



Plafondtemperatuur en temperatuurgradiënten in badkamers



UNETO-VNI



Voorstudie ST-37



Aan de totstandkoming van deze rapportage van de voorstudie hebben meegewerkt:

In samenwerking met

De voor dit project uitgevoerde metingen in de praktijk zijn uitgevoerd en verwerkt door ISSO. De metingen in de NEN-EN 442-2 meetkamer zijn uitgevoerd door Mark Ruison bij JAGA in Diepenbeek (B).

De rapportage werkzaamheden zijn mogelijk gemaakt door financiële ondersteuning van:

- JAGA in Diepenbeek (B);
- TVVL in Woerden;
- Uneto-VNI in Zoetermeer.

Werkgroep

De metingen en rapportage van de voorstudie werden begeleid door een werkgroep die als volgt is samengesteld:

Dhr. ing. E. (Erik) van der Blom	Uneto-VNI/TVVL
Dhr. ing. O.W.W. (Oscar) Nuijten (tot 1-4-2015)	ISSO
Dhr. ing. W.G. (Walter) van der Schee	Croonwolter&dros/TVVL
Mw. ing. I. (Irene) van Veelen (vanaf 1-10-2015)	ISSO
Dhr. ing. R.G.J. (Ruud) Verbraak	WTH
Dhr. J. (Jan) Verdonck	JAGA
Dhr. ir. A.M. (Harry) van Weele (rapporteur)	ISSO



Datum

21 februari 2017

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave	3
Samenvatting	5
Inleiding	7
1 Praktijkmetingen	9
1.1 Radiatorenverwarming	9
1.1.1 Radiator bij badkamer aan de gevel	9
1.1.2 Radiator bij inpandige badkamer	12
1.1.3 Conclusies radiatorenverwarming	14
1.2 Vloerverwarming.....	15
1.2.1 Vloerverwarming bij badkamer aan de gevel	15
1.2.2 Conclusies Vloerverwarming bij badkamer aan de gevel.....	18
1.2.3 Vloerverwarming bij inpandige badkamer	19
1.2.4 Conclusies Vloerverwarming bij inpandige badkamer	21
2 Metingen in de meetkamer	23
2.1 Vloerverwarming.....	23
2.2 Radiator op lage temperatuur	24
2.3 Radiator op hoge temperatuur	26
2.4 Overgedimensioneerde radiator	27
2.5 Conclusies NEN-EN 442 meetkamer	28
3 Conclusies	30
Bijlage A: Gebruikte apparatuur	33
Bijlage B: Meetseries gedurende meerdere dagen	36
B.1 Overzicht alle metingen.....	36
B.2 Temperaturen in het vertrek	39
Bijlage C: Checklist Hotspots	42
Literatuurlijst	46

Samenvatting

De Checklist hotspots ter voorkoming van legionella [1] maakt gebruik van temperatuurgradiënten. Deze waarden zijn bepaald in het verleden bij systemen met een grote warmtevraag. De geldigheid van die waarden en daarmee de juistheid van de Checklist hotspots voor de huidige energiezuinige bouw wijzen met een geringe warmtevraag en om na te gaan in hoeverre de praktijk met de theorie overeenstemt is er behoefte aan nader onderzoek met o.a. praktijkmetingen.

Over het al dan niet aanwezig zijn van een temperatuurgradiënt in vertrekken met vloerverwarming en/of radiatoren/convectoren bestaan veel verschillende meningen die vooral gebaseerd zijn op gevoel. Ook is het de vraag of de plafondtemperatuur wel of niet sterk beïnvloed wordt door aanstraling van de vloer bij vertrekken met vloerverwarming. Over (goede) metingen beschikt men niet.

Het al dan niet aanwezig zijn van een temperatuurgradiënt heeft invloed op de geschiktheid van het plafond voor het onderbrengen van waterleidingen bij badkamers enerzijds en anderzijds op het warmteverlies van het vertrek.

Gedurende het winterseizoen 2014 – 2015 zijn daarom in een aantal badkamers met vloerverwarming en laag temperatuur-radiatoren (LTV) metingen uitgevoerd in een praktische/bewoonde situatie. Het betrof per badkamer de volgende metingen:

- In- en uitgaande watertemperatuur (op de verdeler of de radiator/convector);
- Ruimtetemperaturen in het centrum van de badkamer op 1,50 m hoogte en 1 cm onder het plafond;
- Oppervlaktetemperaturen van de vloer en het plafond.

Met behulp van dataloggers zijn gedurende meerdere aaneengesloten dagen iedere 10 minuten de bovengenoemde temperaturen vastgelegd en later geanalyseerd.

Daarnaast zijn er metingen uitgevoerd in een NEN-EN 442-2 [2] testkamer. Dit is een kamer waarin het vermogen van verwarmingssystemen op genormeerde wijze kan worden bepaald. In de meetkamer zijn onder laboratorium omstandigheden hetzelfde soort metingen uitgevoerd als in de eerder genoemde woningen.

Uit de metingen blijkt dat er bij vloerverwarming nauwelijks tot geen sprake is van een temperatuurgradiënt en dat de plafondtemperatuur vooral beïnvloed wordt door de luchttemperatuur direct onder het plafond. De temperatuur van het plafond blijft onder de 25 °C bij vloerverwarming.

Bij ruimtetemperaturen van 20 °C en 22 °C en verwarming met LT-radiatoren is er sprake van een temperatuurgradiënt maar blijft de plafondtemperatuur lager dan 25 °C.

Bij een ruimtetemperatuur van 24 °C en verwarming met LT-radiatoren is de luchttemperatuur vlak onder het plafond wel iets boven de 25 °C maar de plafondtemperatuur net niet.

Bij wateraanvoertemperaturen van 50°C en hoger is het convectieve deel van de warmteoverdracht zo groot dat de plafondtemperatuur hoger wordt dan 25°C en dat de luchttemperatuur net onder het plafond ruim boven de 25 °C uitkomt. Hierdoor is, bij aanvoertemperaturen boven de 50 °C en een ruimtetemperatuur ≥ 24 °C, het plafond niet geschikt voor het plaatsen van waterleidingen.

Bij toepassingen met (nagenoeg) constante binnentemperaturen (zoals in bijvoorbeeld verzorgingstehuizen) vormen hoge binnentemperaturen (24 °C), ook bij een kortstondige verhoging van de watertemperatuur geen probleem; de temperaturen van het plafond en er net onder worden niet te hoog.

In tabel 0.1 is aangegeven welke praktijkmetingen zijn uitgevoerd en in tabel 0.2 zijn de in de meetkamer uitgevoerde metingen weergegeven. In de tabellen wordt in de laatste kolom aangegeven of een aanpassing van de *Checklist hotspots* nodig is.

Tabel 0.1 Overzicht van de uitgevoerde praktijkmetingen

Verwarmingssysteem	Ruimte-temperatuur [°C]	Aanvoer-/retour-temperatuur [°C]	Temperatuur 10 cm onder plafond [°C]	Plafond-temperatuur [°C]	Aanpassen checklist nodig
Vloerverwarming	19,5	29/28	19,8	19,6	Nee
Vloerverwarming	18,2	39/31	18,4	18,1	Nee
Vloerverwarming	21,1	26/22	21,6	22,3	Nee
Radiator	23,7	37/27	26,5	25,3	*)
Radiator	23,3	44/39	25,3	22,8	Nee

*) Betreft een radiator die vrij sterk overgedimensioneerd is. Zie ook paragraaf 2.4

Tabel 0.2 Overzicht van in de meetkamer uitgevoerde metingen

Verwarmingssysteem	Ruimte-temperatuur [°C]	Aanvoer-/retour-temperatuur [°C]	Temperatuur 10 cm onder plafond [°C]	Plafond-temperatuur [°C]	Aanpassen checklist nodig
Vloerverwarming	20	35/30	20,1	20,1	Nee
		45/40	20,1	20	Nee
		55/50	20	19,9	Nee
	22	35/30	21,9	21,7	Nee
		45/40	21,8	21,7	Nee
		55/50	22	21,9	Nee
	24	35/30	23,8	23,6	Nee
		45/40	23,9	23,7	Nee
		55/40	23,9	23,9	Nee
Radiator	20	45/40	23	21,8	Nee
		55/50	24,7	22,8	Nee
		65/60	23,3	21,7	Nee
		75/70	24,0	22,2	Nee
	22	45/40	24,6	23,4	Nee
		55/50	26,3	24,5	Nee
		65/60	25,1	23,5	Nee
		75/70	25,8	24	Nee
	24	55/50	27,8	26,1	*
		65/60	26,7	25,2	*
		75/70	27,6	25,8	*
		65/60	28,1	25,7	Ja **
Radiator overdimensionering	22	75/70	30	27,2	Ja **
		65/60	29,6	27,3	*
	24	75/70	31,4	28,5	*

*) Deze ruimtetemperaturen zijn niet in de hotspot richtlijnen opgenomen.
 **) Opmerking over het beperken van de overdimensionering (zie ook paragraaf 2.4).

Opmerking:

Bij het bepalen van de minimale afstanden in de checklist hotspots is uitgegaan van een situatie zonder overdimensionering van de verwarming. Wanneer overdimensionering in de praktijk wel aan de orde is (kan met een warmteverliesberekening bepaald worden), dan moet voorzichtig omgegaan worden met de minimale afstanden (zie ook paragraaf 2.4)

Inleiding

De *Checklist hotspots* (zie bijlage C) [1] geeft voor een aantal verwarmingssystemen de afstanden die waterleidingen minimaal moeten hebben ten opzichte van verwarmingsleidingen. De checklist geeft deze waarden voor verschillende ruimtetemperaturen en verschillende temperaturen van het verwarmingsmedium.

Bij het opstellen van de checklist is uitgegaan van systemen die juist gedimensioneerd en goed ingeregeld zijn.

Voor het opstellen van de checklist is gebruik gemaakt van temperatuurgradiënten in ruimten zoals die gegeven zijn in de warmteverliesberekening, waarbij de temperatuur in de waterleidingen maximaal 25 °C mocht zijn. De temperatuurgradiënten in de warmteverliesberekening [3] zijn in het verleden bepaald voor de toenmalige bouwwijzen en warmtevragen. Tegenwoordig is de warmtevraag veel geringer en rijst de vraag of de gehanteerde waarden nog zonder meer toepasbaar zijn of dat de checklist op een aantal plaatsen eventueel aangepast moet/kan worden. De badkamer is in het algemeen de ruimte in huis met de hoogste ontwerp-binnentemperatuur en daarom wordt nu de aandacht vooral op badkamers gericht. Over het al dan niet aanwezig zijn van een verticale temperatuurgradiënt in een badkamer zijn vele meningen/veronderstellingen. In het algemeen zijn de ideeën gebaseerd op gevoel of een incidentele meting met één opnemer waarbij handmatig de temperatuur op verschillende hoogten gemeten wordt. Het ontbreekt hierbij aan praktijkmetingen op meerdere punten gelijktijdig en gedurende een iets langere tijd en aan metingen in volledig beheerste omstandigheden als een klimaatkamer/testkamer waar ruimtetemperaturen exact in te stellen zijn.

Het aanwezig zijn van een verticale temperatuurgradiënt heeft enerzijds invloed op het warmteverlies door het plafond en anderzijds op de temperatuur van het plafond en daarmee de temperatuur van koud leidingwater wanneer de leidingen door het plafond lopen. In het algemeen worden de waterleidingen in de vloer gelegd en daarna gaan ze in/langs de wand omhoog naar het tappunt. Aangezien steeds meer leidingen in de vloer worden opgenomen is het in kleine vertrekken als een badkamer lastig te voldoen aan de eis dat uittapleidingen voor koud en warm water bij geen gebruik een temperatuur lager dan 25 °C moet hebben. Dit probleem wordt nog groter wanneer de badkamer voorzien is van vloerverwarming. Deze metingen hebben twee doelen:

- Nagaan of de tot nu toe gehanteerde gradiënten die in het verleden zijn bepaald voor slecht geïsoleerde gebouwen nu ook nog van toepassing zijn;
- Zijn de toegepaste regels in de Checklist hotspots ter voorkoming van Legionella nog juist of is er behoefte aan aanpassing.

Naast het al dan niet aanwezig zijn van een temperatuurgradiënt speelt ook de vraag of het plafond opgewarmd wordt door aanstraling van de warme vloer bij vloerverwarming.

Om antwoorden op deze vragen te geven is een tweetal meetprojecten uitgevoerd:

- Praktijkmetingen in een aantal woningen;
- Metingen in de NEN-EN 442-meetkamer van JAGA.

De praktijkmetingen zijn uitgevoerd in goed geïsoleerde woningen met vloerverwarming en woningen met radiatoren/convectoren. Voor beide systemen is gekeken naar een woning met de badkamer aan de gevel en een inpandige badkamer.

Per woning zijn de volgende meetpunten beschouwd:

- In- en uitgaande watertemperatuur (op de verdeler of de radiator);
- Ruimtetemperaturen in het centrum van de badkamer en 1 cm onder het plafond;
- Oppervlaktetemperaturen van de vloer en het plafond.

Voor de buitentemperaturen tijdens de metingen is gebruik gemaakt van het dichtst bij gelegen KNMI-klimaatstation. De metingen zijn uitgevoerd voor temperaturen rond en net onder het vriespunt. Dit zijn klimaatcondities die in normale winters het overgrote deel van de tijd voorkomen.

In de DIN-meetkamer is gemeten aan zowel vloerverwarming, als radiatoren. Voor ieder verwarmingssysteem zijn de volgende meetpunten beschouwd:

- In- en uitgaande watertemperatuur (bij aanvoer en afvoer van vloerverwarming cq radiator);
- Ruimtetemperaturen in het centrum van de ruimte op 1,55 m hoogte, 5 cm onder het plafond en 1 cm onder het plafond;
- Oppervlaktetemperatuur van het plafond.

Bij de metingen in de meetkamer is vanwege de aansluiting op de Checklist hotspots uitgegaan van ruimtetemperaturen van 20, 22 en 24 °C. De ingaande watertemperaturen zijn aangepast op die van de Checklist hotspots. Op de verschillende metingen wordt in de volgende hoofdstukken nader ingegaan.

1 Praktijkmetingen

Voor de volgende situaties zijn metingen uitgevoerd:

- Radiator bij badkamer aan de gevel;
- Radiator bij een inpanidige badkamer.
- Vloerverwarming bij een inpanidige badkamer;
- Vloerverwarming bij badkamer aan de (goed geïsoleerde) gevel;

Bij iedere meting zijn de volgende gegevens vastgelegd:

- Aanvoertemperatuur van het cv-systeem c.q. de vloerverwarming;
- Retourtemperatuur van cv-systeem c.q. de vloerverwarming;
- Oppervlaktetemperatuur van de vloer;
- Oppervlaktetemperatuur van het plafond;
- Luchttemperatuur op ca. 1,55 m in de badkamer;
- Luchttemperatuur op 1 cm onder het plafond.

De metingen hebben in het algemeen plaatsgevonden in Limburg, West Brabant en de Randstad. In alle gevallen is sprake van moderne, goed geïsoleerde woningen. De betreffende badkamers zijn tijdens de metingen normaal in bedrijf op de manier zoals de betreffende gebruikers dat altijd doen. De installatie is niet anders geregeld dan de gebruikers normaal doen. Hierdoor is de temperatuur in de badkamers bij de verschillende meetseries niet hetzelfde. Bij de metingen is sprake van de gebruikelijke dagpatronen (nachtverlaging, opwarmen, dagbedrijf/avondbedrijf, afkoelen).

Bij de eerste serie metingen is gebruik gemaakt van een aantal in de badkamer aanwezige voorzieningen als een make-up spiegel en de designradiator om de sensoren en dataloggers op te hangen. Voor de vervolg metingen is gebruik gemaakt van een douchegordijnstang waaraan de apparatuur en sensoren bevestigd zijn (zie foto's bij de verschillende metingen).

De gebruikte apparatuur en de gebruikte sensoren zijn beschreven in bijlage A. De dataloggers zijn met de sensoren gekalibreerd door de leverancier.

Bijlage B bevat de grafiek van de metingen gedurende meerdere dagen. In de tekst is steeds één dag weergegeven waarbij het buiten (relatief) koud was. De conclusies zijn steeds gebaseerd op de gehele meetperiode.

Gedurende meerdere aaneengesloten dagen zijn de verschillende temperaturen iedere 10 minuten bepaald en in een datalogger opgeslagen en daarna ingevoerd in Excel om er grafieken mee te maken en gemiddelde waarden te kunnen bepalen.

1.1 Radiatorenverwarming

1.1.1 Radiator bij badkamer aan de gevel

Het betreft een badkamer aan de gevel met een niet te openen raam. De woning is van 2000. De buitengevel heeft een Rc-waarde van 3,5. De badkamer is gelegen boven de woonkamer en het toilet en onder een overloop. De ruimte wordt verwarmd door een 50% overgedimensioneerde badkamerradiator. Deze radiator is voorzien van een, ca. 20 cm boven de vloer geplaatste, thermostatische afsluiter (zie Foto 1.4). Hierdoor is er sprake van een systeem waarbij de warmte boven in het vertrek opgebouwd moet worden alvorens de thermostatische afsluiter reageert op een temperatuurverhoging en daardoor te veel warmte afgeeft hetgeen resulteert in een groter temperatuurgradiënt.

De cv-combiketel wordt geregeld op basis van een stooklijn en naregeling per vertrek door toepassing van thermostatische afsluiters. 's Nachts (23.00 -7.00 uur) wordt een verlaging van de stooklijn met 5 K toegepast. De temperatuur in de onderliggende woonkamer is overdag continue rond de 21,5 °C.

De plaatsing van de sensoren is gegeven in foto 1.1 t/m 1.4.



Foto 1.1 Meting van de vloertemperatuur



Foto 1.2 Meting van de ruimtetemperatuur

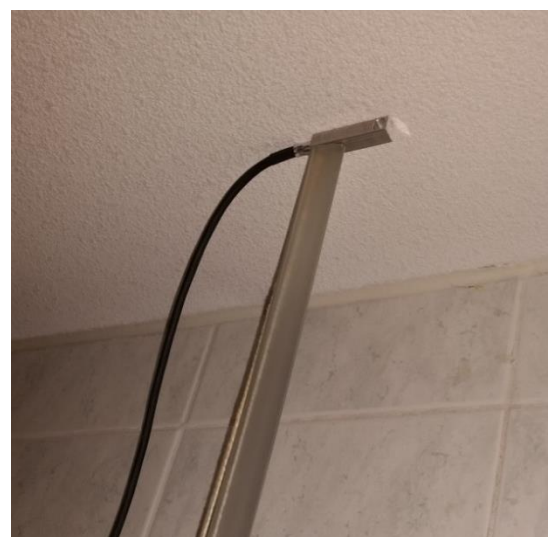


Foto 1.3 Meting van de temperatuur net onder het plafond (links) en de plafondtemperatuur (sensor tegen plafond geklemd met een kunststofstrip) (rechts)

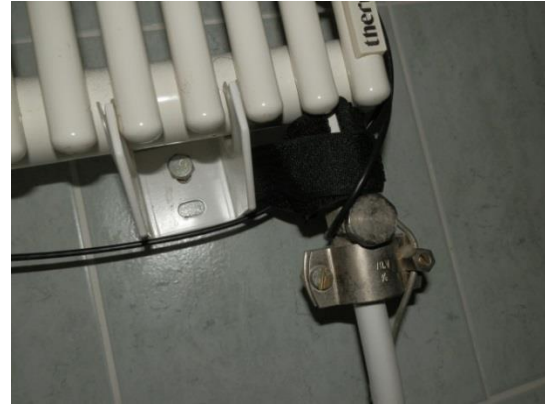
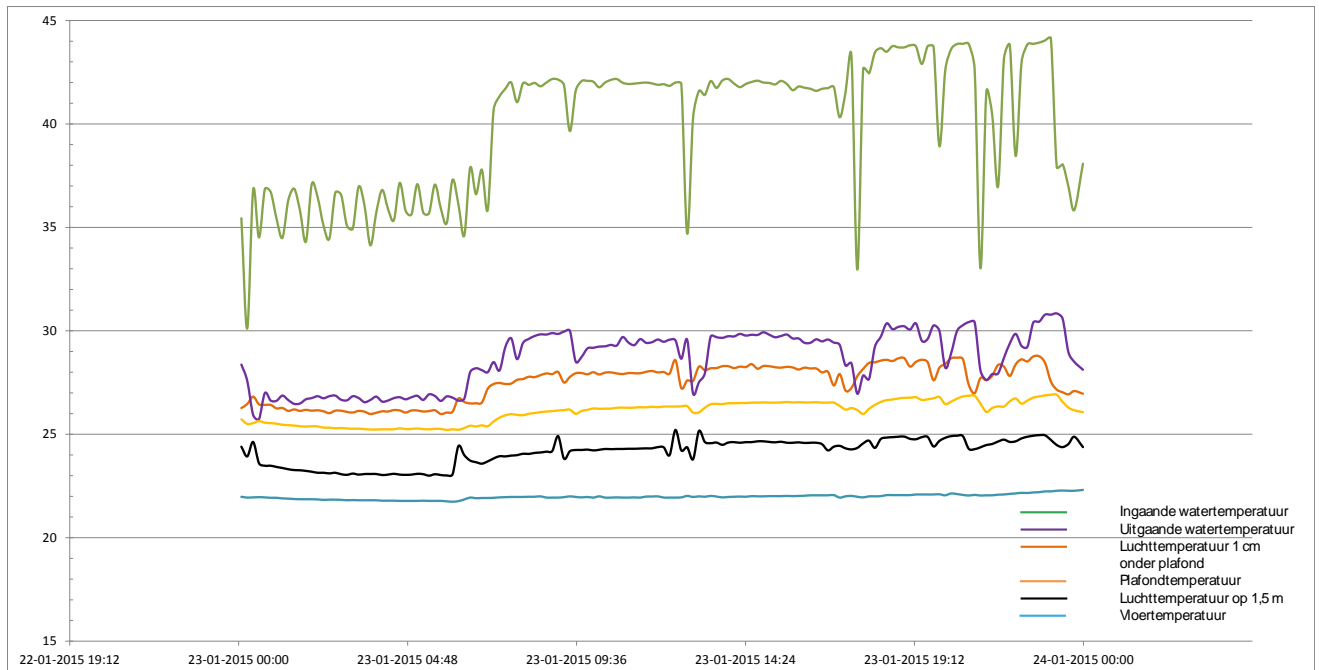


Foto 1.4 Bepaling in- en uitgaande watertemperatuur

In afbeelding 1.1 zijn de verschillende temperaturen weergegeven voor 1 dag. Het betreft een dag dat de buitentemperatuur 's nachts $-6,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ is. De gemiddelde etmaal temperatuur is $-2,8\text{ }^{\circ}\text{C}$. Het maximum gedurende de dag is $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Voor de buitentemperaturen is gebruik gemaakt van de klimaatgegevens van klimaatstation 340 (Woensdrecht). Dit is ca. 15 km verwijderd van de betreffende woning.



Afbeelding 1.1 Temperaturen op 23 januari 2015

Voor de betreffende dag geldt dat de gemiddelde temperatuur in het centrum van de ruimte $24,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ is. De gemiddelde temperatuur 1 cm onder het plafond is $27,3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Het verschil is dus $3,2\text{ K}$.

De lagere waarden in de aanvoerwatertemperatuur (licht groene lijn) worden veroorzaakt door warmwatergebruik.

Wat opvalt is dat de gemiddelde plafondtemperatuur boven de $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ligt en dus ongeschikt is voor plaatsing van een waterleiding. De vloer is wel geschikt voor plaatsing van een waterleiding omdat de temperatuur altijd onder de $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ is. Ondanks het feit dat sprake is van LTV is er toch een behoorlijke temperatuurgradiënt (bijna 2 K/m).

In de periode van 18 januari t/m 28 januari is de gemiddelde buitentemperatuur $1,8\text{ }^{\circ}\text{C}$. De gemiddelde waarden voor de verschillende temperaturen zijn gegeven in Tabel 1.1.

Tabel 1.1 Gemiddelde waarden voor de temperaturen in de periode 18-1 t/m 28-1-2015

Beschrijving	Gemiddelde waarde [°C]	Verskil [K]
Buitemtemperatuur	1,8	
Aanvoerwatertemperatuur cv-water	37,0	9,8
Retourtemperatuur cv-water	27,2	
Ruimtetemperatuur op 1,55 m	23,7	2,8
Temperatuur 1 cm onder plafond	26,5	
Vloertemperatuur	22,2	3,1
Plafondtemperatuur	25,3	

Conclusies

Ondanks het feit dat duidelijk sprake is van LTV is er toch een temperatuurverschil tussen het midden van het vertrek en 1 cm onder het plafond van gemiddeld 2,8 K. Dit komt overeen met een temperatuurgradiënt van ongeveer 2 K/m.

Bij een warmteverliesberekening moet met een temperatuurgradiënt bij dit type verwarming rekening gehouden worden.

Het verschil tussen de vloertemperatuur en de plafondtemperatuur is gemiddeld 3 K.

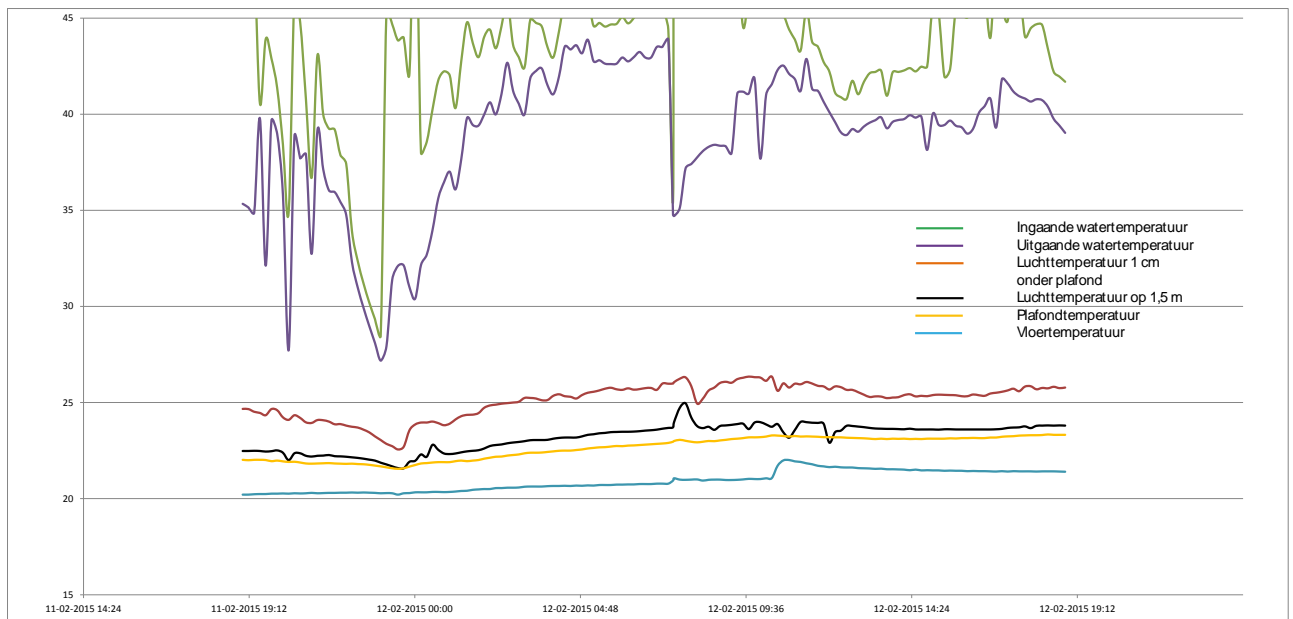
De gemiddelde plafondtemperatuur ligt net boven de 25 °C. Het plaatsen van een waterleiding hierin zou risico's geven voor legionella en levert te hoge koudwatertemperaturen.

Hierbij moet opgemerkt worden dat de temperatuur in de badkamer aan de hoge kant was (rond de 23 °C), maar een lagere temperatuur wordt als onbehaaglijk ervaren. Meerdere recente onderzoeken wijzen in de richting van badkamer temperaturen van 23-24 °C [4].

Deze situatie is vanwege de overdimensionering van de radiator niet geschikt om te vergelijken met de Checklist hotspots. Wel kan eventueel een nieuwe variant worden toegevoegd die betrekking heeft op overdimensionering, zie voorstel in Tabel 1.3. Zie ook paragraaf 2.4.

1.1.2 Radiator bij inpandige badkamer

Het betreft een moderne goed geïsoleerde woning. De badkamer is inpandig en gelegen op de eerste verdieping. De badkamer en grenst aan verwarmde ruimten. De temperatuur in het bovengelige vertrek is 18-19 graden. De badkamer wordt verwarmd met een handdoekradiator. Afbeelding 1.2 geeft het verloop van de temperaturen gedurende 24 uur. De gemiddelde buitemperatuur was in deze periode 4,1 °C. De gemiddelde waarde voor de verschillende temperaturen zijn gegeven in Tabel 1.2.



Afbeelding 1.2 Verloop van de temperaturen op 11-2-2015

Tabel 1.2 Gemiddelde waarden voor de temperaturen in de periode 11-2 t/m 12-2-2015

Beschrijving	Gemiddelde waarde [°C]	Verskil [K]
Buitemtemperatuur	4,1	
Aanvoerwatertemperatuur cv-water	44,1	5,0
Retourtemperatuur cv-water	39,1	
Ruimtetemperatuur op 1,55 m	23,3	2,0
Temperatuur 1 cm onder plafond	25,3	
Vloertemperatuur	21,1	1,7
Plafondtemperatuur	22,8	

Conclusies

Ondanks het feit dat duidelijk sprake is van LTV is er toch een temperatuurverschil tussen het midden van het vertrek en 1 cm onder het plafond van gemiddeld 2,0 K. Dit komt overeen met een temperatuurgradiënt van ongeveer 1,5 K/m.

De gemiddelde plafondtemperatuur ligt met ongeveer 23 °C onder de 25 °C. De luchttemperatuur 1 cm onder het plafond is wel hoger dan 25 °C. Conform de Checklist hotspots is het plaatsen van een waterleiding in het plafond niet aan te bevelen.

De hier toegepaste situatie ligt qua temperaturen tussen twee punten van de Checklist hotspots (ruimtetemperatuur 23 °C). De resultaten komen overeen met de checklist hotspots.

1.1.3 Conclusies radiatorenverwarming

De checklist is gebaseerd op een goed ontwerp van de verwarmingsinstallatie dat wil zeggen dat de installatie goed ingeregeld en niet overgedimensioneerd is.

De plafondtemperatuur ligt 2,5K lager dan de ruimtetemperatuur 1 cm onder het plafond. Dit komt doordat de vloermassa in zijn geheel de gemiddelde temperatuur aanneemt van de onder- en bovenliggende ruimte. We adviseren de huidige meetresultaten te vergelijken met de simulatieberekeningen die ten grondslag hebben gelegen aan de checklist om te kijken of aanpassing nodig is.

Tabel 1.3 Aanbevelingen voor aanpassing in de Checklist hotspots

Type leiding	Isolatie/mantelbuis om warme leiding	Temperatuur [°C]			Minimum horizontale afstand A_{min} [mm]	Kruisende waterleiding in constructievloer toegestaan?
		Medium aanvoer/retour	Ruimte boven vloer	Aan plafond onder vloer		
	1	2	3	4	5	6
CV-leidingen in de vloer	Isolatie 10 mm	HTV 80/60	22	25	Niet toepassen ²⁾	Nee
		LTV 55/40	22	25 ³⁾	?	Nee
		LTV 40/30	22	24	200	Nee
	Mantelbuis	HTV 80/60	22	25	Niet toepassen ²⁾	Nee
		LTV 55/40	22	25 ³⁾	?	Nee
		LTV 40/30	22	24	350	Nee

1. mva = minimum verticale afstand t.o.v. warme leiding in dekvloer (mva = A_{min} en alleen haalbaar bij voldoende vloerdikte en als de constructievloer geschikt is voor het wegwerken van leidingen).
2. Buiten een afstand van 1,5 m is de invloed van de warme leiding vrijwel nihil en kan de waterleiding worden opgenomen.
3. Bij niet ingeregelde en/of overgedimensioneerde radiatoren kan de temperatuur onder het plafond duidelijk hoger zijn dan hier aangegeven is waardoor een waterleiding niet in het plafond of hoog in de ruimte mag worden opgenomen.

1.2 Vloerverwarming

1.2.1 Vloerverwarming bij badkamer aan de gevel

Hier is een tweetal woningen doorgemeten. De woningen zijn van na 2000.

1.2.1.1 Woning 1

Deze woning heeft vloerverwarming op de begane grond en op de verdiepingvloer. De badkamer is gelegen op de eerste etage en voorzien van vloerverwarming en een handdoekradiator. Tijdens de metingen is de handdoekradiator uitgeschakeld. Foto 1.5 toont de meetboom zoals die op de badrand geplaatst is. Foto 1.6 geeft de plaatsing van de sensor voor de vloertemperatuur. Op de verdeler zijn de groepen gemerkt en de sensoren voor de in- en uitgaand watertemperatuur op de betreffende buizen aangebracht (zie foto 1.7). Foto 1.8 geeft de plaatsing van de sensoren voor het meten van de plafondtemperatuur en de luchttemperatuur 1 cm onder het plafond. Dit is het bovenaanzicht van het bruine blokje met de sensoren dat in foto 1.5 tegen het plafond geplaatst is.



Foto 1.5 Plaatsing van de meetboom.



Foto 1.6 Plaatsing sensor vloertemperatuur



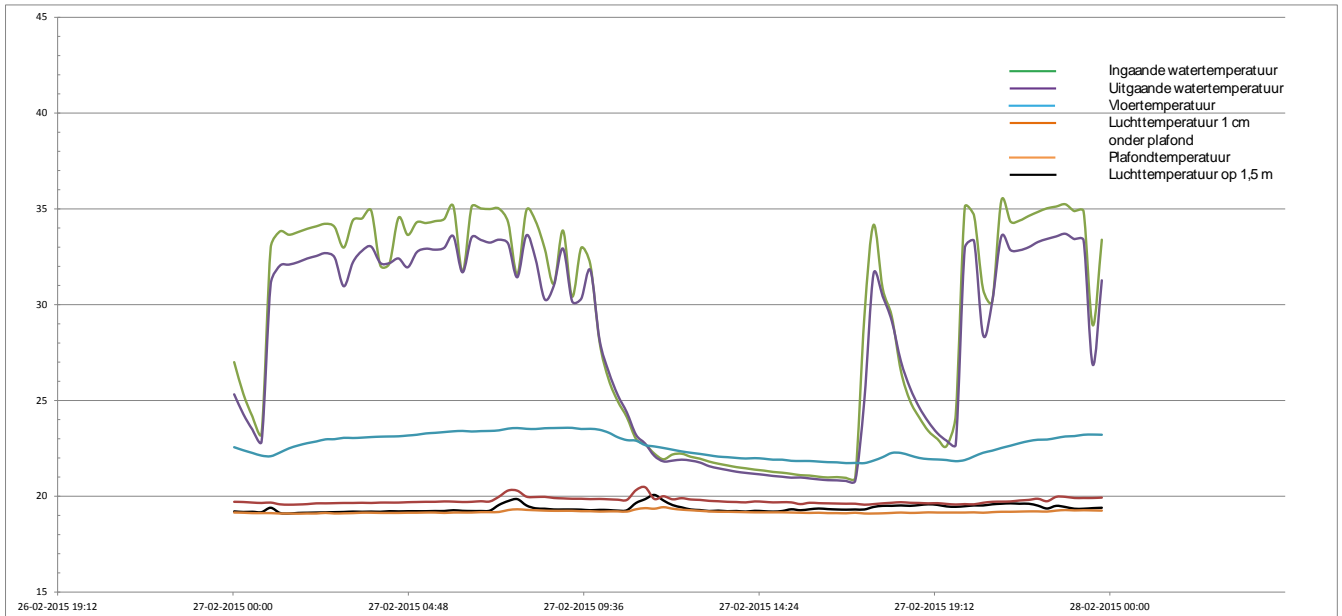
Foto 1.7 Plaatsing opnemers watertemperatuur.
plafondtemperatuur



Foto 1.8 Houder met sensor

en temperatuur 1 cm onder het plafond

De metingen zijn uitgevoerd in de periode van 26-2-2015 tot en met 2-3-2015. De gemiddelde buitentemperatuur is in deze periode 6,1 °C. 's Nachts is de buitentemperatuur rond het vriespunt. Afbeelding 1.3 geeft het verloop van de temperaturen op 27-2-2015. De gemiddelde etmaaltemperatuur is deze dag 5 °C.



Afbeelding 1.3 Verloop van de temperaturen op 27-2-2015.

Tabel 1.4 geeft de gemiddelde waarden van de verschillende temperaturen gedurende de meetperiode.

Tabel 1.4 Gemiddelde waarden voor de temperaturen in de periode 26-2 t/m 2-3-2015

Beschrijving	Gemiddelde waarde [°C]	Vershil [K]
Buitentemperatuur	6,1	
Aanvoertemperatuur cv-water	29,0	1,0
Retourtemperatuur cv-water	28,0	
Ruimtetemperatuur op 1,55 m	19,5	0,3
Temperatuur 1 cm onder plafond	19,8	
Vloertemperatuur	22,6	3,0
Plafondtemperatuur	19,6	

1.2.1.2 Woning 2

Deze woning heeft beneden vloerverwarming en boven radiatoren. Deze woning is ruim 5 jaar oud en beter geïsoleerd dan de minimum bouwbesluiten.

De badkamer is gelegen op de verdiepingvloer en heeft vloerverwarming als hoofdverwarming. Boven de badkamer is geen verwarming aanwezig.

Foto 1.9 toont de plaatsing van de meetboom. Aangezien de sensoren voor de plafondtemperatuur en de temperatuur 1 cm onder het plafond dicht bij een lichtpunt liggen is hier voor de duur van de metingen de lamp verwijderd (zie foto 1.10).



Foto 1.9 Plaatsing van de meetboom

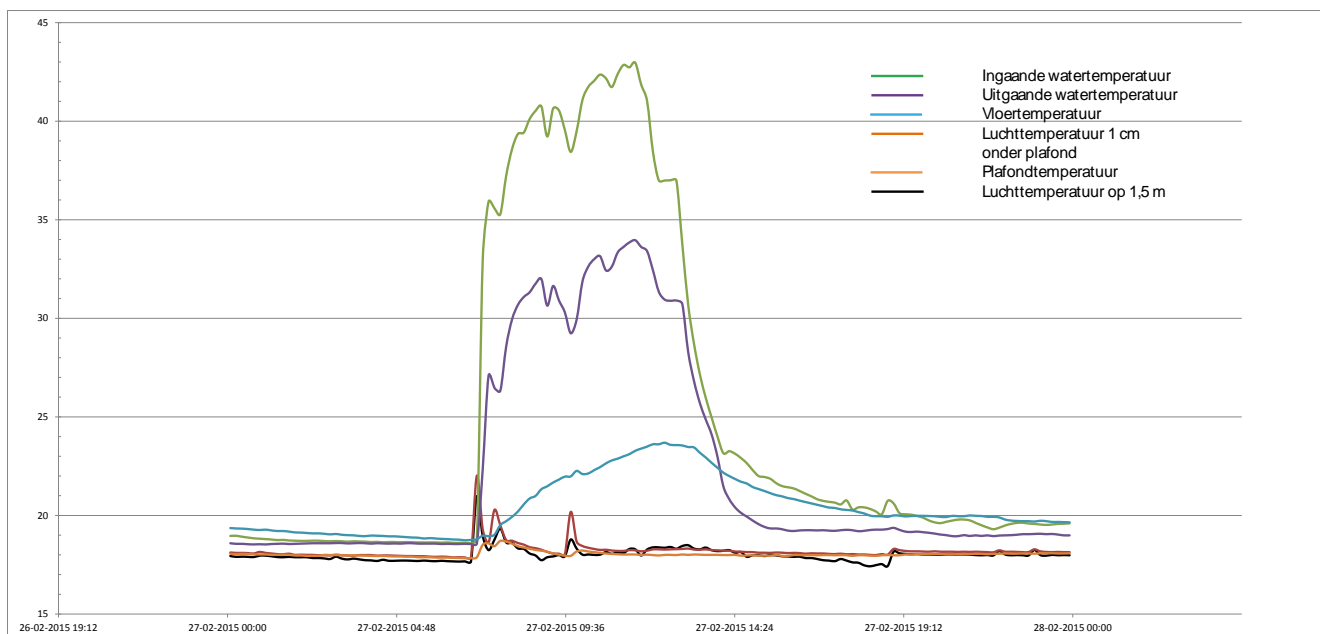


Foto 1.10 Verlichting tijdelijk verwijderd.



Foto 1.11 Plaatsing van de vloersensor.

De metingen zijn uitgevoerd in de periode van 26-2-2015 tot en met 4-3-2015. De gemiddelde buitentemperatuur in deze periode is 5,4 °C. Gedurende de eerste dagen van de meetperiode is er 's nachts een paar graden vorst. Afbeelding 1.4 geeft het verloop van de temperaturen op 27-2-2015. De gemiddelde buitentemperatuur is 4,6 °C.



Afbeelding 1.4 Verloop van de temperaturen op 27-2-2015.

Tabel 1.5 geeft de gemiddelde waarden van de verschillende temperaturen gedurende de meetperiode.

Tabel 1.5 Gemiddelde waarden voor de temperaturen in de periode 26-2 t/m 28-2-2015

Beschrijving	Gemiddelde waarde [°C]	Vershil [K]
Buitentemperatuur	5,2	
Aanvoertemperatuur cv-water	22,8	1,9
Retourtemperatuur cv-water	20,9	
Ruimtetemperatuur op 1,55 m	18,2	0,2
Temperatuur 1 cm onder plafond	18,4	
Vloertemperatuur	20,0	1,9
Plafondtemperatuur	18,1	

1.2.2 Conclusies Vloerverwarming bij badkamer aan de gevel

Bij de vertrekken met een badkamer aan de gevel en vloerverwarming als hoofdverwarming waarbij de vloerverwarming op (zeer) lage temperaturen bedreven wordt is er een kleine temperatuurgradiënt. Deze is echter zo klein dat er rekenkundig voor een warmteverliesberekening geen rekening mee gehouden hoeft te worden.

De temperatuur van het plafond blijft in de buurt van de ruimtetemperatuur en voegt voor legionella geen extra risico toe. Waterleidingen mogen in het plafond gelegd worden wanneer er in het bovengelegen vertrek geen vloerverwarming aanwezig is of de vloerverwarming is voorzien van tussenisolatie.

Beide metingen tonen dat de vloertemperatuur relatief langzaam stijgt bij een verhoging van de watertoevoertemperatuur en langzaam daalt nadat de warmtetoevoer stopt.

In beide gevallen was de luchttemperatuur vrij laag.

De plafondtemperatuur volgt de luchttemperatuur vlak onder het plafond meer dan de vloertemperatuur.

We adviseren de Checklist hotspots uit te breiden met de geel gemarkeerde temperaturen in Tabel 1.6.

Aanbevelingen hotspots vloerverwarming

Tabel 1.6 Voorstel uitbreiding Checklist hotspots

Verwarming onderliggende ruimte	Vloerbedekking	Temperatuur [°C]			Tussen - isolatie	Minimum horizontale afstand (naast vloerverwarming) [mm]	Waterleiding onder tussenisolatie toegestaan?
		Vloerverwarming	Ruimte boven vloer	Ruimte onder vloer			
1	2	3	4	5	6	7	8
Hoofd vloerverwarming	Tegels/plavuizen	50	20	20	Ja	250	Ja
			22	22		300	mha 150 mm ¹⁾
			24	24		400	mha 400 mm
		40	22	22		250	Ja
		30	22	22		150	
		30	20	20		100	

1) mha = minimum horizontale afstand ten opzichte van de vloerverwarming die boven de tussenisolatie ligt.

1.2.3 Vloerverwarming bij inpandige badkamer

Het betreft een goed geïsoleerde woning van ca. 5 jaar oud. In het gehele huis is vloerverwarming aangebracht als hoofdverwarming. De badkamer is gelegen tussen twee slaapkamers en een gang/overloop. In het vertrek boven de badkamer is ook vloerverwarming (zonder tussenisolatie) aangebracht.

Foto 1.12 geeft een beeld van de plaatsing van de meetboom.

Foto 1.13 geeft de sensoren op de verdeler. Doordat de groepen niet gemerkt waren moest gebruik gemaakt worden van de temperatuur van de verdeler. Voor de aanvoertemperatuur heeft dit geen invloed. De retourtemperatuur kan daarom alleen als indicatie gelden.

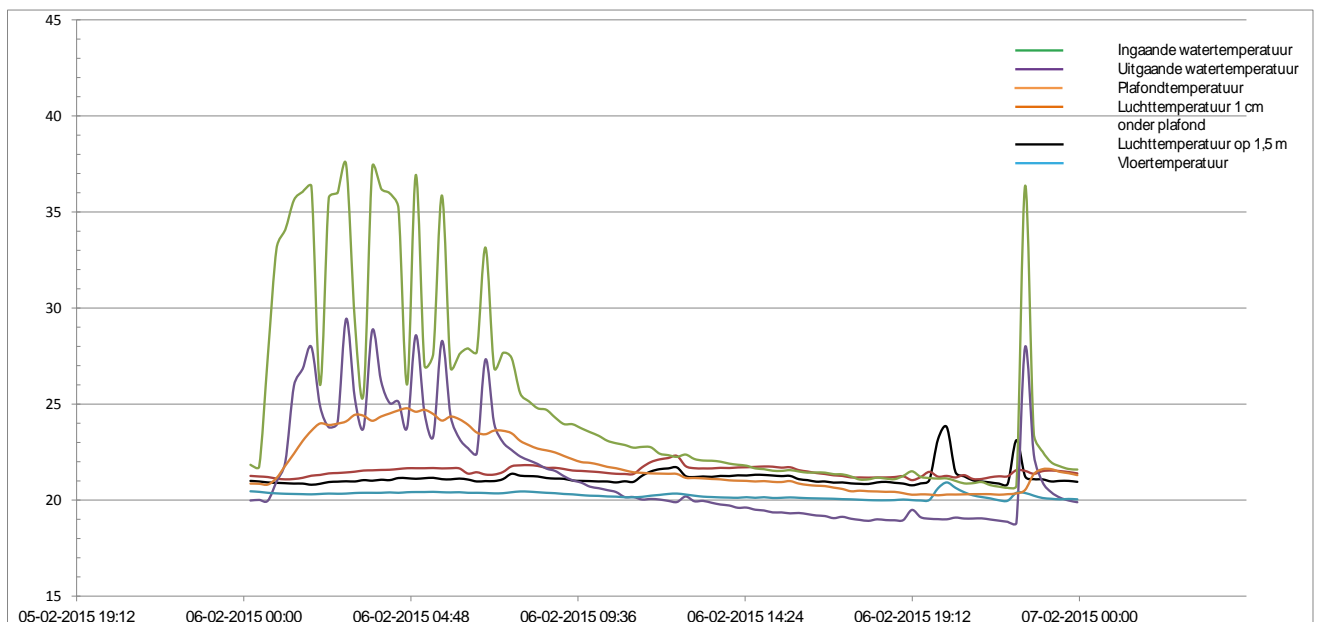


Foto 1.12 Plaatsing van de meetboom temperatuursensor



Foto 1.13 Plaatsing van de op de verdeler.

Afb. 1.5 bevat de gemeten temperaturen van 6 februari 2015. Het is die dag gemiddeld 2,2 °C met als minimum -3,3 °C en als maximum 7,8 °C. Tabel 1.7 geeft de gemiddelde waarden van de verschillende temperaturen gedurende de meetperiode.



Afbeelding 1.5 Verloop van de temperaturen op 6-2-2015.

Tabel 1.7 Gemiddelde waarden voor de temperaturen in de periode 6-2 t/m 9-2-2015

Beschrijving	Gemiddelde waarde [°C]	Vershil [K]
Buitentemperatuur	3,2	

Aanvoertemperatuur cv-water	26,4	3,9
Retourtemperatuur cv-water	22,5	
Ruimtetemperatuur op 1,55 m	21,1	0,5
Temperatuur 1 cm onder plafond	21,6	
Vloertemperatuur	20,1	2,2
Plafondtemperatuur	22,3	

Uit afbeelding 1.5 blijkt dat de plafondtemperatuur vrij sterk met de watertemperatuur stijgt terwijl de omstandigheden in het vertrek nagenoeg niet veranderen. Dit betekent dat het plafond opgewarmd wordt door het bovenliggende vertrek. Dit is met het oog op de levering van koudwater en/of Legionella een ongewenste en niet toegestane plaats voor een waterleiding.

1.2.4 Conclusies Vloerverwarming bij inpandige badkamer

Bij deze inpandige badkamer met vloerverwarming als hoofdverwarming is er een kleine temperatuurgradiënt. Deze is echter zo klein dat er rekenkundig voor een warmteverliesberekening geen rekening mee gehouden hoeft te worden.

De temperatuur van het plafond is hoger dan de ruimtetemperatuur en benadert de 25 °C.

Te verwachten is dat bij lage buitentemperaturen (<-5 °C) de 25 °C van het plafond iets overschreden gaat worden.

De luchttemperatuur is net boven de 20 °C en is dus vrij laag.

De plafondtemperatuur volgt de aanvoertemperatuur. Dit wordt veroorzaakt door buizen van de vloerverwarming van het bovengelegen vertrek. Deze beïnvloeding is sterker dan die van de luchttemperatuur 1 cm onder het plafond. In deze situatie is het plafond slechts onder bepaalde voorwaarden geschikt voor het plaatsen van waterleidingen.

Dit komt overeen met de tabel uit de Checklist hotspots voor vloerverwarming zonder tussenisolatie.

2 Metingen in de meetkamer

De NEN-EN 442-2 [2] meetkamer is een vertrek van 4 x 4 meter met een hoogte van 3 meter. Van deze kamer zijn de wanden en het plafond opgebouwd uit met vloeistof doorstroomde panelen die nauwkeurig te regelen zijn. Hierdoor zijn de buitenomstandigheden instelbaar. De meetkamer is niet voorzien van ventilatie of andere voorzieningen waardoor extra convectieve overdracht kan plaatsvinden. Ook zijn er geen personen of verlichting in de meetkamer tijdens de metingen. Normaal wordt deze testkamer gebruikt om het vermogen van radiatoren/convectoren te meten conform NEN-EN 442-2. Deze meetkamer is in principe niet bedoeld voor het meten van het vermogen van vloerverwarming. Voor de metingen om na te gaan of er altijd een temperatuurgradiënt aanwezig is of niet en wat de plafondtemperatuur in die situaties wordt, is het plafond gedurende de metingen niet gekoeld en is over een deel van de meetkamer een houten paneel aangebracht. Vanwege de het goed kunnen instellen van de testomstandigheden en de goede nauwkeurigheid van de NEN-EN 442 meetkamer is ervoor gekozen deze meetkamer voor dit onderzoek te gebruiken, waarbij er niet alleen naar gemeten is aan radiatoren/convectoren, maar is ook een droogbouw vloerverwarming in de testkamer aangelegd (zie foto 2.2).

2.1 Vloerverwarming

De droogbouw vloerverwarming is vrij gehouden van de opstaande wanden en bestaat uit gegroefde platen van geëxpandeerd polystyreen met daarin vloerverwarmingsbuizen met een hart-op-hart afstand van 150 mm. Boven op de buizen in de voorgegroefde isolatieplaten is een 10 mm Fermacell lastverdeellaag aangebracht. De vloerverwarming is waterzijdig zo ingesteld dat het verschil tussen de aanvoer- en retourtemperatuur 5K is. Vanwege de aansluiting op de Checklist hotspots is uitgegaan van ruimtetemperaturen van 20, 22 en 24 °C. Ook de ingaande watertemperaturen zijn aangepast op die van de Checklist hotspots: 35 °C /30 °C, 45 °C /40 °C en 55 °C /50 °C.



Foto 2.1 Geëxpandeerde PS- plaat met Fermacell lastverdeellaag



Foto 2.2 Aansluiting van vloerverwarming op aanvoer en retour van meetkamer

Foto 2.3 toont de temperatuursensoren bij het plafond. Tabel 2.1 geeft de resultaten van de metingen met vloerverwarming.



Foto 2.3 Houten plaat bij het plafond met de temperatuursensoren

Tabel 2.1 Overzicht van de metingen met vloerverwarming.

De rij met de ruimtetemperaturen is licht grijs gekleurd.

Gemiddelde watertemp	[°C]	32,56	42,49	52,51	32,785	42,5	52,52	33,11	42,51	52,495
CV-aanvoer	[°C]	35	44,99	55	35	44,99	55	35	45,01	55
CV-retour	[°C]	30,12	39,99	50,02	30,57	40,01	50,04	31,22	40,01	49,99
Ruimtetemperatuur	[°C]	20,08	20,03	19,98	22,04	21,96	22,01	24,05	24,16	23,89
Contacttemperatuur vloer	[°C]	23,3	25,8	28	24,79	27,18	29,51	26,21	28,88	30,94
Contacttemperatuur plafond	[°C]	20,07	20,1	19,8	21,68	21,66	21,85	23,6	23,68	23,86
1cm onder plafond	[°C]	20,07	20	19,95	21,85	21,78	21,95	23,83	23,86	23,86
Vermogen vloerverwarming	[W]	346	681	1013	312	626	955	263	562	904

Conclusies:

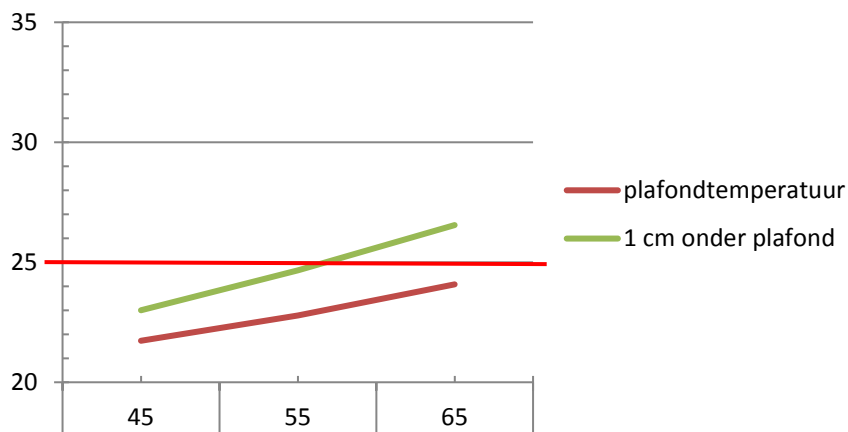
Met vloerverwarming is er geen verticale temperatuurgradiënt en zolang de ruimtetemperatuur onder de 25 °C blijft, blijft de oppervlaktetemperatuur van het plafond onder deze omstandigheden onder de 25 °C en kan een waterleiding in het plafond onder bepaalde voorwaarden worden aangebracht. Dit komt overeen met hetgeen in de Checklist hotspots is opgenomen.

2.2 Radiator op lage temperatuur

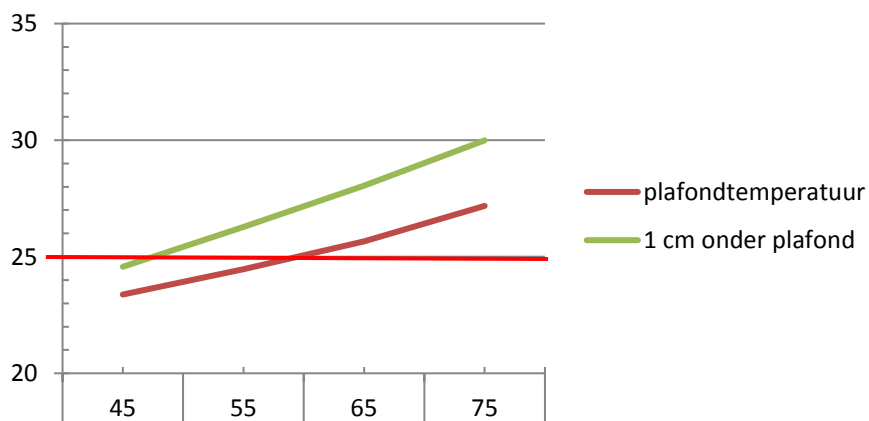
Voor deze metingen is een radiator met convectielamellen voor één van de wanden geplaatst. Deze wand wordt niet actief gekoeld. Omdat de wand gekoeld kan worden bestaat de wand uit een metalen paneel dat doorstroomd kan worden met koelvloeistof. Om een onrealistisch grote warmteafgifte naar deze wand te voorkomen is een houten paneel achter de radiator voor deze metalen wand geplaatst (zie foto 2.4). Deze radiator was de statische uitvoering van JAGA type Tempo met een lengte van 110cm, een hoogte van 60cm en element type15. Een statische radiator wil zeggen dat er geen voorzieningen waren om extra convectie te genereren. Voor de aanvoer- en retourtemperatuur van de radiator zijn, omwille van de aansluiting op de Checklist hotspots, de volgende temperaturen aangehouden: 45 °C /40 °C en 55 °C /50 °C. De ruimtetemperaturen zijn 20 °C, 22°C en 24 °C. Afbeelding 2.1 geeft de oppervlaktetemperatuur van het plafond en de temperaturen 1 cm en 10 cm onder het plafond bij een ruimtetemperatuur van 20 °C. Afbeelding 2.2 geeft deze temperaturen bij een ruimtetemperatuur van 22 °C.



Foto 2.4 Low-H₂O radiator in de proefkamer



Afbeelding 2.1 Plafondtemperatuur en temperaturen 1 cm en 10 cm onder het plafond bij een ruimtetemperatuur van 20 °C



Afbeelding 2.2 Plafondtemperatuur en temperaturen 1 cm en 10 cm onder het plafond bij een ruimtetemperatuur van 22 °C

Tabel 2.2 Overzicht van de metingen met een radiator en aanvoerwatertemperaturen van maximaal 55 °C. De rij met de ruimtetemperaturen is licht grijs gekleurd

Gemiddelde watertemperatuur	[°C]	42,505	42,49		52,505	52,515	52,49
CV-aanvoer	[°C]	45	45		55	55	55
CV-retour	[°C]	40,01	39,98		50,01	50,03	49,98
Ruimtetemperatuur	[°C]	20,03	22,11		20	21,99	24,01
Contacttemperatuur vloer	[°C]	19,82	21,64		19,57	21,54	23,44
Contacttemperatuur plafond	[°C]	21,73	23,38		22,78	24,46	26,06
1cm onder plafond	[°C]	23	24,57		24,67	26,28	27,79
Vermogen radiator	[W]	547	469,85		951	866,58	777,69

Conclusies

Bij toepassing van passieve low-H₂O radiatoren is sprake van een temperatuurgradiënt. Bij toepassing van radiatoren met water aanvoer-/retourtemperaturen tot 50 °C is het plaatsen van waterleidingen in het plafond geen probleem. De gevonden resultaten komen overeen met de Checklist hotspots is opgenomen.

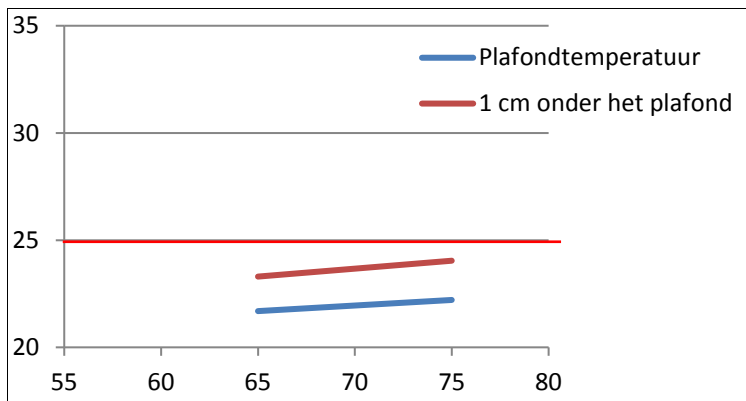
2.3 Radiator op hoge temperatuur

Voor deze metingen is een andere radiator geselecteerd. De radiator is zo geselecteerd dat de afgegeven vermogens bij de hogere watertemperaturen vergelijkbaar zijn met die van de vloerverwarming en de radiator met lage watertemperaturen. Vanwege de aansluiting op de Checklist hotspots is uitgegaan van ruimtetemperaturen van 20 °C en 22 °C. Daarnaast is ook gekeken naar een ruimtetemperatuur van 24 °C. De wateraanvoertemperaturen waren 65 °C en 75 °C.

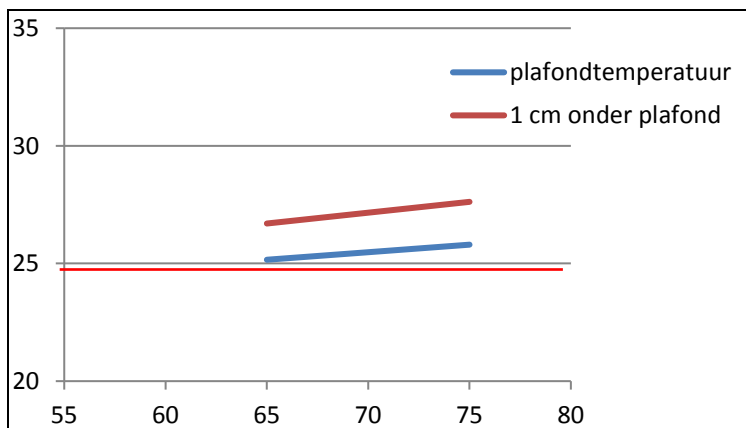
Afbeelding 2.3 geeft de oppervlaktetemperatuur van het plafond en de temperaturen 1 cm en 10 cm onder het plafond bij een ruimtetemperatuur van 24 °C. Tabel 2.3 geeft een overzicht van de meetwaarden.

Tabel 2.3 Overzicht van de metingen met een radiator met convectielamellen en hoge wateraanvoertemperaturen. De rij met de ruimtetemperaturen is licht grijs gekleurd.

Gemiddelde watertemperatuur	[°C]	62,5	62,495	62,515	72,515	72,5	72,49
CV-aanvoer	[°C]	65	65	65,01	75,01	75	74,99
CV-retour	[°C]	60	59,99	60,02	70,02	70	69,99
Ruimtetemperatuur	[°C]	20	22,03	24	19,98	21,97	24,09
Contacttemperatuur vloer	[°C]	19,58	21,55	23,26	19,53	21,42	23,24
Contacttemperatuur plafond	[°C]	21,69	23,52	25,16	22,21	24	25,8
Temp. 1 cm onder plafond	[°C]	23,3	25,08	26,7	24,04	25,77	27,62
Vermogen radiator	[W]	584	547	505	790	747	695



Afbeelding. 2.3 Plafondtemperatuur en temperatuur 1 cm onder het plafond bij een ruimtetemperatuur van 20 °C



Afbeelding. 2.4 Plafondtemperatuur en temperaturen 1 cm onder het plafond bij een ruimtetemperatuur van 24 °C

Conclusies

Bij toepassing van radiatoren op hoge temperatuur is sprake van een niet te verwaarlozen temperatuurgradiënt. De gevonden resultaten komen overeen met de Checklist hotspots is opgenomen.

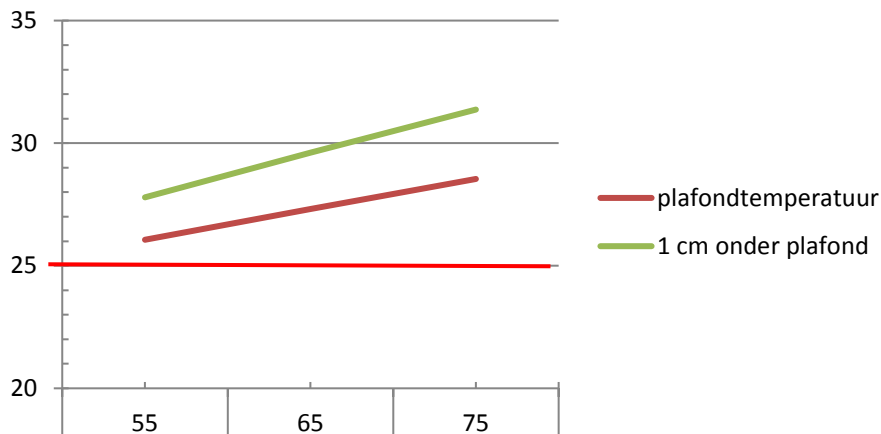
2.4 Overgedimensioneerde radiator

Ook is gekeken naar de invloed van de grootte van de radiator om een bepaalde toestand te realiseren (invloed van overdimensionering). De radiator was dezelfde als in paragraaf 2.2 Voor de aanvoer- en retourtemperatuur van de radiator zijn de volgende temperaturen aangehouden: 65 °C /60 °C en 75 °C /70 °C. De ruimtetemperaturen zijn aangepast op de Checklist hotspots: 20 °C, 22°C en 24 °C. Afbeelding 2.5 geeft de oppervlaktetemperatuur van het plafond en de temperaturen 1 cm en 10 cm onder het plafond bij een ruimtetemperatuur van 24 °C.

Tabel 2.4 Overzicht van de metingen met een radiator met convectielamellen en hoge wateraanvoertemperaturen. De rij met de ruimtetemperaturen is licht grijs gekleurd.

Gemiddelde watertemperatuur [°C]	62,46	62,5	62,51	72,145	72,285
CV-aanvoer [°C]	64,99	65,01	65	75,01	75
CV-retour [°C]	59,93	59,99	60,02	69,28	69,57
Ruimtetemperatuur [°C]	20,02	21,99	24,03	22,29	23,98
Contacttemperatuur vloer [°C]	19,4	21,25	23,22	21,49	23,1
Contacttemperatuur plafond [°C]	24,08	25,66	27,31	27,18	28,54
1cm onder plafond [°C]	26,55	28,05	29,61	29,99	31,37

Vermogen radiator	[W]	1433	1333	1225		1802	1714
-------------------	-----	------	------	------	--	------	------



Afbeelding 2.5 Plafondtemperatuur en temperatuur 1 cm onder het plafond bij een ruimtetemperatuur van 24 °C

Conclusies

Bij toepassing van radiatoren met wateraanvoertemperaturen boven de 50 °C is sprake van een duidelijke temperatuurgradiënt.

Het juist dimensioneren van de warmtebronnen is van grote invloed op de optredende temperatuurgradiënt en de plafondtemperatuur. Bij sterke overdimensionering van de radiator wordt het vertrek bovenin duidelijk warmer en is het niet meer mogelijk waterleidingen in het plafond op te nemen bij ruimtetemperaturen hoger dan 22 graden.

Over de invloed van een duidelijke overdimensionering is niets opgenomen in de Checklist hotspots. Dat zou wel moeten gebeuren. Het advies is een algemene zin over een correcte dimensionering toe te voegen (zie ook de opmerking bij de samenvatting)

De temperatuurgradiënt moet bij zowel de warmteverliesberekening als bij beschouwingen betreffende het gebruik van waterleidingen in het plafond in rekening worden gebracht.

2.5 Conclusies NEN-EN 442 meetkamer

Samengevat zijn uit de metingen in de NEN-EN 442-2 meetkamer van JAGA de volgende conclusies te trekken:

Vloerverwarming

- Vloerverwarming geeft bij ruimte temperaturen $\leq 24^{\circ}\text{C}$ geen probleem. Plafondtemperaturen blijven $\leq 25^{\circ}\text{C}$. Ook de luchttemperatuur net onder het plafond blijft onder de 25 °C.
- Verwarmen met lage water temperaturen geeft bij geen enkel systeem een probleem. Vloerverwarming is altijd op LTV en ook radiatoren (zelfs in opstart met grote belasting) geeft ook geen probleem.

Radiatoren

- Bij hoge binnentemperatuur (bijv. 24 °C), geven alleen systemen met een geringe convectieve warmteoverdracht (LTV-systemen) temperaturen boven in de ruimte die onder de 25 °C blijven.
- Hoge watertemperaturen (HTV) bij systemen met een grote convectieve warmteoverdracht veroorzaken een te hoge plafondtemperatuur en te hoge temperaturen direct onder het plafond.
- Het juist dimensioneren van de warmtebronnen is van grote invloed op de optredende temperatuurgradiënt en de plafondtemperatuur. Bij sterke overdimensionering van de radiator wordt het vertrek bovenin duidelijk warmer en is het niet mogelijk waterleidingen in het plafond op te nemen bij ruimtetemperaturen hoger dan 22 graden.

Verder is tijdens de metingen gebleken dat radiatoren/convectoren in de opstart fase (opstarten met een ruimte temperatuur van bijvoorbeeld 20 °C naar 24 °C) bij flinke belasting een probleem kunnen geven

(temperaturen bovenin het vertrek en de plafondtemperatuur > 25 °C). De temperaturen komen boven de 25°C uit en na enkele uren dalen de temperaturen tot onder de 25 °C. Doordat de waterleidingen een aantal cm in het beton liggen dringen de tijdelijk hogere temperaturen niet door tot de waterleiding. De gevolgen hiervan vallen buiten de scope van dit onderzoek. Het advies is bij twijfel niet toepassen.

3 Conclusies

De conclusies zijn gesplitst in conclusies m.b.t. het risico op legionellagroei en het kunnen leveren van koud drinkwater enerzijds (zie paragraaf 3.1) en de invloed van een temperatuurgradiënt op de warmteverliesberekening anderzijds (zie paragraaf 3.2). Voor beide doelen zijn onderstaand de conclusies weergegeven.

3.1 Levering van koudwater en voorkoming van legionellagroei

De conclusies uit de metingen met betrekking tot levering van koudwater en voorkoming van legionellagroei zijn per verwarmingstype weergegeven.

Vloerverwarming

- Er is bij vloerverwarming geen noemenswaardige verhoging van de plafondtemperatuur of de luchttemperatuur vlak onder het plafond. Het is mogelijk koudwaterleidingen in het plafond te plaatsen, e.e.a. overeenkomstig de Checklist hotspots.
- Van een duidelijke invloed van aanstraling van het plafond door de vloerverwarming is geen sprake. De plafondtemperatuur volgt de luchttemperatuur 1 cm onder het plafond. De vloertemperatuur heeft vrijwel geen invloed bij deze kleine temperatuurverschillen.

Radiatoren

- Bij ruimtetemperaturen tot 22 °C en laagtemperatuur verwarming (LTV) is sprake van een temperatuurgradiënt maar blijft de plafondtemperatuur en de temperatuur net onder het plafond onder de 25 °C. Dit komt overeen met de tot nu toe gehanteerde temperatuurgradiënten en de checklist Hotspots.
- Bij een ruimtetemperatuur van 24 °C en laagtemperatuur verwarming (LTV) is de luchttemperatuur net onder het plafond iets boven de 25 °C maar blijft de plafondtemperatuur net onder de 25 °C. Dit komt overeen met de tot nu toe gehanteerde temperatuurgradiënten en de checklist Hotspots en is het mogelijk een waterleiding in het plafond aan te brengen.
- Bij hoog-temperatuur verwarming (HTV) is sprake van een grote temperatuurgradiënt (3 graden) en komt de temperatuur van het plafond bij badkamertemperaturen boven de 22 °C al snel boven de 25 °C. Bij HTV-toepassingen is het plafond beperkt geschikt om er waterleidingen in aan te brengen e.e.a. overeenkomstig de Checklist hotspots.
- Bij ruimtetemperaturen boven de 22 °C en HTV is het plafond niet geschikt om er waterleidingen in aan te brengen omdat de plafondtemperatuur dan boven de 25 °C komt.
- Het juist dimensioneren van de warmtebronnen is van grote invloed op de optredende temperatuurgradiënt en de plafondtemperatuur. Bij sterke overdimensionering van de radiator wordt het vertrek bovenin duidelijk warmer en is het, ook bij toepassing van LTV, niet meer mogelijk waterleidingen in het plafond op te nemen bij ruimtetemperaturen hoger dan 22 °C.

Conclusies met betrekking tot de Checklist hotspots

- Er zijn bij een correcte dimensionering geen aanwijzingen gevonden dat de Checklist hotspots aanpassingen behoeft.
- Als dringend advies geldt het opnemen van een opmerking dat de checklist geldt bij juiste dimensionering en inregeling. Wanneer radiatoren/convectoren 50% of meer worden overgedimensioneerd dan is het niet mogelijk waterleidingen in het plafond of boven in de ruimte op te nemen, doordat tijdens aanwarmen grote temperatuurgradiënten optreden bij ruimtetemperaturen van 22 °C en hoger.

3.2 Warmteverliesberekening

Conclusies uit de metingen met betrekking tot de warmteverliesberekening

- Bij vloerverwarming is de temperatuurgradiënt te verwaarlozen. Dit komt overeen met de in ISSO-51 [3] gehanteerde waarde;

- Bij radiatoren (zowel LTV als HTV) wijkt de temperatuurgradiënt niet af van de tot nu toe in de ISSO-51 toegepaste waarden.

Opmerking:

Overdimensionering valt alleen te constateren door een warmteverliesberekening voor de betreffende ruimte uit te voeren en de uitkomst hiervan te vergelijken met het opgestelde vermogen.

Bijlage A: Gebruikte apparatuur.

Bij de metingen is gebruik gemaakt van dataloggers van het type Saveris 2 T2 van Testo. Dit zijn draagbare dataloggers, met een opslagruimte voor 10.000 metingen, waarop externe sensoren kunnen worden aangesloten. De verschillende dataloggers zijn met sensoren gekalibreerd (zie foto A1) .



Foto A1: Datalogger en sensoren zijn samen gekalibreerd.

De dataloggers kunnen een groot aantal metingen opslaan en via een netwerkaansluiting in de cloud opslaan. Van hieruit kunnen de bestanden in Excel-files geëxporteerd worden.

Voor het meten van ruimtetemperaturen(luchttemperaturen), oppervlaktetemperaturen en watertemperaturen is gebruik gemaakt van verschillende sensoren:

- Watertemperatuur

Voor het meten van de watertemperaturen is gebruik gemaakt van een temperatuurvoeler met klittenband voor oppervlaktemetingen aan buizen, Model 0613 4611. De nauwkeurigheid is +/- 0,2 K en een reactietijd van 60 sec (zie foto A2). De voeler kan met het klittenband tegen de buis geklemd worden.



Foto A2 Temperatuurvoeler met klittenband

- Luchttemperatuur

Voor het meten van de luchttemperaturen is gebruik gemaakt van voelers model nr 0613 1712. De nauwkeurigheid is +/- 0,2 K en een reactietijd van 60 sec (zie foto A3).



Foto A3: Temperatuuropnehmer

- Oppervlaktetemperaturen.

Voor het bepalen van de oppervlaktetemperatuur van de vloer en het plafond is gebruik gemaakt van een NTC-voeler is een aluminiumblok. , Model 0628 7516. De nauwkeurigheid is +/- 0,2 K en een reactietijd van 150 sec (zie foto A4). Voor meting van de vloertemperatuur werd de vloeren met tape op de grond bevestigd (zie foto A5). Voor het bepalen van de plafondtemperatuur is, om beschadiging van het plafond te voorkomen, gebruik gemaakt van een blokje van kurk waarin een holte gefreesd was. In dit blokje was ook de luchttemperatuur sensor opgenomen. (zie foto A6). Foto A.7 geeft een bovenaanzicht van de houder die gebruikt is voor meting van de plafondtemperatuur en de luchttemperatuur 1 cm onder het plafond.



Foto A4: Voeler voor oppervlaktetemperatuur.



Foto A5: Meting van de vloertemperatuur



Foto A6: Meting van de plafondtemperatuur en de temperatuur 1 cm onder het plafond.

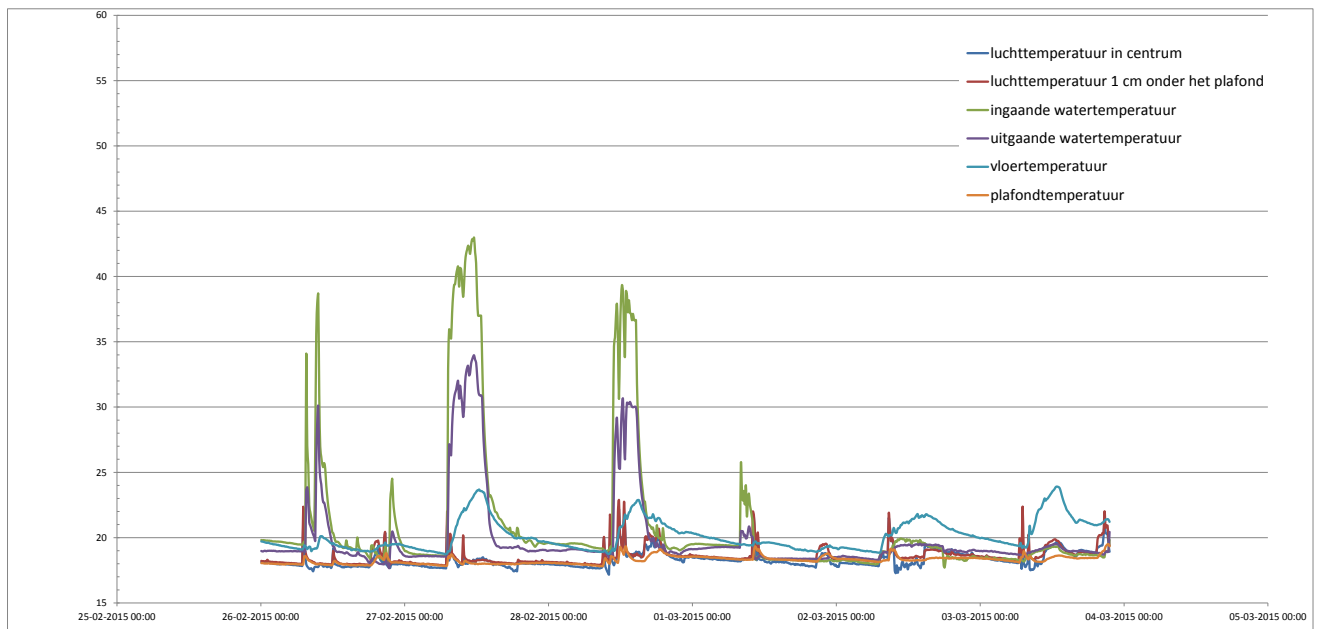
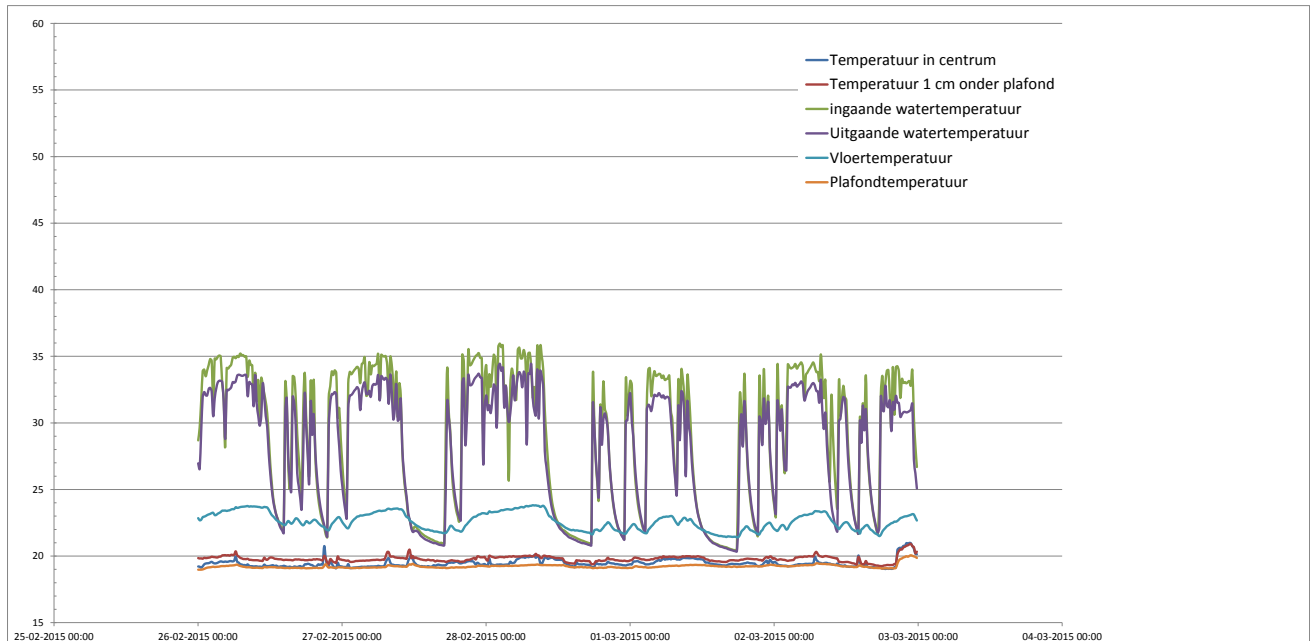


Foto A7: Houder met meetsensoren voor meting plafondtemperatuur en luchttemperatuur 1 cm onder het plafond

Bijlage B: Meetseries gedurende meerdere dagen

B.1 Overzicht alle metingen

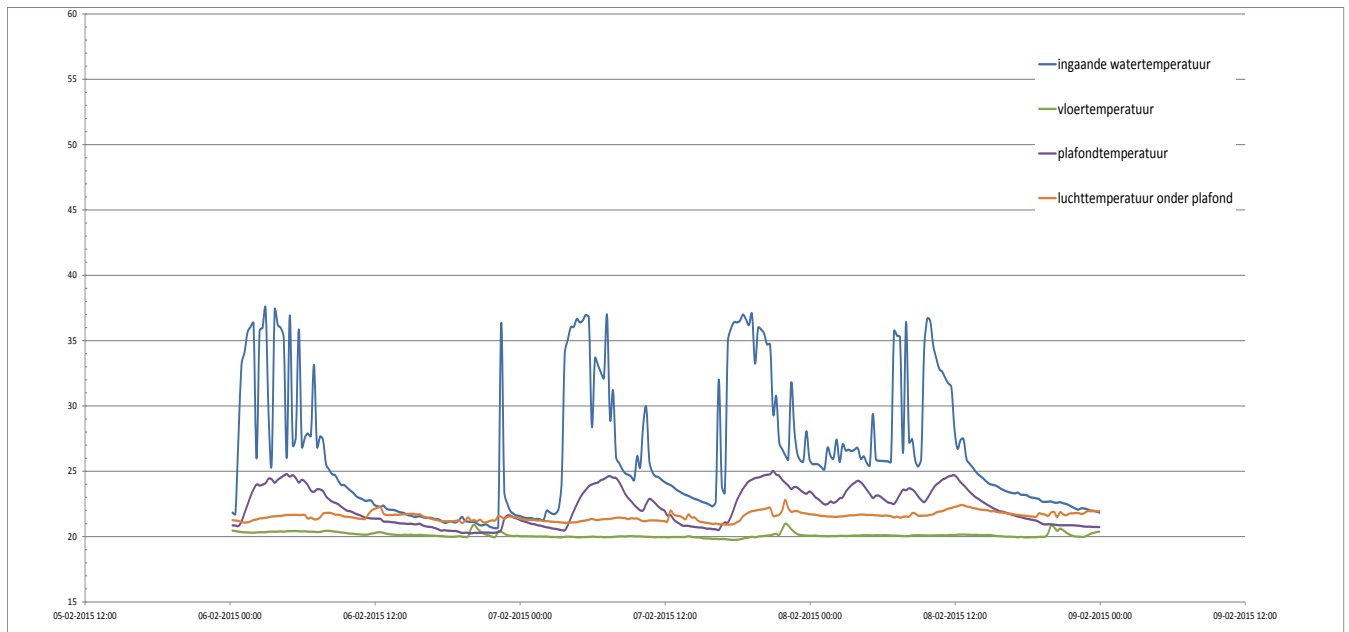
Badkamer aan de gevel met vloerverwarming



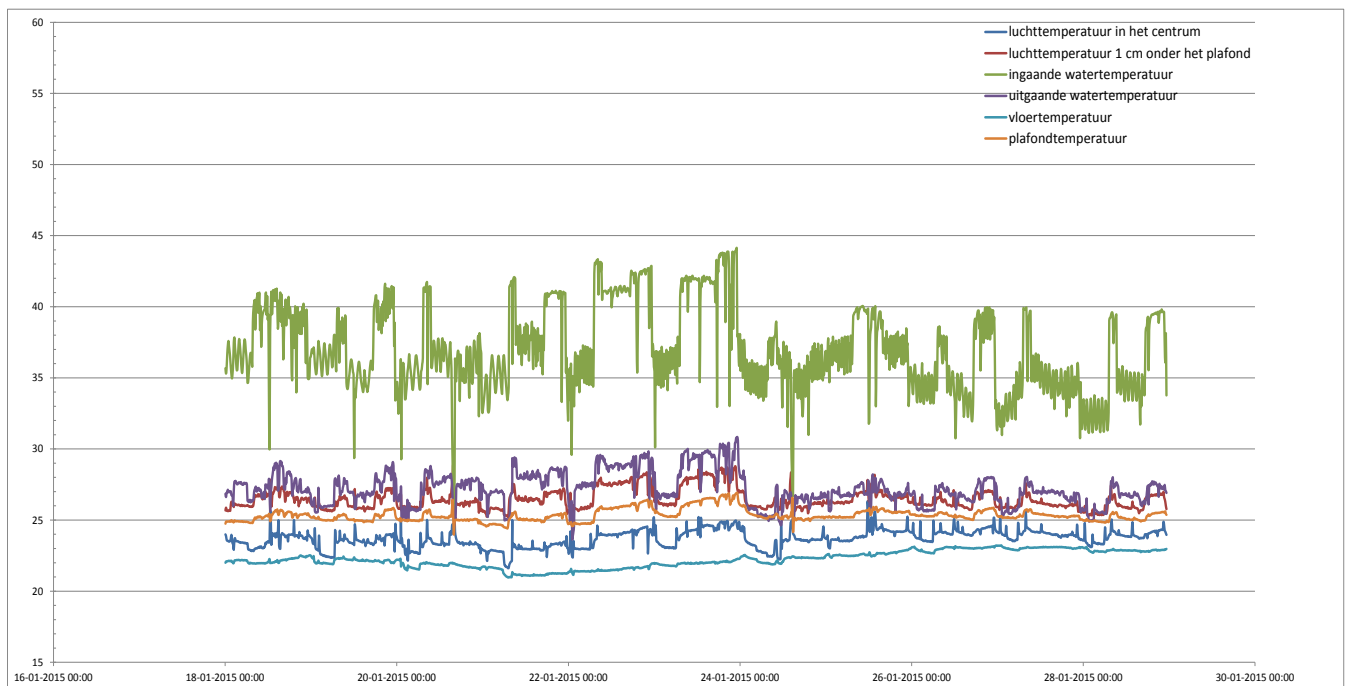
Opmerking:

Gedurende de laatste dagen (1-3 maart) was er redelijk wat zonninstraling en was er (nagenoeg) geen verwarming nodig om de woning op temperatuur te houden.

Inpandige badkamer met vloerverwarming



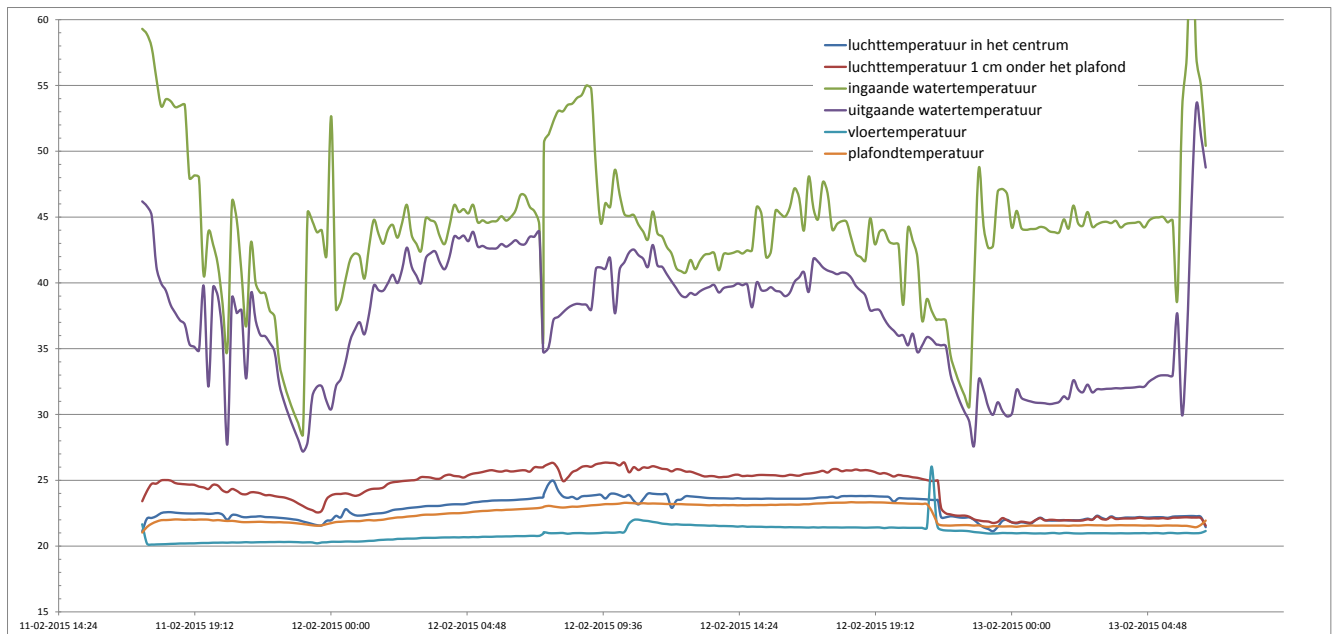
Badkamer aan de gevel met LTV.



Opmerking:

De uitschieters naar beneden van de ingaande watertemperatuur van de LT-radiator worden veroorzaakt door in warmwater/douche gebruik.

Inpandige badkamer met LTV

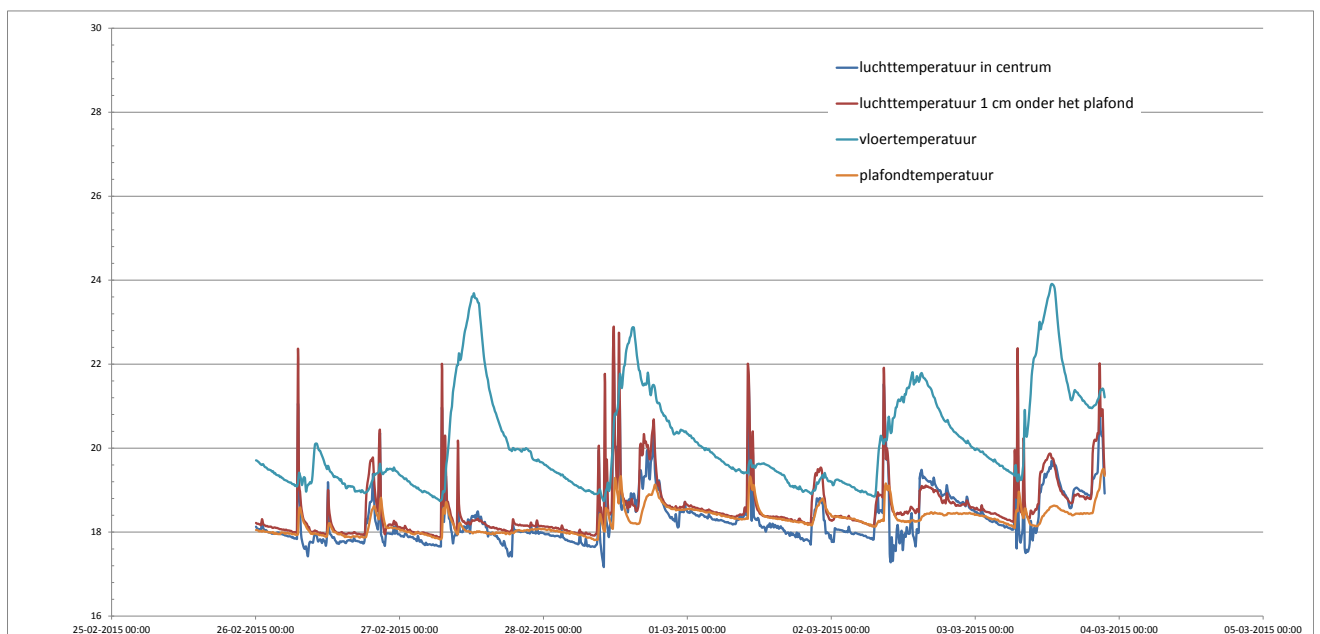
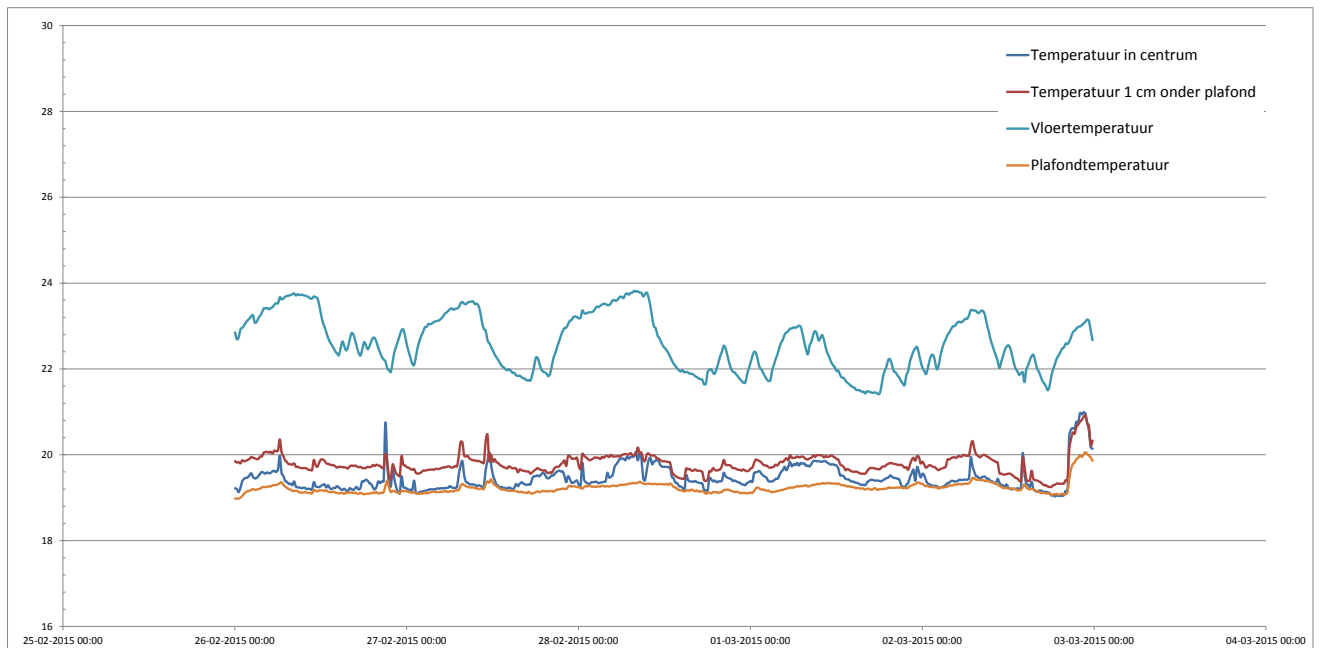


Opmerking:

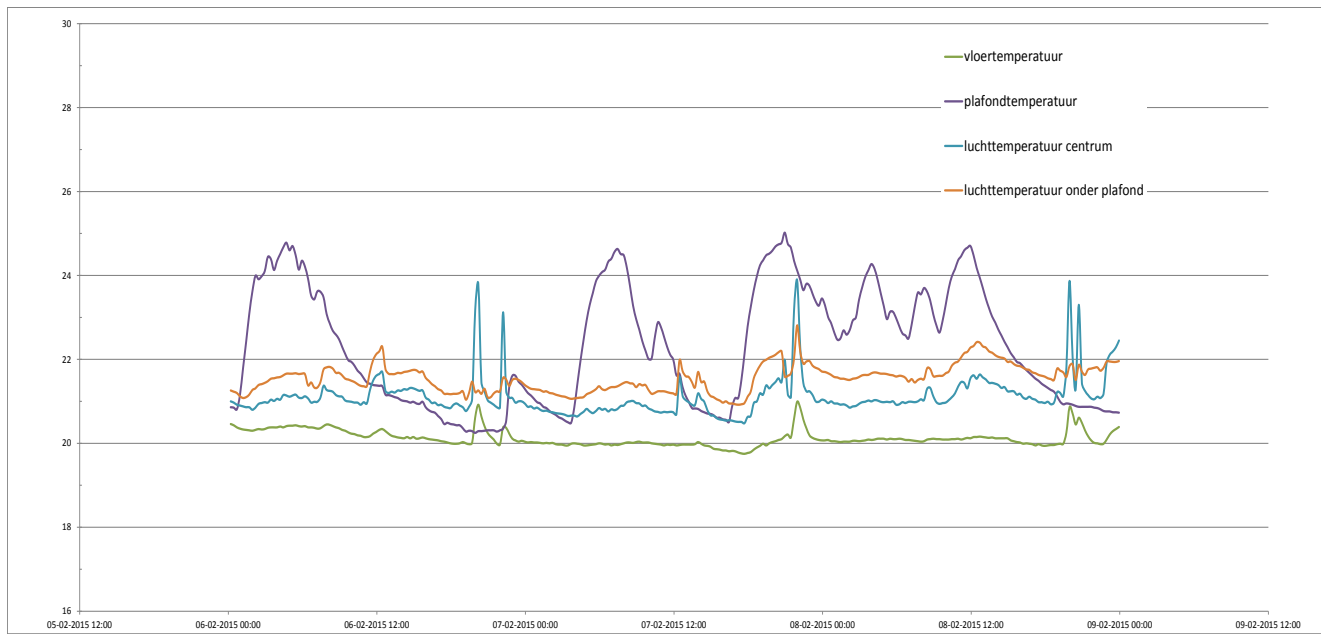
De lagere temperaturen gedurende de laatste dag worden veroorzaakt door het open staan van de deur van de badkamer, waardoor er meer warmte afgegeven werd aan de overloop/gang.

B.2 Temperaturen in het vertrek

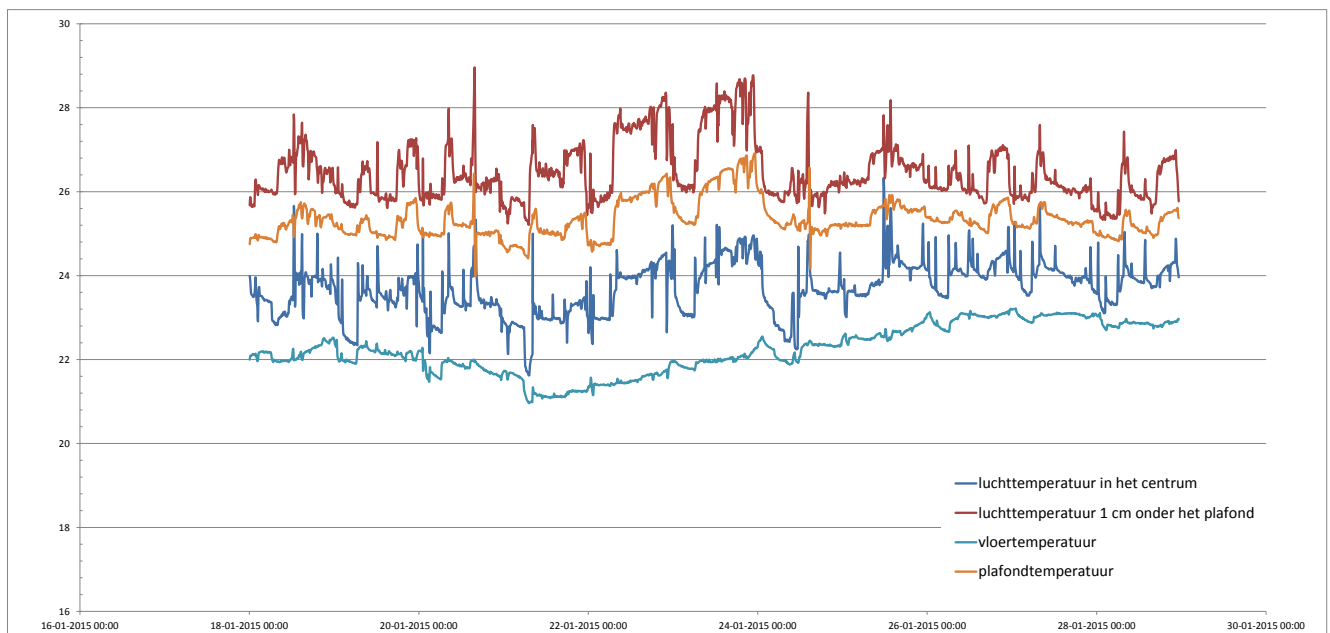
Badkamer aan de gevel met vloerverwarming



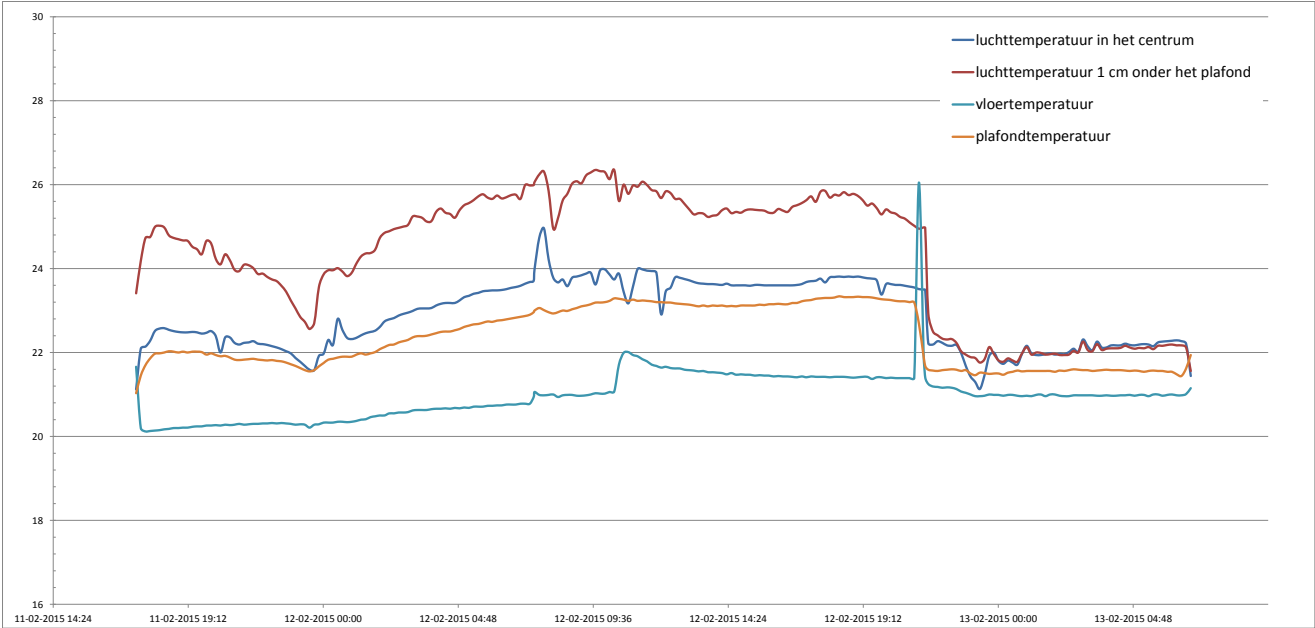
Inpandige badkamer met vloerverwarming



Badkamer aan de gevel met LTV



Inpandige badkamer met LTV



Bijlage C: Checklist Hotspots

Bron: ISSO 30.5 LegionellaCode, tabel 4.2, 4.3 en 4.4

Tabel C.1 Richtlijnen voor de minimum afstand in de vloer tussen waterleidingen en de vloerverwarmingsleiding; met en zonder tussenisolatie

Verwarming onderliggende ruimte	Vloerbedekking	Temperatuur [°C]			Tussen - isolatie	Minimum horizontale afstand (naast vloerverwarming) [mm]	Waterleiding onder tussenisolatie toegestaan?
		Vloerverwarming	Ruimte boven vloer	Ruimte onder vloer			
1	2	3	4	5	6	7	8
Hoofd vloerverwarming	Tegels/plavuizen	50	20	20	Ja	250	Ja
			22	22		300	mha 150 mm ¹⁾
			24	24		400	mha 400 mm
Radiatoren		50	20	23		250	mha 150 mm
			22	25		300	Nee
			24	27		550	
Hoofd vloerverwarming		40	22	22		250	Ja
			30	22		22	150
Radiatoren		Licht tapijt	50	20		23	300
	22			25	400	Nee	
50	20		20	250	Ja		
	22		22	350	mha 150 mm		
	24		24	500	mha 500 mm		
20	20		Nee	20	20	250	
				22	22	350	
				24	24	700	
40	20		20	20	20	Ja	200
		22		22	250		
		24		24	400	mha 400 mm	
20	20	Nee	20	20	150		
			22	22	250		
			24	24	500		
30	20	20	20	20	Ja	100	Ja
			22	22	150		
			24	24	250		
20	20	Nee	20	20	50		
			22	22	100		
			24	24	250		

1) mha = minimum horizontale afstand ten opzichte van de vloerverwarming die boven de tussenisolatie ligt.

Tabel C.2 Richtlijnen voor de minimum afstanden in vloeren tussen waterleidingen ten opzichte van CV-leidingen en warmtapwatercirculatieleidingen

Type leiding	Isolatie/mantelbuis om warme leiding	Temperatuur [°C]			Minimum horizontale afstand A_{\min} [mm]	Kruisende waterleiding in constructievloer toegestaan?
		Medium aanvoer/retour	Ruimte boven vloer	Aan plafond onder vloer		
	1	2	3	4	5	6
CV-leidingen in de vloer	Isolatie 10 mm	80/60	20	23	450	Nee
		55/40	20	22	200	Nee
		40/30	20	22	100	Ja, mva 100 mm ¹⁾
	Mantelbuis	80/60	20	23	750	Nee
		55/40	20	22	350	Nee
		40/30	20	22	150	Ja, mva 150 mm ¹⁾
	Isolatie 10 mm	80/60	22	25	Niet toepassen ²⁾	Nee
		55/40	22	24	450	Nee
		40/30	22	24	200	Nee
	Mantelbuis	80/60	22	25	Niet toepassen ²⁾	Nee
		55/40	22	24	650	Nee
		40/30	22	24	350	Nee
Circulatieleiding voor warmtapwater in de vloer	Isolatie 10 mm	70	20	23	400	Nee
	Mantelbuis	70	20	23	650	Nee
	Isolatie 10 mm	70	22	25	Niet toepassen ²⁾	Nee
	Mantelbuis	70	22	25	Niet toepassen ²⁾	Nee

1) mva = minimum verticale afstand t.o.v. warme leiding in dekvloer (mva = A_{\min} en alleen haalbaar bij voldoende vloerdikte en als de constructievloer geschikt is voor het wegwerken van leidingen).
2) Buiten een afstand van 1,5 m is de invloed van de warme leiding vrijwel nihil en kan de waterleiding worden opgenomen.

Literatuurlijst

- [1] ISSO-publicatie 30.5 LegionellaCode, ISSO, Rotterdam, 2013.
- [2] NEN-EN- 442-2 Radiatoren en convectoren - Deel 2: Beproevingmethoden en opgave van de prestatie, NEN, Delft, 2014.
- [3] ISSO-publicatie 51 Warmteverliesberekening voor woningen en woongebouwen, ISSO, Rotterdam, 2012.
- [4] Kurvers S.R., Leyten J.L., Thermisch comfort, huidige en toekomstige normen, TVVL-magazine 06, 2013.



Korenmolenlaan 4
3447 GG Woerden
Telefoon: 088 401 06 20

info@tvvl.nl | www.tvvl.nl

