

> TNO rapport voor  
Knauf  
NOA

# Het gebruik van een exoskelet door stukadoors

*Resultaten van een praktijkonderzoek*

# › Het gebruik van een exoskelet door stukadoors

## *Resultaten van een praktijkonderzoek*

Rapport voor	Knauf en NOA
Datum	10 maart 2022
Auteur(s)	Aijse de Vries, Saskia Baltrusch, Michiel de Looze
Projectnummer	060.45815
Rapportnummer	TNO 2022 R10445
Contact TNO	Aijse de Vries
Telefoon	+31617580037
E-mail	aijse.devries@tno.nl

### **Gezond Leven**

Schipholweg 77-89  
2316 ZL LEIDEN  
Postbus 3005  
2301 DA LEIDEN  
[www.tno.nl](http://www.tno.nl)

T 088 866 61 00  
[info@tno.nl](mailto:info@tno.nl)

© 2022 TNO

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

Handelsregisternummer 27376655

# Inhoudsopgave

Samenvatting.....	1
1      Inleiding .....	2
2      Vraagstelling en opzet van het onderzoek.....	4
3      Resultaten .....	5
3.1    Mate van gebruik van het exoskelet .....	5
3.2    Werkprestatie en gedrag.....	9
3.3    Lichamelijke belasting .....	10
3.4    Acceptatie.....	10
4      Conclusies en slotopmerkingen .....	13

## Samenvatting

Het beroep van stukadoor is fysiek zwaar. Terugdringen van de lichamelijke belasting is in deze beroepsgroep tot op heden nauwelijks mogelijk gebleken. Eerder deed TNO onderzoek naar het effect van een arm-ondersteunend exoskelet bij stukadoorstaken. Dit wees uit dat dit exoskelet de activiteit in spieren in de schouders kon reduceren (tot 30%-40%, afhankelijk van de taak).

Omdat dit onderzoek niet in de praktijk maar in een testomgeving werd uitgevoerd, resteert de vraag of stukadoors het exoskelet ook echt gaan gebruiken in de praktijk. Daarom heeft TNO in opdracht van Knauf en NOA een praktijkonderzoek verricht. Hiervoor hebben 39 stukadoors gedurende 6 weken een exoskelet in gebruik gekregen. Dagelijks vulden zij een korte vragenlijst in en wekelijks een aanvullende vragenlijst. Vragen betroffen de mate van het gebruik van het exoskelet bij verschillende taken, effecten op werkprestatie, gedrag en lichamelijke belasting en acceptatie.

De mate van gebruik ligt in de categorie 'vaak' tot 'altijd' als het gaat om werken aan het plafond. Bij het werken aan de wanden, scoort de mate van gebruik iets lager, namelijk in de categorie 'soms' tot 'even vaak wel als niet'. De overgrote meerderheid van de stukadoors (93%) geeft aan dat het exoskelet hen lichamelijk ondersteunt. 45% geeft aan dat zij door gebruik van het exoskelet minder vermoeid waren aan het eind van de dag. Het gebruik van het exoskelet gaat niet ten koste van de werkprestatie (kwaliteit en productiviteit). 65% van de stukadoors zou het exoskelet in het dagelijks werk willen gaan gebruiken.

# 1 Inleiding

Het beroep van stukadoor is zwaar. Circa 55% van de stukadoors ervaart regelmatig pijn en stijfheid in schouders en armen<sup>1</sup>. Dit heeft vooral te maken met het feit dat bij het stukadoren van wanden en plafonds de armen gedurende langere tijd geheven worden. Dit geldt voor het aanbrengen van het gips, het afreien van het gips (tweehandig uitstrijken met een lat) en het messen (eenhandig afwerken met een mes). Dit probleem is uiteraard al veel langer bekend. Echter, een oplossing om het werk bij deze activiteiten minder zwaar te maken, heeft zich tot op heden niet aangediend.

De recente ontwikkeling van arm-ondersteunende exoskeletten is in deze interessant. Deze exoskeletten worden op het lichaam gedragen en werken met een veersysteem. Bij het heffen van de armen geeft dit veersysteem de drager van het exoskelet lichamelijke ondersteuning, wat voelt 'alsof het gewicht van de armen wordt weggenomen'. Door deze lichamelijke ondersteuning hoeven de spieren rond het schoudergewricht minder kracht te leveren, wat ervoor zorgt dat de lichamelijke belasting minder wordt. Hierdoor wordt men ook minder snel vermoeid. De positieve effecten van een arm-ondersteunend exoskelet op spieractiviteit, schouderbelasting en vermoeidheid zijn door wetenschappelijk onderzoek goed onderbouwd. Echter dit onderzoek vond vooral plaats in laboratoria en bij geïsoleerde en enkelvoudige bewegingen<sup>23</sup>.

TNO deed eerder, in opdracht van Knauf en met medewerking van NOA, onderzoek naar de effecten van een arm-ondersteunend exoskelet op de lichamelijke belasting bij het stukadoren. In een testsituatie (trainingslocatie bij NOA) lieten we elf stukadoors een wand en een plafond stukadoren, een keer met en de andere keer zonder exoskelet. De taken die we daarbij bestudeerd hebben, waren het aanbrengen van het gips, het afreien en het messen. Bij elke taak (range, 2-5 min), hebben we de activiteit van zes spieren rond de schouder gemeten. Ook hebben we de stukadoors gevraagd naar hun subjectief ervaren inspanning. De uitkomsten van deze studie waren de volgende. Voor de spieren die helpen om de armen omhoog te brengen, bleek de gemeten activiteit significant lager wanneer het exoskelet werd gedragen. Voor de drie andere spieren waren de effecten minder sterk, maar voor geen van de spieren zijn negatieve effecten gevonden. De mate van afname liep daarbij op tot 30 tot 40%, afhankelijk van spier en taak. De positieve effecten bij het stukadoren van het plafond waren over het algemeen sterker dan bij het stukadoren van de muur.

Deze objectieve bevindingen werden ondersteund door subjectieve bevindingen van de stukadoors. De stukadoors gaven voor alle taken (behalve het aanbrengen van het gips op de wand) aan dat door het exoskelet het werk hun minder inspanning kostte. Tien van de elf deelnemers gaven aan de voordelen van het exoskelet sterker te wegen dan de nadelen en het exoskelet te willen gaan gebruiken in hun dagelijks werk bij verschillende taken. De resultaten van dit onderzoek hebben we gepubliceerd in een wetenschappelijk artikel<sup>4</sup>.

---

<sup>1</sup> Bedrijfstakatlas, Vlandis, editie 2015

<sup>2</sup> McFarland T, Fischer S (2019) Considerations for Industrial Use: A Systematic Review of the Impact of Active and Passive Upper Limb Exoskeletons on Physical Exposures, IIE Transactions on Occupational Ergonomics and Human Factors 7, 322-347, DOI: 10.1080/24725838.2019.1684399

<sup>3</sup> De Vries A, Murphy M, Könemann R, Kingma I, Looze MP de, (2019) The amount of support provided by a passive arm support exoskeleton in a range of elevated arm postures. IIE Transactions on Occupational Ergonomics and Human Factors 7, 311-321, <https://doi.org/10.1080/24725838.2019.1669736>

<sup>4</sup> De Vries A, Krause F, Looze MP de (2021) The effectivity of a passive arm support exoskeleton in reducing muscle activation and perceived exertion during plastering activities, Ergonomics, DOI: 10.1080/00140139.2020.1868581

De gemeten effecten van het exoskelet en de bevindingen van de stukadoors in bovengenoemd onderzoek waren dus positief. De vraag, waar het onderzoek geen antwoord op geeft, is of het exoskelet ook echt gebruikt zal worden door stukadoors in praktijk en hoe dat daar ervaren wordt. Is men ook op de bouwlocatie waar men te maken heeft met alle hectiek en werkdruk, ook geneigd het exoskelet te gebruiken en blijven de bevindingen van de stukadoors met het exoskelet daar nog steeds positief?

## 2 Vraagstelling en opzet van het onderzoek

Bovenstaande vormde de aanleiding voor het praktijkonderzoek, dat TNO heeft uitgevoerd in opdracht van Knauf en NOA (namens CAO-partijen Afbouw, met FNV Bouw en CNV Vakmensen). De vraagstelling van dit onderzoek luidde:

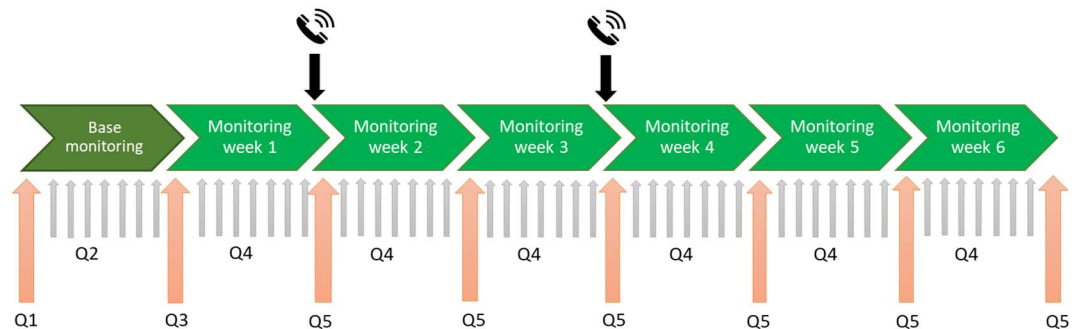
Hoe wordt een arm-ondersteunend exoskelet door stukadoors gebruikt in het dagelijks werk en hoe wordt dat ervaren?

De aspecten die we daarbij hebben meegenomen waren: de mate van gebruik van het exoskelet per taak, effecten op werkprestatie en gedrag, effecten op lichamelijke belasting en acceptatie.

39 stukadoors hebben op vrijwillige basis meegedaan aan het onderzoek. Aan deze stukadoors is gedurende zes weken een exoskelet ter beschikking gesteld. Het exoskelet dat is ingezet in het onderzoek is het exoskelet ontwikkeld door Skelex (type: Skelex 360).

De stukadoors mochten in die periode van zes weken zelf kiezen of en bij welke activiteiten ze het exoskelet wilden dragen. Vooraf zijn ze wel aangemoedigd om het exoskelet uit te proberen bij verschillende taken.

Dagelijks, na afloop van het werk, vulden de stukadoors een vragenlijst in op hun mobiel. Dit startte al een week voorafgaand aan het onderzoek, waarin ze nog zonder exoskelet werkten. Bovendien werd aan het eind van elke week een aanvullende vragenlijst afgenomen. Telefonische interviews vonden ook twee maal plaats en na zes weken volgde een slot-interview met elke stukadoos. Hieronder een overzicht van het werkplan met daarin aangegeven de dagelijkse en wekelijkse vragenlijsten (Q1 t/m Q5) en telefonische interviews. (Q1 was een vragenlijst over persoonlijke kenmerken. Q2 was de dagelijkse vragenlijst over het werk zonder exoskelet, Q3 de wekelijkse vragenlijst over het werk zonder exoskelet; Q4 en Q5 waren de dagelijkse en wekelijkse vragenlijsten die we gebruikten in de weken dat men over het exoskelet beschikte.)

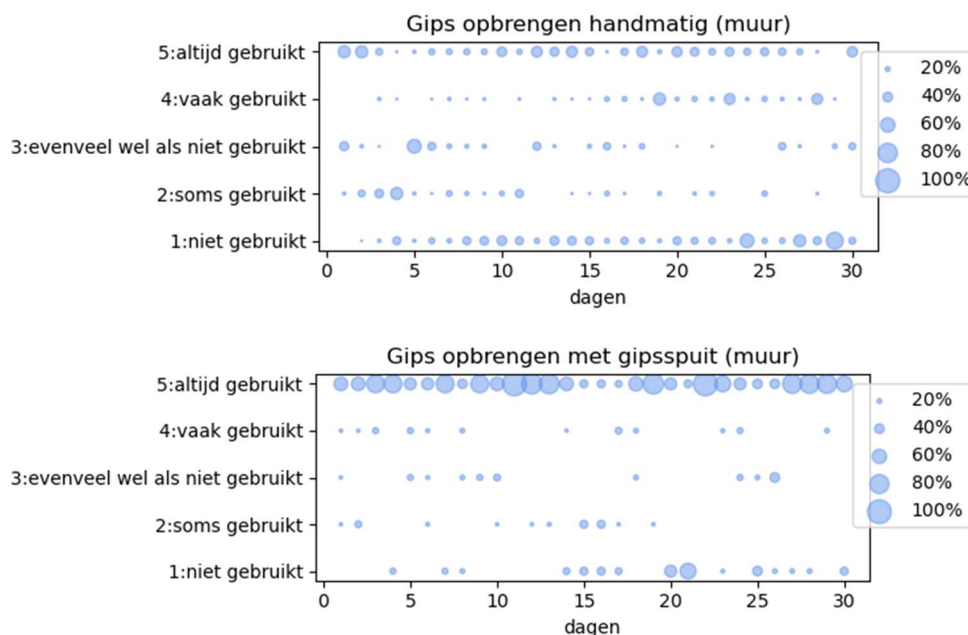


Figuur 1. Tijdsplan

## 3 Resultaten

### 3.1 Mate van gebruik van het exoskelet

De onderstaande figuren geven weer in welke mate de stukadoors het exoskelet hebben gebruikt per taak. De omvang van de getoonde cirkels weerspiegelt het percentage van het totaal aantal stukadoors dat de taak op de dag heeft uitgevoerd.

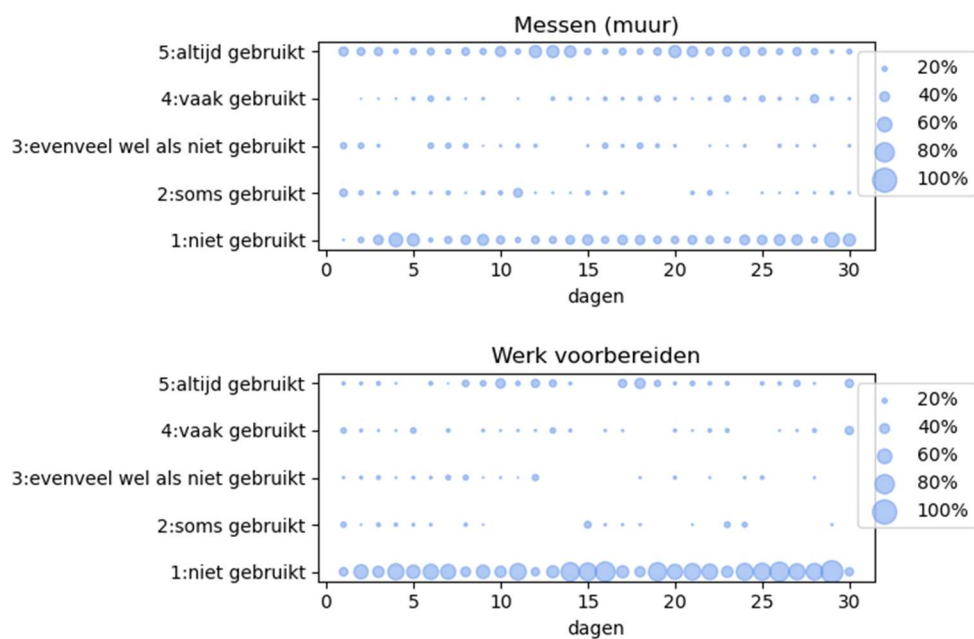


Figuur 2. Mate van gebruik bij het opbrengen van gips

Figuur 2 toont het exoskeletgebruik bij 'gips opbrengen op de muur', handmatig versus met een gipsspuit. Bij het handmatige werk zien we dat het gebruik heel divers is. De respons van de stukadoors varieert veel bij deze taak, van 'altijd' tot 'niet gebruikt' en ook de tussenliggende categorieën ('soms', 'even vaak wel als niet' en 'vaak') geven vergelijkbare scores te zien. Het gips opbrengen met gipsspuit toont een heel ander beeld: de meeste mensen geven daarbij aan het exoskelet 'altijd' te gebruiken. Dit laatste is goed verklaarbaar. Bij het werken met de gipsspuit is met name de dominante arm bijna continu geheven en juist in die houding geeft het exoskelet veel steun. Bij het handmatig aanbrengen van het gips op de muur is de ondersteuning van het exoskelet van beperktere duur, omdat de arm veel op en neer beweegt.

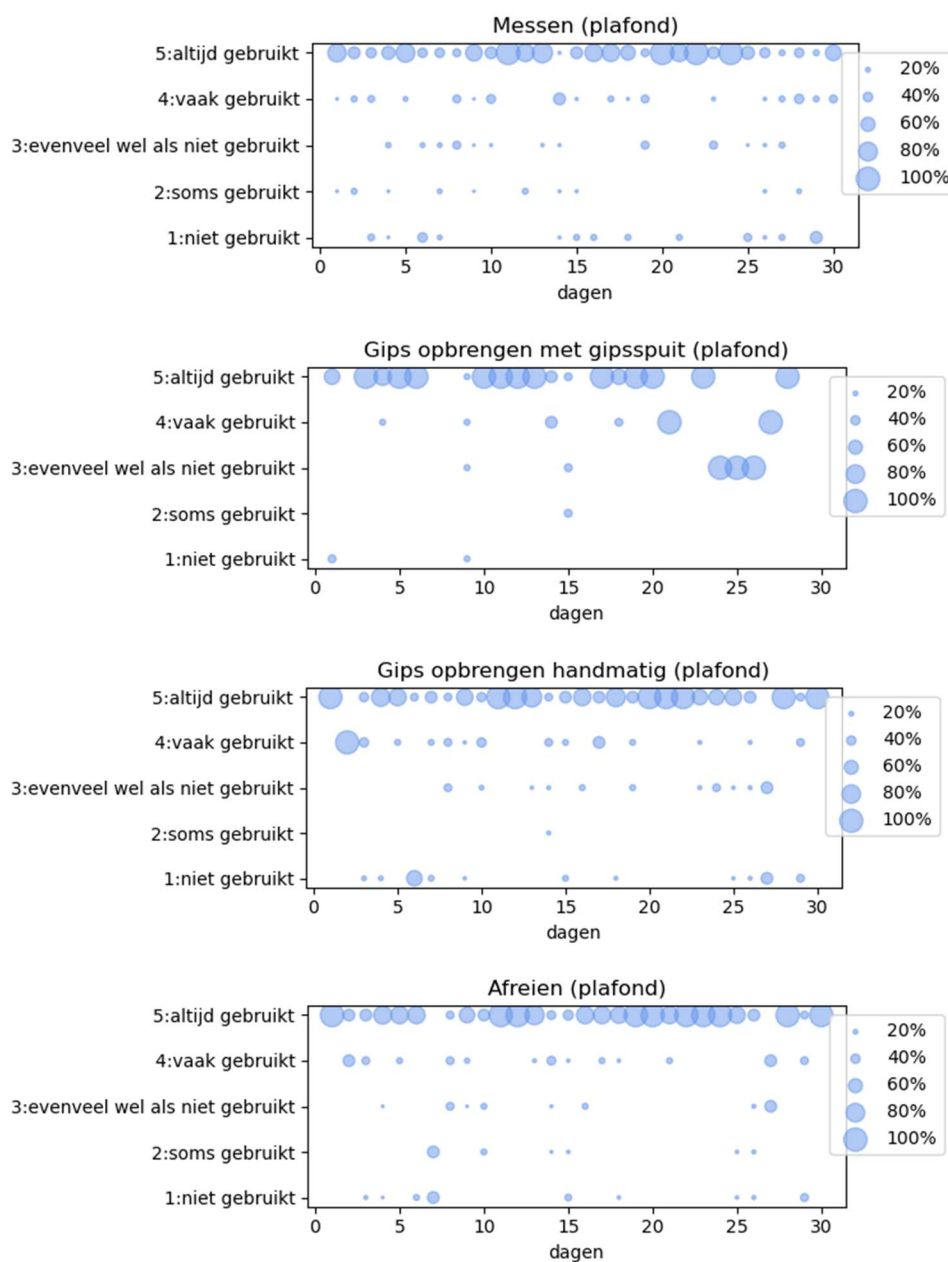
Ook bij het messen van de muur zien we een divers beeld (zie figuur 3). We zien mensen die ervoor kiezen het exoskelet altijd te gebruiken en mensen die het exoskelet niet gebruiken. De grote meerderheid gebruikt het exoskelet niet bij de werk voorbereidende taken. Logisch, omdat daarbij de armen nauwelijks geheven worden, waardoor het exoskelet geen ondersteuning geeft. Overigens valt bij alle taken op dat de mate van gebruik vrij stabiel blijft over de tijd, dat wil zeggen gedurende de 6 weken.





Figuur 3. Mate van gebruik bij messen en werkvoorbereiding

Bij de getoonde vier werkzaamheden aan het plafond in figuur 4 is het exoskelet gebruik relatief hoog. De meesten geven aan het exoskelet altijd te gebruiken bij het messen, het opbrengen van het gips met en zonder gipsspuit en bij het afreien.



Figuur 4. Mate van gebruik bij werk aan het plafond

Onderstaande tabel geeft een samenvattend overzicht van de mate van exoskeletgebruik voor alle taken, zoals gecategoriseerd met een statistisch model<sup>5</sup> op basis van alle data. Bij de plafondtaken zoals gips aanbrengen, afreien, messen, schuren en sponsen valt het exoskelet gebruik in de categorie 'vaak' tot 'altijd'. Bij de wandtaken valt het gebruik in de categorie

<sup>5</sup> De verkregen data over exoskeletgebruik vormden de input van een Generalized Estimating Equations model. Dit model toont vervolgens een verwachting voor het exoskelet gebruik, afhankelijk van de taak.

‘soms’ tot ‘even vaak wel als niet’. Bij voorbereidingstaken en het voorstrijken is het gebruik lager: in de categorie ‘niet’ tot ‘soms’.

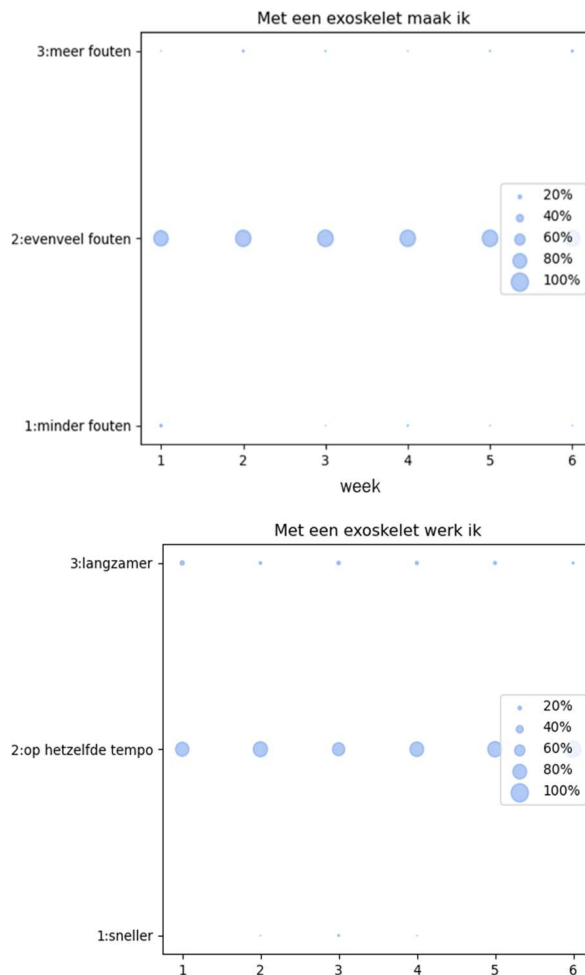
Tabel 1. Mate van gebruik per taak

Categorie	niet gebruikt – soms gebruikt	soms gebruikt – even vaak niet/wel	vaak gebruikt – altijd gebruikt
Taken	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Voorbereiden</li> <li>- voorstrijken</li> <li>- plafond*</li> <li>- voorstrijken muur</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- schuren muur</li> <li>- messen muur</li> <li>- gips aanbrengen handmatig muur</li> <li>- afreien muur</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- gips aanbrengen gipsspuit plafond*</li> <li>- gips aanbrengen handmatig plafond</li> <li>- afreien plafond</li> <li>- messen plafond</li> <li>- schuren en sponsen plafond*</li> <li>- gips aanbrengen gipsspuit muur</li> </ul>

\* Deze taken zijn relatief weinig uitgevoerd. Daarom is de categorisering hier minder betrouwbaar dan voor andere taken.

### 3.2 Werkprestatie en gedrag

Exoskeletten zijn primair bedoeld om de werknemer te ondersteunen bij het verrichten van zwaar werk. Maar daarnaast zou het kunnen dat er effecten zijn op de werkprestatie. We hebben de stukadoors daarom gevraagd naar de kwaliteit van het werk (aantal fouten dat men maakt) en de productiviteit (snelheid van werken).



Figuur 5. Kwaliteit en productiviteit

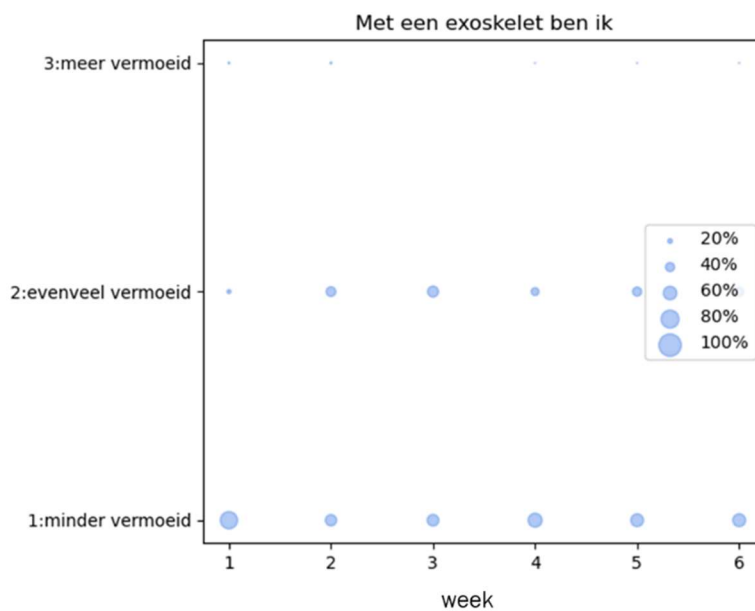
De overgrote meerderheid geeft aan dat wanneer men met een exoskelet werkt niet meer of minder fouten maakt (zie figuur 5). Slechts een enkeling geeft aan meer fouten te maken. Ook een enkeling geeft aan minder fouten te maken. Gemiddeld genomen kunnen we stellen dat het dragen van een exoskelet niet ten koste gaat van de kwaliteit van het werk. Hetzelfde geldt voor de productiviteit: bijna iedereen geeft aan dat het exoskelet geen invloed heeft op het werktempo.

Daarnaast hebben we de stukadoors gevraagd of zij door het exoskelet meer/minder pauzes zijn gaan nemen of korter/longer gingen werken. Ook op deze beide aspecten rapporteerden bijna alle stukadoors geen effect van het exoskelet.

### 3.3 Lichamelijke belasting

In onze voorgaande studie, zoals aangegeven in de inleiding, bleek al dat de lichamelijke belasting bij het uitvoeren van stukadoorstaken lager was bij het dragen van een exoskelet. Maar dat was in een testsituatie, niet in de praktijk.

Een gevolg van de verminderde fysieke belasting door het exoskelet zou kunnen zijn dat men minder vermoeid wordt. In deze studie hebben we daarom gevraagd of men zich door het exoskelet meer, minder of even veel vermoeid voelde aan het eind van de werkdag. Onderstaande figuur geeft aan dat men vooral antwoordde in de categorieën even veel vermoeid en minder vermoeid. Ook hier blijven de uitkomsten over de periode van zes weken redelijk stabiel.



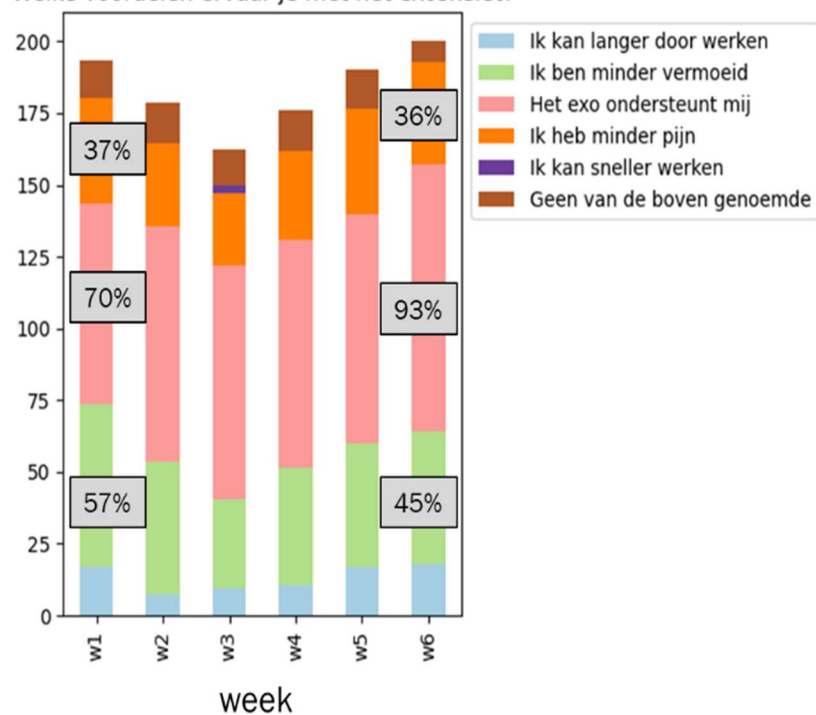
Figuur 6. Vermoeidheid

### 3.4 Acceptatie

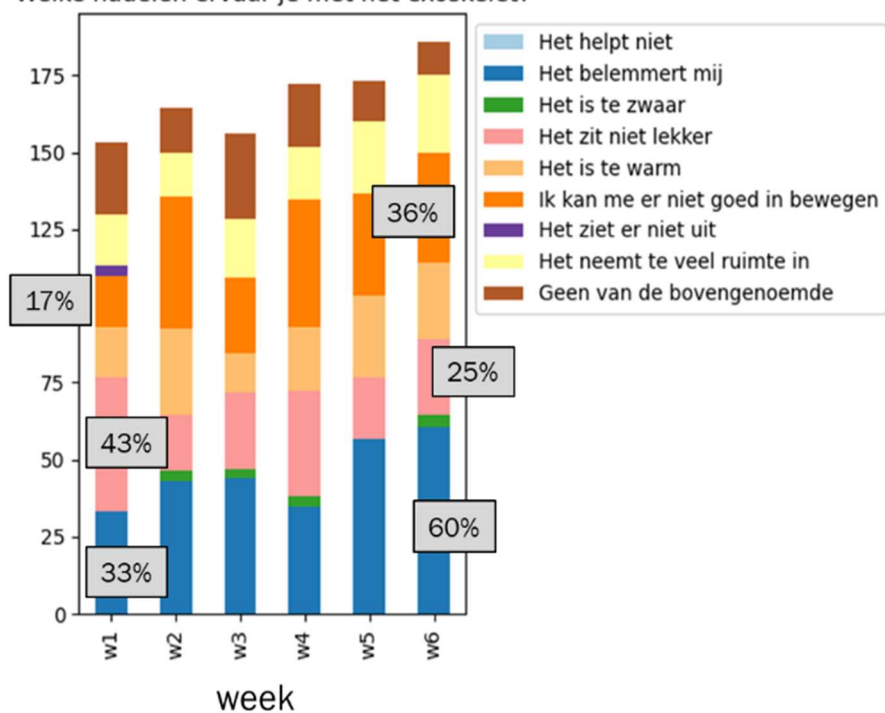
De uiteindelijke acceptatie van het exoskelet door de stukadoors hangt vooral af van de individuele afweging van voor- en nadelen die men ondervindt. We hebben de vraag naar voor en nadelen die men ervaarde bij het gebruik van het exoskelet aan de stukadoors voorgelegd.

Meest genoemde voordeel door de stukadoors is de ondersteuning die men ondervindt. Het percentage van de stukadoors dat zegt zich lichamelijk ondersteund te voelen is in de 6de week van het onderzoek opgelopen tot 93%, in vergelijking met 70% in de eerste week van het onderzoek. Ander veelgenoemd voordeel (door 45% in de 6de week) was de verminderde vermoeidheid. Ook het hebben van minder pijn wordt nog door ruim 1/3 deel van de stukadoors genoemd. Genoemde voordelen liggen dus, zoals verwacht, op het vlak van fysieke ondersteuning en gevolgen daarvan.

### Welke voordelen ervaar je met het exoskelet?



### Welke nadelen ervaar je met het exoskelet?



Figuur 7. Voordelen en nadelen

Het meest genoemde nadeel was dat het exoskelet belemmeringen oplevert. Deze belemmeringen worden in de 6de week genoemd door 60% van de stukadoors. Bij navraag tijdens het gehouden slot-interview blijkt dit zich toe te spitsen op het werken in kleine ruimtes, zoals toiletruimtes, onder de trap en kleinen nissen. 'Ik kan me er niet goed in bewegen' is ook een nadeel dat ruim 1/3 deel van de stukadoors noemt in de 6de week. 'Het zit niet lekker' noemt een kwart van de deelnemers in de 6de week. Dit percentage lag hoger in de eerste week; mogelijk dat men het exoskelet gaandeweg toch beter leert in te stellen. 'Het is te warm' werd alleen genoemd door de stukadoors, die we in een warme periode in de zomer hebben gevolgd.

Uiteindelijk gaat het om de afweging tussen voordelen en nadelen. Voor de meeste stukadoors lijken de voordelen op te wegen tegen de nadelen: 65% van de stukadoors zegt het exoskelet in de toekomst te willen gebruiken.

## 4 Conclusies en slotopmerkingen

De conclusies van het onderzoek zijn de volgende:

<b>Gebruik</b>	Het exoskelet wordt redelijk veel gebruikt, vanaf de 1ste tot 6de week. Bij plafondwerk, maar ook gips aanbrengen met de gipsspuit aan de wand, ligt de mate van gebruik in de categorie 'vaak' tot 'altijd' gebruiken, bij het werken aan de muur in de categorie 'soms' tot 'even vaak wel als niet'.
<b>Werkprestatie en gedrag</b>	Het gebruik van het exoskelet gaat niet ten koste van productiviteit en kwaliteit. We zien geen effect op het nemen van pauzes of op de werkduur.
<b>Lichamelijke belasting</b>	93% geeft aan dat het exoskelet lichamelijke ondersteuning geeft. 45% geeft aan minder vermoeid te zijn aan het eind van de dag.
<b>Acceptatie</b>	Meest genoemd voordeel: de lichamelijke ondersteuning die het exoskelet geeft. Meest genoemd nadeel: de belemmering van bewegingen die het exoskelet met zich mee brengt bij het werken in kleine ruimtes. Voordelen wegen voor de meesten op tegen de nadelen: 65% van de stukadoors wil het exoskelet in de toekomst gaan gebruiken.

Hierbij maken we graag de volgende opmerkingen:

- Bronaankpak moet het streven blijven bij de aanpak van zwaar werk. Exoskeletten zijn geen bronaankpak. Daarom worden exoskeletten pas relevant wanneer andere ergonomische of organisatorische mogelijkheden om de belasting te verlagen niet voor handen zijn, niet haalbaar zijn of niet effectief zijn. Dat laatste is het geval bij het stukadoorswerk.
- Geeft een exoskelet ondersteuning en wordt men minder vermoeid, dan kan dat leiden tot sneller werken of langer werken. Eventuele positieve gezondheidseffecten kunnen zo om zeep worden gebracht. Dit is de 'ergonomische valkuil', waar men voor moet waken. In dit onderzoek blijkt echter het dragen van een exoskelet niet tot sneller werken te leiden, dus de positieve effecten worden bij stukadoors niet teniet gedaan.
- Een verminderde lichamelijke belasting en verminderde vermoeidheid kan op de langere termijn leiden tot minder klachten en verzuim. Ten aanzien van de gezondheid zijn er soms ook vragen, zoals: leidt gebruik van een exoskelet tot spierafname of gewrichtschade? Omdat exoskeletten slechts een deel van activiteit van spieren overnemen (enkele tientallen procenten bij sommige taken) zijn we daar niet zo bang voor. Spieren worden weliswaar ondersteund maar blijven in belangrijke mate actief, zodat gewrichten nog steeds op natuurlijke wijze belast worden.

Tot slot, het stukadoorswerk is lichamelijk zwaar werk. Mogelijkheden om de lichamelijke belasting terug te dringen waren er eigenlijk nog nauwelijks. Met het exoskelet is die mogelijkheid er wel, bleek al uit ons eerdere onderzoek. Nu blijkt ook nog eens dat veel stukadoors het exoskelet in hun dagelijks werk willen gebruiken. Voor de stukadoors die daar behoefte aan hebben, zou het een goede zaak zijn, als zij er over zouden kunnen beschikken.