

# Warehouse of the Future



Materiaal schaarste bij logistiek vastgoed

Joep van Boven (1010465) - Logistiek

Rob Kooij (1005286) - Bouwkunde

Hugo Kouwenhoven (0968605) - Facility management

# Inhoudsopgave

Inleiding	1.
Probleemstelling	2.
Oorzaak materiaal schaarste	3.
Hoe kan bouwkunde materiaal schaarste verminderen?	4.
Hoe kan Facility Management materiaal schaarste verminderen?	5.
Hoe kan Logistieke bijdrage materiaal schaarste verminderen?	6.
Bridging the Gap: Opleiding en materiaal schaarste	7.
Is materiaal schaarste op te lossen?	8.
De toekomst van warehouse-constructie: True costing als leidend principe	9.
Blik op de toekomst - Innovatiematerialen	10.
Blik op de toekomst - 3D-printen	11.
Blik op de toekomst - Prefabricage	12.
Drones en duurzame logistiek: Een oplossing voor de beperkte ruimte en materiaal schaarste in Nederland	13.
Integratie van oplossen materiaal schaarste in opleidingen als voorbereiding op een duurzame toekomst	14.
Materiaal schaarste: Een uitdaging die we kunnen verminderen	15.
Literatuurlijst	16.





# INLEIDING

Welkom bij deze brochure over materiaal schaarste en de gevolgen daarvan voor facility management, bouwkunde en logistiek. Het onderwerp materiaal schaarste is actueler dan ooit tevoren. Door een combinatie van factoren, zoals de toenemende vraag naar grondstoffen, verstoringen in de toeleveringsketen en de impact van klimaatverandering, is het steeds lastiger om aan voldoende materialen te komen voor de bouw, het beheer en de logistiek van gebouwen.

Deze ontwikkeling heeft grote gevolgen voor professionals die werkzaam zijn in de vakgebieden facility management, bouwkunde en logistiek. Denk bijvoorbeeld aan de uitdagingen die komen kijken bij het onderhoud en beheer van gebouwen met beperkte middelen, de zoektocht naar duurzame alternatieven voor materialen die schaars worden en de noodzaak om efficiënter om te gaan met de beschikbare middelen.

In deze brochure zullen we de opleidingen in facility management, bouwkunde en logistiek vergelijken met dit onderwerp en bespreken wat er binnen deze opleidingen mist. We hopen hiermee een inzicht te bieden in de uitdagingen waar professionals op deze vakgebieden mee te maken hebben en hoe opleidingen kunnen bijdragen aan het oplossen van deze uitdagingen.

# Probleemstelling

Momenteel wordt de wereldeconomie geconfronteerd met een tekort aan grondstoffen en materialen als gevolg van diverse factoren, zoals de COVID-19-pandemie, natuurrampen en geopolitieke spanningen. Baker McKenzie (2021) wijst erop dat deze factoren hebben geleid tot verstoringen in de toeleveringsketens en hogere kosten voor bedrijven en klanten.

Het tekort aan materialen en grondstoffen heeft een bijzonder grote invloed op de logistieke sector, omdat deze verantwoordelijk is voor het vervoeren van goederen van de ene plaats naar de andere. Bedrijven in de logistieke sector worden geconfronteerd met vertragingen in de productie en levering van goederen, evenals hogere kosten voor grondstoffen en materialen, wat kan leiden tot hogere prijzen voor klanten en een lagere winstgevendheid voor de bedrijven zelf (Dorri & Elizondo Azuela, 2020; Sawhney & Kumar, 2021).

Ondertussen hebben bouwbedrijven moeite om voldoende bouwmaterialen en grondstoffen te vinden, waardoor projecten worden vertraagd of zelfs stilgelegd. Dit tekort aan grondstoffen en materialen heeft ook een domino-effect op facility management, omdat het onderhoud en de renovatie van gebouwen hierdoor in het gedrang komen. De stijgende kosten van materialen en grondstoffen zorgen ervoor dat bouwbedrijven hogere prijzen moeten vragen voor hun diensten en dat facility management bedrijven hun budgetten moeten herzien om de nodige werkzaamheden te kunnen uitvoeren (Bleischwitz, Dittrich, Pierdicca, & Tercero Espinoza, 2021).

Het is daarom van cruciaal belang dat de bouw- en facility managementsector proactief omgaat met deze uitdagingen en alternatieve oplossingen vinden om projecten op tijd en binnen budget af te ronden. Het rapport van Baker McKenzie (2021) stelt dat bedrijven veerkrachtige toeleveringsketens moeten opbouwen om de risico's van materiaalschaarste te beperken. Daarnaast benadrukt Sawhney en Kumar (2021) het belang van risicobeheer en het ontwikkelen van strategieën voor supply chain-resilience om te kunnen omgaan met de onzekerheid in de huidige omgeving.



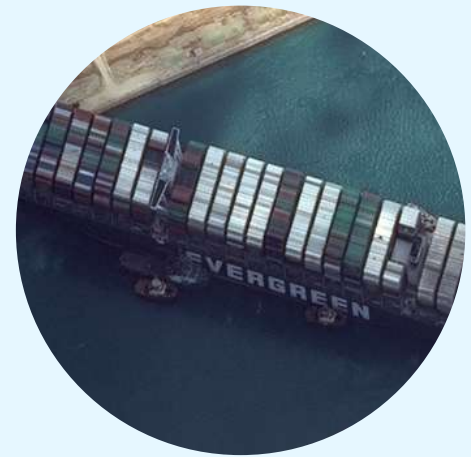
# Oorzaak materiaal schaarste

Er zijn verschillende oorzaken voor materiaal schaarste. Een belangrijke oorzaak is de toenemende vraag naar materialen, met name in opkomende economieën zoals China en India. Dit leidt tot een hogere druk op de beschikbaarheid van grondstoffen zoals metalen, mineralen en fossiele brandstoffen. (Graedel, 2015)

Daarnaast speelt de verstoring van de toeleveringsketen een rol bij materiaalschaarste. Natuurrampen, politieke instabiliteit en handelsbelemmeringen kunnen ervoor zorgen dat de productie en levering van materialen wordt vertraagd of zelfs stilgelegd. (PwC, 2021)

Een andere factor die bijdraagt aan materiaal schaarste is de impact van klimaatverandering. Door bijvoorbeeld droogte en overstromingen kunnen er tekorten ontstaan in de beschikbaarheid van bepaalde grondstoffen, zoals water. (UNEP, 2019)

Ten slotte speelt ook de manier waarop we omgaan met materialen een rol bij materiaal schaarste. Onze huidige lineaire economie, waarin we grondstoffen gebruiken en weggooien, leidt tot een inefficiënt gebruik van materialen. Een circulaire economie, waarin grondstoffen zoveel mogelijk worden hergebruikt en afval wordt geminimaliseerd, kan bijdragen aan het verminderen van materiaal schaarste. (Ellen MacArthur Foundation, 2021)



# Hoe kan Bouwkunde materiaal schaarste verminderen?

Vanuit bouwkunde zijn er 4

verschillende mogelijke oplossingen:

**A. Door minder schaarse materialen te kiezen.**

**B. Te kiezen voor Modulaire bouw.**

**C. Gebruik te maken van herbruikbaar materiaal.**

**D. Demontabel te bouwen.**

## • Mogelijke oplossing A

**De opbouw nu?** De meeste hallen/warehouses worden nu gebouwd met als basis beton en staal voor de constructie. De wanden worden gemaakt van gevelelementen. Gevelelementen zijn sandwichpanelen die worden opgebouwd uit drie lagen. Een isolatiemateriaal in het midden, met aan beiden zijden een laag staal of aluminium. De keuze in isolatiemateriaal kan verschillende materialen omvatten, van minerale wol tot PIR. De fundering zal vaak uit beton bestaan.

**Wat is het minst schaarse constructiemateriaal?** Hout is het minst schaarse constructiemateriaal, hout is een hernieuwbaar materiaal dat kan worden geogst. Beton en staal zijn materialen die echter niet hernieuwbaar zijn en vereisen aanzienlijke energie en middelen om te produceren. Om materiaal schaarste te omzeilen zal er ook gebruik gemaakt kunnen worden van afvalmateriaal van gesloopte gebouwen. (Home | Forest Stewardship Council, 2021.)

## • Mogelijke oplossing B

Een modulaire constructie is een bouwmethode, waarbij een gebouw wordt gebouwd uit verschillende geprefabriceerde modules. Deze modules komen op de bouwlocatie aan en worden meteen met de kraan samengevoegd. Dit versnelt een bouwproces ten opzichte van traditioneel bouwen. Dit zorgt voor minder materiaalverbruik, bij traditioneel bouwen gebruik je veel resthout om iets te kunnen bouwen, wat vaak weer afval wordt. Maar bij modulaire bouw wordt deze afvalstroom veel meer beperkt. Door de prefabricatie worden componenten tot in de millimeter in de fabrieken geproduceerd, waardoor er bijna tot geen materiaal verloren gaat. Dit lost niet op dat de constructie nog steeds van beton of staal moet worden gemaakt, wat wel schaarse materialen zijn. Dus lost modulair bouwen alleen op dat niet teveel materiaal wordt ingekocht, wat verspilling voorkomt.



## • Mogelijke oplossing C

Herbruikbare materialen zijn materialen die opnieuw kunnen worden gebruikt. Bijvoorbeeld als er een gebouw wordt gesloopt, kunnen materialen uit dit gebouw hergebruikt worden voor nieuwbouw. Voorbeelden van deze materialen zijn hout, glas, beton, metaal en kunststof. Als je de materialen in gehele componenten hergebruikt (zoals een houten balk of een metalen ligger) beperk je het afval van de sloop. Bovendien kunnen deze bij het weggooien worden gerecycled, waardoor de levensduur van het materiaal alsnog wordt verlengd. Dit is een tak van Circulair Bouwen.

Voor een Warehouse zullen gebruikte staalconstructies goed van pas komen, houten balken kunnen ook hergebruikt worden vanuit gebouwen die gesloopt worden. Hierbij moeten de hergebruikte delen nog wel sterk genoeg zijn om een constructie te kunnen dragen en daarbij vanzelfsprekend voldoen aan de regelgeving.

Nog voorbeeld is gebruik maken van herbruikbare isolatie. Cellulose wordt gemaakt van gerecyclede kranten en karton, wat cellulose dus ook een product maakt gebaseerd op hergebruikte materialen. Deze toepassingen hebben allemaal als doel om de impact van het milieu te verminderen. (Cellulosic Fibres - Heddels, 2015)

### Hoe kan herbruikbaar materiaal materiaal schaarste verminderen?

Door minder afvalmaterialen naar de vuilverbrandingsinstallaties te sturen wordt er minder verbrandt, wat zorgt voor minder uitstoot van broeikasgassen. Ook zijn er minder nieuwe materialen nodig, wat scheelt in kosten, leveringstijden en waarmee je verdere problemen voorkomt in het bouwproces.

## • Mogelijke oplossing D

**Demontabel bouwen?** Dit is een bouwmethode, waarbij gebouwen worden ontworpen en gebouwd dat ze gemakkelijk gedemonteerd kunnen worden. Dit gebouw zal met deze gedemonteerde componenten ergens anders weer opgebouwd kunnen worden. Eventueel zullen de componenten een recycleproces kunnen doorgaan als ervoor wordt gekozen om het gebouw niet opnieuw op te bouwen.

Om demontabel te bouwen, moet er ook demontabel ontworpen worden en materiaal worden voorgeschreven wat wel demontabel is. In de fabriek worden deze modules al geproduceerd en wordt daarbij goed nagedacht over hoe onderdelen aan elkaar verbonden worden. Schroefverbindingen gebruiken in plaats van lassen en lijmen.

**Hoe kan het helpen materiaal schaarste te verminderen?** Omdat het demontabel bouwen geen vraag naar nieuwe materialen heeft. Als een gebouw wordt gedemonteerd kan het op een andere plek weer worden opgebouwd zonder nieuwe materialen te hoeven gebruiken. Wat automatisch leidt naar minder afval. Op de lange termijn kan dit bijdragen aan het verminderen op de druk op natuurlijke hulpbronnen en het verminderen van de impact op het milieu. (Gebouwd, 2022.)

# Hoe kan Facility Management materiaal schaarste verminderen?

- A. *Recyclen*
- B. *Voorraadbeheersystemen*
- C. *Delen van materialen*

- **Mogelijke oplossing A**

Binnen Facility Management speelt duurzaamheid een grote rol. Hierbij is recyclen een groot onderwerp. De voorraad van grondstoffen zoals olie, gas, mineralen en metalen krimpt. Hierdoor is het onzeker hoeveel er nog uit de aarde gehaald kan worden in de komende jaren.

Een van de oplossingen zou recycling kunnen zijn. Hiermee gebruik je kostbare materialen opnieuw. Recyclen kan met afval door het te scheiden, maar dit kan ook met materialen en chemische stoffen. Door het scheiden en recyclen van afval en materialen, kunnen deze weer hergebruikt worden voor andere nieuwe producten. (Stichting Vlakglas Recycling Nederland, z.d.).

- **Mogelijke oplossing B**

Binnen Facility Management zijn FMIS erg bekend. FMIS staat voor Facility Management Informatie Systeem. Het is een tool om inzicht te krijgen in het resultaat van een organisatie, dienstverleningsprocessen te bevorderen en de klanttevredenheid of klantbeleving te stimuleren. In een FMIS kan je ook een overzicht maken van je voorraden. Hierdoor kan je in een oogopslag zien welke producten nog op voorraad zijn en welke producten je bij moet bestellen. Omdat je precies kan zien welke materialen je niet hoeft te bestellen voorkom je verspilling van materialen. (Heinontwerpt, 2023)

- **Mogelijke oplossing C**

Het delen van materialen kan een effectieve oplossing zijn voor organisaties die te maken hebben met materiaal schaarste. Door het delen tussen afdelingen of locaties kunnen organisaties het materiaal verbruik verminderen en de kosten verlagen. Het kan ook leiden tot meer efficiëntie en minder verspilling.

Het delen van materialen kan bijvoorbeeld door het delen van een magazijn met andere afdelingen. In plaats van een magazijn voor elke afdeling. Een centraal magazijn voor meerdere afdelingen kan ook leiden tot efficiënter voorraadbeheer, minder verspilling en lagere kosten.



# Hoe kan Logistieke bijdrage materiaal schaarste verminderen?

Logistiek speelt een belangrijke rol in het verminderen van materiaalschaarste binnen de verschillende sectoren. Een efficiëntere logistiek kan leiden tot minder transportbewegingen en minder materiaalverspilling. Dit kan worden bereikt door bijvoorbeeld het bundelen van zendingen of het gebruik van efficiëntere transportmiddelen.

Een goed voorraadbeheer kan ook bijdragen aan het verminderen van materiaalschaarste. Door een betere afstemming op de vraag kan overproductie worden voorkomen en kan er minder verspilling van grondstoffen plaatsvinden. Daarnaast kan logistiek bijdragen aan het efficiënter hergebruiken en recyclen van materialen. Door het organiseren van retourstromen van gebruikte materialen of producten naar de producent of fabrikant, kan er efficiënter worden omgegaan met grondstoffen.



Een goed voorraadbeheer kan ook bijdragen aan het verminderen van materiaalschaarste. Door een betere afstemming op de vraag kan overproductie worden voorkomen en kan er minder verspilling van grondstoffen plaatsvinden. Daarnaast kan logistiek bijdragen aan het efficiënter hergebruiken en recyclen van materialen. Door het organiseren van retourstromen van gebruikte materialen of producten naar de producent of fabrikant, kan er efficiënter worden omgegaan met grondstoffen.

Logistiek kan ook bijdragen aan het verminderen van materiaalschaarste door te kiezen voor duurzame transportmiddelen en energiebronnen. Hierbij kan worden gedacht aan het gebruik van elektrische voertuigen of duurzame energiebronnen zoals zonne- of windenergie.

Een circulaire supply chain kan ook bijdragen aan het verminderen van materiaalschaarste. Logistiek speelt hierin een belangrijke rol bij het organiseren van de terugname van gebruikte producten en materialen en het transporteren hiervan naar de plekken waar ze hergebruikt, gerepareerd of gerecycled kunnen worden.

Het optimaliseren van productieprocessen kan ook bijdragen aan het verminderen van materiaalschaarste. Hierbij kan logistiek helpen door het organiseren van de aan- en afvoer van materialen en het minimaliseren van verspilling in het productieproces.

Ten slotte kan logistiek bijdragen aan het verminderen van materiaalschaarste door samen te werken met leveranciers. Door afspraken te maken over duurzame materialen en efficiënte transportmethoden, kan er gezamenlijk worden gewerkt aan het verminderen van materiaalverspilling en het efficiënter omgaan met grondstoffen.

Kortom, logistiek kan op verschillende manieren bijdragen aan het verminderen van materiaalschaarste. Door een efficiëntere en duurzamere logistiek te hanteren, kan er efficiënter worden omgegaan met grondstoffen en kan er worden bijgedragen aan een duurzamere en meer circulaire economie.







# Bridging the Gap: Opleiding en materiaal schaarste

## Logistiek

Binnen de logistieke opleiding wordt voornamelijk gefocust op recente innovaties en oplossingen om materiaal schaarste tegen te gaan. Er wordt echter nog weinig gekeken naar de toekomst en hoe de behoeften aan materialen en grondstoffen zich kunnen ontwikkelen. Dit is een belangrijk aspect om mee te nemen in het ontwikkelen van duurzame oplossingen voor de lange termijn.

Het is daarom van belang dat we ons als logistieke studenten ook verdiepen in toekomstige ontwikkelingen en behoeften en hierop anticiperen bij het ontwikkelen van duurzame oplossingen. Dit kan bijvoorbeeld door het doen van onderzoek naar de verwachte trends en behoeften in de markt en het ontwikkelen van innovatieve oplossingen die hierop inspelen. Door verder te kijken dan alleen de huidige situatie, kunnen we bijdragen aan een duurzamere toekomst en de impact van materiaal schaarste verminderen.

## Bouwkunde

Vanuit de opleiding Bouwkunde is materiaal schaarste zelf geen onderdeel dat behandeld wordt. De bouwkunde studenten hoeven in de opdrachten die gemaakt worden geen rekening gehouden met de oorsprong van materialen, waar ze vandaan komen en/of ze schaars zijn. Wel wordt er bij Bouwkunde les gegeven over duurzaamheid in de bouw. Studenten kunnen keuzes maken in duurzame toepassingen, zoals duurzame materialen of bouwmethodes. Dit is al snel goed als de studenten goed onderbouwen waarom iets gekozen is, maar niet verplicht. Het maakt daarbij alleen uit of een materiaal dat gekozen wordt geen slechte impact heeft op het milieu, herbruikbaar is of biobased. Ze hoeven niet te onderbouwen in welke mate een materiaal schaars is, of wat de keuze in materialen met de kosten van een gebouw doet.

Er worden genoeg manieren beschreven hoe je duurzaam kan bouwen en met zo weinig mogelijk afvalmateriaal, zoals een demontabele of modulaire bouwmethode. Er wordt hierbij niet uitgelegd hoe je nu echt in de praktijk een gebouw demontabel kan ontwerpen en bouwen. Zodra een bouwkundestudent de opleiding afrond en gaat werken, zal hij of zij geen idee hebben wat er allemaal echt speelt in de praktijk. Wat de problemen zijn komt wel aan bod, zoals de woningnood en stijgende prijzen, maar er wordt niet zo uitgebreid verteld over wat de oorzaken nu zijn en hoe je het probleem mogelijk op kan lossen in de toekomst. Hierdoor komt ook het onderwerp materiaal schaarste niet naar voren. Wij leren het alleen als een begrip en leren niet de gevolgen ervan.

Wat bij de opleiding mist is de voorbereiding op de echte praktijkproblemen en verdere sturing hoe je oplossingen die de opleiding voorlegt ook echt uit kan voeren. Dit zal je pas echt gaan leren als je ervaring opdoet bij een bouwplaats.

## Facility Management

Facility Management houdt zich bezig met het ondersteunen van het primaire proces. Hierbij wordt gekeken hoe de geleverde toegevoegde waarde het grootst is. Bij FM wordt er veel focus gelegd op kantoorpanden, ziekenhuizen en scholen. veel sectoren zoals bijvoorbeeld de logistieke sector worden hierin vergeten.. Binnen FM zijn duurzaamheid en klimaat grote onderwerpen.

Bij de opleiding wordt er vooral aandacht besteed aan soft services, dit zijn bijvoorbeeld diensten zoals catering, schoonmaak en beveiliging. Er is weinig aandacht voor hard services zoals huisvesting.

Binnen de opleiding Facility Management wordt de focus gezet op duurzame innovaties. Dit sluit heel erg aan bij het werkveld. Echter ligt er wel een groot verschil. Er wordt namelijk bij de opleiding niet veel aandacht besteed aan het maken en implementeren van deze innovaties. Zo wordt er geen aandacht gevestigd op de materialen die gebruikt worden het product te maken. Hierdoor wordt materiaal schaarste vaak vergeten.



# Is materiaal schaarste op te lossen?

Materiaal schaarste is een groeiend probleem dat wordt veroorzaakt door de groeiende wereldbevolking en de beperkte hoeveelheid natuurlijke hulpbronnen (Cui et al., 2021). Het is een probleem dat niet gemakkelijk kan worden opgelost, omdat er simpelweg maar zoveel materiaal beschikbaar is. Materialen zoals staal en metaal zijn onmisbaar in onze moderne samenleving, en het is dan ook zorgwekkend dat er steeds minder van deze materialen beschikbaar zijn (Rashed, 2020).

Er zijn verschillende oorzaken voor materiaal schaarste, waaronder de groeiende wereldbevolking, de toenemende industrialisatie en de groeiende vraag naar consumptiegoederen (Cui et al., 2021). Al deze factoren zorgen ervoor dat er meer materiaal nodig is, terwijl de voorraden van deze materialen steeds kleiner worden. Dit leidt tot een tekort aan grondstoffen en een stijging van de prijzen (Rashed, 2020).

Een ander probleem is dat de winning van grondstoffen steeds moeilijker en duurder wordt naarmate de voorraden kleiner worden. Veel van de gemakkelijk te winnen grondstoffen zijn al opgebruikt en er moeten steeds meer technologisch geavanceerde en kostbare methoden worden gebruikt om nieuwe bronnen te vinden en te exploiteren (Liu et al., 2018). Dit maakt de winning van grondstoffen minder efficiënt en duurder, waardoor de prijzen van materialen zullen blijven stijgen.

Kortom, materiaal schaarste is een groeiend probleem dat wordt veroorzaakt door een combinatie van factoren, waaronder de groeiende wereldbevolking, de toenemende industrialisatie en de groeiende vraag naar consumptiegoederen (Cui et al., 2021). Dit probleem zal niet gemakkelijk op te lossen zijn, omdat er simpelweg maar zoveel materiaal beschikbaar is en de vraag alleen maar zal blijven toenemen. Daarom is het belangrijk dat we als samenleving nadenken over manieren om onze grondstoffen efficiënter te gebruiken en te zoeken naar alternatieven voor materialen die schaars worden.





# De toekomst van warehouse-constructie: True costing als leidend principe

## Wat is True Costing?

True costing is een methode van kostenberekening die niet alleen rekening houdt met de directe kosten, maar ook met de indirecte kosten die samenhangen met het gebruik van materialen en grondstoffen (Ramanathan, 2018). Dit omvat de kosten voor milieuschade, maatschappelijke impact en andere indirecte kosten die voorheen niet werden meegenomen in de traditionele kostenberekening. Door deze indirecte kosten mee te nemen in de totale kostenberekening, krijgen bedrijven een beter inzicht in de werkelijke kosten van hun activiteiten en kunnen ze duurzamere beslissingen nemen (Ramanathan, 2018). True costing wordt steeds belangrijker in een wereld waar duurzaamheid en maatschappelijke verantwoordelijkheid steeds meer op de voorgrond treden.

## True Costing: De sleutel tot duurzame warehouses in tijden van materiaal schaarste

Met de toenemende materiaalschaarste wordt het steeds uitdagender om warehouses te bouwen op een kosteneffectieve manier. Traditionele methoden van kostenberekening zijn niet langer voldoende om een nauwkeurig beeld te geven van de werkelijke kosten van het gebruik van materialen en grondstoffen. Hoewel true costing kan helpen bij het nemen van duurzame beslissingen, kan het leiden tot hogere kosten voor het bouwen van warehouses. Bedrijven moeten nu rekening houden met de indirecte kosten die voorheen niet werden meegenomen in de kostenberekening. Hierdoor kan het gebruik van duurzame materialen en bouwmethoden duurder zijn dan traditionele methoden (Güemes-Castro et al., 2021).



De uitdagingen die materiaalschaarste met zich meebrengt, dwingen bedrijven in de warehouse-industrie om hun bouwmethoden en materialen te herzien. In plaats van te zoeken naar goedkopere opties, moeten bedrijven zich richten op duurzame en hernieuwbare materialen en op meer efficiënte bouwmethoden die minder afhankelijk zijn van grondstoffen en energie (Güemes-Castro et al., 2021). Daarnaast moeten bedrijven ook rekening houden met de levensduur van de materialen en hun impact op het milieu, aangezien dit ook indirecte kosten met zich meebrengt (Zhang et al., 2020).

Hoewel True Costing een belangrijk hulpmiddel kan zijn om bedrijven te helpen bij het nemen van duurzame beslissingen, kan het ook leiden tot hogere kosten voor het bouwen van warehouses. Dit kan bedrijven dwingen om te zoeken naar alternatieve oplossingen, zoals het delen van opslagruimte met andere bedrijven of het gebruik van modulaire en verplaatsbare opslagunits. Hierdoor kunnen bedrijven kosten besparen op de lange termijn en tegelijkertijd hun impact op het milieu verminderen (Güemes-Castro et al., 2021).

In de toekomst zal true costing waarschijnlijk een grotere rol spelen in de warehouse-industrie, omdat bedrijven steeds meer aandacht besteden aan duurzaamheid en maatschappelijke verantwoordelijkheid. Hoewel het gebruik van duurzame materialen en efficiënte bouwmethoden kosten met zich meebrengt, kan het op de lange termijn juist kosten besparen en zorgen voor een meer duurzame en verantwoorde warehouse-industrie. Bedrijven moeten zich bewust zijn van de uitdagingen van materiaal schaarste en de impact van hun keuzes op het milieu en de maatschappij.

## Materialen van de toekomst

De meest vanzelfsprekende manier om materiaal schaarste aan te pakken is het toepassen van materialen die hernieuwbaar zijn. Dit heeft minder impact op het milieu en er wordt meer gebruikt gemaakt van natuurlijke bronnen. Er zijn nog steeds materialen in ontwikkeling die in de toekomst steeds meer gebruikt gaan worden die ervoor kunnen zorgen dat de ballast op bronnen die wel uitputbaar zijn minder wordt.

## Bamboehout

Hout is zoals bekend een hernieuwbaar materiaal en het meest duurzaam van de constructiematerialen. Bamboe is ook een houtsoort en kan zeer goed gaan bijdragen aan het verminderen van materiaal schaarste. Bamboe is snelgroeiende plant die in grootte hoeveelheden kan worden geproduceerd en geoogst zonder de natuurlijke bronnen uit te putten. Er wordt al redelijk wat met bamboe gebouwd, maar in Nederland minder omdat veel bouwvoorschriften en normen nog gefocust zijn op traditionele bouwmaterialen.

In de toekomst zullen er met de CO2 en stikstof wetten toch maatregelen komen om duurzamer te gaan bouwen. Op dat moment kan bamboehout goed inspringen en een materiaal worden wat zeer belangrijk is in de circulaire economie.

Dit materiaal kan op de volgende manieren helpen om een warehouse duurzamer te maken. Bamboe kan traditionele bouwmaterialen gemakkelijk vervangen. Het kan worden gebruikt voor afwerkingen voor vloeren plafonds, scheidingswanden en zelfs meubels.

Het is esthetisch en geeft een warme, natuurlijke uitstraling om een duurzame en unieke sfeer te creëren dat niet altijd lukt met traditionele materialen. (Janssen, n.d.)

## Brownfields

Brownfields bevatten ook een oplossing qua materiaalgebruik. In de toekomst zal bouwen op een brownfield verplicht worden door het gebrek aan ruimtes (greenfields) voor warehouses. Dit kan helpen door het grootste deel materialen van het gesloopte gebouw op het brownfield te hergebruiken voor het nieuwe gebouw. Dit zou weer bijdragen aan het verminderen van materiaalschaarste.

## Mycelium

Duurzame isolatiematerialen zijn er in vele soorten en maten, maar één stijgt erboven uit. Mycelium isolatie is al jaren in ontwikkeling, maar wordt de laatste tijd meer gebruikt als isolatiemateriaal. Mycelium is een ondergronds netwerk van schimmeldraden dat uiteindelijk paddenstoelen produceert. Zeer duurzaam bouw materiaal doordat het biologisch afbreekbaar is en het materiaal van hernieuwbare bron komt.

Het materiaal is geschikt voor een Warehouse, omdat het zowel thermische als geluidsisolerende eigenschappen heeft. Mycelium wordt nu nog niet in grote mate geproduceerd, maar zal in de nabije toekomst ernstig stijgen in populariteit, vanwege duurzaamheidseisen. Hoe kan je dit toe passen in een Warehouse om het gebouw circulair te maken. Het kan gebruikt worden als alternatieve isolatie voor de wanden en het dak. Dit zal je bijvoorbeeld kunnen verwerken in sandwichpanelen die je voor de bouw gebruikt. Ook kan mycelium dienen als verpakkingsmateriaal. Het is sterk en zeer veerkrachtig, wat het materiaal bestand maakt tegen schokken en trillen. Ideale keuze voor transport en ook nog eens duurzaam, composteerbaar materiaal. (Bearne, 2023)



# Blik op de toekomst - 3D-printen

Nieuwe innovaties en technologieën hebben ervoor gezorgd dat er een nieuwe industriële revolutie is ontstaan. Dit brengt niet alleen nieuwe uitdagingen met zich mee, maar ook een verandering van de wijze waarop producten worden gemaakt. Mede door materiaal schaarste zal er gekeken moeten worden naar hoe producten gemaakt kunnen worden op een zo duurzaam mogelijk proces. Een van de nieuwe innovaties is 3D-printen. Het is een vrij recente ontwikkeling die ervoor zorgt dat de productie industrie en logistieke sector op het punt staan om te veranderen. (Mecalux, 2022a)

## Wat is een 3D-printer?

Een 3D-printer is een apparaat waarmee replica's van 3D modellen kunnen worden gemaakt. Het produceert dus een driedimensionaal model van een eerder gemaakt digitaal model. De functies van een 3D-printer en een normale printer lijken erg op elkaar. Ze ontvangen beide van een digitaal document informatie over wat afgedrukt moet worden. Het verschil is dat de 3D-printer materiaal toevoegt waardoor het object driedimensionaal wordt. (Mecalux, 2022b)

De printer maakt een voorwerp door laag voor laag materiaal toe te voegen. Dit kan plastic, keramiek of metaal zijn. De printer kan van alles maken, toch zijn de producten licht, maar ook sterk en duurzaam. Bovendien worden alleen de noodzakelijke materialen gebruikt, waardoor afval en vervuilingen worden voorkomen. 3D-printen is dus ook goed voor het milieu. (Llowlab, 2023)

## 3D-printen in de logistiek

Het grootste potentieel van 3D-printer is het vereenvoudigen van productieprocessen. Hierdoor worden de processen geoptimaliseerd en worden de levertijden verkort. In de huidige situatie zijn er in veel magazijnen grote voorraden grondstoffen of onderdelen opgeslagen, die klaar staan om naar de productielijnen te worden gestuurd wanneer ze nodig zijn. Bij 3D-printing daarentegen is het niet nodig om zoveel goederen op voorraad te hebben, aangezien onderdelen op bestelling kunnen worden geprint. 3D-printers kunnen daardoor dus bijdragen aan de snelheid en veiligheid van de productieprocessen. (Mecalux, 2022b)

Verschillende sectoren zullen veel baat hebben bij deze verandering, omdat deze sectoren een zeer flexibele logistiek en een just-in-time systeem nodig hebben. Dit houdt in, dat de juiste grondstoffen of producten, op het juiste moment, op de juiste plaats worden afgeleverd. Hiervoor moeten ze optimaal samenwerken met leveranciers. Vertragingen in de leveringen leiden tot kostbare onderbrekingen van de productieprocessen, die te allen tijde moeten worden vermeden. (Mecalux, 2021)

3D-printen kan zeker leiden tot een omslag in de logistiek en goederen transport. Aan de ene kant zal de transfer van bepaalde producten afnemen, deze zouden bijvoorbeeld bij de productielijn geproduceerd kunnen worden. Aan de andere kant zal het verbruik van materiaal om te printen toenemen. Naarmate 3D-printers toegankelijker worden voor het grote publiek, zal de markt voor levering van materialen aan huis toenemen. (Mecalux, 2022b)

## Voor- en nadelen

Het gebruik van 3D-printers in de logistiek zou enkele voordelen met zich mee kunnen brengen. (Mecalux, 2022b)

- Minder voorraden: Productie op bestelling verlaagt de opslagkosten. Zo worden alleen noodzakelijke materialen en nieuw vervaardigde producten, gedurende een beperkte periode, opgeslagen. Totdat ze naar de klanten worden verzonden.
- Beter gebruik van de beschikbare ruimte: De voorraad wordt verkleind en daarmee ook de benodigde opslagruimte, wat een groot voordeel is voor kleine en middelgrote bedrijven.
- Minder transport: Het printen van een product vergt niet veel ruimte. Dit proces kan derhalve worden uitgevoerd in elke faciliteit dicht bij de klant. Bovendien wordt bij de levering van de goederen een kortere afstand afgelegd en is bijgevolg minder vervuiling.
- Snellere en meer tijdige leveringen: Bij traditionele producties, doorlopen producten meerdere stadia alvorens bij de eindklant aan te komen. 3D-printers daarentegen vereenvoudigen het productieproces van producten aanzienlijk, waardoor ze sneller beschikbaar zijn en binnen de kortst mogelijke tijd kunnen worden geleverd.

Ook al heeft 3D-printing veel voordelen, de technologie heeft ook enkele nadelen. (Mecalux, 2022b)

- Een technologie in ontwikkeling: Tegenwoordig worden de toepassingen en functies van 3D-printen onderzocht en ontwikkeld. Het is nog geen technologie die voldoende wijdverspreid of geconsolideerd is op de markt.
- Beperkte productomvang: Afhankelijk van de grootte van het model van een 3D-printer, kunnen voorwerpen van verschillende groottes worden gemaakt.
- Tijd die nodig is voor 3D-printen: Afhankelijk van de kenmerken van het betrokken voorwerp varieert de tijd voor 3D-printen, tussen tien minuten en twee uur. Bovendien hebben de onderdelen tijd nodig om af te koelen.
- Hoge kosten: Momenteel is de prijs van 3D-printers aan de hoge kant en daar komen de kosten van materialen, opleiding en onderhoud nog bij.

3D-printen kan op verschillende manieren bijdragen aan het verminderen van materiaal schaarste. Een 3D-printer kan zoals eerder genoemd, heel veel verschillende producten maken. Echter worden alleen de noodzakelijke materialen gebruikt. Hierdoor voorkom je afval en verspilling van kostbare producten. Hierdoor zijn er ook minder grote voorraden nodig van de kostbare grondstoffen die gebruikt worden. Ook kunnen er andere materialen gebruikt worden zoals keramiek, dit wordt gemaakt van klei. Dit is een grondstof die overal te vinden is en daarom ook niet schaars is.

# Blik op de toekomst - Prefabricage



Prefabricage of prefab zijn woorden die regelmatig in de techniek worden gebruikt. Prefabricage houdt in dat producten in een werkplaats worden gemaakt in plaats van de locatie waar de producten moeten worden gebruikt. Prefab wordt onder andere toegepast op de bouw en in de werktuigbouwkunde. Het bouwen van huizen, fabrieken en utiliteit is niet eenvoudig. Men werkt in de buitenlucht en deze buitenlucht is niet altijd voorzien van de optimale weersomstandigheden. Dit zorgt er voor dat de bouw stil zou komen te liggen of langzamer zou verlopen wanneer de weersomstandigheden erg slecht zouden zijn. Prefabricage in de bouw is daarvoor een goede oplossing.

Deze werkwijze zorgt er voor dat een groot deel van de bouw van een huis of utiliteitspand onder optimale omstandigheden kan worden gedaan. Dit bespaart tijd en geld. Prefabelementen kunnen van hout of beton zijn gemaakt. Ook kan gebruik worden gemaakt van gemetselde elementen.

De voorbereidingsfase van prefab bouwen vereist over het algemeen wel meer tijd. Dit komt omdat men de elementen van te voren vervaardigd en niet op de bouw zelf. (Geertsma, 2014)

Prefabricage kan ook bijdragen aan het verminderen van materiaalschaarste. Doordat de onderdelen vooraf precies op maat worden gemaakt, verbruik je minder materiaal. Hierdoor voorkom je dus verspilling van kostbare materialen.

## Voordelen (Zimmo redactie, 2018)

- De bouwtijd van een prefab woning is veel korter dan die van een traditionele woning.
- De kosten voor prefab bouwen liggen lager dan traditioneel bouwen.
- De prijs staat vooraf vast. Omdat de woning in een atelier wordt gemaakt, is de kans op onverwachte bijkomende kosten erg klein.
- Dankzij de geconditioneerde werkomstandigheden in een atelier is de kwaliteit erg constant.
- De meeste prefabsystemen scoren erg goed op luchtdichtheid.
- Er ontstaat nagenoeg geen werfafval.

## Nadelen (Zimmo redactie, 2018)

- Je hebt iets minder mogelijkheden dan bij een klassieke woning.
- De kant-en-klare wanden vereisen in de meeste gevallen uitzonderlijk transport. Op smalle wegen kan dat wel eens voor de nodige problemen zorgen.
- Voor de montage is altijd een kraan nodig. Het stuk bouwgrond moet dus goed toegankelijk en voldoende groot zijn.
- In tegenstelling tot traditionele bouwmethodes is het nagenoeg onmogelijk om op de werf nog aanpassingen door te voeren.
- Achteraf nog extra elektriciteitsleidingen leggen kan, maar is moeilijker.



# Drones en duurzame logistiek: Een oplossing voor de beperkte ruimte en materiaal schaarste in Nederland

De bevolkingsgroei in Nederland zet door en daardoor komt er steeds minder ruimte beschikbaar voor het bouwen van warehouses. Dit is een uitdaging voor bedrijven die afhankelijk zijn van logistieke processen en voorraden. Naast de bevolkingsgroei spelen ook andere factoren zoals politieke besluitvorming, natuurbescherming en veranderende behoeften van de markt een rol in het beperken van de beschikbare ruimte (Kuijpers, 2020).

De beperkte ruimte in Nederland betekent dat bedrijven creatieve oplossingen moeten vinden om hun logistieke processen te optimaliseren. Eén van de oplossingen is het bouwen van kleinere warehouses en het gebruik van hubs en spokes van duurzame materialen, die worden bevoorrad door middel van drones. Door het gebruik van deze oplossingen kunnen bedrijven hun logistieke processen efficiënter inrichten en kosten besparen op de lange termijn (Van Laar, 2019).

## Hoe kunnen Drones bijdragen aan materiaal schaarste?

Drones kunnen in de toekomst een belangrijke rol spelen in het verminderen van de behoefte aan grote warehouses. Door het gebruik van drones kunnen producten op een snellere en efficiëntere manier worden afgeleverd bij de consument, waardoor de leadtime van leveringen verkort wordt. Dit betekent dat bedrijven minder voorraad hoeven aan te houden in hun warehouses, omdat ze snel en gemakkelijk kunnen aanvullen wanneer dat nodig is. Hierdoor worden grote, logge warehouses minder noodzakelijk (Vracking, 2021).

Naast het verminderen van de behoefte aan grote warehouses, kunnen drones ook bijdragen aan een duurzamere logistieke keten. Drones zijn namelijk energiezuiniger dan traditionele vervoersmiddelen, zoals vrachtwagens en vliegtuigen. Ook kunnen drones preciezer navigeren, waardoor ze minder vaak hoeven uit te wijken en daardoor minder tijd en brandstof verbruiken (Zou et al., 2020).

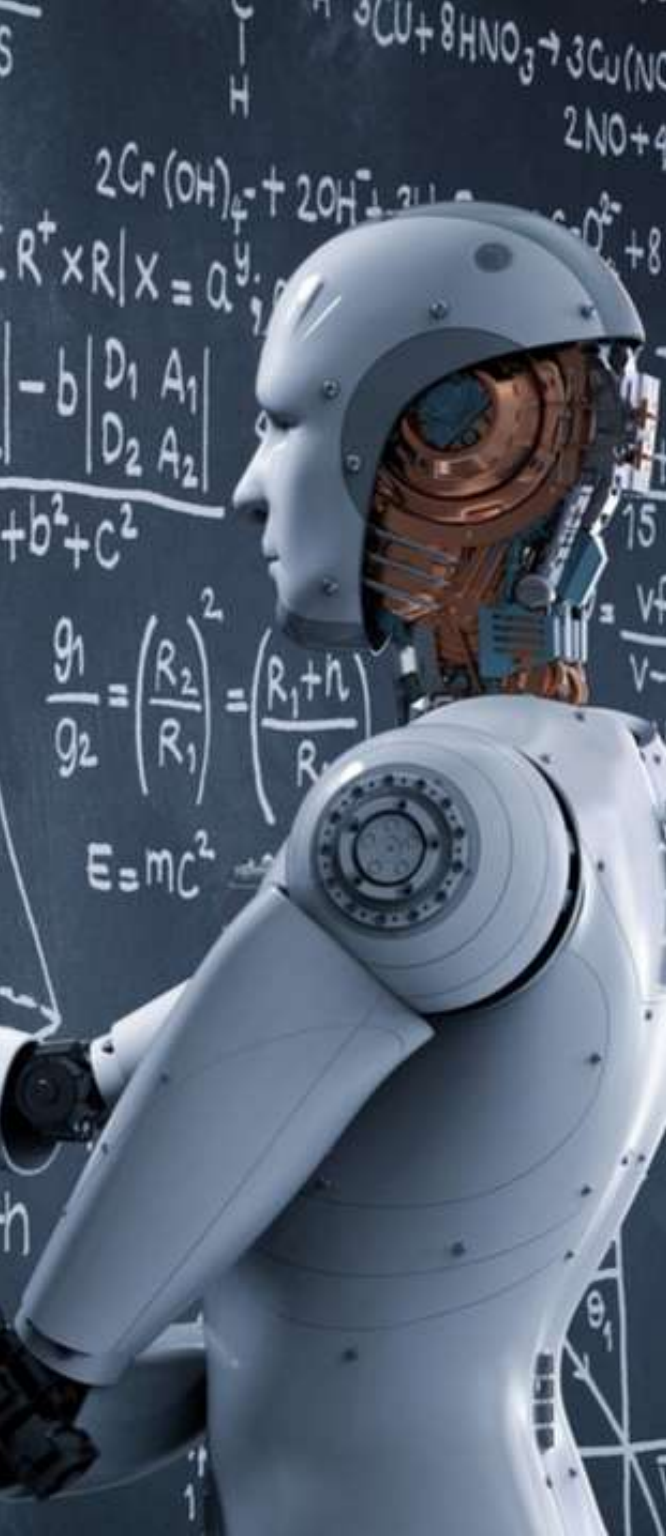
Door het gebruik van drones en kleinere warehouses, kunnen bedrijven dus zorgen voor een duurzamere en efficiëntere logistieke keten. Het verminderen van de omvang van de warehouses kan bijdragen aan het verminderen van het ruimtegebruik en het verminderen van de behoefte aan materiaal voor de bouw en het onderhoud van grote warehouses. Dit kan op zijn beurt bijdragen aan het verminderen van de milieu-impact van de logistieke sector (Zhang et al., 2020).

Hoewel drones al gebruikt worden voor enkele specifieke toepassingen in de logistiek, zoals het leveren van medische benodigdheden en het inspecteren van infrastructuur, zijn er nog wel enkele uitdagingen voordat drones op grote schaal ingezet kunnen worden voor de levering van goederen. Zo moeten de regelgeving en veiligheidsvoorschriften verder ontwikkeld worden en moeten de technische mogelijkheden van de drones nog verbeterd worden. Niettemin wordt er al volop geïnvesteerd in deze technologie en wordt er verwacht dat de inzet van drones in de logistiek in de toekomst alleen maar zal toenemen.

Er zijn momenteel meerdere bedrijven bezig met het ontwikkelen en testen van dronebezorging. Enkele voorbeelden zijn Amazon Prime Air, Alphabet's Wing, UPS Flight Forward en DHL Parcelcopter. Daarnaast zijn er ook diverse start-ups actief op dit gebied. Deze bedrijven hebben allemaal als doel om dronebezorging op grote schaal mogelijk te maken.

Het is daarom mogelijk dat binnen enkele jaren al meer bedrijven op kleine schaal drones gaan inzetten voor hun logistieke processen. Echter, op grote schaal zal nog enige tijd duren vanwege de bovengenoemde uitdagingen. Het kan nog wel tientallen jaren duren voordat drones een dominante rol zullen spelen in de logistieke sector. Het is nog onzeker welke bedrijven uiteindelijk het meest succesvol zullen zijn en op grote schaal dronebezorging gaan implementeren. Toch is het duidelijk dat er veelbelovende ontwikkelingen zijn op het gebied van dronebezorging, en dat dit in de toekomst mogelijk kan bijdragen aan een meer efficiënte en duurzame logistieke sector.





# Integratie van oplossen materiaal schaarste in opleidingen als voorbereiding op een duurzame toekomst

## Bouwkunde

Aan de opleiding bouwkunde wordt geadviseerd om meer aandacht te geven aan het bouwen zonder afval, demontabel bouwen, circulair bouwen. Op de opleiding bouwkunde zijn er 4 uitstroomprofielen, waarvan er één Bouw & Innovatie heet. Hierin wordt specifiek les gegeven op duurzaamheid, innovatief en circulair bouwen.

De andere 3 profielen zijn zeer gericht op het ontwerp, uitvoerbaar en constructie regelgeving. Wat een oplossing kan bieden voor Bouwkunde is door het profiel innovatie te mengen door de drie andere profielen, zodat elk profiel aandacht vestigt op innovatieve bouw in plaats van één uitstroomprofiel. Dit zal de kennis verbreden voor alle bouwkunde studenten en elk student bouwkunde met de opdrachten verplichten om na te gaan denken over innovatieve oplossingen, om indirect ook materiaal schaarste tegen te gaan.

Er wordt te weinig ingegaan op alternatief, duurzaam materiaal gebruik. Omdat het geen verplichting is bij de opdrachten van de opleiding. Bamboe en mycelium materialen worden niet eens benoemd en blijken na onderzoek zeer hernieuwbaar en bruikbaar materiaal te zijn voor de bouwsector. In de lessen worden bouwmethodes wel benoemd die innovatiever zijn dan traditioneel bouwen, maar wordt er niet op ingegaan hoe dit dan moet of werkt. Met de innovatieve kant verweven in de overige profielen kunnen de bouwkunde studenten hun blik verbreden op innovatieve manieren om de bouw te verbeteren.

## Facility Management

Voor de opleiding FM is het advies om meer focus te leggen op de verschillende sectoren waar een FM'er werkzaam is. De focus ligt nu vooral op kantoorpanden, ziekenhuizen en scholen. Maar hierbij worden dus veel sectoren zoals bijvoorbeeld de logistiek sector vergeten. Ook wordt er daarom weinig aandacht besteed aan de innovaties binnen deze sectoren. Hierdoor ontstaat een gat binnen de opleiding.

Bij de opleiding wordt ook veel aandacht besteed aan duurzaamheid en groene energie, maar worden de oorzaken voor het gebruik van duurzaamheid vaak vergeten. Dit zorgt ervoor dat toekomstige FM'ers dus veel weten over nieuwe manieren van werken en energie opwekken, maar niet over de achterliggende gedachten bij het gebruik van duurzaamheid. Materiaal schaarste wordt binnen de opleiding niet genoeg behandeld om als FM'er uitspraken te kunnen doen over het gebruik van verschillende materialen.

Het advies is daarom om meer focus te leggen op de verschillende sectoren waar een facility manager in kan werken en de innovaties binnen deze sectoren, maar ook om meer aandacht te besteden aan de achterliggende gedachten voor het gebruik van duurzaamheid.

## Logistiek management

Binnen de logistieke opleidingen is de laatste jaren steeds meer aandacht besteden aan materiaal schaarste en duurzaamheid. Denk hierbij aan circulaire ketens en duurzame afwegingen maken binnen de opleiding. Dit is een belangrijke ontwikkeling die ervoor zorgt dat studenten worden opgeleid tot duurzame logistieke professionals die rekening houden met de impact van hun werk op het milieu en de natuurlijke hulpbronnen.

Echter, wat betreft de samenhang met andere opleidingen en disciplines is er nog wel wat te verbeteren. Het is namelijk belangrijk om te realiseren dat de logistieke sector niet op zichzelf staat en dat er veel overlap en verbinding is met andere vakgebieden zoals techniek, informatica, economie en duurzaamheid. Daarom is het belangrijk dat de logistieke opleidingen zich niet alleen richten op de logistieke sector op zichzelf, maar ook op de samenhang met andere disciplines.

Daarnaast kan er meer aandacht besteed worden aan de toekomst van de logistieke sector. Het is belangrijk om vooruit te kijken en te anticiperen op toekomstige ontwikkelingen, trends en uitdagingen. Denk bijvoorbeeld aan de groeiende rol van digitalisering en automatisering in de logistieke sector, de verschuiving naar duurzame energiebronnen en de gevolgen van klimaatverandering op de logistieke sector.

Door meer aandacht te besteden aan de samenhang met andere disciplines en de toekomst van de logistieke sector, kunnen studenten worden opgeleid tot toekomstbestendige logistieke professionals die niet alleen rekening houden met de huidige ontwikkelingen, maar ook anticiperen op toekomstige uitdagingen en trends.





# Materiaal schaarste: Een uitdaging die we kunnen verminderen

Materiaal schaarste blijft een groot probleem met veel invloed in de bouw-, opslag- en andere industrieën. Dit probleem is onderzocht vanuit verschillende perspectieven, waaronder bouwkunde, facilitair management en logistiek. Helaas blijkt uit onderzoek dat de toenemende wereldbevolking en het opraken van grondstoffen de materiaal schaarste niet oplossen. Ondanks de inspanningen van de verschillende disciplines om innovatieve oplossingen te vinden, is het nog steeds een uitdaging om de materialen die nodig zijn voor de productie van goederen en infrastructuur te verkrijgen en te behouden.

Er zijn echter enkele trends die in de toekomst kunnen helpen bij het verminderen van de materiaal schaarste.

Een daarvan is de implementatie van hubs, spokes en drones, waardoor transport- en distributieprocessen efficiënter en duurzamer worden. Daarnaast kan het gebruik van 3D-printen helpen bij het verminderen van het materiaalgebruik en de verspilling ervan. Bovendien kunnen innovatieve materialen zoals innovatieve materialen, recyclingmaterialen en slimme materialen ook bijdragen aan het verminderen van de materiaal schaarste. Tot slot kan het invoeren van een "true pricing" systeem, waarbij de echte kosten van grondstoffen worden meegenomen in de prijs, leiden tot een meer efficiënt gebruik van materialen.

Hoewel deze trends de materiaal schaarste niet kunnen oplossen, kunnen ze in de toekomst wel bijdragen aan het verminderen ervan en kunnen ze helpen bij het creëren van duurzame en veerkrachtige industrieën.

Er is één bepaald soort aanpak die relevant kan zijn voor studenten die geïnteresseerd zijn in het werken in de bouw, -facility management en logistieke sector om beter voorbereid te zijn op de problemen van materiaal schaarste in de toekomst. Hoewel deze opleidingen verschillende kenmerken en focusgebieden hebben, is er een gemeenschappelijke behoefte aan meer innovatieve onderdelen binnen deze opleidingen. Om studenten voor te bereiden op de uitdagingen van de toekomst, is het belangrijk dat deze opleidingen een grotere focus gaan leggen op hoe innovatieve manieren/toepassingen kunnen worden gebruikt in verschillende sectoren, waarin zij later werkzaam worden. Door innovatieve onderdelen verplicht te maken tijdens de opdrachten, uitgebreider les te geven en de nadruk op verbetering en innovatie te leggen, kunnen hun kennis verbreden over technologieën en methoden die gebruikt worden in de bouw, facility management en logistieke sector. Ook moet er minder centrale opleiding les gegeven worden, maar moet ook de samenhang van verschillende sectoren worden aangepakt. Op deze manier komen de studenten een stuk meer geïnformeerd van hun opleiding in het werkveld terecht en weten ze veel meer van innovatie en samenhang tussen sectoren af. In combinatie met ervaring die studenten op gaan doen, kunnen ze misschien ook nog achter nieuwe oplossingen komen die kunnen helpen bij het verminderen van materiaalschaarste.

# Literatuurlijst

- BakerMcKenzie. (2021). Global Supply Chains: Navigating COVID-19 and Trade Tensions. BakerMcKenzie. [https://www.bakermckenzie.com/-/media/files/insight/publications/2021/01/global-supply-chains--navigating-covid-19-and-trade-tensions/bakermckenzie\\_gsc\\_report\\_2020.pdf](https://www.bakermckenzie.com/-/media/files/insight/publications/2021/01/global-supply-chains--navigating-covid-19-and-trade-tensions/bakermckenzie_gsc_report_2020.pdf)
- Bangsa, A. B., & Schlegelmilch, B. B. (2020). Linking sustainable product attributes and consumer decision-making: Insights from a systematic review. *Journal of Cleaner Production*, 245, 118902. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118902>
- Bearne, B. S. (2023, 6 maart). The mushrooms you can wear and build with. BBC News. <https://www.bbc.com/news/business-64810935>
- Building a circular future with supply chain innovation. (2020). World Economic Forum. <https://www.weforum.org/reports/building-a-circular-future-with-supply-chain-innovation>
- Cellulosic Fibres - Heddels. (2015, 2 september). Heddels. <https://www.heddels.com/dictionary/cellulosic-fibres/>
- Circular economy introduction. (z.d.). <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/concept>
- Cui, L., Lui, H., Yu, M., & Cao. (2021). A quantitative analysis of material scarcity and its impact on global low-carbon transition. *Energy Policy*, 153.
- Dorri, B., & Elizondo Azuela, G. (2020). The impact of Covid-19 on global supply chains. *International Journal of Advanced Logistics*. <https://doi.org/10.1108/IJAL-05-2020-0143>
- Gebouwd, D. (z.d.). Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO.nl) | Duurzaam Gebouwd. <https://www.duurzaamgebouwd.nl/partners/c/rijksdienst-voor-ondernemend-nederland-rvonl#:~:text=Duurzame%20gebouwen,op%20kantoren%20en%20in%20woningen.>
- Geertsma, P. (2014). Wat is prefab of prefabricage in de techniek? | Technisch Werken. Technisch Werken. <https://www.technischwerken.nl/kennisbank/techniek-kennis/wat-is-prefab-of-prefabricage-in-de-techniek/>
- Geng, S., Wang, Y., Zuo, J., Zhou, Z., Du, H., & Mao, G. (2017). Building life cycle assessment research: A review by bibliometric analysis. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 76, 176–184. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.068>
- Graedel, T. E. (2015). Industrial ecology and sustainable engineering. *Journal of Industrial Ecology*.
- Güemes-Castro, G., De Marchi, V., & Rinaldi, C. (2021). Sustainable Warehousing: Insights and Opportunities. *Sustainability*.
- Heinontwerpt. (2023, 25 januari). Organisatiecultuur als succesfactor voor FMIS? | FMXXL. FMXXL. <https://www.fmxxl.nl/inspiratie/organisatiecultuur-als-succesfactor-voor-fmis/>
- Home | Forest Stewardship Council. (z.d.). <https://fsc.org/en>
- Janssen, J. (z.d.). Bekijk: Bamboe als bouw materiaal. NEMOKennislink. <https://www.nemokennislink.nl/publicaties/bamboe-als-bouw-materiaal>
- Liu, G., Zhang, He, K., & Huang, Y. (2018). Global mineral resource scarcity: A review. *Science of the Total Environment*.
- Llowlab. (2023, 2 januari). Wat is een 3D printer? - Llowlab. <https://www.llowlab.nl/wat-is-een-3d-printer/>
- Mawson, A. (2020). The potential for reuse in the construction sector. *Circular Economy*, 11. [https://www.circulareconomy.europa.eu/platform/sites/default/files/2020-05/Potential-for-reuse-in-construction-sector\\_August%202020.pdf](https://www.circulareconomy.europa.eu/platform/sites/default/files/2020-05/Potential-for-reuse-in-construction-sector_August%202020.pdf)
- Mecalux. (2021, 22 april). Wat zijn de beginselen van het « just-in-time principe » in de logistiek? Mecalux (M.). <https://www.mecalux.be/blog/methode-principe-just-in-time-logistiek>
- Mecalux. (2022a, februari 8). Industrie 4.0: de vierde industriële revolutie. Mecalux.nl. <https://www.mecalux.nl/blog/industrie-4-0-vierde-industriële-revolutie>
- Mecalux. (2022b, maart 24). De invloed van 3D-printen op de logistiek. Mecalux.be. <https://www.mecalux.be/blog/invloed-3d-printen-logistiek>
- PWC. (z.d.). The impact of COVID-19 on global supply chains. pwc.com. <https://www.pwc.com/gx/en/issues/crisis-solutions/covid-19/global-supply-chain.html>
- Ramanathan, U. (2018). Sustainability, True Cost Accounting, and the Future of the Circular Economy. *Journal of Cleaner Production*.
- Rashed, M. (2020). Sustainable construction and building materials: Addressing the challenge of material scarcity. Routledge.
- Sodhi, M. S., & Son, B. G. (2020). Research on supply chain management: A structured literature review and implications for future research. *International Journal of Production Economics*. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2008.06.012>
- Somoza-Tornos, A., Pozo, C., Graells, M., Espuña, A., & Puigjaner, L. (2021). Process screening framework for the synthesis of process networks from a circular economy perspective. *Resources Conservation and Recycling*, 164, 105147. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105147>
- Soundararajan, V., Wilhelm, M., & Crane, A. (2021). Humanizing Research on Working Conditions in Supply Chains: Building a Path to Decent Work. *Journal of Supply Chain Management*, 57(2), 3–13. <https://doi.org/10.1111/jscm.12260>
- Stichting Vlakglas Recycling Nederland. (z.d.). Vlakglasrecycling Nederland - Waarom is recyclen nodig? Copyright Stichting Vlakglas Recycling. <https://www.vlakglasrecycling.nl/index.php?page=waarom-is-recyclen-nodig-nl>
- UNEP. (2019). Natural Resources for the Future We Want. United Nations Environment Programme. *Global Resources Outlook 2019*. <https://www.resourcepanel.org/reports/global-resources-outlook-2019-natural-resources-future-we-want>
- Zimmo redactie. (2018, 5 maart). De voor- en nadelen van prefab. Zimmo blog. <https://www.zimmo.be/blog/2018/03/05/de-voor-en-nadelen-van-prefab/>