

Levenscyclusanalyse van wasbare en eenmalige luiers



Committed to the Environment

Levenscyclusanalyse van wasbare en eenmalige luiers

Dit rapport is geschreven door:
Martijn Broeren en Nicole Imholz

Delft, CE Delft, maart 2023

Publicatienummer: 23.220218.004

Luiers / LCA / verbranden / recyclen / wassen

Opdrachtgever: Rijkswaterstaat

Alle openbare publicaties van CE Delft zijn verkrijgbaar via www.ce.nl

Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider Martijn Broeren (CE Delft)

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft

Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al meer dan 40 jaar werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.



Inhoud

	Samenvatting	3
1	Inleiding	11
2	Methode	12
	2.1 Doel en scope	12
	2.2 Onderzochte luiers en systeemgrenzen	14
	2.3 Dataverzameling en modellering	17
3	Resultaten	22
	3.1 Resultaten milieu-indicatoren (per verschoning)	22
	3.2 Klimaatimpact luiers per verschoning	26
	3.3 Klimaatimpact luiers per zindelijk kind	27
	3.4 Wasbare luiers: variaties in consumentengedrag	29
	3.5 Effect van de elektriciteitsmix op de klimaatimpact van de luiers	33
4	Interpretatie	36
	4.1 Discussie aannames en onzekerheden	36
	4.2 Vergelijking met VN-studie meta-analyse luier LCA's	37
	4.3 Incontinentiemateriaal	39
5	Conclusie	40
6	Bronnen	42
A	Inventarisatie	43
	A.1 Eenmalige luier	43
	A.2 Wasbare luier	44
B	Dominante factoren wasbare luiers	51
C	Single score-resultaten	53

Samenvatting

Het gebruik van eenmalige babyluiers in Nederland zorgt voor een afvalstroom van circa 200 kiloton per jaar (VANG Huishoudelijk Afval, 2022). Deze gebruikte luiers worden voornamelijk verbrand. Het onderdeel Water, Verkeer en Leefomgeving (WVL) van Rijkswaterstaat voert in opdracht van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat het luierketenproject uit, om de milieu-impact van luiers te verlagen en de luierketen meer circulair te maken. Een alternatief voor de eenmalige babyluier zijn wasbare luiers.

In deze levenscyclusanalyse (LCA) onderzoeken we de milieu-impact van het gebruik van wasbare luiers en eenmalige babyluiers. We richten ons hierbij op gebruik van gemiddelde producten door Nederlandse huishoudens. In de LCA worden drie luiersystemen vergeleken:

1. Eenmalige luiers die na gebruik verbrand worden (referentie).
2. Eenmalige luiers die na gebruik gerecycled worden met thermische drukhydrolyse.
3. Wasbare luiers die opnieuw gebruikt kunnen worden.

De studie laat zien dat eenmalige luiers die verbrand worden de hoogste milieu-impact hebben. Bij wasbare luiers wordt de impact bepaald door het gedrag van huishoudens. Als een huishouden minder zuinige apparatuur heeft, vaker kleine wasjes doet en alle was in de droger stopt hebben wasbare luiers een hogere klimaatimpact dan eenmalige luiers. Bij milieubewuste huishoudens met zuinige apparatuur en efficiënt wasgedrag kunnen wasbare luiers tot vier maal beter zijn voor het milieu dan eenmalige luiers.

Wasbare luiers: milieu-impact bepaald door consumentengedrag

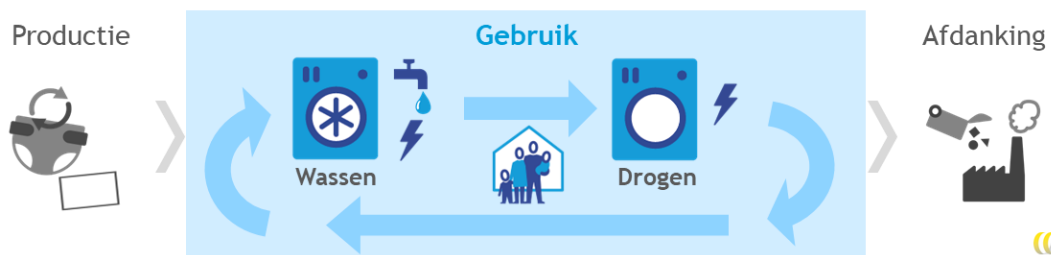
Figuur 1 illustreert een verschoning met een eenmalige luier en een wasbare luier.

Figuur 1 - Overzicht van verschonen met eenmalige of wasbare luiers. Bij eenmalige luiers bepalen de productiefase en afdankingsfase de milieu-impact. Bij wasbare luiers bepalen factoren in de gebruiksfase de milieu-impact, zoals de energiezuinigheid en beladingsgraad van wasmachines en eventuele wasdrogers

Eenmalige luier



Wasbare luier



Bij eenmalige luiers komt één verschoning overeen met de productie en afdanking (verbranding of recycling) van één luier. Bij wasbare luiers worden stoffen luiers en papieren inlegvellen gebruikt, die allebei voor meerdere verschoningen worden gebruikt. Door het hergebruik hebben de productie- en afdankingsfase van wasbare luiers een beperkte milieu-impact per verschoning. De luiers moeten wel na elke verschoning gewassen en gedroogd worden. Het elektriciteits-, water- en wasmiddelgebruik hiervan hangt af van de wasmachine en droger die een huishouden gebruikt (bijvoorbeeld zuinig of juist niet) en van keuzes van de ouders.

Voor het wassen en drogen van wasbare luiers is een basisscenario opgesteld gebaseerd op gegevens en aannames over het typische wasgedrag van Nederlandse huishoudens, zoals een gemiddelde belading van de wasmachine, wassen op 40 °C, en het machinaal drogen van de helft van de was. Het basisscenario is niet representatief voor alle huishoudens. We kijken daarom ook naar twee scenario's met een hoge- en lage milieu-impact, waarin het gedrag van huishoudens en de gebruikte apparatuur veranderd worden. Deze twee scenario's tonen de bandbreedte waarin de milieu-impact van wasbare luiers kan variëren.

Levenscyclusanalyse voor één verschoning en één zindelijk kind

Om de milieu-impact van luiers te bepalen en te vergelijken richten we ons op één verschoning (de functionele eenheid). Daarnaast bekijken we ook de milieu-impact van alle verschoningen tijdens de luierperiode van één kind (aanvullende functionele eenheid). De milieu-impacts zijn berekend met de ReCiPe 2016 (H)-methode. De nadruk ligt in deze analyse op de klimaatimpact ('carbon footprint'), oftewel de bijdrage aan klimaatverandering door de uitstoot van broeikasgassen. De analyse wordt uitgevoerd volgens de ISO14040- en ISO14044-standaarden voor LCA.

Resultaten

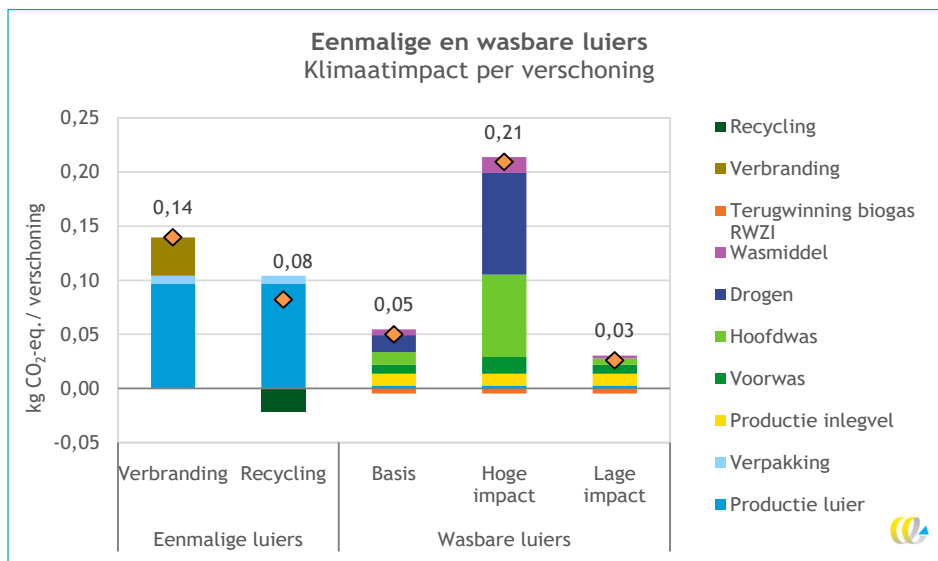
Voor de meeste milieueffecten heeft de wasbare luier een lagere impact dan eenmalige luiers die verbrand worden. De effecten waarbij de wasbare luier een duidelijk hogere milieu-impact heeft zijn watergebruik, zoetwater-ecotoxiciteit, en eutrofiëring van zoet en zout water. Omgerekend naar de schadecategorieën of 'endpoints' (menselijke gezondheid, ecosystemen en grondstoffen) scoort de wasbare luier in elke schadecategorie beter dan eenmalige luiers. De milieu-impact van eenmalige luiers die gerecycled worden, ligt voor de meeste milieueffecten tussen wasbare luiers en eenmalige luiers die verbrand worden in.

Figuur 2 toont de klimaatimpact van verschillende luiersystemen. Als eenmalige luiers gerecycled worden, neemt de klimaatimpact af met 41% ten opzichte van verbranding. In het basisscenario voor wasbare luiers is de klimaatimpact circa 64% lager dan die van eenmalige luiers die verbrand worden.

De resultaten voor wasbare luiers kunnen echter sterk verschillen per huishouden. Wasbare luiers hebben de grootste klimaatimpact als we ervan uitgaan dat de luiers apart gewassen worden, met een wasmachine en droger met hoog verbruik. In dit hoge-impactscenario is de klimaatimpact 50% hoger dan die van eenmalige luiers die verbrand worden. In een gunstiger lage-impactscenario (gemiddeld verbruik wasmachine volledig gevuld en lijndrogen) is de klimaatimpact 82% lager dan eenmalige luiers die verbrand worden.



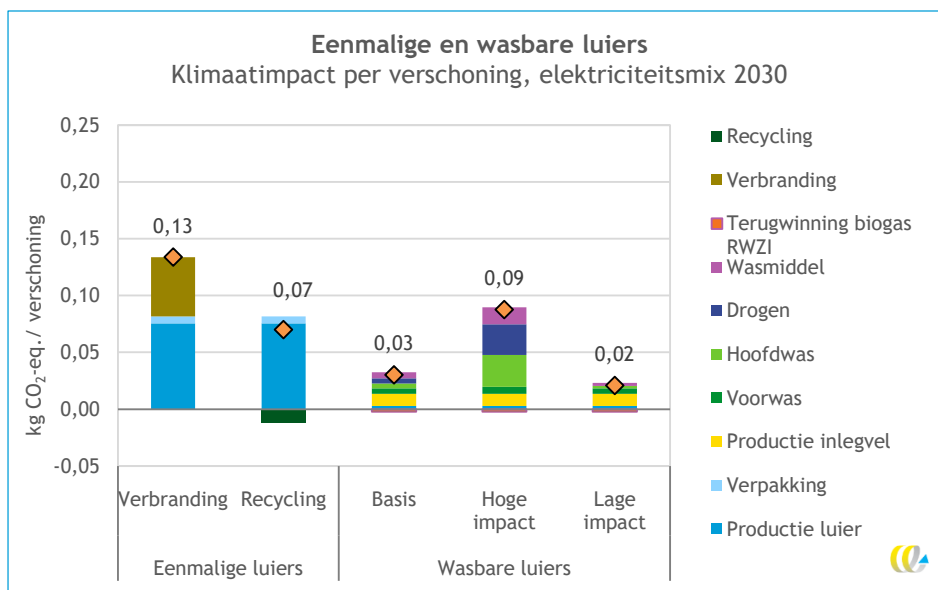
Figuur 2 - Klimaatimpact van eenmalige luiers (verbranding of recycling), en wasbare luiers in drie scenario's



Resultaten met elektriciteitsmix van 2030

De klimaatimpact van wasbare luiers wordt voor een groot deel bepaald door het elektriciteitsgebruik van wassen en drogen. In de hoofdanalyse (Figuur 2) is gerekend met de Nederlandse elektriciteitsmix uit 2019, waarin 76% wordt opgewekt met fossiele energiebronnen als aardgas en kolen (CE Delft, 2022). Als we uitgaan van de schonere elektriciteitsmix van 2030, dan daalt de klimaatimpact van het hoge impact-scenario tot onder die van eenmalige luiers die verbrand worden (Figuur 3). Met recycling scoren eenmalige luiers nog wel beter dan het hoge impact-scenario van wasbare luiers.

Figuur 3 - Eenmalige en wasbare luiers hebben een lagere klimaatimpact met de elektriciteitsmix verwacht voor 2030, ten opzichte van de elektriciteitsmix van 2019 (Figuur 2)



Conclusies en aanbevelingen

De klimaatimpact van wasbare luiers is sterk afhankelijk van hoe een huishouden de was doet, terwijl de productie- en afdankingsfasen minder belangrijk zijn. De impact van wasbare luiers wordt vooral bepaald door de belading van de wasmachine en droger, elektriciteitsverbruik van de apparatuur, aantal keer hergebruik en het gebruik van inlegvellen. Andere factoren (waaronder de dosering van zeep, samenstelling van de luiers, en wastemperatuur) hebben geen grote invloed op de klimaatimpact van wasbare luiers.

Voor Nederlandse huishoudens zijn een aantal aanbevelingen afgeleid:

- Ook zonder zuinige apparatuur hebben wasbare luiers een lagere klimaatimpact dan eenmalige luiers. Een hogere belading van de machines verlaagt de impact.
- Het apart wassen van de luiers verhoogt de klimaatimpact aanzienlijk. We raden aan de luiers met andere was te wassen in een volle wasmachine (eventueel na apart spoelen).
- Als een huishouden een onzuinige wasdroger heeft, wordt er veel milieuwinst geboekt als deze niet gebruikt wordt. We raden aan de luiers aan een waslijn te drogen.
- Hoe langer de wasbare luiers gebruikt worden, hoe lager de milieu-impact per verschoening. Bij milieuvriendelijk wasgedrag hebben wasbare luiers vanaf drie maanden een lagere klimaatimpact dan eenmalige luiers die gerecycled worden.



Summary

The use of disposable baby diapers in the Netherlands generates about 200 kilotonnes of waste per year (VANG Huishoudelijk Afval, 2022). These used diapers are mainly incinerated. Commissioned by the Ministry of Infrastructure and Water Management, Rijkswaterstaat is conducting a diaper value chain project aimed at lowering the environmental impact of diapers and increasing circularity. An alternative to disposable baby diapers are washable diapers.

In this life cycle assessment (LCA) we evaluate the environmental impact of the use of washable diapers and disposable diapers. We focus on the use of average products in Dutch households. Three diaper systems are compared in the LCA:

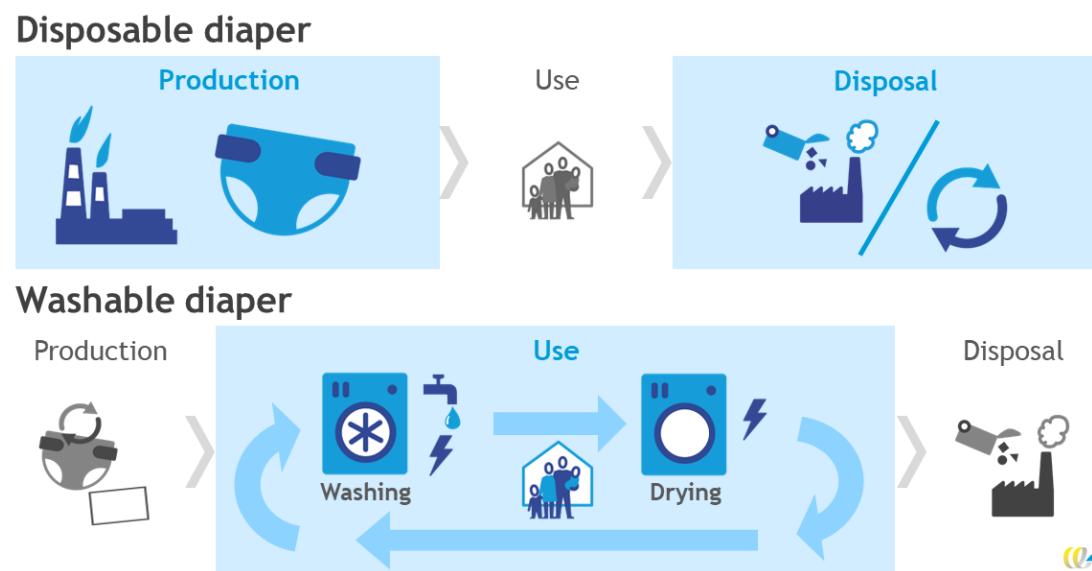
1. Disposable diapers that are incinerated after use (reference).
2. Disposable diapers that are recycled using thermal pressure hydrolysis.
3. Washable diapers that are reused.

The analysis shows that disposable diapers that are incinerated have the highest carbon footprint. With washable diapers, consumer behaviour determines the environmental impact. If a household has low efficiency appliances, frequently does smaller laundry and uses a dryer for all its laundry, washable diapers have a higher (up to 50%) carbon footprint than disposable diapers. In environmentally conscious households with more efficient appliances and washing behaviour, the washable diapers can have an up to four times lower environmental impact than disposable diapers.

Washable diapers: environmental impact determined by consumer behaviour

Diaper changes with disposable diapers or washable diapers are illustrated in Figuur 4.

Figuur 4 - Overview of diaper changes with disposable or washable diapers. For disposable diapers, the environmental impact is driven by the production and disposal phases. For washable diapers, the use phase determine the environmental impact, including the energy efficiency and load factors of washers and dryers



With disposable diapers, each change requires the production and disposal of one diaper. With washable diapers, cloth diapers and paper liners are used, which can be used multiple times. Due to reuse, the production and disposal phases have a small environmental impact. However, the diapers need to be washed and dried after every change. The electricity, water and detergent use of this step depend on the washing machine and tumble dryer used by the household (e.g. energy efficient or not), as well as choices made by the parents.

For the washing and drying of washable diapers a base scenario was established based on data and assumptions on the typical washing behaviour of Dutch households, such as average load factors, washing at 40 °C, and drying half of the laundry with a tumble dryer. The base scenario is not representative for all households. Therefore, we also include two scenarios with a high and low environmental aspect, in which the household behaviour and used appliances are changed. These scenarios illustrate the bandwidth within which the environmental impact of diapers can vary.

Life cycle assessment for one diaper change and for one diapering period of a child

To determine and compare the environmental impact of diapers we focus on one diaper change (the functional unit). In addition, we also assess the environmental impact of all changes during the diapering period of one child (additional functional unit). The environmental impact is determined using the ReCiPe 2016 (H) method. The focus of this study is on the carbon footprint, i.e. the contribution to climate change through the emissions of greenhouse gases. The LCA is conducted according to ISO14040 and ISO14044.

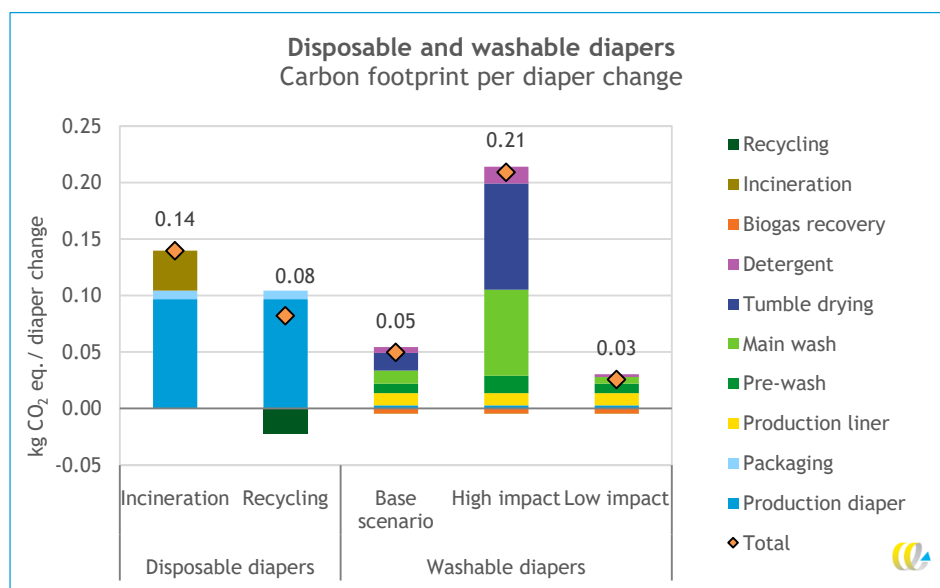
Results

Compared to disposable diapers that are incinerated, washable diapers have a lower impact for most environmental categories. The environmental categories for which washable diapers have a higher impact include water consumption, freshwater ecotoxicity, and freshwater and marine eutrophication. For all damage categories or 'endpoints' (human health, ecosystems and resources) washable diapers have lower impacts than disposable diapers. The environmental impact of recycled disposable diapers is for most environmental categories in between the impacts of washable diapers and incinerated disposable diapers.

Figure 5 shows the carbon footprint results of the different diaper systems. Recycling the disposable diapers after use reduces the carbon footprint by 41% compared to incineration of the disposable diapers. In the base scenario for washable diapers the carbon footprint is about 64% lower than that of disposable diapers that are incinerated.

However, the results for washable diapers can vary strongly per household. Washable diapers have the highest carbon footprint if we assume the diapers are washed separately using a washing machine and tumble dryer with high energy consumption. In this high-impact scenario the carbon footprint of washable diapers is about 50% higher than that of disposable diapers that are incinerated. In the low-impact-scenario (using a washing machine with average energy efficiency with high load factor and no dryer), the carbon footprint is about 82% lower compared to disposable diapers that are incinerated.

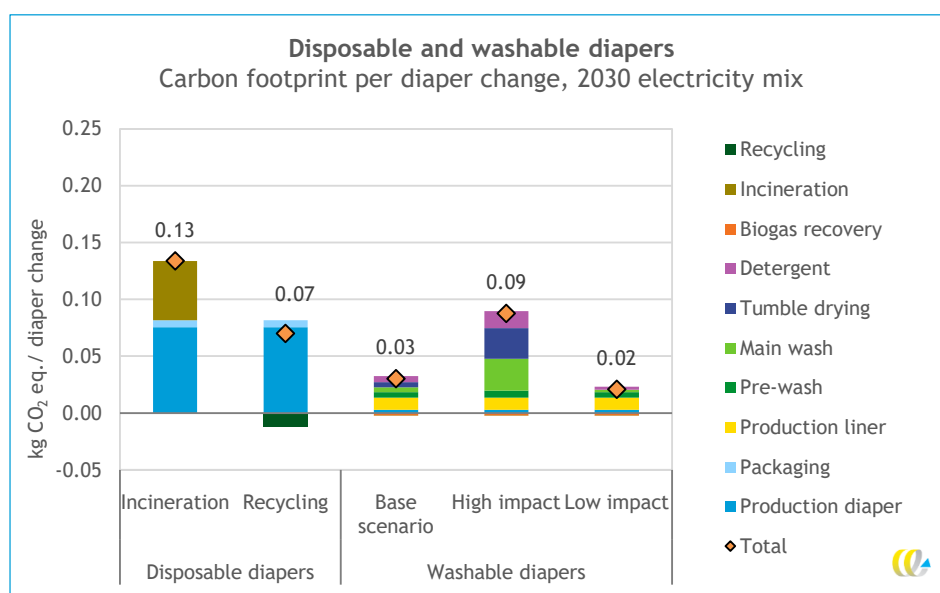
Figure 5 - Carbon footprint of disposable diapers (incineration or recycling), and washable diapers in three scenarios



Results with the 2030 electricity mix

The carbon footprint of washable diapers is strongly influenced by the electricity use of washing and drying. In the main analysis (Figure 5), the Dutch electricity mix for 2019 was used which consists for 76% of fossil energy sources such as natural gas and coal (CE Delft, 2022). If we assume the cleaner electricity mix of 2030, the carbon footprint of the high impact scenario drops below that of disposable diapers that are incinerated (Figure 6). If they are recycled, disposable diapers can still offer better environmental performance than the high impact scenario for washable diapers.

Figure 6 - Disposable and washable diapers have a lower carbon footprint when using the expected 2030 electricity mix when compared to the 2019 electricity mix (Figure 5)



Conclusions and recommendations

The carbon footprint of washable diapers strongly depends on how households do their laundry, while the production and disposal phases are less important. The impact of washable diapers is mainly determined by the load factor of the washing machine and tumble dryer, electricity use of the equipment, amount of diaper reuse and the use of liners. Other aspects (including the amount of detergent use and washing temperature) do not strongly affect the carbon footprint of washable diapers.

For Dutch households a number of recommendations have been derived:

- Also without energy efficient appliances, washable diapers have a lower carbon footprint than disposable diapers. Higher load factors lower the environmental impact.
- Washing diapers separately from other laundry greatly increases the carbon footprint. We recommend to wash the diapers with other laundry in a full washing machine (optionally after rinsing the diapers in a separate program).
- With inefficient dryers, the environmental impact of washable diapers can be lowered substantially by not using it. We recommend air-drying instead.
- Higher reuse results in lower environmental impacts of washable diapers. When washing environmentally friendly, washable diapers have a lower impact than disposable diapers that are recycled from 3 months of use onwards.

1 Inleiding

Het gebruik van eenmalige babyluiers in Nederland zorgt voor een afvalstroom van 200 kiloton per jaar (VANG Huishoudelijk Afval, 2022). Deze gebruikte luiers worden voornamelijk verbrand. Rijkswaterstaat (RWS) onderdeel WVL voert in opdracht van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat het luierketenproject uit. Dit ketenproject is onderdeel van de ketenaanpak uit het rijksbrede programma Circulaire Economie. Het ketenproject richt zich op alle R-stappen om een circulaire keten dichterbij te brengen.

Een voorbeeld van de R2-stap (reuse) is het gebruik van wasbare luiers¹. Wasbare luiers bestaan uit andere materialen dan eenmalige luiers en worden, uiteraard, na gebruik anders behandeld. Bij wasbare luiers wordt de milieu-impact voor een belangrijk deel bepaald door het wasproces terwijl de materiaalproductie een kleinere rol speelt. Deze milieu-impact is weer afhankelijk van zaken als de zuinigheid en de belading van de wasmachine en de soort energie die wordt gebruikt.

De mogelijke milieuvoordelen van wasbare luiers ten opzichte van eenmalige luiers zijn eerder onderzocht in internationale context en onder andere samengevat door de VN (UNEP, 2021). Omdat een studie in de Nederlandse context nog ontbreekt, is CE Delft gevraagd om een levenscyclusanalyse (LCA) uit te voeren.

In deze LCA worden drie soorten luierverwerkingscombinaties vergeleken:

1. Eenmalige luiers die na gebruik verbrand worden (referentie).
2. Eenmalige luiers die na gebruik gerecycled worden met thermische drukhydrolyse.
3. Wasbare luiers die opnieuw gebruikt kunnen worden.

¹ In eerdere studies is de milieukundige impact van het verbranden of recyclen van afgedankte luiers en incontinentiemateriaal al vergeleken (SGS Search, 2021, CE Delft, 2018a). Deze LCA onderzoekt een hogere stap op de R-ladder: hergebruik met wasbare luiers.

2 Methode

2.1 Doel en scope

Het doel van de analyse is het vergelijken van de milieu-impact van gebruik van wasbare luiers en eenmalige babyluiers, over de hele levenscyclus van een luier. We richten ons op gebruik in Nederland door huishoudens.

Voor het bepalen van de milieu-impact gebruiken we de indicatoren uit de ReCiPe 2016 (H)-methode. De nadruk ligt op de klimaatimpact ('carbon footprint'), oftewel de bijdrage aan klimaatverandering door de uitstoot van broeikasgassen.

De analyse wordt uitgevoerd volgens de ISO14040- en ISO14044-standaarden voor LCA. De LCA houdt rekening met de meerdere gebruikscycli van herbruikbare producten, die hoger op de R-ladder staan dan eenmalige producten.

Het landelijk afvalbeheerplan (LAP3) omschrijft een methode voor een multicyclus-LCA (mLCA) voor afvalstromen met een specifieke samenstelling (RWS, 2021). Deze methode is toe te passen op eenmalige producten waarvan de afvalstroom op verschillende manieren kan worden verwerkt. De methode is echter (nog) niet geschikt voor een vergelijking tussen eenmalige en herbruikbare producten, omdat de mLCA altijd 'begint' bij afgedankte producten/een afvalstroom die verwerkt moet worden. Hierbij is hergebruik geen optie.

In de hier toegepaste methode wordt (in tegenstelling tot de mLCA-methode) wel rekening gehouden met de meerdere gebruikscycli en de productiefase van de producten, omdat dit belangrijke aspecten zijn voor een eerlijke vergelijking tussen de alternatieven.

Onderzochte luiersystemen

We onderzoeken drie systemen:

1. Eenmalige luiers die na gebruik verbrand worden (referentie).
2. Eenmalige luiers die na gebruik gerecycled worden met thermische drukhydrolyse.
3. Wasbare luiers die opnieuw gebruikt kunnen worden.

Bij eenmalige luiers wordt gekeken naar een gemiddelde babyluier van circa 33 gram die met name bestaat uit pulp, superabsorberende polymeren (SAP) en kunststof (EDANA, 2015). Op het moment belanden huidige luiers vaak in afvalverbrandingsinstallaties (AVI's), zoals onderzocht in het eerste (referentie)systeem. Als alternatief kunnen deze ook gerecycled worden met thermische drukhydrolyse, zoals eerder onderzocht door CE Delft (2018a) en SGS Search (2021). Bij wasbare luiers bekijken we een all-in-one babyluier van 130 gram, bestaande uit kunststof, katoen en bamboeviscose. Bij de wasbare luiers worden inlegvellen gebruikt. De luiersystemen worden verder toegelicht in Paragraaf 2.2 en 2.3.

Afbakening

De studie bekijkt de hele levenscyclus van de luiers ('cradle-to-grave'). Dit houdt in dat alle stappen worden meegenomen, van de winning van grondstoffen en productie, tot gebruik en afvalverwerking na afdanking (*end-of-life*; EOL). De studie gaat verder uit van gebruik in Nederland in de huidige situatie (2022).

We bepalen de milieu-impact van babyluiers en niet van ander incontinentiemateriaal. We beschouwen de milieu-impact van incontinentiemateriaal kwalitatief in Hoofdstuk 4.

De details van de systeemgrenzen worden besproken in Paragraaf 2.2.

Functionele eenheid

De functionele eenheid geeft weer wat de functie is van het systeem dat onderzocht wordt en zorgt ervoor dat alle verschillende processen of producten met elkaar vergelijkbaar zijn. In deze studie is de functionele eenheid *één luierverschoning van een kind*.

Bij de wasbare luier houden we rekening met het hergebruik van de luier door de impact van de productie en eindelevensfase te delen door het aantal keer hergebruik van geboorte tot zindelijkheid. Zo kan een luierverschoning van een eenmalig systeem vergeleken worden met een meermalig systeem.

Op basis van één luierverschoning berekenen we vervolgens in Paragraaf 3.3 de totale milieu-impact van het opvoeden/zindelijk maken van één kind. Dit wordt gedaan om de resultaten per verschoning in context te plaatsen.

Wasscenario's

Voor wasbare luiers wordt de milieu-impact sterk bepaald door hoe de luiers gewassen worden. We stellen daarom een basisscenario op om het gemiddelde/beoogde gebruik van wasbare luiers te modelleren. In een zestal alternatieve scenario's bekijken we de invloed van afwijkende situaties, zoals wassen op een hogere temperatuur, luiers apart wassen, en een minder efficiënte wasmachine. Het basisscenario is opgesteld aan de hand van de consumentenbond (Consumentenbond, 2018) en met input van kennisplatform 'De Wasbare Luierwereld' (Kliphuis, 2022).

Co-producten en allocatie

In de drie luiersystemen worden verschillende co-producten geproduceerd. Bij verbranding in Nederlandse AVI's worden elektriciteit en warmte opgewekt, uit recycling worden kunststoffen teruggewonnen en wordt biogas geproduceerd, en ook bij wasbare luiers wordt uiteindelijk meer biogas geproduceerd (bij de rioolwaterzuiveringsinstallaties).

Om hier rekening mee te houden in de LCA redeneren we dat de co-producten de reguliere productie van eenzelfde hoeveelheid product voorkomen². Omdat er bijvoorbeeld elektriciteit wordt opgewekt door luiers te verbranden, hoeven de reguliere elektriciteitscentrales minder te produceren. De milieu-impact die plaatsgevonden zou hebben bij deze reguliere productie wordt in mindering gebracht. Dit wordt ook wel substitutie genoemd. In de rest van dit hoofdstuk wordt verder ingegaan op de co-producten per luiersysteem.

² Deze substitutie-redenering is een vorm van systeemuitbreiding volgens de ISO LCA-standaarden, omdat ook vermeden processen worden toegevoegd aan de systeemgrenzen. Systeemuitbreiding is een manier om allocatie te voorkomen (ISO, 2006a, 2006b).

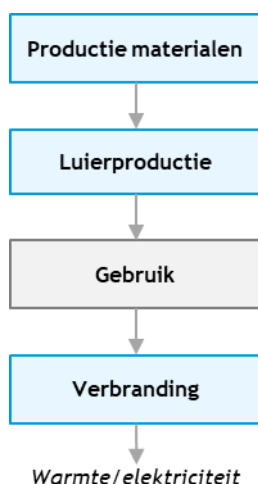
2.2 Onderzochte luiers en systeemgrenzen

2.2.1 Eenmalige luier en verbranding

De levenscyclus van eenmalige luiers en verbranding is versimpeld weergegeven in Figuur 7. De LCA van eenmalige luiers begint bij de winning van grondstoffen en de productie van de materialen van de luier en de verpakking. De materialen worden vervolgens verwerkt tot de luier. Transport naar retailers en naar de consument is niet meegenomen in de studie omdat eerder is aangetoond dat deze stap verwaarloosbaar is ten opzichte van andere stappen (CE Delft, 2018a). Tijdens het gebruik van de luier en de verschoning vindt geen milieu-impact plaats.

De afval (EOL)-fase van eenmalige luiers omvat de inzameling van de gebruikte luiers per vrachtwagen en het transport naar de AVI's. Tijdens de verbranding in de AVI wordt er warmte en elektriciteit geproduceerd. Dit is gemodelleerd op basis van de gemiddelde energierendementen van Nederlandse AVI's. De hierbij opgewekte warmte en elektriciteit wordt in het model meegenomen als vermeden productie van warmte en elektriciteit via conventionele Nederlandse energieopwekking.

Figuur 7 - De levenscyclus van eenmalige luiers met verbranding



2.2.2 Eenmalige luier en recycling

Het tweede systeem in deze studie is gelijk aan dat van het eerste scenario tot aan de EOL-fase (Figuur 8). Het model voor de recycling is gebaseerd op eerder onderzoek van CE Delft (2018a) en wordt hier samengevat³. Bij het recyclen van eenmalige luiers/incontinentiemateriaal vindt de inzameling van het gescheiden afval plaats, gevolgd door transport naar de recycling-locatie. Het luiermateriaal wordt in een TDH-installatie onder hoge druk en temperatuur verwerkt tot twee outputstromen:

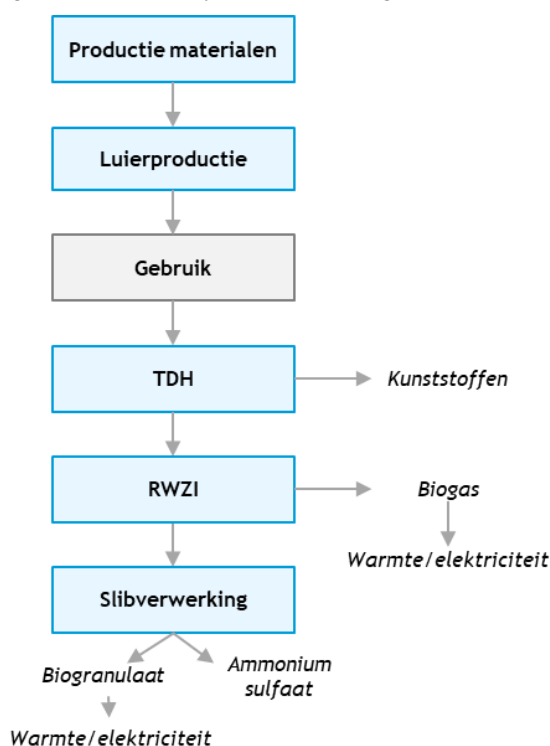
- Een slurry met organisch materiaal, waarvan wordt aangenomen dat deze vervolgens wordt getransporteerd naar en vergist bij een rioolwaterzuiveringsinstallatie (RWZI). Bij de vergisting wordt het organisch materiaal omgezet in biogas. De vergister is gekoppeld

³ Ten tijde van dit onderzoek was de TDH-installatie nog niet volledig operationeel. In een vervolgstudie (SGS) is het model op enkele details na onveranderd (zie Bijlage 0). Deze hebben een kleine impact op de milieu-impact van het recyclingproces en daarom hebben we het oorspronkelijke model van CE Delft aangehouden.

aan een wkk-centrale (warmtekrachtkoppeling) die het biogas omzet in elektriciteit en warmte. De warmte wordt gebruikt voor de vergisting. De vermeden productie van conventionele elektriciteitsopwekking hierdoor is in het model opgenomen.

- Het uitgegiste slib wordt vervolgens verwerkt tot biogranulaat, waarbij ook ammoniumsulfaat gewonnen wordt. Het biogranulaat wordt ook in een AVI verbrand waarbij elektriciteit en warmte opgewekt worden. Ook deze zijn gemodelleerd als het vermijden van conventionele energieopwekking. Het ammoniumsulfaat wordt gemodelleerd als het vermijden van meststof productie.
- Een massa van gemengde kunststoffen. De kunststoffen worden gegraneleerd en kunnen verwerkt worden tot nieuwe producten. De inputs voor het verwerken tot nieuw kunststofgranulaat zijn meegenomen in het model, net als de vermeden productie van virgin kunststoffen.

Figuur 8 - De levenscyclus van eenmalige luiers met recycling



2.2.3 Wasbare luiers

Figuur 9 toont de systeemgrenzen van de LCA voor de wasbare luier. We bekijken een wasbare (all-in-one) luier gemaakt van 130 gram van een mix van kunststof (50% polyester), bamboeviscose (25%) en katoen (25%). Dit is gebaseerd op een grotere wasbare luier voor baby's van een half jaar tot zindelijkheid (6-15 kg). Het gewicht is relatief hoog, om zo te voorkomen dat de milieu-impact van de productie van wasbare luiers onderschat wordt. Er bestaan all-in-one wasbare luiers die gedurende bijna de volledige tijd tot zindelijkheid gebruikt kunnen worden (voor 3-16 kg bijvoorbeeld Tabel 15). Ter vereenvoudiging nemen we hier aan dat één groter type luier wordt gebruikt van geboorte tot het bereiken van zindelijkheid.

Er bestaat een grote verscheidenheid aan wasbare luiers en er is geen informatie bekend over welke materiaalsoorten het meest gebruikt worden. De hier gehanteerde samenstelling is daarom gebaseerd op een steekproef van beschikbare all-in-one luiers (Bijlage Tabel 15). Er zijn ook andere modellen wasbare luiers, waarbij niet de hele luier bij elke verschooning gewassen wordt, bijvoorbeeld door het gebruik van aparte buitenbroekjes en ‘boosters’ (stoffen inleggers voor extra absorberend vermogen). Een all-in-one is daarom een conservatieve benadering voor een wasbare luier.

De productie van de materialen (kunststof, bamboeviscose en katoen) is opgenomen in het model. De omzetting van deze materialen tot een wasbare luier is niet meegenomen omdat er geen gegevens beschikbaar zijn. De impact van de productiefase (materialen en omzetting) is echter klein, omdat de luiers vaak opnieuw gebruikt kunnen worden (450 keer, zie Paragraaf 2.3).

We gaan er verder van uit dat papieren inlegvellen worden gebruikt. Deze worden gemiddeld 2,6 keer gebruikt (Billenboetiek, 2022). Ook hiervoor geldt dat de productie van de materialen is meegenomen.

Net als bij eenmalige luiers is het transport vanaf de productie tot aan de consument niet meegenomen in de analyse. Dit is vermoedelijk een conservatieve benadering voor wasbare luiers; aangezien deze veel vaker gebruikt worden is er minder transport nodig dan bij eenmalige luiers⁴.

Na het gebruik worden de luiers gewassen. Voor het wasgedrag gaan we uit van een basisscenario. Dit wordt toegelicht in Paragraaf 2.2.3. Additionele scenario's voor het consumentengedrag bij wasbare luiers worden beschouwd bij de Resultaten in Paragraaf 3.4.

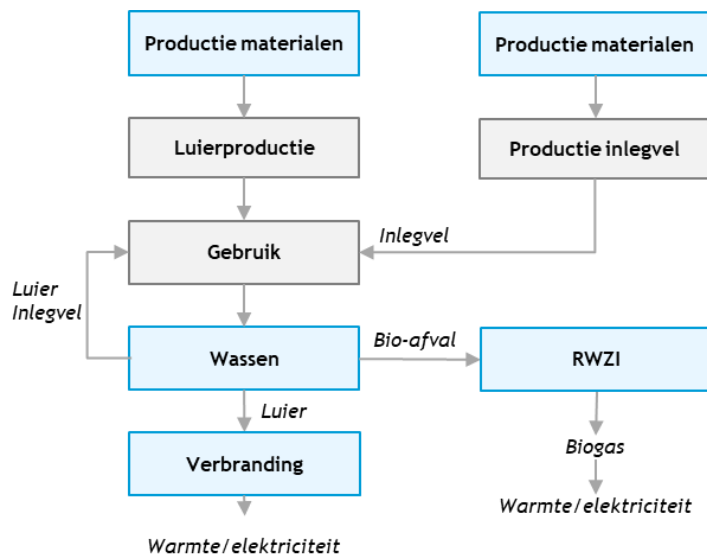
De feces en urine belanden in het afvalwater, wat na transport door het rioolstelsel bij een RWZI verwerkt wordt tot biogas⁵. De hierdoor vermeden conventionele productie van warmte en elektriciteit is meegenomen in het model.

Bij de EOL-fase worden de luiers getransporteerd naar een AVI en verbrand, waarbij emissies plaatsvinden en warmte- en elektriciteit gegenereerd worden. Ook hier is het vermijden van conventionele warmte- en elektriciteitsopwekking meegenomen in het model. Ook deze fase speelt bij wasbare luiers een kleine rol, omdat de milieu-impact van de verbranding wordt verdeeld over de 450 keer hergebruik.

⁴ Dit kan veranderen wanneer niet door huishoudens zelf wordt gewassen, maar op een centrale locatie. Deze mogelijkheid is hier niet verder onderzocht.

⁵ Dit gebeurt niet bij elke RWZI, maar naar analogie met de eenmalige luier die gerecycled wordt, nemen we dit wel mee in het model. Het uiteindelijke effect ervan is echter niet groot. De hoeveelheid biogas geproduceerd is gebaseerd op de gemiddelde Nederlandse vergister (zie Bijlage A.2.4).

Figuur 9 - Levenscyclus van wasbare luiers



2.3 Dataverzameling en modellering

In de volgende paragrafen worden de kerngegevens van de drie systemen weergegeven (Paragraaf 2.3.1), en gaan we vervolgens in op de verschillende was-scenario's voor de wasbare luiers (Paragraaf 2.3.2).

De belangrijkste bronnen voor de samenstelling en productie van eenmalige luiers zijn eerdere studies in opdracht van Rijkswaterstaat (RIVM, 2016, Tauw, 2021). De EOL-fase van eenmalige luiers is gemodelleerd volgens eerdere studies van CE Delft (2018a) en SGS Search (2021). Via branche-organisatie EDANA hebben we luierproducenten gevraagd naar een geüpdatete samenstelling van eenmalige luiers, maar dit heeft geen recentere informatie opgeleverd. Het modelleren van de wasbare luiersoorten en het wasgedrag van consumenten is gebaseerd op gesprekken met de Wasbare Luierwereld (Kliphuis, 2022). Ten slotte is de Ecoinvent-database gebruikt (Ecoinvent, 2021).

Het model is gemaakt in de SimaPro LCA-software, versie 9.4. Voor het doorrekenen van de resultaten is gebruik gemaakt van de ReCiPe 2016 (H/A)-methode, versie 1.07. Langetermijnemissies zijn uitgesloten.

2.3.1 Overzicht kerngegevens

In Tabel 1 is een overzicht weergegeven van de levenscyclus van de drie onderzochte systemen en de belangrijkste parameters voor het model. We berekenen de milieu-impact van één verschoning bij wasbare luiers door de productie en einde levensduur te delen door het aantal keer hergebruik. Per verschoning rekenen we bijvoorbeeld voor de productie van de wasbare luier een gewicht van 130 g gedeeld door 450 keer hergebruik, wat uitkomt op 0,3 g luier. De gedetailleerde modellering van elk luiersysteem wordt verder beschreven in Bijlage A.

Tabel 1 - Model van de verschillende stappen in de levenscyclus van eenmalige luiers (verbrand en gerecycled) en wasbare luiers gebruikt in deze studie

	Enmalige luiers en verbranding	Enmalige luiers en recycling	Wasbare luiers
Productie			
Soort product	Marktgemiddelde volgens TAUW 2021	Marktgemiddelde volgens TAUW 2021	All-in-one luier voor geboorte tot zindelijkheid
Gewicht (1 luier)	33,3 g	33,3 g	130 g ^a (voor 1 verschoning 0,3 g)
Samenstelling	27% pulp 38% SAP 29% kunststof 7% lijm, elastiek, overig	27% pulp 38% SAP 29% kunststof 7% lijm, elastiek, overig	25% katoen 50% kunststof 25% bamboe
Productie	52,8 kWh elektriciteit 20 kJ warmte 2 g water	52,8 kWh elektriciteit 20 kJ warmte 2 g water	Niet meegenomen
Gebruik			
Aantal keer gebruik	1	1	450 ^c (voor 1 verschoning, 1 keer gebruik)
Hergebruik	N.v.t.	N.v.t.	Gebruik wasmachine en droger: zie Paragraaf 2.3.2. Gebruik met papieren inlegvel, dat 2,6 keer hergebruikt wordt. (0,4 inlegvel/verschoning)
Ontlasting per verschoning	103,2 g urine 22,8 g feces	103,2 g urine 22,8 g feces	103,2 g urine 22,8 g feces
Netto energierugwinning uit rioolslib	N.v.t.	N.v.t.	Electriciteit: 0,6 Wh/verschoning Warmte: 3,1 kJ/verschoning
Einde levensduur			
Verwerkingsmethode	Verbranding met energierugwinning	Recycling (thermische drukhydrolyse)	Verbranding met energierugwinning ^e (gedeeld door 450 voor 1 verschoning)
Transportafstand	80 km	80 km	80 km
Co-producten	Electriciteit: 0,04 kWh/luier Warmte: 0,19 MJ/luier	Gemengd kunststof: 16,6 g/luier ^f Electriciteit (uit biogas): 5,88 Wh	Electriciteit: 0,11 kWh/luier Warmte: 0,48 MJ/luier (gedeeld door 450 voor 1 verschoning)

- a In een recente studie van True Price (2022) zijn ook eenmalige luiers met verbranding vergeleken met wasbare luiers. In deze studie zijn vergelijkbare gegevens gebruikt als hier. True Price hanteert wel een hoger gewicht voor de meermalige luier (160-230 g). Het effect hiervan op de resultaten is minimaal omdat de meeste impact komt van de gebruiksfase.
- b De wasbare luier is gemodelleerd als een geweven stof van 130 g. De productie (stikken, enzovoort) tot de luier is niet meegenomen, omdat dit te verwaarlozen is tegenover de impact van de grondstoffen, en het wassen.
- c Verondersteld wordt dat 24 wasbare luiers worden gebruikt voor het zindelijk maken van twee kinderen. Met 5.400 verschoningen per kind van geboorte tot zindelijkheid, geeft dat 5.400*2 verschoningen/24 luiers = 450 verschoningen per luier. Een lager hergebruik per luier wordt onderzocht in Paragraaf 3.4.4.

- d Het opwekken van elektriciteit en warmte in de AVI en het recyclen van kunststof worden meegenomen als vermeden opwekking van elektriciteit/warmte en virgin kunststofproductie.
- e We kijken niet naar recyclen omdat door het hoge hergebruik de impact van de EOL-fase klein is.
- f Per ton luieraafval wordt 104 kg kunststof gerecycleerd. Een volle luier weegt 159,3 g. $104 \text{ kg} / 1.000 \text{ kg} * 153,9 \text{ g/luier} = 16,6 \text{ g}$ kunststof per luier.

2.3.2 Basisscenario wasbare luier

Het **basisscenario voor wasbare luiers** is gebaseerd op gegevens en aannames over het typische wasgedrag van Nederlandse huishoudens. De volgende uitgangspunten zijn gehanteerd:

- **Aantal verschoningen:** Gedurende de eerste 3,2 jaar vinden 5.400 verschoningen plaats (Tauw, 2021). Een kind wordt dus gemiddeld 4,6 keer per dag verschoond.
- **Wasfrequentie:** Luiers worden drie keer per week gewassen (voorwas en hoofdwas). Per wasbeurt worden dus gemiddeld ($4,6 \text{ luiers per dag} * 7/3 =$) 10,7 luiers gewassen. Als er langer gewacht wordt met wassen (dat wil zeggen langer dan drie dagen wachten), zijn de luiers niet goed meer te reinigen.
- **Voorwas:** Luiers worden koud voorgewassen zodat vervuiling niet bij andere kleding en witgoed belandt. De voorwas bestaat voor 100% uit luiers.
- **Hoofdwas:** In de hoofdwas worden de luiers samen met andere was gewassen op 40 graden. We gaan ervan uit dat 35% van de hoofdwas uit luiers bestaat. Dit is als volgt bepaald:
 - Gemiddelde capaciteit wasmachine: 8 kg.
 - Beladingsfactor: 50%. Dit is een conservatieve schatting, aangezien uit een enquête van de Consumentenbond blijkt dat meeste mensen de machine vullen totdat er nog een vuistdikte ruimte is, of zodra de wasmand vol is. (Consumentenbond, 2018)
 - Gewicht luiers: 1,4 kg per was. Met 4,6 luiers per dag van 130 gram⁶ en drie wasjes per week, is het luiergewicht per was ($10,7 \text{ luiers per was} * 130 \text{ gram/luier} =$) 1,4 kg.
 - In een gemiddelde was bestaat dus ($1,4 / (8 * 50\%) =$) 35% van de was uit luiers. Eén verschoning is dus verantwoordelijk voor ($35\% / 10,7 \text{ luiers per was} =$) 3,2% van de milieu-impact van een hoofdwas.
 - Het wassen van het inlegvel is niet meegenomen want verwaarloosbaar (0,014 kg voor tien inlegvellen op een was van 8 kg).
- **Droger:** De luiers worden samen met andere was gedroogd op stand ‘katoen kastdroog’.
 - De gemiddelde capaciteit, de beladingsfactor, en het gewicht van de luiers zijn hetzelfde als bij de hoofdwas.
 - Aandeel was gedroogd: we veronderstellen dat de helft van de luiers machinaal en de helft aan de waslijn gedroogd zal worden. Hierdoor wordt de impact van het drogen van één verschoning ($3,2\% * 50\% =$) 1,6% van de milieu-impact van het droogprogramma.
- **Wasmiddel:** Er wordt een gemiddelde hoeveelheid van 50 g waspoeder gebruikt per hoofdwas. Net als het energie- en watergebruik van de hoofdwas wordt dit voor 35% toegerekend aan de luiers in de was. Bij de voorwas wordt geen wasmiddel ingezet.

Het basisscenario is niet representatief voor alle huishoudens. Bovendien is er een grote variatie van de parameters mogelijk. In een gevoeligheidsanalyse is daarom elke parameter afzonderlijk gevarieerd en het effect hiervan op de milieu-impact geanalyseerd (Bijlage B).

⁶ We gaan hier uit van het droge gewicht van de wasbare luier, omdat de capaciteit van wasmachines vermoedelijk ook gebaseerd wordt op droge was. Hoewel gebruikte wasbare luiers zwaarder zijn dan 130 gram, belandt de feces in principe niet in de wasmachine door het gebruik van inlegvellen, en is de urine vergelijkbaar met het water dat de wasmachine zelf toevoert.



Voor de parameters die een groot effect hebben op de uiteindelijke milieu-impact voegen we bij de resultaten extra scenario's toe, zoals een combinatie van parameters die leidt tot een zeer hoge of lage impact (zie Paragraaf 3.3). Verder bepalen we de milieu-impact van een aantal praktische keuzes die huishoudens mogelijk maken bij het gebruiken van wasbare luiers (zie Paragraaf 3.4).

In Tabel 2 is aangegeven hoe de uitgangspunten van het basisscenario resulteren in het elektriciteit-, water- en wasmiddelgebruik per verschoning. Het elektriciteit- en waterverbruik van verschillende was- en droogprogramma's is bepaald met een steekproef van wasmachines en drogers op de huidige Nederlandse markt verkrijgbaar (Coolblue, 2022) (meer informatie in Tekstkader 1). Voor het elektriciteitsverbruik is de gemiddelde Nederlandse elektriciteitsmix gebruikt.

Tabel 2 - Basisscenario wassen en drogen

Onderdeel	Verbruik per verschoning	Opmerkingen
Voorwas	Elektriciteit: 12 Wh/verschoning Water: 4,2 l/verschoning	Elektriciteit: 0,13 kWh/was op koud-kortprogramma ^a Water: 45 l/was ^a . 10,7 verschoningen per was.
Hoofdwas	Elektriciteit: 23 Wh/verschoning Water: 2,0 l/verschoning	Elektriciteit: 0,72 kWh/was op 40 graden ^a . Water: 62 l/was ^a . Hiervan wordt 35% toegerekend aan de 10,7 luiers die per keer gewassen worden.
Wasmiddel	Waspoeder: 1,6 g/verschoning	50 g waspoeder/was. Hiervan wordt 35% toegerekend aan de 10,7 luiers die per keer gewassen worden.
Drogen	Elektriciteit: 36 Wh/verschoning	Elektriciteit: 2,2 kWh/was op katoen kastdroogprogramma ^a . Hiervan wordt 35% toegerekend aan de 10,7 luiers die per keer gedroogd worden. Dit wordt gehalveerd in de veronderstelling dat de helft van de luiers aan de lijn gedroogd wordt.

^{a)} Het gemiddelde verbruik van elektriciteit en water van wasmachine en droger, zie Bijlage A.2.3.

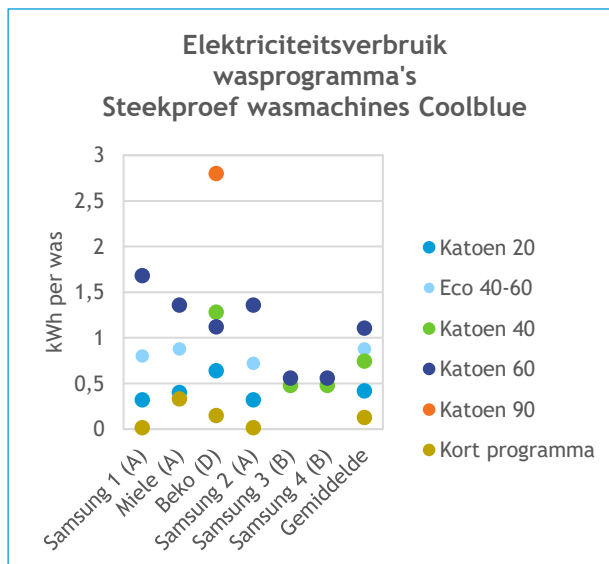
Tekstkader 1 - Elektriciteitsverbruik wasmachines

Om het energieverbruik van een wasprogramma te schatten is een steekproef gedaan van zes wasmachines momenteel via Coolblue verkrijgbaar in Nederland (Coolblue, 2022). Het gemiddelde verbruik is genomen om de impact van het wassen van luiers te berekenen.

Er vallen echter twee zaken op: 1) de spreiding op het gemiddelde is erg groot, en 2) er is geen link tussen het energielabel en het elektriciteitsgebruik van de meeste wasprogramma's. Dit laatste is omdat het energielabel gebaseerd is op de Eco 40-60 was, en dus niets zegt over het verbruik van een Katoen 40 of 60 was. Omdat luiers niet met het Eco 40-60 wasprogramma worden gewassen (deze wast op 25-31 °C in onze steekproef), beschouwen we het energielabel niet als relevant voor dit onderzoek.

Een deel van de huishoudens gebruikt echter een wasmachine met een onder- of bovengemiddeld elektriciteitsverbruik. Om met deze scenario's rekening te houden, hebben we voor het gebruikte wasprogramma het laagste of hoogste verbruik uit de steekproef genomen.

Figuur 10 - Elektriciteitsverbruik van wasprogramma's van wasmachines nu verkrijgbaar in Nederland. Achter het merk is het energielabel tussen haakjes weergegeven. Deze figuur is gebaseerd op gegevens uit Bijlage A.2.3.



3 Resultaten

We bespreken in dit hoofdstuk eerst de resultaten voor één luierverschoning voor verschillende milieueffecten (midpoints) en schadecategorieën (endpoints) in Paragraaf 3.1. Het doel hiervan is om te bepalen welk luiersysteem de laagste milieu-impact heeft als we zoveel mogelijk milieueffecten doorrekenen.

Vanaf Paragraaf 3.2 richten we ons verder op de klimaatimpact, oftewel de bijdrage aan klimaatverandering door de uitstoot van broeikasgassen. De klimaatimpact wordt beleidsmatig en maatschappelijk gezien als één van de belangrijkste milieueffecten. Voor product-systemen waarbij fossiele energie gebruikt wordt (bijvoorbeeld voor de productie van plastics of elektriciteit) correleert de klimaatimpact bovendien sterk met de totale milieu-impact⁷.

In Paragraaf 3.2 bespreken we de klimaatimpact van een enkele verschoning, en in Paragraaf 3.3 beschouwen we de klimaatimpact van alle verschoningen gedurende de hele luielperiode van een kind. We gaan dieper in op de factoren die bijdragen tot de klimaat-impact van wasbare luiers en laten de klimaatimpact zien van vier praktijksituaties in Paragraaf 3.4. In Paragraaf 3.5 bekijken we tot slot het effect van de gebruikte elektriciteitsmix op de klimaatimpact van luiers.

3.1 Resultaten milieu-indicatoren (per verschoning)

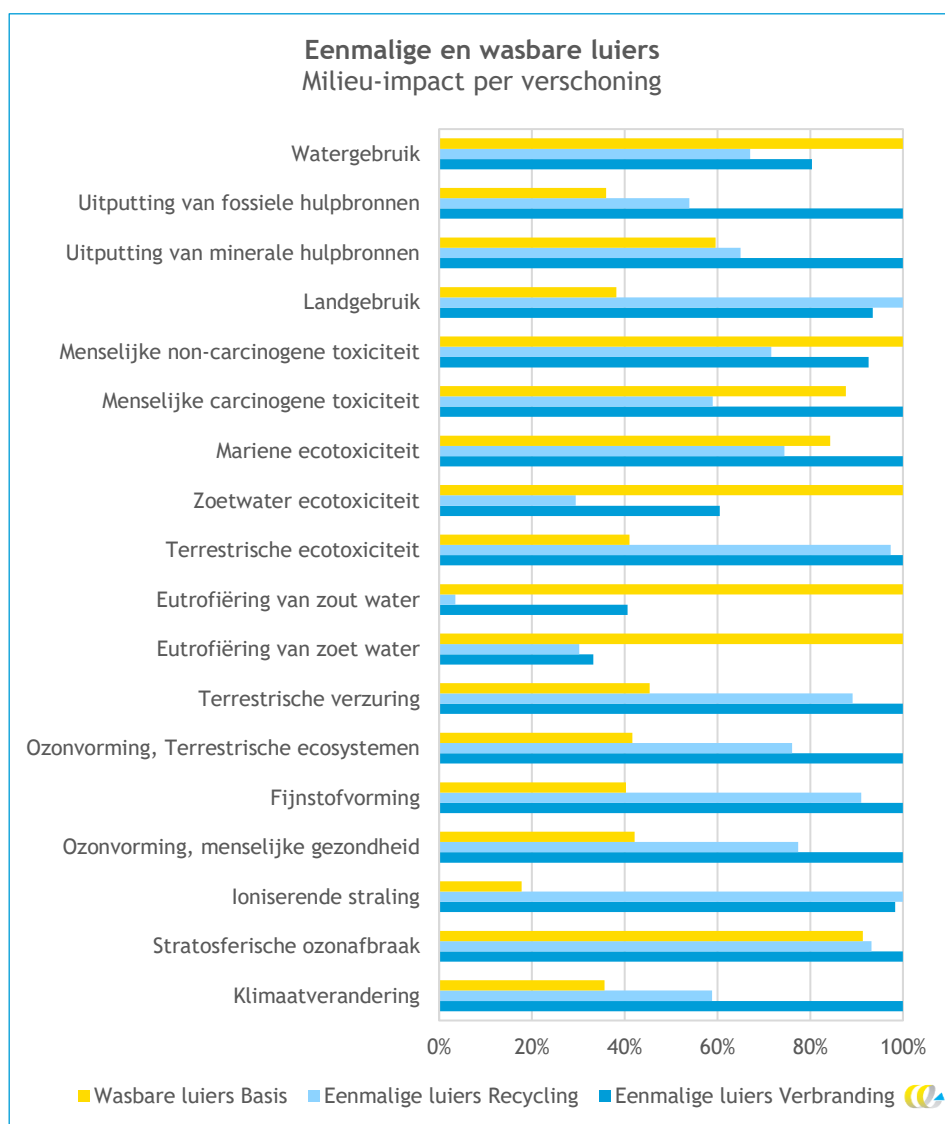
3.1.1 Midpoints

De ReCiPe 2016-methode berekent resultaten voor achttien milieueffecten, waaronder de klimaatimpact. Dit zijn de midpoint-indicatoren. De resultaten voor alle milieu-indicatoren zijn weergegeven in Figuur 11. Hierbij is het luiersysteem met de hoogste milieu-impact op 100% gezet. In Tabel 3 worden dezelfde resultaten getoond.

⁷ In Bijlage C wordt gekeken naar de bijdrage van verschillende milieu-effecten in een overkoepelende (niet ISO-conforme) single-score-indicator die de totale milieu-impact weergeeft.



Figuur 11 - Milieueffecten van eenmalige en wasbare luiers op midpoint-niveau. (De hoogste impact voor elk milieueffect is op 100% gezet)



De wasbare luier heeft in het basisscenario voor de meeste impactcategorieën een lagere impact dan eenmalige luiers. Bij zoetwater en zoutwater eutrofiëring hebben wasbare luiers een 3 en 2,5 keer hogere impact dan eenmalige luiers met verbranding. Ook voor zoetwater ecotoxiciteit heeft de wasbare luier een 65% hogere impact. De hogere waarde van de wasbare luier ligt bij deze categorieën in de eerste plaats aan de afvalwaterverwerking van het wassen (40-70% van de impact). De productie van het katoen voor de luier, het inlegvel en het wasmiddel zijn verantwoordelijk voor de rest van de impact in deze categorieën.

Voor watergebruik heeft de wasbare luier een 24% hogere impact in het basisscenario door het wassen. In het lage impactscenario wordt het verschil met de eenmalige luier zeer klein.

De LAP3-methode kan gebruikt worden om deze resultaten verder te interpreteren (RWS, 2021). Volgens het LAP3 is een technologie milieukundig gezien beter als deze op alle midpoint-categorieën een lagere waarde heeft (een lagere waarde betekent een lagere milieu-impact en is dus beter). Als dit niet het geval is, dient te worden gekeken naar een aantal specifieke midpoint-categorieën⁸. Een technologie is in dit geval hoogwaardiger als het op al deze midpoint-categorieën een lagere waarde heeft. Die situatie gaat hier niet op (bijvoorbeeld door het resultaat op zoetwater ecotoxiciteit; Figuur 11). Het LAP3 schrijft in dat geval voor om te kijken naar zogeheten endpointresultaten, die we in de volgende paragraaf bespreken.

Tabel 3 - De milieu-impact van eenmalige en wasbare luiers, per verschoning. De scenario's voor de wasbare luier zijn dezelfde als in Paragraaf 3.2

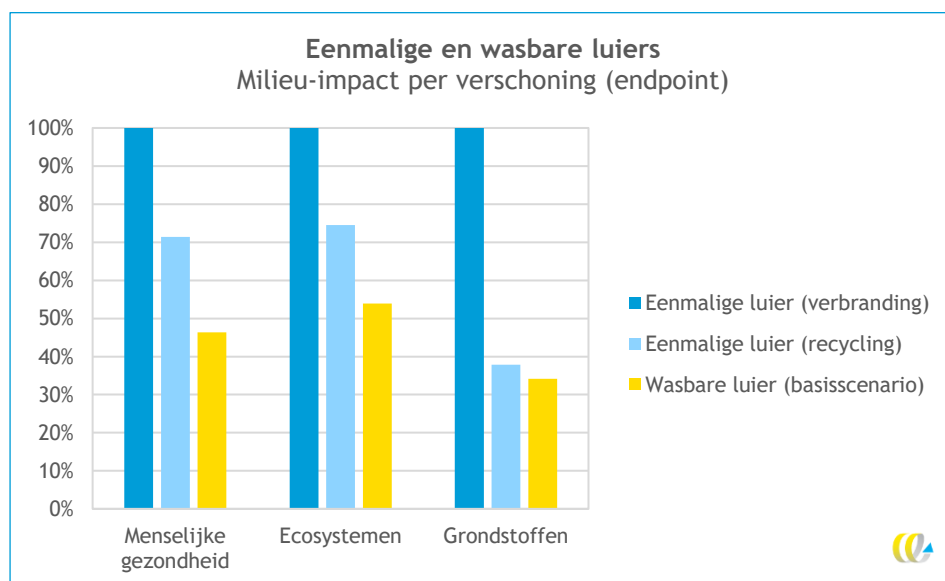
Effectcategorie	Eenheid	Eenmalige luiers, verbranding	Eenmalige luiers, recycling	Wasbare luiers, basisscenario
Klimaatverandering	kg CO ₂ -eq.	0,14	0,08	0,05
Stratosferische ozonafbraak	kg CFC11-eq.	5,0E-08	4,7E-08	4,6E-08
Ioniserende straling	kBq Co-60 eq.	1,5E-03	1,6E-03	2,8E-04
Ozonvorming, menselijke gezondheid	kg NO _x -eq.	2,2E-04	1,7E-04	9,2E-05
Fijnstofvorming	kg PM _{2.5} -eq.	1,3E-04	1,2E-04	5,4E-05
Ozonvorming, Terrestrische ecosystemen	kg NO _x -eq.	2,3E-04	1,7E-04	9,4E-05
Terrestrische verzuring	kg SO ₂ -eq.	3,1E-04	2,8E-04	1,4E-04
Eutrofiëring van zoet water	kg P-eq.	1,1E-05	9,7E-06	3,2E-05
Eutrofiëring van zout water	kg N-eq.	2,0E-05	1,7E-06	5,0E-05
Terrestrische ecotoxiciteit	kg 1,4-DCB	0,21	0,21	0,09
Zoetwater ecotoxiciteit	kg 1,4-DCB	1,2E-04	5,7E-05	1,9E-04
Mariene ecotoxiciteit	kg 1,4-DCB	2,7E-04	2,0E-04	2,3E-04
Menselijke carcinogene toxiciteit	kg 1,4-DCB	1,3E-03	7,5E-04	1,1E-03
Menselijke non-carcinogene toxiciteit	kg 1,4-DCB	0,02	0,02	0,02
Landgebruik	m ² a crop-eq.	0,02	0,02	0,01
Uitputting van minerale hulpbronnen	kg Cu-eq.	2,0E-04	1,3E-04	1,2E-04
Uitputting van fossiele hulpbronnen	kg oil-eq.	0,040	0,021	0,014
Watergebruik	m ³	1,6E-03	1,4E-03	2,0E-03

3.1.2 Endpoints

De verschillende midpoint-indicatoren dragen bij aan drie overkoepelende schade-categorieën of 'endpoints': menselijke gezondheid, ecosystemen en grondstoffen. In Figuur 12 staan de resultaten op endpoint-niveau voor de drie bestudeerde luiersystemen.

⁸ Klimaatverandering, humane toxiciteit, ecotoxiciteit, uitputting mineralen/metalen en uitputting fossiele grondstoffen.

Figuur 12 - Milieueffecten van eenmalige en wasbare luiers op endpoint-niveau. (De hoogste impact voor elke schadecategorie is op 100% gezet.)



De eenmalige luier met verbranding scoort steeds het hoogst, en de wasbare luier in het basisscenario het laagst. De impact van de wasbare luiers ligt 45% tot 65% lager dan die van eenmalige luiers die verbrand worden. Dit komt doordat de midpoint-categorieën waarin de wasbare luiers beter scoren dan eenmalige luiers zwaarder meewegen in het endpoint-resultaat dan de categorieën waarin wasbare luiers minder goed scoren.

Het LAP3 stelt dat een technologie milieukundig hoogwaardiger is als het op alle drie de endpoint-indicatoren een lagere waarde heeft. Er mogen alleen conclusies verbonden worden aan de resultaten op endpoint-niveau als de gevonden verschillen substantieel en significant zijn. Daarnaast mogen de verschillen niet ingrijpend worden beïnvloed door onzekerheden in de uitgangspunten.

De aanzienlijke lagere scores op alle endpoints laten zien dat wasbare luiers een lagere milieu-impact hebben dan eenmalige luiers. Wel dient hierbij opgemerkt te worden dat dit het geval is voor het basisscenario, dat niet representatief zal zijn voor alle Nederlandse huishoudens.

Tabel 4 - Endpointresultaten: vergelijking van eenmalige luiers met verbranding of recycling en wasbare luiers (basisscenario)

Endpoint	Eenheid	Eenmalige luier (verbranding)	Eenmalige luier (recycling)	Wasbare luier (basisscenario)
Menselijke gezondheid	DALY	2,25E-07	1,61E-07	1,04E-07
Ecosystemen	species.yr	6,65E-10	4,96E-10	3,59E-10
Grondstoffen	USD2013	0,0118	0,0045	0,0040465

3.2 Klimaatimpact luiers per verschoning

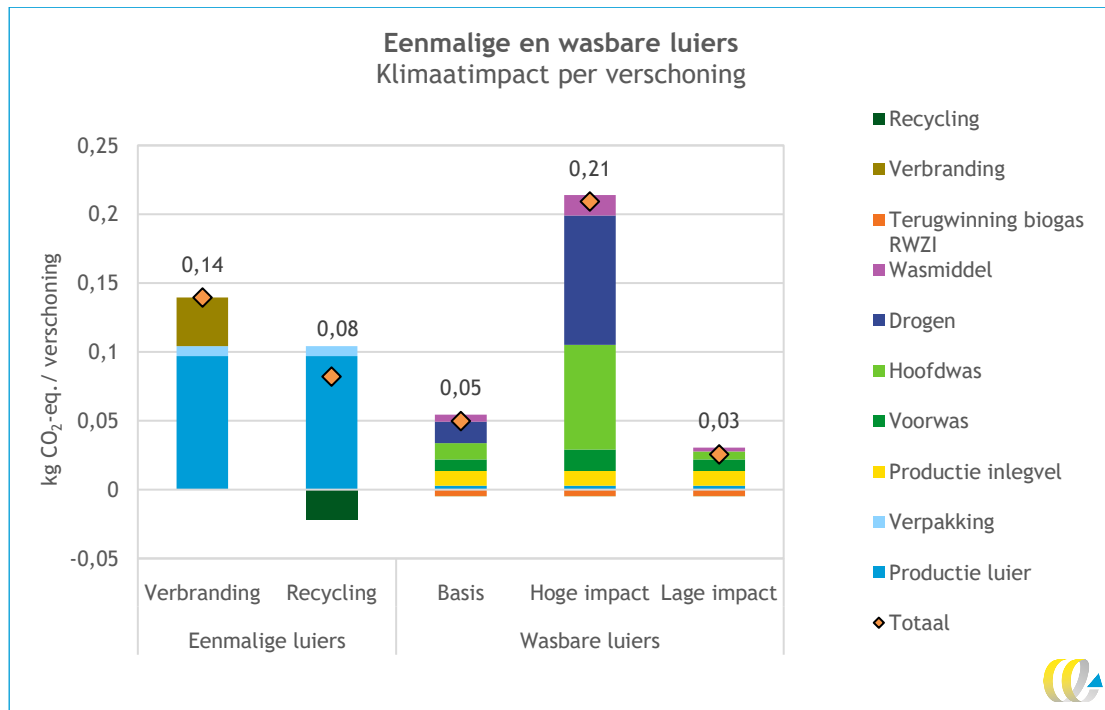
De resultaten van de klimaatimpact van eenmalige en wasbare luiers worden weergegeven in Figuur 13. De eenmalige luier met verbranding heeft per verschoning de hoogste klimaat-impact met 0,14 kg CO₂-eq. Als eenmalige luiers gerecycled worden neemt de klimaat-impact af met 41% tot 0,08 kg CO₂-eq./verschoning. De klimaatimpact van wasbare luiers komt in het basisscenario uit op 0,05 kg CO₂-eq./verschoning, een reductie van 64% ten opzichte van eenmalige luiers die verbrand worden. Deze is echter afhankelijk van het wasgedrag van een huishouden, wat onder de figuur verder besproken wordt.

Bij eenmalige luiers die verbrand worden, is 69% van de klimaatimpact afkomstig van de materialen en productie van de luier, en 5% van de verpakking (materialen en productie). De resterende 25% wordt veroorzaakt door verbranding. Hierbij is rekening gehouden met de energierugwinning in de AVI.

Bij het recyclen van de eenmalige luier is de klimaatimpact van een verschoning 41% lager over de hele levenscyclus dankzij het vermijden van verbranding en het produceren van kunststofgranulaat, ammoniumsulfaat, biogas en biogranulaat.

De klimaatimpact van de productiefase van een wasbare luier is een kleine fractie van de totale klimaatimpact door het hergebruik (450 keer bij het basisscenario), namelijk 5% bij het basisscenario. De productie van het inlegvel is wel een significante fractie van de totale impact (22% voor het basisscenario), maar de grootste klimaatimpact komt door het wassen van de luiers.

Figuur 13 - De klimaatimpact (kg CO₂-eq./verschoning) van eenmalige luiers (met verbranding of recycling als EOL) en wasbare luiers (met het basis wasscenario en twee scenario's met hoge en lage impact)



De klimaatimpact van de wasbare luier is sterk afhankelijk van het wasgedrag en de wasmachine en droger van de gebruiker. In Figuur 13 worden naast het basisscenario twee scenario's weergegeven met een hoge- en lage klimaatimpact. Deze scenario's zijn niet bedoeld als absolute *best case* en *worst case*, maar laten realistische gunstige en ongunstige situaties zoals die kunnen voorkomen in huishoudens in Nederland zien. In Tabel 5 wordt weergegeven hoe deze scenario's afwijken van het basisscenario⁹. Oranje gearceerde cellen zorgen voor een hogere klimaatimpact per verschoning ten opzichte van het basisscenario, terwijl groene cellen een lagere klimaatimpact aangeven.

Bij het scenario met de hoge impact wordt dit veroorzaakt door het apart wassen van de luiers met een wasmachine en droger met hoog elektriciteitsverbruik. Dit leidt tot een klimaatimpact 50% *hoger* ten opzichte van een eenmalige luier met verbranding. In vergelijking met een eenmalige luier die gerecycled wordt is dit een toename van 155%.

Het scenario met lage impact is gebaseerd op een gemiddeld elektriciteitsverbruik van de wasmachine, het volledig vullen van de wasmachine met andere was, en het aan de lijn drogen van de luiers. Dit leidt tot een verdere halvering van de klimaatimpact van wasbare luiers tot een klimaatimpact van 18% van de klimaatimpact van eenmalige luiers met verbranding en 31% van de klimaatimpact van gerecyclede eenmalige luiers.

Tabel 5 - Overzicht variaties in het basis-, hoge impact-, en lage impact-scenario voor wasbare luiers. De klimaatimpact van deze scenario's wordt weergegeven in Figuur 13

Parameter	Basis	Hoge impact	Lage impact
Vulgraad wasmachine/droger	50%	18% ^a	100%
Aandeel was gedroogd (vs. waslijn)	50%	50%	0%
Energieverbruik voorwas (kWh/was)	0,13	0,33	0,13
Energieverbruik hoofdwas (kWh/was)	0,72	1,67	0,72
Energieverbruik droger (kWh/was)	2,20	4,63	2,20
Waterverbruik wasmachine (L/was)	107	154	107

a) Hier worden de luiers apart gewassen (geen andere was erbij).

3.3 Klimaatimpact luiers per zindelijk kind

De impact van één verschoning is klein. Om de resultaten in context te plaatsen bepalen we hier de klimaatimpact voor het zindelijk maken van één kind. In deze tweede vergelijking onderzoeken we tevens wat het effect is van twee factoren die per kind kunnen verschillen¹⁰: hoe snel het kind zindelijk wordt en hoe vaak een luier verschoond wordt.

Voor alle drie de onderzochte systemen (eenmalige luiers die verbrand worden, eenmalige luiers die gerecycled worden, wasbare luiers) bekijken we variaties in de totale hoeveelheid verschoningen per zindelijk kind. De tijd tot zindelijkheid variëren we tussen het gemiddelde van 3,2 jaar (TAUW, 2021) en een kortere periode van 2,5 jaar. Het aantal verschoningen

⁹ In deze scenario's worden alleen de factoren aangepast die het meeste invloed hebben op de totale klimaatimpact. Deze belangrijkste factoren zijn geïdentificeerd in de analyse in Bijlage B.

¹⁰ Omdat deze zaken per kind zullen verschillen, zijn de resultaten in deze vergelijking ook minder zeker. Hoewel er in de literatuur geen verschil wordt gerapporteerd in de tijd tot zindelijkheid bij eenmalige of wasbare luiers (Environment Agency, 2008), is het relevant om te kijken hoe verschillende lengtes van luierperiodes uitpakken in de totale klimaatimpact. Ook het aantal verschoningen per dag zal verschillen afhankelijk van het kind en keuzes van de ouders.



per dag variëren we tussen 4,6 (TAUW, 2021) en een bovenwaarde van 6. Zoals weergegeven in Tabel 6 komen we hiermee uit op drie varianten van respectievelijk 4.200, 5.400 en 7.000 verschoningen per zindelijk kind. Voor wasbare luiers gaan we hier uit van het basisscenario.

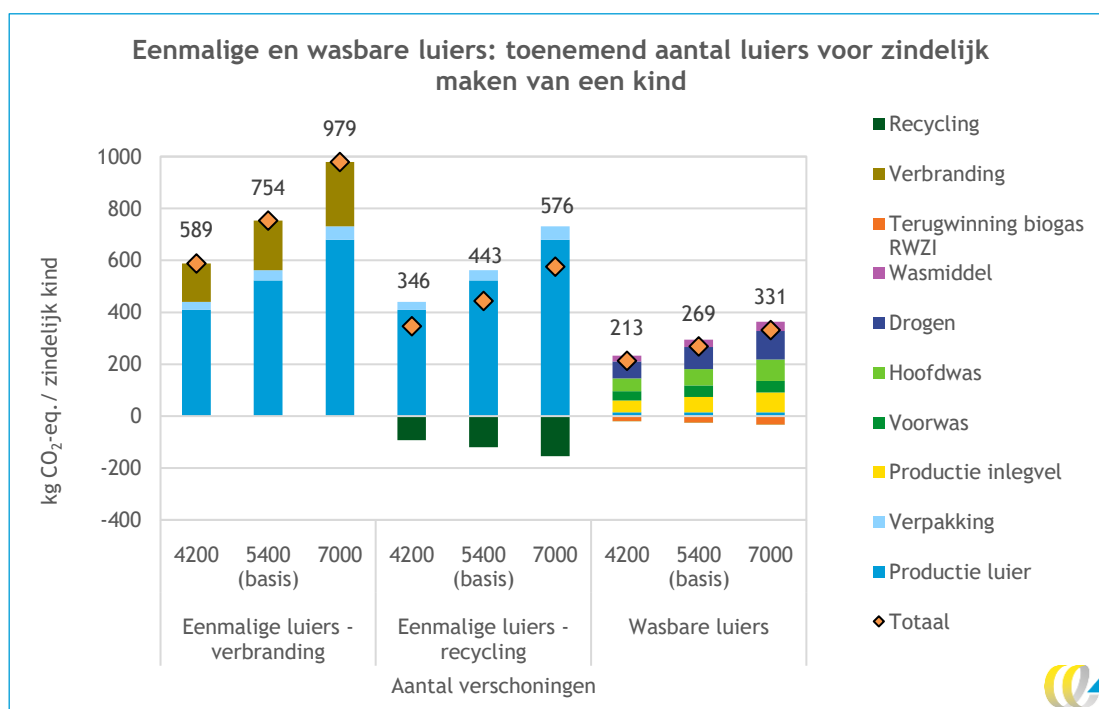
Tabel 6 - Variaties op het totaal aantal verschoningen nodig gedurende de gehele luierperiode van een kind. Het totaal aantal verschoningen is afhankelijk van de tijd tot het kind zindelijk is en het gemiddeld aantal verschoningen per dag

	Tijd tot zindelijk (jaar)	Verschoningen per dag	Totaal aantal verschoningen
Variant 1	2,5	4,6	4.200
Variant 2	3,2	4,6	5.400
Variant 3	3,2	6,0	7.000

In Figuur 14 wordt de klimaatimpact voor de gehele luierperiode weergegeven. Om deze impact te berekenen, vermenigvuldigen we de impact van één verschoning met het totaal aantal verschoningen nodig voor het zindelijk maken van een kind. De drie onderzochte varianten hebben bij het gebruik van eenmalige luiers met verbranding een klimaatimpact van 589, 754 en 979 kg CO₂-eq. Bij het gebruik van eenmalige luiers met recycling is de klimaatimpact van de drie varianten 346, 443 en 576 kg CO₂-eq. Bij eenmalige luiers (verbranding of recycling) leidt Variant 1 (4.200 verschoningen) tot een afname van 22% ten opzichte van het basisscenario (5.400 verschoningen). Variant 3 (7.000 verschoningen) resulteert in een toename van 30% tegenover het basisscenario.

Het gebruiken van wasbare luiers geeft voor de drie varianten een klimaatimpact van 213, 269 en 331 kg CO₂-eq. Variant 1 (4.200 verschoningen) heeft ten opzichte van het basisscenario met 5.400 verschoningen een 21% lagere klimaatimpact. Wasbare luier Variant 3 met 7.000 verschoningen heeft een 23% hogere klimaatimpact dan het basisscenario met 5.400 verschoningen. De procentueel lagere toename in klimaatimpact bij wasbare luiers in vergelijking met eenmalige luiers (23% tegenover 30% bij eenmalig) komt doordat bij wasbare luiers de klimaatimpact van productie en de end-of-life fase constant blijft wanneer het aantal verschoningen toeneemt. Alleen het aantal keer wassen en drogen en neemt toe met een toenemend totaal aantal verschoningen.

Figuur 14 - De klimaatimpact (kg CO₂-eq.) van eenmalige luiers (met verbranding of recycling als EOL) en wasbare luiers voor de gehele luiersperiode van één kind, bij 4.200, 5.400 of 7.000 verschoningen



3.4 Wasbare luiers: variaties in consumentengedrag

De klimaatimpact van wasbare luiers is afhankelijk van meerdere factoren. Hierboven werden twee theoretische scenario's met een lage- en hoge impact vergeleken, waarvoor de impact varieert van 0,03 tot 0,21 kg CO₂-eq. per verschoning. Gebruikers van luiers hebben in praktijk niet altijd de controle over alle factoren die bijdragen tot de klimaatimpact. Om inzicht te verlenen in factoren die ze wel kunnen beïnvloeden, wordt hier de klimaatimpact berekend van een aantal concrete situaties waarin keuzes van consumenten een belangrijke rol spelen bij de milieu-impact.

3.4.1 Situatie 1: geen zuinige wasmachine en droger

In deze casus onderzoeken we de klimaatimpact van wasbare luiers in huishoudens die onzuinige apparatuur hebben. We kijken hierbij naar twee gevallen: één waarin de wasmachine (katoen 40°C programma) en droger onzuinig zijn en de rest van het basisscenario ongewijzigd is, en één waarin het huishouden de apparatuur helemaal vult om energie te besparen. De parameters gebruikt voor deze scenario's worden gegeven in Tabel 8 en de klimaatimpact in Figuur 15. Het gebruiken van een half gevulde, onzuinige wasmachine en droger heeft een klimaatimpact van 0,08 kg CO₂-eq. per verschoning. Wanneer dezelfde wasmachine en droger volledig worden gevuld, daalt de klimaatimpact met 35% tot 0,05 kg CO₂-eq. per verschoning.

Wanneer het onzuinige katoen 40°C programma wordt omgewisseld voor een gemiddeld katoen 60°C programma, blijft de klimaatimpact gelijk. Een gemiddeld katoen 60°C programma verbruikt namelijk net zo veel elektriciteit als het katoen 40°C programma met hoogste verbruik uit onze steekproef. Het waterverbruik van een onzuinig katoen 40°C

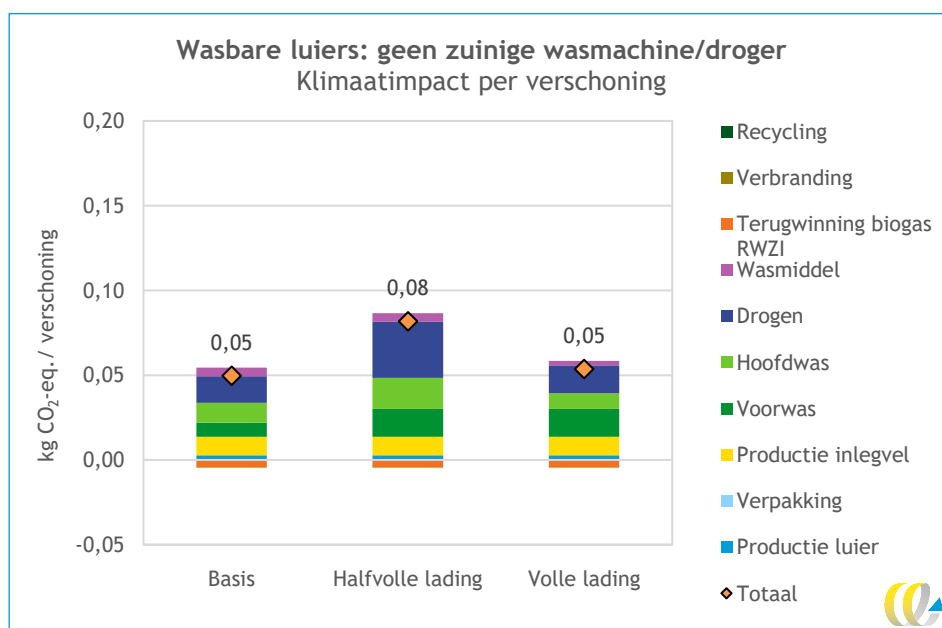
programma is wel hoger dan een gemiddelde 60 °C was, maar dit speelt geen grote rol bij de klimaatimpact.

Tabel 7 - Overzicht parameters bij onzuinige wasmachine en droger*

Parameter	Basis	Hoog verbruik droger/wasmachine	Volle lading
Vulgraad wasmachine/droger	50%	50%	100%
Aandeel was gedroogd (vs. waslijn)	50%	50%	50%
Energieverbruik voorwas (kWh/was)	0,13	0,33	0,33
Energieverbruik hoofdwas (kWh/was)	0,72	1,11	1,11
Energieverbruik droger (kWh/was)	2,20	4,63	4,63
Waterverbruik wasmachine (L/was)	107	155	155

* Het elektriciteit- en waterverbruik van de onzuinige wasmachine en droger zijn de hoogste voor katoen 40 °C uit de steekproef, Bijlage A.2.3.

Figuur 15 - Klimaatimpact van wasbare luiers: het effect van de lading van de wasmachine en droger wanneer deze niet zuinig zijn



3.4.2 Situatie 2: zuinige wasmachine en droger, en de luiers apart wassen

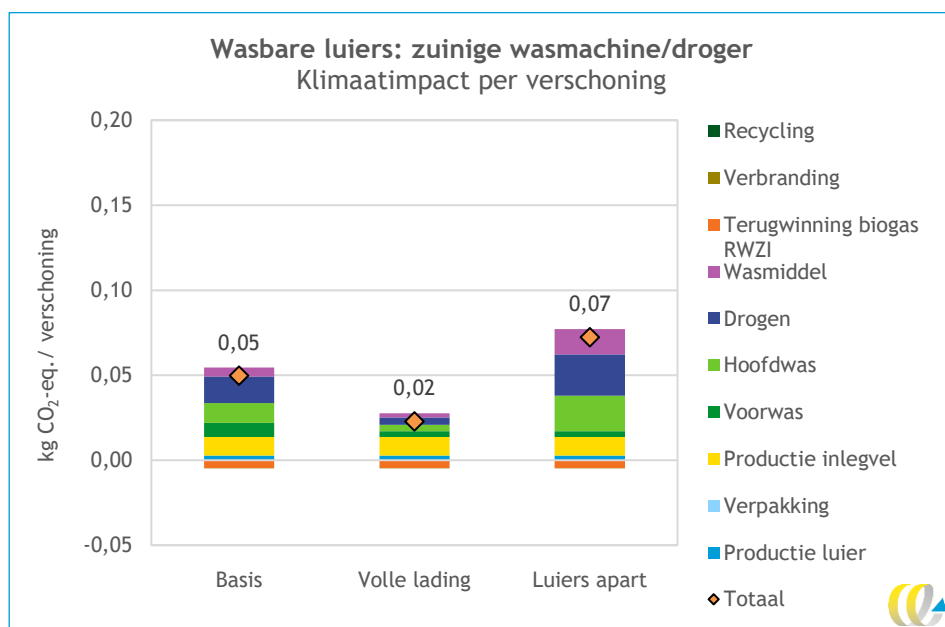
In deze casus onderzoeken we de klimaatimpact van wasbare luiers in huishoudens met zuinige apparatuur. Hier vergelijken we twee gevallen: één waarbij de zuinige wasmachine en droger volledig gevuld worden en lager verbruik hebben dan in het basisscenario, en één waarbij wasmachine en droger alleen gebruikt worden voor het wassen en drogen van luiers. In Tabel 8 worden de parameters gebruikt in deze casus weergegeven en in Figuur 16 de resulterende klimaatimpact. Als een huishouden een zeer zuinige wasmachine en droger heeft en op 40 °C wast met een volle lading, komt de klimaatimpact uit op 0,02 kg CO₂-eq. per verschoning, slechts een kwart van het basisscenario. Mochten ouders beslissen om de luiers apart te wassen, neemt de impact aanzienlijk toe tot 46% *boven* het basisscenario.

Tabel 8 -Overzicht parameters bij zuinige wasmachine en droger*

Parameter	Basis	Volle lading	Luiers apart wassen/drogen
Vulgraad wasmachine/droger	50%	100%	18% (alleen luiers)
Aandeel was gedroogd (vs. waslijn)	50%	50%	50%
Energieverbruik voorwas (kWh/was)	0,13	0,02	0,02
Energieverbruik hoofdwas (kWh/was)	0,72	0,45	0,45
Energieverbruik droger (kWh/was)	2,20	1,20	1,20
Waterverbruik wasmachine (L/was)	107	81	81

* Het elektriciteit- en waterverbruik van de zuinige wasmachine en droger zijn de laagste uit de steekproef, Bijlage A.2.3.

Figuur 16 - Klimaatimpact van wasbare luiers: het effect van het apart wassen van luiers wanneer de wasmachine en droger wel zuinig zijn



3.4.3 Situatie 3: geen zuinige droger, luiers aan de lijn drogen

Het gebruik van de droger draagt aanzienlijk bij tot de klimaatimpact van wasbare luiers (31% in het basisscenario). In deze casus bekijken we huishoudens met een droger met hoog elektriciteitsverbruik ten opzichte van het basisscenario. We vergelijken twee gevallen: één waarbij alle luiers machinaal gedroogd worden (ten opzichte van de helft van de luiers in het basisscenario), en één waarbij alle luiers aan de waslijn gedroogd worden. De gebruikte parameters worden weergegeven in Tabel 9 en de bijhorende klimaatimpact in Figuur 17. Wanneer een droger met hoog verbruik wordt gebruikt en alle luiers machinaal worden gedroogd, leidt dit tot een klimaatimpact van 0,10 kg CO₂-eq. per verschoning, het dubbele van het basisscenario en 22% hoger dan de klimaatimpact van eenmalige luiers met recycling.

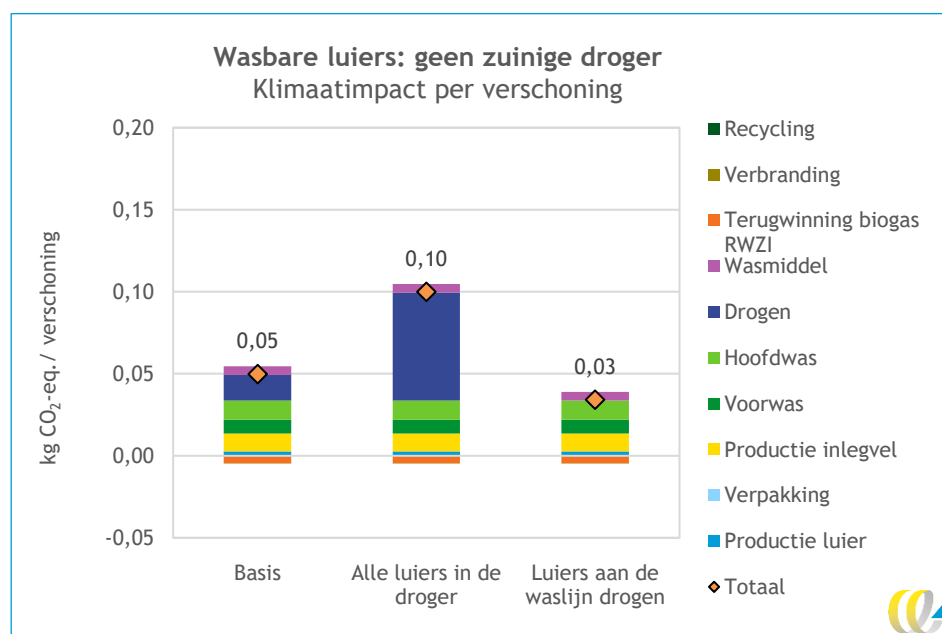
Mocht deze gebruiker alle luiers aan de lijn drogen, daalt de klimaatimpact tot 0,03 kg CO₂-eq. per verschoning, een 31% lager klimaatimpact dan in het basisscenario.

Tabel 9 - Overzicht parameters bij een droger met hoog verbruik*

Parameter	Basis	Hoog verbruik droger, alle luiers drogen	Alle luiers aan de lijn drogen
Vulgraad wasmachine/droger	50%	50%	50%
Aandeel was gedroogd (vs. Waslijn)	50%	100%	0%
Energieverbruik voorwas (kWh/was)	0,13	0,13	0,13
Energieverbruik hoofdwas (kWh/was)	0,72	0,72	0,72
Energieverbruik droger (kWh/was)	2,20	4,63	4,63
Waterverbruik wasmachine (L/was)	107	107	107

* Het verbruik van de droger is het hoogste uit de steekproef (Bijlage A.2.3).

Figuur 17 - Klimaatimpact van wasbare luiers: het effect van een droger met hoog verbruik tegenover de luiers aan de waslijn drogen



3.4.4 Situatie 4: beperkt hergebruik van de luiers

Naast het wassen/drogen is het aantal keer hergebruik een belangrijke parameter voor de klimaatimpact van wasbare luiers. Het belang van deze parameter speelt vooral bij een hergebruik van minder dan 100 (zie ook Bijlage B). In deze casus onderzoeken we de klimaatimpact van wasbare luiers bij huishoudens die zuiniger wassen dan het basisscenario door het volledig vullen van een zuinige wasmachine en droger. We bekijken hier twee gevallen: het gebruik van luiers gedurende de hele luierperiode van één kind¹¹ (3,2 jaar) (in het basisscenario is dit voor twee kinderen), en het gebruik van luiers gedurende drie maanden. Dit leidt tot een hergebruik van 225 en achttien keer per luier. De parameters hiervoor zijn weergegeven in Tabel 10. Figuur 18 geeft weer dat bij een hergebruik van

¹¹ Dit komt overeen met het gebruiken van twee luiersets met verschillende maten voor twee kinderen (al dan niet via de tweedehandsmarkt). Sommige huishoudens zullen namelijk geen gebruik maken van all-in-one luiers, maar van een kleinere maat gevolgd door een grotere maat.

achttien keer de impact van de productiefase aanzienlijk verhoogt, waardoor de klimaat-impact 0,09 kg CO₂-eq. per verschoning wordt. Dit is drie keer hoger dan de luiers 225 keer te gebruiken bij eenzelfde wasgedrag.

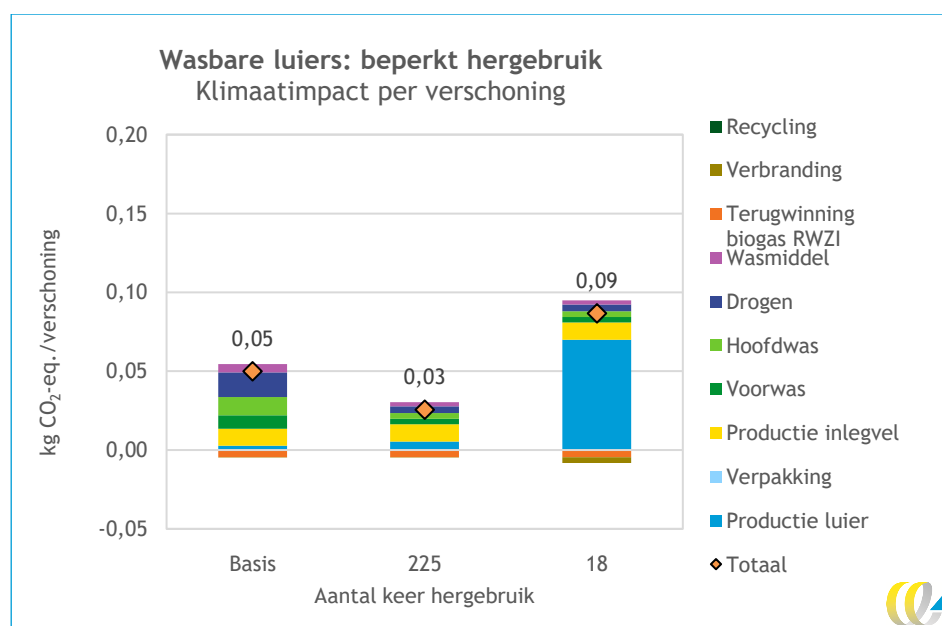
Tabel 10 - Overzicht parameters bij beperkt hergebruik van wasbare luiers bij zuinig wassen en drogen, met volle lading

Parameter	Basis	Luiers gebruiken voor één zindelijk kind	Luiers na drie maanden weggooien
Vulgraad wasmachine/droger	50%	100%	100%
Aandeel was gedroogd (vs. waslijn)	50%	50%	50%
Energieverbruik voorwas (kWh/was)	0,13	0,02	0,02
Energieverbruik hoofdwas (kWh/was)	0,72	0,45	0,45
Energieverbruik droger (kWh/was)	2,20	1,20	1,20
Waterverbruik wasmachine (L/was)	107	81,00	81,00
Aantal keer hergebruik	450*	225	18

* In het basisscenario wordt verondersteld dat een set van 24 luiers voor twee kinderen wordt gebruikt.

** Bij zuinig wassen is het wasmachine en droger verbruik het laagste uit de steekproef (Bijlage A.2.3).

Figuur 18 - Klimaatimpact van wasbare luiers: het effect van beperkt hergebruik van de luiers in combinatie met zuinig wassen en drogen



3.5 Effect van de elektriciteitsmix op de klimaatimpact van de luiers

Het elektriciteitsverbruik heeft een grote invloed op de milieu-impact van de verschillende luiersystemen. In de komende jaren zal de elektriciteitsmix in Nederland echter veranderen. We onderzoeken hier het effect van deze verandering op de klimaatimpact van de luiersystemen, op basis van de verwachtingen uit Klimaat- en Energieverkenning voor 2030¹² (PBL, 2021).

¹² In 2030 verwacht PBL (2021) 26% elektriciteitsproductie uit aardgas, 51% wind, 13% zon, 5% biomassa, 2% nucleair en 2% overig.

We gebruiken de volgende uitgangspunten voor de modellering:

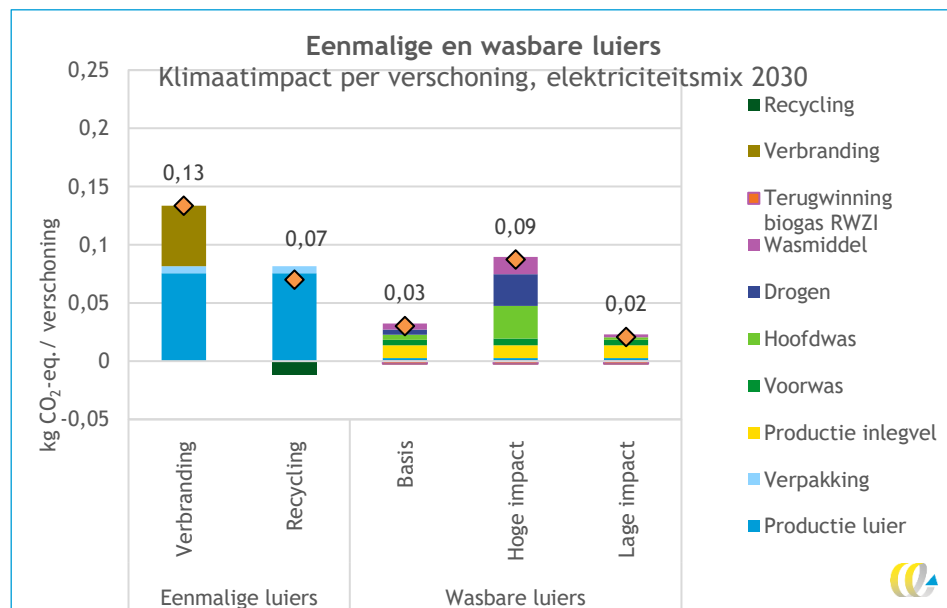
- De klimaatimpact van de Nederlandse elektriciteits (gebruikt door consumenten bij het wassen), daalt van 0,44 kg CO₂-eq./kWh in de basisanalyse naar 0,13 kg CO₂-eq./kWh voor 2030.
- We veronderstellen dat de Europese elektriciteitsmix in 2030 (gebruikt voor de productie van eenmalige luiers) een vergelijkbare trend volgt en ook uitkomt op 0,13 kg CO₂-eq./kWh in 2030¹³.
- De productie van de wasbare luier laten we onveranderd aangezien deze verwaarloosbaar is ten opzichte van de gebruiksfase (het wassen en drogen) van de luier.
- Voor de einde levensduur van zowel eenmalige als wasbare luiers gebruiken we de Nederlandse elektriciteitsmix van 2030¹⁴. Dit geldt voor zowel voor recycling (verbruikt elektriciteit) als verbranding (vermijdt elektriciteit).
- Voor wasbare luiers analyseren we zowel het basisscenario als de hoge- en lage impactscenario's.

Figuur 19 laat de resultaten van deze analyse zien. De elektriciteitsmix van 2030 zorgt voor een daling van de impact van alle luiersystemen. De daling is het grootst voor de wasbare luier, 40% in het basisscenario, tegenover 7 en 12% voor de eenmalige luier met verbranding en recycling respectievelijk. Met name in het hoge impactscenario bij de wasbare luier - waarbij de impact kwam door het apart wassen van luiers met inefficiënte wasmachine en droger - is de daling van de klimaatimpact groot, met 57%. Hierdoor is de impact van wasbare luiers ook bij inefficiënt wasgedrag lager dan een eenmalige luier met verbranding. Wel scoort een eenmalige luier die gerecycled wordt ook in 2030 nog steeds beter dan de wasbare luier in het hoge impactscenario.

¹³ Verder *upstream* in de productieketens van stoffen die wereldwijd geproduceerd worden (acrylzuur, ABS copolymeer, synthetisch rubber, nonwoven polypropyleen, NaOH) is de elektriciteitsmix niet aangepast. Voor de synthese van superabsorbant polymer, de extrusie voor de PE-laag van de luier, de synthese van de fluff pulp, en voor het productieproces van de materialen tot de eenmalige luier, is wel de elektriciteitsmix aangepast naar de verwachting voor Nederland in 2030.

¹⁴ Het AVI-energie rendement is niet veranderd.

Figuur 19 - De klimaatimpact (kg CO₂-eq./verschoening) van eenmalige luiers (met verbranding of recycling als EOL) en wasbare luiers (met het basis wasscenario en twee scenario's met hoge en lage impact). De resultaten zijn gelijk aan die van Figuur 13 met alleen aanpassing van de elektriciteitsmix naar Nederland in 2030



4 Interpretatie

In dit hoofdstuk bespreken we eerst de belangrijkste aannames/onzekerheden om de resultaten in context te plaatsen (Paragraaf 4.1). Daarnaast vergelijken we onze bevindingen met die van andere studies (Paragraaf 4.2). Tot slot bespreken we in hoeverre onze resultaten voor babyluiers ook opgaan voor incontinentiemateriaal (Paragraaf 4.3).

4.1 Discussie aannames en onzekerheden

In het basisscenario voor wasbare luiers zijn een aantal aannames verwerkt om de kans te minimaliseren dat de berekende klimaatimpact een onderschatting is. Door deze conservatieve benadering geeft de berekende klimaatimpact van de wasbare luiers (in verschillende scenario's) een bovengrens aan van de klimaatimpact. Andere aannames dienen ter vereenvoudiging van het model. Het basisscenario bij de wasbare luier geeft niet een standaard of gemiddeld gebruik weer, maar een referentie om de gebruiksscenario's mee te vergelijken.

Aannames/opmerkingen bij alle luiersystemen:

- Er wordt 4,6 keer verschoond per dag, en de luierperiode duurt 3,2 jaar. Variaties hierop zijn onderzocht in Paragraaf 3.3.
- De studie richt zich op gebruik door Nederlandse huishoudens. In een andere geografische context of bij andersoortig gebruik (bijvoorbeeld wassen op een centrale locatie), zullen de resultaten anders uitvallen.
- Transport van de winkel tot de consument is niet meegenomen. Wasbare luiers worden minder vaak gekocht waardoor ook minder transport nodig zal zijn. Aan de andere kant kunnen eenmalige luiers samen met andere boodschappen gekocht worden waardoor de milieu-impact van extra transport vermoedelijk beperkt is.

Aannames bij eenmalige luiers:

- We nemen een luiergewicht en -samenstelling uit eerdere RIVM-studies (TAUW, 2021) als gemiddeld voor de eenmalige luier. Andere maten en/of variaties van absorberend vermogen zijn niet onderzocht. Mogelijke verduurzamingsopties bij de productie van eenmalige luiers (bijvoorbeeld gebruik van biobased materialen) zijn niet onderzocht.

Aannames bij wasbare luiers:

- De luier is een all-in-one model. Dit is een luier waarbij alle lagen (het absorberende deel, het eventuele externe waterafstotende deel) in één broekje verwerkt zijn dat in zijn geheel vervangen en gewassen wordt bij een verschooning. Er zijn wasbare luiers die bestaan uit verschillende onderdelen (*boosters* - stoffen inleggers, of luiers met een apart binnen- en buitenbroekje dat minder vaak gewassen wordt). Bij deze andere modellen wordt mogelijk minder stof gewassen dan bij de all-in-one.
- De all-in-one luier heeft een samenstelling van 50% polyester, 25% katoen en 25% bamboeviscose. Dit is een geschat gemiddelde op basis van producten die nu op de markt zijn. Omdat de productiefase een klein effect heeft op de milieu-impact van wasbare luiers door het hergebruik (7% van de klimaatimpact in het basisscenario) zijn alternatieve samenstellingen niet onderzocht. Bij de andere impactcategorieën is het aandeel van de productie 3-25%, behalve bij watergebruik: door het hogere waterverbruik bij de teelt van katoen is het aandeel van productie 44% van het totale waterverbruik in het basisscenario.



- Voor de productie van de luier worden alleen de grondstoffen en de productie van de stof meegenomen. De fabricage van stof tot luier met eventuele sluitingen en de verpakking zijn verwaarloosbaar beschouwd. Om dezelfde reden is de verpakking van wasbare luiers niet meegenomen in het model.
- De maat van de luier is een ‘one-size’ voor kinderen van 6-15 kg. Er zijn ook kleinere maten met een lager gewicht, waarmee ook de milieu-impact afneemt.
- We veronderstellen één set van 24 ‘one-size’ luiers per huishouden. Mochten meer luiers worden aangeschaft (bijvoorbeeld andere maten), dan daalt het aantal keer hergebruik per luier. Dit is onderzocht in een apart scenario (Paragraaf 3.4.4).
- We nemen aan dat de luiers met een inlegvel worden gebruikt. De impact hiervan is gering, maar niet alle gebruikers van wasbare luiers zullen inlegvellen gebruiken.
- Het inlegvel wordt 2,6 keer hergebruikt voor het wegwerpen. Sommige gebruikers van inlegvellen zullen ze niet hergebruiken. Dit heeft weinig effect op de klimaatimpact.
- De luiers worden gewassen met een voorwas én een hoofdwas. Gebruikers van inlegvellen zullen mogelijk geen voorwas gebruiken (omdat de inhoud van de luier al met het inlegvel wordt weggegooid). In dat geval geven de hier weergegeven resultaten een overschatting van de milieu-impact.

Voor het wassen en drogen volgens het basisscenario:

- De wasmachine en droger zijn voor de helft gevuld. Het effect van een lagere of hogere lading wordt geïllustreerd in de verschillende scenario's (Paragraaf 3.4).
- De parameter lading is hetzelfde voor de droger en de hoofdwas. Er is verondersteld dat een consument die bewust een volle lading wast, dit ook zal doen bij het drogen (en omgekeerd).
- De luiers worden gebruikt voor de luierperiode van twee kinderen. De luiers worden doorgegeven aan een tweede kind binnen hetzelfde gezin. Er is ook een actieve tweedehandsmarkt voor wasbare luiers. Het effect van een lager hergebruik van de luiers wordt in een apart scenario onderzocht (Paragraaf 3.4.4).
- Er wordt drie keer per week gewassen. Hier is voor gekozen omdat de luiers niet goed meer gewassen kunnen worden als ze niet regelmatig gewassen worden.
- Er wordt een katoen 40 °C wasprogramma gebruikt, omdat een lagere temperatuur wordt afgeraden. Wassen op 60 °C is ook onderzocht (Paragraaf 3.4.1).

Daarnaast zijn er een aantal zaken die buiten de onderzochte vraagstelling vallen, maar wel de klimaatimpact van luiergebruik beïnvloeden. Zo zullen gebruikers van wasbare luiers mogelijk sneller kiezen voor herbruikbare in plaats van eenmalige billendoekjes. Luiers die minder lekken, resulteren in minder was, dus de lekgevoeligheid van een luiermodel speelt ook een rol in de milieu-impact van een luier.

Andere factoren die de keuze van ouders tussen eenmalige en/of wasbare luiers kunnen beïnvloeden zijn het gebruiksgemak van de luier, de prijs, en een eventuele voorkeur naar het gebruik van natuurlijke materialen. Naar deze factoren is in deze studie niet gekeken.

4.2 Vergelijking met VN-studie meta-analyse luier LCA's

Eenmalige luiers

De eenmalige luier die na gebruik verbrand wordt heeft in deze studie de hoogste klimaat-impact, behalve wanneer een zeer negatief scenario voor wasbare luiers wordt aangenomen (zie Figuur 13). Dit sluit aan bij de VN-studie (UNEP, 2021), die stelt dat wasbare luiers in principe een lagere milieu-impact hebben dan eenmalige luiers, maar dat het

elektriciteitsverbruik van het wassen en drogen het voordeel teniet kan doen. Aangezien bij eenmalige luiers de productie voornamelijk verantwoordelijk is voor de klimaatimpact, kan een lichtere luier de klimaatimpact doen afnemen. Er is een neerwaartse trend in het gewicht van eenmalige luiers (TAUW, 2021). Analoog is volgens de VN-studie (UNEP, 2021) de belangrijkste manier om de milieu-impact van eenmalige luiers te verlagen het ontwerpen van lichtere producten.

Lichtere producten moeten echter niet een toenemend gebruik van andere producten veroorzaken doordat de luiers bijvoorbeeld meer lekken (UNEP, 2021). In deze studie vergelijken we geen verschillende modellen van eenmalige luiers, zoals bio-based luiers. Het gebruiken van bio-based materialen in plaats van fossiel voor eenmalige luiers kan leiden tot *burden shifting* naar onder meer een hoger landgebruik en watertekort. Er is hierover nog geen consensus in LCA-studies (UNEP, 2021).

Hier is een gewicht van 33 gram genomen en samenstelling gebaseerd op gegevens uit 2015. Nieuwe gegevens over de huidige samenstelling en het gewicht van verschillende soorten eenmalige luiers, zou meer zekerheid bieden over de huidige klimaatimpact van eenmalige luiers.

In de huidige studie zorgt recycling van eenmalige luiers voor een 41% lagere klimaatimpact ten opzichte van eenmalige luiers die verbrand worden. Het voordeel van recycling komt voornamelijk door het vermijden van verbranding, en daarna door het terugwinnen van kunststof en het produceren van biogas uit het luierafval. Het terugwinnen van kunststof levert meer klimaatvoordeel op dan het produceren van biogas (CE Delft, 2018). Bij luiers met minder kunststof zal het klimaatvoordeel van recyclen tegenover verbranding dus minder groot zijn.

Wasbare luiers

Het gedrag van consumenten bepaalt sterk hoe de milieukundige vergelijking tussen eenmalige en wasbare luiers uitvalt. De factoren in het consumentgedrag die in de VN-studie naar boven komen als bepalend voor de milieu-impact van wasbare luiers zijn hetzelfde als de factoren in onze analyse: de lading van de wasmachine, de water- en energie-efficiëntie van wasmachines, wassen boven/onder 60 °C (wat neerkomt op energieverbruik - boven 60 °C is in deze studie niet onderzocht), het aan de lijn drogen van de luiers, en het aantal keer hergebruik van de luiers (UNEP, 2021). Ook TruePrice (2022) concludeert dat het elektriciteitsverbruik en met name het drogen van de luiers de grootste bijdrage leveren aan de milieu-impact van wasbare luiers.

De conclusie van de VN-studie is kwalitatief hetzelfde als deze studie: als er een recycling-systeem is, dan is het gebruik van eenmalige luiers met recycling beter dan wasbare luiers die inefficiënt gewassen worden (UNEP, 2021). Met inefficiënt wordt bedoeld: de wasmachine niet volledig vullen, wassen boven 60 °C graden, en het gebruiken van een droger. Ook als wasbare luiers 'een paar keer' worden gebruikt is het gebruiken van eenmalige luiers met recycling beter. In onze studie is specifiek voor de Nederlandse energiemix en Nederlandse apparatuur de rol van wasmachine- en droger gekwantificeerd. Met gebruik van een zuinige droger, zelfs bij het niet volledig vullen van de wasmachine en droger, heeft een wasbare luier een lagere milieu-impact dan eenmalige luiers met recycling (Paragraaf 3.4.2).

Dit resultaat wordt bevestigd door de gevoeligheidsanalyse van de elektriciteitsmix gebruikt bij productie, gebruik en verwerking van eenmalige of wasbare luiers (Paragraaf 3.5). Een



groenere elektriciteitsmix verlaagt met name de milieu-impact van wasbare luiers omdat het elektriciteitsverbruik van het wassen en drogen de milieu-impact grotendeels bepaalt. Als we uitgaan van de elektriciteitsmix in Nederland in 2030, heeft zelfs bij inefficiënt wasgedrag een wasbare luier een lagere klimaatimpact dan een eenmalige luier die verbrand wordt. Hoe een wasbare luier zich verhoudt ten opzichte van een eenmalige luier met recycling, hangt nog steeds af van hoe deze gewassen en gedroogd wordt.

Voor alle luiertypes zijn het aantal verschoningen per dag en de leeftijd waarbij het kind zindelijk is, bepalend voor de totale milieu-impact. Hoe het totaal aantal luiers mogelijk varieert tussen de verschillende luiersystemen is in geen eerdere studies onderzocht (UN, 2021). In deze studie onderzochten we de *relatieve* toename in klimaatimpact bij een stijgend aantal verschoningen voor het zindelijk maken van een kind. Hoe meer hergebruik er is in een luiersysteem, hoe minder de klimaatimpact toeneemt bij een stijgend aantal verschoningen.

4.3 Incontinentiemateriaal

Deze studie richt zich op babyluiers, maar naar verwachting zijn de conclusies voor incontinentiemateriaal voor volwassenen grotendeels vergelijkbaar. We bespreken hier enkele factoren waardoor de vergelijking voor incontinentiemateriaal anders kan uitvallen.

Eenmalig incontinentiemateriaal heeft een vergelijkbare samenstelling als eenmalige babyluiers, maar met een gemiddeld hoger gehalte aan fluff pulp en lager gehalte aan kunststof (TAUW, 2021). Als de producten na afdanking verbrand worden kan dit zorgen voor een iets lagere impact, omdat er minder fossiele CO₂ vrijkomt.

Het recycleproces is hetzelfde voor eenmalige luiers en incontinentiemateriaal en verloopt momenteel niet apart. De samenstelling van beide producten is anders waardoor de opbrengst van kunststof en biogas zou verschillen. Een ton luierafval bevat 1% meer kunststof en 11% meer feces/urine, terwijl incontinentiemateriaal 15% meer fluff pulp bevat. De biogasopbrengst van incontinentiemateriaal als aparte afvalstroom zou hierdoor iets hoger kunnen zijn omdat fluff pulp helemaal vergist kan worden (RIVM, 2016), en feces/urine grotendeels uit water bestaat.

Incontinentiemateriaal voor volwassenen is echter wel zwaarder dan babyluiers, waardoor de impact van de productie en per gebruik dus hoger uit zal vallen. Dit kan ook gelden voor wasbaar incontinentiemateriaal, aangezien deze in de wasmachine/droger ook een groter deel van de beschikbare capaciteit innemen.

Al met al verwachten we geen grote verschillen in de milieukundige verhoudingen voor incontinentiemateriaal. Ondanks de wat grotere impact van het productieproces (door het hogere gewicht), verwachten we dat wasbaar incontinentiemateriaal een lagere milieu-impact heeft dan eenmalig. Net als bij babyluiers dient hierbij opgemerkt te worden dat de milieu-impact sterk af zal hangen van het wasgedrag. De aanbevelingen die volgen uit de analyse in Paragraaf 3.4 zullen dus ook opgaan voor incontinentiemateriaal.

5 Conclusie

In deze levenscyclusanalyse (LCA) is de milieu-impact van het gebruik van wasbare luiers en eenmalige babyluiers onderzocht. We richten ons hierbij op gebruik van gemiddelde producten door Nederlandse huishoudens. Voor de meeste milieueffecten heeft de wasbare luier een lagere impact dan eenmalige luiers die verbrand worden. De effecten waarbij de wasbare luier een duidelijk hogere milieu-impact heeft zijn watergebruik, zoetwater ecotoxiciteit, en eutrofiëring van zoet en zout water. Omgerekend naar de schadecategorieën of 'endpoints' (menselijke gezondheid, ecosystemen en grondstoffen) scoort de wasbare luier in elke schadecategorie beter dan eenmalige luiers. De milieu-impact van eenmalige luiers die gerecycled worden, ligt voor de meeste milieueffecten tussen wasbare luiers en eenmalige luiers die verbrand worden. De nadruk ligt op de klimaatimpact ('carbon footprint'), oftewel de bijdrage aan klimaatverandering door de uitstoot van broeikasgassen.

Eenmalige luiers die na gebruik verbrand worden, hebben de hoogste klimaatimpact per verschoning (0,14 kg CO₂-eq./verschoning). Als eenmalige luiers gerecycled worden neemt de klimaatimpact af met 41% (0,08 kg CO₂-eq./verschoning). De klimaatimpact van wasbare luiers komt in het basisscenario uit op 0,05 kg CO₂-eq./verschoning, een reductie van 64% ten opzichte van eenmalige luiers die verbrand worden. Bij wasbare luiers kunnen de resultaten echter sterk verschillen per huishouden. Als we uitgaan van een hoog impact-scenario (luiers apart wassen met een wasmachine en droger met hoog verbruik) kan de klimaatimpact van wasbare luiers 50% hoger uitvallen dan die van eenmalige luiers die verbrand worden¹⁵. In een gunstiger laag impact-scenario (gemiddeld verbruik wasmachine volledig gevuld en lijn drogen) neemt de reductie toe tot 82% ten opzichte van eenmalige luiers die verbrand worden.

De elektriciteitsmix heeft een grote invloed op de milieu-impact van met name de wasbare luiers. De hierboven vermelde resultaten gelden voor de Nederlandse elektriciteitsmix uit 2019, waarin 76% wordt opgewekt met fossiele energiebronnen als aardgas en kolen (CE Delft, 2022). Als we uitgaan van de schonere elektriciteitsmix van 2030, dan daalt de klimaatimpact van het hoge impact-scenario voor wasbare luiers tot *onder* die van eenmalige luiers die verbrand worden. Met recycling scoren eenmalige luiers nog wel beter dan het hoge-impactscenario van wasbare luiers.

Andere studies van de VN (UNEP, 2021) en True Price (2022) komen uit op dezelfde conclusie en dezelfde factoren die dominant zijn voor de milieu-impact van eenmalige en meermalige luiers. Onder vergelijkbare omstandigheden als in deze studie heeft de wasbare luier een lagere impact dan eenmalige luiers. Behalve klimaatimpact scoort de wasbare luier beter dan eenmalig voor de andere milieueffecten, behalve voor zoet-/zoutwater eutrofiëring en zoetwater ecotoxiciteit. Dit komt met name door de afvalwaterverwerking van het waswater, en in mindere mate de productie van het katoen voor de luier, het inlegvel en het wasmiddel. Ook ligt het watergebruik bij de wasbare luier iets hoger.

Tijdens de luierperiode van een kind (dat wil zeggen de tijd tot zindelijkheid) zijn circa 5.400 verschoningen nodig. Met wasbare luiers zorgt dit voor een klimaatimpact van 269 kg

¹⁵ In de studie van True Price (2022) heeft de wasbare luier in de bekeken scenario's een vergelijkbare of lagere klimaatimpact dan de eenmalige luier. In die studie is het wassen op hogere temperatuur of machinaal drogen van de luiers echter bekeken als twee aparte scenario's, terwijl in het hoge impact-scenario deze zijn gecombineerd. Het hoge impactscenario uit deze studie is dus conservatiever.

CO₂-eq./zindelijk kind in ons basisscenario. Hetzelfde aantal verschoningen met eenmalige luiers heeft een klimaatimpact van 754 kg CO₂-eq. wanneer deze verbrand worden, en 443 kg CO₂-eq. wanneer deze gerecycled worden. Door het gebruik van wasbare luiers in plaats van eenmalige luiers kan de klimaatimpact van de luierperiode dus aanzienlijk verminderd worden.

De klimaatimpact van wasbare luiers is echter sterk afhankelijk van hoe een huishouden de was doet. Omdat de luiers vaak hergebruikt kunnen worden, zijn de productie- en afdankingsfasen minder belangrijk. De impact van wasbare luiers wordt daarom vooral bepaald door vier factoren:

- **Lading wasmachine/droger:** Bij een verdubbeling van de lading (van halfgevolld tot vol) halveert de klimaatimpact. Hoe hoger het energieverbruik van wasmachine/droger (zie volgende factoren), hoe belangrijk de invloed van de lading.
- **Elektriciteitsverbruik wasmachine/droger:** Belangrijker dan de wastemperatuur is hoe zuinig de wasmachine en droger zijn. De elektriciteit van het wassen en drogen kost per verschoning in het basisscenario kost 71 Wh of 0,03 kg CO₂-eq. Dit is 60% van de totale klimaatimpact van één verschoning in het basisscenario (0,05 kg CO₂-eq.). Met name het elektriciteitsverbruik van de droger speelt een rol: als de helft van de was machinaal gedroogd wordt, is het drogen verantwoordelijk voor 31% van de klimaatimpact per verschoning. De luiers drogen aan de waslijn kan dus een grote besparing opbrengen.
- **Aantal keer hergebruik:** Het aantal keer hergebruik wordt beïnvloed door hoeveel broekjes (al dan niet van verschillende maten) een huishouden aanschafte en of ze worden gebruikt voor een tweede kind.
- **Gebruik van een inlegvel:** Zonder inlegvel daalt de klimaatimpact met ongeveer 20%.

Andere factoren (waaronder de dosering van zeep, de samenstelling van de luiers, en de wastemperatuur) hebben geen grote invloed op de klimaatimpact van wasbare luiers. Uit de analyse van verschillende situaties in Nederlandse huishoudens (Paragraaf 3.4) volgen een aantal praktische lessen:

- Ook als een huishouden geen zuinige apparatuur heeft, zorgen wasbare luiers voor een lagere klimaatimpact dan eenmalige luiers (zelfs wanneer deze gerecycled worden). De impact kan verder verlaagd worden door te zorgen voor een hoge belading van de machines.
- Als een huishouden zuinige apparatuur heeft en de luiers apart wast, is de klimaatimpact lager dan eenmalige luiers (ook bij recycling). Het apart wassen van de luiers verhoogt de klimaatimpact wel aanzienlijk.
- Het drogen van alle luiers met een onzuinige droger verhoogt de klimaatimpact tot boven die van eenmalige luiers die gerecycled worden. Bij een onzuinige droger is het daarom raadzaam om zo veel mogelijk aan de lijn te drogen.
- Als een huishouden drie maanden lang wasbare luiers gebruikt bij optimaal wasgedrag, is de klimaatimpact hetzelfde als bij drie maanden lang het gebruik van eenmalige luiers die gerecycled worden. Als de wasbare luiers dus langer dan drie maanden gebruikt worden, wordt het klimaatvoordeel groter. Anderzijds is het zo dat het kort gebruiken van nieuwe wasbare luiers (< 3 maanden) zelfs bij duurzaam wasgedrag resulteert in een hogere klimaatimpact dan eenmalige luiers die gerecycled worden.

6 Bronnen

- Billenboetiek, 2022. *Billenboetiek*, <https://www.billenboetiek.nl/popolini/popolini-inlegvellen/>.
- CE Delft, 2018a. *LCA afvalverwerking luiermateriaal*, Delft: CE Delft.
- CE Delft, 2018b. *Milieu-informatie textiel : update 2018*, Delft: CE Delft.
- CE Delft, 2022. *Ketenemissies elektriciteit - Actualisatie elektriciteitsmix 2019*, Delft: CE Delft.
- Consumentenbond, 2018. *Zo doen wij de was*, <https://www.consumentenbond.nl/wasmachine/enquete-wasgedrag>.
- Coolblue, 2022. *Coolblue*, <https://www.coolblue.nl/wasmachines/filter> 15-9-2022.
- Ecoinvent, 2021 *Ecoinvent database version 3.8* [Online] <https://ecoinvent.org/the-ecoinvent-database/data-releases/ecoinvent-3-8/#1610466712069-fcebe4bb-f802>.
- EDANA, 2015. *Sustainability report, 4th edition*, Brussel: EDANA,.
- Environment Agency, 2008. *An updated lifecycle assessment study for disposable and reusable nappies*, Bristol, UK: Environment Agency.
- Gontia, P., 2014. *Life cycle assessment of bio-based sodium poly-acrylate production from pulp mill side streams - Case at a TMP and sulphite pulp mill*, Gothenburg, Sweden: Chalmers University of Technology.
- HIER, 2016. *Zo vaak doen Nederlanders gemiddeld de was*, <https://www.hier.nu/themas/makkelijk-energie-besparen/zo-vaak-doen-nederlanders-gemiddeld-was>.
- Hoffmann, B. S., de Simone Morais, J. & Teodoro, P. F., 2020. Life cycle assessment of innovative circular business models for modern cloth diapers. *Journal of Cleaner Production*, 249, 119364.
- ISO, 2006a. *14040 - Environmental management -- Life cycle assessment -- Principles and framework*, Geneva: International Organization for Standardization (ISO).
- ISO, 2006b. *14044 - Environmental Management -- Life cycle assessment -- Requirements and guidelines*, Geneva: International Organization for Standardization.
- Auteur, Jaar. Titel. Editie ed. Plaats van uitgave: Uitgever.
- Nappy's.nl, 2022. *Wasbare luiers*, Nappy's.nl, <https://www.nappys.nl/wasbare-luiers>.
- PBL, 2021. *Klimaat- en energieverkenning (KEV) 2021*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving (PBL).
- RIVM, 2016. *Verkenning samenstelling luiers en incontinentiemateriaal*, Bilthoven: RIVM.
- RWS, 2021. *LAP 3 - Bijlage F.9: Uitvoeren van LCA's i.r.t. het LAP*, Den Haag: Rijkswaterstaat (RWS).
- SGS Search, 2021. *Comparative mLCA on waste treatment of diaper and incontinence material*, Amsterdam: SGS Search.
- Shen, L. & Patel, M. K., 2008. Life Cycle Assessment of Polysaccharide Materials: A Review. *Journal of Polymers and the Environment*, 16, 154-167.
- STOWA, 2016. *Handboek slibgisting*, Amersfoort: STOWA.
- STOWA, 2018. *Theoretische analyse van de zuurstofvraag van huishoudelijk afvalwater*, Amersfoort: STOWA.
- Tauw, 2021. *Verkenning van knelpunten en oplossingen voor het sluiten van de keten voor luiers en incontinentiemateriaal*, Deventer: Tauw.
- True Price, 2022. *The true price of diaper systems*, Amsterdam: True Price.
- UNEP, 2021. *Single-use nappies and their alternatives: Recommendations from Life Cycle Assessments*: United Nations Environment Programme.
- VANG Huishoudelijk Afval, 2022. *Luierketen*, <https://vang-hha.nl/luierketen/>.



A Inventarisatie

A.1 Eenmalige luier

A.1.1 Productie

De samenstelling van de luier is bekend van eerdere studies in opdracht van RWS (Tauw, 2021, RIVM, 2016) en weergegeven in Tabel 11. De nodige inputs voor het productieproces (energie, water) komen van Hoffman *et al.* (2020).

Tabel 11 - Data inventarisatie voor de productie van één eenmalige luier

Proces/materiaal	Eenheid	Hoeveelheid	Model voor milieu-impact <i>Ecoinvent processen zijn cursief weergegeven</i>
Input			
Fluff pulp	g	9,1	<i>Sulfate pulp, unbleached {RER} market for sulfate pulp, unbleached</i>
SAP	g	12,6	Eigen model voor productie sodium polyacrylate productie, zie Tabel 12
Polypropyleen	g	7,9	<i>Textile, nonwoven polypropylene {GLO} market for textile, nonwoven polypropylene</i>
Polyethyleen	g	1,8	<i>Packaging film, low density polyethylene {RER} production</i>
Lijm	g	1,2	<i>Acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer {GLO} market for</i>
Andere	g	0,2	Aangenomen verwaarloosbaar t.o.v. totale impact
Elastiek	g	0,5	<i>Synthetic rubber {GLO} market for</i>
Verpakking			
PE film	g	3,6	<i>Packaging film, low density polyethylene {RER} production</i>
kartonnen doos	g	0,5	<i>Folding boxboard carton {RER} market for folding boxboard carton</i>
Productieproces			
Elektriciteit	Wh	52,8	<i>Electricity, medium voltage {RER} market group for</i>
Warmte	kJ	20	<i>Heat, district or industrial, natural gas {RER} market group for</i>
Water	g	2	<i>Water, deionised {Europe without Switzerland} market for water, deionised</i>

Tabel 12 - Data inventarisatie voor de productie van 1 kg sodium polyacrylate (Gontia, 2014)

Proces/materiaal	Eenheid	Hoeveelheid	Model voor milieu-impact <i>Ecoinvent processen zijn cursief weergegeven</i>
Input			
Ammonium peroxydisulfaat	kg	0,005	Zie Tabel 13
Acrylzuur	kg	0,782	<i>Acrylic acid {RER} market for acrylic acid</i>
NaOH	Kg	0,468	<i>Sodium hydroxide, without water, in 50% solution state</i>
Water	Liter	1,753	<i>Tap water {RER} market group for</i>
Elektriciteit, medium V	MJ	7,83	<i>Electricity, medium voltage {RER} market group for</i>
Output			
Afvalwater	Liter	1,953	<i>Wastewater, average {Europe without Switzerland} market for wastewater, average</i>

Tabel 13 - Input voor productie van 1 kg ammonium peroxydisulfaat (Gontia, 2014)

Input	Eenheid	Hoeveelheid	Model voor milieu-impact <i>Ecoinvent processen zijn cursief weergegeven</i>
Zwavelzuur	kg	0,578	<i>Sulfuric acid {RER} market for sulfuric acid</i>
Ammoniumsulfaat	kg	0,429	<i>Ammonium sulfate {RER} market for ammonium sulfate</i>
Elektriciteit	kWh	2	<i>Electricity, medium voltage {RER} market group for</i>

A.1.2 Verbranding

Tabel 14 toont de relatieve samenstelling van gebruikte luiers in de afvalstroom, gebaseerd op TAUW (2021).

Het modelleren van het transport en de verbranding van de verschillende componenten is volgens (CE Delft, 2018a). Op basis van de samenstelling uit Tabel 14 gaan we uit van een lagere verbrandingswaarde van 4,9 MJ/kg volgens dezelfde methode als in eerder onderzoek (CE Delft, 2018a).

De verbranding is gemodelleerd op basis van prestaties van een gemiddelde Nederlandse AVI met een thermisch rendement van 19% en elektrisch rendement van 16% (CE Delft, 2018). De hierbij gegenereerde warmte en elektriciteit zijn meegenomen als vermeden emissies.

Tabel 14 - Samenstelling van afval van eenmalige luiers

Materiaal	Luier (wt%)
Fluff-pulp	5,5%
SAP	7,7%
Polypropyleen (non-woven)	4,8%
Polyethyleen	1,1%
Lijm	0,7%
Andere	0,1%
Elastiek	0,3%
Urine + feces ¹⁶	76,7%
Plastic zakken (PE)	3,0%

A.1.3 Recycling

De recycling van eenmalige luiers is overgenomen van een eerdere studie naar de afvalverwerking van luiers en incontinentiemateriaal van (CE Delft, 2018a). Hierbij is de elektriciteitsmix aangepast naar de gemiddelde Nederlandse mix van 2019 (CE Delft, 2022).

A.2 Wasbare luier

A.2.1 Samenstelling

Om de samenstelling van een *all-in-one* wasbare luier te bepalen, is een steekproef gedaan (Tabel 15). De klimaatimpact van de meest voorkomende materialen is gelijkaardig, alleen

¹⁶ Deze waarde omvat het verwarmen van water van 15°C tot 100°C en verdamping.

voor bamboeviscose is de klimaatimpact wat lager (Tabel 16). Op basis hiervan en Tabel 15 nemen we een conservatieve samenstelling van 50% katoen, 25% polyester, en 25% bamboeviscose.

Tabel 15 - Steekproef van samenstelling van *all-in-one* wasbare luiers (Nappy's.nl, 2022)

Wasbare luier model	Materialen
Wizard Uno Biokatoen (3-16 kg)	82% biokatoen, 18% polyester (inlegger) overbroekje 100% polyester met PUL* ^{&}
Wizard Uno stay dry (3-16 kg)	100% polyester met PUL*
Blumchen AIO (4-16 kg)	Voering: 80% bamboe, 20% polyester, binnenlaag 80% polyester, 20% polyacryl, buitenkant 100% polyester met PUL*
Elskbar AIO (6-18 kg)	Buitenkant 100% polyester met TPU*, binnenkant 85% bamboe, 15% polyester, inlegger idem of 70% bamboe, 30% biokatoen
Grovia newborn (2-5,5 kg)	Buiten 100% polyester met TPU*, binnenkant 100% polyester (fleece), inlegger 55% hennep en 45% katoen
Lighthouse AIO (2,2-5,4 kg)	Buitenkant 100% polyester met TPU*, binnenkant 100% polyester, vaste inlegger bamboe met aan één zijde fleece, losse inlegger: bamboe
Lil Joey newborn (pasgeborenen)	100% polyester met TPU*

* TPU: thermoplastic polyurethane; PUL: polyurethane laminate.

Tabel 16 - Klimaatimpact van materialen verwerkt in wasbare luiers (CE Delft, 2018b)

Materiaal (ongeverfd)	Hennep	Katoen	Polyester	Bamboeviscose
kg CO ₂ -eq. per 130 g stof	1,30	1,39	1,31	0,48

A.2.2 Productie

In Tabel 17 staat hoe de productie van de luier en het inlegvel gemodelleerd is. Het verwerken van de stof tot luier is niet meegenomen in model. Voor één verschoning wordt de impact van 130 g luier gedeeld over 450 keer hergebruik, dus 0,3 g.

Het inlegvel is beschouwd als 1,4 g tissue papier, zoals in de studie van Environment Agency (2008). Voor één verschoning wordt 0,4 inlegvel gebruikt, omdat dit 2,6 keer kan worden hergebruikt.

Tabel 17 - Productie van een wasbare luier en het inlegvel

Proces/materiaal	Eenheid	Hoeveelheid	Model voor milieu-impact <i>Ecoinvent processen zijn cursief weergegeven</i>
Input			
Katoen	g	65	<i>Textile, woven cotton {GLO} market for</i>
Polyester	g	32,5	<i>Polyester doek (virgin PET), geweven en geverfd (CE Delft, 2018b)</i>
Bamboeviscose	g	32,5	<i>Bamboo adapted fibre production, viscose GLO</i>
	g	32,5	<i>Weaving, synthetic fibre {GLO} market for weaving, synthetic fibre</i>
Inlegvel, cellulose	g	1,4	<i>Tissue paper {GLO} market for</i>

A.2.3 Wassen en drogen

We veronderstellen dat de luiers thuis gewassen en gedroogd worden. In Tabel 18 staan de gegevens gebruikt voor het berekenen van de milieu-impact hiervan.

We nemen aan dat er bij de hoofdwass 50 g wasmiddel wordt gebruikt. Dit is gebaseerd op de gemiddelde verkoop van textiel wasmiddelen in Nederland in 2016 (19,2 g/p.d, STOWA (2018)) en gemiddeld aantal wasbeurten van 2,9 wassen per persoon per week (HIER, 2016)¹⁷.

Het gemiddelde water- en elektriciteitsverbruik van wasmachines en drogers is bepaald door middel van een steekproef met het aanbod van Coolblue (2022). De gemiddelden voor de verschillende was- en droogprogramma's staan in Tabel 19. De gegevens van de steekproef zijn weergegeven in Tabel 20 voor wasmachines en Tabel 21 voor drogers.

Tabel 18 - Data inventarisatie voor het wassen en drogen van wasbare luiers. Hier gegeven voor één verschoning volgens het basisscenario (zie Paragraaf 2.3.2)

Proces/materiaal	Eenheid	Hoeveelheid	Model voor milieu-impact <i>Ecoinvent processen zijn cursief weergegeven</i>
Input			
Elektriciteit, voorwas	kWh	0,0121	Elektriciteitsmix NL 2019 (CE Delft, 2022)
Elektriciteit, hoofdwass	kWh	0,0234	Elektriciteitsmix NL 2019 (CE Delft, 2022)
Elektriciteit, droger	kWh	0,0358	Elektriciteitsmix NL 2019 (CE Delft, 2022)
Water, voorwas	Liter	4,2	<i>Tap water {Europe without Switzerland} market for</i>
Water, hoofdwass	Liter	2,0	<i>Tap water {Europe without Switzerland} market for</i>
Wasmiddel, hoofdwass	g	0,0325	<i>Laundry detergent, solid {GLO}</i>
Output			
Afvalwaterzuivering (voor- en hoofdwass)	Liter	6,2	<i>Wastewater, from residence {CH} market for wastewater, from residence</i>

Tabel 19 - Gemiddeld elektriciteit- en waterverbruik wasmachines en drogers op de huidige markt. Gemiddelde en standaarddeviatie op basis van Tabel 20 en Tabel 21. Niet alle wasmachines hebben elk programma. Het aantal wasmachines/drogers gebruikt in de steekproef is vermeld in de laatste kolom

Programma	Elektriciteitsverbruik (kWh)		Waterverbruik (L)		Hoeveelheid was (kg)	Aantal machines
	Gemiddelde	Standaarddeviatie	Gemiddelde	Standaarddeviatie		
Wassen Katoen 60	1,11	0,45	75,5	44,3	Genormaliseerd voor 8 kg	6
Wassen Katoen 40	0,72	0,46	61,7	41,6	Genormaliseerd voor 8 kg	3
Wassen Kort (koud) programma	0,13	0,15	45,3	14,5	3,625 kg	4
Droger (Katoen)	2,29	1,40	N.v.t	N.v.t	Genormaliseerd voor 8 kg	8

¹⁷ 19,2 g/p.d. * 7 d/week /2,9 wasbeurt/(p.week) = 46 g/wasbeurt.



Tabel 20 - Steekproef wasmachines op de Nederlandse markt (Coolblue, 2022)

Energie-label	Model	Programma	Temp. (°C)	kWh/was	Kg was	kWh/kg	kWh voor hypothetische was van 8 kg	Water (L) per was	L voor was 8 kg
A	Samsung WW8*T9*6***, 8 kg	Katoen	20	0,354	8	0,04	0,35	122	122
A	Miele WSF363WCS, 8 kg	Katoen	20	0,4	8	0,05	0,40	72	72
D	Beko WTV77111BW01, 7 kg	Katoen 20	20	0,58	7	0,08	0,66	96	110
A	Samsung WW90T534AAW, 9 kg	Katoen 20	20	0,357	9	0,04	0,32	117	104
A	Samsung WW8*T9*6***, 8 kg	Eco 40-60	25	0,402	4	0,10	0,80	69	138
D	Beko WTV77111BW01, 7 kg	Eco 40-60	?	0,98	7	0,14	1,12	52	59
A	Miele WSF363WCS, 8 kg	Eco 40-60	31	0,42	4	0,11	0,84	62	124
A	Samsung WW90T534AAW, 9 kg	Eco 40-60	31	0,809	9	0,09	0,72	71	63
A	Samsung WW8*T9*6***, 8 kg	Synthetisch	40	0,68	4	0,17	1,36	66	132
A	Miele WSF363WCS, 8 kg	Quickpower-wash	40	0,58	4	0,15	1,16	40	80
D	Beko WTV77111BW01, 7 kg	Katoen 40	40	1,1	7	0,16	1,26	96	110
B	Samsung WW8*TA*4***, 8 kg	Katoen 40	40	0,47	8	0,06	0,47	37	37
B	Samsung WW7*TA*4***, 7 kg	Katoen 40	40	0,39	7	0,06	0,45	34	38
A	Samsung WW90T534AAW, 9 kg	Synth 40	40	0,68	4	0,17	1,36	68	136
A	Samsung WW90T534AAW, 9 kg	Katoen 60	55	1,504	9	0,17	1,34	134	119
D	Beko WTV77111BW01, 7 kg	Katoen 60	60	0,99	7	0,14	1,13	52	59
A	Samsung WW8*T9*6***, 8 kg	Katoen 60	60	1,674	8	0,21	1,67	142	142
A	Miele WSF363WCS, 8 kg	Katoen 60	60	1,35	8	0,17	1,35	57	57
B	Samsung WW8*TA*4***, 8 kg	Katoen 60	60	0,56	8	0,07	0,56	37	37
B	Samsung WW7*TA*4***, 7 kg	Katoen 60	60	0,52	7	0,07	0,59	34	38
D	Beko WTV77111BW01, 7 kg	Katoen 90	90	2,45	7	0,35		98	
A	Samsung WW90T534AAW, 9 kg	Kort-programma koud	15	0,015	2	0,01		43	
A	Miele WSF363WCS, 8 kg	Kort-programma Express 20 (40 graden)	27	0,33	3,5	0,09		30	
D	Beko WTV77111BW01, 7 kg	Xpress 30	30	0,15	7	0,02		65	
A	Samsung WW8*T9*6***, 8 kg	Kort-programma koud	15	0,015	2	0,01		43	

Tabel 21 - Steekproef van drogers op de Nederlandse markt (Coolblue, 2022)

Energie-label	Model	Wasprogramma	kWh/was-programma	kg/was-programma	kWh/kg	kWh voor hypothetische was van 8 kg
A+++	Bosch WTU87675	Katoen-kastdroog	1,44	8	0,18	1,4
A+++-10%	Miele TSF763WP	Katoen-kastdroog	1,2	8	0,15	1,2
B	Bosch WTG846C0NL	Katoen-kastdroog	4,63	8	0,58	4,6



Energie-label	Model	Wasprogramma	kWh/was-programma	kg/was-programma	kWh/kg	kWh voor hypothetische was van 8 kg
A+++	AEG T8DBE86W	Katoen-kastdroog	1,31	8	0,16	1,3
A++	AEG T7DB84PK	Katoen-kastdroog	1,59	8	0,20	1,6
A++	Beko DF8421TX0	Katoen eco	1,97	8	0,25	2,0
A++	Samsung DV70TA000TE	Katoen	1,65	7	0,24	1,9
B	Hoeever NDE C8TBEX-S	Katoen	4,63	8	0,58	4,6
A++	Siemens WT45W475NL	Katoen-kastdroog	1,93	8	0,24	1,9

A.2.4 Opwekking biogas bij RWZI

Het gebruik van wasbare luiers leidt tot een toename van organisch materiaal in afvalwater, afkomstig uit urine en feces, waaruit biogas gewonnen kan worden. Een gebruikte luier bevat gemiddeld 7,6 g organische droge stof (ODS) (Tabel 22).

Tabel 22 - Hoeveelheid urine, feces en organische droge stof per verschoning

	Totaal ¹ (g)	Urine ² (g)	feces (g)	ODS ³ (g)
Inhoud 1 gebruikte luier	126	103,2	22,8	7,6

¹ TAUW, 2021.

² Verhouding urine en feces is volgens Environment Agency (2008) 82% urine en 18% feces.

³ De middelste waarde voor het organische droge stofgehalte van feces is 25% (wt%). Hiervan is 84-93% organisch (hier 89% genomen) (Rose et al., 2015). Urine bestaat voor 91-96% uit water. Hier 93.5% genomen (dus 6.5% droge stof). Van de droge stof bestaat 65-85% uit organisch materiaal (75% genomen), waarvan de helft ureum (Rose et al., 2015), wat weinig koolstof bevat en dus weinig bijdraagt tot biogasproductie. Totaal geeft dat voor de luier een ODS van $0.25 \cdot 0.89 \cdot 22.8 \text{ g} + 0.065 \cdot 0.75 \cdot 0.5 \cdot 103.2 \text{ g} = 7.6 \text{ g}$.

De elektriciteit en warmte die geproduceerd kan worden uit het gewonnen biogas, en de emissies die hierbij vrijkomen, staan in Tabel 23. De biogasproductie uit slibvergisting ligt in de praktijk doorgaans tussen de 200-500 L biogas per kg ODS (STOWA, 2016). Hier nemen we een gemiddelde waarde van 350 L/kg ODS. Dit komt neer op 2,66 L biogas per verschoning van een luier ($350 \text{ L/kg} \cdot 7,6 \text{ g} = 2,66 \text{ L}$).

De gemiddelde verbrandingswaarde van biogas varieert tussen de 20-23 MJ/Nm³ (STOWA, 2016). We gaan hier uit van 21,5 MJ/Nm³ als gemiddelde waarde.

Het elektrisch en thermisch rendement van de gemiddelde wkk zijn respectievelijk 37% en 53% (Ecoinvent, 2021).

Tabel 23 - Data inventarisatie voor de afvalwaterverwerking bij het gebruik van wasbare luiers, per verschoning

Proces/materiaal	Eenheid	Hoeveelheid	Model voor milieu-impact <i>Ecoinvent processen zijn cursief weergegeven</i>
Input			
Organisch droge stof	g	7,6	-
Biogas productie	Liter	2,66	-
Vermeden elektriciteitsproductie door biogas in wkk	Wh	5,88 ¹	Gemiddelde Nederlandse elektriciteit 2019
Vermeden warmteproductie door biogas in wkk	kJ	30,3 ²	<i>Heat, district or industrial, natural gas {Europe without Switzerland} market for heat, district or industrial, natural gas</i>
Output			
Emissies door verbranding van biogas voor elektriciteitsopwekking	Wh	5,88	<i>Emissies van Electricity, high voltage {NL} heat and power co-generation, biogas, gas engine.</i>
Emissies voor verbranding van biogas voor warmteproductie	kJ	30,3	<i>Emissies van: Heat, central or small-scale, other than natural gas {NL} heat and power co-generation, biogas, gas engine.</i>

¹ $2.66L \cdot 0.37 \cdot 21.5 \text{ MJ/Nm}^3$.

² $2.66L \cdot 0.53 \cdot 21.5 \text{ MJ/Nm}^3$.

A.2.5 Verbranding

Het transport en het rendement van de AVI bij verbranding is hetzelfde gemodelleerd als voor de eenmalige luier (CE Delft, 2018a) en weergegeven in Tabel 24. Het verschil hierbij is dat voor één verschoning de verbranding van de luier wordt gedeeld door 450, het aantal keer hergebruik van de wasbare luier voor afdanking.

Tabel 24 - Data inventarisatie van de verbranding van één wasbare luier

Proces/materiaal	Eenheid	Hoeveelheid	Model voor milieu-impact <i>Ecoinvent processen zijn cursief weergegeven</i>
Input			
Katoen en viscose verbranding	g	97,5	<i>Waste textile, soiled {CH} treatment of, municipal incineration</i>
Polyester verbranding	g	32,5	<i>Waste textile, soiled {CH} treatment of, municipal incineration</i>
Transport naar AVI (per ton luiers)	tkm	80	<i>Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 {RER} transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5</i>
Vermeden emissies door elektriciteitsopwekking (katoen/viscose)	MJ/kg	2,72 ¹	Gemiddelde Nederlandse elektriciteit 2019
Vermeden emissies door warmteproductie (katoen/viscose)	MJ/kg	3,23 ²	<i>Heat, district or industrial, natural gas {RER} market group for</i>
Vermeden emissies door elektriciteitsopwekking (polyester)	MJ/kg	3,52 ³	Gemiddelde Nederlandse elektriciteit 2019

Proces/materiaal	Eenheid	Hoeveelheid	Model voor milieu-impact <i>Ecoinvent processen zijn cursief weergegeven</i>
Vermeden emissies door warmteproductie (polyester)	MJ/kg	4,18 ⁴	<i>Heat, district or industrial, natural gas {RER} market group for</i>

¹ = Elektrisch rendement AVI * LHV van katoen. LHV van katoen is 17 MJ/kg volgens Piegsa, (2010).

² = Thermisch rendement AVI * LHV van katoen. LHV van katoen is 17 MJ/kg volgens (2010).

³ = Elektrisch rendement AVI * LHV van polyester. LHV van polyester is 22 MJ/kg volgens Shen en Patel (2008).

⁴ = Thermisch rendement AVI * LHV van polyester. LHV van polyester is 22 MJ/kg volgens Shen en Patel (2008).

B Dominante factoren wasbare luiers

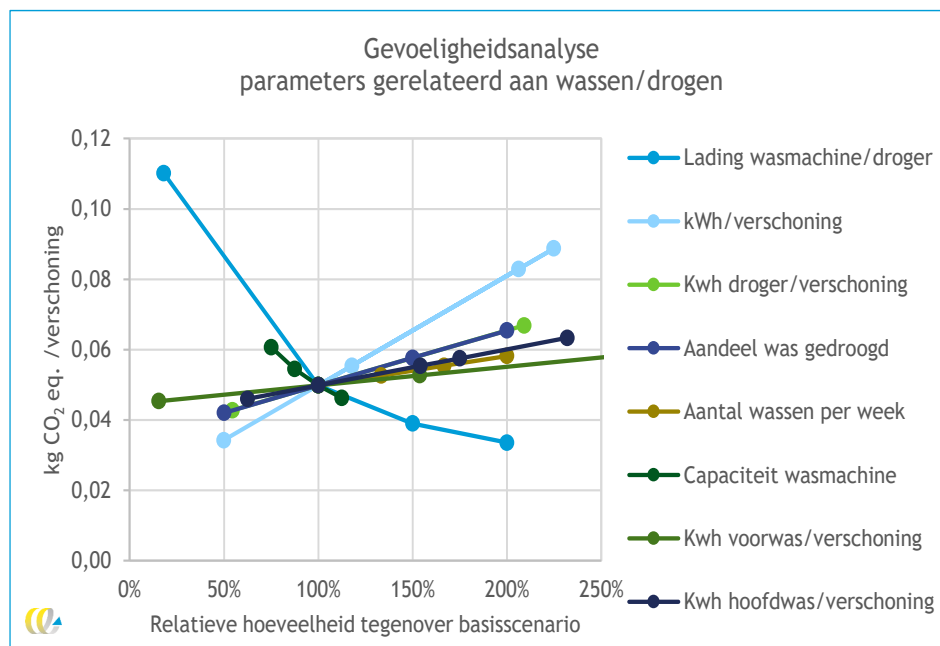
In deze analyse bekijken we welke factoren/parameters de meeste invloed hebben op de klimaatimpact van wasbare luiers. In deze gevoeligheidsanalyse wordt het basisscenario als referentie genomen. De waarden voor elke parameter worden uitgedrukt als percentage ten opzichte van het basisscenario. Daarna wordt steeds één parameter gevarieerd. De mate van toename/afname van de klimaatimpact geeft vervolgens weer hoeveel invloed deze parameter heeft op de klimaatimpact. In Figuur 20 en Figuur 21 worden de gevoeligheidsanalyse weergegeven. Hoe steiler de lijn, hoe groter de invloed van de parameter op de klimaatimpact.

Het elektriciteitsverbruik is een belangrijke parameter voor de klimaatimpact van de luiers. Deze wordt bepaald door een combinatie van andere factoren, zoals het verbruik van de voorwas, hoofdwas en het droogprogramma, het aantal wassen per week, de capaciteit van de wasmachine of droger, en het aandeel van de was dat gedroogd wordt. De twee parameters gerelateerd aan de droger wegen hierbij zwaarder door dan de andere parameters.

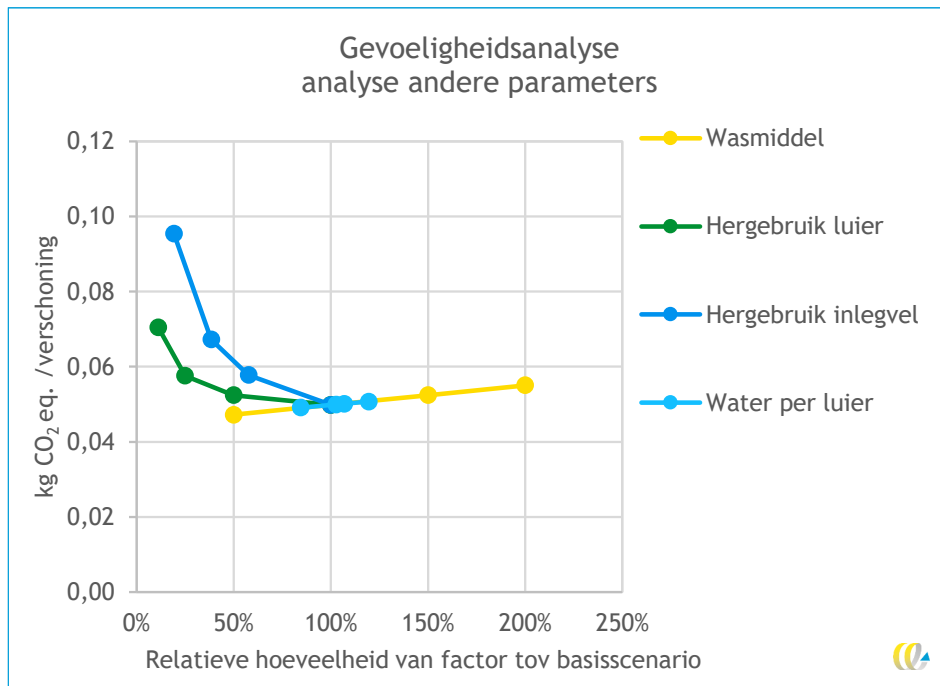
Een zeer belangrijke parameter is de lading van de wasmachine. Ook het aantal keer hergebruik van de luiers heeft met name bij lage percentages (< 50%) een groot effect op de klimaatimpact.

Minder belangrijke parameters zijn het wasmiddelgebruik, het watergebruik bij het wassen, en het inlegvel.

Figuur 20 - Gevoeligheidsanalyse van parameters gerelateerd aan het elektriciteitsverbruik van het wassen en drogen van de luiers



Figuur 21 - Gevoeligheidsanalyse van overige parameters van het model voor de milieu-impact van wasbare luiers



C Single score-resultaten

Naast endpoints (Paragraaf 3.1.2) kunnen de verschillende midpoint-resultaten ook met elkaar worden vergeleken door ze op te tellen tot een zogenoemde single score. De verschillende midpoint-indicatoren worden hiervoor genormaliseerd en gewogen. Deze weging bepaalt hoe belangrijk een milieueffect is ten opzichte van andere milieueffecten en is inherent subjectief. Volgens de ISO-standaarden voor LCA mag daarom in vergelijkende LCA-studies geen gebruik gemaakt worden van gewogen resultaten. De onderstaande analyse dient daarom alleen om te identificeren welke milieu-effecten grofweg het belangrijkste zijn.

Figuur 22 geeft de single score weer voor de eenmalige en wasbare luier (berekend met het ReCiPe 2016 H/A perspectief), en de bijdrage van de verschillende milieueffecten. Te zien is dat de klimaatimpact het belangrijkste milieueffect is voor zowel de eenmalige luiers als voor de wasbare luiers. De klimaatimpact veroorzaakt ca. 45% tot 55% van de totale milieudruk. Na de klimaatimpact is fijnstofvorming het belangrijkste milieueffect, met een bijdrage tussen de 30% en 35%.

Figuur 22 - De ReCiPe 2016 single score van eenmalige en wasbare luiers, per verschoning

