

RFID-sensoren voor asfalt: GWW ontmoet hightechsector

Cecile Giezen¹, Sywert Brongersma², Jos Oudenhoven², Yawar Abbas²,
Kirsten Roetert Steenbruggen³ en Rutger Krans¹

¹Rijkswaterstaat GPO, Griffioenlaan 2, 3526 LA Utrecht

²Imec at Holst Centre, High Tech Campus 31, 5656 AE Eindhoven

³TNO, Stieltjesweg 1, 2628 CK Delft

Samenvatting

Asfaltaanleg en sensoren in asfalt zijn een gewaagde combinatie. Veel standardsensoren kunnen niet goed tegen de hitte tijdens aanleggen of anders is het walsen wel minimaal. Om dit probleem principieel anders aan te pakken hebben we verbinding gelegd tussen de GWW-sector en de Hightechsector. Initiatoren zijn Rijkswaterstaat en Holst Centre op de hightechcampus in Eindhoven, met Imec en TNO als moederorganisaties. In dit artikel rapporteren wij een eerste verkenning naar de haalbaarheid van toepassing van sensoren voor asfalt en de vervolgstappen die we hebben ingezet.

Uit deze verkenning is gebleken dat er commerciële RFID-off-the-shelfsensoren zijn die toepasbaar gemaakt lijken te kunnen worden om de productie en aanleg van asfalt te doorstaan. Met behulp deze sensoren kan worden vastgelegd welk asfalt waar ligt, zodat hergebruik van asfalt effectiever en CO₂-reductie groter kan worden. Daarnaast zijn er mogelijkheden voor het toepassen van een innovatieve sensor, die reeds succesvol is toegepast in een betonnen viaduct. Vanwege de dielectriche vergelijkbaarheid van asfalt en beton lijken deze sensoren zich ook goed te lenen voor de toepassing in asfalt. Daarmee kan uiteindelijk beter worden bepaald welk asfalt waar ligt, zodat hergebruik van asfalt effectiever en CO₂-reductie groter kan worden. Indien deze sensoren daadwerkelijk geschikt blijken zal ook worden onderzocht of en hoe temperatuur realtime door sensoren doorgegeven kunnen worden, en mogelijk na doorontwikkeling ook andere parameters, om de belastingen en condities van het asfalt beter in kaart te kunnen brengen. Inmiddels is een vervolgfase gestart voor de toepassing van deze sensoren in asfalt. Belangrijk is dat de sensoren effectief worden ingekapseld om walsdrukken en temperaturen bij aanleg te overleven. De ingekapselde sensoren worden op temperatuurbestendigheid beproefd bij Holst Centre en op mechanische belasting bij TNO in Delft. Ook worden de sensoren in asfaltplaten ingebouwd, in zowel een dicht als een open asfaltmengsel. Hierbij wordt de uitleesbaarheid en nauwkeurigheid van de ID-tags en de temperatuurmetingen onderzocht.

Trefwoorden

Asfalt, sensor, RFID, hergebruik, CO₂, Holst Centre, hightech, hightechcampus, realtime, innovatie, businesscase

Inleiding

Sommige sensoren zijn al decennia in gebruik, maar met andere sensoren wil het maar niet lukken: ze gaan bijvoorbeeld stuk in het asfaltproductieproces door de hoge temperaturen of door de hoge spanningen t.g.v. het walsen, de signaaldraden zijn kwetsbaar en het is moeilijk om in de civiele praktijk zorgvuldig piezo-elementen (Kistlerplaten) in Weigh-in-motion-(WIM-)systemen te monteren.

Tot op heden is het nog niet mogelijk gebleken de gewenste modernisering te kunnen leveren. E.e.a. wordt in [dit artikel van 4TU](#)ⁱ uiteengezet.

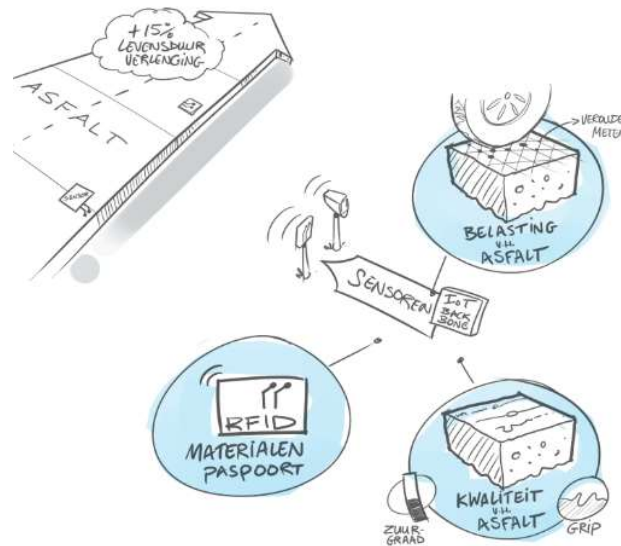
Toen het bestuur van Rijkswaterstaat in het voorjaar van 2019 op het Hightechcampus in Eindhoven werd rondgeleid zag het veel mogelijkheden in samenwerking met Holst Centreⁱⁱ, waar op het gebied van sensoren in de afgelopen vijftien jaar veel vooruitgang was geboekt. Holst Centre bundelt expertise van het IMEC (Leuven, voorheen het interuniversitaire micro-elektronicacentrum genaamd) en van TNO met een wereld van kleinere en grotere bedrijven er omheen, zoals Samsung

en Sony. Er is toen afgesproken om te onderzoeken of koppeling van de Rijkswaterstaat als GWW-organisatie met Holst Centre als hightechorganisatie tot doorbraken zouden kunnen leiden. Het hoofddoel van het samenwerkingsproject “sensoren voor asfalt” is om maatschappelijke opgaven aan te pakken die te maken hebben met het gebruik van asfaltwegen: reductie van kosten, minder verkeershinder, verbeterde veiligheid en een lagere impact op het milieu. Om richting aan het project te geven is in 2021 in kaart gebracht welke behoeften er zijn met een verkenning. Sindsdien werken we aan de proof of concept, waarbij verschillende typen commercieel beschikbare RFID-sensoren voor identificatie van asfalt ingekocht zijn en de geschiktste worden beproefd in het laboratorium. Olivier Pilate beschrijft het temperatuurverloop bij aanleg van asfaltⁱⁱⁱ. Dit temperatuurverloop is uitgangspunt bij temperatuurbelastingsproeven in dit onderzoek. In dit artikel behandelen we verkenning en proof of concept; in de presentatie gaan we nader in op de resultaten van de proof of concept, die loopt tot april 2022.

Verkenning sensoren

Door middel van expertsessies en een literatuuronderzoek is bepaald welke systemen al gebruikt worden, op welke manieren de identificatie en kwaliteit van het asfalt op dit moment gemonitord worden en waar nog blinde vlekken in het gebruik van hightechsystemen in asfalt zitten. Daarnaast is bekeken wat de technische mogelijkheden zijn: welke systemen worden al gebruikt, waarom worden bepaalde mogelijkheden (nog) niet benut en waar is meer ontwikkeling nodig om systemen geschikt te maken voor het gebruik in asfalt. De antwoorden op deze vragen zijn gebruikt om richting te bieden aan technische ontwikkelingen. Uit deze verkenning^{iv} is bepaald of onderzoek naar het integreren van sensoren en RFID-tags in asfalt zinvol is en aan welke functionaliteit de meeste behoefte is.

We hebben drie sensorfuncties onderscheiden voor het toepassen van sensoren in asfalt: *identificatie* van de aanwezige asfaltlaag, *kwaliteit* van het asfalt en de actuele en historische *belasting* (weer en verkeer) waaraan de weg is blootgesteld. Deze factoren en de combinatie ervan kunnen vervolgens worden gebruikt om de levensduur en de onderhoudsbehoefte te voorspellen. Grafisch is dit samengevat in Figuur 1.

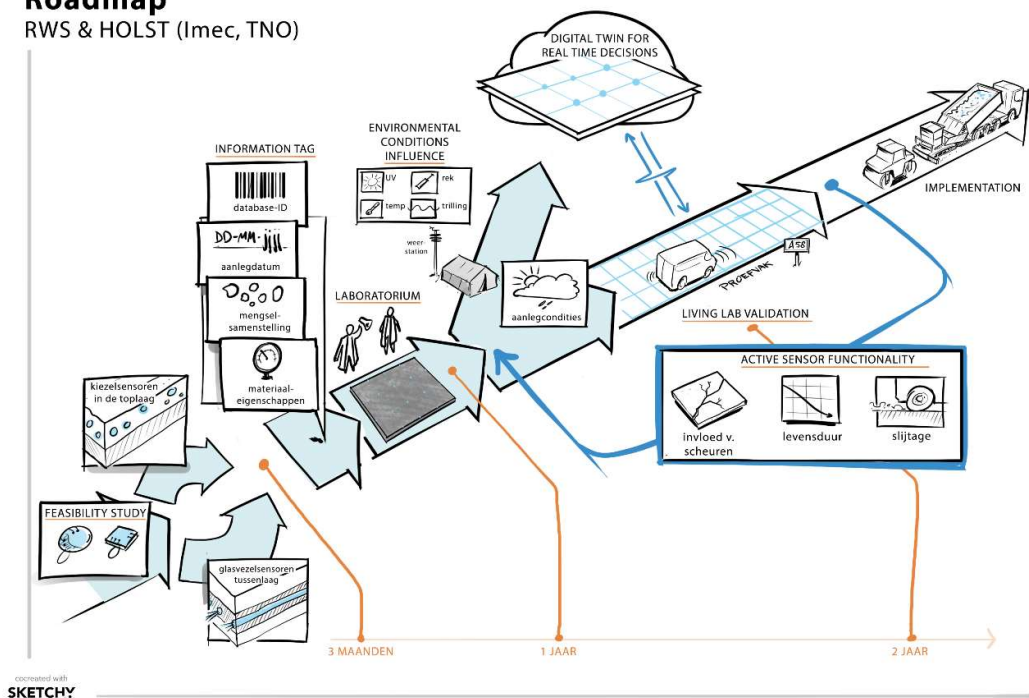


Figuur 1. Sensorfuncties voor levensduurvoorspelling

Met de keuzes die hierbij gemaakt zijn, is een roadmap opgesteld waarin de vervolgstappen voor onderzoek zijn geschetst (figuur 2).

Roadmap

RWS & HOLST (Imec, TNO)



Figuur 2. Schematische weergave van de doelstelling en aanpak voor sensoren in asfalt.

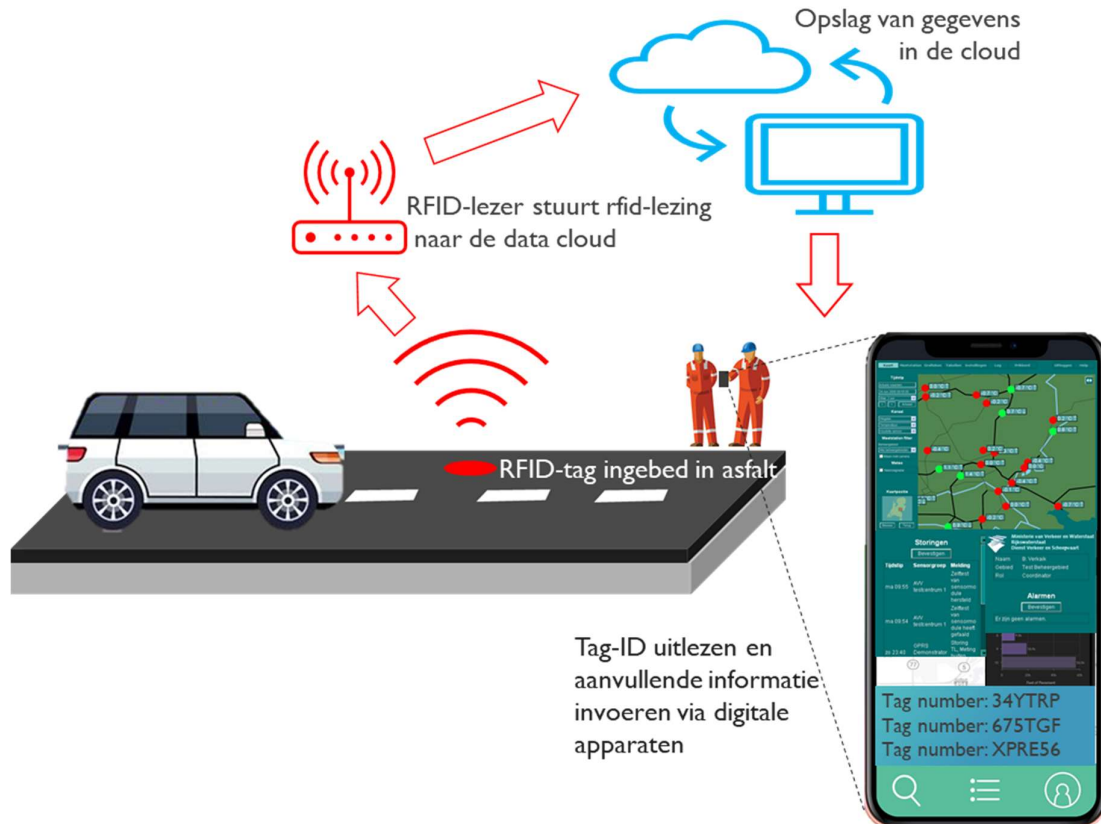
Het integreren van sensoren in asfalt is natuurlijk een uitdagende stap, waarbij de wereld van hoge temperaturen, vibraties en drukken die bij de aanleg van wegen komen kijken in schril contrast staan tot de doorgaans gevoelige elektronica. Het is echter wel een voordeel wanneer de sensoren direct met het asfaltmengsel gemengd kunnen worden, waardoor later geen sleuven hoeven worden gezaagd in de weg. Daarnaast zullen in de toekomst sensoren die direct in het asfalt worden aangebracht een beter inzicht kunnen geven in beschadigingen zoals rafeling. Om die reden is na de verkenning gestart met een proof of concept, waarin sensoren getest worden in een laboratorium omgeving onder belastingen (temperatuur en druk). Uiteindelijk zullen de sensoren op volle schaal beproefd moeten worden. We sluiten hierbij zoveel mogelijk aan bij bestaande ontwikkelingen zoals de innovatiestroom bij Kloosters.

Proof of concept: RFID-tags

In de proof of concept (PoC) onderzoeken we de toepassing van RFID-sensoren voor asfalt (zie figuur 3). Door ook na zeventien jaar nog te weten welk asfalt waar ligt kan circulariteit worden bevorderd en in de toekomst de gerealiseerde levensduur van (gerecycled) asfalt beter worden vastgelegd. Holst Centre heeft al positieve ervaring met draadloze sensoren in (drogend) beton en in droog/vochtig/nat zand, met draadloze overdracht van energie en met sensoriek. Aangezien de diëlectrische eigenschappen van cementbeton en asfaltbeton behoorlijk overeenkomen lijkt uitlezing van sensoren in asfalt ook mogelijk.

In de PoC gaan we uit van commerciële RFID-tags. Eerst is een selectie gemaakt van RFID-tags op basis van de specificaties van de fabrikant. Belangrijke factoren hierbij zijn de maximale verwerkingstemperatuur, de uitleesafstand en de afmetingen. Helaas zijn de mechanische specificaties doorgaans beperkt tot “flexibel” of “robuust”, en zijn de uitleesafstanden alleen bepaald in lucht. Er zullen daarom testen en aanpassingen nodig zijn om de RFID-tags geschikt te maken voor toepassing in het asfalt.

De testen van de RFID-tags beginnen in een laboratoriumomgeving. De eerste tests bestaan uit het blootstellen aan toenemende temperaturen, te beginnen in een oven. Vervolgens zal gekeken worden naar de weerstand tegen een (punt)druk. Evaluatie wordt gedaan door het uitlezen van de tags: tot op welke afstand kan dit nog succesvol gebeuren en heeft blootstelling aan de omstandigheden daar een negatief effect op.



Figuur 3: Concept van digitale identificatie van asfalt met behulp van RFID-tags. Deze identificatie willen we vlak na aanleg en voor onderhoud verrichten. Uitlezen van de sensor die temperatuur meet kan ook continu, met een uitlezer op 5 meter afstand, naast de weg of vanuit een portaal

Materiaal en methode

Na uitgebreid onderzoek zijn verschillende ultra-hoogfrequente (UHF) commerciële RFID-tags die geschikt lijken om in asfalt te worden ingebed, geselecteerd bij RFID Inc USA. Daarnaast is een UHF-lezer aangeschaft. De naamgeving, afmetingen en andere details van deze tags staan in tabel 1. Tag A en B zijn flexibel en dun, tag A kan naast identificatie ook voor het meten van temperatuur worden gebruikt.

Tabel I: Lijst met apparatuur en RFID-tags

No	Artikel	Dimensies (mm)	Tag label
1	Model SPR/A10-8030-9H Single Piece 915 MHz UHF RFID Reader/Antenna combo, Serial/USB, 27dBi, Horizontal Polarized	450 x 450	Reader
2	Model 9824-TMP Temperature Sensing White PET Label Tag, NMV2D CABO memory chip, UHF 902-928 MHz passive RFID	98 x 24	A
3	Model FPC7111-H3, FPC flexible Tag, high temp 280 °C, no sticky backing, Alien Higgs3 chip, UHF 902-928 MHz passive RFID	71 x 11	B
4	Model FI1009-M4E FR4 Tag, UHF 902-928 MHz passive RFID, Monza 4E chip	110 x 09	C
5	Model F9525 FR4 Tag, Mount on Metal High Temperature 200 °C, UHF 902-928 MHz passive RFID	95 x 25	D
6	Model A15023-HT ABS Pallet Tag, High Temperature 200 °C, Black, UHF 902-928 MHz passive RFID	150 x 23	E
7	Model C5151 UHF Tag, Ceramic, High Temp 320 °C/5min, 300 °C/45min, 260 °C/90min, UHF 902-928 MHz passive RFID	51 x 51 x 3	F
8	Model A7628M-HT ABS/Nylon High Temp 300 °C Tag, Metal Mount, charcoal, UHF 902-928 MHz passive RFID	76 x 28 x 17	G
9	Model F5313 FR4 Tag, Mount on Metal High Temperature 200 °C, Peel & Stick Backing, UHF 902-928 MHz passive RFID	53 x 13	H
10	Model C0505 Ceramic Tag High Temperature 200 °C, UHF 902-928 MHz passive RFID	5 x 5 x 5	I
11	Model C10 Ceramic Tag, UHF 902-928 MHz passive RFID	10 x 2	J
12	Model C0404 Ceramic Tag High Temperature 200 °C, UHF 902-928 MHz passive RFID	4 x 4 x 4	K
13	Model F05 FR4 Tag, Mount on Metal High Temperature 200 °C, UHF 902-928 MHz passive RFID	Circular 5 mm dia.	L
14	Model FI004 FR4 Tag, Mount on Metal High Temperature 200 °C, UHF 902-928 MHz passive RFID	10 x 4	M

Voor laboratoriumexperimenten zijn deze tags gelabeld met de letters die in tabel I worden gegeven. De gebruikte tags in het laboratoriumexperiment worden getoond in figuur 4. De UHF-lezer is een horizontaal gepolariseerde antenne waarbij de tag directioneel leest met de maximale antenneversterking van 27 dBi. De antenne moet in de richting van de tag worden gericht voor een efficiënte uitlezing. De UHF-radiofrequentie is 915 MHz. De lezer is aangesloten op een pc via USB en de uitgelezen waarden worden daar opgeslagen. Zodra de UHF-lezer is ingeschakeld en de datakabel is aangesloten, zal de lezer via de antenne de beschikbare UHF-tag lezen en registreren in het terminalprogramma (applicatie) van de PC.



Figuur 4: De gebruikte RFID-tags

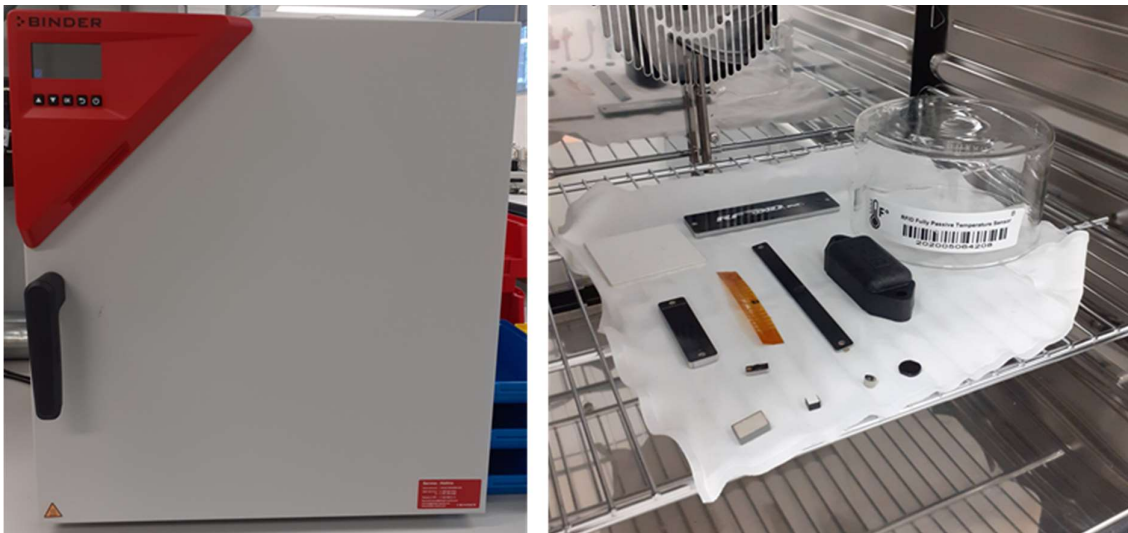
Resultaat en discussie

Testen in omgevingsconditie in laboratorium

De RFID-tags zijn getest bij kamertemperatuur in het laboratorium om het leesbereik van de tags vast te leggen. De lezer is op een tafel geplaatst en elke tag wordt van de lezer verwijderd om het leesbereik te controleren. De leesafstanden voor elke tag staan vermeld in tabel 2. De tags met de grotere afmetingen, d.w.z. grotere antenne, hebben een grotere leesafstand. In tabel 2 zijn tag A tot en met G relatief groter in afmetingen dan tag H tot en met M. De grote tags zoals tag A, C, D en E hebben de grootste leesafstand van 5 m.

Tabel 2: Meting van het bereik van RFID-tags in laboratoriumomgevingen

Tag Label	Lezing afstand in het lab omgevingsconditie (m)	Tag Label	Lezing afstand in het lab omgevingsconditie (m)
A	5	H	2
B	4.8	I	1
C	5	J	0.3
D	5	K	0.1
E	5	L	0.2
F	4.5	M	0.6
G	3		



Figuur 5: RFID-tags geplaatst in oven bij hogere temperaturen

Testen van RFID-tags bij hogere temperaturen bij Holst Centre in Eindhoven

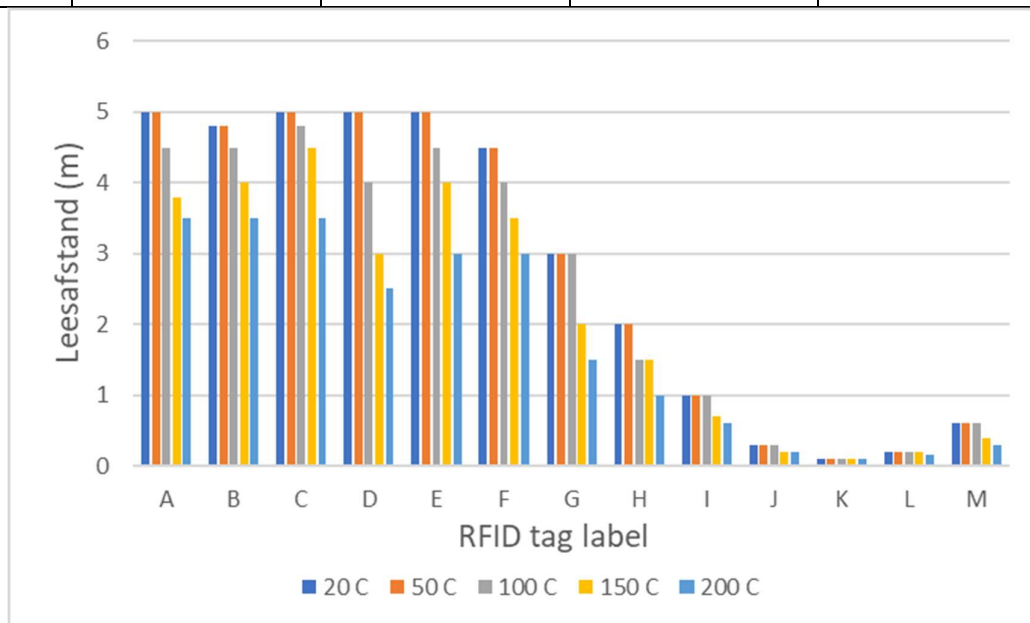
Olivier Pilate beschrijft het temperatuurverloop bij aanleg van asfalt. Dit temperatuurverloop is referentie bij temperatuurbelastingsproeven in dit onderzoek. Om de mogelijke piektemperaturen in het asfaltverwerkingsproces mee te nemen zijn de RFID-tags blootgesteld aan hogere temperaturen tot 200°C. Alle tags uit de tabel worden blootgesteld aan temperaturen van 50, 100, 150 en 200°C. Een foto van de RFID-tags in de oven wordt weergegeven in figuur 5. Na blootstelling van 30 minuten bij de betreffende temperatuur in een oven zijn de tags uit de oven gehaald en is de leesafstand van de tags bepaald.

De leesafstand van verschillende tags na blootstelling aan verschillende temperaturen is weergegeven in tabel 3 en figuur 6. Alle tags behouden hun fysieke eigenschappen en afmetingen behalve tag A en E. Dit komt omdat deze tags niet zijn ingekapseld met materialen die hogere temperaturen kunnen

weerstand. Met de temperatuurstijging neemt de leesafstand van de tag af. Vooral wanneer de temperatuur wordt verhoogd van 150°C naar 200°C, neemt de leesafstand aanzienlijk af (maximaal tot 40% in het geval van tag D maar gemiddeld 20% reductie in leesafstand in vergelijking met de kamertemperatuur in het laboratorium). Voor de kleinere tags (van tag H tot M) is het effect van temperatuur relatief minder, aangezien de maximale reductie in leesafstand 30% is.

Tabel 3: Meting van het bereik van RFID-tags bij hogere temperaturen

Tag label	Afstand bij verschillende temperaturen (m)			
	50 °C	100 °C	150 °C	200 °C
A	5	5	4.5	3.8
B	4.8	4.8	4.5	4
C	5	5	4.8	4.5
D	5	5	4	3
E	5	5	4.5	4
F	4.5	4.5	4	3.5
G	3	3	3	2
H	2	2	1.5	1.5
I	1	1	1	0.7
J	0.3	0.3	0.3	0.2
K	0.1	0.1	0.1	0.1
L	0.2	0.2	0.2	0.2
M	0.6	0.6	0.6	0.4



Figuur 6: Afhangelijkheid van RFID-leesbereik van de omgevingstemperatuur

Discussie

Op dit moment kunnen we al conclusies trekken over de uitleesbaarheid van tags met verschillende afmetingen en materiaal voor installatie tijdens de productie van asfalt: De tags met kleinere afmetingen, vooral vergelijkbaar met de typische maximale korrelgrootte van aggregaten in asfalt, zijn gunstig voor installatie in asfalt. Hoe kleiner de afmetingen van de tags, hoe kleiner de leesafstand,

waardoor de haalbaarheid van tag-uitlezing ingebed in asfalt wordt beperkt. De RFID-tags met grotere afmetingen hebben een grotere leesafstand. De tags met grotere afmeting zoals tags van A tot G kunnen maximaal tot 5 m leesafstand uitgelezen worden.

Lopend onderzoek bij Holst-Centre

Eén van de uitdagingen bij het aanbrengen van RFID-tags tijdens het asfalt is de hogere productietemperatuur van asfalt, tot wel 200°C. Daarom worden de geselecteerde tags in een oven blootgesteld aan hogere temperaturen om het effect van een hogere temperatuur op de RFID-tags en de leesafstand te evalueren. Met de temperatuurstijging wordt de leesafstand kleiner, vooral wanneer de temperatuur wordt verhoogd van 150°C naar 200°C. Tag A en E lopen ook mechanische schade op doordat hun materiaal niet geschikt is voor hogere temperaturen. Tag A is interessant, omdat het een flexibele tag is met een hoger leesbereik en de mogelijkheid heeft om temperatuur te meten.

De geselecteerde sensoren moeten bestand zijn tegen de walsdrukken en hoge temperaturen tijdens het verwerkingsproces van het asfalt. Daarom zullen tags worden ingekapseld in een polymeer dat de sensor kan beschermen tegen temperatuurpieken en tegen mechanische belasting. Ook van deze ingekapselde RFID-sensoren zal de uitleesbaarheid onder hoge temperaturen worden bepaald. Hierbij worden 'antenne modification models' ingezet, omdat inkapseling en plaatsing in een asfalt pakket de diëlectische eigenschappen van de sensorfunctie beïnvloedt, waardoor frequentieverschuivingen optreden. Het doel van deze modellering is om na te gaan welke modificatie van de antenne nodig is om de uitleesbaarheid na inkapseling en plaatsing in een asfalt pakket te verbeteren.

Belasting in het asfaltlaboratorium van TNO-Structural Reliability in Delft

Nadat modellering heeft plaatsgevonden zullen de sensoren met eventuele inkapseling daadwerkelijk worden beproefd onder hoge temperaturen en op mechanische eigenschappen. Allereerst zal de sensor bloot worden gesteld aan de maximaal te verwachten puntlast die optreedt ten gevolge van het walsen tijdens het asfalteren. In de laatste fase van het onderzoek zullen de beproefde sensoren met geschikte inkapseling waarvan in voorafgaande proeven is gebleken dat ze bestand zijn tegen hogen drukken en temperaturen, worden geplaatst in laboratorium geproduceerde asfaltplaten. De sensoren zullen in het asfaltverwerkingsproces vóór de walsovergangen in de verdichtingsmal worden samengebracht met het hete asfaltmengsel. De temperatuur zal, indien de sensoren nog werkzaam zijn, worden gemonitord om de afkoelingscurve van het asfaltmengsel in kaart te brengen. Op basis van het onderzoek zullen conclusies worden getrokken over welke resultaten er kunnen worden gerealiseerd met COTS-sensoren (commercial off the shelf) in asfalt. Daarnaast zal worden beschreven welke verbetermogelijkheden er zijn indien een sensor speciaal voor deze toepassing ontwikkeld wordt. Dit zullen we presenteren op de Infradagen van juni 2022.

ⁱ [RFID Sensors \(4tu.nl\)](https://www.imec-int.com/en/articles/holst-centre-15-years-open-innovation)

ⁱⁱ <https://www.imec-int.com/en/articles/holst-centre-15-years-open-innovation> Nederlandse tekst onderaan.

ⁱⁱⁱ https://brrc.be/sites/default/files/2019-10/rv42_0.pdf

^{iv} Haalbaarheidsstudie sensoren voor asfalt, maart 2021, imec, RWS en TNO

^v https://brrc.be/sites/default/files/2019-10/rv42_0.pdf