De oneindige perspectieven van PHA uit rest- en afvalstromen

Potentiële cases, systemisch
ontwerp en circulaire
businessmodellen

Auteurs: Jerke de Vries (HVHL), Alexander Prinsen (Scope Matters),
Pauline Drost (HVHL), Willemijn van der Zwaard (HVHL), Merel Molenbuur (HVHL),
Thijs Kotterlink (HVHL), Janneke Krooneman (RUG)

www.hvhl.nl

**van hall
larenstein**
university of applied sciences

Inhoud

Inleiding	3
Wat zijn PHA's?	4
Aanpak	5
Systeemontwerpmethodologie	
Deskresearch	
Uitkomsten	8
Systemisch ontwerp	
Hoeveelheid reststromen	
Omzetting naar PHA	
Reflectie	10
Conclusie	11
Bibliografie	11

Dit artikel is mede mogelijk gemaakt door het project Circulaire Biopolymeren Waardeketens (CBW, BERNN) en Biocas 100% (NSR). CBW werkt samen met bedrijven, Noordelijke kennisinstellingen en overheden en wordt gefinancierd vanuit het Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling (EFRO). Biocas 100% is een internationaal project met bedrijven, kennisinstellingen en overheden en wordt gefinancierd vanuit Interreg NSR, een Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling. Hogeschool Van Hall Larenstein draait jaarlijks de minor International Business and Natural Resources (IBNR) waarin onderwijs en onderzoek samenwerken.

<https://doi.org/10.31715/2021.4>

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License.

Inleiding

Polymeren, waaronder plastics, kennen we allemaal uit ons dagelijks leven. Van de plastic draagtas tot computeronderdelen en kopjes. Allemaal worden deze polymeren vervaardigd uit aardolie en afgeleide producten. De producten zijn zeer nuttig en breed toepasbaar, mede door de gunstige eigenschappen zoals warmteweerbaarheid, stevigheid en waterdichtheid. Daarentegen kennen polymeren ook een keerzijde, zoals het niet of moeilijk afbreekbaar zijn in de natuurlijke omgeving en de nadelen van het gebruik van fossiele bronnen: hun eindigheid en de ongecontroleerde emissie van broeikasgassen die verband houdt met klimaatverandering. Dit is een zichtbaar probleem bij onder meer De Plasticsoep, waar geen of beperkte afbraak plaatsvindt van plastics in de oceaan. De zoektocht naar alternatieven is daarom volop aan de gang.

In de projecten Circulaire Biopolymeren Waardeketens en Biocas wordt onderzoek gedaan naar biopolymeren en in dit specifieke geval naar polyhydroxyalkanoaat (PHA). PHA is een biopolymeer die van nature voorkomt in de cellen van bacteriën. PHA heeft de potentie om op aardolie gebaseerde plastics te vervangen. Het bijzondere aan PHA is dat het kan worden geproduceerd door bacteriën te voeden met biologische grondstoffen zoals groente- en fruitresten, maar ook afvalwater; in principe oneindige voorraden. Daarnaast is PHA biologisch afbreekbaar, het wordt afgebroken door micro-organismen naar CO₂ en water, terug naar de bodem. Daardoor vormt het geen langdurig gevaar voor de omgeving. Momenteel staat de productie van PHA nog in de kinderschoenen, waardoor het maar op kleine schaal wordt toegepast. Er zijn nog allerlei vragen op te lossen, zoals (a) welke productieroute nu het beste kan worden gekozen; (b) hoe de polymeer het beste toegepast kan worden; (c) welke grondstoffen gebruikt kunnen worden; en (d) ook of het financieel haalbaar en milieutechnisch voordeliger is ten opzichte van op olie gebaseerde plastics, op grote schaal.

Bij Van Hall Larenstein zijn 23 hbo-studenten in hun derde studiejaar bezig geweest binnen de minor International Business and Natural Resources. Het doel van de minor is om oplossingsgericht meer duurzame verdienmodellen voor huidige bedrijven en circulaire supply chains voor PHA te onderzoeken. In het jaar 2020 stond het gebruik van reststromen afkomstig uit de agri- en foodsector in Nederland centraal. Een cruciaal uitgangspunt tijdens het onderzoek was het circulaire doordenken/omdenken van het gehele systeem om zo de grondstoffen- en nutriëntenketens gesloten te houden. Productie van PHA kan namelijk alleen volledig duurzaam worden wanneer antwoord gegeven kan worden op de vraag 'Hoe en welke grondstoffen gebruikt kunnen worden en hoe de reststromen die ontstaan bij de productie van PHA na gebruik teruggevoerd worden in het economisch-ecologische en maatschappelijke landschap'. De uitdaging daarin is om de ketens economisch rendabel, ecologisch en maatschappelijk relevant te maken. In dit artikel leggen we verslag van de ervaringen die zijn opgedaan tijdens de minor, de onderzoeken en samenwerkingen die daarop volgden. We kijken onder andere naar de verschillende grondstoffen die voor PHA gebruikt kunnen worden, de beschikbaarheid en de hoeveelheid PHA die in potentie geproduceerd zou kunnen worden. We richten ons op rundveedrijfmest, snijresten uit de tuinbouw en cateringafval als voornaamste bronnen. Maar eerst, wat zijn PHA's eigenlijk?

Wat zijn PHA's?

Polyhydroxyalkanoaten (PHAs) zijn polyesters die in de natuur geproduceerd worden door een grote verscheidenheid aan micro-organismen, waaronder bacteriën. Bacteriën maken deze PHA's als reservestof. Als er overvloed is van een voedselbron, bestaande uit biologisch afbreekbare verbindingen zoals suikers en vetten, maken de bacteriën de PHAs en slaan deze op in hun cel. Ten tijde van voedselschaarste kunnen ze dan toch over een koolstof- en energiebron beschikken om te overleven en te groeien.

De PHA's kunnen verschillende samenstellingen hebben met diverse eigenschappen door de inbouw van diverse combinaties van bouwstenen (de monomeren) en variërende ketenlengtes (korte, middellange en lange ketens). De capaciteit van bacteriën om dergelijke verscheidenheid aan PHAs te produceren, tot wel ruim 80% procent van hun totale celgewicht, maakt deze eigenschap interessant voor industriële productie van biologisch afbreekbare plastics. De opbouw van de biopolymeer en de ketenlengte bepalen de eigenschappen van het plastic, zoals bijvoorbeeld de thermostabiliteit en elasticiteit. De samenstelling van de voedselbron (het substraat) en de bacteriesoort(en) bepalen het uiteindelijke type en de kwaliteit PHA dat gevormd wordt. Dit bepaalt de toepassingsmogelijkheden van de biopolymeren in de verschillende eindproducten. De methode om bacteriën te selecteren en aan te zetten tot de opslag van PHAs in hun cellen, is de zogenaamde feast-and-famine aanpak. In bioreactoren worden de bacteriën gekweekt op een geselecteerd substraat onder een herhaling van voedsel in overvloed (feast) en voedselschaarste (famine). Bacteriën die reservestoffen kunnen opslaan ten tijde van voedsel in overvloed hebben een competitief voordeel gedurende de famineperiode ten opzichte van bacteriën die dat niet kunnen. Zodoende kan op een grondstof een bacteriesoort of een populatie bestaande uit verschillende soorten verrijkt worden ten behoeve van PHA-productie.

De uiteindelijke PHA-bulkproductie volgt dan in een tweede reactor, waarbij de PHA-productie gemaximaliseerd wordt. Dit wordt bereikt door een zo hoog mogelijke concentratie substraat aan te bieden, en tegelijkertijd een essentieel nutriënt voor groei te beperken. Het substraat wordt dan wel opgenomen door de cellen, maar door nutriëntlimitatie (bijvoorbeeld stikstof) kan het niet volledig worden afgebroken ten behoeve van groei. Het substraat wordt dan opgeslagen als reservestof: de PHA. Goede substraten voor PHA productie zijn vetzuren.

Om het PHA in handen te krijgen moet het worden vrijgemaakt uit de cellen, vervolgens worden gescheiden van de bacteriële biomassa en worden gezuiverd. Momenteel worden hier onder andere oplosmiddelen voor gebruikt, maar ook meer natuurlijk extractieroutes zijn in opkomst.

De kosten voor PHA-productie zijn nog erg hoog, daardoor zijn PHA's nog niet concurrerend met plastics die geproduceerd worden uit fossiele grondstoffen. Door gebruik te maken van reststromen die vetzuren bevatten kunnen biologisch afbreekbare PHA's goedkoper gemaakt worden en kringlopen opnieuw gesloten worden. Om dit volledig inzichtelijk weer te geven is Systeemontwerp als methode toegepast.

Aanpak

Systeemontwerpmethodologie

Om de PHA-waardeketen in kaart te brengen is gebruik gemaakt van Systemic Sustainable Design Thinking (SSDT) van gastdocent Alexander Prinsen. SSDT is een systeemanalysemethode om alle materiaalstromen (inputs en outputs) te identificeren en eventuele verspillingen weer terug in de waardeketen te brengen. Deze toolkit maakt het mogelijk om nieuwe verdienmodellen te realiseren, die lagere kosten en meer kasstromen als uitgangspunt hebben. Het doel is om alle kosten geassocieerd met verspilling (vervuiling, emissies, afval en emissies) om te zetten in kasstromen in kringlopen die regeneratief/hernieuwbaar zijn.

SSDT integreert System Denken (Donella Meadows), de Natuurlijke Wetenschap en Principles (oa Blauwe Economie (Gunter Pauli), Biomimicry (Janine Benyus), Regenerative Design (John T. Lyle) en de natuurlijke bedrijfsmodellen (Performance Economy (Walter Stahl), Industrial Ecology (Robert Frosch and Nicholas E. Gallopoulos) met elkaar.

Daar waar Duurzaamheidsprincipes (Planet), Circulaire Verdienmodellen (Profit) en Welzijn (People) samenkomen en systematisch geïntegreerd zijn, is waar de Systemic Sustainable Innovatie plaatsvindt met de bijhorende nieuwe verdienmodellen en waardeketens. Deze integratie zorgt voor lagere kosten voor de samenleving als geheel door de eliminatie van afval, vervuiling en emissies en met meer baten door de vergroting

van biodiversiteit, regeneratie en verwaarding van de grondstoffen. Deze bedrijfsmodellen zijn aangetoond per definitie concurrerender ten opzichte van de huidige vervuulende systemen.

Om een voorbeeld te geven. Herbebossing met naaldbomen (voor meer wateropvang, vasthouden van bodem en als pioniersoort) maakt het mogelijk het hars van de naaldboom te gebruiken als grondstof voor de verfindustrie of de naalden als alternatief voor wol. En zo wordt het ook inzichtelijk hoe de groei van biodiversiteit leidt tot nieuwe verwaarding van grondstoffen die er eerder nog niet waren (Prinsen, 2019).

Voor de tomatenteelt is het bijvoorbeeld duidelijk geworden dat de teeltreststroom (plantenstengels) veel meer toepassingen heeft zoals vezels, textiel, voedsel voor insecten en zelfs reinigingsmiddelen.

Deskresearch

Naast de SSDT-aanpak is er gebruikgemaakt van deskresearch en interviews om de lokale grondstoffen in kaart te brengen. Onder andere is er gezocht naar informatie over de hoeveelheden rundveedrijfmest, snijresten en cateringmateriaal, maar ook naar conversies van hoeveelheden suikers die nodig zijn voor de productie van PHA. Met behulp van deze informatie is een inschatting gemaakt van de mogelijke productieomvang van de PHA en wat dit voor een regio zou kunnen betekenen. Interviews dienden ten behoeve van inspiratie en verkenning van de mogelijkheden.

Figuur 1 Opzet van duurzaamheid op twee verschillende wijzen met inclusie van de mens (people), planeet (planet) en winst (profit) gedachte en deze omgeturnd naar een integraal beeld (Alexander Prinsen).

Mest van melkvee kunnen als bron dienen voor de productie van PHA.

Uitkomsten

Systemisch ontwerp

Het SSDT-diagram is weergegeven in Figuur 2. Hierin wordt zichtbaar hoe de PHA-productie ingebed is in de andere systemen van landbouw en de fossiele productie van plastics. De uitwisseling van grondstoffen en reststromen vindt plaats tussen de verschillende systemen en de natuurlijke omgeving. Uit het overzicht wordt duidelijk dat de grondstoffen voor de productie van PHA uit de kort-cyclische koolstofkringloop komen en daar uiteindelijk ook weer in terug worden gevoerd. De lang-cyclische koolstofketen loopt via aardolie. Beide ketens ontmoeten elkaar in de extrusie en daarna in de recycling en terugwinning van materialen. Momenteel worden bioplastics nog niet toegelaten in bestaande recycling-installaties, omdat de eigenschappen van de plastics verschillend ten opzichte van de fossiele plastics.

Hoeveelheid reststromen

Tabel 1 geeft een overzicht van de beschikbare grondstoffen en hun voormalige gebruik. Daarnaast wordt getoond hoeveel naar schatting gebruikt kan worden voor PHA-productie en wat de potentiële productie zou kunnen zijn. Duidelijk wordt dat rundveedrijfmest één van de grootste beschikbare bronnen is (870 kt). Maar ook restanten van de tuinbouw zijn aanwezig alhoewel de hoeveelheid droge stof dan weer beperkt is.

Figuur 2 Keten van PHA-productie uit reststromen (mest, snijresten en cateringmateriaal) waarin input- en reststromen uit de landbouw komen en teruggaan naar het maatschappelijke en ecologische systeem.

Omzetting naar PHA

Uit de literatuur kan afgeleid worden dat er zo'n 1 kg PHA uit 3 kg suikers geproduceerd kan worden (Koller, Atlić, Dias, Reiterer, & Braunegg, 2009) (Nonato, Mantelatto, & Rossell, 2001). Per grondstof is bekeken hoeveel suikers er aanwezig zijn en hiermee is een eenvoudige conver-

sie uitgevoerd om de potentiële hoeveelheid PHA te bepalen. Uit de beschikbare grondstoffen (874 kt) kunnen ongeveer 11 kt PHA's worden gemaakt. Daarin wordt alleen het overschot aan mest gebruikt, de helft van de snijresten en de helft van het beschikbare catering-materiaal.

Tabel 1 Overzicht van de reststromen, hoeveelheden en de potentiële productie van PHA uit de reststromen.

Input agrifood afval stroom (oorspronkelijke toepassing)	Hoeveelheid in kt nat en droog gewicht	Hoeveelheid PHA dat in potentie geproduceerd kan worden (3 kg koolhydraten > 1 kg PHA)	Output PHA afval stroom
Mest afkomstig rundveebedrijven (bemesting)	61902 kt per jaar 4952 kt droge stof per jaar bij aanname 8% droge stof (CBS, 2020) (CLO, 2020). Bij 18% overschot is dit 870 kt	Bij afbreekbare koolhydraten tussen de 15 (38% afbreekbare organische stof en 7% omzetting) en 41 kton tussen de 5 en 14 kton PHA (Starmans, et al., 2015) (Timmerman, M; van Dooren, H.J.C.; Biewenga, G., 2005)	Verpakkings-materiaal voor strobelen of anders
PHA afkomstig van catering materiaal (PHA plastic)	5,9 kt per jaar (IATA, n.a.) (Tofalli, Loizia, & Zorpas, 2017) (Statista, 2020). Schatting is dat de helft beschikbaar is als grondstof voor nieuw PHA = 2,95 kt	Bij netto 7% terugwinning (expert judgement) tot PHA zou dit 0,21 kt zijn.	PHA t.b.v. catering
Snijresten tuinbouw (vergisting, compostering en toepassing landbouw)	25,5 kt nat gewicht per jaar## 1,3 kt droge stof per jaar bij aanname 5% droge stof. Schatting is dat de helft beschikbaar is voor PHA = 0,65 kt.	Bij 20% koolhydraten in de droge stof zo'n 43 ton PHA (Roelofs & Gude, 2013).	Verpakkings-materiaal voor bloemen en tulpen

Reflectie

Uit de analyse blijkt dat vele grondstoffen theoretisch gebruikt kunnen worden voor de productie van PHA. Praktisch doen zich wel een aantal problemen voor die opgelost moeten worden wanneer er in de praktijk met deze toepassing gewerkt moet worden:

- (a) wat is de schaal van productie? Het verzamelen van input is haalbaar, eventueel de verwerking hiervan beter mobiel maken?;
- (b) is dit rendabel met name wanneer biomassa sterk verdund is? Wat zijn de voorbereidingsstappen die nodig zijn voor de grondstof om het te kunnen fermenteren tot PHA?;
- (c) ook is het op lange termijn beschikbaar blijven van reststroom van belang;
- (d) en de recycling van de PHA is cruciaal aangezien bijvoorbeeld de afbraak momenteel niet synchroon loopt met andere organische reststromen.

Het beschikbaar blijven van de reststromen is belangrijk wanneer er meer vraag komt naar reststromen voor andere valorisatie routes. De vraag zal de prijs waarschijnlijk doen stijgen waardoor het businessmodel aangepast moet worden. Dit is een bekend probleem bij verwaarloosing van biomassa. Het bedrijf dat zich hierop gaat richten moet daarvoor een risicoschatting gaan maken en partnerschappen en contracten aangaan met leveranciers. In de toekomst zouden andere, meer eenvoudige moleculen, zoals CO₂ zelf kunnen dienen als grondstof voor de productie van polymeren, bijvoorbeeld via de route van mierenzuur. Zo kunnen de meer complexe moleculen in de organische (rest)stromen gebruikt worden ten behoeve van andere doeleinden.

Zoals gemeld zou de totale omvang van de geschatte PHA ongeveer 11 kton kunnen zijn. In Nederland werd alleen in 2019 al 1900 kton plastic op de markt gebracht (Nusselder & Snijder, 2019). De 11 kton representeert dan slechts 0,6% van deze hoeveelheid. In dit perspectief is er veel meer nodig om alle of een groot deel van de conventionele plastics te vervangen door PHA. Andere grondstoffen zouden gebruikt kunnen worden, zoals afvalwater of gft-afval. Deze worden momenteel al gebruikt en onlangs is zelfs een proefabriek voor PHA uit afvalwater in gebruik genomen in Dordrecht (HVC, 2020). De kwaliteit van de grondstoffenstromen, met name de

inhoudsstoffen, zijn hierin cruciaal en zullen mogelijk in competitie komen met andere toepassingen, zoals biogas en het gebruik voor andere processen. De grotere vraag die hieraan verbonden ligt is welke toepassing het beste past in tijd en ruimte bij de gekozen grondstof. Deze kan in verder onderzoek worden uitgewerkt. De SSDT-aanpak hielp om de gehele grondstoffenketen in kaart te brengen, maar ook het terugbrengen van de reststromen in de keten. Daarentegen sluit de SSDT-aanpak niet altijd aan bij het businessmodel van een enkel bedrijf maar zou daarnaast een businessmodel over de keten heen besproken moeten worden met de betrokken bedrijven. Als aanvulling op de SSDT-aanpak zou een methode als levenscyclusanalyse (LCA) gebruikt moeten worden om de ecologische impact in kaart te krijgen. LCA is een methode die de milieu-impact in kaart brengt van de productie en toepassingen van producten en diensten en wordt veel gebruikt ter onderbouwing van de footprint. Een keten kan namelijk circulair zijn en volledig gesloten, maar nog steeds een hoge impact hebben door verliezen in de keten zelf. SSDT, LCA en andere analysemethoden zullen daarin samen hand-in-hand op moeten trekken. De kracht van SSDT is dat het gericht is op het creëren van meerwaarde voor zowel de ecologie als economie en maatschappelijke context.

Financieel biedt het businessmodel voor PHA's nog geen soelaas. Op de markt ligt de prijs van kilo PHA zo tussen de 3 en 6 euro. Met een winstmarge van 25% zouden de kosten maximaal tussen de 2,25 en 4,5 euro per kilo moeten zitten. Om te kunnen concurreren met fossiel plastic moet deze kostprijs nog zeker met een factor 10 omlaag. Door de reststromen uit de PHA-productie te benutten zou dit wellicht met de helft naar beneden kunnen. Verdere optimalisatie van de productieprocessen, gebruik van meerdere rest- en afvalstromen zou voor verdere verlaging kunnen zorgen. Daarbij moet gesteld worden dat de kwaliteit en beschikbaarheid van de reststroom gewaarborgd kan blijven.

Conclusie

In dit artikel is de productie van PHA uit diverse reststromen geanalyseerd: uit drijfmest, snijresten uit de tuinbouw en (afbreekbaar) cateringmateriaal. Middels een systemisch analyseproces hebben studenten bij Van Hall Larenstein uitgezocht hoeveel PHA potentieel vervaardigd kan worden uit de reststromen en hoe de verschillende stromen teruggebracht kunnen worden in het economische en ecologische systeem. Een ruwe schatting laat zien dat rond de 11 kton aan PHA geproduceerd kan worden, wat zo'n 0,6% van de totale plastic gebruik in Nederland representeert. De ontwikkeling van PHA uit reststromen staat nog in de kinderschoenen en zal op den duur opgeschaald moeten worden om concurrerend te zijn met fossiele plastics. Hiervoor is een kostendaling tot een vergelijkbaar niveau nodig. Aanvullend met andere onderzoeken en methodes kan op deze wijze een productie gegarandeerd worden met respect voor mens en omgeving.

Bibliografie

- CBS. (2020, juni 30). *Dierlijke mest; productie en mineralenuitscheiding; bedrijfstype, regio*. Opgeroepen op december 21, 2020, van CBS Statline: <https://opendata.cbs.nl/#/CBS/nl/dataset/83983NED/table?searchKeywords=dierlijke%20mest>
- CLO. (2020, juli 10). *Mestproductie door de veestapel, 1986-2019*. Opgeroepen op december 21, 2020, van Compendium voor de Leefomgeving: <https://www.clo.nl/indicatoren/nl0104-mestproductie-door-de-veestapel>
- HVC. (2020, september 29). *Proeffabriek productie uniek afbreekbaar bioplastisch van start*. Opgeroepen op december 21, 2020, van HVC: <https://www.hvcgroep.nl/ons-verhaal/nieuws/proeffabriek-productie-uniek-afbreekbaar-bioplastisch-van-start>
- IATA. (n.a.). *Managing cabin waste*. Opgeroepen op december 21, 2020, van International Air Transport Association: <https://www.iata.org/en/programs/environment/cabin-waste/>
- Koller, M., Atlíč, A., Dias, M., Reiterer, A., & Brauneegg, G. (2009). Microbial PHA production from waste raw materials. *Microbiology Monograph book series*, 86-114.
- Nonato, R., Mantelatto, P., & Rossell, C. (2001). Integrated production of biodegradable plastic, sugar and ethanol. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 1-5.
- Nusselder, S., & Snijder, L. (2019, mei). *Plasticgebruik en verwerking van plastic afval in Nederland*. Opgeroepen op december 21, 2020, van CE Delft: <https://www.ce.nl/publicaties/2298/plasticgebruik-en-verwerking-van-plastic-afval-in-nederland>
- Prinsen, A. (2019, februari 3). *#1 Las Gaviotas, the reforestation miracle*. Opgeroepen op december 21, 2020, van Masters of Beautiful Achievements: <https://mastersofbeautifulachievements.com/las-gaviotas-the-reforestation-miracle/>
- Roelofs, P., & Gude, H. (2013). *Kwantitatieve informatie reststromen bloembollen*. Wageningen: Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek (DLO) onderzoeksinstituut.
- Starmans, D., Buissonjé, F. d., Dijk, W. v., Haan, J. d., Timmerman, M., & Visser, C. d. (2015). *Mest vol verwaarden?* Wageningen: Application Centre for Renewable Resources
- Statista. (2020, oktober 28). *Annual number of passengers carried by KLM Royal Dutch Airlines from 2014 to 2019*. Opgeroepen op december 21, 2020, van Statista: <https://www.statista.com/statistics/734736/annual-number-of-passengers-carried-by-klm-royal-dutch-airlines/>
- Timmerman, M.; van Dooren, H.J.C.; Biewenga, G. (2005). *Mestvergistings op boerderijschaal*. Lelystad: Animal Sciences Group, Wageningen University and Research.
- Tofalli, N., Loizia, P., & Zorpas, A. A. (2017). Passengers waste production during flights. *Sustainable Waste Management*.

**van hall
larenstein**
university of applied sciences

Leeuwarden

Agora 1
Postbus 1528
8901 BV Leeuwarden
Telefoon 058 284 61 00
E-mail info@hvhl.nl

Velp

Larensteinselaan 26a
Postbus 9001
6880 GB Velp
Telefoon 026 369 56 95
E-mail info@hvhl.nl

www.hvhl.nl