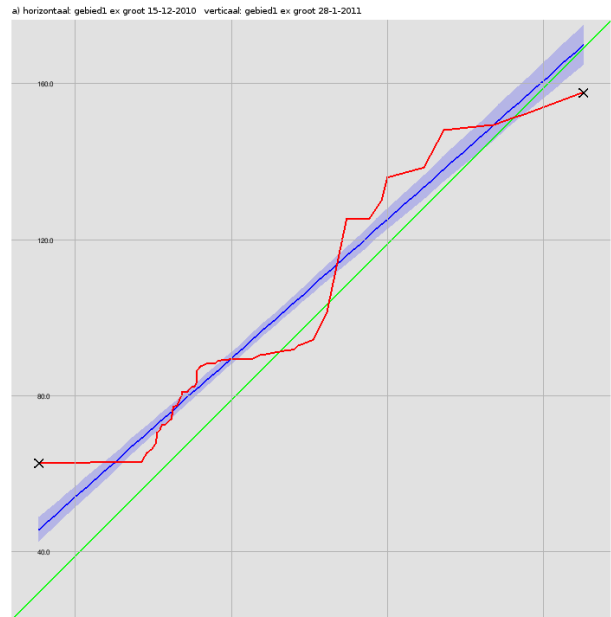
Figuur 84: Leveringspatronen en histogrammen van gebied 1 in de Vlietregio (Dunea) voor de nachtmetingen van 15-12-2010 (a,b) en 17-12-2010 (c,d).



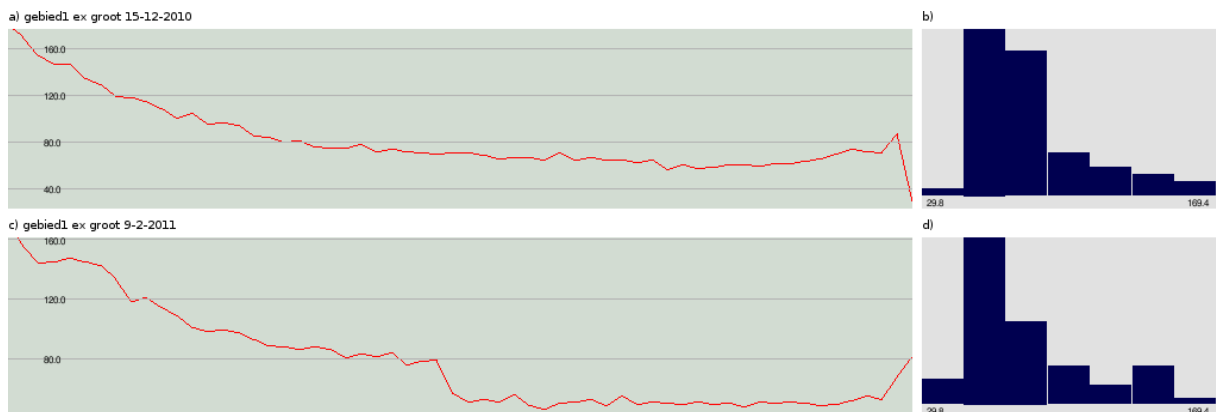
Figuur 85: Leveringspatronen en histogrammen van gebied 1 in de Vlietregio (Dunea) voor de nachtmetingen van 15-12-2010 (a,b) en 28-1-2011 (c,d).



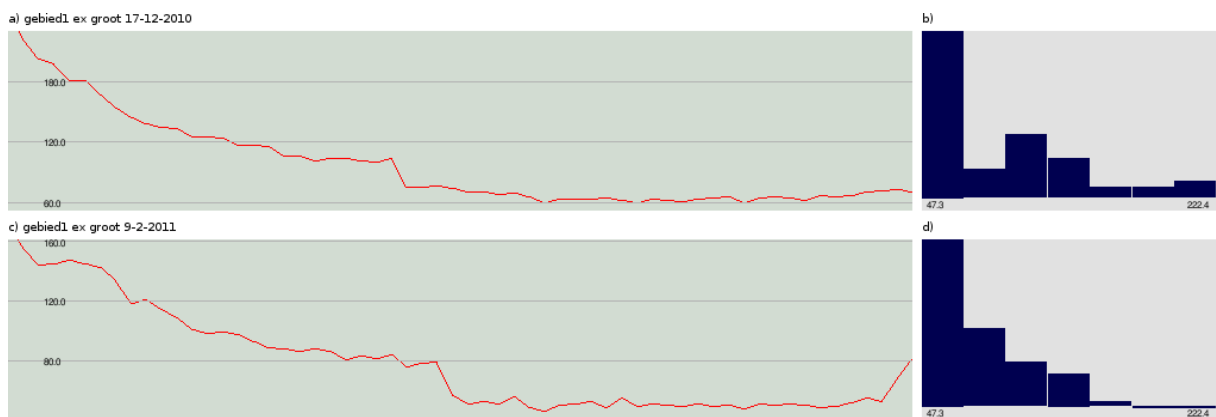
Figuur 86: VLPV-plot van gebied 1 in de Vlietregio (Dunea) voor de nachtmetingen van 15-12-2010 en 17-12-2010.



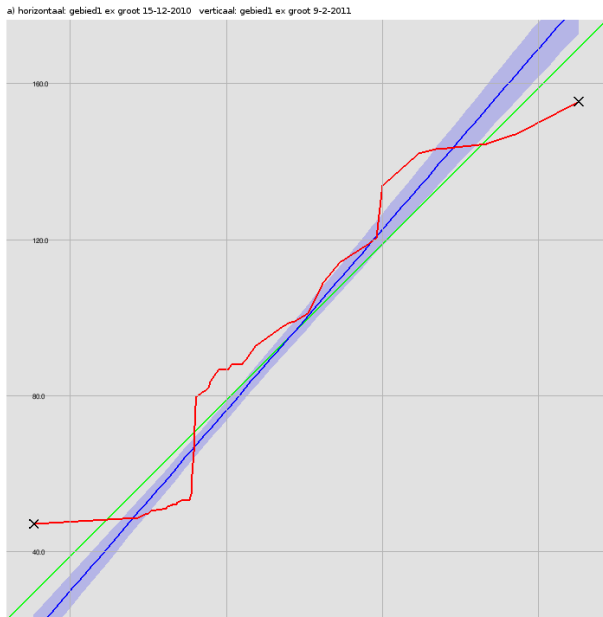
Figuur 87: VLPV-plot van gebied 1 in de Vlietregio (Dunea) voor de nachtmetingen van 15-12-2010 en 28-1-2011.



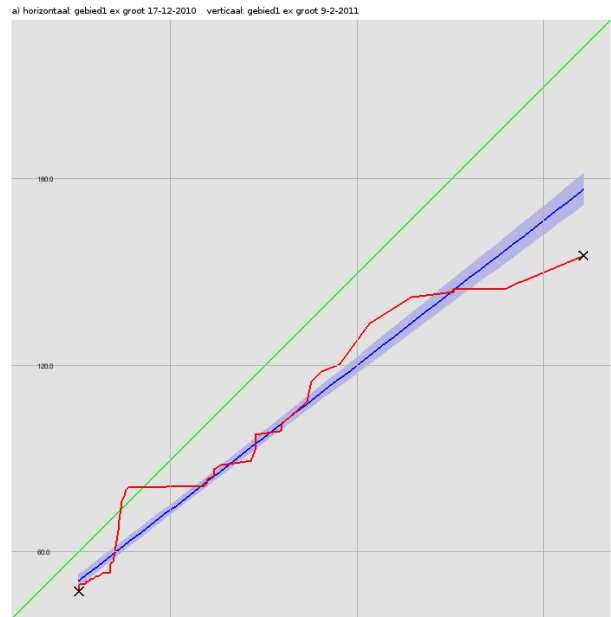
Figuur 88: Leveringspatronen en histogrammen van gebied 1 in de Vlietregio (Dunea) voor de nachtmetingen van 15-12-2010 (a,b) en 9-2-2011 (c,d).



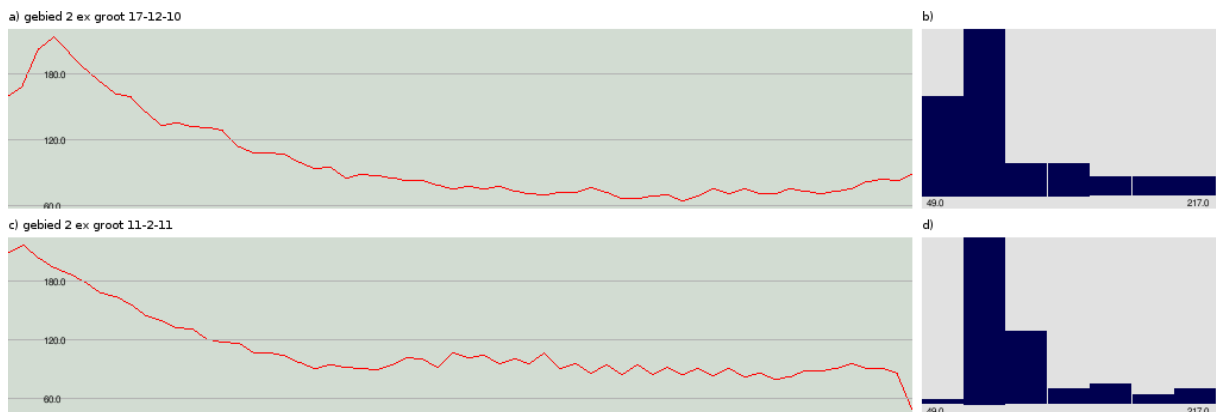
Figuur 89: Leveringspatronen en histogrammen van gebied 1 in de Vlietregio (Dunea) voor de nachtmetingen van 17-12-2010 (a,b) tegen 9-2-2011 (c,d).



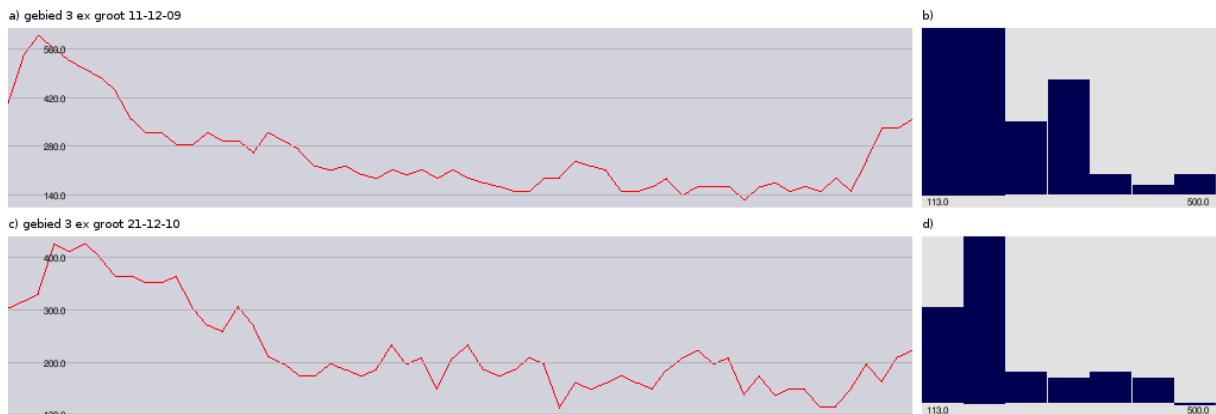
Figuur 90: VLPV-plot van gebied 1 in de Vlietregio (Dunea) voor de nachtmetingen van 15-12-2010 en 9-2-2011.



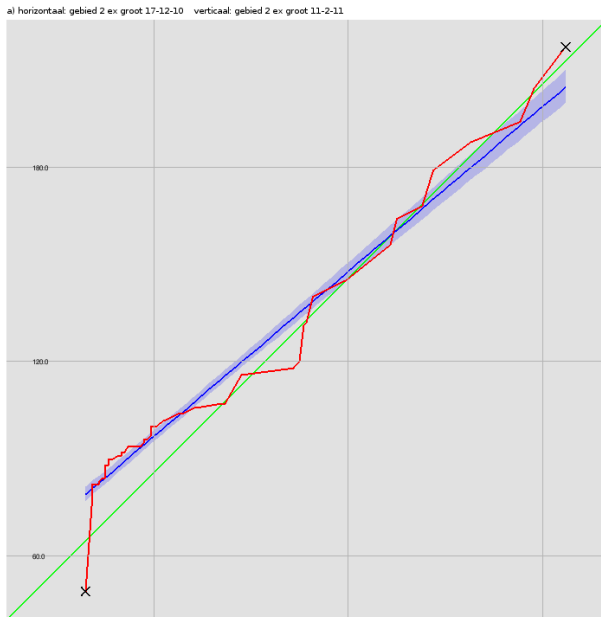
Figuur 91: VLPV-plot van gebied 1 in de Vlietregio (Dunea) voor de nachtmetingen van 17-12-2010 tegen 9-2-2011.



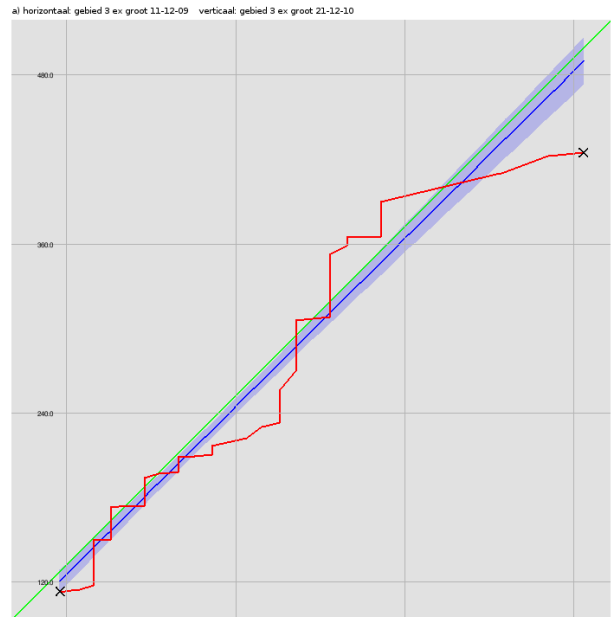
Figuur 92: Leveringspatronen en histogrammen van gebied 2 in de Vlietregio (Dunea) voor nachtmetingen.



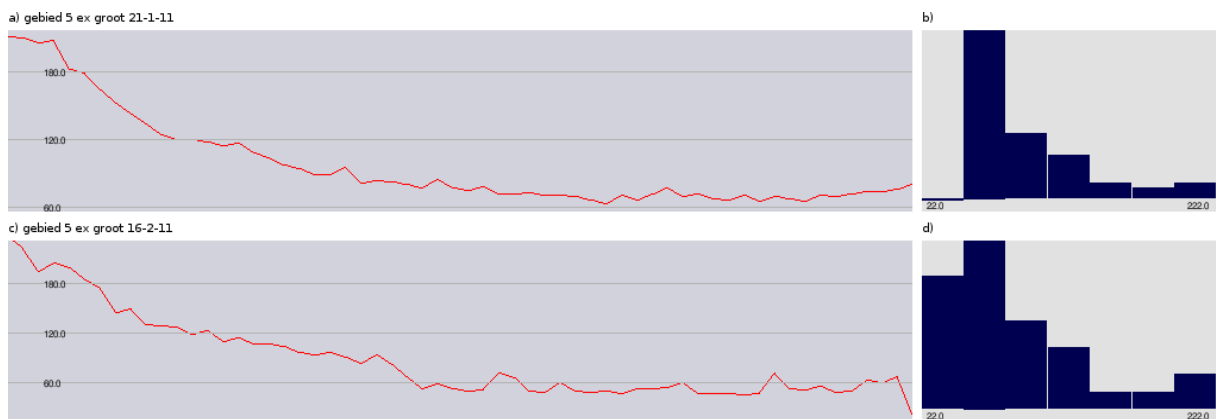
Figuur 93: Leveringspatronen en histogrammen van gebied 3 in de Vlietregio (Dunea) voor nachtmetingen.



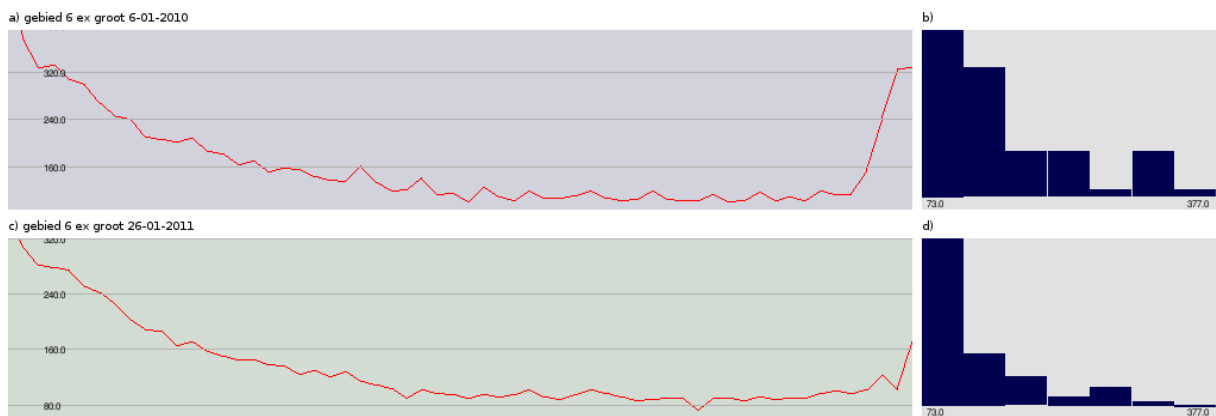
Figuur 94: VLPV-plot van gebied 2 in de Vlietregio (Dunea) voor nachtmetingen.



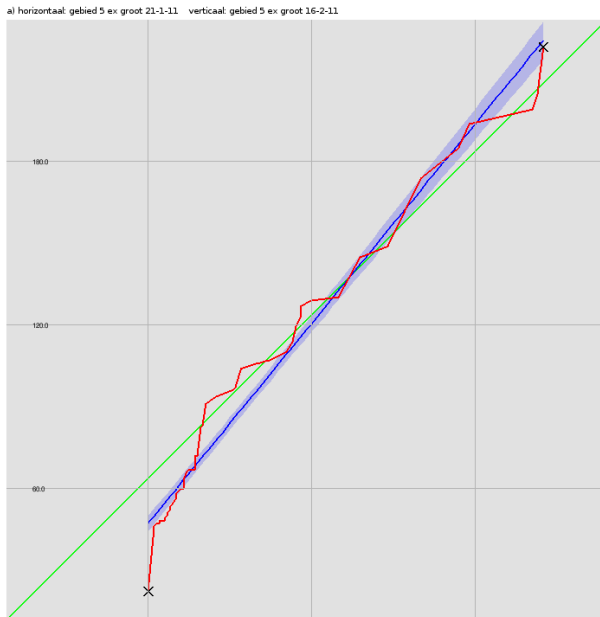
Figuur 95: VLPV-plot van gebied 3 in de Vlietregio (Dunea) voor nachtmetingen.



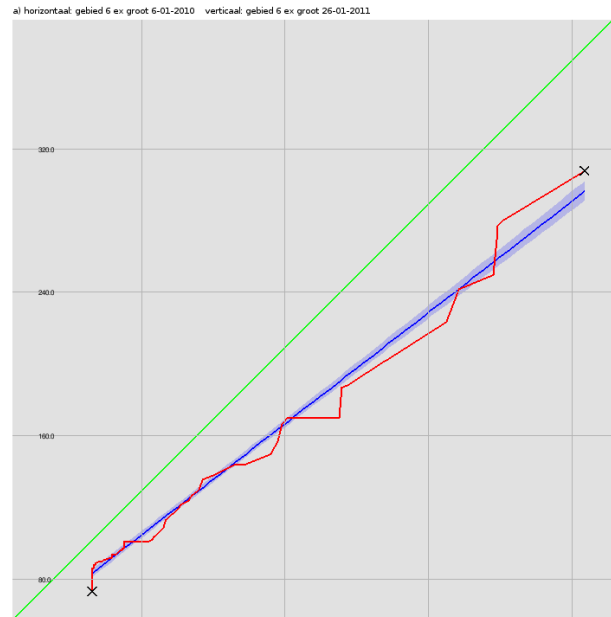
Figuur 96: Leveringspatronen en histogrammen van gebied 5 in de Vlietregio (Dunea) voor nachtmetingen.



Figuur 97: Leveringspatronen en histogrammen van gebied 6 in de Vlietregio (Dunea) voor nachtmetingen.



Figuur 98: VLPV-plot van gebied 5 in de Vlietregio (Dunea) voor nachtmetingen.



Figuur 99: VLPV-plot van gebied 6 in de Vlietregio (Dunea) voor nachtmetingen.

Tabel 16: Fit- en determinatiecoëfficiënten voor de vergelijkingen van de Vlietregio (Figuur 84 t/m Figuur 99).

gebied	meting 1	meting 2	helling a	intercept b (m ³ /uur)	R ²
1	15/12/2010	17/12/2010	1,486	-24,8	0,8851
1	15/12/2010	28/1/2011	0,8898	19,3	0,9582
1	15/12/2010	9/2/2011	1,1588	-15,5	0,8967
1	17/12/2010	9/2/2011	0,7754	4,258	0,9797
2	17/12/2010	11/2/2011	0,8487	24,04	0,9758
3	11/12/2009	21/12/2010	0,9926	-6,386	0,9543
5	21/1/2011	16/2/2011	1,2211	-31,07	0,9536
6	6/1/2010	26/1/2011	0,7754	4,259	0,9925

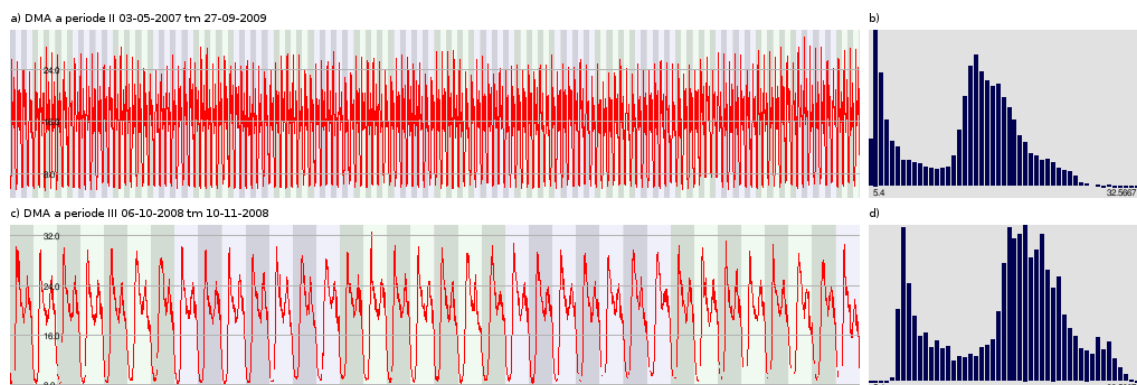
7.4.5 Engelse DMA's

De leveringsdata van drie Engelse DMA's zijn eveneens aan de verdelingsvergelijking onderworpen. Hierbij is voor DMA a een vergelijking gemaakt tussen periode II en III (zie Tabel 11, pagina 63) in Figuur 100 en Figuur 101. Voor DMA b is een vergelijking gemaakt tussen periode V en VI (Figuur 102 en Figuur 103) en voor DMA c is deze gemaakt tussen periode VII en periode VIII (Figuur 104 en Figuur 105). In elk van de drie gevallen is er een sterke overlap tussen de VLPV-curve en de fitcurve in het centrale deel van de data. Eveneens worden er in elk van de drie gevallen afwijkingen geconstateerd bij de hoogste en de laagste volumestromen. Deze van de fitlijn afwijkende waarden zijn voor alle drie de gevallen weergegeven in Figuur 106. Hieruit valt op te maken dat de patroonafwijkingen zich uitsluitend in de uiterste pieken en in de nachtelijke dalen voordoen. Voor DMA a lijkt hierbij de hele nacht een afwijkend patroon te vertonen. Bij DMA b gaat het uitsluitend om de uiterste minima. Bij DMA c lijkt er sprake te zijn van een fout in de watermeter, waardoor alle geregistreerde waarden met een vast getal naar beneden zijn bijgesteld met een minimumwaarde van 0.

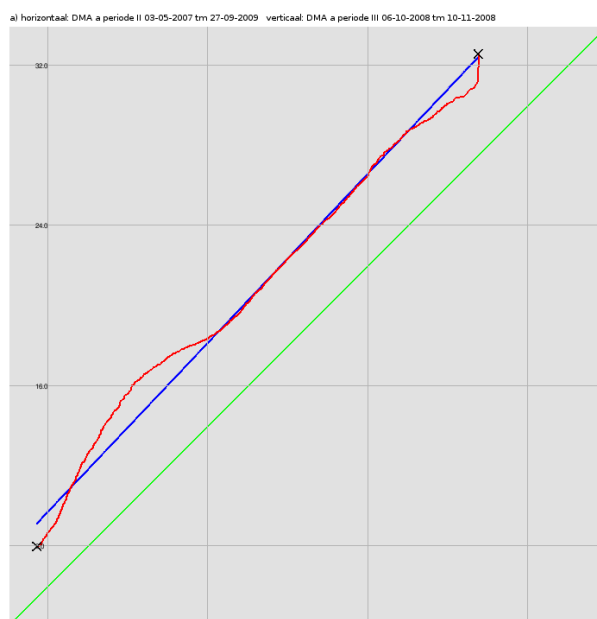
Tabel 17 toont de fitparameters voor de niet-afwijkende centrale gedeeltes van de VLPV-curves voor de drie DMA's (bij DMA a is gebruik gemaakt van alle data, aangezien de lineaire fit hiervan nagenoeg samenvalt met die van het niet-afwijkende centrale deel).

Voor DMA a wordt een nagenoeg niet geschaald patroon gevonden (geen consistente verandering), dat desalniettemin een inconsistente verandering van 3,4 m³/uur vertoont, hetgeen als lekverlies of extra

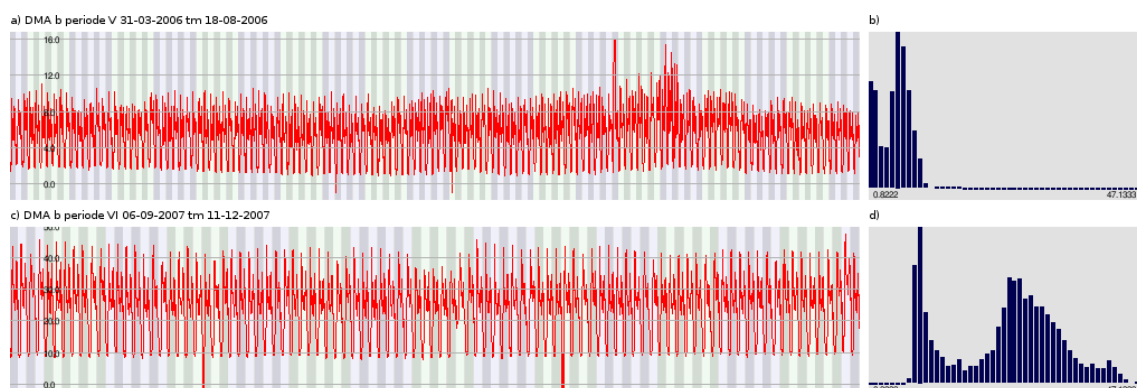
verbruik buiten het reguliere patroon kan worden gekarakteriseerd. Voor DMA b vinden we een schalingsfactor van 3,8. Het vermoeden bestaat dat er hier tijdelijk de toevoer naar een aantal DMA's gebundeld is geweest. Ook hier is een inconsistente toename (niet-schaalbaar) van het verbruik van 3,4 m³/uur te zien. Voor DMA c vinden we naast een schalingsfactor van meer dan 2 een negatieve verschuiving (inconsistent) van ruim 18 m³/uur, hetgeen eerder geuite vermoedens over een foutieve afstelling van de volumestroommeter ondersteunt.



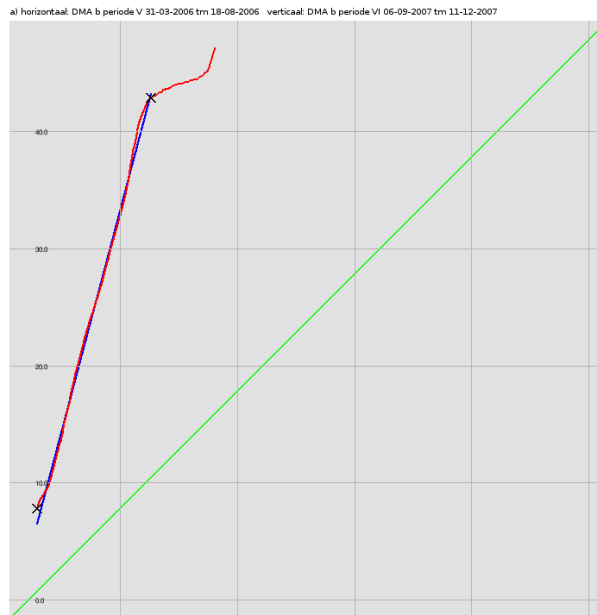
Figuur 100: Leveringspatronen en histogrammen van DMA a, periode II (a,b) in vergelijking met periode III (c,d zie Tabel 11).



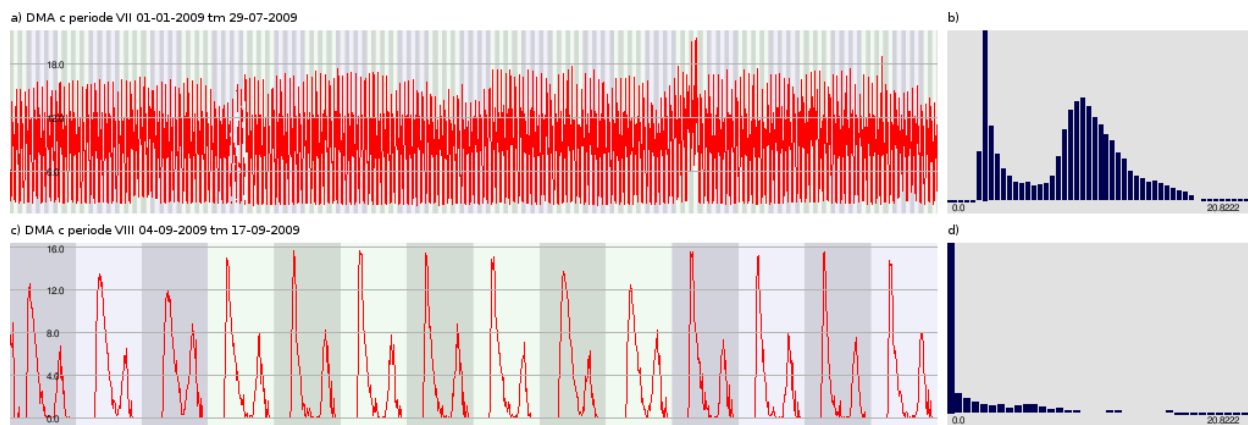
Figuur 101: Bijbehorende VLPV-plot.



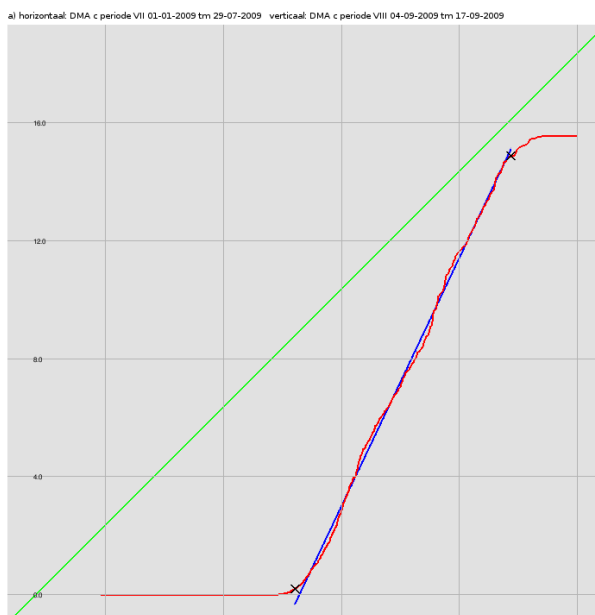
Figuur 102: Leveringspatronen en histogrammen van DMA b, periode V (a,b) in vergelijking met periode VI (c,d zie Tabel 11).



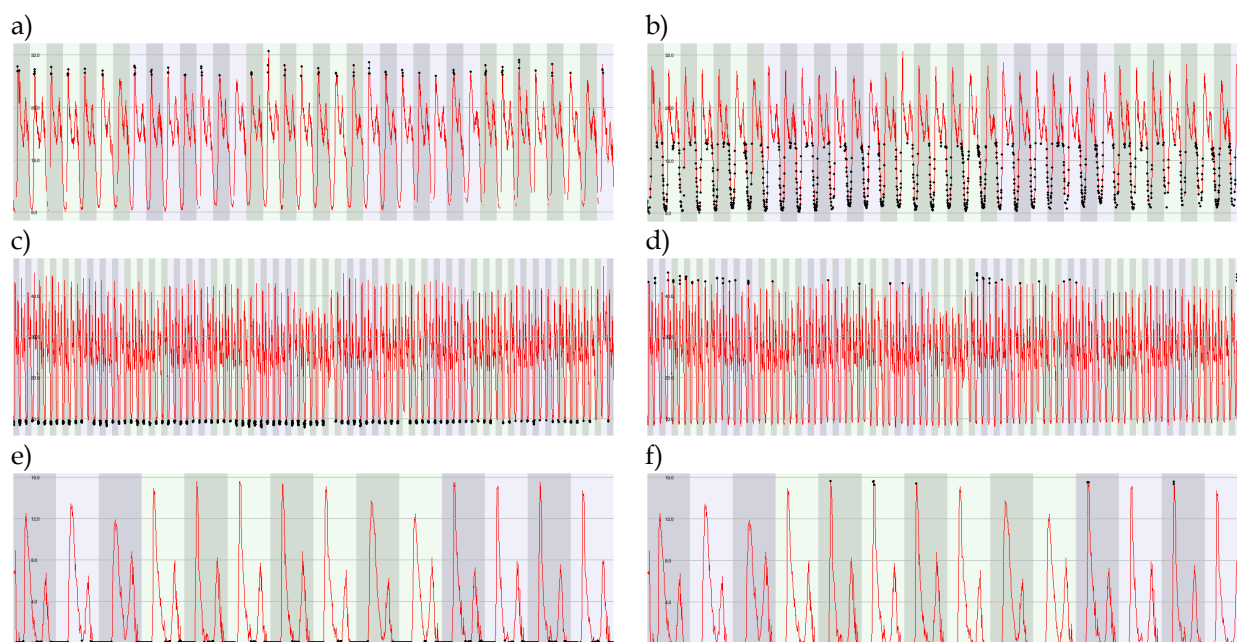
Figuur 103: Bijbehorende VLPV-plot.



Figuur 104: Leveringspatronen en histogrammen van DMA c, periode VII (a,b) in vergelijking met periode VIII (c,d zie Tabel 11).



Figuur 105: Bijbehorende VLPV-plot.



Figuur 106: Van de fitlijn afwijkende meetwaarden in de vergelijkingset van DMA a (a,b), DMA b (c,d) en DMA c (e,f). Patronen zijn weergegeven in rood, afwijkende waarden als zwarte punten.

Tabel 17: Fitparameters voor de VLPV-curve van DMA a, b en c.

DMA	datagebruik voor fit	helling a	intercept b	R^2
a	100%	1,055	3,405	0,9875
b	99,38%	3,776	3,380	0,9664
c	51,86%	2,106	-18,89	0,9851

7.5 Conclusie

Op basis van de hierboven gepresenteerde gevoeligheidsanalyse kan worden geconcludeerd dat de gepresenteerde methode voldoende robuust is om in de praktijk toe te passen, met inachtneming van de in § 7.3 opgesomde vuistregels. De methode is vervolgens succesvol toegepast op ook eerder in dit rapport gebruikte data. Voor Balansgebied 3 wordt een lekverliesverandering teruggevonden die consistent is met een alternatieve bepaling hiervan. Ook voor de andere gebieden worden plausibele resultaten gevonden, met uitzondering van die voor de Vlietregio. Het blijkt dat de metingsets voor dit gebied te kort zijn om een bruikbare vergelijking op te leveren.

De methode maakt onderscheid tussen zogenaamde consistente veranderingen in het leveringspatroon, die het oude patroon volgen qua vorm, en zogenaamde inconsistente veranderingen, die in de regel wijzen op hetzij nieuwe of verdwijnende karakteristieke verbruiken (tuinsproeien) of (groot)verbruikers, hetzij op een verandering in het lekverlies. Met enige kennis van een leveringsgebied moet het onderscheid hiertussen eenvoudig te maken zijn. Een hulpmiddel kan hierbij zijn dat er ingezoomd kan worden op afwijkende delen van de VLPV-plot, en dat de bijbehorende datapunten in het afwijkende patroon geïdentificeerd kunnen worden. Als voorbeeld noemen we hier het geval van de Engelse DMA's, waar sprake was van duidelijke afwijkingen, bleken deze zich met name te bevinden in de uiterste minima en maxima van het patroon.

In algemene zin blijkt de gepresenteerde methode goed toepasbaar in gebieden van uiteenlopende omvang, met succesvolle toepassing in een gebied met slechts 70 aansluitingen tot een gebied met meer dan 10000 aansluitingen.

De VLPV-methode werkt uitsluitend op basis van gemeten leveringspatronen. Omdat er dus geen numeriek model aan ten grondslag ligt, worden de volgende potentiële problemen vermeden:

- identificatie van verschillende (typen) gebruikers in gebied (arbeidsintensief);
- aannames over diverse invoerparameters van modellen;
- aannames en onzekerheden in de modelberekeningen zelf.

Desondanks kan er met enige kennis van een leveringsgebied op basis van deze eenvoudige patroonvergelijking een nauwkeurige en kwantitatieve uitspraak over veranderingen in het lekverlies in het betreffende leveringsgebied worden gedaan.

Doordat de VLPV-methode inzicht biedt in het ontstaan van nieuwe lekken, biedt zij ook een middel om de ontwikkeling van de toestand van het leidingnet in de gaten te houden.

7.6 Mogelijke toepassingen

Met de VLPV-methode kunnen veranderingen in de levering in algemene zin worden gekarakteriseerd. De meest voor de hand liggende toepassing, die ook centraal staat in dit rapport, is het bepalen van toenemende lekverliezen. Hiertoe zou een waterbedrijf een van de volgende strategieën kunnen implementeren:

- maandelijkse of jaarlijkse vergelijking van leveringspatronen voor alle voorzieningsgebieden of deelgebieden hierin, of
- continue monitoring.

Bij constatering van een verandering die niet te verklaren is met bekende gegevens van een gebied (verandering bij grootverbruikers, warme zomer, vakantieperiode, etc.) kan gericht worden gezocht naar een lek met bijvoorbeeld noise correlators.

Hiernaast biedt de methode een stuk gereedschap om in algemene zin meer inzicht in het verbruik in een voorzieningsgebied en de variaties daarin te verkrijgen

8 Conclusies en aanbevelingen

8.1 Conclusies

8.1.1 Klassieke en nieuwe methoden

De ‘klassieke’ top-down- en bottom-up-methoden blijven bruikbare methoden voor het bepalen van lekverliezen. De top-down-methode blijft echter lijden onder een aanzienlijke onzekerheidsmarge (tientallen procenten), die op zichzelf vooralsnog acceptabel zijn. De bottom-up-methode is onverminderd gevoelig voor minder gemakkelijk voorspelbare afnemers (onzekerheid moeilijk te kwantificeren).

Sommige ontwikkelingen op het gebied van modelmatige methoden voor lekverliesbepaling zijn voor de verdere toekomst veelbelovend. In de op modeloptimalisatie gebaseerde methoden vindt nog veel ontwikkeling plaats, maar een enkele (drukafhankelijke lekdetectie) is inmiddels in een commercieel softwarepakket (WaterGEMS) geïmplementeerd en met redelijk (maar wisselend) succes toegepast op een Brits voorzieningsgebied (Wu et al., 2010).

8.1.2 Bottom-up-methode op basis van SIMDEUM

Een uitbreiding van de bottom-up-methode door het gebruik van SIMDEUM voor de schatting van het nachtverbruik is uitgewerkt en blijkt goed toepasbaar, hoewel iets arbeidsintensiever dan de klassieke bottom-up-methode. Tabel 18 geeft een overzicht van lekverliesschattingen op basis van deze methode voor de verschillende beschouwde testgebieden.

Over het gebruik van SIMDEUM als schatter voor het nachtverbruik in de bottom-up-methode voor het bepalen van lekverliezen concluderen wij het volgende:

- Het door SIMDEUM voorspelde huishoudelijke nachtverbruik voor (rand)stedelijke woongebieden komt zeer goed overeen met validatiemetingen.
- Over de kwaliteit van de voorspellingen voor het huishoudelijke nachtverbruik buiten de (rand)stedelijke woongebieden kunnen bij gebrek aan validaties geen uitspraken worden gedaan.
- Bij gebruik van kwalitatief goede en geschikte meetgegevens kan met SIMDEUM in de bottom-up-methode een goede voorspelling van het lekverlies met stochastische variantie worden verkregen.
- De indruk is ontstaan dat er mogelijk regionale variaties in het waterverbruik bestaan die niet in de landelijke tijdsbestedingsgegevens die aan de basis staan van de SIMDEUM-simulaties tot uiting komen.
- Veel nachtmetingen lijken door niet-huishoudelijke afnemers ‘vervuild’ te worden. Ook andere dan de hier toegepaste lekverliesbepalingsmethoden zullen last hebben van moeilijk te kwantificeren nachtelijke grootverbruikers. Om dit probleem te omzeilen kunnen deze grootverbruikers individueel bemeterd worden.
- Het nauwkeurig voorspellen van het dagverbruik is moeilijk met SIMDEUM, doordat voor met name de grotere gebieden niet van alle niet-huishoudelijke afnemers geschikte patronen of ook zelfs maar hun aard bekend zijn. Verder spelen de hierboven genoemde regionale variaties in waterverbruik hier vermoedelijk ook een rol.
- Het is met de beschikbare gegevens moeilijk te beoordelen in hoeverre een schatting van SIMDEUM beter is dan een op andere wijze verkregen schatting voor het nachtverbruik.

Verder kan er nog in algemene zin worden geconcludeerd dat het erg belangrijk is goed te meten en ook om precies te weten wat er tijdens de metingen in het net gebeurt:

- Leveringspatronen van grootverbruikers zijn bij voorkeur bekend, zodat de gemeten leveringspatronen voor het leveringsgebied hiervoor gecorrigeerd kunnen worden bij vergelijking met simulatieresultaten.

- De stand van afsluiters en hun functioneren moet bekend zijn om zeker te zijn voor welk leveringsgebied een leveringspatroon geldt.

Tabel 18: Overzicht van schattingen van lekverlies en inconsistente, mogelijk uit toegenomen lekverlies verklaarbare, veranderingen in leveringspatronen verkregen in dit rapport op basis van SIMDEUM en de VLPV-methode voor alle beschouwde testgebieden.

bedrijf	gebied	schatting NIRG door bedrijf	SIMDEUM	VLPV	
			schatting NIRG	inconsistente verandering; mogelijke lekverliescomponent	metingen/perioden
Evides	Tholen	9,6%; dit is gemiddeld 16,7 m ³ /uur (2009)	30 m ³ /uur	12,6 m ³ /uur	verschil voorjaar-najaar
Vitens	Balansgebied 3	15%; 41,5 m ³ /uur (o.b.v. leveringscijfers 2007)	voor reparatie: 70 m ³ /uur na reparatie: 10 m ³ /uur	-56,5 m ³ /uur	verschil voor en na reparatie
Pidpa	Postel	niet-legitiem verbruik		0,31 m ³ /uur 0,78 m ³ /uur	zomer '09 zomer '10; beide t.o.v. 11-12/'10
Dunea	Vlietregio	1	20-30 m ³ /uur	min: -24,8 m ³ /uur max: 19,3 m ³ /uur	diverse metingen in 2010 en 2011
		2	25 m ³ /uur	24 m ³ /uur	02/'11 t.o.v. 12/'10
		2a	15 m ³ /uur		
		2b	10 m ³ /uur		
		2c	0 m ³ /uur		
		3	?	-6,4 m ³ /uur	12/'10 t.o.v. 12/'09
		4	15 m ³ /uur		
		5	?	-31 m ³ /uur	02/'11 t.o.v. 01/'11
		5a	?		
		5b	20 m ³ /uur		
		5c	2 m ³ /uur		
	6	?	4,3 m ³ /uur	01/'11 t.o.v. 01/'10	
Anon.	DMA a	9,7 m ³ /uur	25-30 m ³ /uur	3,4 m ³ /uur	
	DMA b	23,4 m ³ /uur	22 m ³ /uur	3,4 m ³ /uur	
	DMA c	15,5 m ³ /uur	6 m ³ /uur	-19 m ³ /uur	

8.1.3 De methode Buchberger-Nadimpalli

De methode van Buchberger en Nadimpalli is niet toegepast op de beschikbare metingen, aangezien deze niet volgens getrunceerde normaalverdelingen verdeeld blijken te zijn, hetgeen een uitgangspunt van de methode is. Het kan interessant zijn de methode te generaliseren naar willekeurige statistische distributies. Dit ligt echter buiten het blikveld van dit rapport.

8.1.4 Vergelijking van LeveringsPatroonVerdelingen-methode

Het volgende wordt geconcludeerd over de in dit rapport ontwikkelde VLPV-methode:

- De methode blijkt, met inachtneming van een aantal vuistregels, robuust en goed toepasbaar op gemeten leveringspatronen.
- Afwijkingen in leveringspatronen blijken redelijk gemakkelijk te identificeren en te interpreteren.
- Er kan onderscheid worden gemaakt tussen veranderingen in de watervraag die binnen het in het leveringsgebied bestaande patroon vallen (zogenaamde consistente veranderingen) en veranderingen die hiervan afwijken (zogenaamde inconsistente veranderingen). Laatstgenoemde kunnen met enige kennis van het leveringsgebied goed geïnterpreteerd worden in termen van toegenomen lekverlies.

- Zowel consistente als inconsistente veranderingen worden gekwantificeerd.
- De methode gebruikt uitsluitend gemeten leveringspatronen en is dus ongevoelig voor modelaannames en -onzekerheden.
- Evenmin is identificatie en/of karakterisering van verbruikers in het leveringsgebied nodig.
- De methode is mede hierdoor snel en gemakkelijk toe te passen.
- Doordat de VLPV-methode inzicht biedt in het ontstaan van nieuwe lekken, biedt zij ook een middel om de ontwikkeling van de toestand van het leidingnet in de gaten te houden.

Een overzicht van inconsistente veranderingen in leveringspatronen op basis van deze methode voor de verschillende beschouwde testgebieden is opgenomen in Tabel 18.

8.2 Aanbevelingen

Hierboven is geconcludeerd dat SIMDEUM goed bruikbaar is als schatter van het nachtverbruik voor (rand)stedelijke woongebieden in de bottom-up-methode voor lekverliesbepaling. Om de toepasbaarheid van SIMDEUM als gereedschap voor het bepalen van lekverliezen te vergroten, wordt het volgende aanbevolen:

Met betrekking tot de invoergegevens:

- voor het waterbedrijf: het bijhouden van een accuraat en volledig bestand van zakelijke afnemers met gedetailleerde categorisering;
- voor het waterbedrijf: continue individuele bemetering van grootverbruikers;
- voor het BTO: valideren van de voorspelde verschillen in waterverbruik tussen postcodegebieden t.g.v. een verschillende bevolkingssamenstelling op basis van facturatiegegevens;
- voor het BTO: onderzoeken van regionale variabiliteit in de tijdsbestedingsparameters waarop SIMDEUM zijn stochastische voorspelling baseert.

Met betrekking tot de simulaties:

- voor het BTO: validatie van SIMDEUM-patronen voor niet-stedelijke omgevingen.

Voor de toepassing van SIMDEUM voor het bepalen van lekverlies volgens de bottom-up-methode worden de volgende richtlijnen aanbevolen:

- Simuleer een even lange periode als de beschikbare meettijdreeks waarmee vergeleken gaat worden.
- Simuleer het nachtverbruik van alle huishoudelijke aansluitingen met bijbehorende bevolkingsgegevens.
- Voeg gesimuleerde levering samen in tijdsblokken gelijk aan de meetinterval van de velddata.

Hoewel de statistische vergelijkingsmethode van Buchberger en Nadimpalli (2003) niet bruikbaar blijkt vanwege de in de methode veronderstelde statistische verdeling van volumestromen van het nachtverbruik, blijft hun benadering interessant. Aanbevolen wordt om het inpassen van representatieve statistische verdelingen in deze methode te onderzoeken.

De VLPV-methode biedt een goedkope en eenvoudige manier om de leveringsgegevens van bijvoorbeeld opeenvolgende jaren te evalueren. Aanbevolen wordt om deze toe te passen in combinatie met een andere methode:

- Voorspel het nachtverbruik voor een leveringsgebied met SIMDEUM of maak op een andere wijze een schatting hiervoor (afhankelijk van de aard van het gebied) en vergelijk dit met de gemeten levering om een idee te krijgen van het actuele lekverlies.
- Pas in de daarop volgende maanden en/of jaren de VLPV-methode toe om eventuele wijzigingen in het verbruik en het lekverlies te identificeren.
- Ga op basis van de resultaten hiervan actief op zoek naar lekken in het veld in gebieden die als verdacht zijn gekarakteriseerd, bijvoorbeeld met noise correlators.

De VLPV-methode is goed toepasbaar in haar huidige vorm. Enkele aanbevelingen voor verdere verbetering zijn:

- Ontwikkel een kwantitatieve maat voor de afwijking van een VLPV-curve van de lineaire fit.
- Onderzoek hoe SIMDEUM verbeterd en/of verfijnd kan worden, zodanig dat hiermee basispatronen voor gebruik in de VLPV-methode kunnen worden gegenereerd.

9 Literatuur

Beuken, R., P. Schaap en C. Kivit (2005) Lekverlies bij DPW en Oasen, De Nederlandse situatie bekeken met Engelse know-how. KWR 05.010.

Blokker, E.J.M. (2006) Modelleren van afnamepatronen; Beschrijving en validatie van het simulatiemodel SIMDEUM. BTO 2006-010.

Blokker, E.J.M. (2010) Stochastic water demand modelling for a better understanding of hydraulics in water distribution networks. Proefschrift, Technische Universiteit Delft.

Buchberger, S.G. en G. Nadimpalli (2003) Leak estimation in water distribution systems by statistical analysis of flow readings. *Journal of Water Resources Planning and Management*, vol. 130, no. 4, pp. 321-329.

Colombo, A.F. en P. Lee en B.W. Karney (2009) A selective literature review of transient-based leak detection methods. *Journal of Hydro-environment Research*, vol. 2, pp. 212-227.

Farley, M. en S. Trow (2003) *Losses in Water Distribution Networks. A Practitioner's Guide to Assessment, Monitoring and Control*. IWA Publishing.

Lambert, A. (2003) Assessing non-revenue water and its components: a practical approach. *Water* 21, augustus 2003, pp. 50-51.

Liggett, J.A. en L.-C. Chen (1994) Inverse transient analysis in pipe networks. *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 120, No. 8, pp. 934 - 955.

Nadimpalli, G. (2003) Statistical analysis of continuous flow readings. MSc thesis, University of Cincinnati.

Pieterse-Quirijns, I. en M. Blokker (2010) *Waterverbruikspatronen voor woningen en utiliteitsbouw*. *TVVL Magazine*, 2, pp. 28-33.

Poulakis, Z., D. Valougeorgis en C. Papadimitriou (2003) Leakage detection in water pipe networks using a Bayesian probabilistic framework. *Probabilistic Engineering Mechanics*, 18, pp. 315-327.

Puust, R., Z. Kapelan, D. Savic en T. Koppel (2006) Probabilistic leak detection in pipe networks using the SCEM-UE algorithm. *Proceedings of the 8th Annual Water Distribution Systems Analysis*

Savic, D., A. Lambert en Z. Kapelan (2005) Water losses management and leakage detection techniques for water distribution systems. *Water & Sewerage Journal*, 2, pp. 25-27.

Vítkovský, J.P., M.F. Lambert, A.R. Simpson en J.A. Liggett (2007) Experimental observation and analysis of inverse transients for pipeline leak detection. *Journal of Water Resource Planning and Management*, vol. 133, no. 6, pp. 519-530

Weisstein, E.W. (2011) Least Squares Fitting. *MathWorld--A Wolfram Web Resource*.
<http://mathworld.wolfram.com/LeastSquaresFitting.html>, geraadpleegd op 28 oktober 2011.

Wu, Z.Y., P. Sage en D. Turtle (2010) Pressure-dependent leak detection model and its application to a district water system. *Journal of Water Resources Planning and Management*, vol. 136, no. 1, pp. 116-128

10 Verklarende woordenlijst

CFPD	Comparison of Flow Pattern Distributions; Engelse naam van de VLPV-methode.
<i>consistente verandering van verbruik/patroon</i>	Wanneer bij vergelijking van twee leveringspatronen met de VLPV-methode blijkt dat de twee patronen uitsluitend verschillen in een schalingsfactor (zie Figuur 8c), dan noemen we het verschil tussen de twee verbruikspatronen (of de verandering) <i>consistent</i> . Deze term is gekozen omdat de vorm van het verbruikspatroon in beide gevallen identiek is.
DMA	District Meter(ed) Area; een bemeten geïsoleerd leveringsgebied of balansgebied.
<i>emittercoëfficiënt</i>	Getal dat in een netwerkmodel de omvang van een lek representeert.
<i>getrunceerde normaalverdeling</i>	(Gaussische) statistische normaalverdeling waarvan onder of boven een bepaalde drempelwaarde de kansdichtheidsfunctie de waarde nul heeft.
<i>hellingscoëfficiënt a</i>	Helling van de lineaire kleinste kwadratenfit van een VLPV-curve die de schalingsfactor tussen twee vergeleken patronen representeert. Synoniem aan schaalfactor.
<i>inconsistente verandering van verbruik/patroon</i>	Wanneer bij vergelijking van twee leveringspatronen met de VLPV-methode blijkt dat de twee patronen uitsluitend verschillen in een absolute verschuiving in de magnitude van het patroon (zie Figuur 8b), dan noemen we het verschil tussen de twee verbruikspatronen (of de verandering) <i>inconsistent</i> . Deze term is gekozen omdat hij wijzigingen buiten een vormvaste schaling beschrijft.
<i>interceptcoëfficiënt b</i>	y -coördinaat voor $x=0$ van de lineaire kleinste kwadratenfit van een VLPV-curve. Dit getal is, binnen het kleinste kwadratenmodel, de volumestroom behorende bij de tweede dataset in het geval de volumestroom van de eerste dataset 0 is. Synoniem aan optelfactor.
IWA	International Water Association
ME	Mean Error oftewel gemiddelde fout.
<i>middelperiode</i>	Tijdsblok waarbinnen alle beschikbare metingen worden samengevoegd tot een gemiddelde en een standaarddeviatie. Deze twee getallen geven de magnitude en variabiliteit van het signaal voor dit tijdsblok weer.
NIRG	Niet In Rekening Gebracht (verbruik)
<i>optelfactor b</i>	Synoniem aan interceptcoëfficiënt.
RMSE	Root Mean Square Error oftewel de wortel van de som van de gekwadrateerde fouten.
<i>schaalfactor a</i>	Synoniem aan hellingscoëfficiënt.

truncatieniveau

In de Buchberger-Nadimpalli-methode worden reeksen statistieken bepaald van een deelverzameling van een gemeten leveringspatroon. Het truncatieniveau geeft aan welke minimale volumestroom individuele datapunten moeten hebben om tot de betreffende deelverzameling te worden gerekend. Zie ook § 2.2.1.

VLPV-methode

Vergelijking van LeveringsPatroonVerdelingen-methode, zie §3.2.

I Bevolkingsgegevens

Tabel 19: Bevolkingssamenstelling van de gemeente Tholen (bron: CBS Statline, gegevens 2009).

postcode, plaats	Huishoudens			Gemiddelde huishoudensgrootte	Leeftijdopbouw bevolking				aantal huishoudelijke aansluitingen
	Eenpersoonshuishoudens	Meerpersoonshuishoudens zonder kinderen	Meerpersoonshuishoudens met kinderen		0-12	13-20	21-64	65+	
Tholen (samengevoegd)	26,45%	33,50%	40,05%	2,54	17,1%	10,9%	56,5%	15,4%	9946

Tabel 20: Statistieken van huishoudens en bevolkingssamenstelling in de postcodegebieden van balansgebied 3 (bron: CBS Statline, gegevens 2009).

postcode, plaats	Huishoudens			Gemiddelde huishoudensgrootte	Leeftijdopbouw bevolking				aantal huishoudelijke aansluitingen
	Eenpersoonshuishoudens	Meerpersoonshuishoudens zonder kinderen	Meerpersoonshuishoudens met kinderen		0-12	13-20	21-64	65+	
1213, Hilversum	28,77%	33,46%	37,77%	2,44	18,12%	9,77%	52,53%	19,58%	58
1231, Wijdmeren	31,14%	31,55%	37,17%	2,30	14,74%	9,02%	56,25%	20,00%	3234
1393, Loenen	21,26%	34,65%	43,31%	2,51	19,17%	8,63%	58,54%	13,65%	640
1396, Abcoude	26,92%	31,73%	41,35%	2,54	16,59%	10,98%	55,00%	17,42%	39
3601, Maarssen	37,12%	32,36%	30,37%	2,08	12,05%	7,90%	53,50%	26,56%	11
3603, Maarssen	28,64%	35,18%	36,18%	2,33	16,06%	8,09%	57,42%	18,43%	32
3612, Maarssen	21,28%	38,30%	40,43%	2,53	16,82%	9,71%	56,32%	17,15%	458
3615, De Bilt	24,18%	29,67%	46,15%	2,69	17,34%	12,82%	57,34%	12,50%	408
3621, Breukelen	35,61%	28,88%	35,51%	2,25	16,40%	9,33%	56,61%	17,66%	3550
3625, Wijdmeren	33,33%	38,89%	38,89%	2,26	14,88%	11,16%	57,67%	16,28%	125
3631, Loenen	27,03%	37,84%	35,14%	2,41	17,33%	7,78%	56,00%	18,89%	194
3632, Loenen	31,25%	31,25%	37,50%	2,35	16,55%	9,23%	54,60%	19,62%	1746
3633, Loenen	32,89%	31,58%	35,53%	2,29	16,51%	9,03%	55,60%	18,86%	742
3634, Loenen	25,58%	37,21%	37,21%	2,38	14,17%	7,77%	56,70%	21,36%	218
3651, Nieuwkoop	20,00%	30,00%	50,00%	2,83	19,26%	7,41%	62,22%	11,11%	4
3652, Nieuwkoop	29,41%	27,45%	43,14%	2,60	16,69%	13,68%	59,85%	9,77%	25
3737, De Bilt	26,00%	35,33%	39,33%	2,52	18,08%	10,72%	55,73%	15,47%	63
3738, De Bilt	29,51%	34,39%	35,85%	2,41	15,79%	10,30%	55,69%	18,21%	1936
3739, De Bilt	28,81%	33,05%	38,14%	2,41	16,93%	10,87%	55,12%	17,07%	557

Tabel 21: Statistieken van huishoudens en bevolkingssamenstelling in de postcodegebieden van Postel (bron: Statbel); aantal aansluitingen in Postel volgens Pidpa.

postcode, plaats	Huishoudens			Gemiddelde huishoudens-grootte	Leeftijdopbouw bevolking				aantal huishoudelijke aansluitingen
	Een-persoons-huishoudens	Meer-persoons-huishoudens zonder kinderen	Meer-persoons-huishoudens met kinderen		0-12	13-20	21-64	65+	
Mol	27,12%	35,81%	37,07%	2,39	12,96%	8,93%	60,60%	17,51%	71

Tabel 22: Statistieken van huishoudens en bevolkingssamenstelling in de postcodegebieden van Dunea (bron: CBS Statline, gegevens 2009). De afkorting dgb staat voor deelgebied.

d g b	postcode, plaats	Huishoudens			Gemiddelde huishoudens-grootte	Leeftijdopbouw bevolking				aantal huishoudelijke aansluitingen
		Een-persoons-huishoudens	Meer-persoons-huishoudens zonder kinderen	Meer-persoons-huishoudens met kinderen		0-12	13-20	21-64	65+	
1	2761, Zuidplas	22,84%	36,08%	41,07%	2,50	14,97%	10,48%	57,80%	16,75%	2251
	2911, Zuidplas	20,89%	28,48%	50,63%	2,68	19,37%	11,54%	59,92%	9,17%	2222
	2912, Zuidplas	26,69%	35,10%	38,39%	2,40	14,46%	11,50%	56,53%	17,51%	2660
	2913, Zuidplas	19,05%	28,57%	50,00%	2,88	16,91%	12,20%	57,89%	13,01%	119
	2914, Zuidplas	25,23%	30,89%	43,88%	2,46	15,44%	10,11%	63,28%	11,17%	3129
	3059, Rotterdam	17,52%	28,41%	54,07%	2,78	27,88%	6,94%	58,83%	6,35%	3326
2	2651, Lansingerland	22,63%	33,50%	43,87%	2,55	17,67%	9,95%	58,28%	14,10%	6333
	2652, Lansingerland	17,96%	30,62%	51,42%	2,66	25,01%	5,58%	60,64%	8,77%	2593
	2661, Lansingerland	19,48%	29,36%	51,26%	2,72	20,44%	11,64%	57,44%	10,49%	4883
	2662, Lansingerland	21,10%	26,16%	52,74%	2,71	26,13%	8,27%	60,47%	5,13%	1066
	2665, Lansingerland	22,05%	34,20%	43,75%	2,58	17,38%	10,92%	57,54%	14,15%	3838
	2761, Zuidplas	22,84%	36,08%	41,07%	2,50	14,97%	10,48%	57,80%	16,75%	123
2a	2651, Lansingerland	22,63%	33,5%	43,87%	2,55	17,67%	9,95%	58,28%	14,1%	6336
	2652, Lansingerland	17,96%	30,62%	51,42%	2,66	25,01%	5,58%	60,64%	8,77%	2593
	2661, Lansingerland	19,48%	29,36%	51,26%	2,72	20,44%	11,64%	57,44%	10,49%	13
2b	2661, Lansingerland	19,48%	29,36%	51,26%	2,72	20,44	11,64	57,44	10,49	14

d g b	postcode, plaats	Huishoudens			Gemid- delde huis- houdens -grootte	Leeftijdopbouw bevolking				aantal huis- houde- lijke aanslui- tingen
		Een- persoons- huis- houdens	Meer- persoons- huis- houdens zonder kinderen	Meer- persoons- huis- houdens met kinderen		0-12	13-20	21-64	65+	
	land									
	2665, Lansinger- land	22,05%	34,2%	43,75%	2,58	17,38	10,92	57,54	14,15	3838
	2761, Zuidplas	22,84%	36,08%	41,07%	2,5	14,97	10,48	57,8	16,75	45
	3059, Rotterdam	16,98%	30,19%	52,83%	2,76	27,48	6,53	59,44	6,55	819
2c	2661, Lansinger- land	19,48%	29,36%	51,26%	2,72	20,44	11,64	57,44	10,49	4855
	2662, Lansinger- land	21,10%	26,16%	52,74%	2,71	26,13%	8,27%	60,47%	5,13%	1044
	2761, Zuidplas	22,84%	36,08%	41,07%	2,5	14,97	10,48	57,8	16,75	88
3	2266, Leidschen dam- Voorburg	29,6%	31,8%	38,6%	2,33	12,86	10,97	58,27	17,89	660
	2641, Pijnacker- Nootdorp	28,76%	34,25%	36,99%	2,33	14,44	10,36	54,92	20,29	4
	2665, Lansinger- land	22,05%	34,2%	43,75%	2,58	17,38	10,92	57,54	14,15	70
	2711, Zoeter- meer	53,54%	31,19%	15,04%	1,64	7,05	4,61	56,23	32,11	2148
	2712, Zoeter- meer	41,46%	31,1%	27,24%	1,98	11,69	7,52	60,53	20,26	2275
	2713, Zoeter- meer	46,12%	30,11%	23,61%	1,84	10,87	7,77	59,26	22,1	1444
	2715, Zoeter- meer	42,81%	28,42%	28,96%	1,95	12,5	9,39	63,05	15,06	1362
	2716, Zoeter- meer	35,29%	30,2%	34,51%	2,15	14,34	9,08	57,39	19,18	2797
	2717, Zoeter- meer	32,37%	30,53%	37,1%	2,2	14,54	10,51	62,68	12,27	3179
	2718, Zoeter- meer	22,16%	27,84%	50,14%	2,59	14,23	13,05	64,67	8,04	3653
	2719, Zoeter- meer	22,3%	32,79%	45,01%	2,55	14,12	13,53	57,45	14,89	4297
	2721, Zoeter- meer	18,89%	27,38%	53,9%	2,76	24,96	10,76	59,57	4,7	2946
	2722, Zoeter- meer	44,79%	22,05%	32,99%	2,05	16,9	10,99	59,56	12,54	2560
	2723, Zoeter- meer	35,24%	26,65%	38,11%	2,21	14,79	10,28	67,06	7,86	1718
	2724, Zoeter-	32,51%	30,2%	37,29%	2,23	14,29	9,26	63,15	13,31	2998

d g b	postcode, plaats	Huishoudens			Gemid- delde huis- houdens -grootte	Leeftijdopbouw bevolking				aantal huis- houde- lijke aanslui- tingen
		Een- persoons- huis- houdens	Meer- persoons- huis- houdens zonder kinderen	Meer- persoons- huis- houdens met kinderen		0-12	13-20	21-64	65+	
	meer									
	2725, Zoeter- meer	26,49%	35,89%	37,81%	2,32	11,63	9,95	64	14,42	2266
	2726, Zoeter- meer	35,35%	30,73%	33,93%	2,15	12,38	9,1	64,08	14,44	2514
	2727, Zoeter- meer	25,75%	28,74%	45,52%	2,46	15,07	12,74	66,31	5,88	2134
	2728, Zoeter- meer	21,23%	29,89%	48,88%	2,57	14,8	12,45	64,63	8,13	3423
	2729, Zoeter- meer	18,58%	22,06%	59,22%	2,81	22,74	12,43	60,93	3,9	3730
	2731, Rijnwoude	22,45%	31,02%	45,71%	2,72	18,19	12,23	57,83	11,75	1164
	2751, Zuidplas	20,33%	32,37%	46,89%	2,83	17,59	13,1	53,98	15,34	1160
	2752, Zuidplas	38,89%	25%	33,33%	2,25	17,28	8,89	62,72	11,11	73
	2761, Zuidplas	22,84%	36,08%	41,07%	2,5	14,97	10,48	57,8	16,75	10
4	2493, 's- Graven- hage	12,39%	24,51%	62,82%	2,97	28,2	7,65	61,98	2,17	10
	2495, 's- Graven- hage	28,57%	42,86%	28,57%	2,21	9,73	7,57	63,78	18,92	1
	2496, 's- Graven- hage	18,7%	25,81%	55,64%	2,78	25,44	9,52	61,48	3,56	3370
	2497, 's- Graven- hage	21,36%	25,1%	53,67%	2,66	22,59	10,22	62,91	4,27	3801
	2498, 's- Graven- hage	12,16%	18,92%	69,19%	3,02	29,76	9,49	57,98	2,77	1715
	2631, Pijnacker- Nootdorp	18,59%	29,03%	52,39%	2,74	20,21	11,63	57,88	10,28	4972
	2632, Pijnacker- Nootdorp	20,91%	28,52%	50,95%	2,62	25,88	7,01	61,45	5,65	1441
	2641, Pijnacker- Nootdorp	28,76%	34,25%	36,99%	2,33	14,44	10,36	54,92	20,29	5579
	2642, Pijnacker- Nootdorp	16,27%	22,78%	60,94%	2,97	24,36	12,48	59,57	3,58	2713
	2645, Pijnacker- Nootdorp	22,45%	26,88%	50,66%	2,7	24	9,51	58,06	8,42	3491
	2651, Lansinger- land	22,63%	33,5%	43,87%	2,55	17,67	9,95	58,28	14,1	33
	2716, Zoeter- meer	35,29%	30,2%	34,51%	2,15	14,34	9,08	57,39	19,18	6
5	2267, Leidschen-	23,53%	44,12%	29,41%	2,25	11,84	9,74	60	18,42	167

d g b	postcode, plaats	Huishoudens			Gemid- delde huis- houdens -grootte	Leeftijdopbouw bevolking				aantal huis- houde- lijke aanslui- tingen
		Een- persoons- huis- houdens	Meer- persoons- huis- houdens zonder kinderen	Meer- persoons- huis- houdens met kinderen		0-12	13-20	21-64	65+	
	dam- Voorburg									
	2275, Leidschen- dam- Voorburg	30,39%	28,73%	40,88%	2,41	20,07	8,05	56,2	15,68	1684
	2281, Rijswijk	33,33%	30,81%	35,86%	2,26	17,99	8,17	63,91	9,93	1989
	2282, Rijswijk	49,72%	26,36%	24,02%	1,81	11,83	6,22	63,18	18,77	5042
	2283, Rijswijk	52,67%	25,85%	21,65%	1,75	11,14	5,75	62,47	20,64	2274
	2284, Rijswijk	55,58%	28,7%	15,54%	1,61	7,66	4,95	55,68	31,7	514
	2285, Rijswijk	37,69%	29,8%	32,38%	2,11	13	8,8	55,59	22,61	2363
	2286, Rijswijk	34,34%	38,27%	27,52%	2,07	8,92	8,29	52,78	30	1411
	2287, Rijswijk	46,46%	28,79%	24,75%	1,86	11,61	7,84	54,36	26,19	634
	2288, Rijswijk	40,2%	37,25%	23,53%	1,99	11,09	7,33	68,22	13,37	690
	2289, Rijswijk	30,2%	30,87%	38,93%	2,32	13,74	10,8	64,83	10,63	590
	2295, Westland	28,57%	42,86%	35,71%	2,24	13,14	4,57	59,43	22,86	207
	2516, 's- Graven- hage	57,76%	15,52%	26,72%	1,87	15,44	12,39	65,13	7,03	1
	2548, 's- Graven- hage	20,46%	23,9%	55,64%	2,73	21,8	11,47	59,44	7,29	13
5a	2284, Rijswijk	55,58%	28,7%	15,54%	1,61	7,66	4,95	55,68	31,7	446
	2285, Rijswijk	37,69%	29,8%	32,38%	2,11	13	8,8	55,59	22,61	2383
	2286, Rijswijk	34,34%	38,27%	27,52%	2,07	8,92	8,29	52,78	30	1331
	2287, Rijswijk	46,46%	28,79%	24,75%	1,86	11,61	7,84	54,36	26,19	609
	2288, Rijswijk	40,2%	37,25%	23,53%	1,99	11,09	7,33	68,22	13,37	14
5b	2281, Rijswijk	33,33%	30,81%	35,86%	2,26	17,99	8,17	63,91	9,93	1890
	2282, Rijswijk	49,72%	26,36%	24,02%	1,81	11,83	6,22	63,18	18,77	4690
	2283, Rijswijk	52,67%	25,85%	21,65%	1,75	11,14	5,75	62,47	20,64	2177
	2288, Rijswijk	40,2%	37,25%	23,53%	1,99	11,09	7,33	68,22	13,37	368
	2289, Rijswijk	30,2%	30,87%	38,93%	2,32	13,74	10,8	64,83	10,63	498
5c	2267, Leidschen dam- Voorburg	23,53%	44,12%	29,41%	2,25	11,84	9,74	60	18,42	154
	2275, Leidschen- dam- Voorburg	30,39%	28,73%	40,88%	2,41	20,07	8,05	56,2	15,68	1604
	2495, 's- Graven-	28,57%	42,86%	35,71%	2,24	13,14	4,57	59,43	22,86	86

d g b	postcode, plaats	Huishoudens			Gemid- delde huis- houdens -grootte	Leeftijdopbouw bevolking				aantal huis- houde- lijke aanslui- tingen
		Een- persoons- huis- houdens	Meer- persoons- huis- houdens zonder kinderen	Meer- persoons- huis- houdens met kinderen		0-12	13-20	21-64	65+	
	hage									
6	2251, Voor- schoten	32,2%	30,72%	36,97%	2,31	16,56	9,75	56,49	17,2	24
	2252, Voor- schoten	28,85%	33,17%	38,22%	2,39	16,75	9,24	52,24	21,77	9
	2261, Leidschen- dam- Voorburg	38,79%	35,34%	25,86%	2,05	11,71	7,7	49,84	30,75	1755
	2262, Leidschen- dam- Voorburg	55,12%	22,99%	21,88%	1,72	11,3	8,03	59,65	21,03	518
	2263, Leidschen- dam- Voorburg	41,52%	27,15%	31,14%	2,08	15,49	9,56	53,35	21,59	542
	2264, Leidschen- dam- Voorburg	30,64%	30,64%	38,72%	2,33	14,17	10,17	59,27	16,38	3541
	2265, Leidschen- dam- Voorburg	39,38%	31,61%	28,76%	2,06	9,8	9,95	60,42	19,83	1763
	2266, Leidschen- dam- Voorburg	29,6%	31,8%	38,6%	2,33	12,86	10,97	58,27	17,89	1635
	2271, Leidschen- dam- Voorburg	31,66%	30,99%	37,35%	2,34	17,89	9,63	53,18	19,31	2995
	2272, Leidschen- dam- Voorburg	37,64%	31,66%	30,71%	2,12	14,53	7,15	52,41	25,91	2639
	2273, Leidschen- dam- Voorburg	52,65%	27,06%	20,2%	1,72	10,04	6,09	59,29	24,58	3305
	2274, Leidschen- dam- Voorburg	47,69%	27,16%	25,07%	1,86	13,23	6,37	66,84	13,55	5298
	2491, 's- Graven- hage	32%	28%	40%	2,49	17,58	13,64	58,18	10,61	366
	2492, 's- Graven- hage	16,17%	26,44%	57,51%	2,85	22,79	10,95	60,71	5,54	3977
	2493, 's- Graven- hage	12,39%	24,51%	62,82%	2,97	28,2	7,65	61,98	2,17	1487
	2495, 's- Graven- hage	28,57%	42,86%	28,57%	2,21	9,73	7,57	63,78	18,92	1
	2497, 's- Graven- hage	21,36%	25,1%	53,67%	2,66	22,59	10,22	62,91	4,27	13

d g b	postcode, plaats	Huishoudens			Gemid- delde huis- houdens -grootte	Leeftijdopbouw bevolking				aantal huis- houde- lijke aanslui- tingen
		Een- persoons- huis- houdens	Meer- persoons- huis- houdens zonder kinderen	Meer- persoons- huis- houdens met kinderen		0-12	13-20	21-64	65+	
	2592, 's- Graven- hage	62,47%	20,69%	16,84%	1,56	9,02	5,3	57,53	28,15	1
	2716, Zoeter- meer	35,29%	30,2%	34,51%	2,15	14,34	9,08	57,39	19,18	28

Tabel 23: Statistieken van huishoudens en bevolkingssamenstelling in de postcodegebieden van de niet met name genoemde Engelse DMA's (gegevens 2001, bron: Office for National Statistics licensed under the Open Government License v.1.0; aantal aansluitingen van beftreffende waterbedrijf).

D M A	pc, plaats	Huishoudens			Gemid- delde huis- houdens- grootte	Leeftijdopbouw bevolking				aantal huis- houde- lijke aanslui- tingen
		Een- persoons- huis- houdens	Meer- persoons- huis- houdens zonder kinderen	Meer- persoons- huis- houdens met kinderen		0-12	13-20	21-64	65+	
a	Ano- niem	28,74%	42,91%	28,35%	2,40	15,46%	9,77%	57,36%	17,41%	2640
b										4336
c										1515

