



## Logistiek algemeen

# Eenvoudig meten, groot effect: benchmarking van supply chain veerkracht in de praktijk

Bedrijven met een logistieke functie worden steeds vaker geconfronteerd met verstoringen.

Alinda Kokkinou

Breda University of Applied Sciences

## Samenvatting

Bedrijven met een logistieke functie worden steeds vaker geconfronteerd met verstoringen die de continuïteit van hun supply chain bedreigen. Om de veerkracht en robuustheid van supply chains te versterken, is inzicht nodig in de onderliggende capaciteiten en antecedenten. Bestaande wetenschappelijke meetschalen zijn echter te omvangrijk voor praktisch gebruik door managers en voor longitudinaal onderzoek. In deze studie worden eenvoudige benchmarkmaatstaven ontwikkeld, gevalideerd en getest voor zes antecedenten van supply chain veerkracht: realtime informatie, kennis van leveranciers, kennis van de inkomende supply chain, het delen van informatie, samenwerking met leveranciers en digitale samenwerking. Op basis van een steekproef van 133 professionals uit bedrijven met een logistieke functie tonen correlatieanalyses aan dat de eenvoudige maatstaven gemiddeld tot sterke correlaties vertonen met de bijbehorende multi-item schalen. Lineaire regressie en Necessary Condition Analysis (NCA) tonen verder aan dat samenwerking met leveranciers, kennis van de inkomende supply chain en het delen van informatie noodzakelijke voorwaarden zijn voor zowel veerkracht als robuustheid. De ontwikkelde benchmarkmaatstaven bieden een praktisch en wetenschappelijk onderbouwd instrument voor managers en onderzoekers.

## Inleiding

Bedrijven met een logistieke functie worden zich steeds meer bewust van hun kwetsbaarheid voor verstoringen, variërend van klein tot groot en van lokaal tot mondiaal. De afgelopen jaren hebben grootschalige internationale gebeurtenissen zoals COVID-19, de blokkade van het Suezkanaal en de oorlog in Oekraïne op onvoorspelbare en onverwachte manieren invloed gehad op supply chains (Nikookar e.a., 2024). Andere gebeurtenissen, zoals de wereldwijde IT-storing als gevolg van de mislukte CrowdStrike software-update, hadden minder impact, maar benadrukten de afhankelijkheid die supply chains ervaren van kritieke IT-infrastructuur (CNBC, 2024). Maar zelfs algemeen erkende bedreigingen zoals klimaatverandering kunnen op onvoorspelbare manieren en op onverwachte plaatsen toeslaan, met negatieve gevolgen voor de supply chains en bijbehorende activiteiten van bedrijven met een

logistieke functie (Pessot e.a., 2023). In deze steeds veranderende en onvoorspelbare omgeving moeten organisaties de veerkracht en robuustheid van hun supply chain versterken om op dergelijke verstoringen te kunnen reageren (Dabbous e.a., 2025).

De robuustheid en veerkracht van de supply chain worden over het algemeen beschouwd als de organisatorische capaciteiten die bedrijven in staat stellen om *“zich voor te bereiden op onverwachte gebeurtenissen, te reageren op verstoringen en daarvan te herstellen door de continuïteit van de activiteiten op het gewenste niveau van integratie en controle over structuur en functie te handhaven”* (vertaald van Ponomarov & Holcomb, 2009). Het is aangetoond dat deze capaciteiten leiden tot betere prestaties van de supply chain en concurrentievoordeel, doordat de organisatie beter in staat is om op betrouwbare wijze te voldoen aan de behoeften van klanten en andere belanghebbenden (Kokkinou e.a., 2023). Hoewel de term veerkracht van de supply chain het meest gebruikt wordt, wordt er een onderscheid gemaakt tussen robuustheid en veerkracht, waarbij de eerste verwijst naar een proactieve capaciteit en de tweede naar een reactieve capaciteit (Brandon-Jones e.a., 2014).

Eerder onderzoek naar hoe organisaties deze organisatorische capaciteiten kunnen ontwikkelen, heeft verschillende antecedenten geïdentificeerd, waaronder transparantie in de supply chain (Zelbst e.a., 2019), zichtbaarheid in de supply chain (Brandon-Jones e.a., 2014), en vertrouwen in leveranciers (Faruquee e.a., 2021). Bovendien kunnen de robuustheid en veerkracht van de supply chain worden verbeterd door middel van twee andere organisatorische capaciteiten die verband houden met digitale informatieverwerking: data-analytische capaciteit (Data Analytic Capability: DAC) en data-gestuurde cultuur (Data-Driven Culture: DDC) (Dubey e.a., 2021; Kokkinou e.a., 2023). DAC wordt gedefinieerd als *het vermogen van een organisatie om “data, technologie en mensen in te zetten om snel toegang te krijgen tot informatie en deze te analyseren ter ondersteuning van complexe besluitvorming”* (vertaald van Yu e.a., 2021). Dankzij DAC kunnen bedrijven met een logistieke functie data en analyses gebruiken om de dynamiek van hun vraag- en aanbodpatronen beter te begrijpen en hun risico's proactief in kaart te brengen (Iftikhar e.a., 2022). Deze mogelijkheid om data en informatie om te zetten in inzichten is echter alleen waardevol als de gegenereerde inzichten worden gebruikt als onderdeel van de besluitvorming (Kokkinou e.a., 2023). Daarom wordt DAC versterkt door de aanwezigheid van een DDC, een bedrijfscultuur waarin managers bij hun besluitvorming voorrang geven aan inzichten die zijn gegenereerd door data boven hun intuïtie (Gupta & George, 2016; Kokkinou e.a., 2025). De ontwikkeling van capaciteiten vereist investeringen in digitale technologieën, activa en organisatiespecifieke processen als onderdeel van een langdurig organisatieveranderingproces (Kokkinou, 2024).

Bedrijven met een logistieke functie weten niet altijd hoe ze hun organisatiespecifieke processen moeten ontwikkelen om de veerkracht van de supply chain te verbeteren en in welke digitale technologieën en middelen ze moeten investeren. Wetenschappelijke schalen die zijn ontwikkeld om de veerkracht van de supply chain te meten (Brandon-Jones e.a. 2014), DAC (Srinivasan en Swink 2018) en DDC (Yu e.a. 2021) zijn niet direct toepasbaar voor managers die op zoek zijn naar een richtlijn en die hun voortgang in de loop van de tijd willen vergelijken met hun branchegenoten. Voor onderzoekers die longitudinaal onderzoek doen naar een breed scala aan factoren zijn deze schalen bovendien te lang, omdat ze leiden tot vermoeidheid en uitval bij deelnemers (Bergkvist & Rossiter, 2007). Er is dus behoefte aan een eenvoudiger instrument dat bestaat uit metingen van één item, waarmee bedrijven hun voortgang bij het ontwikkelen van de veerkracht van de supply chain kunnen toetsen aan referentiewaarden en waarmee onderzoekers relevant, praktijkgericht wetenschappelijk onderzoek kunnen doen. Metingen op basis van één item hebben verschillende voordelen, waaronder het verminderen van de belasting voor deelnemers door minder herhaling van items en daarmee kortere lengte van het onderzoek (Matthews e.a., 2022). Ze zijn daarom bijzonder waardevol voor longitudinaal onderzoek met een complexe reeks factoren.

Het doel van de huidige studie was dan ook om een reeks benchmarkmaatstaven met één item te ontwikkelen, te valideren en te testen waarmee organisaties hun voortgang kunnen monitoren bij het ontwikkelen van de activa, middelen en organisatiespecifieke processen waarvan bekend is dat ze een positieve invloed hebben op de veerkracht van de supply chain.

De rest van het artikel is als volgt opgebouwd: in het volgende hoofdstuk worden de theorieën gepresenteerd die ten grondslag liggen aan deze studie, gevolgd door een overzicht van de literatuur over de veerkracht van supply chains en de activa en capaciteiten die dit mogelijk maken. Vervolgens worden de methoden gepresenteerd die zijn gebruikt om de benchmarkitems te ontwikkelen en te valideren, waaronder een test met lineaire regressie en Necessary Condition Analysis (NCA). In het hoofdstuk met bevindingen worden de resultaten gepresenteerd. In het discussiegedeelte wordt de rol van benchmarkitems met één item nader toegelicht, evenals de resultaten van de NCA. Het artikel wordt afgesloten met een overzicht van de beperkingen van het onderzoek en mogelijkheden voor toekomstig onderzoek.

## Literatuuroverzicht

### **Resource-Based View en Organisational Information Processing Theory**

De Dynamic Capability Theory (DCT) (Teece e.a., 1997) is een krachtige theorie die verklaart hoe bedrijven met een logistieke functie hun concurrentievoordeel ontwikkelen en behouden in veranderende markt- en omgevingsomstandigheden. DCT is voortgekomen uit de Resource-Based View (RBV) van de organisatie (Eisenhardt & Martin, 2000), die stelt dat bedrijven hun concurrentievoordeel ontwikkelen door te investeren in en het ontwikkelen van een combinatie van zeldzame, waardevolle, onnavolgbare en niet-vervangbare activa, middelen en organisatiespecifieke processen (Barney, 1991). DCT legt op zijn beurt uit hoe organisaties hun concurrentievoordeel behouden wanneer de omstandigheden veranderen of wanneer er verstoringen optreden. Volgens DCT doen ze dit door vaardigheden te ontwikkelen om de omgeving waar te nemen, kansen te grijpen en zich naar aanleiding daarvan aan te passen (Teece, 2007). Deze theorie is met name geschikt in de context van veerkracht van de supply chain, waar bedrijven verstoringen of andere veranderingen in de marktomstandigheden moeten identificeren (signaleren), de dreiging moeten neutraliseren of de kans moeten grijpen (benutten) en hun activa, middelen en organisatiespecifieke processen moeten aanpassen om in lijn te blijven met de externe omgeving (herconfigureren). Deze processen vereisen uitgebreide informatieverzameling en -verwerking, waardoor de Organisational Information Processing Theory (OIPT) bijzonder relevant is.

OIPT legt uit hoe bedrijven gegevens- en informatiebeheer gebruiken om om te gaan met de onzekerheden van de externe omgeving (Brandon-Jones e.a., 2014). Volgens OIPT geldt: *“hoe groter de onzekerheid van een taak, hoe meer informatie er tijdens de uitvoering van de taak door besluitvormers moet worden verwerkt om een bepaald prestatieniveau te bereiken”* (vertaald van Galbraith, 1974). Bedrijven kunnen ofwel de behoefte aan informatieverwerking verminderen, ofwel hun capaciteit om informatie te verwerken vergroten. Deze capaciteit is verder toegenomen dankzij de mogelijkheden van big-data-analyse (Dubey e.a., 2021; Srinivasan & Swink, 2018). Bedrijven kunnen investeren in digitale tools zoals het internet der dingen (Internet of Things: IoT), cloud computing en draadloze technologieën om meer gegevens te verzamelen, en big data-analyse in combinatie met kunstmatige intelligentie (Artificial Intelligence: AI) gebruiken om inzichten te genereren die kunnen worden gebruikt voor betere besluitvorming (Kokkinou & Mitas, 2026), ook in de context van de veerkracht van de supply chain.

## **Veerkracht van de supply chain**

Hoewel het concept van veerkracht in de supply chain niet nieuw is (Kırılmaz & Erol, 2017), is de conceptualisering ervan geëvolueerd als reactie op de toenemende complexiteit en volatiliteit van de concurrentieomgeving (Di Paola e.a., 2023). In het begin werden supply chains vanuit een technisch perspectief beschouwd als systemen die konden worden begrepen, ontworpen en geoptimaliseerd. Supply chainbeheer, met de nadruk op het identificeren, beoordelen, beperken en beheersen van risico's (El Baz & Ruel, 2021), past goed binnen dit perspectief. Meer recentelijk is echter een nieuw perspectief in opkomst, waarbij de veerkracht van de supply chain wordt bekeken vanuit een sociaal-ecologisch perspectief (Wieland & Durach, 2021). Vanuit dit perspectief reageren organisaties niet alleen op een tijdelijke crisis, maar gebruiken ze deze ook om te leren en te innoveren. Naarmate supply chains groter en meer verweven zijn geworden, en daarmee ook complexer, zijn de beperkingen van het engineeringgerichte perspectief duidelijk geworden en heeft het sociaal-ecologische perspectief aan belang gewonnen.

Het sociaal-ecologische perspectief op de veerkracht van supply chains sluit goed aan bij DCT en OIPT, aangezien organisatiespecifieke processen en capaciteiten nodig zijn om verstoringen te signaleren, kansen te benutten, bedreigingen te neutraliseren en zich te herconfigureren om te herstellen en zich aan te passen. Deze organisatiespecifieke processen en capaciteiten omvatten transparantie en zichtbaarheid van de supply chain, samenwerking met leveranciers, data-analytische capaciteiten en een datagestuurde cultuur (Brandon-Jones e.a., 2014; Faruquee e.a., 2021; Kokkinou e.a., 2023, 2025; Zelbst e.a., 2019).

## **Transparantie en zichtbaarheid van de supply chain**

Zichtbaarheid en transparantie van de supply chain worden vaak door elkaar gebruikt, maar hebben in de context van de supply chain verschillende eigenschappen. Transparantie van de supply chain kan worden gedefinieerd als *"toegang tot hoogwaardige informatie die verschillende factoren van vraag en aanbod beschrijft"* (vertaald van Williams e.a., 2013). Zichtbaarheid van de supply chain wordt gedefinieerd als *"het vermogen om van het ene uiteinde van de supply chain naar het andere te kijken"* (vertaald van Holcomb e.a., 2011). Hoewel de definitie van Holcomb e.a.(2011) oorspronkelijk betrekking had op zichtbaarheid, pasten Zelbst e.a.(2019) deze toe op transparantie door te stellen dat transparantie een combinatie is van het delen van informatie en zichtbaarheid, waarbij het delen van informatie een activiteit is en zichtbaarheid het resultaat daarvan. In het kader van deze studie verwijst transparantie in de supply chain naar het vermogen van een organisatie om de herkomst en bewegingen van materialen en componenten die in haar productieprocessen worden gebruikt, in kaart te brengen in de upstream

supply chain. Zichtbaarheid van de supply chain verwijst naar het vermogen van de organisatie om deze materialen en componenten in realtime te volgen terwijl ze zich door de upstream supply chain verplaatsen. Op basis van OIPT zijn organisaties met een goed ontwikkelde zichtbaarheid van de supply chain beter in staat om te anticiperen op veranderingen in hun omgeving, waardoor de veerkracht van de supply chain wordt vergroot (Brandon-Jones e.a. 2014).

### **Vertrouwen in en samenwerking met leveranciers**

Voordat digitalisering en digitale technologieën aan populariteit wonnen, werden vertrouwen en samenwerking met leveranciers gezien als cruciaal voor de veerkracht van de supply chain (Faruquee e.a., 2021). Bedrijven die relaties opbouwen met hun leveranciers, waarbij de nadruk ligt op vertrouwen en samenwerking, profiteerden daarvan tijdens verstoringen. De laatste tijd is het idee ontstaan dat digitale informatie-uitwisseling deze relaties kan vervangen. Dit is gedeeltelijk waar, aangezien digitaliseringsmogelijkheden zoals DAC en DDC hebben bijgedragen aan een verbeterde veerkracht van de supply chain (Dubey e.a., 2021; Kokkinou e.a., 2023). Niettemin is aangetoond dat vertrouwen bijdraagt aan de veerkracht van de supply chain, zelfs in aanwezigheid van digitalisering (Kokkinou e.a., 2024). Vertrouwen en samenwerking in de supply chain zijn verweven met digitaliseringsmogelijkheden, aangezien partners in de supply chain zonder vertrouwen geen informatie zullen delen.

### **Digitale transformatie, data-analytische capaciteiten en een datagestuurde cultuur**

Er is aangetoond dat drie digitaliseringscapaciteiten bijdragen aan de veerkracht van de supply chain, namelijk digitale transformatie (Faruquee e.a., 2021), DAC (Dubey e.a., 2021; Iftikhar e.a., 2022; Kokkinou e.a., 2023), en DDC (Kokkinou e.a., 2025). Deze capaciteiten stellen organisaties in staat hun omgeving te verkennen, op basis van data beslissingen te nemen en vervolgens zakelijke kansen en bedreigingen te beoordelen en hun activiteiten te transformeren en te herconfigureren om zich aan te passen aan veranderingen op de lange termijn (Helfat e.a., 2009; Kokkinou, 2024; Mikalef e.a., 2019). Deze digitale capaciteiten maken ook andere dynamische capaciteiten mogelijk (Helfat e.a., 2009), zoals flexibiliteit in de supply chain (Dubey e.a., 2019) en innovatiecapaciteiten (Mikalef & Krogstie, 2020).

Bedrijven met een logistieke functie die de veerkracht van hun supply chain willen ontwikkelen, moeten investeren in een breed scala aan activa, middelen en organisatiespecifieke processen. Afhankelijk van de beschikbare middelen zullen bedrijven prioriteiten moeten stellen bij investeringen, maar de wetenschappelijke literatuur biedt weinig houvast over welke investeringen de grootste impact hebben op de veerkracht van de supply chain. Bovendien zijn de bestaande

wetenschappelijke meetschalen niet bruikbaar voor managers van de supply chain. Deze studie heeft daarom tot doel een reeks benchmarkitems te ontwikkelen die zowel wetenschappelijk verantwoord als bruikbaar zijn voor supply chain managers.

## Methoden

In dit hoofdstuk worden de procedures beschreven die zijn gebruikt voor het ontwikkelen, testen en valideren van een reeks enkelvoudige meetitems volgens procedures die zijn gedocumenteerd in eerdere studies (Kokkinou & Mandemakers, Forthcoming).

### **Ontwikkeling en validatie van benchmarkitems**

De literatuurstudie in het vorige hoofdstuk werd gebruikt om wetenschappelijk gevalideerde antecedenten van veerkracht in de supply chain en bijbehorende meetschalen te identificeren. Aan de hand van interviews met managers van supply chains en logistiek werden deze wetenschappelijke meetschalen vertaald naar uitspraken die representatief zijn voor de ervaringen van deze managers (Kokkinou & Mandemakers, Forthcoming). Vervolgens werd een op enquêtes gebaseerde aanpak gebruikt om de nieuw ontwikkelde benchmarkitems met één item te toetsen aan de bijbehorende meetschalen met meerdere items.

### **Instrument voor gegevensverzameling**

Er werd een online enquête ontwikkeld met behulp van de Qualtrics software. De enquête bestond uit vier delen. Nadat de deelnemers de informatie over het onderzoek hadden doorgenomen en toestemming hadden gegeven, werd hen gevraagd een reeks vragen te beantwoorden om te bevestigen dat zij in aanmerking kwamen voor het onderzoek. Het tweede deel bestond uit de benchmarkitems met één item, terwijl het vierde deel bestond uit de bijbehorende meetschalen. Het laatste deel bestond uit demografische gegevens en aanvullende controles om te bepalen of de deelnemers in aanmerking kwamen. Tabel 1 toont de meetschalen en hun bron.

**Tabel 1** Bron van meetinstrumenten met meerdere items

Overeenkomstige schaal	Bron
DAC	(Srinivasan & Swink, 2018)
DDC	(Yu e.a., 2021)
Veerkracht	(Brandon-Jones e.a., 2014)
Robuustheid	(Brandon-Jones e.a., 2014)
Vertrouwen	(Faruquee e.a., 2021)
Transparantie	(Zelbst e.a., 2019)
Zichtbaarheid	(Zelbst e.a., 2019)
Samenwerking in de supply chain	(Nikookar e.a., 2024)
Digitale transformatie	(Faruquee e.a., 2021)

### Steekproef

De deelnemers werden geworven via het platform Prolific. Prolific is een crowdwork-platform waar deelnemers worden beloond voor hun deelname aan wetenschappelijk en ander onderzoek. Er werden 150 deelnemers geworven op basis van strikte selectiecriteria om ervoor te zorgen dat ze actief waren in bedrijven met een logistieke functie. De antwoorden op de geschiktheidsvragen werden gebruikt voor triangulatie. Dit leidde tot het verwijderen van antwoorden, wat resulteerde in een uiteindelijke steekproef van 133 respondenten, relatief gelijk verdeeld over grote (>250 werknemers) en kleine en middelgrote ondernemingen. De gemiddelde anciënniteit van de werknemers was 5,351 jaar ( $sd=4,262$ ). Meer gedetailleerde demografische gegevens zijn te vinden in Tabel 2.

**Tabel 2** Demografische gegevens

Demografische gegevens	
Geslacht	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Man 51%</li> <li>· Vrouw 48%</li> </ul>
Leeftijd	35,744 (sd = 10,025)
Anciënniteit bij het bedrijf	5,351 (sd = 4,262)
Functie bij het bedrijf	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Topmanagement 12%</li> <li>· Middenkader 44%</li> <li>· Teamleider 14%</li> <li>· Operations 28%</li> </ul>
Bedrijfsgrootte	Kleine en middelgrote ondernemingen 47,3% Groot 50,4%

### Analyseprocedures

De software R werd gebruikt om de verzamelde gegevens in verschillende stappen te analyseren. Eerst werd de betrouwbaarheid van de meetschalen beoordeeld met behulp van Cronbach Alpha, waarbij gebruik werd gemaakt van de R-pakketten psych en ltm. Vervolgens werd elk benchmarkitem gecorreleerd met de overeenkomstige meetschaal. Ten slotte werden lineaire regressie en Necessary Condition Analysis (NCA) gebruikt om de nieuwe reeks benchmarkitems met één item te testen.

### Resultaten

#### Betrouwbaarheid en beschrijvende statistieken

Zoals te zien is in Tabel 3, overschreed Cronbach Alpha de aanbevolen drempel van 0,7 voor alle meetschalen (Hair, 1998) behalve voor de zichtbaarheid van de supply chain ( $\alpha = 0,629$ ). Dit was te verwachten, aangezien alle schalen eerder in de literatuur zijn gevalideerd.

**Tabel 3** Betrouwbaarheid en beschrijvende statistieken

	<b>Cronbach Alpha</b>	<b>Gemiddelde</b>	<b>Standaardafwijking</b>
<b>DAC</b>	0,855	4,109	0,829
<b>DDC</b>	0,745	4,332	0,626
<b>Veerkracht</b>	0,812	4,130	0,748
<b>Robuustheid</b>	0,812	3,664	0,874
<b>Vertrouwen</b>	0,902	4,204	0,720
<b>Transparantie</b>	0,722	4,519	0,545
<b>Zichtbaarheid</b>	0,629	4,332	0,695
<b>Samenwerking in de supply chain</b>	0,821	5,552	1,077
<b>Digitale transformatie</b>	0,809	3,291	0,883

### **Correlatieanalyse**

Zoals te zien is in Tabel 4, kunnen alle correlaties worden gekwalificeerd als gemiddeld tot sterk en zijn ze statistisch significant.

**Tabel 4** Correlatieresultaten

Benchmarkitem	Gemiddelde	Standaardafwijking	Overeenkomstige schaal	
Realtime	3,359	0,929	SC-zichtbaarheid	r=0,320 (p<0,001)
Kennis leveranciers	3,542	0,888	SC Transparantie	r=0,404 (p<0,001)
Kennis inkomende supply chain	3,336	0,819	SC-transparantie	r=0,421 (p<0,001)
			Samenwerking met leveranciers	r=0,388 (p<0,001)
Informatie delen	2,901	0,858	SC Transparantie	r=0,485 (p<0,001)
			Samenwerking met leveranciers	r=0,380 (p<0,001)
Samenwerking met leveranciers	3,130	0,748	Samenwerking met leveranciers	r=0,517 (p<0,001)
Digitale samenwerking	2,810	1,009	Samenwerking met leveranciers	r=0,457 (p<0,001)
			Digitale transformatie	r=0,479 (p<0,001)

### Lineaire regressie en analyse van noodzakelijke voorwaarden

De nieuw ontwikkelde benchmarkitems met één item werden getest met behulp van lineaire regressie en NCA. Er werden lineaire regressies uitgevoerd om de relatie tussen benchmarkmetingen met één item en de veerkracht van de supply chain (zie Tabel 5) en de robuustheid van de supply chain (zie Tabel 6) te onderzoeken. Voor veerkracht was het totale regressiemodel statistisch significant ( $F(6, 124) = 4,23, p < 0,001$ ) en verklaarde het ongeveer 17% van de variantie in de veerkracht van de supply chain (aangepaste  $R^2 = 0,13$ ). Van de voorspellende factoren bleek samenwerking met leveranciers een significante positieve voorspellende factor te zijn ( $b = 0,28, SE = 0,11, t(124) = 2,49, p = 0,014$ ). Kennis van de inkomende supply chain vertoonde een marginaal significant positief verband ( $b = 0,163, SE = 0,09, t(124) = 1,85, p = 0,067$ ). Wat betreft robuustheid was het totale regressiemodel niet statistisch significant ( $F(6, 124) = 0,97, p = 0,447$ ) en verklaarde het ongeveer 4,5% van de variantie in robuustheid (aangepaste  $R^2 = 0,001$ ).

**Tabel 5** Resultaten van lineaire regressie voor veerkracht van de supply chain

	Schatting	Standaard-fout	t-waarde	Pr(> t )
(Intercept)	2,551	0,336	7,595	0,000
Realtime	0,102	0,075	1,368	0,174
Kennis leveranciers	-0,019	0,092	-0,201	0,841
Kennis inkomende supply chain	0,163	0,088	1,847	0,067
Informatie delen	0,056	0,092	0,606	0,546
Samenwerking met leveranciers	0,281	0,113	2,488	0,014
Digitale samenwerking met leveranciers	-0,101	0,082	-1,222	0,224

**Tabel 6** Resultaten van lineaire regressie voor robuustheid van de supply chain

	Schatting	Standaard-fout	t-waarde	Pr(> t )
(Intercept)	2,775	0,421	6,592	0,000
Realtime	0,096	0,094	1,025	0,307
Kennis leveranciers	0,063	0,116	0,543	0,588
Kennis inkomende supply chain	-0,036	0,110	-0,323	0,747
Informatie delen	0,027	0,115	0,238	0,812
Samenwerking met leveranciers	0,141	0,142	0,995	0,322
Digitale samenwerking met leveranciers	-0,021	0,103	-0,200	0,842

Een inherent kenmerk van lineaire regressie is dat ervan wordt uitgegaan dat voorspellende variabelen op een lineaire, additieve manier bijdragen aan een uitkomst, wat betekent dat meer van een factor het resultaat gewoonweg verhoogt of verlaagt (Nikookar e.a., 2024). Noodzakelijke voorwaardeanalyse (Necessary Condition Analysis: NCA) daarentegen legt situaties vast waarin een factor eerst een minimumdrempel moet bereiken voordat andere factoren enig effect kunnen hebben, waardoor onderzoekers essentiële voorwaarden kunnen identificeren die lineaire regressie over het hoofd zou zien (Dul, 2016). Lineaire regressie en NCA vullen elkaar aan. Lineaire regressie kan factoren identificeren die gemiddeld bijdragen

aan een uitkomst, terwijl NCA kan worden gebruikt om te identificeren welke factoren noodzakelijk zijn en waarvan de afwezigheid het bereiken van een uitkomst verhindert. Deze worden ook wel beperkingen of knelpunten genoemd.

NCA werd gebruikt om de factoren te identificeren die essentiële voorwaarden zijn voor de veerkracht en robuustheid van de supply chain. Voor elke analyse werd de Ceiling Regression – Free Disposal Hull (CR-FDH)-techniek gebruikt met 1.000 permutatietests om de effectgrootte te schatten. De effectgrootte geeft aan in hoeverre de factor noodzakelijk is voor de uitkomst (Dul, 2024). Zoals Dul (2024) uitlegt, is effectgrootte “*de mate waarin de voorwaarde de uitkomst beperkt, en de mate waarin de uitkomst door de voorwaarde wordt beperkt*”. De CR-FDH-techniek is het meest geschikt wanneer de gegevens en het onderliggende fenomeen discreet zijn met een groot aantal niveaus, of continu. Dul (2016) kwalificeert de omvang van een effectgrootte  $d$  als klein voor  $0 < d < 0,1$ , gemiddeld voor  $0,1 < d < 0,3$  en groot voor  $0,3 < d < 0,5$ .

Voor de NCA van de veerkracht van de supply chain kwamen drie factoren naar voren als statistisch significante noodzakelijke voorwaarden. De sterkste factor was samenwerking met leveranciers ( $d = 0,10$ ,  $p = 0,041$ ), gevolgd door kennis van de inkomende supply chain ( $d = 0,07$ ,  $p = 0,006$ ) en het delen van informatie ( $d = 0,02$ ,  $p = 0,033$ ). Voor de NCA van de robuustheid van de toelevering kwamen verschillende factoren naar voren als statistisch significante noodzakelijke voorwaarden. Samenwerking met leveranciers had het grootste noodzakelijke effect ( $d = 0,17$ ,  $p = 0,014$ ), wat aangeeft dat een minimumniveau van samenwerking met leveranciers vereist is voor hogere robuustheidsscores. Kennis van de inkomende supply chain ( $d = 0,10$ ,  $p = 0,027$ ), kennis van leveranciers ( $d = 0,09$ ,  $p = 0,029$ ), digitale samenwerking met leveranciers ( $d = 0,07$ ,  $p = 0,001$ ) en het delen van informatie ( $d = 0,04$ ,  $p = 0,025$ ) waren ook kleine maar significante noodzakelijke voorwaarden. Voor zowel de veerkracht als de robuustheid van de supply chain was realtime informatie geen noodzakelijke voorwaarde. Bovendien waren de effectgroottes van samenwerking met leveranciers, kennis van de inkomende supply chain en het delen van informatie groter voor de robuustheid van de supply chain dan voor de veerkracht van de supply chain.

**Tabel 7** Effectgroottes Noodzakelijke voorwaardeanalyse voor veerkracht van de supply chain

	Nauwkeurigheid	Plafondzone	Reikwijdte	Effectgrootte	p
Realtime	100,0	0,375	16,304	0,023	0,287
Kennis leveranciers	100,0	0,625	16,026	0,039	0,103
Kennis Inkomende supply chain	99,2	0,840	12,000	0,070	0,006
Informatie delen	100,0	0,250	11,905	0,021	0,033
Samenwerking met leveranciers	100,0	1,250	12,019	0,104	0,041
Digitale samenwerking met leveranciers	100,0	0,000	12,012	0,000	1,000

**Tabel 8** Effectgroottes Noodzakelijke voorwaardeanalyse voor robuustheid van de supply chain

	Nauwkeurigheid	Plafondzone	Reikwijdte	Effectgrootte	p
Realtime	100,0	0,000	16,001	0,000	1,000
Kennis leveranciers	95,4	1,513	15,926	0,095	0,029
Kennis Inkomende supply chain	96,9	1,168	12,041	0,097	0,027
Informatie-uitwisseling	100,0	0,500	11,905	0,042	0,025
Samenwerking met leveranciers	96,2	2,051	11,994	0,171	0,014
Digitale samenwerking met leveranciers	96,9	0,836	11,943	0,070	0,001

## Discussie

In deze studie is een reeks benchmarkmaatstaven voor de veerkracht van supply chains ontwikkeld, gevalideerd en getest door gebruik te maken van belangrijke antecedenten van veerkracht in supply chains die in de literatuur zijn geïdentificeerd. Deze omvatten zichtbaarheid van de supply chain, transparantie, samenwerking met leveranciers en digitale samenwerking (Brandon-Jones e.a., 2014; Nikookar e.a., 2024; Srinivasan & Swink, 2018; Zelbst e.a., 2019). Door middel van correlatieanalyse vertoonden de nieuw ontwikkelde single-itemmaatstaven een gemiddelde tot sterke correlatie met de bijbehorende multi-itemschalen, wat suggereert dat de single-itemmaatstaven dezelfde onderliggende constructen weergeven als de gevestigde

multi-itemschalen. Vervolgens werden lineaire regressie en noodzakelijke-voorwaardeanalyse gebruikt om deze maatregelen te testen, waaruit bleek dat samenwerking met leveranciers, kennis van de inkomende supply chain en het delen van informatie noodzakelijke voorwaarden waren voor zowel de veerkracht als de robuustheid van de supply chain, met opvallend sterkere effecten voor robuustheid.

### **De waarde van benchmarkmaatstaven met één item**

De ontwikkeling van benchmarkmaatstaven met één item biedt aanzienlijke voordelen voor zowel professionals als onderzoekers die de veerkracht van de supply chain willen begrijpen en ontwikkelen (Matthews e.a., 2022). Voor professionals in het veld zijn lange meetschalen met meerdere items die voor academisch onderzoek zijn ontwikkeld, vaak onpraktisch en moeilijk te vertalen naar bruikbare inzichten. Managers van supply chains en logistiek hebben behoefte aan instrumenten waarmee ze snel de huidige toestand van hun organisatie op meerdere dimensies kunnen beoordelen, zonder dat dit een buitensporige tijdsinvestering vergt. Benchmarkmetingen met één item voorzien in deze behoefte door complexe constructen te distilleren tot beknopte, begrijpelijke uitspraken die de ervaringen van managers weerspiegelen. Deze metingen kunnen worden geïntegreerd in dashboards en monitoringsystemen, waardoor organisaties hun voortgang in de tijd kunnen volgen en zich kunnen vergelijken met branchegenoten. Bovendien vergemakkelijken dergelijke metingen de communicatie tussen verschillende organisatieniveaus, omdat ze het technische jargon vermijden dat vaak in academische schalen voorkomt, terwijl ze tegelijkertijd wetenschappelijk onderbouwd blijven.

Voor onderzoekers bieden single-item-maatstaven eveneens aantrekkelijke voordelen, met name in de context van longitudinaal onderzoek en studies die meerdere elementen omvatten. Academisch onderzoek naar de veerkracht van supply chains omvat noodzakelijkerwijs een complexe reeks factoren, waaronder organisatorische capaciteiten zoals DAC en DDC, relationele factoren zoals vertrouwen en samenwerking in de supply chain, en operationele factoren zoals de zichtbaarheid en transparantie van de supply chain. Wanneer onderzoekers traditionele multi-itemschalen voor elk element gebruiken, worden enquêtes al snel onbetaalbaar lang, wat leidt tot vermoeidheid bij de deelnemers, verminderde responskwaliteit en hogere uitvalpercentages (Bergkvist & Rossiter, 2007). Dit is vooral problematisch in longitudinale studies die herhaalde metingen in de loop van de tijd vereisen van drukbezette professionals uit het werkveld. Metingen met één item verkorten de lengte van de enquête aanzienlijk, waardoor de responspercentages en de kwaliteit van de gegevens verbeteren (Bergkvist & Rossiter, 2007; Matthews e.a., 2022). Bovendien stelt de verminderde belasting voor deelnemers onderzoekers

in staat om een breder scala aan factoren in hun studies op te nemen, wat een uitgebreider onderzoek naar de complexe fenomenen die ten grondslag liggen aan de veerkracht van de supply chain mogelijk maakt. Dit is met name waardevol voor praktijkgericht onderzoek dat erop gericht is bruikbare inzichten voor het werkveld te genereren met behoud van wetenschappelijke nauwkeurigheid.

### **Illustratieve bevindingen uit de analyse van noodzakelijke voorwaarden**

De NCA-resultaten geven een illustratief voorbeeld van hoe benchmarkmetingen met één item kunnen worden gebruikt om inzichten te genereren in de ontwikkeling van de veerkracht van de supply chain. Uit de analyse bleek dat samenwerking met leveranciers consequent naar voren kwam als de sterkste noodzakelijke voorwaarde voor zowel veerkracht als robuustheid (Faruquee e.a., 2021). Dit suggereert dat een minimale drempel voor samenwerking met leveranciers moet worden bereikt voordat organisaties een hoger niveau van veerkracht en robuustheid kunnen ontwikkelen, ongeacht hun investeringen op andere gebieden. Kennis van de inkomende supply chain en het delen van informatie kwamen ook naar voren als noodzakelijke voorwaarden, zij het met een kleiner effect (Brandon-Jones e.a., 2014). Interessant is dat realtime-informatie niet naar voren kwam als een noodzakelijke voorwaarde voor beide uitkomsten, wat suggereert dat het weliswaar gemiddeld kan bijdragen aan veerkracht, maar geen essentiële voorwaarde is. De verschillende effectgroottes tussen veerkracht en robuustheid suggereren verder dat deze twee uitkomsten verschillende antecedenten en ontwikkelingspaden kunnen hebben (Kokkinou e.a., 2023), wat nader onderzoek rechtvaardigt. Deze bevindingen illustreren de complementaire waarde van NCA ten opzichte van lineaire regressie (Nikookar e.a., 2024), aangezien lineaire regressie samenwerking met leveranciers identificeerde als een significante voorspeller van veerkracht, terwijl NCA aantoonde dat samenwerking met leveranciers, kennis van de inkomende supply chain en het delen van informatie noodzakelijke voorwaarden zijn – essentiële voorwaarden die een minimale drempel moeten bereiken voordat organisaties een hoger niveau van veerkracht kunnen bereiken.

### **Beperkingen en toekomstige onderzoeksrichtingen**

Deze bevindingen moeten echter met de nodige voorzichtigheid worden geïnterpreteerd. De steekproefomvang van 133 respondenten is weliswaar voldoende voor een eerste validatie, maar beperkt de generaliseerbaarheid van de NCA-resultaten. Bovendien kan het gebruik van het Prolific-platform, hoewel het toegang biedt tot relevante professionals, selectiebias introduceren die de representativiteit van de bevindingen beïnvloedt. Toekomstig onderzoek met grotere, meer diverse steekproeven is essentieel om deze voorlopige bevindingen te valideren en robuustere prescriptieve kaders te ontwikkelen. Dergelijk onderzoek zou methoden

kunnen gebruiken zoals Fuzzy Set Qualitative Comparative Analysis (fsQCA) in combinatie met NCA om de configuraties van omstandigheden te identificeren die leiden tot een hoge mate van veerkracht en robuustheid van de supply chain. Daarnaast zouden longitudinale studies die organisaties in de loop van de tijd volgen terwijl ze hun veerkrachtcapaciteiten ontwikkelen, waardevolle inzichten opleveren in de temporele dynamiek en causale relaties tussen deze factoren.

Afgezien van de hierboven besproken beperkingen van de steekproefomvang, richtte deze studie zich op een specifieke reeks antecedenten die vaak worden genoemd in de literatuur over veerkracht van de supply chain, waaronder digitale capaciteiten, zichtbaarheid, transparantie en samenwerkingsrelaties. Hoewel deze factoren erkende factoren zijn die bijdragen aan veerkracht, is het kader niet uitputtend. Toekomstig onderzoek zou aanvullende factoren moeten meenemen die verband houden met het ontwerp van het supply chain-netwerk, zoals het strategisch gebruik van voorraadbuffers, het inbouwen van redundantie in het supply chain-netwerk en het ontwikkelen van flexibele sourcingstrategieën (Namdar e.a., 2021; Kokkinou e.a., 2023). Bovendien is niet onderzocht hoe het relatieve belang van deze factoren kan variëren naargelang de sector, de omvang van de organisatie of de geografische regio. Onderzoek naar dergelijke contextuele factoren zou de praktische toepasbaarheid van benchmarkmaatstaven voor afzonderlijke items vergroten, doordat organisaties die in uiteenlopende omgevingen actief zijn, beter op maat gesneden advies kunnen krijgen. Ten slotte moet in toekomstig onderzoek worden onderzocht hoe deze afzonderlijke maatstaven kunnen worden geïntegreerd in dynamische beoordelingsinstrumenten die realtime feedback en prescriptieve aanbevelingen bieden aan organisaties die de veerkracht van hun supply chain willen vergroten.

## Financiering

Deze onderzoek werd medegefinancierd door regieorgaan SiA als onderdeel van het project Resilience by the numbers: harnessing data analytics for supply chain reliability (LOG.KIEM.01.017).

## Referenties

- Barney, J. (1991). Firm Resources and Sustained Competitive Advantage. *Journal of Management*, 17(1), 99–120. <https://doi.org/10.1177/014920639101700108>
- Bergkvist, L., & Rossiter, J. R. (2007). The Predictive Validity of Multiple-Item versus Single-Item Measures of the Same Constructs. *Journal of Marketing Research*, 44(2), 175–184. <https://doi.org/10.1509/jmkr.44.2.175>
- Brandon-Jones, E., Squire, B., Autry, C. W., & Petersen, K. J. (2014). A Contingent Resource-Based Perspective of Supply Chain Resilience and Robustness. *Journal of Supply Chain Management*, 50(3), 55–73. <https://doi.org/10.1111/jscm.12050>
- CNBC. (2024, July 19). *Microsoft, CrowdStrike IT outage hits global supply chain, with air freight facing days or weeks to recover*. <https://www.cnbc.com/2024/07/19/crowdstrike-it-outage-spreads-global-supply-chain.html>
- Dabbous, A., Merhej Sayegh, M., Aoun Barakat, K., & Veglianti, E. (2025). Corporate artificial intelligence readiness and its contribution to supply chain resilience: Insights from complexity theory. *International Journal of Production Research*, 1–23. <https://doi.org/10.1080/00207543.2025.2578299>
- Di Paola, N., Cosimato, S., & Vona, R. (2023). Be resilient today to be sustainable tomorrow: Different perspectives in global supply chains. *Journal of Cleaner Production*, 386, 135674. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135674>
- Dubey, R., Gunasekaran, A., & Childe, S. J. (2019). Big data analytics capability in supply chain agility: The moderating effect of organizational flexibility. *Management Decision*, 57(8), 2092–2112. <https://doi.org/10.1108/MD-01-2018-0119>
- Dubey, R., Gunasekaran, A., Childe, S. J., Fosso Wamba, S., Roubaud, D., & Foropon, C. (2021). Empirical investigation of data analytics capability and organizational flexibility as complements to supply chain resilience. *International Journal of Production Research*, 59(1), 110–128. <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1582820>
- Dul, J. (2016). Necessary Condition Analysis (NCA): Logic and Methodology of “Necessary but Not Sufficient” Causality. *Organizational Research Methods*, 19(1), 10–52. <https://doi.org/10.1177/1094428115584005>
- Dul, J. (2024). *Necessary Condition Analysis (NCA) with R (Version 4.0.0) A Quick Start Guide*. <https://repub.eur.nl/pub/78323/Quick-Start-Guide-NCA-4.0.0-February-2024.pdf>
- Eisenhardt, K. M., & Martin, J. A. (2000). Dynamic capabilities: What are they? *Strategic Management Journal*, 21(10-11), 1105–1121.
- El Baz, J., & Ruel, S. (2021). Can supply chain risk management practices mitigate the disruption impacts on supply chains' resilience and robustness? Evidence from an empirical survey in a COVID-19 outbreak era. *International Journal of Production Economics*, 233, 107972. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107972>

- Faruquee, M., Paulraj, A., & Irawan, C. A. (2021). Strategic supplier relationships and supply chain resilience: Is digital transformation that precludes trust beneficial? *International Journal of Operations & Production Management*, 41(7), 1192–1219. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-10-2020-0702>
- Galbraith, J. R. (1974). Organization Design: An Information Processing View. *Interfaces*, 4(3), 28–36. <https://doi.org/10.1287/inte.4.3.28>
- Gupta, M., & George, J. F. (2016). Toward the development of a big data analytics capability. *Information & Management*, 53(8), 1049–1064. <https://doi.org/10.1016/j.im.2016.07.004>
- Hair, J. F. (Ed.). (1998). *Multivariate data analysis*. Prentice Hall.
- Helfat, C. E., Finkelstein, S., Mitchell, W., Peteraf, M., Singh, H., Teece, D., & Winter, S. G. (2009). *Dynamic Capabilities Understanding Strategic Change in Organizations*. John Wiley & Sons.
- Holcomb, M. C., Ponomarov, S. Y., & Manrodt, K. B. (2011). The Relationship of Supply Chain Visibility to Firm Performance. *Supply Chain Forum: An International Journal*, 12(2), 32–45. <https://doi.org/10.1080/16258312.2011.11517258>
- Iftikhar, A., Purvis, L., Giannoccaro, I., & Wang, Y. (2022). The impact of supply chain complexities on supply chain resilience: The mediating effect of big data analytics. *Production Planning & Control*, 1–21. <https://doi.org/10.1080/09537287.2022.2032450>
- Kırlmaz, O., & Erol, S. (2017). A proactive approach to supply chain risk management: Shifting orders among suppliers to mitigate the supply side risks. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 23(1), 54–65. <https://doi.org/10.1016/j.pursup.2016.04.002>
- Kokkinou, A. (2024). How organizations can harness continuous improvement practices to develop their data analytic capability: A conceptual paper. In T. van Kollenburg, A. Kokkinou, & O. McDermott (Eds.), *Challenging the Future with Lean: 9th IFIP WG 5.7 European Lean Educator Conference, ELEC 2023, 's-Hertogenbosch, The Netherlands, October 24-26, 2023, Proceedings*. Springer.
- Kokkinou, A., & Mandemakers, A. (Forthcoming). Applying Analytics for Supply Chain Resilience: A Benchmarking Study. In D. Tanhua (Ed.), *Proceedings of the European Forum for Logistics Education (EFLE)*.
- Kokkinou, A., Mandemakers, A., & Mitas, O. (2023). Developing Resilient and Robust Supply Chains through Data Analytic Capability. *Continuity & Resilience Review*, 5(3), 320–342. <https://doi.org/10.1108/CRR-07-2023-0013>
- Kokkinou, A., Mandemakers, A., & Mitas, O. (2024). Acquiring and orchestrating information for supply chain robustness and resilience: The role of employee empowerment, trust, and technology. *Presented at the 2024 EUROMA Conference*. European Operations Management Association (EUROMA): Transforming People and Processes for a Better World.

- Kokkinou, A., & Mitas, O. (2026). Driving the circular economy: How artificial intelligence could empower transportation and logistics companies to lead the transition. *Cleaner Logistics and Supply Chain*, 100300. <https://doi.org/10.1016/j.clscn.2026.100300>
- Kokkinou, A., Mitas, O., & Mandemakers, A. (2025). Leveraging digital transformation to develop a data-driven culture for supply chain resilience: An empirical investigation. *Continuity & Resilience Review*. <https://doi.org/10.1108/CRR-08-2024-0023>
- Matthews, R. A., Pineault, L., & Hong, Y.-H. (2022). Normalizing the Use of Single-Item Measures: Validation of the Single-Item Compendium for Organizational Psychology. *Journal of Business and Psychology*, 37(4), 639–673. <https://doi.org/10.1007/s10869-022-09813-3>
- Mikalef, P., & Krogstie, J. (2020). Examining the interplay between big data analytics and contextual factors in driving process innovation capabilities. *European Journal of Information Systems*, 29(3), 260–287. <https://doi.org/10.1080/0960085X.2020.1740618>
- Mikalef, P., Van de Wetering, R., & Krogstie, J. (2019). *From Big Data Analytics to Dynamic Capabilities: The Effect of Organizational Inertia*. 1–14.
- Nikookar, E., Gligor, D., & Russo, I. (2024). Supply chain resilience: When the recipe is more important than the ingredients for managing supply chain disruptions. *International Journal of Production Economics*, 272, 109236. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2024.109236>
- Pessot, E., Zangiacomì, A., Marchiori, I., & Fornasiero, R. (2023). Empowering supply chains with Industry 4.0 technologies to face megatrends. *Journal of Business Logistics*, 44(4), 609–640. <https://doi.org/10.1111/jbl.12360>
- Ponomarov, S. Y., & Holcomb, M. C. (2009). Understanding the concept of supply chain resilience. *The International Journal of Logistics Management*, 20(1), 124–143. <https://doi.org/10.1108/09574090910954873>
- Srinivasan, R., & Swink, M. (2018). An Investigation of Visibility and Flexibility as Complements to Supply Chain Analytics: An Organizational Information Processing Theory Perspective. *Production and Operations Management*, 27(10), 1849–1867. <https://doi.org/10.1111/poms.12746>
- Teece, D. J. (2007). Explicating dynamic capabilities: The nature and microfoundations of (sustainable) enterprise performance. *Strategic Management Journal*, 28(13), 1319–1350. <https://doi.org/10.1002/smj.640>
- Teece, D. J., Pisano, G., & Shuen, A. (1997). Dynamic capabilities and strategic management. *Strategic Management Journal*, 18(7), 509–533. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0266\(199708\)18:7%253C509::AID-SMJ882%253E3.0.CO;2-Z](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0266(199708)18:7%253C509::AID-SMJ882%253E3.0.CO;2-Z)
- Wieland, A., & Durach, C. F. (2021). Two perspectives on supply chain resilience. *Journal of Business Logistics*, 42(3), 315–322. <https://doi.org/10.1111/jbl.12271>

Yu, W., Wong, C. Y., Chavez, R., & Jacobs, M. A. (2021). Integrating big data analytics into supply chain finance: The roles of information processing and data-driven culture. *International Journal of Production Economics*, 236, 108135. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2021.108135>

Zelbst, P. J., Green, K. W., Sower, V. E., & Bond, P. L. (2019). The impact of RFID, IIoT, and Blockchain technologies on supply chain transparency. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 31(3), 441–457. <https://doi.org/10.1108/JMTM-03-2019-0118>