

Wageningen UR Livestock Research

Partner in livestock innovations



Rapport 389

Brede inventarisatie milieu-effecten van veehouderij en landbouw

Augustus 2010



LIVESTOCK RESEARCH
WAGENINGEN UR

Colofon

Uitgever

Wageningen UR Livestock Research
Postbus 65, 8200 AB Lelystad
Telefoon 0320 - 238238
Fax 0320 - 238050
E-mail info.livestockresearch@wur.nl
Internet <http://www.livestockresearch.wur.nl>

Redactie

Communication Services

Copyright

© Wageningen UR Livestock Research, onderdeel van Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek, 2010

Overname van de inhoud is toegestaan, mits met duidelijke bronvermelding.

Aansprakelijkheid

Wageningen UR Livestock Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Wageningen UR Livestock Research en Central Veterinary Institute, beiden onderdeel van Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek vormen samen met het Departement Dierwetenschappen van Wageningen University de Animal Sciences Group van Wageningen UR (University & Research centre).

Losse nummers zijn te verkrijgen via de website.



De certificering volgens ISO 9001 door DNV onderstreept ons kwaliteitsniveau. Op al onze onderzoeksopdrachten zijn de Algemene Voorwaarden van de Animal Sciences Group van toepassing. Deze zijn gedeponereerd bij de Arrondissementsrechtbank Zwolle.

Abstract

Inventarization of a wide variety of environmental impacts of agriculture/livestock systems. Sources of the environmental impacts and the importance of agriculture, type of effects and their (ir)reversibility.

Keywords

LCA variables, Acidification, Eutrofication, Heavy metals, Veterinary medicines, BOD/COD, Thermal waste, Particulate matter, VOS, POP, PAK, Green house gases, water footprint, land-use, phosphate use, fossil energy use, odor, noise

Referaat

ISSN 1570 - 8616

Auteur(s)

Simone Radersma

Titel

Brede inventarisatie milieu-effecten van veehouderij en landbouw

Rapport 389

Samenvatting

Inventarisatie van milieu-effecten, met informatie over de rol van de landbouw/veeteelt: Wat zijn de bronnen van het betreffende milieu-effect en hoe groot is de bijdrage door de landbouw en welke gevolgen hebben de betreffende milieu-effecten en hoe (on)herstelbaar zijn die gevolgen.



LIVESTOCK RESEARCH
WAGENINGEN UR

Rapport 389

Brede inventarisatie milieu-effecten van veehouderij en landbouw

Environmental impacts of livestock systems

Simone Radersma

Augustus 2010

Voorwoord

Dit onderzoek is uitgevoerd binnen het kader van het beleidsondersteunend onderzoek van het ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Voedselkwaliteit (thema Duurzame stal- en houderijsystemen: projecten BO 12.02-001-009 t/m 012).

Naast aandacht voor duurzaamheid op het gebied van dierenwelzijn en economische haalbaarheid voor de veehouder is ook duurzaamheid ten opzichte van het milieu van belang. In de afgelopen decennia zijn op milieugebied meestal enkelvoudige milieu-effecten onderzocht, bv nitraatuitspoeling. Recentelijk vindt meer onderzoek plaats naar series milieu-effecten. Dit gebeurt o.a. door Life Cycle Assessment methodologie, die behalve meerdere milieu-effecten ook hele productiesystemen en -ketens behandelt. Het voordeel van deze brede benadering is dat niet ieder milieuprobleem afzonderlijk aangepakt wordt, waarbij het risico aanwezig is dat een oplossing van het ene probleem het andere probleem verergert. Maar ook bij een brede milieu-effectenbenadering moeten grenzen gesteld worden om niet vast te lopen in een onhanteerbare complexiteit. In LCA's zijn twee soorten grenzen nodig: 1 de begrenzing van het systeem, begin en eind van een keten, en 2 de keuze van milieu-effecten: welke variabelen worden wel en niet bekeken.

Dit rapport is een hulpmiddel voor de tweede vraag. Er wordt een zo compleet mogelijke, voor de landbouw relevante, serie milieu-effecten beschreven, met informatie over de rol van de landbouw/veeteelt: wat zijn de bronnen van het betreffende milieu-effect, hoe groot is de bijdrage door de landbouw, welke gevolgen hebben de betreffende milieu-effecten en hoe (on)herstelbaar zijn die gevolgen.

Antwoorden op deze vragen maakt een gefundeerde keuze van variabelen/milieu-effecten voor LCA-analyses van landbouw/veehouderijsystemen mogelijk. Wanneer over belangrijke milieu-effecten nog te weinig kwantitatieve informatie beschikbaar is, wordt duidelijk dat kwantificerend onderzoek eerst nog nodig is.

Met dank aan de collega's Albert Winkel voor de vakkundige aanvulling van de paragraaf over fijnstof, Fridtjof de Buissonjé voor het leveren van literatuur over diergeneesmiddelen, en aan Rosalinde Goselink voor hulp bij het sorteren van de informatie over diergeneesmiddelen.

Simone Radersma

Samenvatting

In de afgelopen decennia zijn op milieugebied meestal enkelvoudige milieu-effecten onderzocht, b.v. nitraatuitspoeling. Recentelijk vindt meer onderzoek plaats naar series milieu-effecten. Om niet te verzanden in een onoverzienbare complexiteit is het nodig om een keuze van milieu-effecten te maken: welke variabelen worden wel en niet bekeken.

Dit rapport is een hulpmiddel voor die keuze van milieu-effecten. Er wordt een zo compleet mogelijke voor de landbouw relevante inventarisatie van milieu-effecten gemaakt, met informatie over de rol van de landbouw/veeteelt.

- Wat zijn de bronnen van het betreffende milieu-effect?
- Hoe groot is de bijdrage door de landbouw?
- Welke gevolgen hebben de betreffende milieu-effecten?
- Hoe (on)herstelbaar zijn de milieu-effecten of hun gevolgen?

Hier is gekozen voor een groepering van milieu-effecten met de volgende hoofdgroepen.

- i Schade aan het milieu
- ii Verbruik schaarse hulpbronnen uit het milieu
- iii Ergernis voor de omgeving

	Landbouw belangrijke oorzaak?	Landbouw oorzaak significant te verminderen?	Milieu-effect onherstelbaar?	Kwantitatieve data landbouw beschikbaar?
Emissies naar bodem en water				
Verzuring (bodem/water)	+	+	±	+
Eutrofiëring (water via bodem)	++	++	±	+
Zware metalen (bodem)	+	+	++	+
Diergeneesmiddelen (bodem/water)	++	++	?	?
BOD/COD (water)	±	++	±	-
Afval warmte (water)	-	-	±	-
Emissies naar lucht en atmosfeer				
Fijn stof	+	+	±	±
Eutrofiëring (lucht)	++	++	±	+
Koolmonoxide (CO)	-	-	-	±
VOS (POPs & PAKs)	±	+	++	-
Broeikasgassen	+	+	± - + ¹	+
Schaarse hulpbronnen				
Zoet water	++	±	+	+
Land gebruik	++	±	± - ++ ²	±
Fosfaat gebruik	++	± ³	++	+
Ergernis				
Stank	+	+	-	±
Lawaai	-	±	-	-

¹ Afhankelijk van of de aarde onherstelbaar opwarmt (met alle effecten van dien) of niet.

² Dat landbouw landareaal gebruikt is onvermijdelijk. Dat grote arealen oerwoud gekapt worden ten bate van landbouw is een onherstelbaar verlies.

³ Fosfaatgebruik voor plantengroei blijft noodzakelijkerwijs op een bepaald niveau, maar P-verliezen kunnen wel verminderd worden door minder overbemesting en betere kringlopen.

Na beschrijving van de verschillende milieu-effecten wordt in hoofdstuk 6 een schatting gemaakt van het belang van elk van de milieu-effecten afzonderlijk aan de hand van drie criteria/vragen:

- Is landbouw of de betreffende landbouwsector een belangrijke oorzaak van een bepaald milieu-effect?
- Is het betreffende milieu-effect vermijdbaar of duidelijk te verminderen in de landbouw of in de betreffende landbouwsector?
- Is het milieu-effect van een aard dat het geminimaliseerd moet worden (bijv. emissies die ophopen zonder afbraak), ook als landbouw of een bepaalde landbouwsector een minder belangrijke oorzaak is?

Bovenstaande tabel bevat de schatting van het belang van de hele serie milieu-effecten naar aanleiding van deze drie vragen, aangevuld met een vraag over de beschikbaarheid van kwantitatieve gegevens. Zonder kwantitatieve informatie kan een milieu-effect wel belangrijk zijn, maar kan het (nog) niet in LCA-studies meegenomen worden. Er zijn eerst metingen en kwantitatief onderzoek nodig.

Deze inventarisatie van mogelijke milieu-effecten is gedaan in het kader van een project dat de milieu-effecten van de kleine veehouderijsectoren voor konijnen, kalkoenen, eenden en vleeskalveren onderzoekt en probeert te kwantificeren. Het is een aanvulling op een kwantitatieve analyse in deze sectoren door De Vries et al (2010). Het gaat hierbij om:

- 1) verzuring
- 2) eutrofiëring
- 3) broeikasgassen
- 4) energie
- 5) zoet waterverbruik
- 6) fijnstof

De schatting van het belang van milieu-effecten vanuit de landbouw geeft aan dat het wenselijk is dat de 5/6 milieu-effecten die behandeld zijn in de semi-kwantitatieve analyse, uitgebreid (of deels vervangen) moeten worden met de belangrijke milieu-effecten:

- a fosfaatverbruik
- b landgebruik (vooral de landtransformatie-effecten)
- c effecten van diergeneesmiddelen
- d zware metalen
- e POP's en PAK's en misschien
- f stank

Van de belangrijke milieu-effecten genoemd bij b, c, e en f zijn nog te weinig kwantitatieve gegevens beschikbaar. Daarom zijn eerst meer metingen en kwantificerend onderzoek nodig.

Summary

In the past, environmental research was mostly focusing on one aspect at a time, e.g. nitrate-leaching. Recently, approaches which consider multiple environmental effects at the same time are developed. To prevent getting lost in a multitude of environmental effects, it is necessary to make an intelligent choice about a limited series of most relevant environmental effects/impacts.

This report intends to assist that choice of environmental effects. First all relevant (for agriculture / livestock systems) environmental effects/impacts are collected and described considering:

- What are the sources of the particular environmental effect/impact
- How large is the addition of agriculture
- What are the results of each environmental effect/impact
- How (ir)reversible are the environmental effects/impacts or their results.

We grouped the environmental impacts according to 1) Damage to the environment, 2) Use of non-renewable resources and 3) Irritation for the surrounding population. Damage to the environment was subdivided according to damaged medium: Soil & water, air & atmosphere.

After describing all environmental effects, in chapter 6 an assessment is made about the importance of each of the environmental effects, using three questions/criteria:

- Is agriculture or a particular agricultural sector an important cause/source of the particular environmental effect/impact
- Can the particular environmental effect/impact be significantly decreased in agriculture or the agricultural sector considered
- Is the environmental effect/impact such that it needs to be minimized anyway (e.g. irreversible if not prevented), even if agriculture (or an agricultural sector) is a lesser source.

	Agricultural sources important?	Agricultural source significantly decreaseable?	Environmental effect irreversible?	Quantitative data agriculture available?
Emissions to soil and water				
Acidification (soil/water)	+	+	±	+
Eutrofication (water via soil)	++	++	±	+
Heavy metals (soil/water)	+	+	++	+
Veterinary medicines (soil/water)	++	++	?	?
BOD/COD (water)	±	++	±	-
Waste warmth (water)	-	-	±	-
Emissions to air and atmosphere				
Particulate matter	+	+	±	±
Eutrofication (air)	++	++	±	+
Carbonmonoxide (CO)	-	-	-	±
VOC (POPs & PAHs)	±	+	++	-
Greenhouse gasses	+	+	± - + ¹	+
Non-renewable resources				
Fresh water	++	±	+	+
Land use	++	±	± - ++ ²	±
Phosphate use	++	± ³	++	+
Irritation				
Odour	+	+	-	±
Noise	-	±	-	-

¹ Depends on whether the earth warms up irreversibly (with all its results) or not.

² Agriculture uses land unavoidably, but large jungle clearings for agriculture are an irreversible loss.

³ Phosphate use for plant growth will necessarily stay at a certain level, however, phosphate losses can be decreased by decreasing over-fertilization and increasing nutrient cycling.

The table above shows the assessment of the importance of each environmental effect/impact according to the three questions. An extra column and question about the availability of quantitative data is added. Without the availability of quantitative data, an environmental effect/impact can be important, but needs quantification and quantitative research before it can be added as variable in an LCA study.

Inhoudsopgave

Voorwoord

Samenvatting

Summary

1	Inleiding	1
2	Schade aan het milieu: Bodem en water	2
2.1	Verzuring van bodem/water	2
2.2	Eutrofiëring van water (via bodem)	2
2.3	(Bio)chemische verontreinigingen van bodem en water	2
2.3.1	Zware metalen	2
2.3.2	Diergeneesmiddelen: Antibiotica, Coccidiostatica, Antiparasitaire middelen	3
2.3.3	(Bio)Chemical oxygen demand (BOD/COD)	4
2.4	Afval warmte op water: Thermische vervuiling	5
3	Schade aan het milieu: lucht en atmosfeer	6
3.1	Fijnstof in lucht	6
3.2	(Bio)chemische verontreiniging van lucht (water en bodem)	6
3.2.1	Eutrofiëring van lucht	6
3.2.2	Koolmonoxide (CO)	7
3.2.3	Vluchtige organische stoffen (VOS)	7
3.2.4	Broeikasgassen	10
4	Verbruik van schaarse hulpbronnen	12
4.1	Zoetwaterverbruik	12
4.2	Landgebruik	14
4.3	Fosfaatverbruik	14
4.4	Verbruik van fossiele brandstoffen	15
4.5	Biodiversiteit	16
5	Ergernis	17
5.1	Stank	17
5.2	Lawaai	17
6	Kiezen van relevante LCA variabelen / milieu effecten	19
	Literatuur	21

1 Inleiding

Life cycle assessments zijn bedoeld om een breed scala aan milieu-effecten van productieketens in beeld te brengen. Naar aanleiding daarvan moet duidelijk worden hoe groot de verschillende negatieve milieu-effecten zijn, en waardoor die veroorzaakt worden. Dit geeft informatie over de mogelijkheden tot verbetering van de milieuprestatie van productieketens/-systemen.

In LCA's van de veehouderij in Europa wordt voornamelijk gekeken naar verzuring, eutrofiëring en broeikasgassen. Vaak worden daar nog enige milieu-effecten aan toegevoegd, bijv. gebruik van fossiele brandstoffen en landareaal (Thomassen, 2008; Basset-Mens & Van der Werf, 2005), ophoping van zware metalen, antibiotica en pesticide, landschapswaarde en dierwelzijn (De Haas et al, 2001; Basset-Mens & Van der Werf, 2005), smogvorming en ozonlaagaantasting (Cederberg & Mattsson).

In dit rapport wordt een brede inventarisatie gemaakt van mogelijk in de veehouderij voorkomende milieu-effecten, aangezien de standaard set LCA-variabelen (zoals hier boven genoemd) niet noodzakelijk de enige belangrijke milieu-effecten zijn.

Deze inventarisatie van mogelijke milieu-effecten wordt gedaan in het kader van een project dat de milieu-effecten van de kleine veehouderijsectoren voor konijnen, kalkoenen, eenden en vleeskalveren onderzoekt en probeert te kwantificeren. Het is een aanvulling op een kwantitatieve analyse van 1) verzuring 2) eutrofiëring en 3) broeikasgassen, 4) energie en 5) zoetwaterverbruik en 6) fijnstof (de Vries et al, in druk) in deze sectoren. Voor zover mogelijk zijn kwantitatieve gegevens over bekende bijdragen door de landbouw en/of andere bronnen van de hier behandelde milieu-effecten toegevoegd. De kwantitatieve informatie van veel van de variabelen was echter te gering om deze variabelen mee te kunnen nemen in de semi-kwantitatieve analyse van de kleine veehouderijsectoren. In hoofdstuk 6 wordt besproken welke milieu-effecten buiten de zes van de semi-kwantitatieve analyse belangrijk genoeg lijken om verdere kwantificering aan te bevelen in LCA's van de landbouw/veehouderij.

Milieu-effecten kunnen op vele manieren gegroepeerd worden. Hier is gekozen voor een groepering met als hoofdgroepen:

- a Schade aan het milieu
- b Verbruik schaarse hulpbronnen uit het milieu en
- c Ergernis voor de omgeving

De groep schadelijke milieu-effecten kunnen we onderverdelen naar medium dat schade ondervindt, bodem, water, lucht/atmosfeer met meestal indirecte effecten voor mens en dier. Hier worden eerst de schadelijke effecten op/via bodem en water behandeld en vervolgens de schadelijke effecten op/via lucht/atmosfeer.

2 Schade aan het milieu: Bodem en water

2.1 Verzuring van bodem/water

Verzurende stoffen geven H^+ af aan de omgeving of bevorderen uitspoeling van anionen. De bekendste stoffen met verzurende werking voor bodem en water, aangevoerd via lucht en neerslag, zijn zwaveldioxide en ammoniak. Zwaveldioxide heeft als bron voornamelijk zwavelhoudende brandstoffen (bijv. bruinkool). Ammoniak komt hoofdzakelijk vrij uit dierlijke mest, uit opslag en bij toediening.

Andere verzurende stoffen zijn SO_3 , H_2SO_4 , NO_2 , NO , HCl , HNO_3 , H_3PO_4 , HF , H_2S .

Verzuringreacties, SO_2 -equivalenten (kg SO_2 / kg) en bronnen van al deze stoffen staan in tabel 1.

Tabel 1 Verzuringreacties en SO_2 -equivalenten van verzurende stoffen (Jensen et al, 1997)

Stof	Verzuringreacties	SO_2 -equiv	Hoofdbronnen
SO_2	$SO_2 + H_2O \leftrightarrow H_2SO_3 \leftrightarrow 2H^+ + SO_3^{2-}$	1	verbranding
SO_3	$SO_3 + H_2O \leftrightarrow H_2SO_4 \leftrightarrow 2H^+ + SO_4^{2-}$	0,8	
NO_2	$NO_2 + \frac{1}{2}H_2O + \frac{1}{4}O_2 \leftrightarrow H^+ + NO_3H^-$	0,7	verbranding
NO	$NO + O_3 + \frac{1}{2}H_2O \leftrightarrow H^+ + NO_3^- + \frac{3}{4}O_2$	1,07	verbranding
HCl	$HCl > H^+ + Cl^-$	0,88	
HNO_3	$HNO_3 \leftrightarrow H^+ + NO_3^-$	0,51	
H_2SO_4	$H_2SO_4 > 2H^+ + SO_4^{2-}$	0,65	
H_3PO_4	$H_3PO_4 > 3H^+ + PO_4^{3-}$	0,98	
HF	$HF > H^+ + F^-$	1,60	
H_2S	$H_2S + \frac{3}{2}O_2 + H_2O \leftrightarrow 2H^+ + SO_3^{2-}$	1,88	
NH_3	$NH_3 + 2O_2 \leftrightarrow H^+ + NO_3^- + H_2O$	1,88	dierlijke mest

2.2 Eutrofiëring van water (via bodem)

De bekendste stoffen die door ophopingen in de bodem leiden tot eutrofiëring van grond- en oppervlaktewater zijn nitraat (NO_3^-), ammonium (NH_4^+) en fosfaat (PO_4^{3-}). In Nederland komen de ophopingen van deze stoffen in het milieu vooral uit dierlijke mest en kunstmest. Andere eutrofiërende stoffen zijn elementair N en P.

Tabel 2 PO_4 -equivalenten en NO_3 -equivalenten van eutrofiërende stoffen (Jensen et al 1997; Thomassen et al, 2008)

	NO_3^- -equivalent	PO_4^{3-} -equivalent
NO_3^-	1	0,1
NH_4^+	3,6	0,33
N	4,4	0,42
$H_2PO_4^{3-}$	10,45	1
P_2O_5	14,1	1,35
P	32,0	3,06

2.3 (Bio)chemische verontreinigingen van bodem en water

Dit is een brede groep van stoffen die van nature niet of slechts in zeer beperkte mate in het milieu voorkomen.

2.3.1 Zware metalen

Zware metalen zijn metalen die zwaarder zijn dan 6 g cm^{-3} (gewicht van ijzer (Fe)). Zij zijn niet afbreekbaar en hopen zich dus op in de bodem (en water). De meest schadelijke zware metalen bij ophoping in het milieu zijn lood (Pb), cadmium (Cd) en kwik (Hg). Andere zware metalen zoals zink (Zn), koper (Cu), chroom (Cr) en Kobalt (Co) zijn noodzakelijke sporenelementen voor plant en/of dier, maar kunnen door accumulatie toxische niveaus bereiken. Hoge concentraties aan lood, cadmium en

kwik zijn voornamelijk afkomstig uit de industrie. Bronnen van koper- en zinkaccumulatie in het milieu komen bijvoorbeeld uit de melkveehouderij (Smolders et al, 2008), zink voornamelijk via voer, koper deels via voer en deels via bijv. voetbaden tegen klauwziektes. Gezien de sporenelementenbehoefte aan kobalt en chroom (alleen varkens) en de gewoonte van voerproducenten om te zorgen voor een ruime dekking van de behoefte aan sporenelementen, is het waarschijnlijk dat ook deze zware metalen via voer, dier en dierlijke mest in het milieu belanden. Rotsfosfaat en de daaruit gemaakte kunstmestfosfaten kunnen sporen arseen, cadmium, chroom en lood bevatten. De overige zware metalen, die genoemd worden als mogelijke milieuvervuilingen (Lentech, 2010) zijn antimoon (Sb), nikkel (Ni), zilver (Ag), en vanadium (V).

2.3.2 Diergeneesmiddelen: Antibiotica, Coccidiostatica, Antiparasitaire middelen

De meest gebruikte groepen diergeneesmiddelen zijn antibiotica, coccidiostatica en antiparasitaire middelen (Boxall, 2008).

Antibiotica worden vaak via voer en drinkwater aan dieren toegediend ter voorkoming van infectieziekten en om de voedsel-efficiëntie te verhogen en daarmee een snelle groei te bevorderen.

Chemische vervuiling

Diergeneesmiddelen kunnen chemische toxische stoffen bevatten (bijv. POP's, zie par. 3.2.3) die via urine en mest in het milieu terechtkomen.

De concentraties die in het milieu voorkomen worden bepaald door:

- 1 dosering aan het dier
- 2 afbraak in het dier (afhankelijk van diersoort, leeftijd en conditie)
- 3 wijze van toediening (op de huid, in voer, geïnjecteerd)
- 4 fysisch/chemische eigenschappen van het middel
- 5 afbraak in (drijf)mestopslag, bodem en water (afhankelijk van bijv. klimaat en pH).

Diergeneesmiddelen worden vooral afgebroken door aerobe biodegradatie in het dier en in de bodem. Fotolyse en hydrolyse (ook in oppervlaktewater) leiden ook tot afbraak. Afbraakproducten (metabolieten) zijn vaak, maar niet altijd, minder actief en giftig dan het oorspronkelijke geneesmiddel. Interacties tussen verschillende chemische (afbraak)producten kan ook leiden tot vergroting of verkleining van milieu-effecten. Meten van het oorspronkelijke geneesmiddel in het milieu alleen geeft dus geen volledig beeld van de feitelijke effecten van toediening van dat middel.

Adsorptie aan de bodem verschilt sterk per middel/metaboliet en per bodem. Hoe sterker de adsorptie aan de bodem, hoe groter de ophoping in de bodem en hoe minder de afspoeling of drainage naar oppervlaktewater. Uitspoeling naar grondwater is klein ten opzichte van afspoeling en drainage naar oppervlaktewater (Boxall, 2008). Sommige middelen worden ook weer opgenomen door planten. Tot nu toe zijn de gevonden concentraties in het milieu lager dan de concentraties die acuut fataal zijn voor bodembiota. Alleen ivermectin en doramectin in mest en monensin in de bodem zijn gevonden in concentraties die acuut fataal zijn voor mest/bodem biota (Boxall et al, 2003). Over chronische vergiftiging van bodembiota en de gevolgen voor andere bodemprocessen is nog weinig bekend.

Tabel 3 Meest gebruikte diergeneesmiddelen in Nederland die ook teruggevonden kunnen worden in het milieu, met afbraaktijden in mest en bodem (Boxall, 2008; Boxall et al, 2003; R. Goselink, pers. comm.)

Groep	Functie	Voorbeelden	Chemische groep	t _{1/2} (d) in mest	t _{1/2} (d) bodem
Antibiotica	Tegen bacteriële infecties: Doodt of onderdrukt groei en vermeerdering van microorganismen	Amoxicilline	Bèta Lactam verbinding		<1
		Oxytetracycline	Tetracyclines		16-18
		Sulfadiazine	Sulfonamides		
Coccidiostatica	Tegen eencellige darmparasiten	Tylosine	Macrolides	<2	4-8
		Amprolium		8-90	
		Monensin			
Endectocides	Antiparasitaire middelen (intern en extern)	Toltrazuril			
		Ivermectine	Macrolide endectines	>45	14-56
		Levamisole Triclabendazole			

Antibioticaresistentie

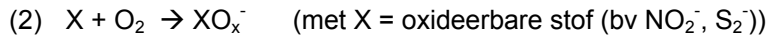
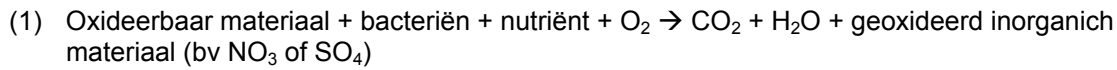
Een meer specifiek gevaar van (dier)geneesmiddelen en het dagelijkse gebruik ervan is de verspreiding van de uitgescheiden antibioticaresistente darmbacteriën in het milieu, en de overdracht van die resistentie op menselijke ziekteverwekkers.

De overdracht van resistentiegenen op andere bodembacteriën is in Nederland nog niet aangetoond (Van Schijndel et al, 2009).

Kwantificering kan door optellen van de molen/mols antibiotica.

2.3.3 (Bio)Chemical oxygen demand (BOD/COD)

De biochemische en chemische zuurstofvraag van afvalwater geeft aan in hoeverre afval in water of afvalwater zuurstof consumeert en daardoor negatieve effecten heeft op vis of andere waterleven. Ieder oxideerbaar materiaal in natuurlijk water of afval(water) zal oxideren door zowel biochemische als chemische processen volgens de volgende algemene vergelijkingen voor biochemische (1) en chemische (2) oxidatie:



In bijna alle natuurlijke waterlichamen zijn bacteriën en nutriënten aanwezig, zodat bijna elk afval(water) dat wordt toegevoegd biochemische reacties veroorzaakt. Dit creëert de biochemische zuurstofvraag (BOD biochemical oxygen demand). Indicatormetingen van COD en BOD worden meestal genomen over 5 dagen. Deze 5-daagse metingen zijn niet direct lineair gerelateerd aan totale BOD of COD. Een periode van 5 dagen is gekozen omdat dat de maximale verblijftijd was in stromend water tussen bron en zee in Engeland. Enige waarden van BOD zijn gegeven in tabel 4.

Tabel 4 Biochemical oxygen demand waarden (binnen 5 dagen = BOD₅) voor enkele typen (afval)water

	BOD (mg O ₂ L ⁻¹)
Schoon beekwater	< 1
Matig vervuild rivierwater	2-8
Behandeld rioolwater	20
Onbehandeld rioolwater	200-600

Landbouw in het algemeen is de belangrijkste bron van BOD in natuurlijke waterlopen in de geïndustrialiseerde wereld (OECD, 2001). Landbouw draagt 75 Mton bij aan BOD, rioolwater circa 15 Mton en industrie ongeveer 1 Mton. BOD-vervuiling vindt voornamelijk plaats door puntbelasting, bijv. als perssap uit kuil, vuil water van het erf, reinigingswater van de melkstal e.d., wat direct in waterlopen belandt. Hoe hoger de BOD, des te meer vervuiling (groter levensbedreigend effect op het leven in de waterloop).

Bronnen van BOD uit de landbouw zijn weergegeven in tabel 5.

Tabel 5 Biochemical Oxygen Demand voor landbouw (afval)producten (Hooda et al 2000; www.ruralni.gov.uk)

	BOD (mg O ₂ L ⁻¹)
Melk	140000
Perssap uit kuil	30000-80000
Varkensdrijfmest	20000-30000
Runderdrijfmest	10000-20000
Vuil erfwater	1500
Groente waswater	500-3000
Melkstal reinigingswater	1000-2000
Huishoudelijk rioolwater	300

2.4 Afval warmte op water: Thermische vervuiling

Bij thermische verontreiniging wordt relatief warm water geloosd/teruggeleid naar oppervlaktewater. In het opgewarmde water is de oplosbaarheid van zuurstof lager, terwijl organismen sneller gaan ademen. Veel organismen sterven door zuurstoftekort of zijn vatbaarder voor ziekten. Opwarming van oppervlaktewater kan bovendien leiden tot overmatige (blauw)algengroei en botulisme.

Thermische vervuiling komt voornamelijk voort uit gebruik van water als koelwater.

Koelwater komt in Nederland voornamelijk uit de elektriciteitscentrales (circa 6200 m³) en uit de industrie (circa 2100 miljoen m³) (www.lenntech.nl).

3 Schade aan het milieu: lucht en atmosfeer

3.1 Fijnstof in lucht

Fijnstof (particulate matter; PM) is stof dat voor het merendeel bestaat uit deeltjes met een aerodynamische diameter¹ kleiner dan 10 µm. Dit stof wordt aangeduid als PM10. Stofdeeltjes met een aerodynamische diameter kleiner dan 2,5 µm worden aangeduid als PM2,5 (zeer fijn stof). PM2.5 wordt direct uitgestoten of gevormd in de atmosfeer door condensatie of chemische reacties met gassen in de atmosfeer. Direct uitgestoten PM2.5 is afkomstig van onvolledig verbrande koolwaterstofdeeltjes, winderosie, verkeer van machines, ventilatielucht van stallen e.d.

De belangrijkste bijdragen van landbouw aan PM2.5 zijn door verbranding en door secundaire vorming van PM2.5 uit NH₃, NO_x en VOS (zie par. 3.2.3). Ammonia met NO_x en/of sulfaten vormt PM2.5. VOS adsorberen aan deeltjes in de lucht. PM10 wordt direct uitgestoten in vaste of vloeibare vorm, vaak via verkeer (mens en dier), ventilatielucht van stallen, erosie, grondbewerking en andere verstoringen van droge oppervlakten.

De schatting is dat van de totale fijnstofemissie in Nederland ongeveer 20% afkomstig is uit de landbouw (9,7 van circa 50 kTon totaal; Chardon & Van den Hoek, 2002; alle cijfers zijn exclusief winderosie). Van deze 9,7 kTon is circa 95% (9,3 kTon) afkomstig uit stallen. Vooral varkens- en pluimveestallen dragen belangrijk bij (respectievelijk circa 55 en 35%) aan de totale fijnstofemissie uit stallen (zie ook Takai et al, 1998).

Fijnstof afkomstig uit stallen kan zeker op vier manieren tot problemen leiden.

1. In de stal kunnen hoge PM-concentraties negatieve effecten hebben op diergezondheid en dierprestaties (Collins en Algers, 1986).
2. In de stal kunnen hoge PM-concentraties zorgen voor longproblemen bij werkenden in de veehouderij. Uit epidemiologisch onderzoek blijkt dat varkens- en pluimveehouders een verhoogd risico lopen op het ontwikkelen van luchtwegproblemen als COPD, ODS en astma (Preller, 1995; Vogelzang, 1999; Radon 2001; Von Essen et al., 2005).
3. Emissie van PM naar de buitenlucht kan bijdragen aan gezondheidsklachten van omwonenden van veehouderijbedrijven (Von Essen en Auvermann, 2005; Radon et al., 2007).
4. Emissie van PM naar de buitenlucht draagt bij aan de achtergrondniveaus van PM10 en PM2,5 in Nederland. Verhoogde PM-achtergrondconcentraties vormen een risico voor de volksgezondheid (Buringh en Opperhuizen, 2002).

3.2 (Bio)chemische verontreiniging van lucht (water en bodem)

Bekende luchtverontreinigers zijn ammoniak (NH₃), stikstofoxiden (NO_x), koolmonoxide (CO), vluchtige organische stoffen / volatile organic compounds (VOS / VOC). Groepen die behoren tot de VOS maar onderscheiden worden vanwege hun schadelijkheid door extreme effecten en/of lange levensduur zijn de polyaromatische koolwaterstoffen / polyaromatic hydrocarbon (PAK / PAH) en de persistent organic pollutants (POP).

3.2.1 Eutrofiëring van lucht

Alleen in geval van N, NO_x en NH₃ wordt ook wel gesproken van eutrofiëring van lucht. De respectievelijke eutrofiëringspotentialen (EPs) zijn: N = 20 kg O₂ / kg, NO_x = 6 kg O₂ / kg en NH₃ = 16 kg O₂ / kg (Jensen et al, 1997)

¹ De aerodynamische diameter van een deeltje is de diameter van een bolvormig deeltje met een dichtheid van 1 kg/m³ dat dezelfde valsnelheid heeft als het betreffende deeltje.

3.2.2 Koolmonoxide (CO)

Hoge concentraties CO zijn giftig voor mens en dier, doordat CO opgenomen wordt in het bloed en de zuurstofopname in het bloed belemmerd.

CO is afkomstig van onvolledige verbranding van koolstofhoudende brandstoffen. Er komt altijd enige CO vrij bij verbranding, maar hoge concentraties ontstaan bij gebrek aan zuurstof voor volledige verbranding. Landbouw is niet bekend als nadrukkelijke bron van koolmonoxide. Bij verpakking van rood vlees wordt wel CO gebruikt om de kleur te bewaren.

3.2.3 Vluchtige organische stoffen (VOS)

Er zijn duizenden verschillende VOS. Afhankelijk van type VOS en omgeving, hebben VOS de volgende negatieve milieu-effecten:

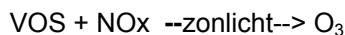
1. Ozonafbraak in de stratosfeer
2. Fotochemische ozonvorming in de troposfeer (grenzend aan aardoppervlak)
3. Giftig en kankerverwekkend
4. Broeikaseffectbevorderend
5. Ophoping in het milieu (semi vluchtige organische stoffen waaronder POP's) (Derwent, 1995)

Ad 1. Stabiele VOS met een lange levensduur, die de afbraakprocessen in de troposfeer overleven, bereiken de stratosfeer. Als deze VOS chloride of bromide bevatten, kan stratosferische fotolyse plaatsvinden met vernietiging van hydroxylgroepen. Dit kan leiden tot vrijmaken van actieve ozonvernietigende kettingverbindingen en tot afbraak van de ozonlaag in de stratosfeer.

Koelmiddelen en spuitbusgassen zoals (H)CFK's met een lange levensduur in de atmosfeer hebben dit effect.

Ad 2. VOS vormen samen met stikstofdioxiden ozon in de troposfeer onder invloed van zonlicht. Dit gebeurt vooral waar NO_x volop aanwezig is aan het aardoppervlak.

Ozon leidt tot smog en is giftig voor mens, dier en plant. Bovendien is ozon een broeikasgas.



Ad 3. Naast effecten door ozonvorming zijn VOS ook direct stinkend, verslavend of kankerverwekkend/giftig, vooral benzeen en 1,3-butadien, formaldehyde, polynucleaire aromatische koolwaterstoffen (PAK's, zie par 3.2.3), en verscheidene POP's (PCB's, PCT's, dioxines en furans, zie par 3.2.3).

Ad 4. De VOS met een langere levensduur dan 5 dagen bereiken de troposfeer boven de grenslaag (boundary layer). Als deze VOS bovendien in staat zijn zonnestraling of gereflecteerde infrarode straling te absorberen, kunnen ze bijdragen aan het broeikas effect. Deze VOS zijn broeikasgassen (bijv. chloor/fluor-ethanen/methanen). Het is ook mogelijk dat bepaalde typen VOS broeikasgassen beïnvloeden, bijv. door vorming van ozon of door verandering van de hydroxylgroepverdeling in de troposfeer en daarmee de methaanverdeling. In dat geval hebben ze indirecte GWP's (Greenhouse gas potentials).

De concentraties van de verschillende VOS in de atmosfeer hangen af van de grootte van emissies en van de afbraaksnelheid.

Alle levende organismen stoten VOS uit. VOS worden gevormd als tussenproducten gedurende verbranding, decompositie en fotosynthese.

Wereldwijd stoten natuurlijke bronnen (planten e.d.) ongeveer tienmaal zoveel VOS uit als antropogene bronnen. De natuurlijke bronnen liggen veelal in de tropen, terwijl de meeste antropogene bronnen in de gematigde zone op het noordelijk halfrond liggen. De VOS uit natuurlijke bronnen worden sneller afgebroken (levensduur in uren) dan veel VOS uit antropogene bronnen (levensduur dagen tot tientallen jaren) (Koppmann, 2007).

Tabel 6. Enkele typen VOS, bron en levensduur in de atmosfeer (bij OH conc. $6 \times 10^5 \text{ cm}^{-3}$, O_3 conc. $7 \times 10^{11} \text{ cm}^{-3}$)

VOS groep	Belangrijke VOSs	Levensduur ^{1,2}	Belangrijke bronnen ^{3,4}
Olefinen / alkenen	Isoprene	3 uren	Bosbranden, savannebranden, natuurlijke vegetatie
	Monoterpene		
	Limonene	30 minuten	
	Etheen	1,5 dagen	
	Propeen	11 uren	
Parafines / alkanen	Buteen		(rond)vee, moerassen
	Methaan	10 jaren	
	Ethaan	2,5 maanden	
Aromatische koolwaterstoffen	Propaan	2,5 weken	Brandhout, benzine, (verf) oplosmiddelen
	Benzeen	2 weken	
	Tolueen	2 dagen	
	Xyleen		
Cyclische koolwaterstoffen	1,3,5-Trimethylbenzeen	7,5 uren	Brandhout, benzine, plastics, rubbers, vernissen
	Cyclopentaan	4 dagen	
Aldehydes	Cyclohexaan		Olieraffinaderij, diesel, plastics, rubber, afvalverbranding
	Formaldehyde		
Ketonen ⁵	Aceton		
Esters ⁵	Ketonen		
	Acetaten		
Acetylene ⁵	Acrylaten		
	Acetylene		
Alcoholen ⁵	Methanol		
	Ethanol		
	Butanol		

^{1.} Koppmann (2007)

^{2.} Derwent (1995)

^{3.} Watson et al. (1991)

^{4.} Kesselmeier & Staudt (1999)

^{5.} Jensen et al (1997)

De uitstoot van VOS in Europa in 1989 was ongeveer even groot als de uitstoot van zwaveldioxide en stikstofoxiden (circa $20 \times 10^9 \text{ kg / jaar}$). Alleen in Turkije en Bulgarije was het aandeel natuurlijke VOS groter dan het aandeel antropogene VOS. In Engeland was het aandeel antropogene VOS tachtig keer zo groot als het aandeel natuurlijke VOS. Alkanen (vooral butaan) maakten het grootste deel uit, en waren vooral afkomstig uit transport, chemische processen en oplosmiddelen (Derwent, 1995).

Hobbs et al. (2004) vonden dat de VOS afkomstig uit de veehouderij in Engeland, in dezelfde orde van grootte zijn als die van de grote industrie en transportsectoren, en daarmee twee- tot driemaal zo hoog als de *verwachte* VOS-belasting van alle natuurlijke bronnen inclusief landbouw.

VOS uit de veehouderij komen voornamelijk voort uit de afbraak van proteïnen in mest, en zijn gecorreleerd met de uitstoot van ammonia. VOS uit verschillende veehouderijsectoren zijn weergegeven in tabel 7, en VOS op 100 m afstand van een varkensdrijfmestopslag in tabel 8.

Tabel 7 Uitstoot van meest voorkomende VOS in gaskamer ($\text{g m}^{-3}\text{d}^{-1}$) van verschillende typen mest (Hobbs, 2004)

VOS	Varkens	Runderen	Pluimvee
Dimethylsulphides	7	0	850
Azijnzuur	7,4	5,7	0
Butanoic acid	2,8	0,1	0
4-methyl phenol	2,2	2,8	0
NH3	22	14	984

Tabel 8 Concentraties van meest voorkomende VOS in lucht op 100 m van varkensdrijfmestopslag (Zahn et al, 1997)

VOS	(mg m ⁻³)
Propionic acid	1,1
Butanoic acid	0,9
1-Bromodecane	1,0
Benzyl alcohol	0,8
Bis(2-ethylhexyl)phthalate	1,4
Acetic acid	0,5
2-Butanol	0,5
1,1,3-Trimethyl-Dihydroindene	0,8

Persistent organic pollutants (POP)

POP's zijn een subgroep van VOS en semi-vluchtige organische stoffen, die geadsorbeerd worden aan stofdeeltjes in de atmosfeer. Weinig POP's zijn van natuurlijke oorsprong. POP's zijn substanties die moeilijk afbreekbaar zijn door chemische, biologische en fotolytische processen. Ze zijn a) giftig, b) moeilijk afbreekbaar, c) wijd verspreid door verdamping onder warmere omstandigheden, transport en neerslaan onder koudere omstandigheden en d) opgeslagen in vetweefsel.

De twaalf schadelijkste POP's zijn:

1. aldrin (insecticide tegen termieten, sprinkhanen)
2. chlordane (breed spectrum insecticide)
3. DDT (insecticide tegen malariamuggen e.a. ziektevectoren),
4. dieldrin is een afbraakproduct van aldrin (insecticide tegen termieten, textiel- en bodemplagen)
5. endrin (insecticide voor behandeling op blad van katoen en granen, of tegen knaagdieren)
6. heptachlor (insecticide tegen termieten),
7. hexachloorbenzeen (HCB) (fungicide, en toevoeging aan productie van plastic en rubber, komt ook vrij als bijproduct van andere chemicaliën)
8. mirex (insecticide tegen mieren en termieten)
9. polychlorinated biphenyls (PCBs) (industriële warmte uitwisselende vloeistof, ook toegevoegd aan verf)
10. toxaphene (= camphechlor, insecticide gebruikt op katoen, granen, fruit, noten en groente of tegen teken en mijten op dieren)
11. polychlorinated dioxines (PCDD, onbedoelde chemische bijproducten)
12. polychlorinated furans (PCDF, onbedoelde chemische bijproducten)

Daarnaast zijn er nog vele andere POP's die hoogstwaarschijnlijk even schadelijk zijn, o.a.:

13. DDE en DDD (afbraakproducten van DDT)
14. Hexachlorohexaan isomeren (HCH), waaronder de pesticiden lindane, pentachlorophenol, endosulfan, antrazine (insecticiden tegen kevers/torren, bodemplagen, onderdeel van (dier)geneesmiddelen, en toevoeging bij productie van plastic)
15. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH's)
16. Polybrominated diphenyl ethers (PBDE's) (brandvertragsmiddelen)
17. Phtalaten (in plastics, vooral in PVC)
18. Polychlorinated terphenyls (PCT)

(chm.pops.int/Convention; Manz et al, 2001; Fu et al, 2003)

POP-input in veehouderijsystemen lijkt beperkt tot diergeneesmiddelen. In de veehouderij is echter het diergeneesmiddelengebruik hoog. De hoeveelheid diergeneesmiddelen per dier vermenigvuldigd met de hoeveelheid POP in een geneesmiddel kan iets zeggen over de POP-belasting door het betreffende veehouderijsysteem.

Polyaromatische koolwaterstoffen

Polyaromatische koolwaterstoffen (PAK's) zijn een subgroep van VOS. PAK's zijn veelal kankerverwekkend. Naast uitstoot van PAK's door vulkanen en bosbranden hebben ze voornamelijk een antropogene oorsprong. PAK's zijn afkomstig van onvolledige verbranding van koolstofhoudende brandstoffen: het verbranden van hout en van fossiele brandstoffen in motoren (Ravindra et al. 2008). Over andere landbouwgerelateerde oorzaken van PAK-vervuiling is weinig bekend; Ravindra et al. (2008) noemen alleen het afbranden van velden en het verbranden van afval.

PAK's komen wel voor in landbouwgronden, bijv. door toediening van PAK-houdend rioolslib (Schnaak et al. 1997), accumulatie door afspoeling (Martens et al 1997), of directe vervuilingen door olie of kolenindustrie (Plachá et al, 2009; Oviasogie et al. 2006). Een deel van de PAK's zijn gassen, een deel stof (zie tabel 9)

Tabel 9 Faseverdeling van de belangrijkste PAK's

PAK	Deeltjes / gas fase distributie
Acenaphtene	Gas
Acenaphthylene	Gas
Anthracene	Gas / Deeltjes
Phenanthrene	Gas / Deeltjes
Pyrene	Gas / Deeltjes
Benz(a)abthracene	Deeltjes
Chrysene	Deeltjes
Benzo(b)fluoranthene	Deeltjes
Benzo(j)fluoranthene	Deeltjes
Benzo(k)fluoranthene	Deeltjes
Benzo(a)pyrene	Deeltjes
Benzo(e)pyrene	Deeltjes
Fluoranthene	Gas / Deeltjes
Fluorine	Gas
Dibenz(a,h)anthracene	Deeltjes
Benzo(ghi)perylene	Deeltjes
Indenol(1,2,3-c,d)pyrene	Deeltjes

(Ravindra et al, 2008)

3.2.4 Broeikasgassen

Broeikasgassen in de stratosfeer veroorzaken dat gereflecteerde infrarode straling vanaf het aardoppervlak wordt geabsorbeerd in plaats van doorgelaten.

Behalve de chloor/fluor - ethaan/methaanverbindingen, die voornamelijk van chemische afkomst zijn, zijn de bekendste broeikasgassen met o.a. bronnen uit de landbouw: kooldioxide (CO₂), methaan (CH₄), lachgas (N₂O) en in mindere mate stikstofoxiden (NO_x).

CO₂ is het eindproduct van verbranding en ademhaling. Een groot deel van de CO₂-productie is afkomstig van verbranding van (fossiele) brandstoffen.

CH₄ is het eindproduct van anaerobe gisting. Wereldwijd zijn belangrijke bronnen van CH₄ moerassen en herkauwers (vooral rundvee).

N₂O is een bijproduct van nitrificatie en vooral denitrificatie in aerobe bodems (Bosker en Kool, 2004).

NO_x komt voornamelijk vrij bij verbranding van fossiele en biologische brandstoffen. In Nederland komt circa 65% van de NO_x uitstoot uit het verkeer (www.knmi.nl/~eskes/folkert/meteorologica_05.html).

Minder dan 5% komt uit de landbouw (Kroon, 2003).

De potentiaal van verschillende broeikasgassen om de aarde op te warmen wordt uitgedrukt in CO₂-equivalenten, die o.a. samenhangen met de levensduur van die gassen (tabel 10)

Tabel 10 Broeikasgaspotentialen / global warming potentials (GWP) en levensduur (Jensen et al, 1997)

Broeikasgas	Over 20 jaar	Over 100 jaar	Levensduur (jaar)
CO ₂	1	1	150
CH ₄	62	25	10
N ₂ O	290	320	120
(H)(C)FCs	300-9000	100-12000	1.5-1700

In Nederland komt ongeveer 10% van de broeikasgassen uit de landbouw. Van de Nederlandse methaanuitstoot komt 42% uit de landbouw, van de Nederlandse lachgasuitstoot 48%.

Slechts 4% van de Nederlandse CO₂-uitstoot is afkomstig uit de landbouw (Bosker en Kool, 2004).

Tabel 11 Methaanuitstoot door pensfermentatie en mestopslag per dier per jaar (Hoek, 2002)

Dier	Pensfermentatie (kg CH ₄ /dier/jaar)	Mestopslag x mestproductie (kg CH ₄ /dier/jaar)
Melkkoe	102	0,698 x 15,2 = 10,6
Rundvee < 1 jaar	49	0,698 x 3,5 = 2,44
Schaap	8	2,979 x 0,325 = 0,97
Vleesvarken (25-110 kg)	1,5	3,009 x 1,28 ¹ = 3,85
Pluimvee	0	4,11 x 0,01 ¹ = 0,041

¹ Brochure Mestbeleid 2008-2009

Tabel 12 Geschatte N₂O-emissies (Gg N₂O per jaar) uit de landbouw in NL (Oenema et al, 2001)

Lachgasbron	Minerale gronden	Veengronden
Bodem achtergrond	1,3	2,3
Kunstmest	5,5	1,8
Dierlijke mest	2,2	0,7
Stallen en mestopslag	0,3	0,3
Beweiding	4,7	1,8
Biologische N-binding		0,2
Gewasresten		0,9
Indirect na NH ₃ -emissie en neerslag		1,4
Indirect na N-uitspoeling		4,2

4 Verbruik van schaarse hulpbronnen

De groep van schaarse hulpbronnen kan onderverdeeld worden in abiotische hulpbronnen en biotische hulpbronnen. Categorieën schaarse hulpbronnen zijn (Stewart & Weidema, 2005):

- metaalmineralen
- niet-metaalmineralen
- energiedragers
- zoet water
- vruchtbaar land
- wilde en tamme organismen

De eerste vijf categorieën vallen onder de abiotische hulpbronnen, de laatste onder de biotische hulpbronnen. Abiotische hulpbronnen die schaars zijn en in de landbouw verbruikt worden zijn vooral zoet water, landareaal, fosfaat en fossiele brandstoffen. Wat betreft behoud van biotische hulpbronnen is moderne landbouw/veeteelt schadelijk; biodiversiteit in planten- en dierengemeenschappen zijn sterk gereduceerd (met monoculturen als eindpunt) ten opzichte van natuurlijke ecosystemen. Zolang een landbouw of veehouderijsysteem gebaseerd is op dergelijke specialisaties, is een maximale biodiversiteit in onderdelen van dat systeem (bijv. bodem) nauwelijks te verwachten.

Schaarse hulpbronnen kunnen worden *gebruikt of verbruikt/geconsumeerd*. Hulpbronnen worden niet uitgeput door ze te gebruiken, maar door uitputting van hun functionaliteit door bepaalde types gebruik, (die we hier voor het onderscheid verbruik/consumptie noemen) zodat hun functie niet recyclebaar is.

4.1 Zoetwaterverbruik

Wereldwijd wordt gemiddeld 3400 liter zoetwater per persoon per dag gebruikt (Milá i Canals et al, 2009). Landbouw gebruikt wereldwijd 70% van de zoetwaterreserves, industrie 20% en huishoudens 10%. Zoetwatergebruik heeft tot nu toe weinig aandacht in LCA-studies, omdat de LCA-methodologie ontwikkeld is in geïndustrialiseerde landen die niet lijden aan schaarste van zoetwater (Koehler, 2008). Nederland, als delta van verschillende zoetwaterrijven is al helemaal geen land waar zorgen om zoetwater boven aan het lijstje staan. Desondanks is zoetwater in Nederland een hulpbron, die tijdelijk en/of plaatselijk schaars kan zijn, vooral in de kustprovincies met zout of brak water in de ondergrond en een zoetwaterlens van beperkte dikte daarbovenop (Stuyfzand, 2007). Verzilting treedt op en zal versterkt worden door de verwachte klimaatveranderingen, met een hoger verdampingsoverschot, een stijgende zeespiegel, en een lagere zoetwateraanvoer door de rivieren in de zomer en herfst (Jacobs, 2007). Het nu gebruikelijke doorspoelen van brakke waterlopen in de kustgebieden met zoet rivierwater komt onder druk te staan (Velstra & de Vries, 2008).

Volgens de standaard classificatie van abiotische hulpbronnen voor LCA's kunnen drie types waterbronnen worden onderscheiden, met verschillen in aanvullingsmogelijkheden:

- Fossiele grondwaterreserves die nauwelijks aanvulbaar zijn op menselijke tijdschaal, dus uitputbaar.
- Dynamische verswaterreserves, zoals oppervlakkig grondwater en meren, met tijdelijk teruglopende reserves, maar ook regelmatige aanvulling.
- Verswaterlopen, die in principe onuitputtelijk zijn, zolang de onttrekking kleiner blijft dan de aanvoer. Deze bronnen behoren tot de categorie 'blauw water'. 'Groen water' is de neerslag die alleen door planten gebruikt kan worden op de plaats waar de neerslag valt.

Het is nodig onderscheid te maken tussen zoetwatergebruik en zoetwaterconsumptie.

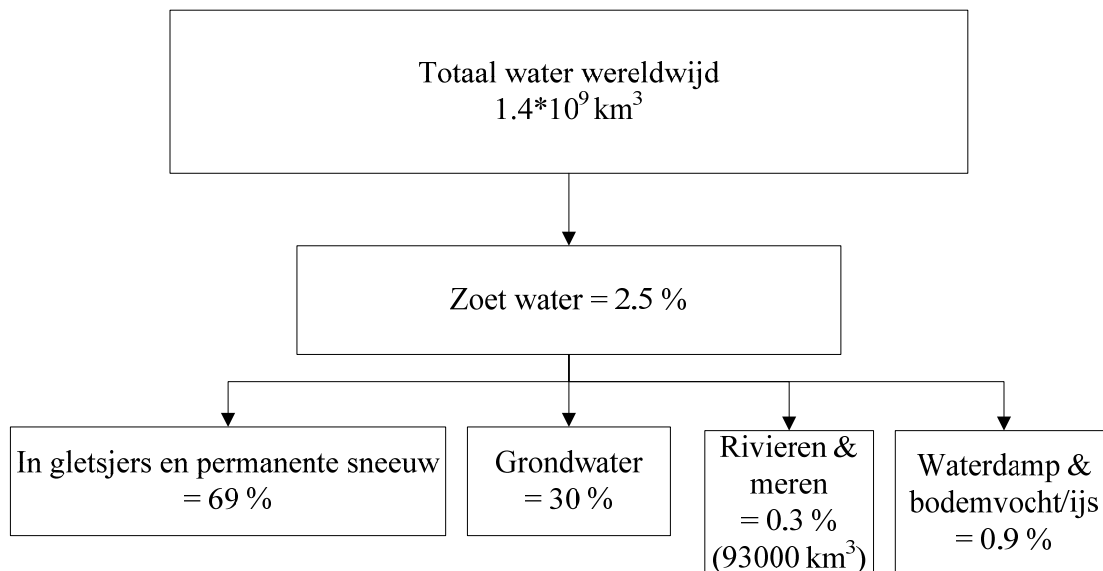
Zoetwatergebruik refereert naar de hoeveelheid water die gebruikt en teruggeloopt wordt op de waterbron.

Zoetwaterconsumptie refereert naar de hoeveelheid water die de oorspronkelijke waterbron permanent verlaat door verdamping of omzet in producten.

De vervuiling van 'gebruikt water' wordt al gedekt in andere milieu-effecten voor LCA. Een deel van het 'gebruikte' water kan verdampen, en wordt dan dus 'geconsumeerd' (Koehler, 2008; Milá i Canals et al, 2009).

In figuur 1 zijn de hoeveelheden in de verschillende watervoorraden aangegeven. Door de waterkringloop van verdamping-transport-neerslag-(transport)-verdamping valt er wereldwijd jaarlijks 113.000 km³ water als regen of sneeuw op het land. Daarvan verdampt 72.000 km³ en wordt 41.000 km³ getransporteerd door waterlopen. Van die 41.000 km³ zoetwater stroomt 2900 km³ door Europa. De waterbeschikbaarheid per persoon is over de laatste 50 jaar bijna gehalveerd (van 129000 m³/jaar naar 7600 m³/jaar) door de hoge bevolkingsgroei. Waterconsumptie is toegenomen in nog sterkere mate, door bevolkingsgroei en door toename van consumptie per persoon.

Figuur 1 Globale hoeveelheden/percentages (zoet)water (www.nidi.knaw.nl)



Waterverbruik voor een aantal producten is weergegeven in tabel 13. In Nederland wordt per jaar circa 750 miljoen m³ zoetwater gebruikt voor directe consumenten (= 128 liter per dag per persoon). De Nederlandse land- en tuinbouw gebruikt ongeveer 250 miljoen m³ zoetwater per jaar, de industrie circa 2500 miljoen m³ (waarvan 83% als koelwater) en elektriciteitscentrales circa 6200 m³ (waarvan 99,5% als koelwater) (www.lenntech.nl).

Van de 6300 liter per dag die een Nederlandse burger per dag 'consumeert', wordt 89% onttrokken in het buitenland voor de productie van importproducten. Dat 'geïmporteerde watergebruik' is tweemaal zoveel als van de gemiddelde wereldburger, omdat Nederland relatief veel importeert.

Tabel 13 Zoetwaterconsumptie en -gebruik per mens of een aantal producten (www.milieuloket.nl, www.nidi.knaw.nl, WNF/Univ Twente)

Product	Water consumptie/gebruik (L)
1 dag menselijke consumptie ¹ wereldwijd	3400-4800
1 dag zoet water consumptie ¹ 1 Nederlander	6300
1 dag leidingwater consumptie 1 Nederlander	128
1 boterham	40
1 kop koffie	140
1 kilo rijst	3400
1 kilo kaas	5000
1 kilo rundvlees	15500
1 kilo tulpenbollen	260-3600 ²
1 katoenen T-shirt	2700
1 auto	6000

¹ Dit is inclusief het water dat voor productie van voedsel en andere consumptieartikelen nodig is (wereldwijd: wereldwijd zoetwatergebruik gedeeld door wereldbevolking)

² hoger verbruik als doorspoeling van brak- of zoutwater nodig is.

4.2 Landgebruik

Landgebruik voor landbouw (akkerbouw en permanent grasland) is over de laatste 50 jaar toegenomen met circa 10% wereldwijd (Klöverpris et al, 2008).

Er is nog geen standaard methode om landgebruik uit te drukken in milieu-effecten voor LCA. Milá i Canals et al. (2007) en Koellner & Scholz (2007) doen een poging. Zij maken onderscheid tussen 1) landtransformatie effecten (transformation impacts) en 2) effecten van een specifiek blijvend landgebruik (occupation impacts).

Landtransformatie-effecten zijn afhankelijk van nieuw en oorspronkelijk landgebruik, en worden gemeten door een combinatie van a) tijdsduur nodig voor de ontwikkeling van het nieuwe landgebruik en b) tijdsduur voor herstel van het oorspronkelijke landgebruik (bijv. oerwoud).

De effecten van een specifiek blijvend landgebruik zijn volgens Milá i Canals et al. 2007

a) biodiversiteit, b) productie potentieel en c) ecologische bodem kwaliteit.

Deze effecten zijn –voor zover gekozen- al onderdeel van LCA's van landbouw/veehouderijsystemen. Nogmaals toevoegen als subonderdeel van landgebruik voor landbouw / veehouderijsystemen is dubbelop. Voor andere landgebruiken (industrie, stedenbouw) kan het wel iets toevoegen.

Voor de veehouderij zijn de landtransformatie-effecten mogelijk wél relevant. Als eiwitbron in veevoerders wordt veel soja gebruikt of oliepalmschilfers. In Brazilië kapt men veel oerwoud voor de productie van soja, in Zuidoost Azië en Zuid Amerika voor oliepalm.

Areaal gebruik op zichzelf kan óók zinvol zijn om toe te voegen in een klein vol land als Nederland, en bij een groeiende wereldbevolking.

4.3 Fosfaatverbruik

Fosfaat is een onvervangbaar nutriënt voor levende organismen. In veel natuurlijke ecosystemen wordt groei en populatie beperkt door fosfaat. De voedselproductie voor de huidige wereldbevolking leunt zwaar op fosfaatkunstmest. De fosfaatvoorraden zijn al zover uitgeput, dat inmiddels wordt overgegaan op het mijnen van lagere kwaliteiten en moeilijker extraheerbaar rotsfosfaat, waardoor de prijzen zullen stijgen (Déry & Anderson, 2007).

Slechts vijf landen produceren 83% van de wereldhandel in fosfaat: China, Marokko, West Sahara, de Verenigde Staten en Zuid Afrika. De huidige fosfaatreserves bevatten nog 3,6 miljard ton rotsfosfaat (25% P₂O₅) en ruwe fosfaat (32% P₂O₅). De huidige jaarlijkse productie gebruikt hiervan 43 miljoen ton per jaar (Brentrup et al, 2002). Bij het huidige verbruik verwacht men uitputting van de economisch te mijnen fosfaatvoorraden in 50-130 jaar (Herring & Fantel, 1993; Cisse & Mrabet, 2004).

Van alle gemijnde fosfaat wordt 95% gebruikt in de landbouw: 80% voor kunstmest en nog eens 15% in pesticiden (organofosfaat insecticides en glyphosaat herbicide) en diervoeders (bijv. monocalcium fosfaat) (Cisse & Mrabet, 2004).

In vergelijking met fossiele brandstoffen heeft fosfaat het nadeel dat het niet vervangen kan worden door iets anders. Fosfaat heeft echter het voordeel dat het hergebruikt kan worden. Hergebruik van fosfaat kan moeilijk zijn als ophoping van geconsumeerd fosfaat in grote hoeveelheden en/of op grote afstand van de plaats van hergebruik plaatsvindt, bijv. in miljoenensteden of bij de industrie van alcohol. De Nederlandse intensieve veehouderij is een vergelijkbare 'sink' voor fosfaat: Er wordt meer aangevoerd dan er (nationaal) hergebruikt kan worden.

Smit et al (2010) hebben alle fosfaatstromen naar, binnen en vanuit Nederland geïventariseerd. Van de jaarlijkse landbouw- en voedselgerelateerde hoeveelheid P-import van circa 110 miljoen kg wordt slechts een derde weer geëxporteerd. Meer dan de helft van de totale P-import is grondstof voor diervoeders (47% plantaardig fosfaat, 7% anorganisch fosfaat). Slechts 20% van de P-import is kunstmest. De overige 26% P wordt geïmporteerd als voedsel.

Van de hoeveelheid P die in Nederland blijft (ongeveer 2/3 x 110 miljoen kg) wordt iets meer dan de helft opgehoopt in bodem en oppervlaktewater. De andere kleine helft gaat verloren via riool, rioolslibverbranding, landfill e.d.

4.4 Verbruik van fossiele brandstoffen

Fossiele brandstoffen zijn gevormd uit fossielprehistorisch plantmateriaal. De drie hoofdtypen fossiele brandstoffen zijn steenkool, aardgas en olie. Ruwweg wordt steenkool voornamelijk gebruikt voor productie van elektriciteit, aardgas voor warmte en olie voor transport. Fossiele brandstoffen dekken 95% van de wereldwijde energievraag: steenkool 28%, olie 40% en gas 20%. Tot nu toe kunnen hernieuwbare energiebronnen maar een fractie van de energie leveren die door fossiele brandstoffen geleverd wordt.

Naar aanleiding van de olie- en gasvoorraden wordt verwacht dat olie- en gaswinning tussen nu en enkele tientallen jaren afneemt. Steenkoolwinning kan nog 2-3 eeuwen doorgaan op het huidige niveau (Noonan, www.annesley.sa.edu.au).

De snelheid waarmee de beschikbaarheid van fossiele energie per persoon afneemt hangt af van 1) het vinden van nieuwe bronnen, 2) het vinden van nieuwe technologieën waarmee minder beschikbare fossiele energie toch te winnen is, 3) de groei van de wereldbevolking, 4) het gebruik van energie per persoon.

Wereldwijd wordt slechts 2,5% van alle energieverbruik besteed aan landbouwproductie (Mears, 2007). In moderne landbouw is de grootste consument van fossiele energie (aardgas) de ammoniaproductie voor kunstmest (circa 50% van fossiele energiegebruik voor landbouw). Machines en pesticideproductie gebruiken het grootste deel van de andere 50% fossiele energie, vooral in de vorm van olie.

Voedselbewerking, verpakking, transport en bereiding kunnen hoeveelheden fossiele energie vragen die het fossiele energiegebruik voor pure landbouwproductie ver overtreffen. In de VS kost landbouwproductie slechts circa 15-20% van de energie die gebruikt wordt in de hele voedselproductie-consumptie keten (www.urgenttempapers.com/fuelconsumption.html).

Veehouderijsystemen gebruiken fossiele energie voor 1) de productie van voergrondstoffen (landbewerking, kunstmest, pesticiden, oogsten, drogen e.d.), 2) transport van voergrondstoffen, 3) opslag en verwerking van grondstoffen tot mengvoer / brokken en 4) transport naar individuele bedrijven. Op de bedrijven wordt fossiele energie gebruikt voor 1) distributie van voer naar dier, 2) klimaat beheersing en 3) mestverzameling, bewerking en uitrijden of transport. Transport naar slachthuizen en slachthuizen zelf gebruiken fossiele brandstoffen, evenals mogelijke verwerking van afval of bijproducten. Bij de uiteindelijke distributie naar consument en de voedselbereiding worden ook fossiele brandstoffen gebruikt (Sainz, 2003).

Tabel 14 Energieverbruik per kg product of per hoeveelheid energie in het product (energie-conversiefactor), inclusief diervoederproductie (40-78% van totaal), veehouderij, voedselverwerking, transport, opslag en bereiding (Sainz, 2003), en voor primaire productie van maïs (wel/niet gemechaniseerd), zonder verwerking, transport e.d. (Mears, 2007)

	Energie gebruik per kg product (MJ / kg)	Energie uit fossiele brandstof per energie in product (J / J)
Kippenvlees	35,7	2,42
Eieren	30,3	4,29
Varkensvlees	45,5	3,13
Melk	15,9	4,90
Rundvlees	52,6	3,52
Lamsvlees	62,5	4,20
Maïs (gemechaniseerde landbouw)		0,19
		Menselijke energie gebruikt per energie in product
Maïs (zelfvoorziening Mexico)		0,09 – 0,23

4.5 Biodiversiteit

De huidige landbouw in geïndustrialiseerde landen is sterk gemechaniseerd. Deze mechanisatie en de toenemende vraag naar voedsel door de groeiende bevolking en de economische competitie, heeft geleid tot landbouwsystemen gebaseerd op monoculturen.

Zolang een landbouw- of veehouderijsysteem gebaseerd is op monoculturen, is een maximale biodiversiteit in onderdelen van dat systeem (bijv. de bodem) nauwelijks te verwachten.

In hoeverre kunnen landbouwsystemen meer divers worden, zonder verlies aan voedselproductie of economische haalbaarheid, en leidt dit dan tot werkelijke 'biodiversiteit'? Of moeten we de 'biodiversiteit' bewaren voor natuurgebieden: ruimtelijke verdeling van onverenigbare doelen?

5 Ergernis

De meest voorkomende ergernissen zijn stank en lawaai. Ook een overmaat aan licht kan hinderlijk zijn. Ergernissen kunnen we zien als een verstoring/vervuiling van waarneming door mens en dier.

5.1 Stank

Geuremissies vormen een onplezierig bijeffect van mestopslag en -toediening. Geuremissies uit mest bestaan voornamelijk uit vluchtige fenolen (*p*-cresol) > vetzuren > ammonia en H₂S. De grootte van geuremissie, en daarmee de overlast, is afhankelijk van opslagduur, mestsamenvatting, contactoppervlak met lucht en tijdsduur daarvan, luchtbeweging, temperatuur, relatieve luchtvochtigheid, aeratie en beweging van mest in opslag (door roeren/bijvullen/afappen) (Spoelstra, 1978; Edeogu et al, 2001; Zhao et al, 2007; Powers et al, 2009). Bij mestopslag in kelders en opslagen overheerst anaerobe afbraak van koolhydraten en eiwitten. Daardoor overheerst zure gisting de methaangisting, wat leidt tot vorming van vluchtige vetzuren en fenolen (die een groot deel van stank veroorzaken) in plaats van methaan (Spoelstra, 1978).

Bij mestvergisting wordt methaanvergisting bevorderd, en zijn vluchtige vetzuren een hoofdzakelijke C-bron voor methanogene micro-organismen (Brock & Madigan, 1988), zodat a) minder zure gistingsproducten (fenolen, vluchtige vetzuren) ontstaan, en b) deze producten weer worden afgebroken. Hansen et al (2006) maten een afname in vluchtige vetzuren van 79-97% in vergiste mest ten opzichte van onvergiste mest. Pain et al (1990) maten een geurreductie van 60-70% na toediening van vergiste mest ten opzichte van onvergiste drijfmest.

Geuremissies uit opslag kunnen verminderd worden door (semi)doorlatende of ondoorlatende afdekkingen, waarbij de (semi)doorlatende afdekkingen (natuurlijke mest korst, stro, opgeblazen klei ballen en geotextiel) leiden tot een reductie van 10–90%, en de ondoorlatende afdekkingen (beton, plastics, al of niet opgeblazen) tot een reductie van circa 80-95 % (Bicudo et al, 2004; Zhao et al, 2008).

Geuremissies bij toediening kunnen verminderd worden door mestverspreiding dicht aan het oppervlak, onder het gewas (bijv. gras) of injecteren in de bodem. Direct onderwerken van mest leidt tot reducties in geuremissies van 20-90%. Injectie van mest leidt tot geuremissie reducties van circa 90% (Zhao et al, 2007).

5.2 Lawaai

Geluidshinder en gehoorschade zijn afhankelijk van twee factoren: 1) het geluidsniveau en 2) de duur van de blootstelling, waarbij de verdraagbare maximum blootstellingduur (waarna gehoorschade optreedt) per dag sterk afneemt naarmate het geluidsniveau hoger is: niet meer dan 8 uur voor 85 dB, maximaal 2 uur voor 90 dB, maximaal 15 minuten voor 100 dB en niet meer dan 7 seconden voor 120 dB (=pijndrempel). Geluid veroorzaakt last vanaf circa 75 dB, veroorzaakt gehoorschade vanaf circa 85 dB, maar is pas direct pijnlijk vanaf 120 dB (www.agripress.be).

Andere schadelijke effecten van lawaai dan gehoorschade zijn:

- slecht slapen met bijkomende effecten
- schadelijke effecten op bloeddruk en hart
- katalysator voor agressie, angst en depressieve gevoelens
- verstoring concentratie en communicatie

Geluidsoverlast wordt in Nederland voornamelijk veroorzaakt door (spoor)wegverkeer, luchtvaart (www.rivm.nl), burelen en in mindere mate door industrie en recreatie.

De meeste veehouderijsectoren zijn geen grote producenten van geluidsoverlast, maar plaatselijk en/of over korte periodes kunnen ventilatoren, vrachtverkeer naar en van het bedrijf of dieren voor lawaai zorgen.

Voor continu geluid, zoals van ventilatoren, geldt een geluidsnorm van 40, 35 en 30 dB voor respectievelijk de dag-, avond- en nachtperiode. Voor incidentele geluiden (bijv. rijden van zware voertuigen) geldt een piekwaarde van 50, 45, 40 dB voor resp. de dag-, avond- en nachtperiode. Daggrenswaarden voor onvermijdelijk lawaai voor de bedrijfsvoering zijn verruimd tot 70 dB.

Tabel 15 Geluidsschaal en daarbij horende geluiden (www.agripres.be)

Geluidsniveau (dB)	Geluiden
0	hoorbaarheidsdrempel
40	koelkast
60	normale conversatie
80	auto
>85	geluid veroorzaakt gehoorschade
90	grasmaaier
105	concert, discotheek
>120	geluid veroorzaakt directe pijn
130	autorace

6 Kiezen van relevante LCA variabelen / milieu effecten

De voorgaande verzameling variabelen is waarschijnlijk niet compleet, beperkt door wat op dit moment bekend is als algemeen en bij de auteur van dit stuk.

Desondanks is het al een verzameling variabelen die te groot is om in z'n geheel te behandelen in iedere landbouwkundige LCA. De informatie die hier gegeven is geeft echter wel handvaten waarmee een gefundeerde keuze van de meest relevante LCA variabelen / milieu-effecten gemaakt kan worden. Dit kan aan de hand van de volgende criteria/vragen:

- Is landbouw of een landbouwsector een belangrijke oorzaak van het betreffende milieu-effect?
- Is een milieu-effect vermijdbaar of significant verminderbaar in de landbouw of de betreffende landbouwsector?
- Is het milieu-effect van een aard dat het geminimaliseerd moet worden (bijv. emissies die ophopen zonder afbraak), ook als landbouw of een bepaalde landbouwsector een minder belangrijke oorzaak is?

In tabel 16 wordt een schatting gemaakt van de mate waarin de landbouw/veehouderij een bron is van de betreffende milieu-effecten ten opzichte van andere bronnen, de mate waarin landbouwoorzaken door praktische maatregelen te verminderen zijn en de mate waarin het milieu-effect onherstelbaar is (bij ++ nauwelijks of niet herstelbaar over lange tijd). De laatste kolom bevat een schatting van de aanwezigheid van kwantitatieve data. Daardoor kunnen de variabelen niet in LCA-studies gebruikt worden (kwantitatief), omdat eerst metingen nodig zijn om kwantitatieve gegevens te genereren, ofwel de grootte van de effecten te leren kennen.

Tabel 16 Schatting van belang van milieu-effecten van de landbouw naar aanleiding van drie criteria/vragen, en beschikbaarheid van kwantitatieve gegevens uit de landbouw

	Landbouw belangrijke oorzaak?	Landbouw oorzaak significant te verminderen?	Milieu effect onherstelbaar?	Kwantitatieve data landbouw beschikbaar?
Emissies naar bodem en water				
Verzuring (bodem/water)	+	+	±	+
Eutrofiëring (water via bodem)	++	++	±	+
Zware metalen (bodem)	+	+	++	+
Diergeneesmiddelen (bodem/water)	++	++	?	?
BOD/COD (water)	±	++	±	-
Afval warmte (water)	-	-	±	-
Emissies naar lucht en atmosfeer				
Fijnstof	+	+	±	±
Eutrofiëring (lucht)	++	++	±	+
Koolmonoxide (CO)	-	-	-	±
VOS (POP's & PAK's)	±	+	++	-
Broeikasgassen	+	+	± - + ¹	+
Schaarse hulpbronnen				
Zoetwater	++	±	+	+
Landgebruik	++	±	± - ++ ²	±
Fosfaatgebruik	++	± ³	++	+
Ergernis				
Stank	+	+	-	±
Lawaai	-	±	-	-

¹ Afhankelijk van of de aarde onherstelbaar opwarmt (met alle effecten van dien) of niet.

² Dat landbouw landareaal gebruikt is onvermijdelijk. Dat grote arealen oerwoud gekapt worden ten bate van landbouw is een onherstelbaar verlies.

³ Fosfaatgebruik voor plantengroei blijft noodzakelijk op een bepaald niveau, maar P-verliezen kunnen wel verminderd worden door minder overbemesting en betere kringlopen.

Voor LCA-studies van een specifieke landbouw of veehouderijsector kan dezelfde matrix uit tabel 16 gebruikt worden om een eerste inschatting te maken van wat belangrijke variabelen zijn om mee te nemen. Ook kan de matrix een handvat bieden bij het bepalen van lacunes in kwantitatieve kennis van belangrijke milieu-effecten van de specifieke sectoren. Uitbreiding met milieu-effecten die nu nog niet bekend zijn (aan de auteur) is eveneens mogelijk.

Wat betreft de aan deze studie gerelateerde schatting van milieu-effecten van de kleine veehouderij sectoren eenden, kalkoenen, vleeskalveren en konijnen kunnen we het volgende opmerken.

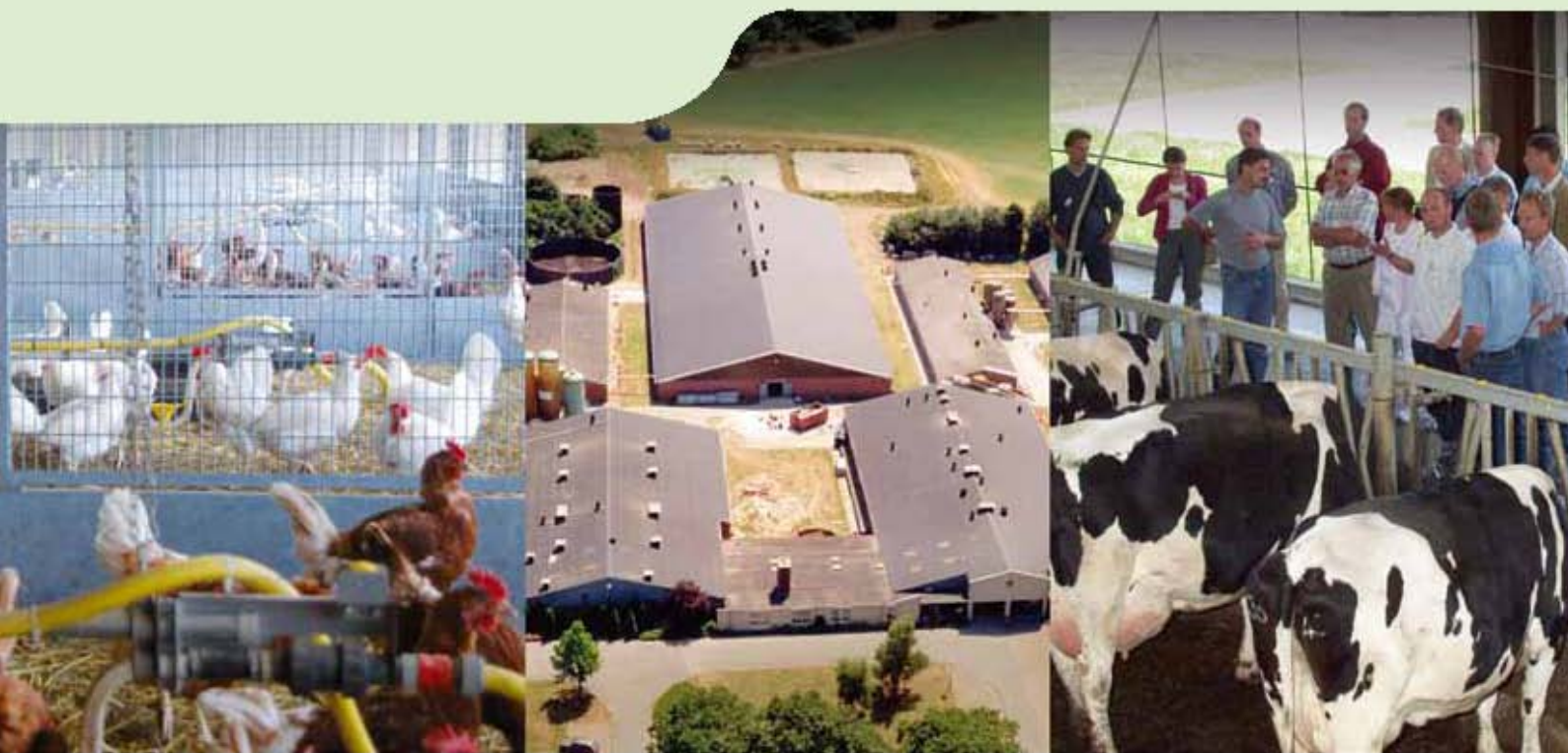
- De behandelde milieu-effecten in die studie waren: 1) verzuring, 2) eutrofiëring, 3) broeikasgassen, 4) (fossiele) energieverbruik, 5) zoetwaterverbruik en 6) fijnstofemissies.
- Naar aanleiding van de schatting van belang van milieu-effecten in tabel 16 zou een uitbreiding (of vervanging) te wensen zijn met de belangrijke milieu-effecten a) fosfaatverbruik, b) landgebruik (vooral de landtransformatie effecten voor voerbouw, zie par. 4.2), c) effecten van diergeneesmiddelen (behalve bij eenden, waar weinig diergeneesmiddelen gebruikt worden), d) zware metalen, e) POP's en PAK's en misschien f) stank.
- Van de belangrijke milieu-effecten b) landgebruik (vooral landtransformatie), c) effecten van diergeneesmiddelen, e) POP's en PAK's en f) stank zijn nog te weinig kwantitatieve gegevens beschikbaar, en zijn dus eerst meer metingen en kwantificerend onderzoek nodig.

Literatuur

- Basset-Mens C, Van der Werf HMG, 2005. Scenario-based environmental assessment of farming systems: the case of pig production in France. *Agric Ecosys Environ* 105: 127-144.
- Bosker T, Kool A, 2004. Emissies bij aanwending van vergiste mest: Een verkenning van internationale literatuur. CLM, Culemborg, 39p.
- Boxall ABA, 2008. Fate of veterinary medicines applied to soils. p. 103-119 In: *Pharmaceuticals in the Environment*. Springer, Berlin / Heidelberg.
- Boxall ABA, Kolpin DW, Halling-Sørensen B, 2003. Are veterinary medicines causing environmental risks? *Environmental Science and Technology* 37(15): 286-294.
- Bicudo JR, Schmidt DR, Jacobson LD, 2004. Using covers to minimize odor gas emissions from manure storages (AEN-84). University of Kentucky, 5 p.
- Brock TD & Madigan MT, 1988. Methane producing bacteria. In: *Biology of Microorganisms*, 773-788. London: Prentice-Hall International (UK) Limited.
- Buringh E & Opperhuizen A, 2002. On health risks of ambient PM in the Netherlands (report 650010032). National Institute for Public Health and the Environment (RIVM).
- Chardon WJ & van der Hoek KW, 2002. Berekeningsmethode voor de emissie van fijn stof vanuit de landbouw (Calculation method for emission of fine dust from agriculture; in Dutch). Alterra, Wageningen University and Research Centre, report 682 / National Institute for Public Health and the Environment (RIVM), report 773004014. 35 pp.
- Cederberg C, Mattsson B, 2000. Life cycle assessment of milk production – a comparison of conventional and organic farming.
- Cisse L, Mrabet T, 2004. World phosphate production: Overview and Propects. *Phosphate Research Bulletin* 15: 21-25
- De Haas G, Wetterich F, Köpke U, 2001. Comparing intensive, extensified and organic grassland farming in southern Germany by process life cycle assessment. *Agric Ecosys Environ* 83: 43-53.
- De Vries J, Radersma S, Winkel A, de Buissonje F, in druk. Verkenning milieu emissies en verbruik van schaarse hulpbronnen van de sectoren: Konijnen, Vleeskalveren, Eenden en Kalkoenen. Wageningen UR Livestock Research, Lelystad.
- Derwent RG, 1995. Sources distributions and fates of VOCs in the atmosphere. p. 1-15 in: Hester RE, Harrison RM (eds). *Volatile Organic Compounds (Issues in Environmental Science and Technology)*, Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK.
- Déry P, Anderson B, 2007. Peak phosphorus. *Energy Bulletin*. (www.energybulletin.net/node/33164)
- Edeogu I, Feddes J, Coleman R, Leonard J, 2001. Odour emission rates from manure treatment/storage systems. *Water Science and Technology* 44, 269-275.
- Fu J, Mai B, Sheng G, Zhang G, Wang X, Peng P, Xiao X, Ran R, Cheng F, Peng X, Wang Z, Tang UW, 2003. Persistent organic pollutants in environment of the Pearl River Delta, China: an overview. *Chemosphere* 52: 1411-1422.
- Hansen MN, Kai P, Møller HB, 2006. Effects of anaerobic digestion and separation of pig slurry on odor emission. *Applied Engineering in Agriculture* 22(1), 135-139.
- Herring JR, Fantel RJ, 1993. Phosphate rock demand into the next century: Impact on World food supply. *Nonrenewable Resources* 2(3): 226-246.
- Hobbs PJ, Webb J, Mottram TT, Grant B, Misselbrook TM, 2004. Emissions of volatile organic compounds originating from UK livestock agriculture. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 84: 1414-1420.
- Hoek KW van der, 2002. Uitgangspunten voor de mest- en ammoniak-berekeningen 1999 tot en met 2001 zoals gebruikt in de Milieubalans 2001 en 2002, inclusief dataset landbouwemissies 1980-2001. RIVM (rapport 773004013/2002), Bilthoven, 84 p.
- Hooda PS, Edwards AC, Anderson HA, Miller A, 2000. A review of water quality concerns in livestock farming areas. *The Science of the Total Environment* 250: 143-167.
- Jacobs P, 2007. Zout vanuit zee; Verzilting van rijkswateren in Midden-West Nederland nu en in de toekomst. p. 71-83 In: Louw P de (ed), *Verzilting in Nederland*. Nederlandse Hydrologische Vereniging, Utrecht.

- Jensen AA, Hoffman L, Møller BT, Schmidt A, 1997. Life Cycle Assessment; A guide to approaches, experiences and information sources. Environmental issues series no. 6. European Environment Agency (www.lca-center.dk/cms/site.asp?p=2867)
- Kesselmeier J, Staudt M, 1999. Biogenic volatile organic compounds (VOC): An overview on emission, physiology and ecology. *Journal of Atmospheric chemistry* 33: 23-88.
- Kløverpris J, Wenzel H, Nielsen PH, 2008. Life cycle inventory modelling of land use induced by crop consumption, Part 1: Conceptual analysis and methodological proposal. *Int J LCA* 13(1): 13-21.
- Koehler A, 2008. Water use in LCA: managing the planet's freshwater resources. *International Journal of Life Cycle Assessment*: 13: 451-455.
- Koellner T, Scholz RW, 2007. Assessment of land use impacts on the natural environment Part 1: An Analytical framework for pure land occupation and land use change. *Int J LCA* 12(1): 16-23.
- Koppmann R, 2007. Volatile organic compounds in the atmosphere. Blackwell Publishing, Oxford, UK.
- Kroon P, 2003. NOx-uitstoot van kleine bronnen; de uitstoot in 2000 en 2010 (ECN-C—03-125), Energieonderzoek Centrum Nederland, Petten.
- Manz M, Wenzel K-D, Dietze U, Schuurmann G, 2001. Persistent organic pollutants in Agricultural soils of central Germany. *The Science of the Total Environment* 277: 187-198.
- Martens D, Maguhn J, Spitzauer P, Kettrup A, 1997. Occurrence and distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in an agricultural ecosystem. *Fresenius J Anal Chem* 359: 546-554.
- Mears DR, 2007. Energy use in production of food, feed and fiber, In: Fleisher DH, Ting KC, Rodriguez LF (eds). *Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS); System Analysis and Modeling in Food and Agriculture*, UNESCO/EOLSS, Oxford.
- Milá i Canals L, Bauer C, Depestele J, Dubreuil A, Knuchel RF, Gaillard G, Michelsen O, Müller-Wenk R, Rydgren B, 2007. Key elements in a framework for land use impact assessment within LCA.
- Milá i Canals L, Chenoweth J, Chapagain A, Orr S, Antón A, Clift R, 2009. Assessing freshwater use impacts in LCA: Part I-inventory modeling and characterization factors for the main impact pathways. *International Journal of Life Cycle Assessment* 14: 28-42.
- OECD, 2001. *OECD Environmental Outlook*. OECD, Paris, France.
- Oenema O, Velthof GL, Kuikman PJ, 2001. Beperking van emissie van methaan en lachgas uit de landbouw: identificatie van kennishiaten (Alterra rapport 380), Alterra, Wageningen.
- Oviasogie PO, Ukpebor EE, Omoti U, 2006. Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in rural Agricultural wetland soils of the Niger Delta region. *African Journal of Biotechnology* 5: 1415-1421.
- Pain BF, Misselbrook TH, Clarkson CR, 1990. Odour and ammonia emissions following the spreading of anaerobically-digested pig slurry on grassland. *Biological Wastes* 34, 259-267.
- Plachá D, Raclavská H, Matysek D, Rummeli MH, 2009. The polycyclic aromatic hydrocarbon concentrations in soils in the region of Valasske Mezirici, the Czech Republic. *Geochemical Transactions* 10: 12.
- Powers WJ, Van Horn HH, Wilkie AC, Wilcox CJ and Nordstedt RA, 2009. Effects of anaerobic digestion and additives to effluent or cattle feed on odor and odorant concentrations. *Journal of Animal Science* 77, 1412-1421.
- Preller L, 1995. Respiratory health effects of pig farmers. Assessment of exposure and epidemiological studies of risk factors. PhD thesis Agricultural University Wageningen, The Netherlands, 173 pp.
- Radon K, Weber C, Iversen M, Danuser B, Pedersen S, Novak D, 2001. Exposure assessment and lung function in pig and poultry farmers. *Occup Environ Med* 58: 405-410.
- Radon K, Schulze A, Ehrenstein V, van Strien RT, Praml G, Novak D, 2007. Environmental exposure to confined animal feeding operations and respiratory health of neighboring residents. *Epidemiology* 18(3): 300-308.
- Ravindra K, Sokhi R, Van Grieken R, 2008. Atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons: Source attribution, emission factors and regulation. *Atmospheric Environment* 42: 2895-2921.
- Sainz RD, 2003. Framework for calculating fossil fuel use in livestock systems. www.fao.org/WAIRDOCS/LEAD/X6100E/X6100E00.HTM

- Schnaak W, Küchler Th, Kujawa M, Henschel KP, Süssenbach D, Donau R, 1997. Organic contaminants in sewage sludge and their ecotoxicological significance in the agricultural utilization of sewage sludge. *Chemosphere* 35(1/2): 5-11.
- Smit AL, Middelkoop JC van, Dijk W van, Reuler H van, Buck AJ de, Sanden PACM van de, 2010. A quantification of phosphorus flows in the Netherlands through agricultural production, industrial processing and households. Plant Research International Report, Wageningen
- Smolders EAA, van Middelkoop JC, Verkaik JC, 2008. Beperking koper en zink op melkveebedrijven in Zuid-Nederland, balansen en aanbevelingen. Koeien & Kansen rapport 48. Animal Sciences Group, Wageningen University and Research Centre, Lelystad, 53 p.
- Spoelstra SF, 1978. Microbial aspects of the formation of malodorous compounds in anaerobically stored piggery wastes. PhD thesis Wageningen High School, 91 p.
- Stewart M, Weidema B, 2005. A consistent framework for assessing the impacts from resource use; A focus on resource functionality. *Int J LCA* 10(4):240-247.
- Stuyfzand PJ, 2007. Oorzaken van verzilting, hun herkenning en de risikofactoren voor de drinkwatervoorziening. p. 1-26 In: Louw P de (ed), *Verzilting in Nederland*. Nederlandse Hydrologische Vereniging, Utrecht.
- Takai H, Pedersen S, Johnsen JO, Metz JHM, Groot Koerkamp PWG, Uenk GH, Phillips VR, Holden MR, Sneath RW, Short JL, White RP, Hartung J, Seedorf J, Schröder M, Linkert KH, Wathes CM, 1998. Concentrations and emissions of airborne dust in livestock buildings in northern Europe. *J. Agric. Engng Res.* 70: 59-77.
- Thomassen MA, van Calster KJ, Smits MCJ, Iepema GL, Boer IJM de, 2008. Life cycle assessment of conventional and organic milk production in the Netherlands. *Agricultural Systems* 96, 95-107
- Van Schijndel J, Oosterwegel J, Liefers R, Schmitt H, Schilt R, Lahr J, 2009. Antibiotica in de bodem; een pilotstudie. Stichting Kennisontwikkeling en kennisoverdracht Bodem, Gouda.
- Velstra J, Vries A de, 2008. Nieuwe kijk op verzilting biedt perspectief voor zoetwatertekort. *H₂O* 22: 18-19.
- Vogelzang PFJ, 1999. Airway disease and risk factors in pig farmers. PhD-thesis Medical Science, Catholic University Nijmegen, The Netherlands.
- Von Essen SG, Andersen CI, Smith LM, 2005. Organic dust toxic syndrome: A noninfectious febrile illness after exposure to the hog barn environment. *J Swine Health Prod* 13(5): 273-276.
- Von Essen SG, Auvermann BW, 2005. Health effects from breathing air near CAFO's for feeder cattle or hogs. *Journal of Agromedicine* 10(4): 55-64.
- Watson JJ, Probert JA, Piccot D, 1991. Global inventory of volatile organic compound emissions from anthropogenic sources. (Project Summary of Environmental Protection Agency)
- Zahn JA, Hatfield JL, Do YS, DiSpirito AA, Laird DA, Pfeiffer RL, 1997. Characterization of volatile organic emissions and wastes from a swine production facility. *Journal of Environmental Quality* 26: 1687-1696.
- Zhao L, Rausch NJ, Combs TL, 2007. Odor control for land application of manure. Fact sheet Agricultural and Natural resources, Ohio State University, 5 p.
- Zhao L, Rausch NJ, Combs TL, 2008. Overview of odor control for manure storage facilities. Fact sheet Agricultural and Natural resources (AEX-738-08), Ohio State University, 4 p.



Wageningen UR Livestock Research

Edelhertweg 15, 8219 PH Lelystad T 0320 238238 F 0320 238050

E info.livestockresearch@wur.nl | www.livestockresearch.wur.nl