

EXOSKELETEN BIJ DAKDEKKERS

Testen in de praktijk - Monitoring studie

Anne de Vries, Giulio Tan, Saskia Baltrusch,
Frank Krause & Aijse de Vries



Achtergrond

- Unieke werkomstandigheden
 - Werkhoogte is niet aan te passen
 - Wisselend van vlak (horizontaal) tot hellend (schuin)
 - Op hoogte
 - Invloed van weer
- Belastende werkhoudingen
 - Meer dan 75% van de tijd knielen, kruipen, bukken en tillen (Wang et al., 2017)
- Intensief qua duur en frequentie van taken
 - Herhalend en langdurig

→ Reden tot het onderzoeken van de potentie van exoskeletten bij dakdekkers



Pilot 2024

- 3 verschillende werkplekken bezocht
 - 6 dakdekkers
 - 2 soorten exoskeletten
 - Positieve eerste reacties
→ Voorkeur voor soft boven hard exoskelet
 - Romp ondersteunende exoskeletten hebben potentie om de fysieke belasting bij dakdekkers te verminderen
- Zijn deze exoskeletten effectief en worden ze geaccepteerd in het dagelijks werk van dakdekkers?



Doel van huidige onderzoek

Hoofdvraag

- Zijn romp-ondersteunende exoskeletten geschikt voor het dagelijks werk bij dakdekkers?

Deelvragen

- Hoe ziet het dagelijks werk van dakdekkers eruit?
- Wanneer, hoe vaak en waarvoor gebruiken dakdekkers het exoskelet?
- Verandert de manier van werken door het exoskelet?
- Maakt het exoskelet het werk makkelijker en/of beter?
- Willen dakdekkers het blijven gebruiken?
- Voelen dakdekkers zich minder moe of hebben ze minder klachten?



Onderzoeksopzet

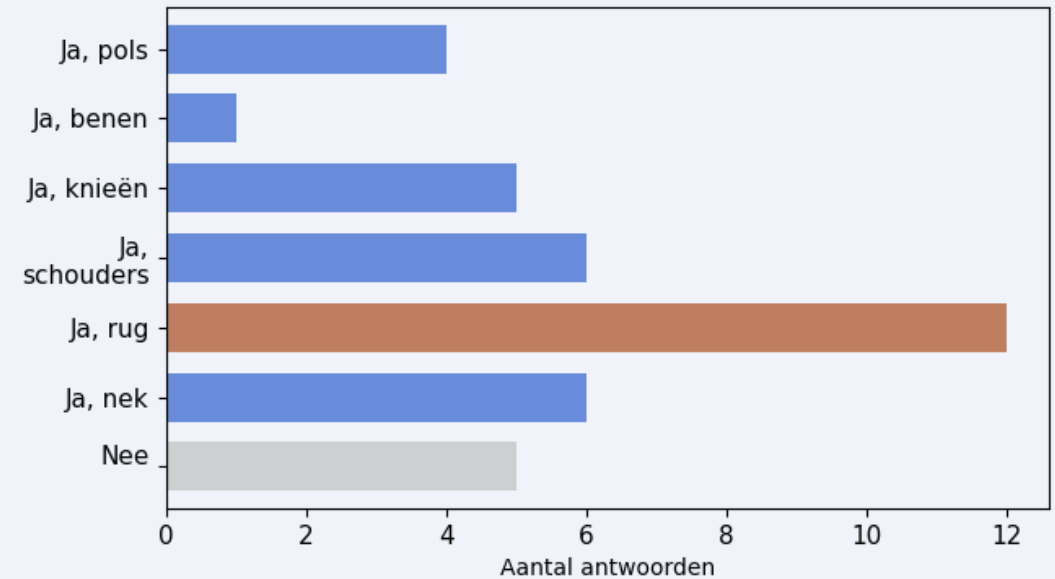
- Werken zoals de dakdekker normaal ook zou doen
- Twee verschillende exoskeletten testen
 - Auxivo (afbeelding links)
 - HAPO (afbeelding rechts)
- Vragenlijsten invullen
 - Start, dagelijks & wekelijks



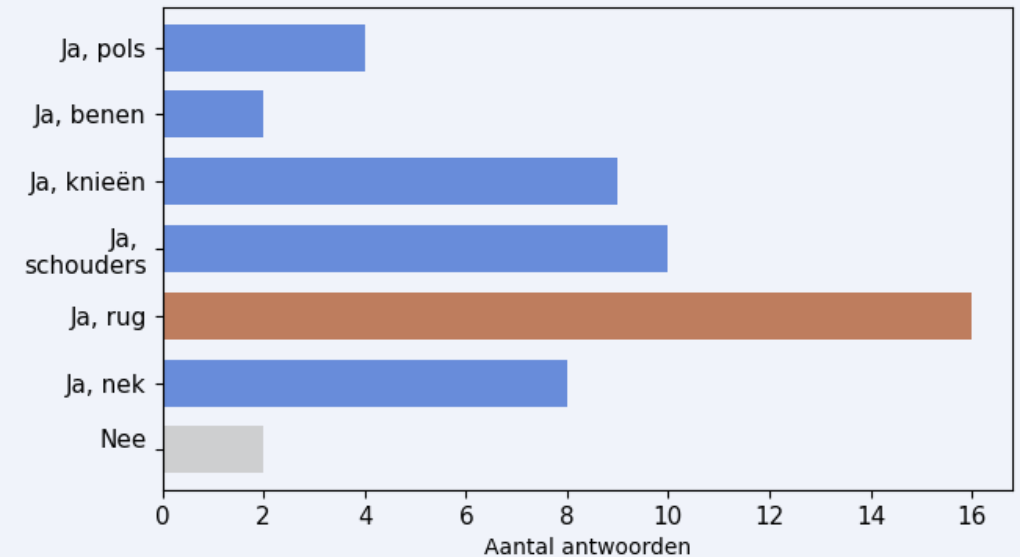
Deelnemers

- Data verzameld van 24 dakdekkers
 - Start: 20 deelnemers
 - 7 deelnemers uitgevallen
 - 4 deelnemers later ingestroomd – alleen Auxivo getest
- Persoonlijke kenmerken
 - Ingevuld door 19/24 deelnemers
 - Gemiddelde leeftijd: 41 jaar
 - Gemiddeld gewicht: 85 kilo
 - 23 mannen, 1 vrouw
 - Rugklachten meest voorkomend – eerder én nu

Heb je nu pijn door je werk? Zo ja, waar?

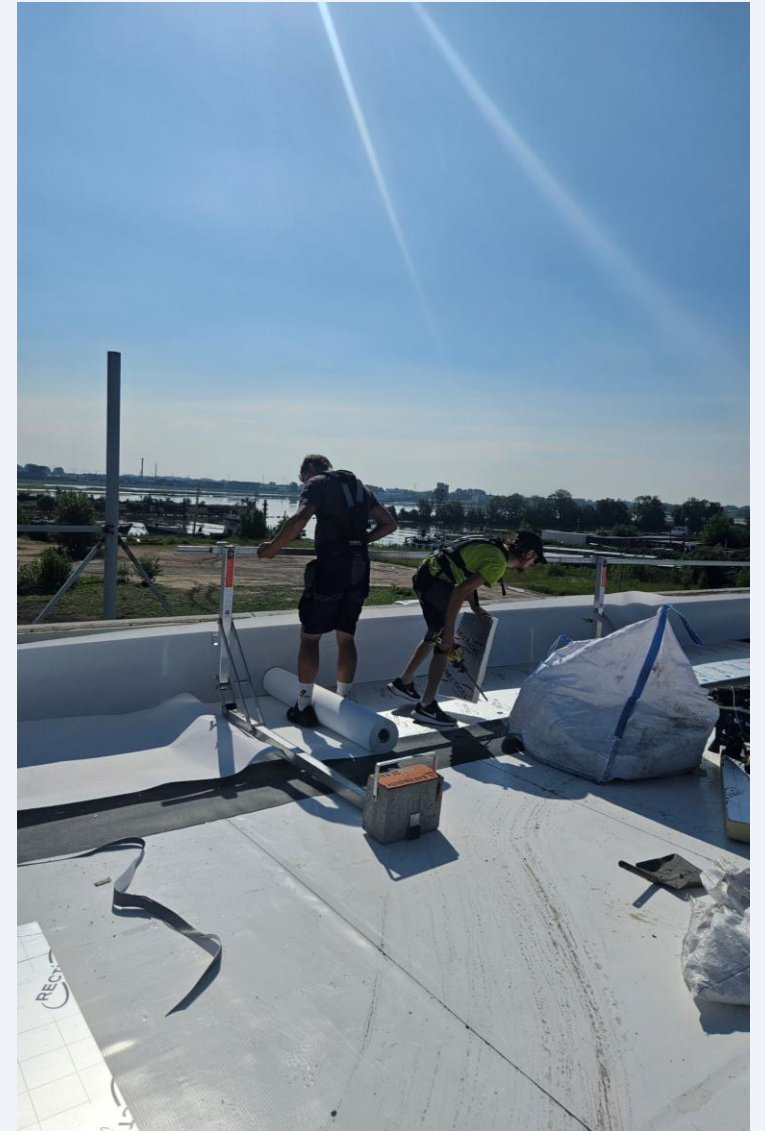


Heb je eerder pijn gehad door je werk? Zo ja, waar?



Belangrijkste inzichten op een rij

- HAPO werd niet geaccepteerd – focus op Auxivo
- Rugklachten komen veelvuldig voor onder dakdekkers
- Exoskeletgebruik was goed bij start van de studie, maar nam af over de tijd (testdagen)
- Dakdekkers zijn...
 - Tevreden over ondersteuning en aantrekgemak van de Auxivo
 - Ontevreden over comfort (i.e. warmte) van de Auxivo
- Dakdekkers vinden dat de Auxivo...
 - Hindert bij knielende en dynamische werkzaamheden – het is niet voor alle werkzaamheden geschikt
 - Geen invloed heeft op pijnklachten
- Na week 3 wil een derde de Auxivo waarschijnlijk wel gebruiken in de toekomst, de helft (waarschijnlijk) niet



Uitkomsten: Respons en uitgevoerde werkzaamheden

Respons en focus rapport

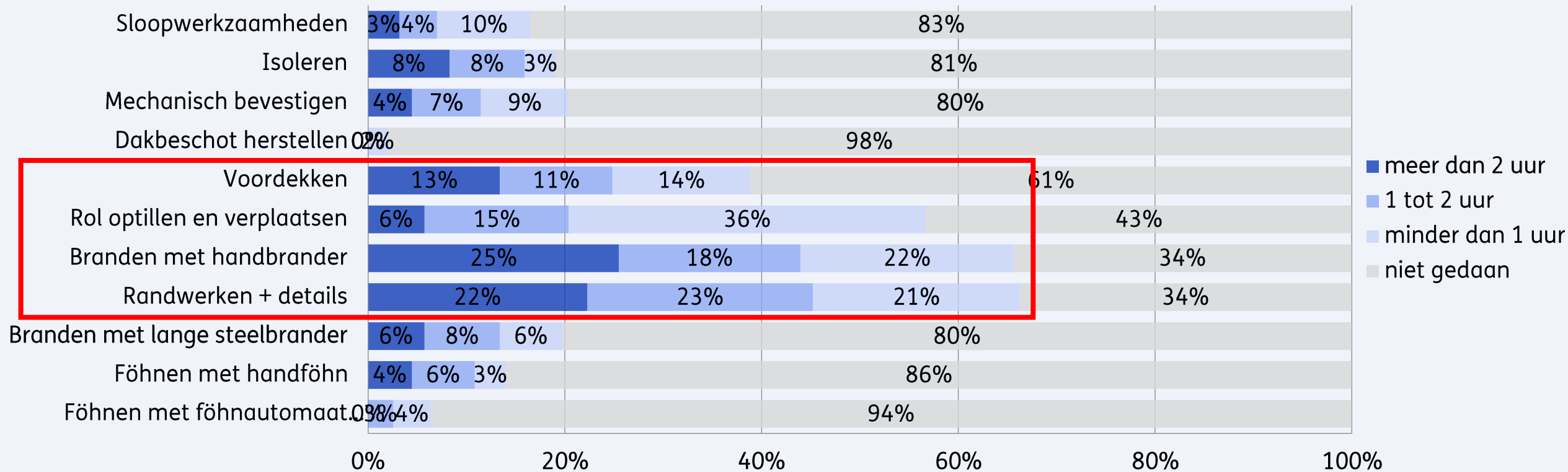
- **Dagelijkse lijst**
 - Responspercentage 73%, 387 keer voltooid
 - **Wekelijkse lijst**
 - Responspercentage 60%, 66 keer voltooid
 - **Vergelijking tussen exoskeletten**
 - Er zijn meer positieve reacties over de Auxivo dan over de HAPO, die niet wordt geaccepteerd
 - HAPO wordt als oncomfortabel en beperkend ervaren, met name bij knielend werk en in combinatie met andere uitrusting
- Focus van verdere rapport op Auxivo



Uitgevoerde werkzaamheden

- Zoals dagelijks gerapporteerd tijdens de test periode
- Data van dakdekkers die de Auxivo tot hun beschikking hadden

Totaal uitgevoerde werkzaamheden



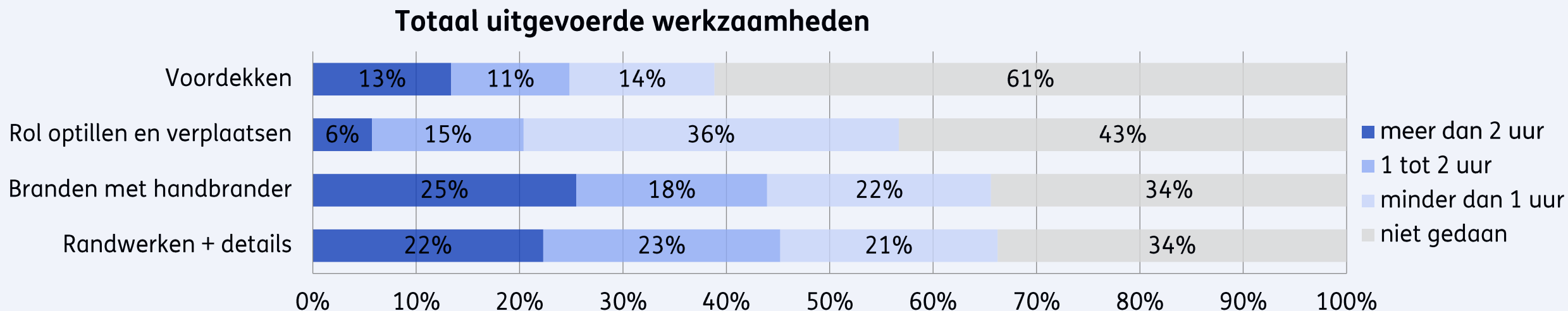
Uitgevoerde werkzaamheden

Meest uitgevoerd:

- Werkzaamheden bij de randen en details (66%);
- Branden met een handbrander (66%);
- Rollen optillen en verplaatsen (57%);
- Voordekken (39%)

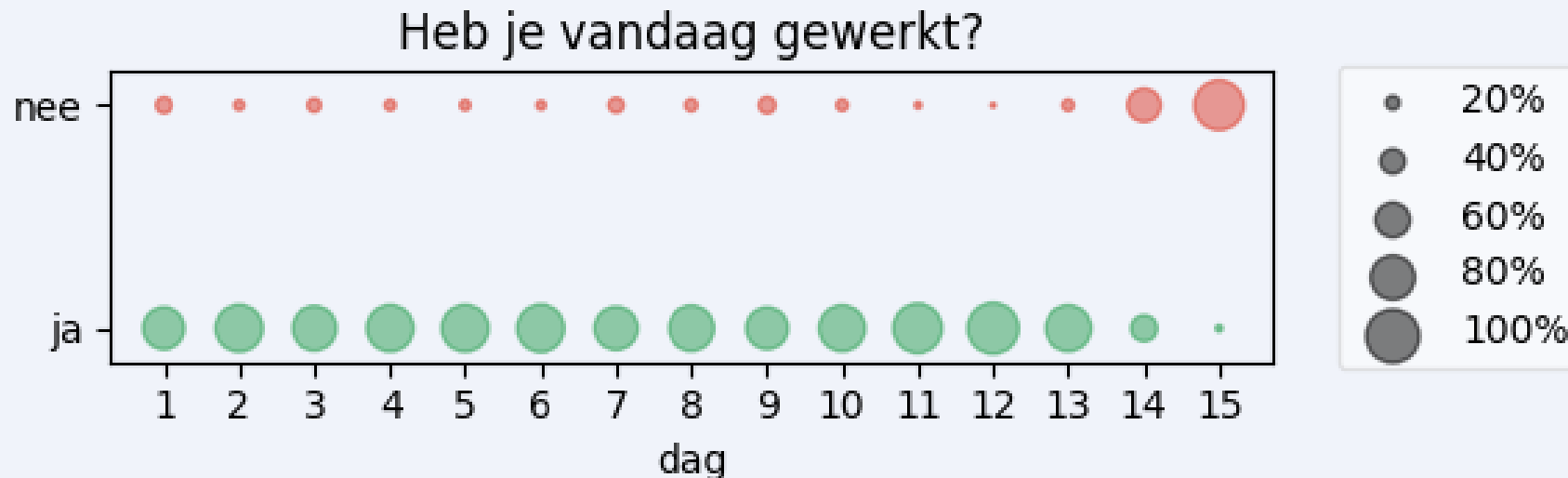
Percentages zeggen niks over de verdeling over de dag heen

- De taak kan achtereenvolgens uitgevoerd zijn of verspreid over de dag



Uitleg figuren

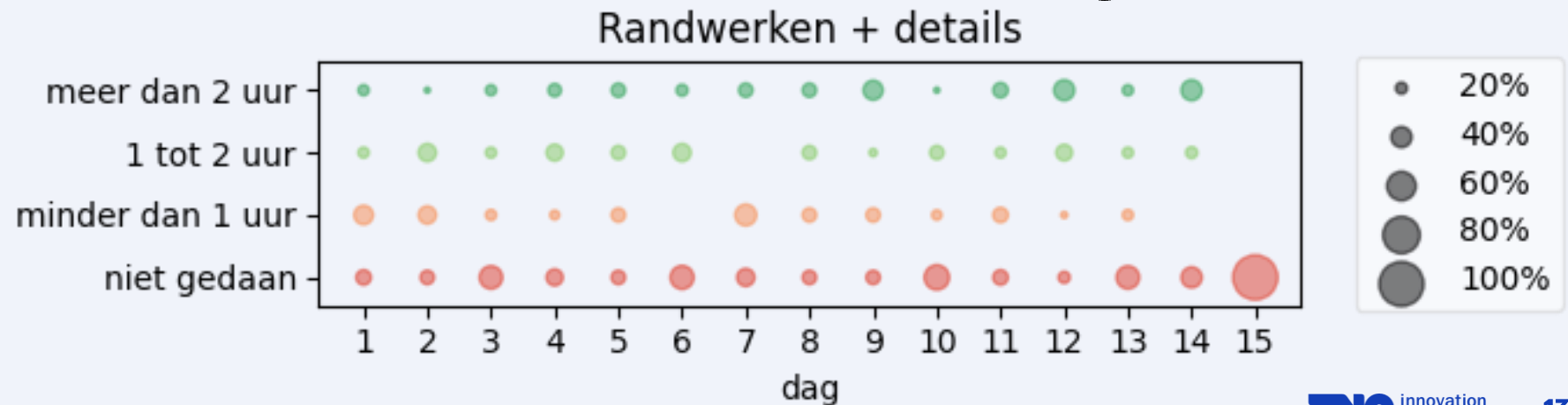
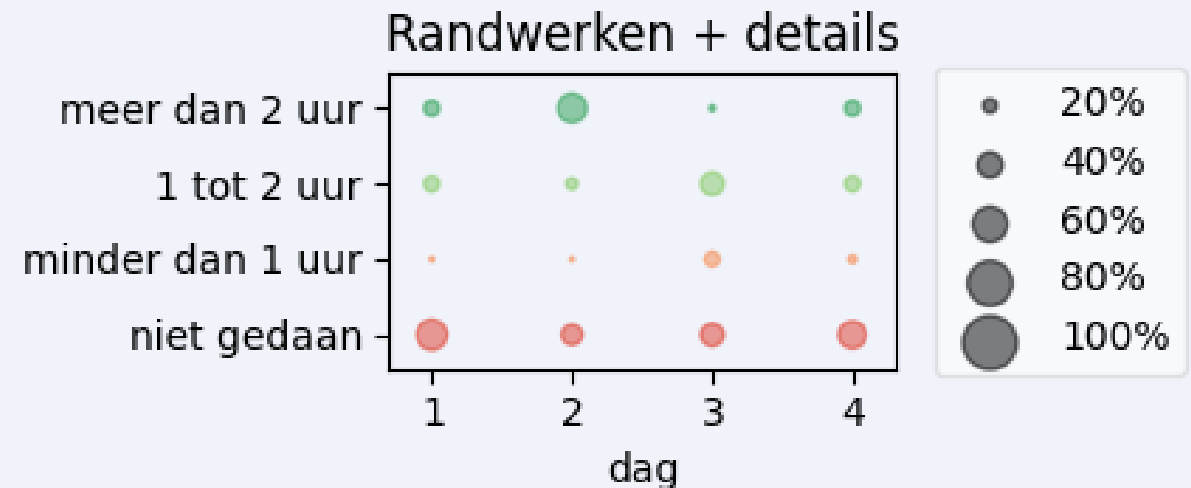
- Bolletjes laten percentage van gekozen antwoord over de tijd heen zien
- Groter bolletje komt overeen met groter percentage gekozen voor het antwoord, **niet** hoger absoluut aantal



Uitgevoerde werkzaamheden

Wat zegt de data?

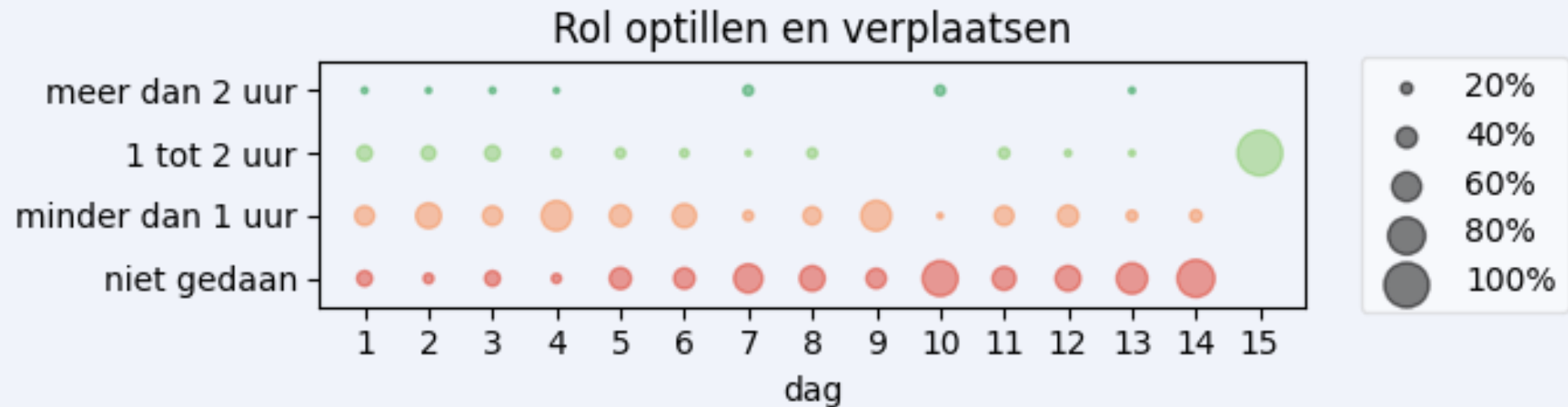
- Werkzaamheden zijn elke dag ongeveer hetzelfde, zie voorbeeld “Randwerken + details”
- Uitgevoerde werkzaamheden per dag is stabiel over de tijd: bolletjes zijn elke dag ongeveer even groot
- Het patroon tijdens de nulmeting (boven) en tijdens het werken met een exoskelet (onder) is vergelijkbaar



Uitgevoerde werkzaamheden

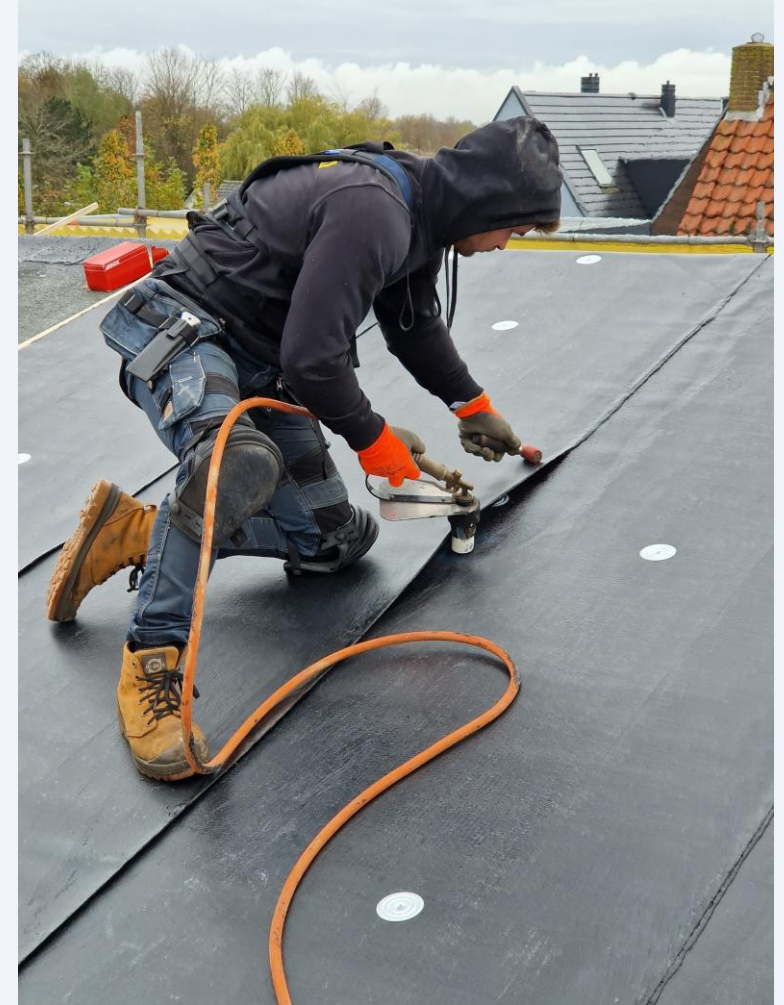
Uitzondering:

- Rol optillen en verplaatsen is minder uitgevoerd over de tijd heen
- Rode bolletjes worden groter



Conclusie respons en uitgevoerde werkzaamheden

- De Auxivo is beter bevallen dan de HAPO, die niet werd geaccepteerd – om die reden is de HAPO verder niet meegenomen in dit rapport
- Meest uitgevoerde werkzaamheden zijn:
 - Randen en details (66%)
 - Branden met een handbrander (66%)
 - Rollen optillen en verplaatsen (57%)
 - Voordekken (39%)
- Werknemers zijn niet of nauwelijks van werkzaamheden veranderd voor en na het werken met het exoskelet
 - Nulmeting vs testweken met exoskelet

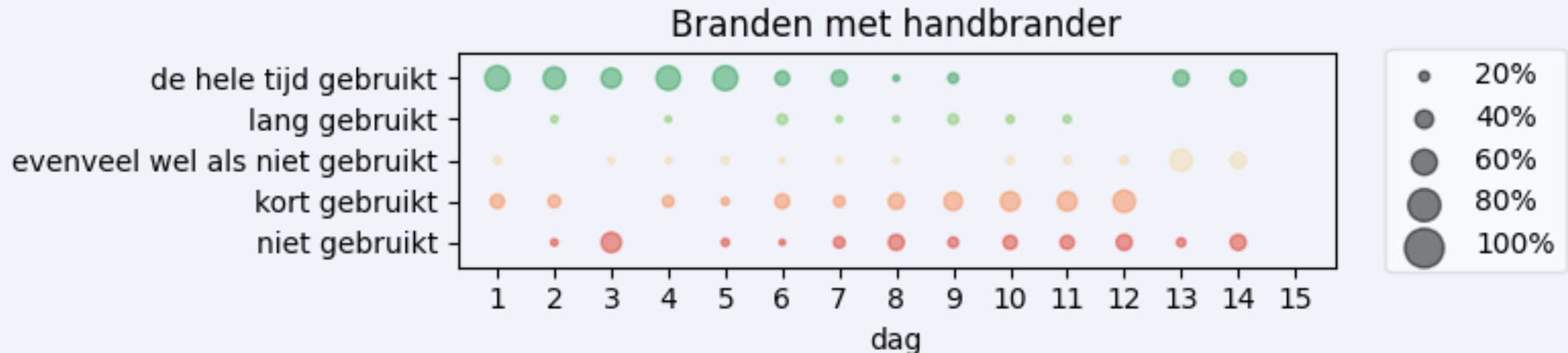


Uitkomsten: Gebruik en ervaring per taak

Gebruik per taak

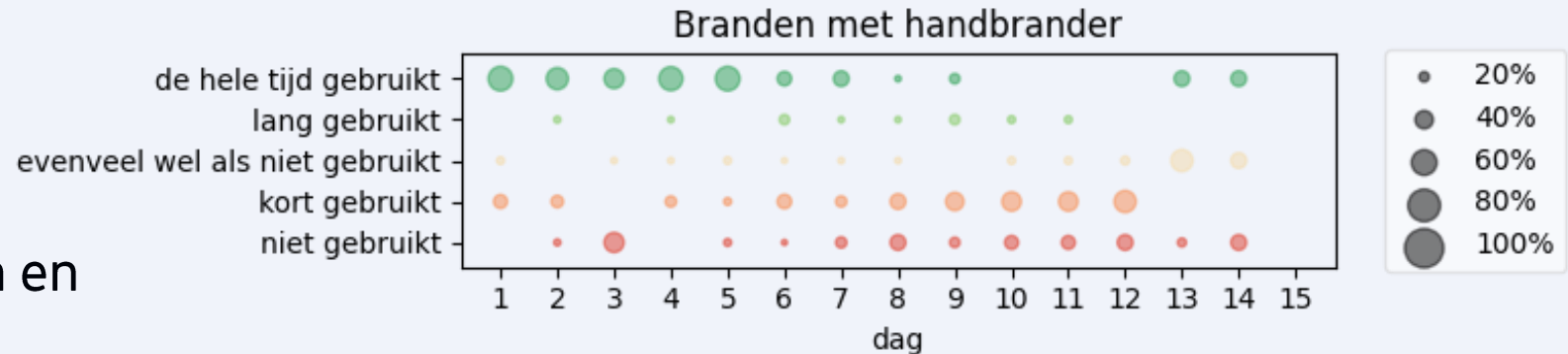
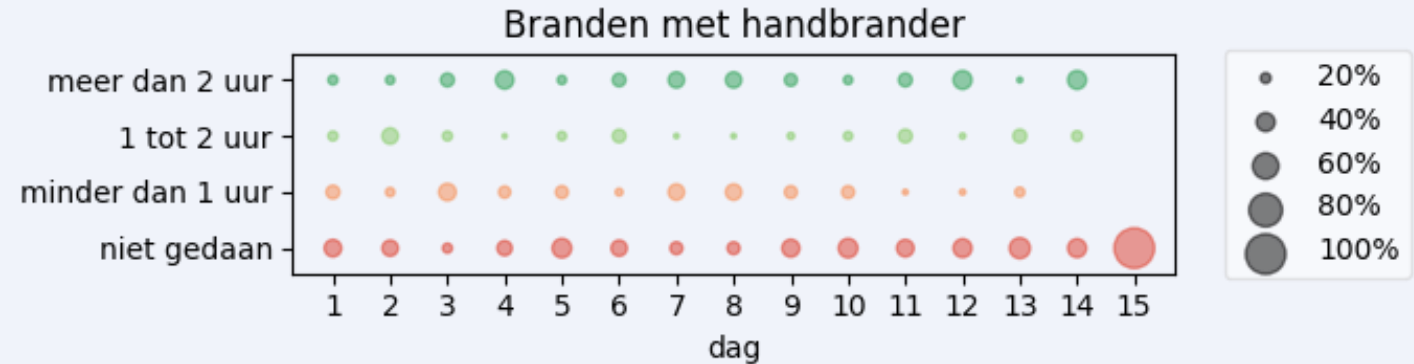
Wat zegt de data?

- Start studie: gebruik exoskelet was goed bij meest voorkomende werkzaamheden
- Bij branden gebruikte 60% het exoskelet de hele tijd
- Nam af over testperiode
- Mogelijke oorzaken:
 - Nieuwigheid is eraf, kritischer op meerwaarde
 - Warmte



Gebruik per taak

- Afname in gebruik van de Auxivo komt niet door het in mindere mate uitvoeren van de werkzaamheden
- Uitgevoerde werkzaamheden blijft gelijk over de tijd (bovenste figuur)
- Gebruik neemt af over de tijd (onderste figuur)
- Uitzondering is het rol optillen en verplaatsen
 - Werkzaamheden worden minder uitgevoerd over de tijd
 - Conclusie kan niet getrokken worden



Ervaringen bij gebruik per taak

Helpt bij voorwerpen tillen en dragen

- “Het houd je rug in de juiste houding om bijvoorbeeld een rol op te tillen”
- “Ik merk dat het mijn rug ondersteund bij het dragen van beton pannen”

Geschikt bij autorijden en in combinatie met valharnas

- “Ik rij veel en draag het ook bij auto rijden”
- “Het zit goed met dragen en je kunt je valharnas gewoon er overheen dragen”

Niet prettig bij knielende werkzaamheden

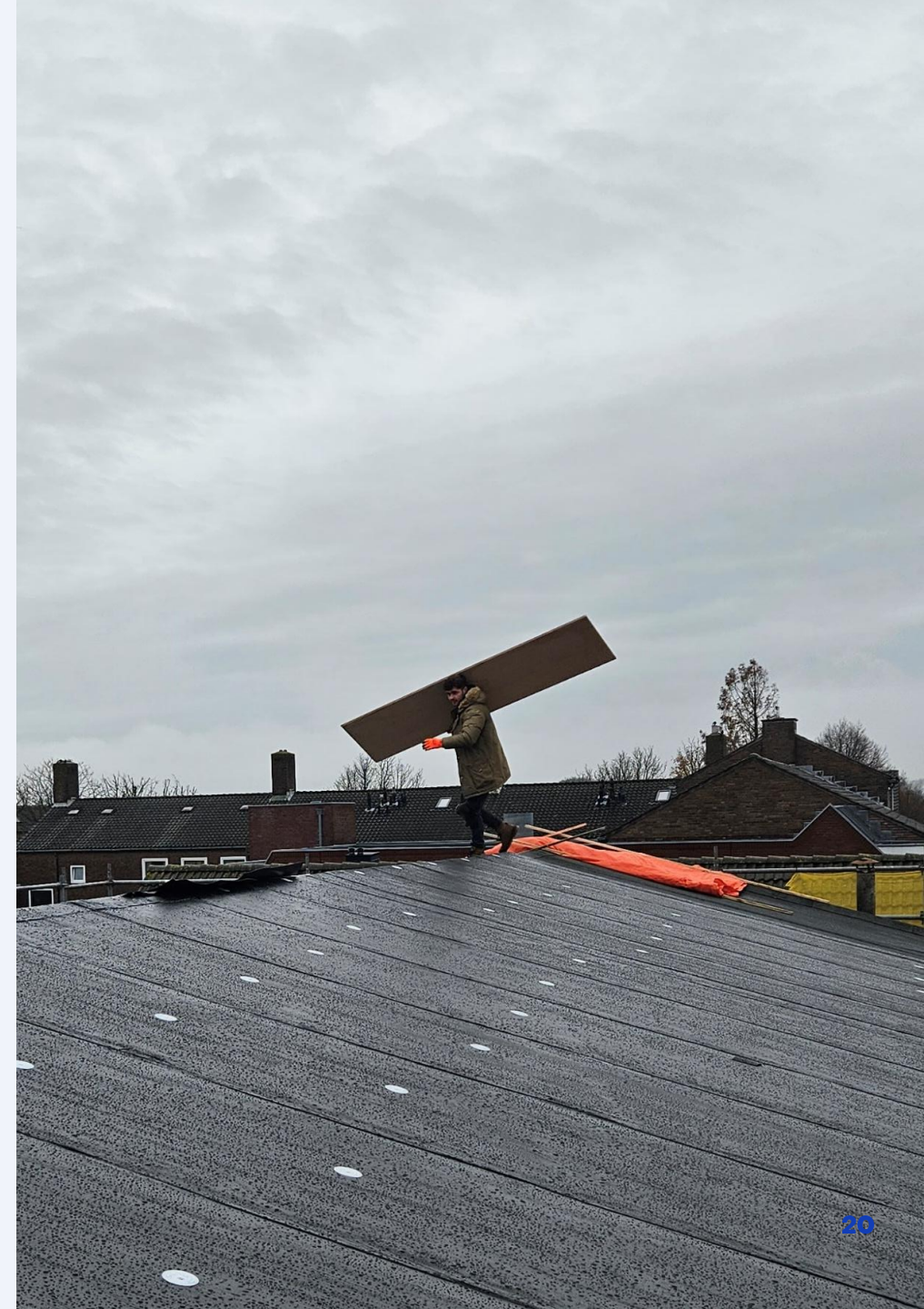
- Bij “detaillering/ afwerken constant om de paar meter dus omhoog komen en weer op de knieën en dan gaat het irriteren”
- “Lastig met stroken branden als je op je knieën zit”

Minder geschikt voor dynamische werkzaamheden

- “Al is staand/lopend werk minder prettig, op de knieën (stroken branden) blijf je rechter op zitten”
- “Opruim werkzaamheden gedaan even aangehad maar werkt niet lekker als je veel bukt beweegt loopt enzovoort”
- “Tot nu toe heb ik er alleen nog baat bij met stroken branden”

Conclusie ervaringen met en gebruik van exoskelet* per taak

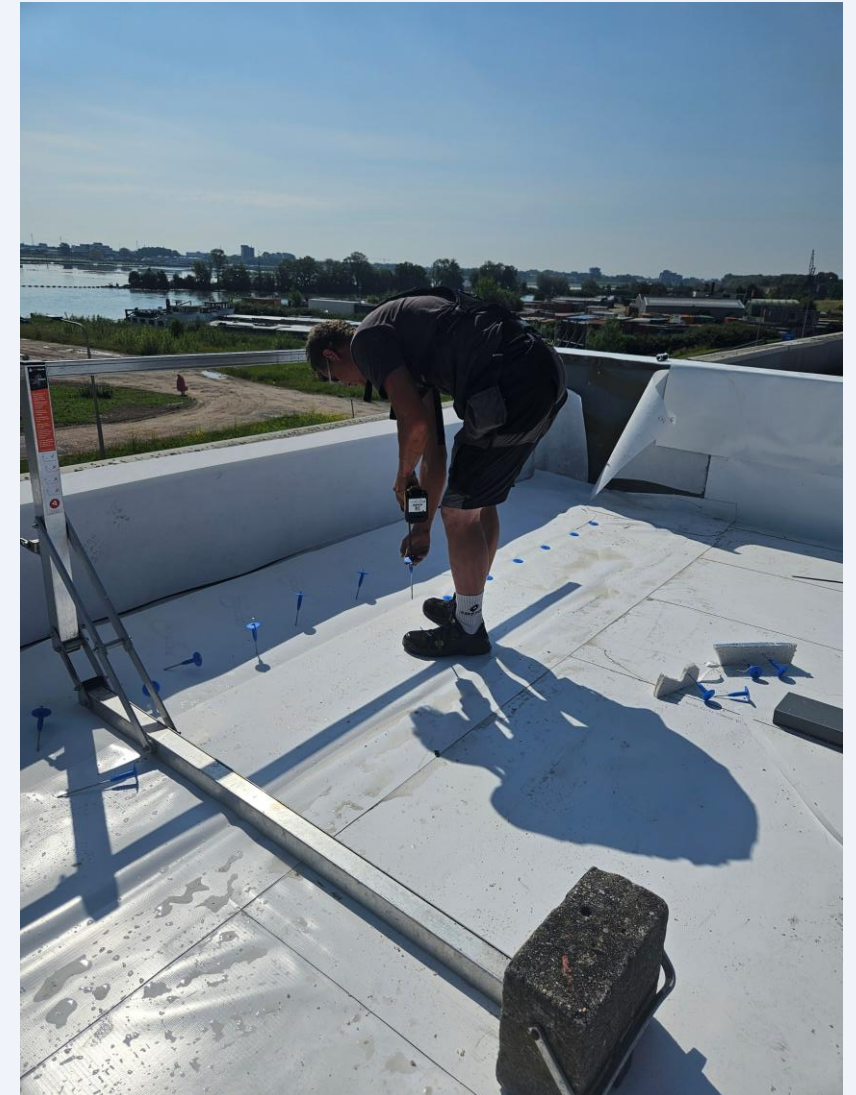
- Exoskeletgebruik was bij de meest voorkomende werkzaamheden goed bij start van de studie, maar nam af over de tijd (testdagen)
 - Nieuwigheid is eraf, kritischer op meerwaarde
- Dakdekkers vinden het exoskelet geschikt voor het tillen en dragen van voorwerpen, maar minder prettig bij knielende en dynamische werkzaamheden
- Het exoskelet kan volgens de dakdekkers worden gedragen in combinatie met een valharnas en tijdens het besturen van voertuigen



Uitkomsten: Voor- en nadelen

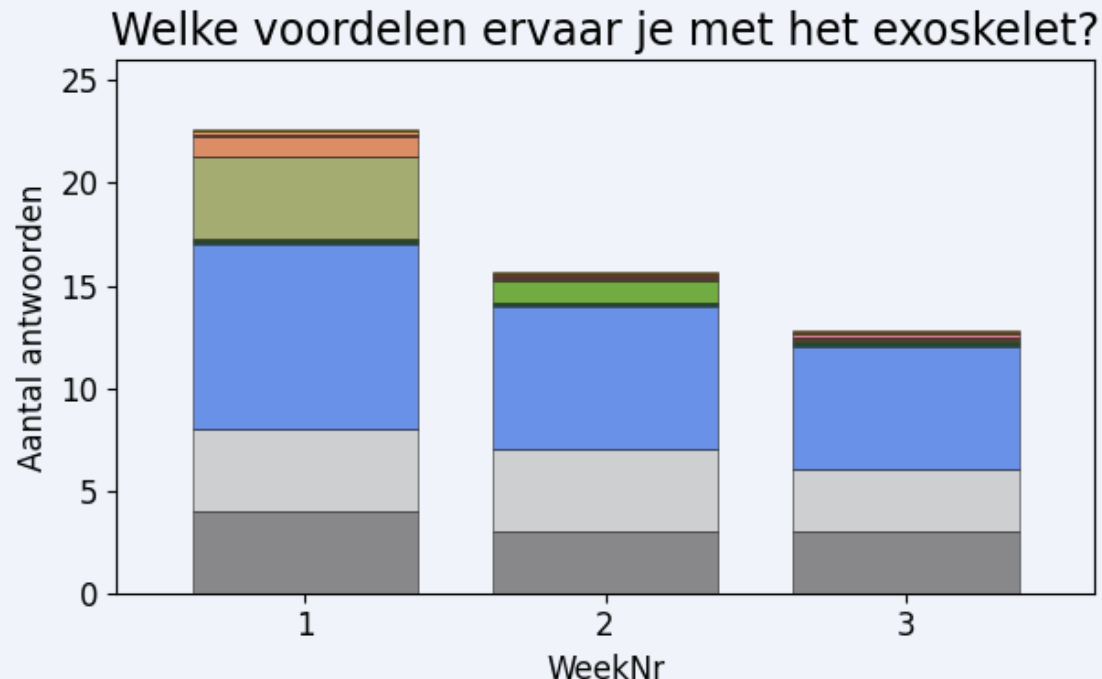
Voor en – nadelen

- Respondenten konden meerdere voor- en nadelen in een vooraf opgestelde lijst selecteren
- Mogelijkheid om een eigen voor- of nadeel aan te geven
- De conclusies zijn gebaseerd op
 - Week 1: 14 respondenten
 - Week 2: 12 respondenten
 - Week 3: 12 respondenten



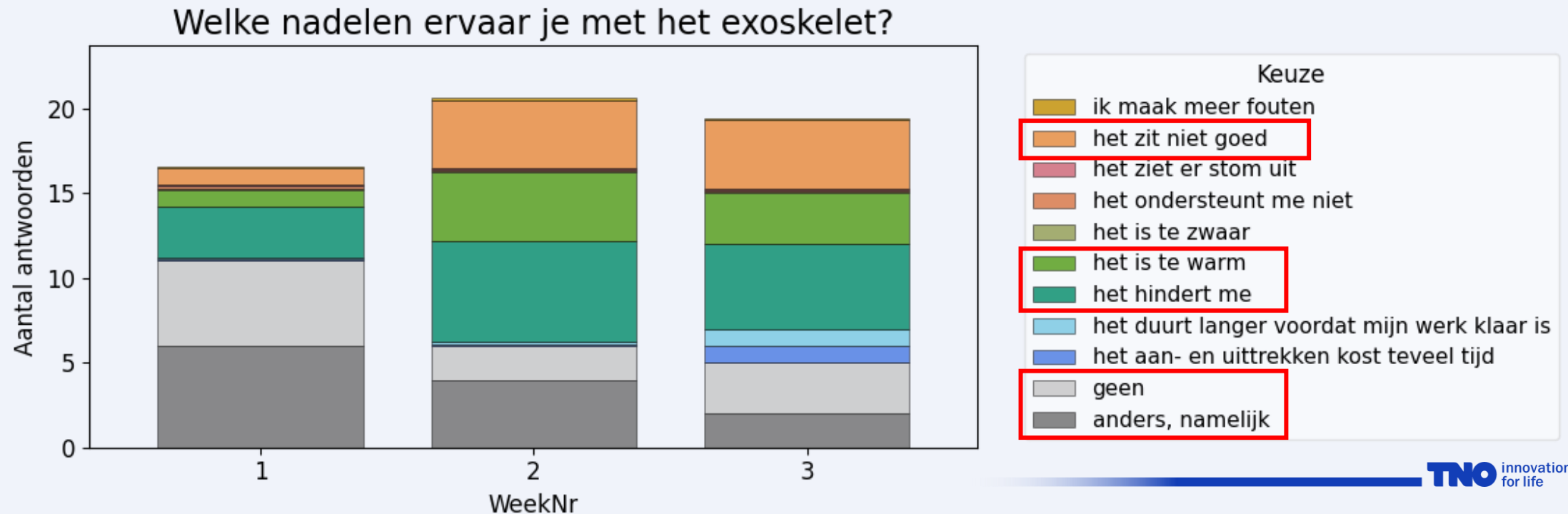
Ervaren voordelen

- “Het ondersteunt me” is het meest ervaren voordeel
 - Week 1: 9 van de 14 respondenten
 - Week 2: 7 van de 12 respondenten
 - Week 3: 6 van de 12 respondenten
- Alleen in week 1 wordt “minder pijn/klachten” genoemd (door 4 respondenten)
- De antwoorden “geen” en “anders, namelijk” zijn per week door 3 of 4 respondenten ingevuld
- Andere voordelen zijn weinig gekozen



Ervaren nadelen

- Meest ervaren nadelen zijn “het hindert me”, “het zit niet goed”, en “het is te warm
- Nadeel “het is te warm” meest genoemd in week 2
- Gegeven antwoorden bij “anders, namelijk” zijn schuren, knellen, hinderen & stijve spieren
- Afname van het niet ervaren van nadelen



Temperatuur tijdens meetdagen (KNMI, De Bilt 260)

- Warmte als nadeel is het meest genoemd in de **tweede meetweek**
- Meeste warme dagen in de **tweede meetweek** (van de tweede groep die met de Auxivo werkte)
- Temperatuur speelt mee in acceptatie van exoskelet

	Auxivo groep 1 (start 12 mei)			Auxivo groep 2 (start 9 juni)		
	Datum	Tgem (°C)	Tmax(°C)	Datum	Tgem(°C)	Tmax(°C)
Week 1	12-05-25	18.4	24.5	09-06-25*	15.1	19.3
	13-05-25	17.1	23.1	10-06-25	14.4	18.4
	14-05-25	14.2	20.2	11-06-25	14.7	21
	15-05-25	14	19.1	12-06-25	20.4	27
	16-05-25	11.4	17.6	13-06-25	25.5	31.8
Week 2	19-05-25	14.1	21.7	16-06-25	17.5	22.9
	20-05-25	14.7	21.5	17-06-25	18.2	25.9
	21-05-25	12.7	18.3	18-06-25	19.1	26.2
	22-05-25	11.2	15	19-06-25	18.3	23.8
	23-05-25	9.6	13.3	20-06-25	18.9	25.9
Week 3	26-05-25	15.3	18.6	23-06-25	18.3	20.3
	27-05-25	14.3	18.4	24-06-25	18	21.7
	28-05-25	14.7	18	25-06-25	20.7	25.9
	29-05-25*	14.8	19.8	26-06-25	19.8	23.5
	30-05-25*	17.2	22.8	27-06-25	18.8	23.4

Tgem= etmaal gemiddelde temperatuur

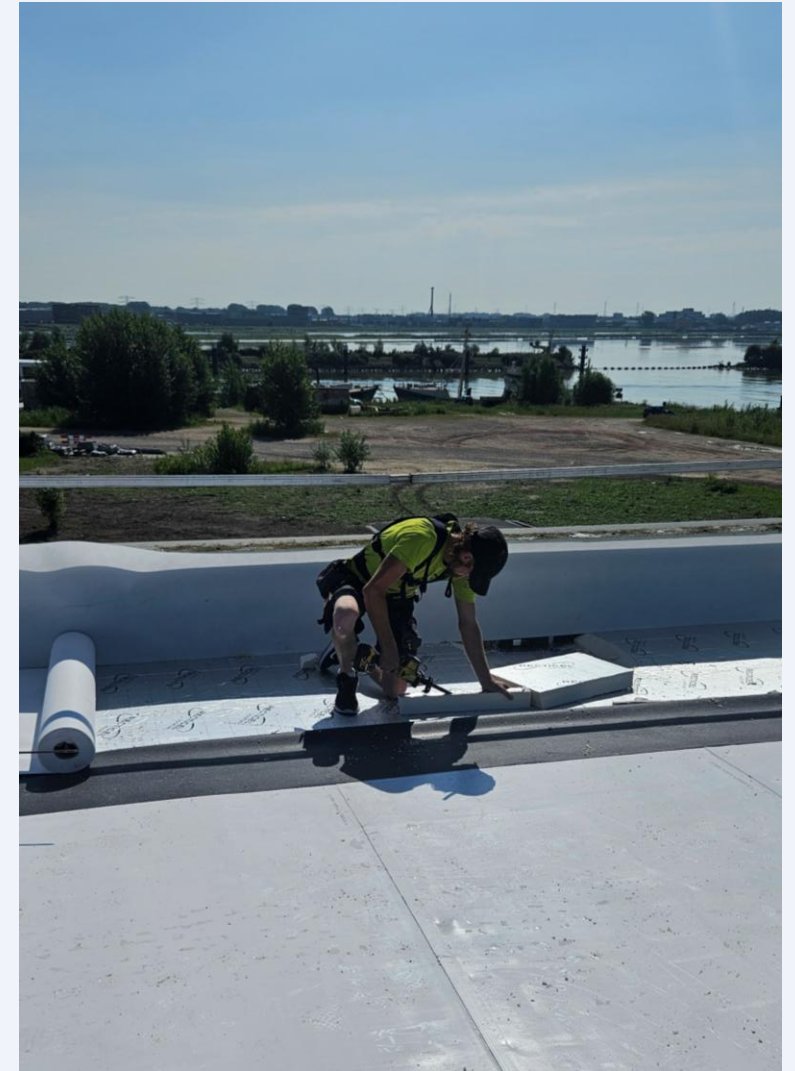
Tmax = maximum temperatuur

Met **markering**: hoger dan 25°C

*feestdag of geen werkdag

Conclusie voor- en nadelen*

- Respondenten konden meerdere voor- en nadelen in een vooraf opgestelde lijst selecteren
- De conclusies zijn gebaseerd op 14 respondenten in de eerste week, en 12 in de tweede en derde week
- Het meest ervaren voordeel is dat het exoskelet ondersteunt
- Het niet goed zitten, hinder ondervinden van het exoskelet en warmte zijn de meest ervaren nadelen
 - Nadeel “het is te warm” lijkt afhankelijk van het weer en een rol te spelen in de acceptatie van het exoskelet



Uitkomsten: Invloed op werk en invloed van rugklachten

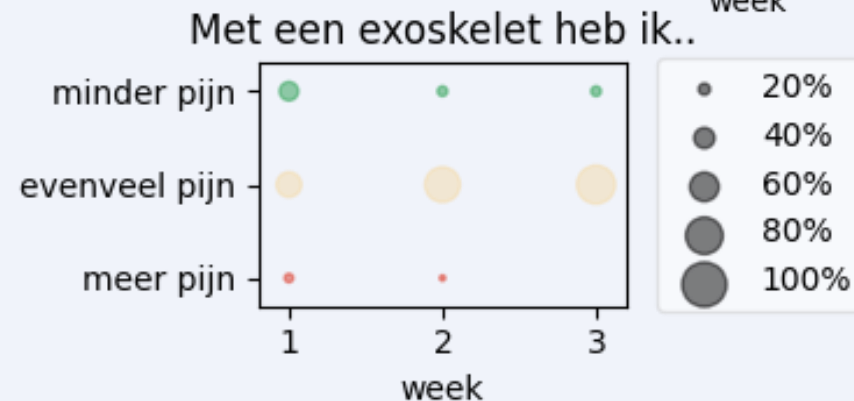
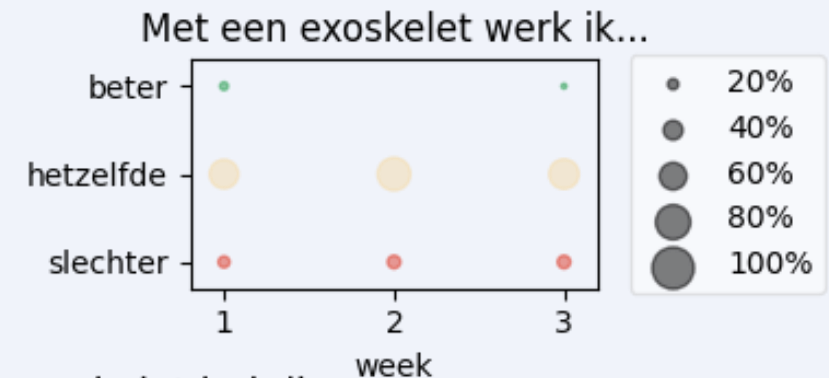
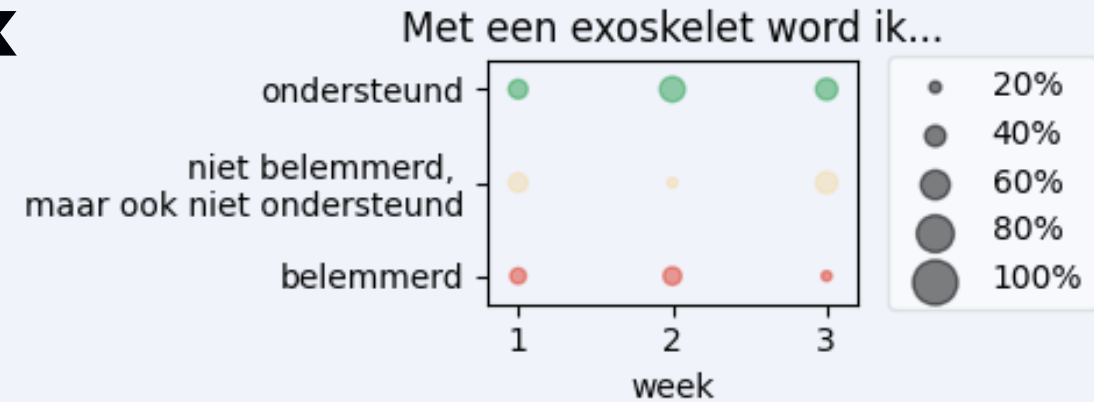
Invloed exoskelet op het werk

Over het **algemeen** vinden de dakdekkers dat ze...

- **Ondersteund** worden door het exoskelet
- **Niet beter, maar ook niet slechter** werken met het exoskelet
- **Geen verandering in pijn** ervaren door het exoskelet

Dakdekkers lichten toe:

- “Spieren worden er stijf door”
- “Het biedt wel ondersteuning aan de onderrug, maar dat weegt niet op tegen de klachten”
- “Na de eerste paar dagen kreeg ik iets last in mijn onderrug, maar dat is logisch omdat het mijn houding verandert. De pijn ging vanzelf weer weg.”



Rugklachten

Meer dan de helft (57%) van de dakdekkers heeft op het moment van de metingen rugklachten

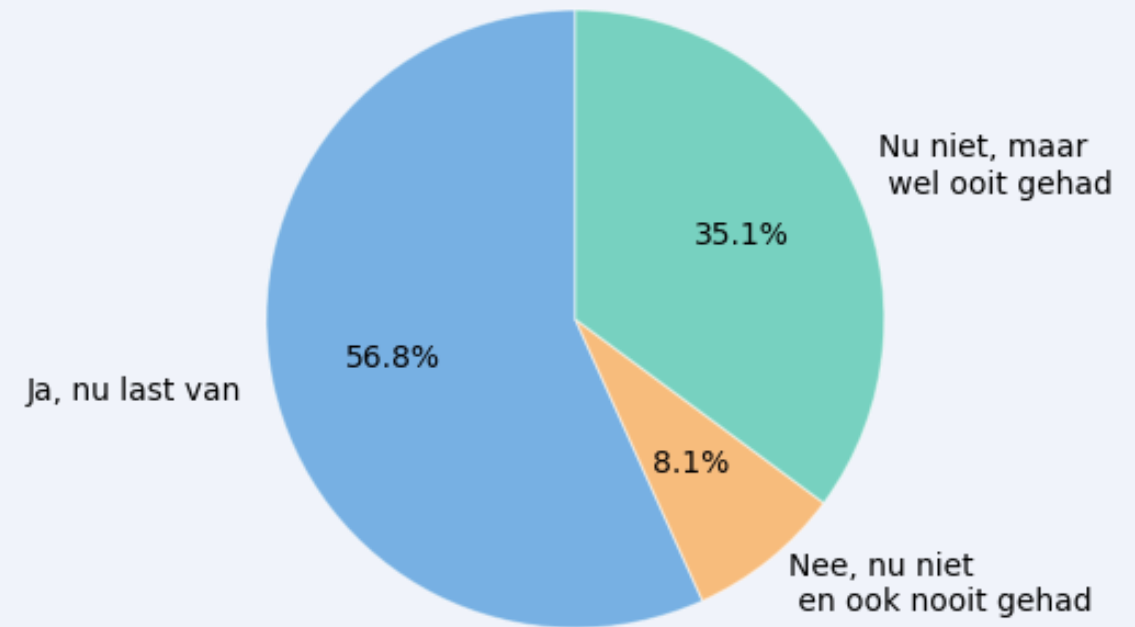
- Ook teruggevonden in de wekelijkse vragenlijsten
- Grootte van groep schetst grootte van het probleem

Meer dan een derde heeft nu geen klachten, maar wel ooit gehad

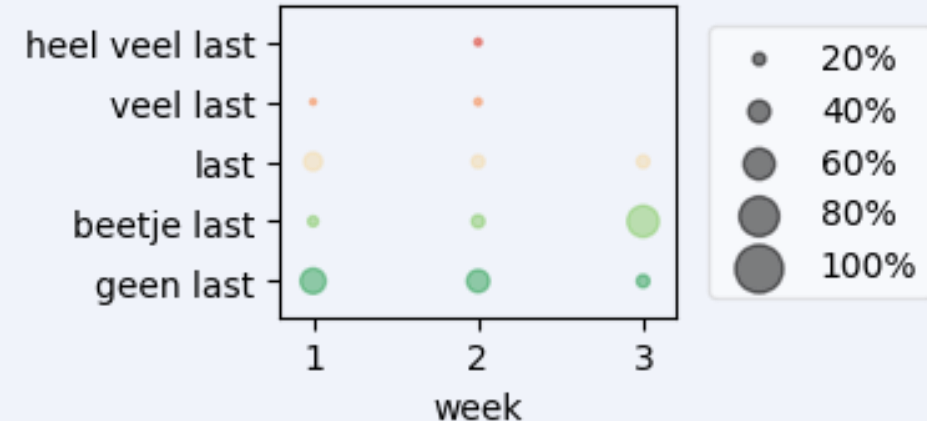
Slechts een enkele dakdekker zonder rugpijn (ooit te hebben gehad)

- Vergelijking tussen de groepen met rugpijn en zonder rugpijn zijn daarom niet mogelijk

Historie rugpijn deelnemers



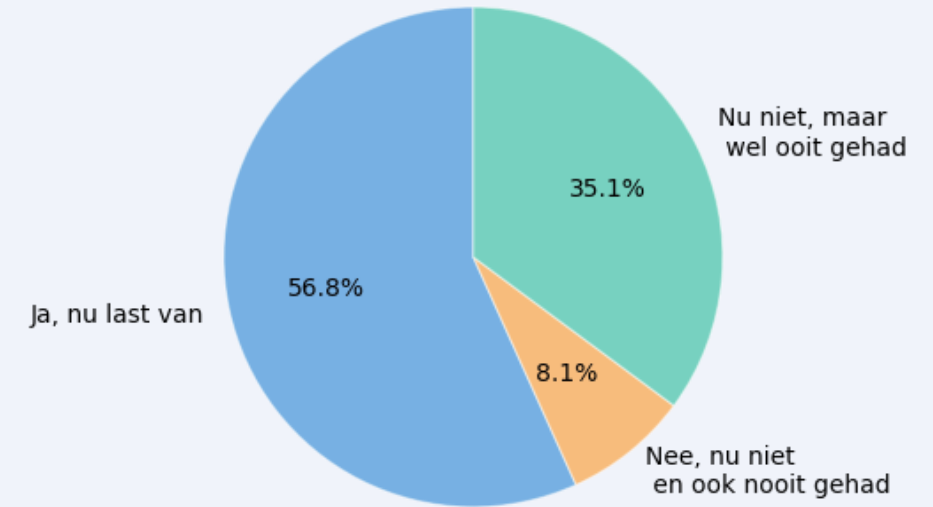
Onderrug



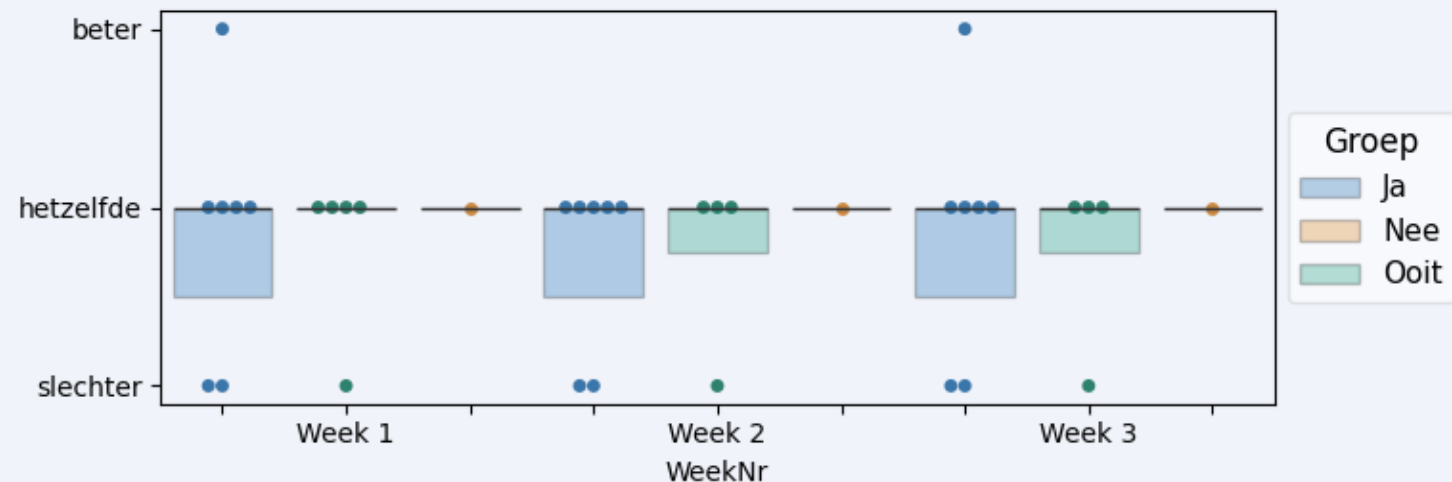
Werkprestatie per groep

- De meeste dakdekker ervaren vergelijkbare werkprestatie met het exoskelet
- Rugpijn had daar geen invloed op
- Elke week geven 3 dakdekkers aan slechter te werken door het exoskelet
- Hiervan hebben 2 dakdekkers op het moment rugpijn
- In week 1 en in week 3 geeft een dakdekker met rugpijn aan beter te werken met een exoskelet

Historie rugpijn deelnemers



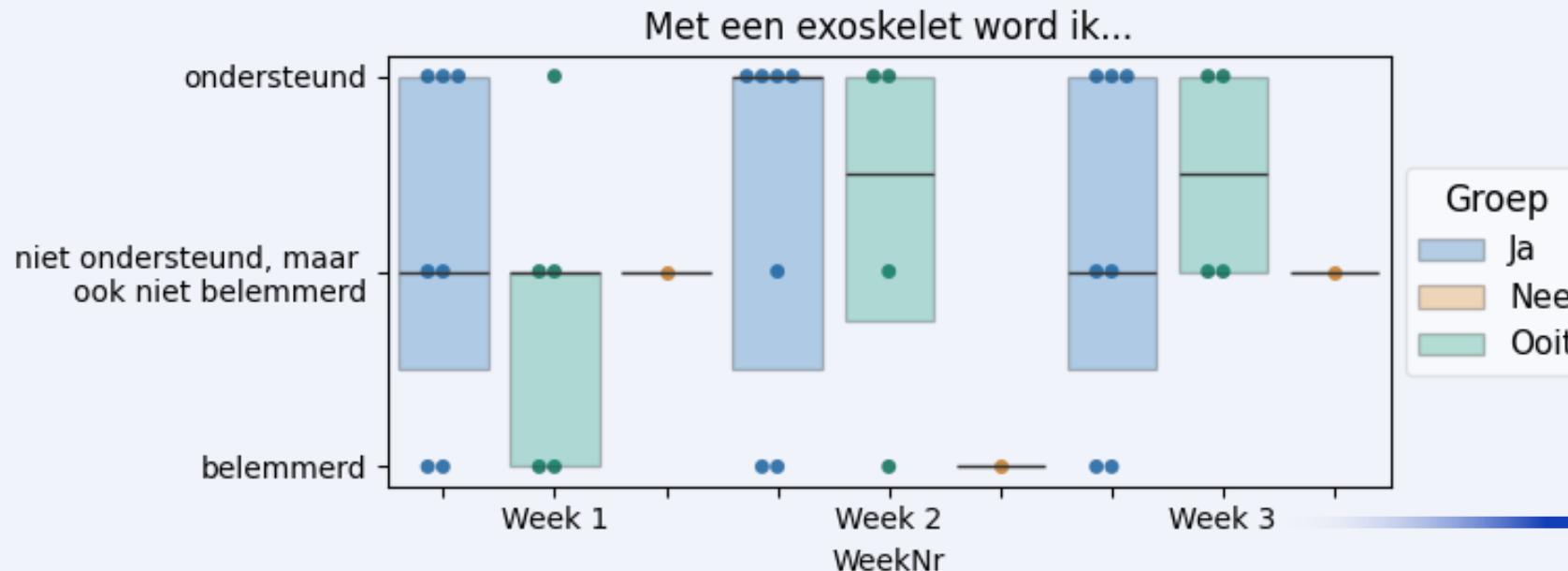
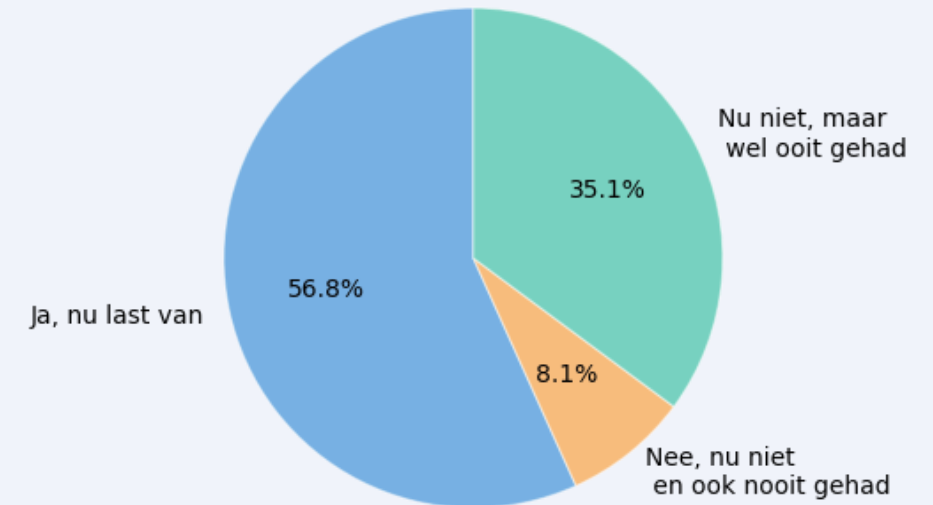
Met een exoskelet werk ik...



Werkondersteuning per groep

- Gemiddeld geeft de helft van de dakdekkers aan ondersteund te worden door het werken met het exoskelet
- Voor dakdekkers met rugpijn zijn dit er 3/7 in week 1 en 3 en 4/7 in week 2
- Dit is vergelijkbaar met de groep die ooit rugpijn heeft gehad, al is dat minder zichtbaar in de eerste week

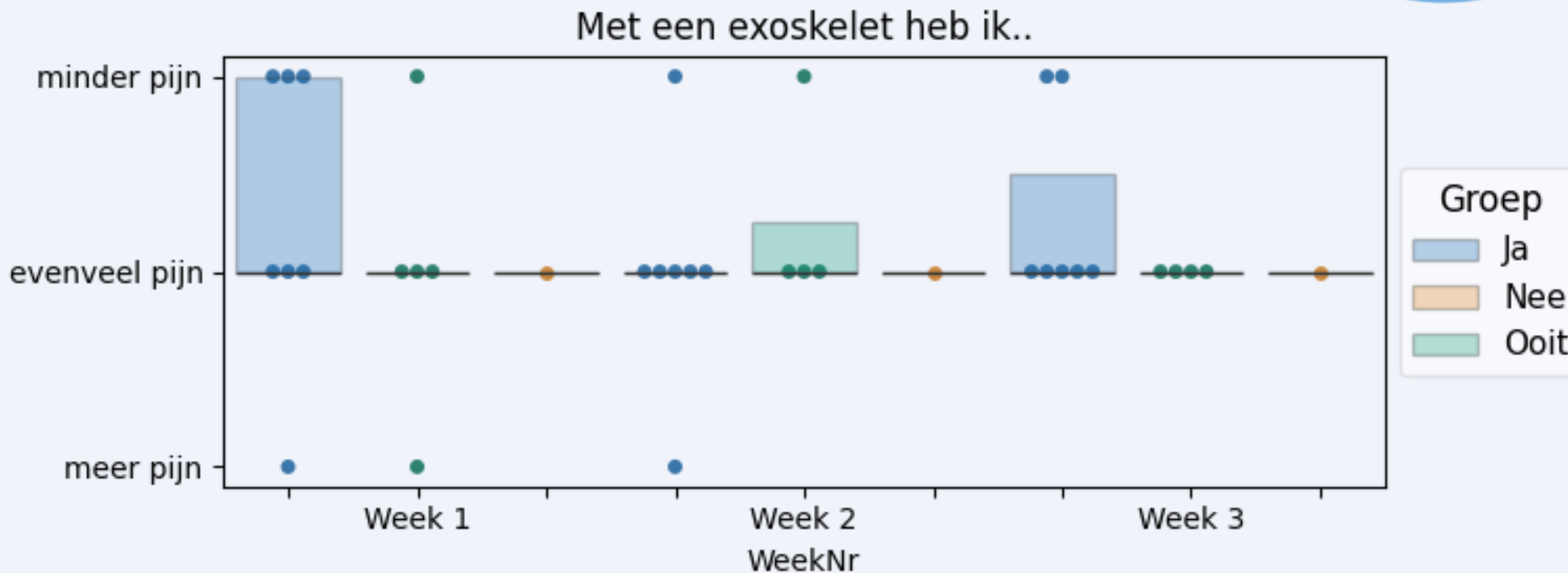
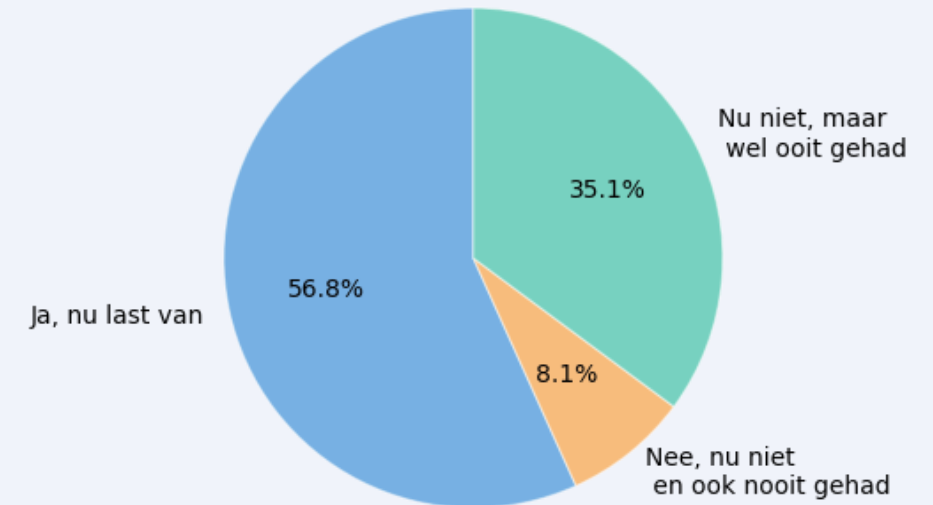
Historie rugpijn deelnemers



Pijn per groep

- 3/7 dakdekkers met rugpijn geeft in week 1 aan minder pijn te hebben door het werken met het exoskelet
- Dit zijn er 2/7 in week 3

Historie rugpijn deelnemers



Conclusie invloed op werk en invloed van rugklachten*

- Dakdekkers geven aan dat ze ondersteund worden door het exoskelet, en ze door het exoskelet niet beter maar ook niet slechter werken (op een enkeling na)
- Meer dan de helft van de dakdekkers ervaart rugklachten op het moment van de testen
- Het exoskelet heeft voor de meeste dakdekkers geen invloed op de gerapporteerde pijnklachten, een enkeling geeft aan wél een positief effect waar te nemen



Uitkomsten: Eigenschappen en acceptatie

Comfort, aantrek- en instelgemak

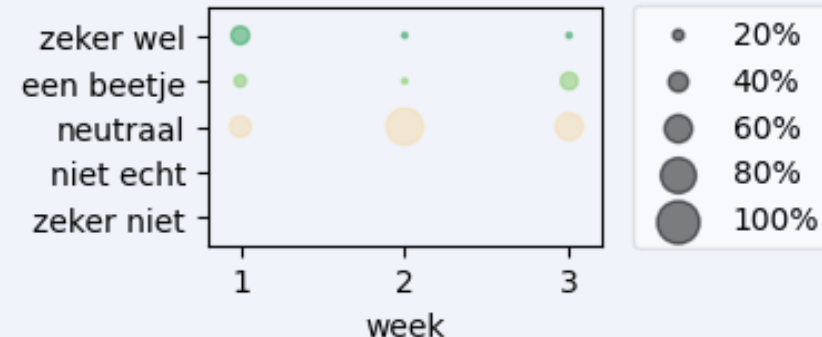
Dakdekkers geven aan:

- Overwegend positief over instelgemak en aantrekgemak van het exoskelet
- Wisselende reacties op hoe goed het exoskelet zit

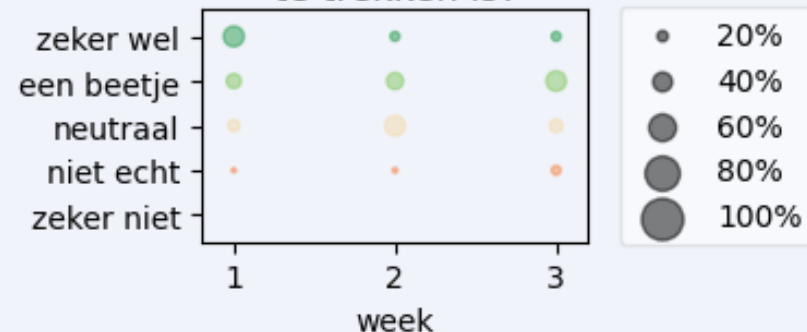
Toelichting:

- Strak en knellend bij de lies, schurend bij de nek
- “Het is veel te warm alles op je lijf is te veel”
- “Je voelt wel dat je hem aan hebt maar daar heb je geen last van
- “Tot nu toe werkt het perfect, maar zit het niet lekker”

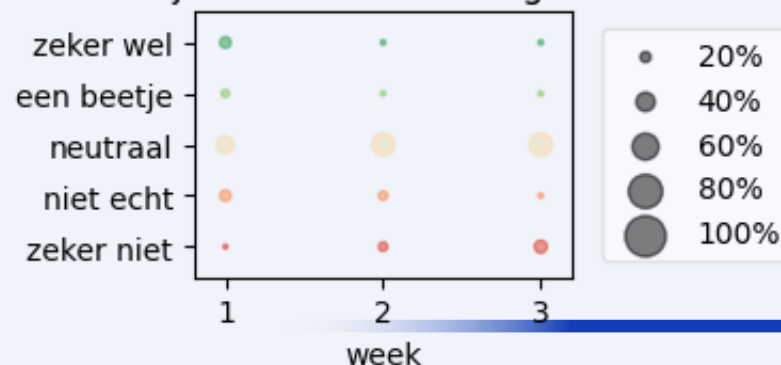
Vind je dat dit exoskelet makkelijk in te stellen is?



Vind je dat dit exoskelet makkelijk aan en uit te trekken is?



Vind je dat dit exoskelet goed zit?



Ondersteuning

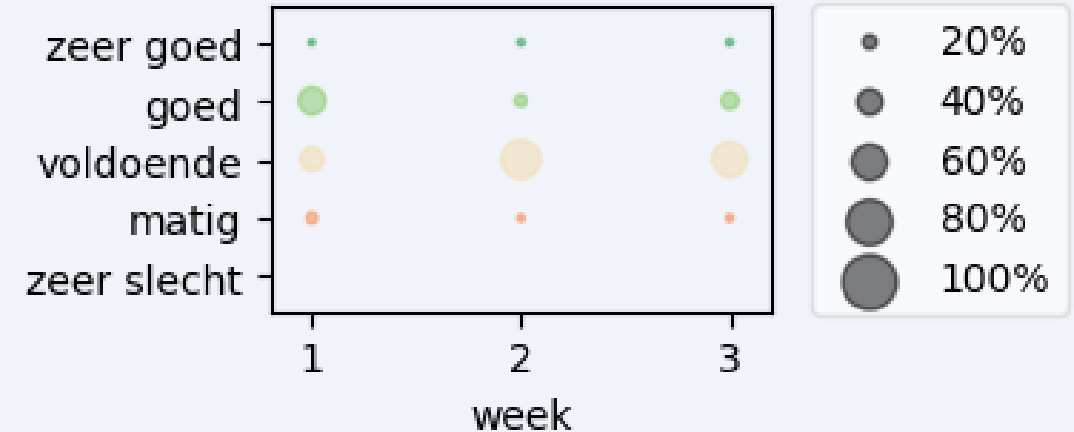
Dakdekkers geven aan:

- Voldoende tot zeer goede ondersteuning, een enkeling vind de ondersteuning matig of te weinig
- Het werk blijft even zwaar, voor een enkeling lichter of zwaarder door het exoskelet

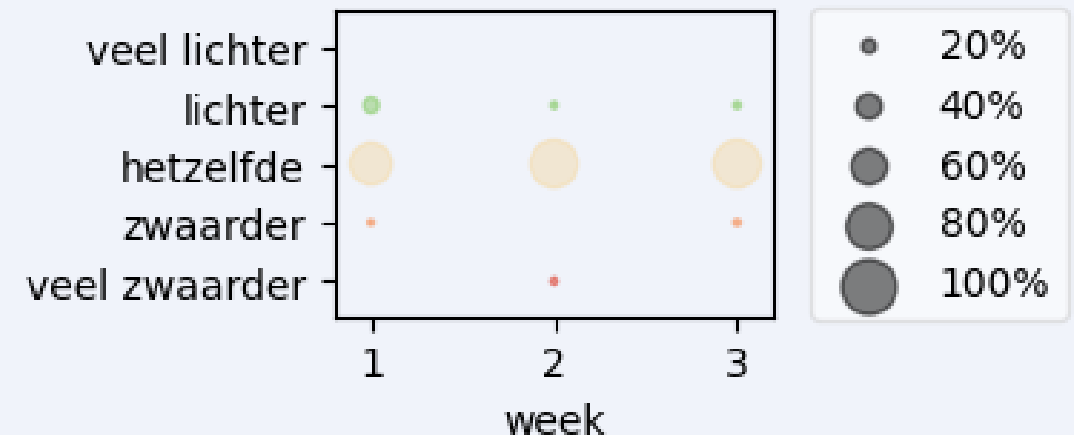
Toelichting:

- “Ik merk dat het mijn houding corrigeerde”
- “Mijn rug werd meer ontlast dan normaal”
- “Ik vind ook dat ie eigenlijk nog te slap is na het aantrekken van de beugels”

Wat vind je van de ondersteuning die dit exoskelet biedt?



Maakt dit exoskelet jouw werk lichter of zwaarder?



Acceptatie

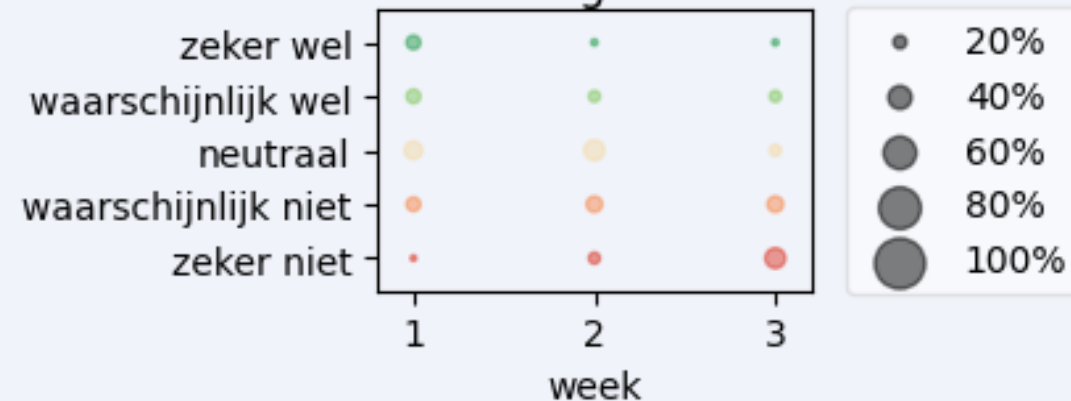
Dakdekkers geven aan:

- Grote verschillen in acceptatie van het exoskelet: de ene deelnemer stopt met het onderzoek, de ander geeft aan het exoskelet te willen houden
- Meer dan een derde (6/14) geeft in de eerste week aan het exoskelet (waarschijnlijk) wel in de toekomst te willen dragen tijdens het werk
 - Dit neemt echter af met de weken (3/12 in week 3)
 - Bij het ‘de hele werkdag’ willen dragen van het exoskelet zien we hetzelfde patroon

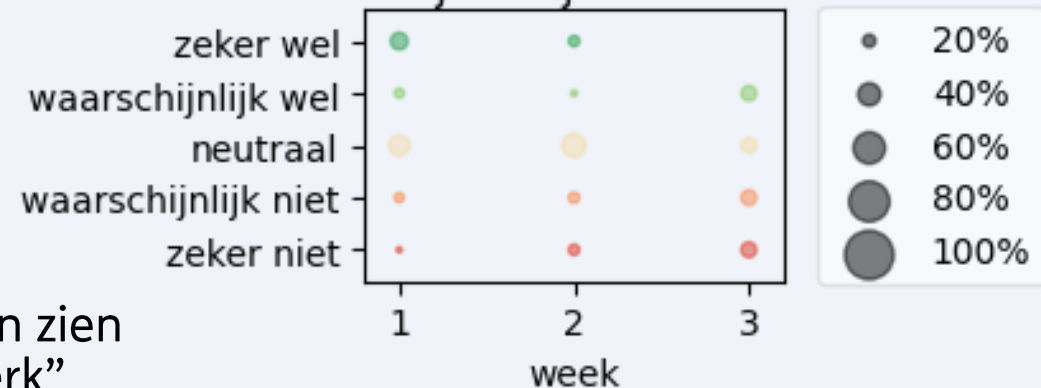
Toelichting:

- “Tot nu toe aardig positief over het exoskelet”
- “Op dit moment niet, maar zou wel graag het de wereld in zien komen wanneer het veel beter is aangepast voor mijn werk”
- “Ik had het exoskelet niet nodig hier, heb het wel gedragen”

Zou je dit exoskelet (vrijwel) de hele werkdag dragen?



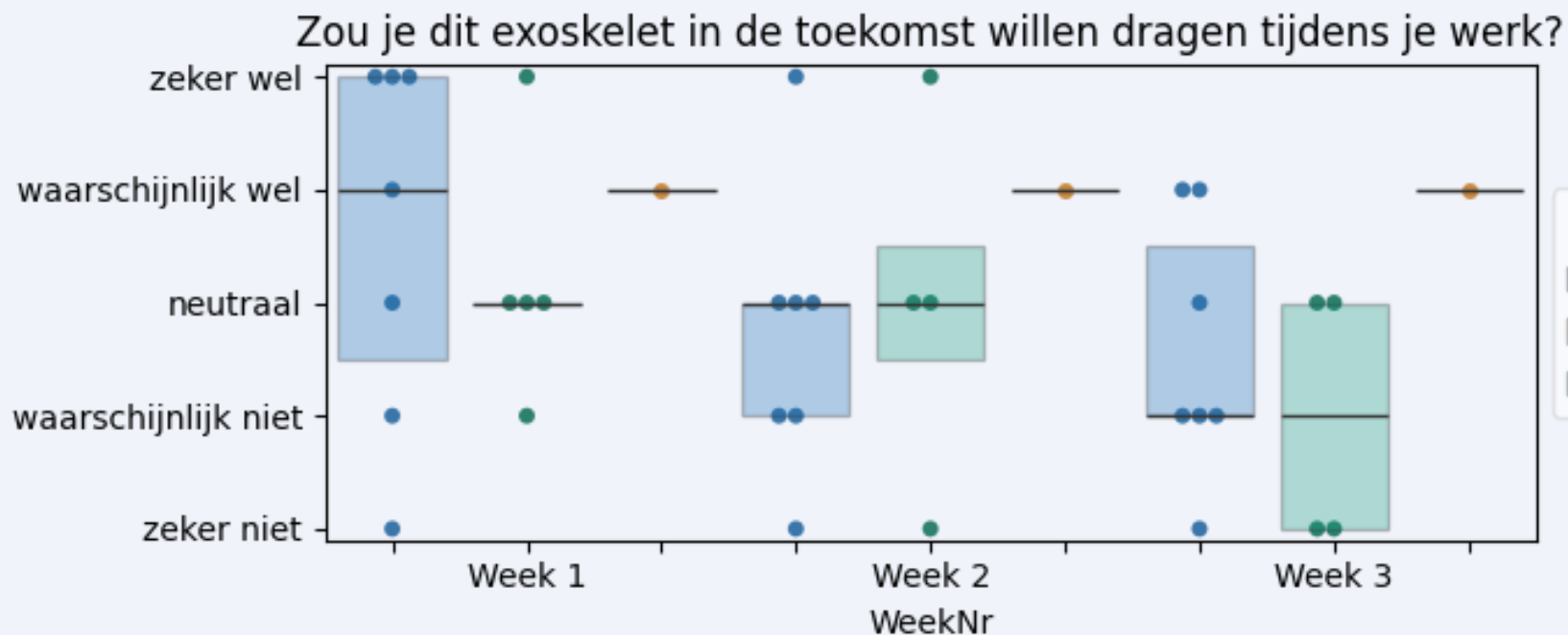
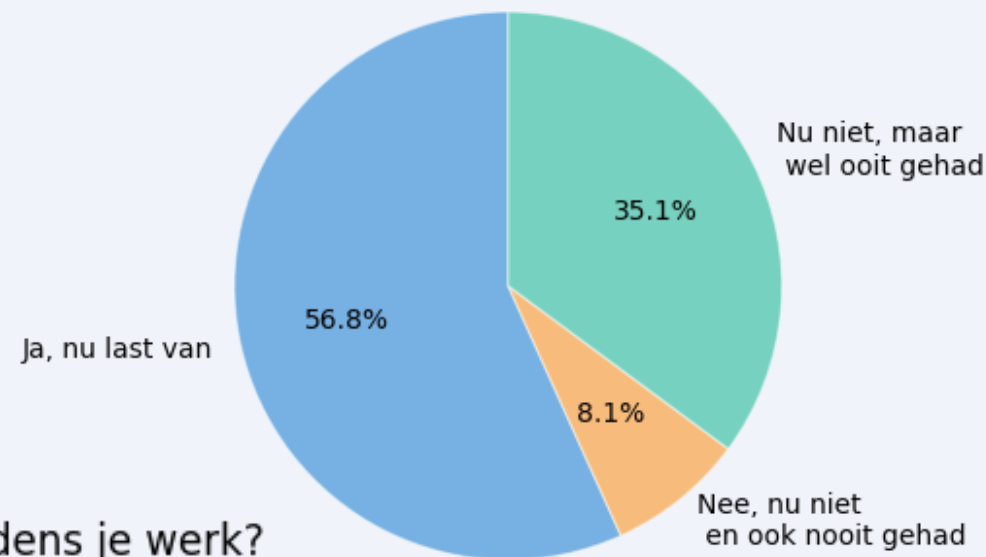
Zou je dit exoskelet in de toekomst willen dragen tijdens je werk?



Acceptatie per groep

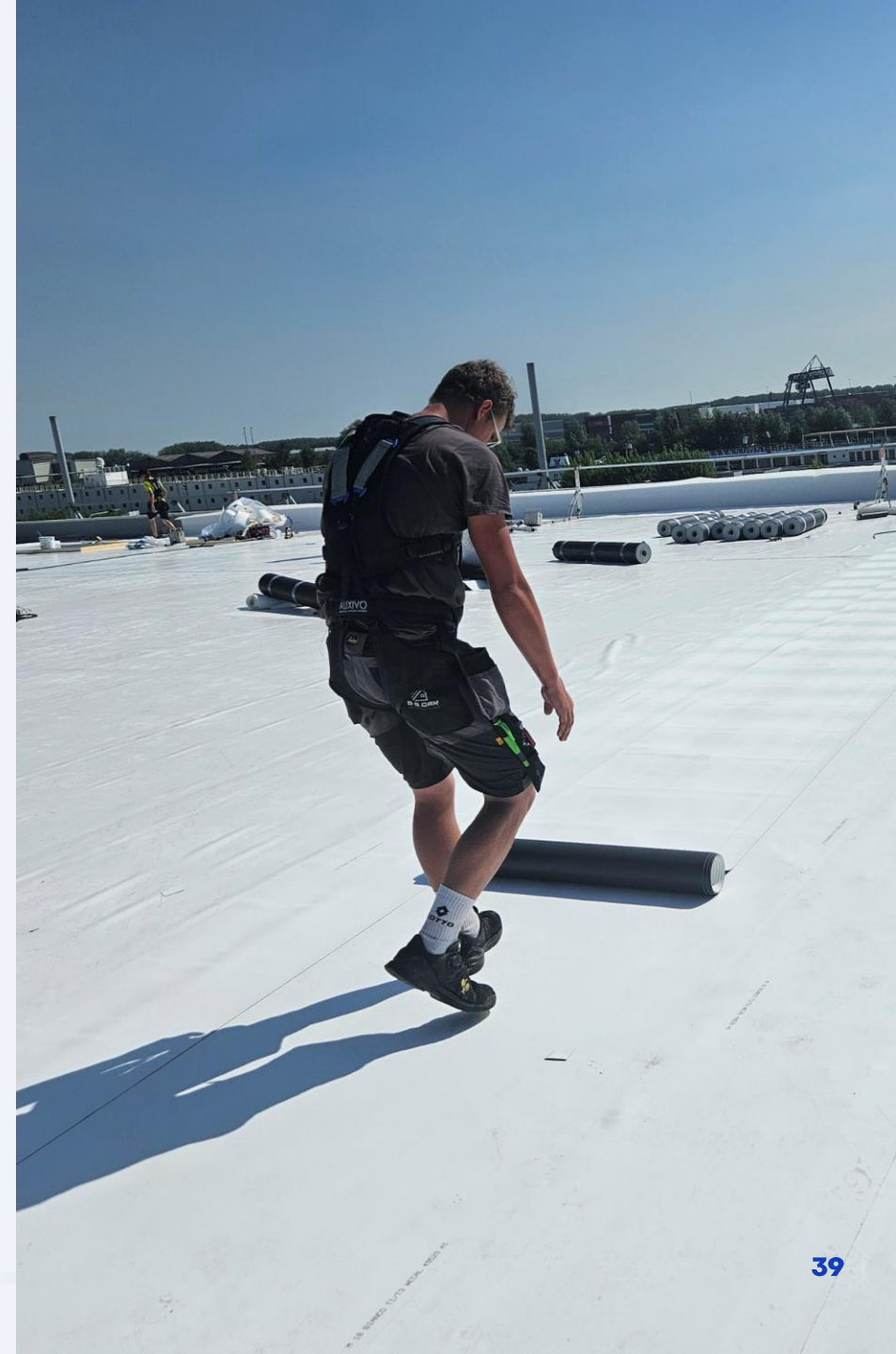
- Acceptatie in week 1 lijkt groter in de groep van dakdekkers met rugklachten dan dakdekkers die ooit rugklachten hebben gehad
- Dit neemt echter af met de weken

Historie rugpijn deelnemers



Conclusie eigenschappen en acceptatie exoskelet*

- Dakdekkers zijn tevreden over de ondersteuning van het exoskelet en het gemak van aantrekken, minder over het comfort
- 6/14 dakdekkers geven in de eerste week aan het exoskelet (waarschijnlijk) wel in de toekomst te willen dragen tijdens het werk - dit zijn er nog maar 3/12 in week 3
- Acceptatie van het exoskelet lijkt in de eerste week groter in de groep van dakdekkers met dan zonder rugklachten, maar dit neemt af over de tijd
- In week drie geeft de helft (6/12) van de dakdekkers aan (waarschijnlijk) geen gebruik te willen maken van het exoskelet



Conclusie

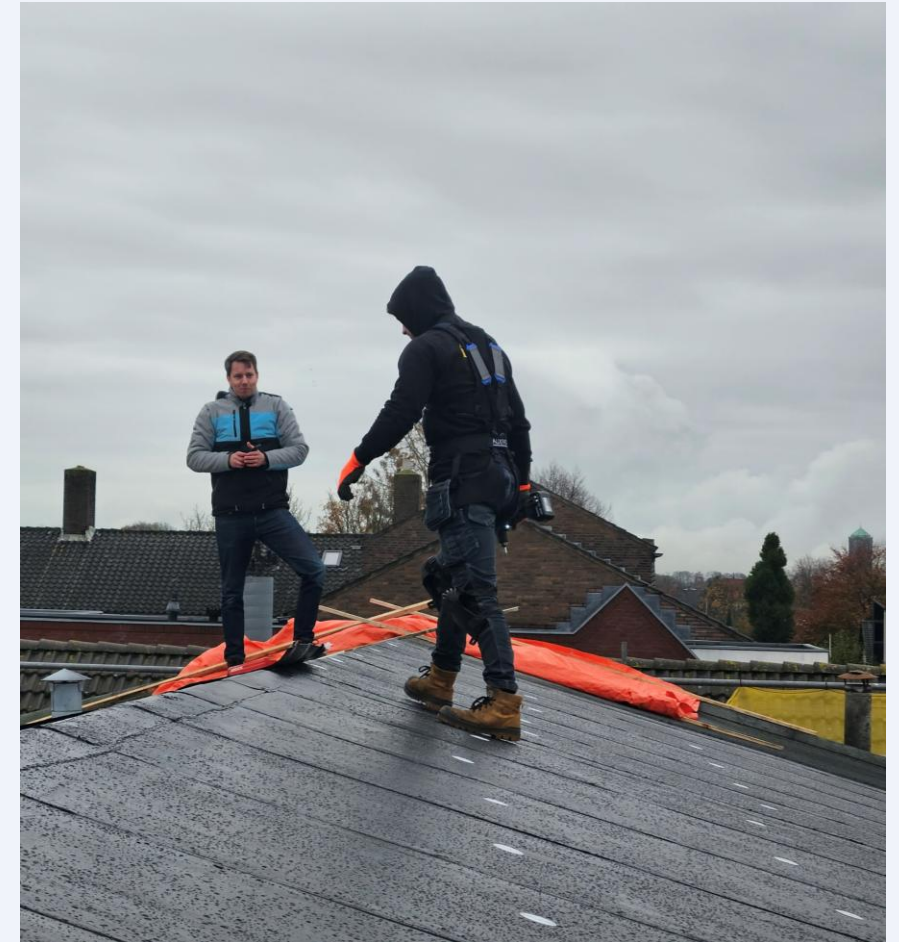
Terugblik: knelpunten

- 7 deelnemers uitgevallen, 4 later ingestroomd
- 4 nieuwe deelnemers hebben de HAPO niet getest
- HAPO beviel niet goed bij veel deelnemers
 - Stangen in de weg, pasvorm niet goed, borststuk sluit niet goed aan
- Auxivo kreeg gemengde reacties
 - Lichaam moet wennen aan het exoskelet en de verschuiving van krachten op het lichaam
- Vragenlijsten zijn minder goed ingevuld in week 2 en 3
- Exoskelet minder gebruikt na de eerste week



Terugblik: proces

- Verspreiding locaties over heel Nederland was logistiek intensief
- Zeer goed ondersteund door SBD: inzet van Jaco belangrijke factor
 - Instructie geven en kijkje op werkplaats
 - Anticiperen op vragen en behoeften deelnemers
- Het exoskelet meerdere malen opnieuw instellen is nodig
 - Verbeteringen na bezoek en aanpassingen kwam terug in vragenlijsten



Conclusies (1)

Hoe ziet het dagelijks werk van dakdekkers eruit?

→ Meest uitgevoerde werkzaamheden zijn:

- Randen en details (66%)
- Branden met een handbrander (66%)
- Rollen optillen en verplaatsen (57%)
- Voordekken (39%)

Verandert de manier van werken door het exoskelet?

- Werknemers zijn niet of nauwelijks van werkzaamheden veranderd voor en na het werken met het exoskelet
- Het exoskelet kan volgens de dakdekkers worden gedragen in combinatie met een valharnas en tijdens het besturen van voertuigen

Wanneer, waarom, hoe vaak en waarvoor gebruiken dakdekkers het exoskelet?

- Meer dan de helft van de dakdekkers ervaart rugklachten op het moment van de testen
- Exoskeletgebruik start bij de meest voorkomende werkzaamheden goed, maar neemt af over de tijd (testdagen) en suggereert kritischere houding op meerwaarde
- Dakdekkers vinden het exoskelet geschikt voor het tillen en dragen van voorwerpen, maar minder prettig bij knielende en dynamische werkzaamheden
- Hinder, het niet lekker zitten van het exoskelet en warmte zijn voornaamste redenen om het niet te willen gebruiken tijdens het werk

Conclusies (2)

Maakt het exoskelet het werk makkelijker en/of beter?

- Dakdekkers zijn tevreden over de ondersteuning van het exoskelet en het gemak van aantrekken, minder over het comfort
- Dakdekkers geven aan dat door het exoskelet niet beter maar ook niet slechter werken (op een enkeling na)

Voelen dakdekkers zich minder moe of hebben ze minder klachten?

- Het exoskelet heeft voor de meeste dakdekkers geen invloed op de gerapporteerde pijnklachten, een enkeling geeft aan wél een positief effect waar te nemen

Willen dakdekkers het blijven gebruiken?

- De Auxivo is beter bevallen dan de HAPO – de HAPO is niet meegenomen in dit rapport
- 6/14 dakdekkers geven in de eerste week aan het exoskelet (waarschijnlijk) wel in de toekomst te willen dragen tijdens het werk - dit zijn er nog maar 3/12 in week 3
- Acceptatie van het exoskelet lijkt in de eerste week groter in de groep van dakdekkers met dan zonder rugklachten, maar dit neemt af over de tijd
- In week drie geeft de helft (6/12) van de dakdekkers aan (waarschijnlijk) geen gebruik te willen maken van het exoskelet

Hoe nu verder?

Geopperde aanpassingen exoskelet zodat het beter werkt en minder hindert

- Bevestiging van bovenbeenpad – eventueel verlagen
- Brandgevaarlijkheid exoskelet
- Contact leverancier Auxivo voor feedback en eventuele verbeteringen

Onderzoeken combinatie van exoskelet en valbescherming

- Risico's inventariseren en documenteren

Effect van het warme weer

- Gebruik verder onderzoeken in de winter

Blijven monitoren van medewerkers die het exoskelet nog tot hun beschikking hebben

- Meer duidelijkheid effecten en gebruik op de lange termijn
- Al fijn als een enkele dakdekker geholpen kan worden door het exoskelet

Testen van andere exoskeletten

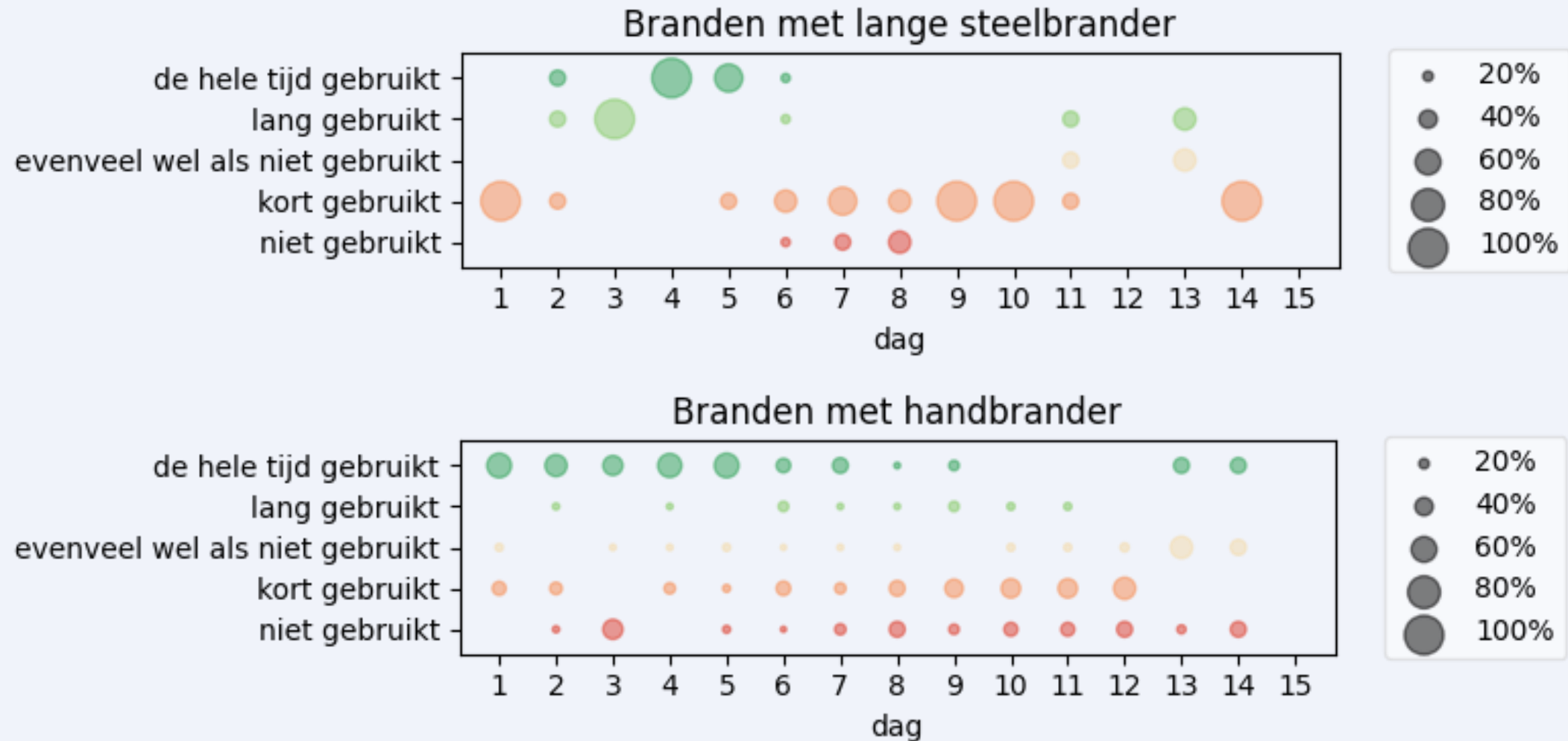
- Skelex Edge

A photograph of two construction workers on a roof. One worker is using a power drill on a roll of roofing material. The other worker is kneeling next to the roll. Both workers are wearing dark blue work clothes and a robotic exoskeleton. A large blue circle is overlaid on the image, containing the text 'Bedankt voor de aandacht!'.

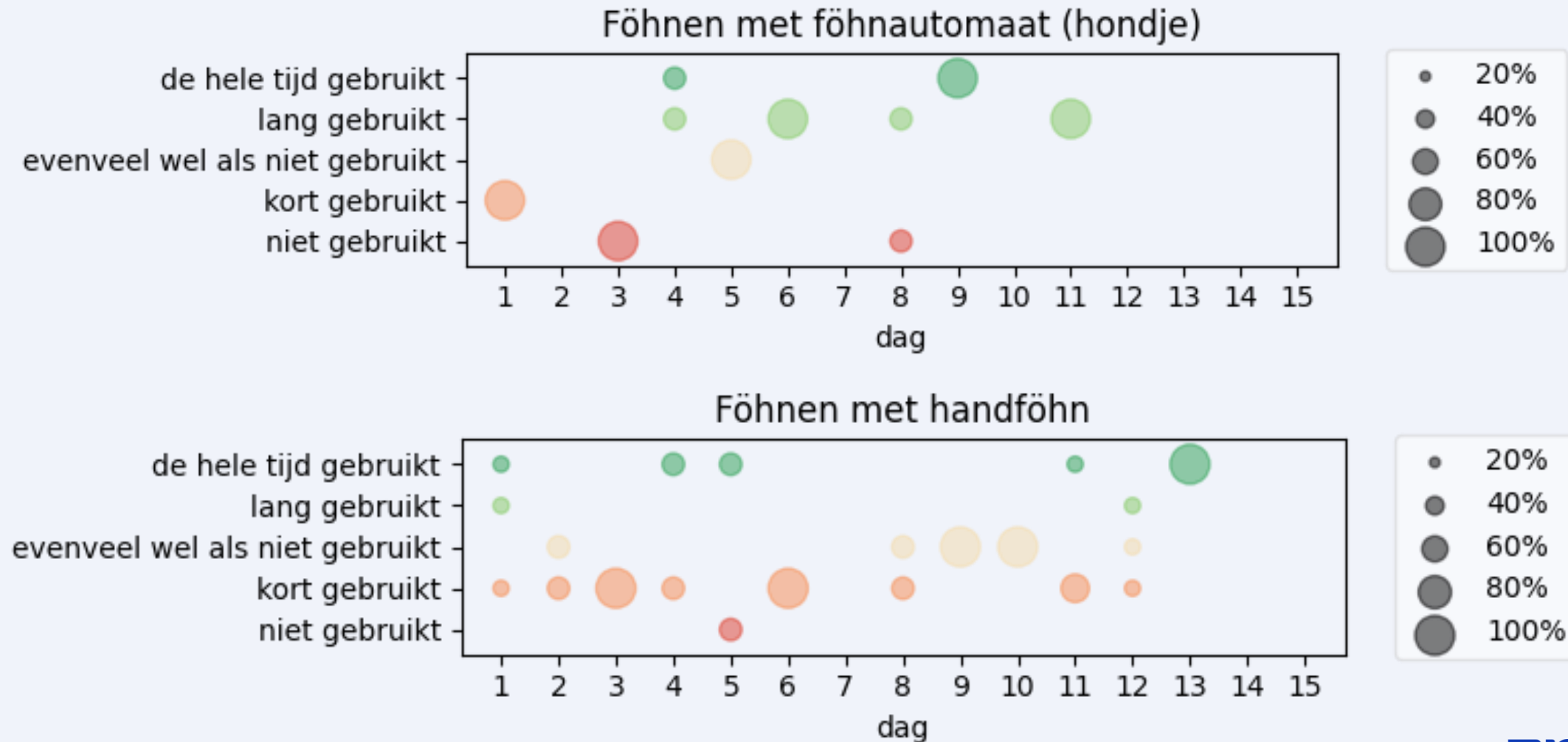
**Bedankt voor
de aandacht!**

Bijlage: gebruik exoskelet per taak

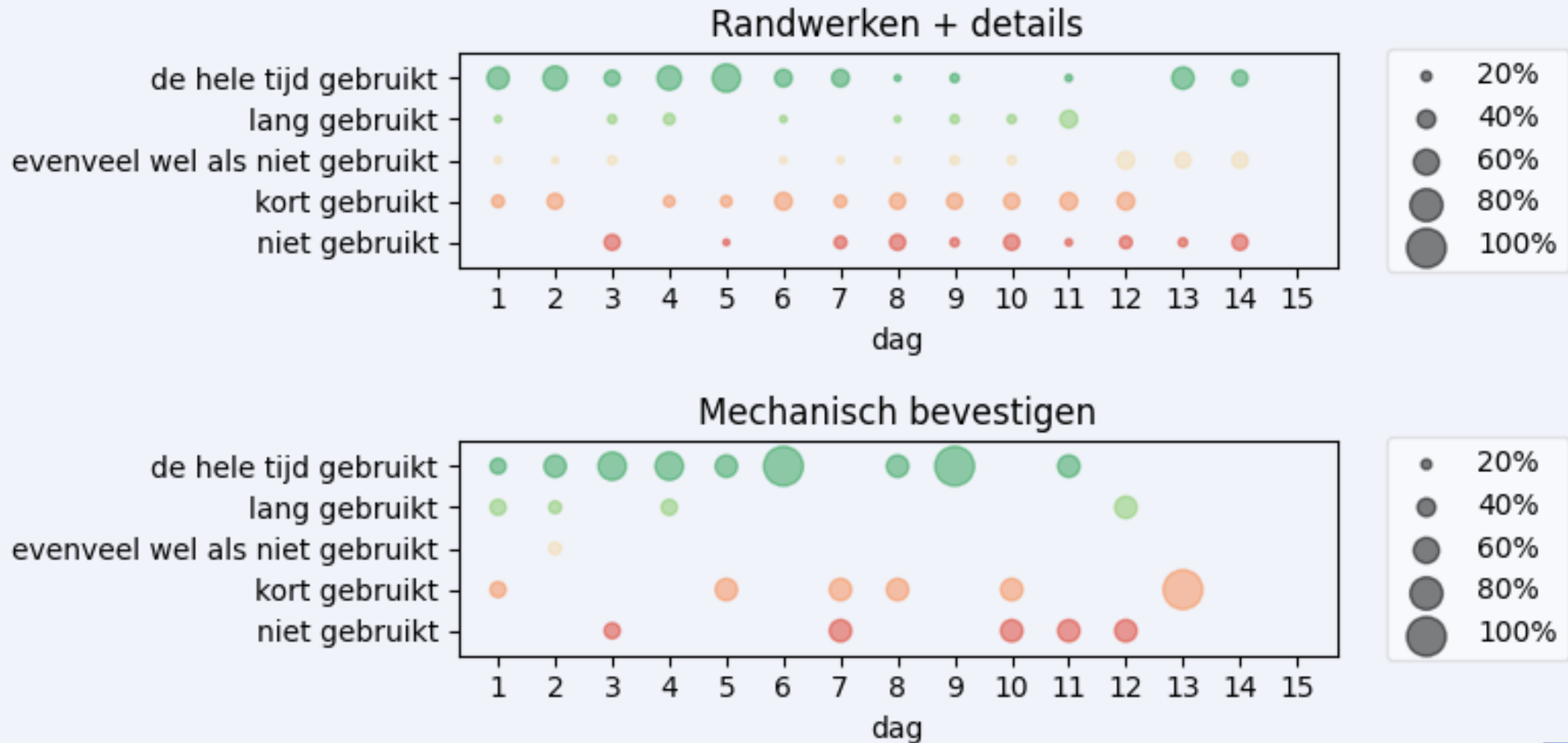
Gebruik exoskelet per taak



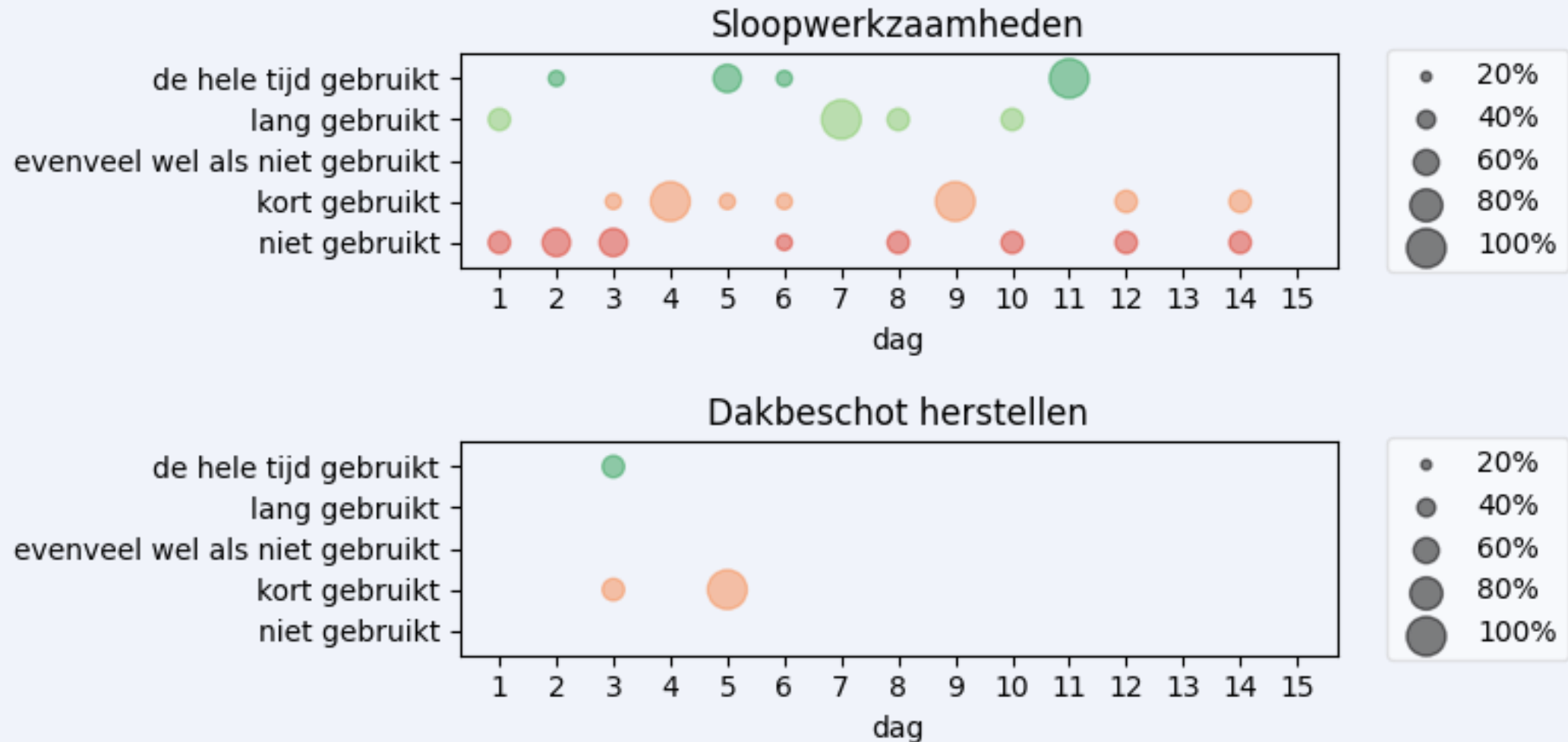
Gebruik exoskelet per taak



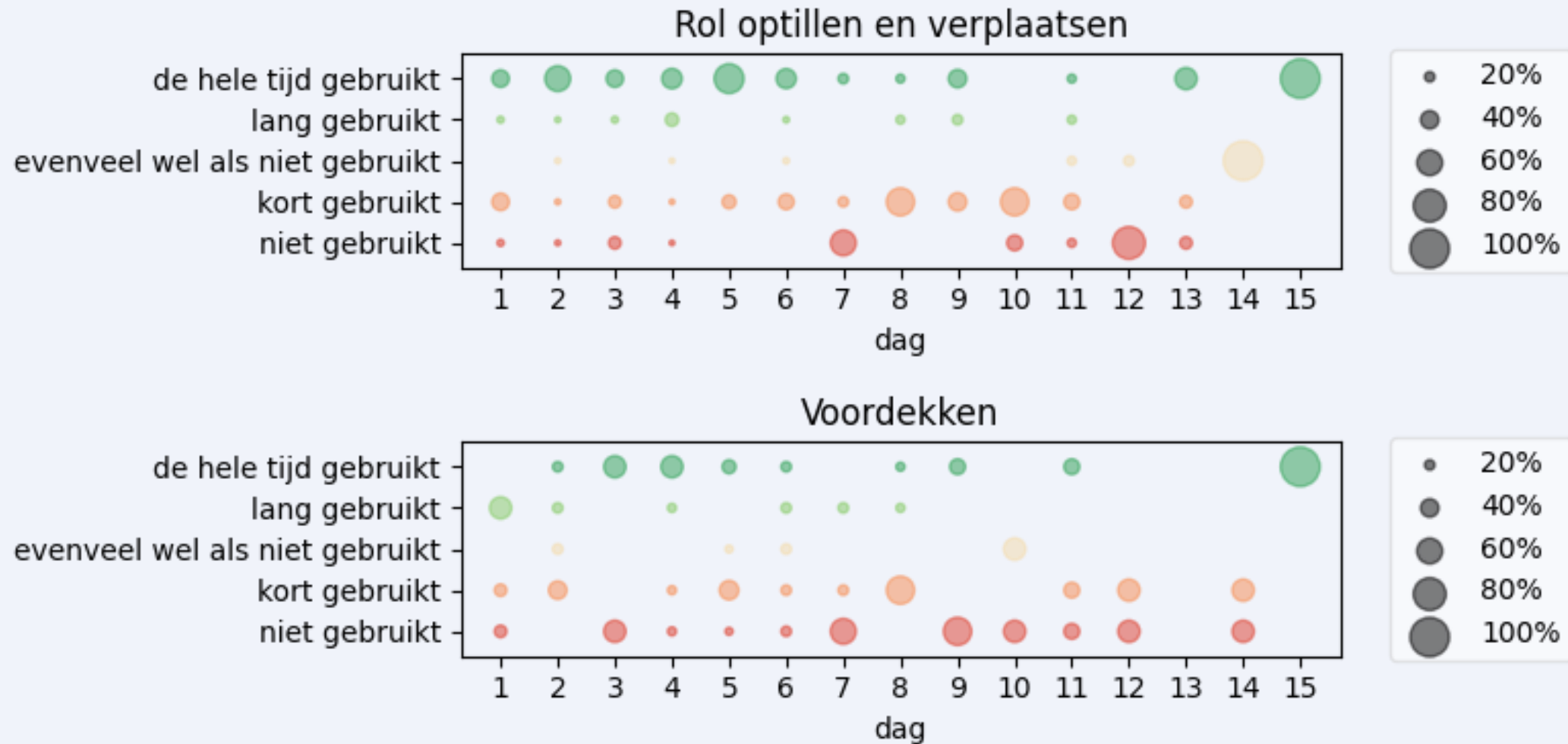
Gebruik exoskelet per taak



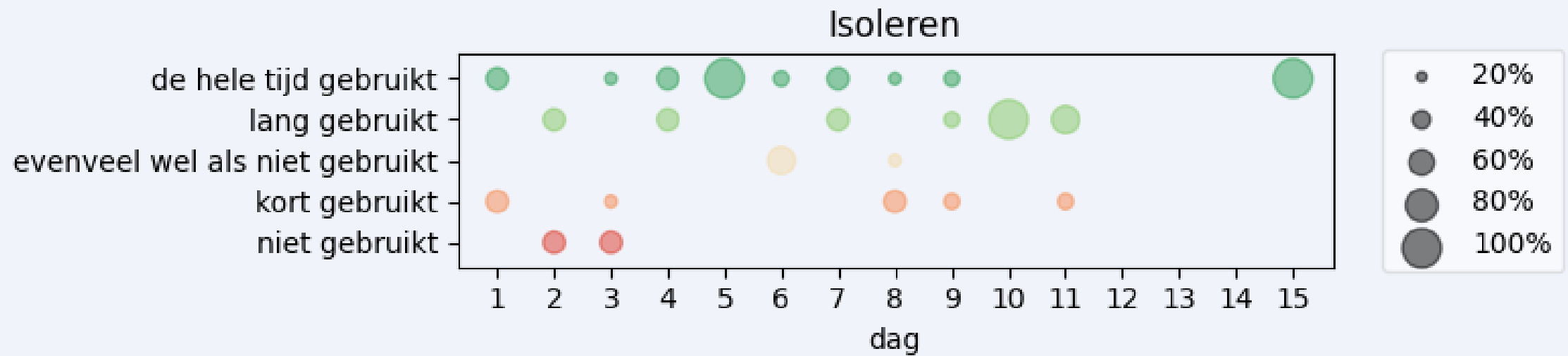
Gebruik exoskelet per taak



Gebruik exoskelet per taak



Gebruik exoskelet per taak



Project number 060.64423/01.03
Report number TNO 2025 R12420
Contact TNO Anne de Vries
Phone +316 27 48 63 89
E-mail anne.devries@tno.nl

Health & Work

Sylviusweg 71
2333 BE LEIDEN
Postbus 2215
2301 CE LEIDEN
www.tno.nl

T 088 860 75 00
info@tno.nl

All rights reserved.

No part of this publication may be reproduced and/or made public by means of print, photocopy, microfilm or any other method, without prior written permission from TNO.

© 2025 TNO



TNO innovation
for life