

Begroting van stikstof- en fosforstromen in Vlaanderen



Studie uitgevoerd in opdracht van
MIRA, Milieurapport Vlaanderen

Onderzoeksrapport

MIRA/2013/09, november 2013

Begroting van stikstof- en fosforstromen in Vlaanderen

Joeri Coppens, Sofie Stas, Ellen Dolmans, Erik Meers,
Siegfried E. Vlaeminck, Jeroen Buysse
Universiteit Gent

Stijn Overloop
Vlaamse Milieumaatschappij

**Studie uitgevoerd in opdracht van MIRA,
Milieurapport Vlaanderen**

MIRA/2013/09

November 2013



Documentbeschrijving

Titel:

Begroting van stikstof- en fosforstromen in Vlaanderen

Dit rapport verschijnt in de reeks MIRA Ondersteunend Onderzoek van de Vlaamse Milieumaatschappij. Deze reeks bevat resultaten van onderzoek gericht op de wetenschappelijke onderbouwing van het Milieurapport Vlaanderen. Dit rapport is ook beschikbaar via www.milieurapport.be.

Samenstellers:

Joeri Coppens, Sofie Stas, Ellen Dolmans, Erik Meers, Siegfried E. Vlaeminck, Jeroen Buysse, Universiteit Gent, Stijn Overloop, Vlaamse Milieumaatschappij

Wijze van refereren:

Coppens J., Stas S., Dolmans E., Meers E., Vlaeminck S.E., Buysse J. & Overloop S. (2013), Begroting van stikstof- en fosforstromen in Vlaanderen, studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Milieumaatschappij, MIRA, MIRA/2013/09, UGent

Vragen in verband met dit rapport

Vlaamse Milieumaatschappij

Milieurapportering (MIRA)

Van Benedenlaan 34

2800 Mechelen

tel. 015 45 14 61

mira@vmm.be

D/2013/6871/044

ISBN 9789491385278

NUR 973/943

Inhoudstafel

Samenvatting.....	9
Summary	11
1 Inleiding.....	13
2 Methodologie.....	15
2.1 Stap 1: Dataverzameling.....	15
2.2 Stap 2: Stofboekhouding.....	18
2.3 Stap 3: Stofstroomanalyse	18
2.4 Stap 4: Indicatoren berekenen.....	20
3 Stofboekhouding.....	22
3.1 Voedingsindustrie.....	24
3.1.1 Algemene beschrijving	24
3.1.2 Assumpties en berekeningen	25
3.1.3 Stofboekhouding	30
3.2 Veevoederindustrie.....	30
3.2.1 Algemene beschrijving	30
3.2.2 Assumpties en berekeningen	31
3.2.3 Stofboekhouding	33
3.3 Plantaardige productie.....	34
3.3.1 Algemene beschrijving	34
3.3.2 Assumpties en berekeningen	35
3.3.3 Stofboekhouding	37
3.4 Dierlijke productie.....	37
3.4.1 Algemene beschrijving	37
3.4.2 Assumpties en berekeningen	38
3.4.3 Stofboekhouding	43
3.5 Huishoudens en Handel & diensten.....	44
3.5.1 Algemene beschrijving	44
3.5.2 Assumpties en berekeningen	45
3.5.3 Stofboekhouding	46
3.6 Afvalverwerking.....	46
3.6.1 Algemene beschrijving	46
3.6.2 Assumpties en berekeningen	47

3.6.3	Stofboekhouding	49
3.7	Openbare afvalwaterzuivering	49
3.7.1	Algemene beschrijving	49
3.7.2	Assumpties en berekeningen	50
3.7.3	Stofboekhouding openbare afvalwaterzuivering	55
3.7.4	Rechtstreekse lozing van afvalwater	56
3.8	Transport en energie	57
3.8.1	Algemene beschrijving	57
3.8.2	Assumpties en berekeningen	57
3.8.3	Stofboekhouding	59
3.9	Biomassaverwerking	59
3.9.1	Mestverwerking.....	59
3.9.2	Compostering	66
3.9.3	Industriële vergisters.....	69
3.9.4	Stofboekhouding	72
3.10	Chemische en overige industrie	72
3.10.1	Algemene beschrijving	72
3.10.2	Chemische industrie	72
3.10.3	Overige industrie	75
3.10.4	Stofboekhouding	79
3.11	Lucht.....	80
3.11.1	Algemene beschrijving	80
3.11.2	Assumpties en berekeningen	81
3.11.3	Stofboekhouding	82
3.12	Water.....	84
3.12.1	Algemene beschrijving	84
3.12.2	Assumpties en berekeningen	85
3.12.3	Stofboekhouding	85
3.13	Bodem	86
3.13.1	Algemene beschrijving	86
3.13.2	Assumpties en berekeningen	86
3.13.3	Stofboekhouding	87
4	Stofstroomanalyse.....	88
4.1	Methodiek stofstroomanalyse	88

4.1.1	Opbouw van een grafisch model in STAN	88
4.1.2	Analyse en berekeningen	92
4.1.3	Visualisatie van het stofstroommodel.....	93
4.2	Voedingsindustrie.....	95
4.3	Veevoederindustrie	95
4.4	Plantaardige productie.....	97
4.5	Dierlijke productie	98
4.6	Huishoudens en Handel & diensten.....	98
4.7	Afvalverwerking.....	99
4.8	Openbare afvalwaterzuivering	100
4.9	Transport en Energie	101
4.10	Biomassaverwerking	102
4.10.1	Compostering	102
4.10.2	Mestverwerking.....	103
4.10.3	Industriële vergisters.....	103
4.11	Chemische en overige industrie	104
4.12	Lucht.....	105
4.13	Water.....	107
4.14	Bodem	108
4.15	Visualisatie van het stofstroommodel.....	109
4.16	Vergelijking van de stofstroomanalyse met de Europese fosforbalans van Ott & Rechberger (2012) 114	
4.16.1	Vergelijking van het stofstroommodel.....	114
4.16.2	Vergelijking van de nutriëntenstromen	115
5	Milieu-indicatoren.....	117
5.1	Aandeel per knooppunt	117
5.2	Aandeel per sector	119
5.3	Uitvoer van nutriënten per knooppunt.....	119
5.3.1	Uitvoer naar milieu (lucht, water en bodem).....	119
5.3.2	Uitvoer buiten Vlaanderen.....	122
5.4	Uitvoer van nutriënten per sector.....	123
5.4.1	Uitvoer naar milieu (lucht, water en bodem).....	123
5.4.2	Uitvoer buiten Vlaanderen.....	124
5.5	Invoer van nutriënten per knooppunt	125

5.5.1	Invoer vanuit milieu (lucht, water en bodem)	125
5.5.2	Invoer in Vlaanderen	127
5.6	Invoer van nutriënten per sector	128
5.6.1	Invoer vanuit milieu (lucht, water en bodem)	128
5.6.2	Invoer in Vlaanderen	129
6	Besluit	130
7	Referenties	133
8	Bijlage	137

Lijst van tabellen

Tabel 1: Lijst van gebruikte bronnen per knooppunt.....	16
Tabel 2: Beschrijving knooppunten.....	22
Tabel 3: Beschrijving knooppunt voedingsindustrie.....	25
Tabel 4: Geschatte massastromen van de voedingsindustrie aangepast voor Vlaanderen (70% van de Belgische outputs), (FEVIA, 2011).....	26
Tabel 5: Bij- en restproducten van de voedingsindustrie.....	28
Tabel 6: Berekening van de gemiddelde N- en P-inhouden van de mengvoeders op basis van tonnages.....	29
Tabel 7: Stofboekhouding van de voedingsindustrie.....	30
Tabel 8: Beschrijving knooppunt veevoederindustrie.....	31
Tabel 9: Massastromen (BEMEFA, 2013) en N- en P-inhouden (UGent, eigen berekening) van de outputs van de Belgische veevoederproductie (per type product).....	32
Tabel 10: Veevoeder BE soort (veevoeder voor Belgisch verbruik per soort; BEMEFA, 2009).....	33
Tabel 11: Veestapel in België (BE) en in Vlaanderen (VL) per soort in het jaar 2009 (FOD Economie, 2013a).....	33
Tabel 12: Stofboekhouding van de veevoederindustrie.....	33
Tabel 13: Beschrijving knooppunt plantaardige productie.....	34
Tabel 14: Berekening per outputstroom van de plantaardige productie.....	36
Tabel 15: Stofboekhouding van de plantaardige productie.....	37
Tabel 16: Beschrijving knooppunt dierlijke productie.....	38
Tabel 17: Invoer van levende dieren in kg karkasgewicht, Import BE _{soort} (FOD Economie, 2013e).....	39
Tabel 18: Percentage Vlaamse veestapel ten opzichte van Belgische veestapel (FOD Economie, 2013a).....	39
Tabel 19: N- en P- inhouden, en massaverdeling van weefseltypes in dieren (op basis van Afolayan et al., 2002; University of Cambridge, 2013).....	39
Tabel 20: Slachtrendement (karkasgewicht/levend gewicht) (KU Leuven, 2013).....	39
Tabel 21: Outputs van de dierlijke productie.....	40
Tabel 22: Berekeningen van de outputs van de dierlijke productie naar de voedingsindustrie.....	40
Tabel 23: Geslacht gewicht van de dieren geslacht in slachthuizen, onderworpen aan de keuring en geschikt verklaard voor het gebruik, in Vlaanderen, in 2009 (FOD Economie, 2013b).....	41
Tabel 24: Opgehaalde tonnages van dieren niet geschikt voor consumptie in Vlaanderen, 2009 (Rendac, 2009).....	41
Tabel 25: Melkproductie, -uitvoer en -invoer in Vlaanderen (FOD Economie, 2013c).....	42
Tabel 26: Productie, uitvoer en invoer van eieren (FOD Economie, 2013d).....	42
Tabel 27: Uitvoer van levende dieren (ton karkasgewicht) (FOD Economie, 2013e).....	42
Tabel 28: Stofboekhouding van de dierlijke productie.....	43
Tabel 29: Beschrijving knooppunt huishoudens en handel & diensten.....	44
Tabel 30: Stofboekhouding van de huishoudens en handel & diensten.....	46
Tabel 31: Beschrijving knooppunt afvalverwerking.....	47
Tabel 32: Massastromen van OBA (ton) (OVAM, 2013).....	47
Tabel 33: N- en P-inhouden van verschillende afvalstromen.....	48
Tabel 34: Massastromen van OBA per type afvoer (ton) (OVAM, 2013).....	48
Tabel 35: Stofboekhouding van de afvalverwerking.....	49
Tabel 36: Algemene beschrijving knooppunt openbare afvalwaterzuivering.....	50

Tabel 37: Definitie inwonersequivalent (Marjoleine Weemaes, Aquafin, persoonlijke communicatie, 17 juni 2013).....	50
Tabel 38: Gemiddelde verwijderingspercentage van het door de openbare afvalwaterzuivering behandelde afvalwater in 2009 (VMM, 2010d)	52
Tabel 39: Theoretisch verwacht aandeel van de vier fosforverwijderingsmechanismen in de totale P-verwijdering in Vlaanderen (Marjoleine Weemaes, Aquafin, persoonlijke communicatie, 3 mei 2013), gelinkt aan de gemeten P-verwijdering	52
Tabel 40: Stofboekhouding voor de afvalwaterzuivering binnen de openbare afvalwaterzuiveringsinstallaties (zonder slibverwerking)	53
Tabel 41: Stromen van slib en septisch materiaal binnen het knooppunt openbare afvalwaterzuivering. N- en P-gehalten zijn een gemiddelde van alle types slib (Marjoleine Weemaes, Aquafin, persoonlijke communicatie, 3 mei 2013)	54
Tabel 42: Verwerkingsfaciliteiten voor de slibs en gerelateerde eindbestemmingen (Marjoleine Weemaes, Aquafin, persoonlijke communicatie, 3 mei 2013)	54
Tabel 43: Stofstromen van slib, ingedeeld per verwerkingsbestemming (Marjoleine Weemaes, Aquafin, persoonlijke communicatie, 3 mei 2013)	55
Tabel 44: Stofboekhouding openbare afvalwaterzuivering	55
Tabel 45: Emissies naar oppervlaktewater zonder behandeling door de openbare afvalwaterzuivering (VMM, 2010a; VMM, 2010b; VMM, 2010c).....	56
Tabel 46: Ongezuiverd afvalwater dat niet behandeld wordt door de openbare afvalwaterzuivering per sector en voor zuivering op bedrijf of IBA (VMM, 2010a; VMM, 2010b; VMM, 2010c)	57
Tabel 47: Beschrijving knooppunt transport en energie.....	57
Tabel 48: Inputstromen van de energiesector (Aernouts & Jaspers, 2012)	58
Tabel 49: Inputstromen van de transportsector (Aernouts & Jaspers, 2012)	58
Tabel 50: Stofboekhouding van transport en energie	59
Tabel 51: Beschrijving deelknooppunt mestverwerking	61
Tabel 52: N- en P-inhouden van OBA en energiemaïs	62
Tabel 53: Stofboekhouding van de verwerkingstechniek biologie	63
Tabel 54: Stofboekhouding van de verwerkingstechniek agrarische vergisting	64
Tabel 55: Stofboekhouding van de verwerkingstechniek biothermisch drogen	65
Tabel 56: Stofboekhouding van de verwerkingstechniek substraatbereiding.....	65
Tabel 57: Stofboekhouding van het deelknooppunt mestverwerking.....	66
Tabel 58: Beschrijving knooppunt composteren	66
Tabel 59: N- en P-inhouden van OBA en GFT-afval.....	67
Tabel 60: N- en P-inhouden van GFT-compost en groencompost	68
Tabel 61: Stofboekhouding van het knooppunt compostering	69
Tabel 62: Beschrijving knooppunt industriële vergisters	69
Tabel 63: Stofboekhouding van het knooppunt industriële vergisters.....	71
Tabel 64: Stofboekhouding van het knooppunt biomassaverwerking	72
Tabel 65: Stofboekhouding van de deelsector minerale meststoffen	73
Tabel 66: Beschrijving deelsector voederfosfaten	74
Tabel 67: Stofboekhouding van de deelsector voederfosfaten	74
Tabel 68: Beschrijving deelsector fosforzuur	75
Tabel 69: Stofboekhouding van de deelsector fosforzuur	75
Tabel 70: Beschrijving deelsector papier	76

Tabel 71: N- en P-inhouden van papier, fijnspar en populier	77
Tabel 72: Stofboekhouding van Sappi	77
Tabel 73: Stofboekhouding van Stora Enso.....	78
Tabel 74: Data geleverd door Cobelpa voor het jaar 2009	78
Tabel 75: Stofboekhouding van de deelsector papier	79
Tabel 76: Stofboekhouding van het knooppunt chemische en overige industrie	80
Tabel 77: Beschrijving knooppunt lucht.....	81
Tabel 78: Stofboekhouding van het knooppunt lucht.....	82
Tabel 79: Beschrijving knooppunt water.....	84
Tabel 80: Stofboekhouding van het knooppunt water	85
Tabel 81: Stofboekhouding van het knooppunt bodem	87
Tabel 82: Stofstroomanalyse van de voedingsindustrie*	95
Tabel 83: Stofstroomanalyse van de veevoederindustrie.....	96
Tabel 84: Stofstroomanalyse van plantaardige productie	97
Tabel 85: Stofstroomanalyse van dierlijke productie.....	98
Tabel 86: Stofstroomanalyse van huishoudens en handel & diensten*	99
Tabel 87: Stofstroomanalyse van de afvalverwerking	100
Tabel 88: Stofstroomanalyse van de openbare afvalwaterzuivering.....	101
Tabel 89: Stofstroomanalyse van transport en energie.....	101
Tabel 90: Stofstroomanalyse van biomassaverwerking.....	102
Tabel 91: Stofstroomanalyse van het subproces compostering	103
Tabel 92: Stofstroomanalyse van het subproces mestverwerking	103
Tabel 93: Stofstroomanalyse van industriële vergisters	104
Tabel 94: Stofstroomanalyse van chemische en overige industrie*	105
Tabel 95: Stofstroomanalyse van het knooppunt lucht	106
Tabel 96: Stofstroomanalyse van het knooppunt water*	108
Tabel 97: Stofstroomanalyse van het knooppunt bodem.....	109
Tabel 98: Verdeling van de knooppunten per sector.....	117
Tabel 99: Aandeel van elk knooppunt in de stofstroomanalyse.....	118
Tabel 100: Aandeel per sector, milieuknooppunten niet inbegrepen	119
Tabel 101: Uitvoer van stikstof naar het knooppunt lucht	120
Tabel 102: Uitvoer van stikstof en fosfor naar het knooppunt water	121
Tabel 103: Uitvoer van stikstof en fosfor naar het knooppunt bodem	121
Tabel 104: Uitvoer van stikstof en fosfor per knooppunt (in kton en in % van de totale export)	123
Tabel 105: Uitvoer van stikstof en fosfor naar het knooppunt lucht per sector	123
Tabel 106: Uitvoer van stikstof en fosfor naar het knooppunt water per sector	124
Tabel 107: Uitvoer van stikstof en fosfor naar het knooppunt bodem per sector	124
Tabel 108: Uitvoer van stikstof en fosfor per sector.....	124
Tabel 109: Invoer van stikstof uit het knooppunt lucht	125
Tabel 110: Invoer van stikstof uit het knooppunt water.....	126
Tabel 111: Invoer van stikstof en fosfor uit het knooppunt bodem	127
Tabel 112: Invoer van stikstof en fosfor per knooppunt (in kton en in % van de totale import)	128
Tabel 113: Invoer van N ₂ uit lucht per sector.....	129
Tabel 114: Invoer van N en P uit de bodem per sector.....	129

Lijst van figuren

Figuur 1: Algemene opbouw van het stofstroommodel	10
Figure 2: General construction of the substance flow analysis	12
Figuur 3: Structuur van de onderzoeks aanpak	15
Figuur 4: De Europese fosforbalans (Ott & Rechberger, 2012).....	20
Figuur 5: Grafische user interface van STAN 2.5	89
Figuur 6: Algemene opbouw van het stofstroommodel	90
Figuur 7: Substelsiem biomassaverwerking dat opgebouwd is uit de processen compostering, mestverwerking en industriële vergisters.....	91
Figuur 8: Subproces luchtmissies in het knooppunt plantaardige productie	91
Figuur 9: Flow properties voor data input.....	90
Figuur 10: De drie aangewende lagen voor data input in het model	92
Figuur 11: Process List in STAN die exporteren van data naar Excel mogelijk maakt.....	94
Figuur 12: Visualisatie van de stikstofstroomanalyse	112
Figuur 13: Visualisatie van de fosforstroomanalyse	113
Figuur 14: De Europese fosforbalans (Ott & Rechberger, 2012)	116

Samenvatting

Vlaanderen heeft een overschot aan voedingsstoffen beschikbaar in afval- en reststromen, zoals huishoudelijk afvalwater, organisch biologisch afval en dierlijke mest, vanwege de hoge bevolkingsdichtheid en de intensieve landbouw en industrie. Daarom heeft Vlaanderen ook een groot potentieel tot de herwinning en hergebruik van stikstof en fosfor. In deze studie wordt een stofstroomanalyse voor stikstof en fosfor gepresenteerd op basis van de begroting en boekhouding van de stromen, voorraden en hot spots van beide voedingsstoffen binnen de Vlaamse systeemgrenzen voor het referentiejaar 2009.

Er worden 13 knooppunten geïdentificeerd in Vlaanderen, van zowel economische als milieusectoren: de voedingsindustrie, de veevoederindustrie, de plantaardige productie, de dierlijke productie, de huishoudens en handel & diensten, de afvalverwerking, de openbare afvalwaterzuivering, transport en energie, de biomassaverwerking, de chemische en overige industrie, de lucht, het water (oppervlaktewater), en de bodem. Voor elk knooppunt zijn de stromen van grondstoffen, producten en afvalstromen gekwantificeerd voor het jaar 2009, samen met hun stikstof- en fosforgehalte. Dit grafisch model is vervolgens vertaald in een mathematisch model met behulp van het STAN softwarepakket. Onderstaande figuur toont de verschillende stikstof- en fosforstromen doorheen het hele systeem en de relaties tussen de verschillende knooppunten. De resultaten van de stofstroomanalyse zijn hierna gebruikt om indicatoren van elk knooppunt en sector, zoals beschreven in het Milieuraapport Vlaanderen, op te stellen op basis van het aandeel in de totale fluxen en de import en export gegevens.

De resultaten van de studie tonen verder aan dat de chemische en overige industrie in Vlaanderen een belangrijke draaischijf is voor nutriëntenstromen. De chemische industrie importeert en exporteert veel nutriëntenrijke stromen. De interactie met de rest van de economie is eerder beperkt en verloopt hoofdzakelijk via het gebruik van minerale meststoffen geproduceerd door de chemische industrie en gebruikt voor plantaardige productie. Het agrovoedingscomplex is ook heel belangrijk op vlak van nutriëntenstromen in Vlaanderen. Het is vooral in het agrovoedingscomplex dat milieuwinst te boeken is. Er is potentieel om de N-emissie naar lucht te verminderen van de dierlijke productie (24 kton N) en plantaardige productie (22 kton N). Ook de emissies naar water komen vooral van het agrovoedingscomplex: 19 kton N van de plantaardige sector. Drie andere aandachtspunten zijn de NO_x-emissies van transport en energie, de N en P emissies van huishoudens en waterzuivering en het verlies aan benutbare N bij de verbranding van restafval. Belangrijke stromen waar potentieel is voor betere benutting zijn de jaarlijkse stroom van dierlijke mest (133 kton N en 28 kton P), het organisch biologisch afval geproduceerd door de voedingsindustrie (22 kton N en 8 kton P), slib van afvalwaterbehandeling (4 kton N en 3 kton P) en de fosforrijke assen van verbrandingsinstallaties (13 kton P).

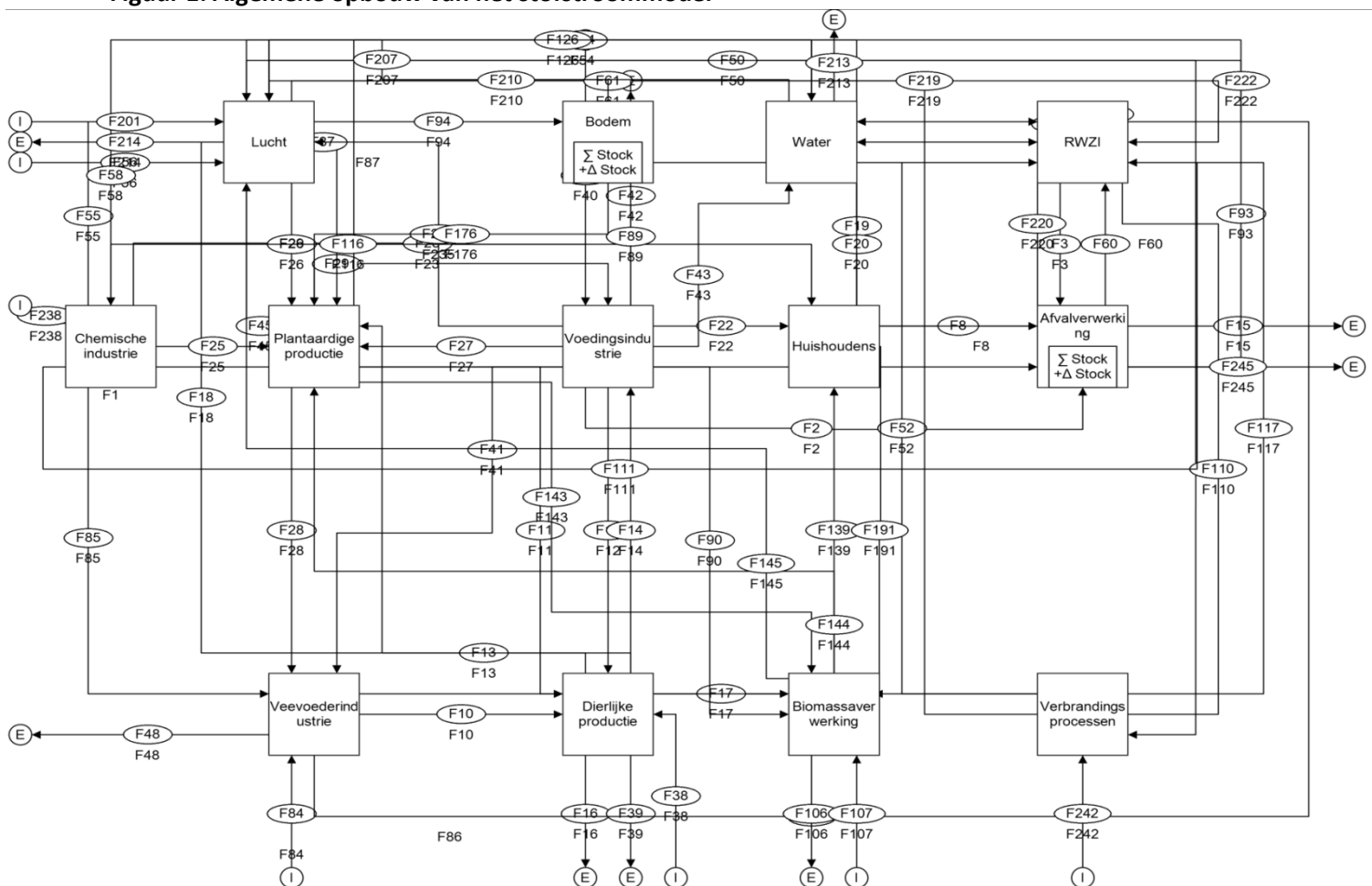
De totale hoeveelheid import N in alle economische sectoren is 1017 kton N en 115 kton P terwijl de export van de Vlaamse economische sectoren 655 kton N en 115 kton P bedraagt.

Een vergelijking van de Vlaamse stofstroomanalyse met Ott & Rechberger (2012) toont dat Vlaanderen 2 kg P meer importeert in voeder dan andere EU-15 lidstaten maar 2,4 kg P minder gebruikt per inwoner aan fosforrijke minerale meststof. In de EU15 wordt er 4,9 kg P/capita als diervoeder aangewend, wat resulteert in de productie 0,76 kg P/capita vlees en andere producten,

terwijl er 4 kg P/capita mest geproduceerd wordt. In Vlaanderen wordt er daarentegen 6,9 kg P/capita als diervoeder angewend, terwijl er 2,2 kg P/capita vleesproducten wordt geproduceerd en 4,7 kg P/capita mest.

De plantaardige productie produceert in de EU15 verder 4,6 kg P/capita als plantaardige producten (voeding + veevoeder), terwijl er 2,7 kg P/capita als fosforrijke kunstmest wordt angewend. In Vlaanderen wordt er 3,9 kg P/capita plantaardige producten geproduceerd, waarbij er slechts 0,23 kg P/capita kunstmest wordt gebruikt. Dit komt door de import van veevoeder. Een vergelijking van de voedingsindustrie toont dat er in Vlaanderen 5,7 kg P/capita geïmporteerd wordt naar de voedingsindustrie en veevoederindustrie, terwijl er 3,94 kg P/capita geëxporteerd wordt. De binnenlands voedselconsumptie bedraagt daarbij 0,73 kg P/capita. De import en export buiten de EU15 bedraagt respectievelijk 0,88 en 0,33 kg P/capita. Daarnaast wordt er in de EU15 0,9 kg P/capita voedsel geconsumeerd.

Figuur 1: Algemene opbouw van het stofstroommodel



Summary

The region of Flanders in Belgium has a nutrients surplus available in waste streams such as domestic wastewater, organic biological waste and animal manure, due to its high population density and intensive agriculture and industry. It therefore possesses a large potential towards the recovery and reuse of nitrogen and phosphorus. In this study, a substance flow analysis for nitrogen and phosphorus is presented, quantifying the fluxes, stocks and hot spots of both nutrients within Flemish system boundaries for the reference year 2009.

A graphical model was developed which divides Flanders into 13 economic and environmental sectors: the food industry, the feed industry, the crop production, the animal production, the households and distribution, the waste treatment, the waste water treatment, transport and energy, the biomass treatment, the chemical and other industries, the air compartment, water compartment and soil compartment. For each sector the fluxes of resources, products and waste streams were quantified for the year 2009, together with their nitrogen and phosphorus content. Afterwards, the graphical model was translated into a mathematical model using the STAN 2.5 software package (Technische Universität Wien). The nitrogen and phosphorus fluxes throughout the system were further visualized to display the relations between the different sectors of the economy and the environment, as exemplified in the figure hereunder. The results were used in a last phase to determine indicators for each sector, firstly as described in this study and secondly as set by the environment report of Flanders (Milieurapport Vlaanderen), based on the share of each sector in the total streams of nutrients, and on the export and import data.

The results of the study further showed that both the chemical and the food industry are involved in a strong import and export of nutrients. The chemical industry imports the nutrients as raw materials for the production of fertilizers, which are afterwards exported. The interaction with the rest of the economy is rather limited and mainly takes place through the use of mineral fertilizers produced by the chemical industry and used by the crop production. The agri-food complex is also very important in terms of nutrient flows in Flanders. It is especially in this complex that environmental profits can be made. There is a potential for reducing the N-emissions of the animal husbandry (24 kton N) and the crop production (22 kton N). The emissions to water are mainly due the agri-food complex: 19 kton N from the crop production. Three other focus points are the NO_x-emissions of transport and energy, the N and P emissions of households and waste water treatment, as well as the loss of usable N from waste combustion. Important fluxes where a potential for recovery exists, are the annual flows of manure (133 kton N and 28 kton P), the organic biological waste from the food industry (22 kton N and 8 kton P), sludge from waste water treatment plants (4 kton N and 3 kton P), and the P-rich ashes from combustion installations (13 kton P).

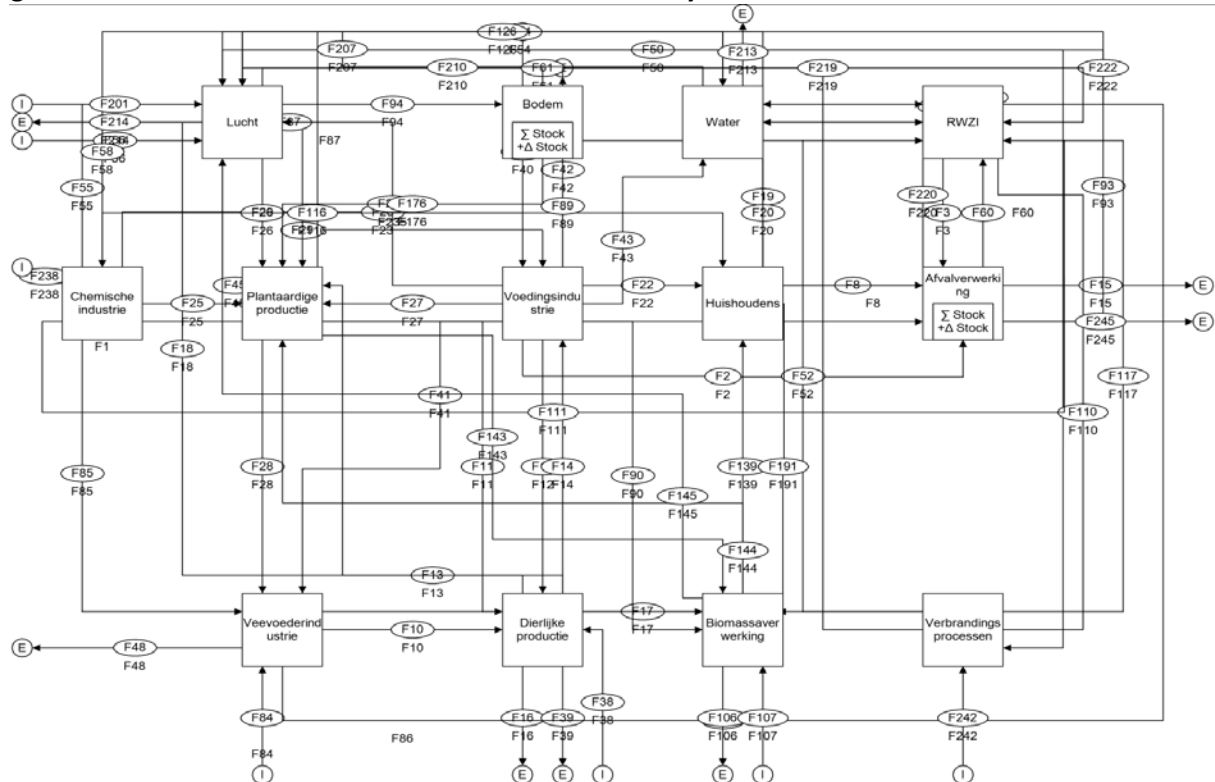
The total N-import in all economic sectors comes to 1017 kton N and 115 kton P. The export of all Flemish economic sectors amounts to 655 kton N and 115 kton P.

A comparison of the Flemish substance flow analysis with Ott & Rechberger (2012) shows that Flanders imports 2 kg P more in animal feed than other EU-15 member states, but uses 2.4 kg P less per inhabitant in mineral fertilizers. In the EU-15 4.9 kg P/capita is used in animal feed, resulting in a production of 0.76 kg P/capita in meat and other products, while 4 kg P/capita of manure is

produced. On the contrary, in Flanders, 6.9 kg P/capita is used in feed, for a production of 2.2 kg P/capita of meat products and 4.7 kg P/capita of manure.

The crop production gives in the EU-15 about 4.6 kg P in plant products (for food and feed), while 2.7 kg P/capita is used in P-rich mineral fertilizers. In Flanders, 3.9 kg P / capita is produced in crop products, for which only 0.23 kg P/capita in mineral fertilizers was used. This is due to the import of animal feed. A comparison of the food industry allows to conclude that 5.7 kg P/capita is imported in Flanders for the food and feed industry, whereas the export amounts to 3.94 kg P/capita. The domestic food consumption is 0.73 kg P/capita. The import and export outside the EU-15 amounted to 0.88 and 0.33 kg P/capita respectively. In addition, there is a food consumption of 0.9 kg P/capita in the EU-15.

Figure 2: General construction of the substance flow analysis



1 Inleiding

Deze studie heeft als doel de nutriëntenstromen binnen het Vlaams Gewest te kwantificeren en analyseren. Hiermee wordt de functie van de milieurapportering (MIRA) (Vlaamse Milieumaatschappij) ondersteund, waarin de toestand van het milieu beschreven, geanalyseerd en geëvalueerd wordt en eveneens getoetst wordt aan het huidige milieubeleid. Meer specifiek biedt deze studie ondersteunende data voor de milieu-indicatoren rond het thema vermessing, door de fluxen, hot spots en de druk op het milieu per deelsector van de Vlaamse economie te inventariseren.

Ook binnen het takenpakket van het Vlaams Nutriëntenplatform biedt deze stofstroomanalyse een belangrijke meerwaarde. Door de globale toename in de vraag naar nutriënten, wordt de druk op de beschikbaarheid, en bijgevolg ook de kostprijs, steeds groter. Dit is vooral het geval voor fosfor, waarvoor de ertsvoorraden kwantitatief en geografisch beperkt zijn.

In Vlaanderen is er evenwel een grote hoeveelheid aan nutriënten beschikbaar, verspreid over de verschillende economische en ecologische processen. Ondanks de hoge kosten die momenteel gepaard gaan met de behandeling van deze stromen, brengt de aanwezigheid van deze nutriënten op lokale en regionale schaal opportuniteiten voor recuperatie. De valorisatie van de nutriënten in afvalstromen kan zo bijdragen tot de reductie van de milieu-impact en kan bovendien een economische meerwaarde betekenen voor de verschillende sectoren binnen Vlaanderen. Een kwantitatieve nutriëntenstroomanalyse is daarom nodig om de verschillende fluxen en stocks in kaart te brengen, zodat een duurzaam en efficiënt nutriëntengebruik mogelijk wordt.

Het doel van de studie is het opstellen van een stofstroomanalyse voor de nutriënten stikstof (N) en fosfor (P) in de gehele Vlaamse economie, private huishoudens en natuurlijke omgeving. Daartoe wordt eerst een stofboekhouding opgesteld die wordt aangevuld met een statische stofmodellering. De finaliteit is een rapport dat een accuraat en actueel beeld geeft van de stikstof- en fosforstromen in Vlaanderen waarbij eveneens indicatoren gekwantificeerd worden die aangeven welk aandeel elke sector heeft in die stromen, waar eventuele accumulatie van nutriënten gebeurt en hoeveel nutriënten in Vlaanderen worden ingevoerd of uitgevoerd.

In 2002 publiceerde VITO een stofstroomanalyse voor stikstof, opgesteld op basis van de stofboekhouding van UGent (1999), die zowel voor stikstof als fosfor was opgesteld. Beide studies hadden als gemeenschappelijk referentiejaar 1997. Het huidig rapport is dus ook een update van deze vroegere stofstroomstudies. Hoewel de methode van dataverwerking verschillend is op een aantal punten, gaat het over de zelfde afbakening: de nutriënten stikstof en fosfor in Vlaanderen. De opbouw van de stofboekhouding is dan ook deels gebaseerd op de stofstroomstudies van 1999 en 2002.

Dit rapport is opgebouwd uit 5 hoofdstukken. Hoofdstuk 2 beschrijft bondig de gebruikte methode. In hoofdstuk 3 wordt de stofboekhouding besproken met vermelding van de gegevensbronnen. In hoofdstuk 4 wordt de stofstroomanalyse met de STAN software toegelicht. Hoofdstuk 5 beschrijft indicatoren, afgeleid uit de stofstroomanalyse/stofboekhouding. Hoofdstuk 6 geeft tot slot een besluit. Naast dit rapport is een technische bijlage opgesteld waarnaar in verschillende hoofdstukken wordt verwezen. Deze bijlage is beschikbaar bij de Vlaamse Milieumaatschappij, dienst Milieurapportering (zie colofon).

Deze studie werd uitgevoerd in opdracht van het VMM door de vakgroepen Landbouweconomie (Prof. Dr. Ir. Jeroen Buysse), Biochemische en microbiële technologie (Prof. Dr. Ir. Siegfried Vlaeminck) en Toegepaste analytische en fysische chemie (Prof. Dr. Ir. Erik Meers).

De studie werd begeleid door een stuurgroep waaraan volgende experts hun medewerking verleenden:

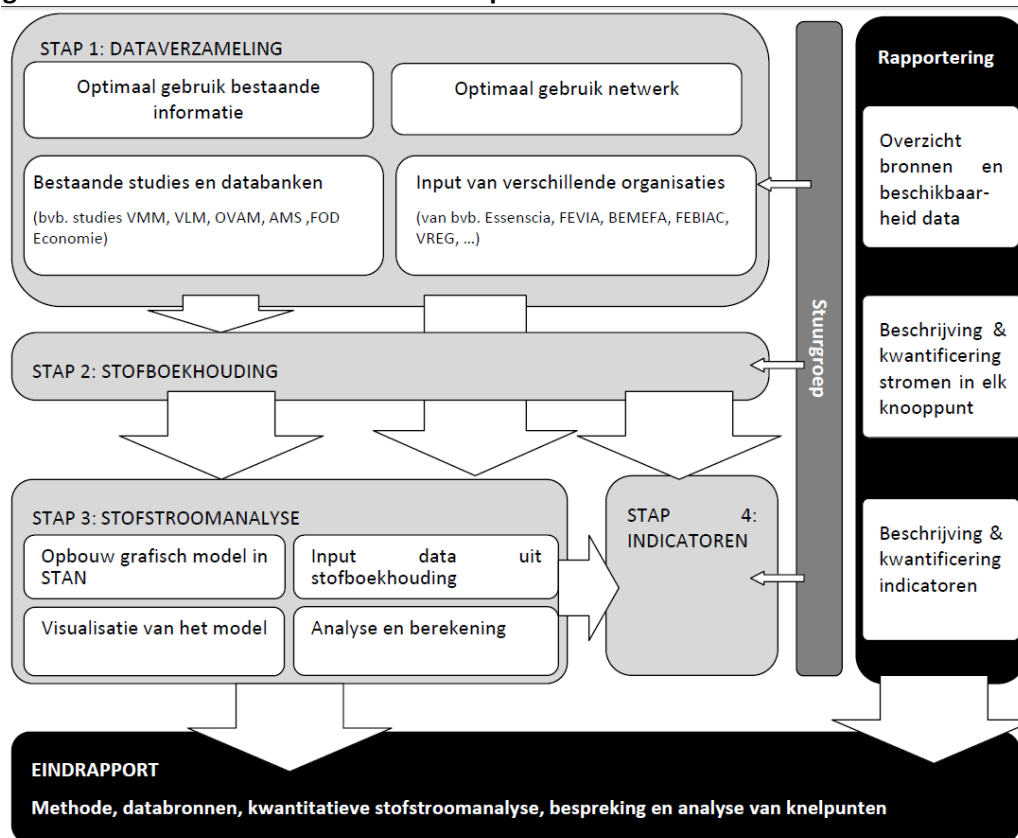
- Toon De Keukelaere (Boerenbond)
- Jan de Schutter
- Dirk Halet (VLAKWA)
- Peter Jaeken (Essencia)
- Stijn Overloop (VMM)
- Nico Vanaken (OVAM)
- Wim Vanden Auweele (VLACO)
- Kor Van Hoof (VMM)
- Kevin Vergauwen (VLM)
- Sofie Vergucht (Belfertil)
- Liesbeth Verheyen (BEMEFA)
- Dirk Vervloet (AMS)

2 Methodologie

Het doel van deze studie is om een nutriëntenstroomanalyse uit te voeren voor de elementen stikstof (N) en fosfor (P) binnen de grenzen van het Vlaams Gewest voor het referentiejaar 2009. Hierbij wordt de Vlaamse regio onderverdeeld in de verschillende knooppunten die deel uitmaken van de Vlaamse economie, maatschappij en milieu.

De verschillende stappen worden weergegeven in onderstaande figuur. Samen met de verschillende stappen in deze studie worden de interactie met de stuurgroep en de rapporteringsmomenten gevisualiseerd.

Figuur 3: Structuur van de onderzoeks aanpak



2.1 Stap 1: Dataverzameling

Door de samenwerking van drie onderzoeksgroepen binnen de Faculteit Bio-ingenieurswetenschappen, Universiteit Gent is een multidisciplinair consortium gecreëerd met een gedegen complementaire nutriëntenexpertise en -netwerk binnen de verschillende sectoren betrokken in deze studie. Deze expertise is onontbeerlijk met betrekking tot de data-inventarisatie die voor de studie vereist is.

Contacten met de verschillende sectorale koepelorganisaties, aangevuld met de bronnen/rapporten/data toegankelijk via het VMM, maken het mogelijk om per deelsector de vereiste cijfergegevens te bekomen van onder meer handels- en productiestatistieken en samenstelling van grondstoffen, producten en afvalstromen voor de diverse Vlaamse economische

processen. Het betreft hier niet alleen de kwantitatieve informatie voor de stofboekhouding maar ook de eventuele actualisatie van gebruikte transfer-coëfficiënten in de stofstroomanalyse (SSA).

Bij de aanvang van de studie is in samenspraak met de VMM een inventaris opgemaakt van de beschikbare databronnen. Vervolgens is binnen de verschillende sectoren in Vlaanderen de data omtrent nutriënten in- en output verzameld voor het jaar 2009. Hierbij zijn de gemiddelde waarden, alsook en indien mogelijk de varianties en onzekerheden per sector systematisch opgesomd. Tegenstrijdigheden tussen verschillende databronnen zijn eveneens weergegeven om in de verdere stofstroomanalyse in rekening te kunnen brengen.

Tabel 1: Lijst van gebruikte bronnen per knooppunt

Knooppunt	Gebruikte databronnen
Voedingsindustrie	FEVIA, 2011 FEVIA, 2009 Dietgrail, 2013 GfK, 2009 VLAM, 2009 LV, 2010
Veevoederindustrie	BEMEFA, 2009 BEMEFA, 2013 Lenders et al., 2012 FOD Economie, 2013a
Plantaardige productie	Lenders et al., 2012 VLM, 2010
Dierlijke productie	FOD Economie, 2013a FOD Economie, 2013b FOD Economie, 2013c FOD Economie, 2013d FOD Economie, 2013e Afolayan et al., 2002 University of Cambridge, 2013 KU Leuven, 2013 Rendac, 2009 Grappin and Horwitz, 1988 Buchi, 2010 VLM, 2010 Lenders et al., 2012
Huishoudens en Handel & diensten	Ott & Rechberger, 2012 Dietgrail, 2013 GfK, 2009
Afvalverwerking	OVAM, 2013 Sede, 2013 Wageningen Universiteit, 2010
Openbare afvalwaterzuivering	EPAS, 2001 VMM, 2010a

	<p>VMM, 2010b VMM, 2010c VMM, 2010d VMM, 2010e VMM, 2013a VMM, 2013b</p>
Transport en Energie	<p>Aernouts en Jespers, 2012 BC, 2013, Wilcock, 2005</p>
Biomassaverwerking	<p>Bernstad et al., 2011 Biogas-E, 2006 Biogas-E, 2007 Gellynck et al., 2006 Lenders et al., 2012 Meers, 2011 Teodorita Al Seadi et al., 2008 VCM, 2013a VCM, 2013b VCM, 2013c VLACO, 2009a VLACO, 2009b VLACO, 2013a VLACO, 2013b VLM, 2010 VLM, 2013 VMM, 2013a VMM, 2013b Zwart et al., 2006</p>
Chemische en overige industrie	<p>Lenders et al., 2012 VLM, 2010 Stora Enso, 2013 VMM, 2013a Sokka et al., 2004 Antikainen et al., 2004 Hagen-Thorn et al., 2004</p>
Lucht	<p>Lenders et al., 2012 VMM, 2006 VMM, 2012 VMM, 2013a VMM, 2013c</p>
Water	<p>VMM, 2013a</p>
Bodem	<p>Lenders et al., 2012 VMM, 2013a</p>

2.2 Stap 2: Stofboekhouding

Binnen de systeemgrenzen van het Vlaamse Gewest zijn de economische en ecologische processen onderverdeeld in 13 knooppunten. Per uitgesplitst knooppunt worden daarbij de verschillende lokale processen en omzettingen gedefinieerd. Hierbij worden eveneens de deelsectoren meegenomen, beschreven in de bepaling van de milieu-indicatoren.

In de mate van het mogelijke zijn vervolgens de grondstoffen, goederen en producten gespecificeerd die elk knooppunt binnenkomen en buitengaan.

Per knooppunt zijn de in- en uitgaande stromen geïdentificeerd en gekwantificeerd op basis van de beschikbare gegevens. Elk knooppunt wordt in de stofboekhouding algemeen beschreven, waarna een overzicht wordt gegeven van de assumpties en berekeningen die gemaakt werden voor het opstellen van de stofboekhouding. Vervolgens geeft een overzichtstabel de N- en P-stromen van elk knooppunt weer.

De voorraden aan nutriënten zijn voor bepaalde knooppunten geïdentificeerd en berekend in de stofstroomanalyse. Er is verondersteld dat de voorraden voornamelijk van belang zijn in de milieuknooppunten, namelijk lucht, water en bodem.

2.3 Stap 3: Stofstroomanalyse

De stofstroomanalyse is uitgevoerd volgens dezelfde systematiek die eerder is toegepast door Ott & Rechberger (2012) (figuur 4) en Smit et al. (2010). Hierbij is het academisch softwarepakket STAN (Software for Substance Flow Analysis) gebruikt. Het softwarepakket is ontwikkeld aan de Technische Universiteit van Wenen volgens de Europese afvalmanagementrichtlijnen en is conform de Oostenrijkse ÖNORM S 2096 normering, die de standaardisatie van stofstroomanalyses binnen de afvalmanagement preciseert. Hierdoor maakt STAN het mogelijk om op een gestandaardiseerde manier arbitraire systemen te beschrijven en te analyseren.

Een grafisch model is opgebouwd, waarbij de knooppunten overeenstemmen met de systemen en subsystemen uit de eerder opgestelde stofboekhouding. Vervolgens zijn de mass flows, concentraties en transfer coëfficiënten uit de stofboekhouding geïmporteerd in het systeem voor de verschillende hiërarchische lagen (goederen, stoffen ...). De stofboekhouding die in tabelvorm is opgesteld in Excel kan daarbij rechtstreeks geïmporteerd worden naar STAN. Zowel de eenheden als de varianties en onzekerheden voor de verschillende lagen zijn daarbij ingevoerd. Het model is daarop gevisualiseerd, waarbij de verschillende nutriëntenstromen met behulp van Sankey pijlen worden voorgesteld. De breedte van de pijlen is proportioneel met de waarde van de massastromen. Hierdoor worden de belangrijkste massastromen eenvoudig visueel herkend.

Bij het verzamelen en vergelijken van de data in de stofboekhouding komen veelal onzekerheden en inconsistenties voor. Met behulp van STAN is het mogelijk om deze onzekerheden op een statistische manier te verwerken. Het grafisch ontwikkeld model wordt automatisch omgezet naar een mathematisch model, waarbij het principe van het behoud van massa centraal staat. Hierbij wordt er gebruik gemaakt van 4 vergelijkingen:

- *Massabalansvergelijking:*

$$\Sigma \text{ inputs} = \Sigma \text{ outputs} + \text{verandering in stock}_{\text{PERIODE } i}$$

- *Transfer coefficient vergelijking:*

$$\text{Output}_x = \text{transfer coefficient}_{\text{OUTPUT } x} \cdot \sum \text{inputs}$$

- *Vergelijking van de voorraden:*

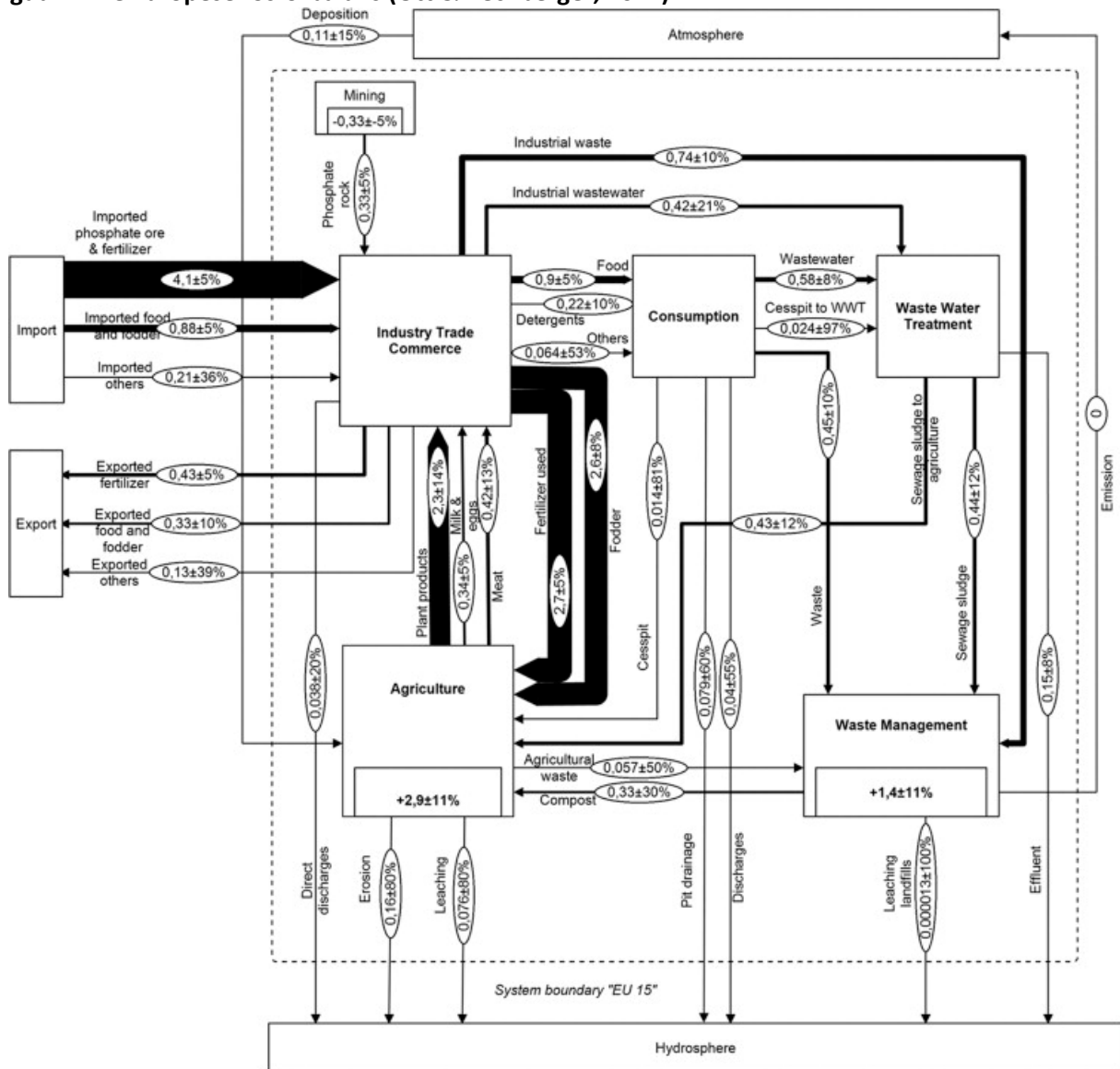
$$\text{Stock}_{\text{PERIODE } i+1} = \text{stock}_{\text{PERIODE } i} + \text{verandering in stock}_{\text{PERIODE } i}$$

- *Concentratievergelijking:*

$$\text{Massa}_{\text{NUTRIENT}} = \text{massa}_{\text{PRODUCT}} \cdot \text{concentratie}_{\text{NUTRIENT}}$$

De onzekerheden van de inputdata worden via errorpropagatie en datareconciliatie statistisch verwerkt om zo een sluitende massabalans te verkrijgen. Hierdoor worden fouten en contradicties in de inputdata gedetecteerd en worden ook onbekende stromen gekwantificeerd.

Figuur 4: De Europese fosforbalans (Ott & Rechberger, 2012)



2.4 Stap 4: Indicatoren berekenen

De berekening van de milieu-indicatoren steunt grotendeels op het studiewerk dat binnen de stofstroomanalyse wordt uitgevoerd. Volgende drie milieu-indicatoren worden berekend en toegelicht:

- Aandeel van de sectoren in de nutriëntenstromen:

Binnen de sectorindeling die vooropgesteld is door het MIRA worden voor de 6 sectoren de massastromen van stikstof en fosfor kwantitatief bepaald. Dit gebeurt op basis van de gegevens van de stofstroomanalyse. De fluxen van deze sectoren worden daarbij getoetst aan de nutriëntenstromen die geanalyseerd zijn binnen de stofstroomanalyse. Hierdoor worden de hot spots binnen de nutriëntencycli blootgelegd en is het eveneens mogelijk om per (deel)sector de druk op het milieu in te schatten.

- Uitvoer van nutriënten uit Vlaanderen:

In de stofboekhouding en de stofstroomanalyse worden eveneens de fluxen die de systeemgrenzen van het Vlaams Gewest verlaten besproken. Deze output gebeurt enerzijds door export (buiten Vlaamse gewest) via de verschillende economische sectoren. Anderzijds verlaten nutriënten Vlaanderen via het milieu (water, lucht en bodem). De systeemgrenzen van deze knooppunten worden in de stofboekhouding afgebakend. Voor de bespreking van deze milieu-indicator wordt de uitvoer zowel algemeen als sectorspecifiek besproken op basis van de gegevens bekomen uit de stofstroomanalyse. Hierbij komen de massastromen, alsook de nutriëntenvormen aan bod en wordt eveneens het aandeel van de verschillende sectoren in de uitvoer toegelicht.

- Invoer van nutriënten in Vlaanderen:

Het berekenen, beschrijven en analyseren van deze milieu-indicator gebeurt analoog aan de milieu-indicator 'uitvoer van nutriënten'.

3 Stofboekhouding

De stofboekhouding omvat een opsomming van de in- en outputstromen binnen de verschillende sectoren, met inbegrip van de specifieke nutriëntenvormen en -concentraties. Voorraden zijn niet begroot, maar voor de knooppunten chemische en overige industrie, water en bodem is aangenomen dat er een ongekende voorraad van fosfor aanwezig is. Daarom is een sluitpost verandering van voorraad opgenomen om de in- en outputbalans in evenwicht te brengen. Voor deze stofboekhouding is de methodiek aangehouden van Viaene (1999) en Briffaerts & Wouters (2002), waarbij er gebruik gemaakt wordt van 13 knooppunten in het Vlaams Gewest. Gezien de resulterende stofstroomanalyse gebruikt wordt voor het bepalen van indicatoren voor de sectoren uit het Milieurapport Vlaanderen, zullen een aantal knooppunten en deelsectoren verder opgesplitst worden.

Tabel 2: Beschrijving knooppunten

Knooppunt in deze stofboekhouding en stofstroomanalyse	Algemene beschrijving en bijhorende sectoren en deelsectoren in het Milieurapport Vlaanderen
Voedingsindustrie	<p>Verwerkingsindustrie van voedingsproducten (uitgezonderd plantaardige en dierlijke productie), inclusief slachthuizen</p> <p>Sector 'industrie', deelsector 'voeding' met uitzondering van NACEBEL2008-code 10.9</p>
Veevoederindustrie	<p><i>Producenten van mengvoeders</i></p> <p>Sector 'industrie', deel van deelsector 'voeding' NACE-code 10.9</p>
Plantaardige productie	<p><i>Akkerbouw, tuinbouw, bosbouw</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Sector 'landbouw', deelsector 'akkerbouw & tuinbouw' • Sector 'landbouw', deel 1 van deelsector 'jacht, visserij, bosbouw, groenvoorziening'
Dierlijke productie	<p><i>Veeteelt, jacht en visserij</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Sector 'landbouw', deelsector 'veeteelt' (exclusief mestverwerking) • Sector 'landbouw', deel 2 van deelsector 'jacht, visserij, bosbouw, groenvoorziening'
Huishoudens en Handel & diensten	<p><i>Huishoudens, distributie- en dienstensector</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Sector 'huishoudens' • Sector 'handel & diensten'
Afvalverwerking	<p><i>Afvalverbranding, export en stort</i></p>

	Sector 'industrie', deel 1 van deelsector 'afval & afvalwater'
RWZI	<i>Rioolwaterzuiveringsinstallaties</i>
	Sector 'industrie', deel 2 van deelsector 'afval & afvalwater'
Transport en Energie	<i>Energieverwerking en transport</i>
	<ul style="list-style-type: none"> • Sector 'transport' • Sector 'energie', deelsector 'petroleumraffinaderijen' • Sector 'energie', deelsector 'aardgas' • Sector 'energie', deelsector 'biobrandstoffen (raffinage)' • Sector 'energie', deelsector 'overige energiebedrijven' (exclusief biogas) • Sector 'energie', deel 1 van extra deelsector 'biogas' • Sector 'energie', deelsector 'elektriciteit en warmte'
Biomassaverwerking	Mestverwerking, compostering, industriële vergisters
	<ul style="list-style-type: none"> • Sector 'landbouw', deelsector 'veeteelt' (exclusief biogas): mestverwerking • Sector 'energie', deel 2 van extra deelsector 'biogas'
Chemische en overige industrie	<i>Papier, meststoffen, voederfosfaten, metallurgie, fosforzuur, detergenten en cosmetica</i>
	<ul style="list-style-type: none"> • Sector 'industrie', deelsector 'chemie' (exclusief petroleumraffinaderijen en biobrandstoffen) • Sector 'industrie', deelsector 'metaal' • Sector 'industrie', deelsector 'textiel' • Sector 'industrie', deelsector 'papier' • Sector 'industrie', deelsector 'overige industrie'
Lucht	<i>Lucht</i>
	/
Water	<i>Oppervlaktewater</i>
	/
Bodem	<i>Bodem en grondwater</i>
	/

3.1 Voedingsindustrie

3.1.1 Algemene beschrijving

Het knooppunt voedingsindustrie omvat het geheel van de verwerkende voedingsindustrie: van de ruwe grondstoffen uit de landbouwsector tot het eindproduct dat verkocht wordt aan de consument. Dit knooppunt maakt deel uit van de deelsector “voeding” uit de sector “Industrie” volgens het Milieurapport Vlaanderen. De distributiesector wordt hier buiten beschouwing gelaten, omdat wordt aangenomen dat zij geen nutriënten toevoegen of verwijderen. Voedingsverliezen van de distributiesector worden toegewezen aan de voedingssector en zijn zichtbaar in de afvalstromen van de voedingssector.

De Vlaamse voedingsindustrie koopt N- en P-houdende grondstoffen aan bij de landbouwers, zowel plantaardige als dierlijke producten, of importeert ze. Na verwerking worden ze aan de huishoudens bezorgd via een distributiesector of geëxporteerd. De inputs van de voedingsindustrie komen dus van plantaardige productie, de dierlijke productie en uit import.

De verwerkte producten gaan naar huishoudens of worden geëxporteerd. Bijproducten van de voedingsindustrie kunnen door de veevoederindustrie verder verwerkt worden in krachtvoerders, of als voeder worden opgenomen in de dierlijke productie, of als bemesting worden gebruikt door de plantaardige productie, of als biomassa stroom worden verwerkt door vergisters of gecomposteerd worden, of kunnen bijvoorbeeld dienen als component van cosmetische producten in de chemische en overige industrie. Bijkomend zijn er ook afvalproducten en afvalwater. Verliezen van nutriënten naar het oppervlaktewater zijn ook gerapporteerd. Ook emissies naar lucht onder de vorm van NO_x en N₂ worden gerapporteerd.

Tabel 3: Beschrijving knooppunt voedingsindustrie

Input	Beschrijving
Import	Grondstoffen uit import
Dierlijke productie	Dierlijke productie uit Vlaamse veeteelt
Plantaardige productie	Plantaardige productie uit Vlaamse land- en tuinbouw
Output	Beschrijving
Export	Export van voedingsproducten (verwerkt of onverwerkt)
Huishoudens	Aankoop van voedingsproducten
Veevoederindustrie	Bij- en restproducten naar veevoederindustrie voor verwerking
Dierlijke productie	Bij- en restproducten naar dierlijke productie als voeder
Plantaardige productie	Bij- en restproducten als meststof (slib en schuimaarde)
Chemische en overige industrie	Bij- en restproducten te verwerken in chemische producten
Biomassaverwerking	Organisch biologisch afval voor verwerking (compostering, vergisting)
Afvalverwerking	Afval naar verbranding, stort of export
Openbare afvalwaterzuivering	Afvalwater naar openbare afvalwaterzuivering
Water	Emissies naar oppervlaktewater
Lucht (N ₂)	Emissies naar lucht
Lucht (NO _x)	Emissies naar lucht

3.1.2 Assumpties en berekeningen

3.1.2.1 Inputs

3.1.2.1.1 Inputstroom dierlijke productie

Voor de dierlijke productie wordt verondersteld dat alle geslachte dieren, geschikt voor consumptie of niet, naar de voedingsindustrie gaan. Slachthuizen alsook de verwerkers van karkassen maken dus deel uit van de voedingsindustrie. Afval uit dit knooppunt wordt naar de afvalverwerking gebracht. Tevens gaan de eieren en de geproduceerde melk ook naar de voedingsindustrie. Per diersoort en voor Vlaanderen zijn gegevens ingezameld over de tonnages geslachte dieren die ongeschikt zijn voor menselijke consumptie en de karkasgewichten van dieren die wel geschikt zijn voor consumptie (FOD economie, 2013). De karkasgewichten zijn omgerekend naar levend gewicht op basis van percentages gevonden in de literatuur (KU Leuven, 2013). Op basis van een geschatte verhouding in gewicht van beenderen, vlees en ingewanden en voor elk type weefsel zijn de N en P inhouden berekend (Afolayan et al., 2002; University of Cambridge, 2013). Voor een meer uitgebreide en gedetailleerde uitleg, inclusief bron- en datavermelding wordt verwezen naar het knooppunt dierlijke productie.

3.1.2.1.2 Inputstroom plantaardige productie

De inputstroom van plantaardige producten uit Vlaanderen is berekend in het knooppunt plantaardige productie op basis van areaalgegevens, opbrengsten en N- en P-inhouden per gewas (Lenders et al., 2012).

3.1.2.1.3 Inputstroom import

Het duurzaamheidsverslag van de Belgische voedingsindustrie (FEVIA, 2011) heeft de totale output van de voedingsindustrie in België (zie outputstromen, Tabel 4), inclusief export en afval becijferd. De totale output zou gelijk moeten zijn aan de totale input min verliezen naar milieu. 70% van de totale Belgische output (en dus ook input) wordt verondersteld uit Vlaanderen te komen (FEVIA, 2009) en is omgerekend in N- en P-hoeveelheden door het te vermenigvuldigen met de gewogen gemiddelde van N- en P-gehalten in voedingsproducten, respectievelijk 0,013 g N/g en 0,0015 g P/g (GfK, 2009; Dietgrail, 2013; zie bijlage). In de bijlage is aangegeven hoeveel voedingsproducten door de Vlaamse huishoudens werden geconsumeerd in 2009, aangevuld met de N- en P-inhouden. Op deze manier wordt een gewogen gemiddelde berekend van de N- en P-inhouden. De totale input in onderstaande formule is gelijk aan 70% van de totale output van de Belgische voedingsindustrie.

50% van de totale input wordt geïmporteerd en de overige 50% komt uit Vlaamse plantaardige en dierlijke producten (FEVIA, mondelinge toelichting). De fruit- en groenteveilingen zijn niet opgenomen in de gegevens van FEVIA en zijn dus toegevoegd aan de huidige berekening voor de stofboekhouding van de voedingsindustrie. De voedingsindustrie omvat in dit rapport niet enkel de verwerkende industrie maar dus ook de veilingen, in tegenstelling tot de gegevens van FEVIA. Bijkomende gegevens over de import van fruit en groenten zijn bekomen via het Vlaams Centrum voor Agro- en Visserijmarketing (VLAM) voor het jaar 2009 (VLAM, 2009). Deze cijfers voor België zijn ook omgerekend naar Vlaanderen op basis van de ratio van de bevolking in Vlaanderen en in België, namelijk 57%. De N- en P-inhouden van groenten en fruit, 0,015 gN/g en 0,0012 gP/g (Dietgrail, 2013) zijn vermenigvuldigd met de hoeveelheden: 2.576 kton groenten en 1.002 kton fruit (VLAM, 2009).

$$\text{Import} = 0.5 * \text{TotaleInput} * \text{NPinhoud}_{\text{product}} \\ + \% \text{Bevolking} * (\text{NPImportGroenten} + \text{NPImportFruit})$$

3.1.2.2 Outputs

De voornaamste outputstromen zijn de voedingsproducten die voor menselijke consumptie bedoeld zijn (Tabel 4). Hiervan gaan 50% naar export en 50% naar de Vlaamse huishoudens (FEVIA, mondelinge toelichting). FEVIA (2011) becijferde de outputs van de Belgische voedingsindustrie, 70% hiervan komt uit Vlaanderen (FEVIA, 2009).

Tabel 4: Geschatte massastromen van de voedingsindustrie aangepast voor Vlaanderen (70% van de Belgische outputs), (FEVIA, 2011)

Stroom (kton)	Min	Max
Producten voor menselijke consumptie (PMC)	14.000	17.500
Producten voor veevoeder (PV)	2.800	3.500
Compostering/bodemverbeteraars/biomethanisatie (CBB)	350	420
Industrie en energieverwerking (Ind)	700	1.050
Stortplaatsen	28	
Totaal	17.878	22.470

3.1.2.2.1 Outputstroom huishoudens en handel en diensten

De outputstroom naar huishoudens is berekend aan de hand van marktonderzoek. Hierbij registreren Vlaamse huishoudens uit een representatieve steekproef systematisch hun voedselaankopen (uitgevoerd door GfK). Een gedetailleerde lijst van producten (GfK, 2009) met bijhorende N- en P-inhouden (Dietgrail, 2013) laat toe om de N- en P-stromen uit voedingsproducten naar huishoudens te becijferen (zie bijlage). Per voedingsproduct worden de geconsumeerde hoeveelheden per inwoner en per jaar gegeven. Om de N- en P-stromen te berekenen is elke hoeveelheid vermenigvuldigd met de respectievelijke N- en P-inhouden (Dietgrail, 2013). Via deze berekening bekomt men het totaal van deze stroom van 33,62 kton N en 4,02 kton P.

$$VoedingHuishoudens(GfK) = \sum_{product} (Hoeveelheid_{product} * NPinhoud_{product})$$

De producten voor menselijke consumptie (PMC) aangegeven door FEVIA zijn ook omgerekend in N- en P-hoeveelheden door het te vermenigvuldigen met de gewogen gemiddelde N- en P-gehalten. 50% van de totale output wordt in Vlaanderen geconsumeerd (FEVIA, mondelinge toelichting). De gemiddelde N- en P-inhouden van de inputs van de voedingsindustrie zijn gelijk aan de gewogen gemiddelde van de N- en P-inhouden (0,013 gN/g en 0,0015 gP/g) van de voedingsproducten geconsumeerd in Vlaanderen (GfK, 2009; Dietgrail, 2013). De consumptie van groenten en fruit die niet verwerkt worden in de voedingsindustrie en in een rechte lijn door de distributiesector bij de huishoudens terechtkomt, is niet opgenomen in de gegevens uit Tabel 4. Aangezien er werd aangenomen dat alle plantaardige productie in Vlaanderen voor menselijke consumptie via de voedingsindustrie passeert, is de stroom in rechte lijn van distributie naar huishoudens zonder echte verwerking in de voedingsindustrie een stroom van importgoederen van groenten en fruit. Deze stroom wordt dus nog toegevoegd aan de output van de voedingsindustrie naar huishoudens op basis van gegevens van het VLAM over import van groenten en fruit in België voor directe consumptie. Deze wordt omgerekend naar Vlaanderen door het te vermenigvuldigen met de verhouding tussen de Vlaamse en de Belgische bevolking, namelijk 57%. De N- en P-inhouden van groenten en fruit (0,015 gN/g en 0,0012 gP/g) zijn vermenigvuldigd met de respectievelijke hoeveelheden (VLAM, 2009).

$$\begin{aligned} VoedingHuishoudens (FEVIA, VLAM) \\ = 0.5 * PMC * \frac{\sum_{product} (Hoeveelheid_{product} * NPinhoud_{product})}{\sum_{product} Hoeveelheid_{product}} \\ + \%Bevolking * (NPGroentenVL + NPFruitVL) \end{aligned}$$

Het verschil tussen de twee berekeningen is tamelijk groot (33,62 kton N en 4,02 kton P berekend met gegevens van GfK en 113,98 kton N en 13,38 kton P met gegevens van FEVIA). Dit leidt tot onzekerheden in de stofstroomanalyse. De gegevens van GfK houden geen rekening met de voedingsconsumptie buitenshuis en kan een deel van dit verschil verklaren. FEVIA vermeldt zelf ook dat de onzekerheid op hun informatie groot is. Er is dus gekozen om de berekening van GfK mee te nemen in de stofboekhouding omdat de methodiek preciezer is. Er wordt ook rekening gehouden met het feit dat dit cijfer mogelijks een onderschatting is.

3.1.2.2.2 Outputstroom export

Export van voedingsproducten is op dezelfde manier berekend als de import. Er zijn 2.409 kton groenten en 773 kton fruit geëxporteerd uit België in 2009 (VLAM, 2009).

$$Export = 0.5 * PMC * NPinhoud_{product} + \frac{VL \text{ tuinbouwareaal}}{BE \text{ tuinbouwareaal}} * (NPExportGroenten + NPExportFruit)$$

3.1.2.2.3 Outputstromen uit afval en bijproducten

Afval- of bijproducten uit de voedingsindustrie kunnen verbrand of gestort worden, verwerkt worden in de voedings- of veevoederindustrie, naar de chemische en overige industrie gaan, naar de dierlijke productie of naar de plantaardige productie. Bijproducten naar de chemische en overige industrie omvatten de substraten voor de productie van gisten en geneesmiddelen, en grondstoffen voor cosmetica en detergents. De bijproducten van de voedingsindustrie zijn verdeeld over verschillende knooppunten en als volgt berekend:

Tabel 5: Bij- en restproducten van de voedingsindustrie

Stroom	Bron
Bijproducten naar plantaardige productie (slibs en schuimaarde): zie knooppunt plantaardige productie	VLM, 2010
Bijproducten naar dierlijke productie: 5% van stroom naar veevoederindustrie (zie hieronder)	FEVIA, 2011
Bijproducten naar veevoederindustrie: 95% van stroom naar veevoederindustrie (zie hieronder)	FEVIA, 2011
Bijproducten naar biomassaverwerking: $CBB^1 \text{ (ton)} * NPinhoud^2 \text{ (\%)}$	¹ FEVIA, 2011 ² Dietgrail, 2013; GfK, 2009 (gemiddelde, zie hierboven)
Bijproducten naar chemische en overige industrie: $IND^1 \text{ (ton)} * NPinhoud^2 \text{ (\%)}$	¹ FEVIA, 2011 ² Dietgrail, 2013; GfK, 2009 (gemiddelde, zie hierboven)

3.1.2.2.4 Outputstroom naar veevoederindustrie en dierlijke productie

De outputstroom naar veevoerders aangegeven door FEVIA (PV, Tabel 4) bevat een aandeel bijproducten dat naar de veevoederindustrie gaat en een aandeel dat naar de dierlijke productie gaat. Er is gewerkt met een verdeling van 95% en 5% respectievelijk (FEVIA, mondelinge toelichting). Deze stroom is niet gedifferentieerd en omvat alle types veevoerders. De gemiddelde N- en P-inhoud van veevoerders is berekend op basis van de inhouden per type veevoeder (UGent, Tabel 6) en de relatieve hoeveelheden die naar de dierlijke productie gaan (BEMEFA, 2009). Een gewogen gemiddelde N en P-inhoud is op de volgende manier gekomen:

$$Gemiddelde \ NPinhoud \ Veevoeder = \sum_{type} (NPinhoud_{type} * \frac{Hoeveelheid_{type}}{Totale \ hoeveelheid})$$

Tabel 6: Berekening van de gemiddelde N- en P-inhoud van de mengvoeders op basis van tonnages

Type veevoeder	Totale productie, ton (BEMEFA, 2009)	g N/g (UGent, eigen berekening)	g P/g (UGent, eigen berekening)
Varkensvoeder	3.611.601	0,0267	0,00525
Pluimveevoeder	1.326.341	0,0343	0,00735
Rundveevoeder	1.028.115	0,0271	0,00467
Kalvervoeder	154.924	0,0320	0,00500
Paarden	113.116	0,0300	0,00500
Andere	37.224	0,0300	0,00500
Totaal	6.271.321	0,0285	0,00560

3.1.2.2.5 Outputstroom afval

De outputstromen naar afval omvatten enkel de organisch biologische stromen uit de voedingsproductie (verwerking) maar ook uit distributie en diensten gerelateerd aan voeding die naar verbranding gaan of gestort worden. De gegevens zijn ingezameld voor het jaar 2009 en verwerkt door OVAM in het Biomassa rapport (OVAM, 2013). De volgende stromen zijn gerapporteerd door OVAM: organisch biologisch afval uit de voedselproductie, distributie en diensten, het dierlijke afval (verwerkt of onverwerkt, van de verschillende categorieën C1, C2 of C3) en slibs. Deze stromen zijn vermenigvuldigd met hun respectievelijke N- en P-inhoud. Voor het organisch biologisch afval is gewerkt met een gemiddelde berekend op basis van de gegevens die gebruikt werden voor de stroom van voedingsindustrie naar huishoudens (zie hierboven; GfK, 2009; Dietgrail, 2013). De N- en P-inhoud van dierlijk afval zijn geschat op 0,075% N en 0,04% P (Wageningen Universiteit, 2010). De N- en P- inhoud van slibs zijn berekend in het knooppunt openbare afvalwaterzuivering. Ook FEVIA rapporteert een afvalstroom (Tabel 4). Deze is beduidend lager dan de gegevens van OVAM maar houdt geen rekening met het dierlijk afval wat het voornaamste deel is van deze stroom.

3.1.2.2.6 Outputstroom naar water

Tenslotte zijn er nog verliezen van nutriënten naar water. De emissies naar oppervlaktewater zijn berekend en gerapporteerd door VMM (2013). De voedingsindustrie omvat in dit geval echter ook de veevoederindustrie. Er is verondersteld dat 99% van de emissies naar oppervlaktewater afkomstig zijn van de voedingsindustrie en 1% van de veevoederindustrie. Lozingen naar de openbare afvalwaterzuivering zijn ook begroot (zie knooppunt openbare afvalwaterzuivering).

3.1.2.2.7 Outputstroom naar lucht

NO_x-emissies naar lucht zijn gerapporteerd in het MIRA, Milieurapport Vlaanderen (VMM, 2013) en geschat op 0,68 kton N. De stroom van N₂ is toe te schrijven aan de emissies door waterzuiveringsinstallaties.

3.1.3 Stofboekhouding

Tabel 7: Stofboekhouding van de voedingsindustrie

Input	Symbool	N (kton)	P (kton)
Dierlijke productie	F14	95,09 ±20,0%	8,94 ±20,0%
Plantaardige productie	F29	17,40 ±20,0%	3,10 ±20,0%
Import	F40	185,63 ±20,0%	24,40 ±20,0%
Totaal		298,12	36,44
Output	Symbool	N (kton)	P (kton)
Export	F42	129,04 ±20,0%	14,34 ±20,0%
Huishoudens	F22	33,62 ±20,0%	4,02 ±20,0%
Veevoederindustrie	F41	77,32 ±20,0%	13,91 ±20,0%
Dierlijke productie	F12	4,49 ±20,0%	0,88 ±20,0%
Plantaardige productie	F27	0,98 ±20,0%	0,15 ±20,0%
Chemische en overige industrie	F116	11,29 ±20,0%	1,35 ±20,0%
Biomassaverwerking	F90	4,97 ±50,0%	0,59 ±50,0%
Afvalverwerking	F2	11,20 ±10,0%	5,82 ±10,0%
Openbare afvalwaterzuivering	F89	0,44 ±10%	0,08 ±10%
Water	F43	0,34 ±10%	0,08 ±10%
Lucht (N ₂)	F178	1,52 ±10%	-
Lucht (NO _x)	F179	0,68 ±10%	-
Totaal		274,46	41,37

3.2 Veevoederindustrie

3.2.1 Algemene beschrijving

De inputs van de veevoederindustrie zijn afkomstig van import, van de plantaardige productie, van de voedingsindustrie en van de chemische en overige industrie. De voedingsindustrie levert bij- en restproducten van de voedselverwerking, zoals bietenpulp en schroten. De plantaardige productie levert voornamelijk granen en eiwithoudende planten. De chemische en overige industrie levert additieven voor de veevoeding (antibiotica, vitaminen, bewaarmiddelen,...).

De geproduceerde veevoerders worden ofwel geëxporteerd, ofwel in de Vlaamse veehouderij verbruikt. De veevoederindustrie loost ook nutriënten naar oppervlaktewater en openbare afvalwaterzuivering. Er is verondersteld dat er geen afval verbrand of gestort wordt. Emissies naar lucht worden verwaarloosbaar klein verondersteld.

Tabel 8: Beschrijving knooppunt veevoederindustrie

Input	Beschrijving
Import	Grondstoffen uit import
Plantaardige productie	Plantaardige grondstoffen voor veevoerders (granen, eiwithoudende planten)
Voedingsindustrie	Bij- en restproducten naar dierlijke productie als voeder
Chemische en overige industrie	Additieven voor de veevoerders
Output	Beschrijving
Export	Export van veevoerders
Dierlijke productie	Veevoerders voor Vlaamse veehouderij
Afvalwaterzuivering	Afvalwater naar Openbare afvalwaterzuivering
Water	Emissies naar oppervlaktewater

3.2.2 Assumpties en berekeningen

3.2.2.1 *Inputstromen*

Een gedetailleerde lijst van alle grondstoffen gebruikt in de Belgische veevoederindustrie zijn gebruikt voor het begroten van de inputstromen (BEMEFA, 2013). 92% van de Belgische input wordt in Vlaanderen verwerkt (BEMEFA, mondelinge toelichting). Elke massastroom is vermenigvuldigd met gemiddelde N- en P-inhouden. Deze zijn verondersteld gelijk te zijn aan de gemiddelde N- en P-inhouden van de mengvoerders gebruikt in Vlaanderen (Tabel 6). Elk product is daarna toegewezen aan één van de vier mogelijke knooppunten van herkomst (zie bijlage). Ter controle zijn de volgende gegevens vergeleken:

- Volgens deze berekening zou er 82 kton N en 34 kton P van de Vlaamse plantaardige productie naar de veevoederindustrie gaan. Het is echter mogelijk dat een deel van deze stroom geïmporteerd wordt. Er is ter bevestiging ook een tweede berekening gemaakt op basis van de gegevens gebruikt in de bodembalans (Lenders et al., 2012). 85% van de granen en eiwithoudende gewassen geteeld in Vlaanderen zijn verondersteld naar de veevoederindustrie te gaan (zie knooppunt plantaardige productie). Op deze manier wordt de stroom begroot op 22,3 kton N en 4,3 kton P. Het verschil tussen de twee berekeningen wordt geïmporteerd.
- Voor de inputstroom uit de voedingsindustrie zijn de cijfers van FEVIA ook vergeleken met berekeningen op basis van BEMEFA-cijfers (BEMEFA, 2013), en de resultaten kwamen overeen, namelijk 4,5 en 4,1 kton voor stikstof.

3.2.2.2 *Outputstromen*

Op dezelfde manier als voor de inputstromen, zijn de outputstromen begroot op basis van een gedetailleerde lijst over de Vlaamse veevoederindustrie (BEMEFA, 2013) en van de respectievelijke N- en P-inhouden. 92% van de Belgische outputs is in Vlaanderen geproduceerd (BEMEFA, mondelinge toelichting). Er is verondersteld dat een deel van de geproduceerde veevoerders voor export bestemd is.

Tabel 9: Massastromen (BEMEFA, 2013) en N- en P-inhouden (UGent, eigen berekening) van de outputs van de Belgische veevoederproductie (per type product)

Output	Massa (ton)	gN/g	gP/g
Melkveevoer	854.601	0,0271	0,00467
Mengvoeder (niet gespecificeerd)	396.389	0,0285	0,00559
Mineraalvoeders - productie (met uitzondering van eigen gebruik)	37.824	0,0285	0,00559
Overig mengvoeder	333.277	0,0285	0,00559
Pluimveevoeder	1.537.337	0,0343	0,00735
Rundveevoer: kalveren	177.034	0,0320	0,00500
Varkensvoer	3.995.730	0,0267	0,00525
Vleesveevoer	640.130	0,0271	0,00467
Voormengsel (<4 %) - productie	117.190	0,0285	0,00559
Voormengsel (>4 %) - productie	62.863	0,0285	0,00559

Elke massastroom is vermenigvuldigd met de respectievelijke N- en P-inhouden (Tabel 6). Deze resultaten zijn vervolgens opgeteld (214 kton N en 41 kton P). Een deel hiervan wordt geëxporteerd en is afgetrokken van de totale N- en P-stromen.

Er is verondersteld dat een deel van de geproduceerde veevoeders voor export bestemd is. Dit percentage is verondersteld gelijk te zijn aan de percentage Belgische veevoeders dat naar export gaat (BEMEFA, 2009), namelijk 10%, plus het percentage dat naar Wallonië gaat (8,46%). Dit laatste is berekend op basis van het verbruik van veevoeders per diersoort in België (BEMEFA, 2009; Tabel 10) en de verdeling van de veestapel (FOD Economie, 2013a; Tabel 11), waarbij we met veevoeder BE verwijzen naar de in België geproduceerde veevoeders voor Belgisch verbruik:

$$Veevoeder VL_{soort} = \frac{Veestapel VL_{soort}}{Veestapel BE_{soort}} * veevoeder BE_{soort}$$

$$Veevoeder W \%_{soort} = \frac{(Veevoeder BE_{soort} - Veevoeder VL_{soort})}{Veevoeder BE_{soort}}$$

$$Veevoeder W \% = \frac{\sum_{soort}(Veestapel VL_{soort} * Export W \%_{soort})}{\sum_{soort} Veestapel VL_{soort}}$$

- ⇒ Productie in België: 92% in Vlaanderen, 8% in Wallonië
- ⇒ Consumptie:
 - 10% export (of 9,2% uit Vlaanderen en 0,8% uit Wallonië)
 - 90% in België, waarvan 17,4% in Wallonië en 82,6% in Vlaanderen
 - Wallonië kan aan 7,2% voldoen (8%-0,8%) van zijn eigen consumptie
 - Vlaanderen exporteert 8,46% naar Wallonië (17,4%*90%-7,2%=8,46%)

Tabel 10: Veevoeder BE soort (veevoeder voor Belgisch verbruik per soort; BEMEFA, 2009)

Totale productie in België (ton)	Naar binnenlands verbruik
Varkensvoeder	3.525.755
Pluimveevoeder	1.081.199
Rundveevoeder	938.585
Kalvervoeder	152.182
Paarden	97.413
Andere	30.890

Tabel 11: Veestapel in België (BE) en in Vlaanderen (VL) per soort in het jaar 2009 (FOD Economie, 2013a)

	BE	VL
Runderen	2.600.453	1.296.510
Varkens	6.321.055	5.933.238
Schape	126.219	76.571
Geiten	31.668	21.319
Hoefdieren	36.535	22.753
Pluimvee	33.239.904	27.941.404

De emissies naar oppervlaktewater zijn berekend voor de voedingsindustrie door VMM, dienst Meetnet Afvalwater. Er wordt hier verondersteld dat 99% van de emissies naar oppervlaktewater afkomstig zijn van de voedingsindustrie en 1% van de veevoederindustrie. Lozingen naar de openbare afvalwaterzuivering zijn ook begroot (zie Knooppunt Openbare afvalwaterzuivering).

3.2.3 Stofboekhouding

Tabel 12: Stofboekhouding van de veevoederindustrie

Input	Symbool	N (kton)	P (kton)
Plantaardige productie	F28	22,30 ±10,0%	4,20 ±10,0%
Voedingsindustrie	F41	77,32 ±20,0%	13,91 ±20,0%
Import	F84	100,44 ±10,0%	18,44 ±10,0%
Chemische en overige industrie	F85	9,61 ±10,0%	6,62 ±10,0%
Totaal		209,67	43,17
Output	Symbool	N (kton)	P (kton)
Dierlijke productie	F10	178,78 ±20,0%	34,25 ±20,0%
Export	F48	39,50 ±10,0%	7,57 ±10,0%
Water	F86	0,01 ±10,0%	0,00 ±NaN
Openbare afvalwaterzuivering	F117	0,00 ±NaN	0,00 ±NaN
Totaal		218,29	41,82

3.3 Plantaardige productie

3.3.1 Algemene beschrijving

De plantaardige productie omvat de Vlaamse akkerbouw en tuinbouw. De inputstromen zijn afkomstig van verschillende bronnen: het verbruik van kunstmeststoffen uit de chemische en overige industrie, van dierlijke mest, van slib en schuimaarde uit de voedingsindustrie, van organische meststoffen uit biomassaverwerking (digestaat, compost). Tevens is er ook biologische stikstoffixatie en atmosferische depositie van stikstof. De belangrijkste inputbronnen zijn de dierlijke mest en de kunstmeststoffen. De dierlijke mest is afkomstig uit de Vlaamse dierlijke productie, op een kleine importstroom na van paardenmest en grensboeren. De kunstmeststoffen worden verondersteld afkomstig te zijn van de chemische en overige industrie (zowel de lokaal geproduceerde als de geïmporteerde kunstmeststoffen).

De outputstromen kunnen opgedeeld worden in twee grote delen: de landbouwproducten en de emissies naar het milieu. Qua landbouwproducten gaan de plantaardige producten naar de voedingsindustrie (akkerbouwgewassen, groenten en fruit), naar de veevoederindustrie en naar de dierlijke productie. Qua emissies zijn er de emissies van stikstofhoudende stoffen naar lucht, de emissies van N en P naar water (oppervlaktewater) en bodem (inclusief grondwater).

Tabel 13: Beschrijving knooppunt plantaardige productie

Input	Beschrijving
Lucht (N ₂)	Biologische stikstoffixatie
Lucht (NH ₃ - NO _x)	Atmosferische depositie
Chemische en overige industrie	Minerale meststoffen
Dierlijke productie	Dierlijke mest
Voedingsindustrie	Bij- en restproducten als meststof (slib en schuimaarde)
Biomassaverwerking	Digestaat, groen- en GFT-compost
Output	Beschrijving
Voedingsindustrie	Plantaardige producten voor voeding
Dierlijke productie	Ruwvoerders (grassen, groenbedekkers, voederbieten ...)
Veevoederindustrie	Plantaardige producten te verwerken in veevoerders (granen)
Lucht (NH ₃)	NH ₃ -emissies naar lucht
Lucht (N ₂ O)	N ₂ O-emissies naar lucht
Lucht (N ₂)	N ₂ -emissies naar lucht
Lucht (NO)	NO-emissies naar lucht
Bodem	Emissies naar grondwater en accumulatie in de bodem
Water	Emissies naar oppervlaktewater

3.3.2 Assumpties en berekeningen

3.3.2.1 *Inputstromen*

Twee bronnen zijn gebruikt voor het berekenen van de inputstromen, namelijk de Bodembalans van de Vlaamse landbouw, opgesteld voor het jaar 2009 (Lenders et al., 2012) en het voortgangsrapport van VLM van 2010 (VLM, 2010):

- Kunstmestgebruik (Lenders et al., 2012): het gebruik van kunstmest is berekend op basis van het gemiddeld gebruik van kunstmest per gewas en per hectare, vermenigvuldigd met het areaal per gewas in Vlaanderen. 66,99 kton N en 1,43 kton P werden verbruikt op landbouwbodems. De gegevens rond het kunstmestgebruik zijn in dit geval gebaseerd op het boekhoudnet van de Vlaamse overheid. Ondanks het feit dat er slechts gegevens van een steekproef gebruikt zijn in plaats van de totale populatie in het geval van VLM gegevens worden deze cijfers toch als accurater ingeschat.
In het voortgangsrapport van VLM (VLM, 2010) blijkt het kunstmestgebruik beduidend lager, namelijk 39,4 kton N en 1,3 kton P. Deze gegevens zijn gebaseerd op de jaarlijkse aangiften van de landbouwers bij Mestbank en zijn waarschijnlijk een onderschatting van het werkelijk gebruik.
- Dierlijke mestgebruik (Lenders et al., 2012 en VLM, 2010): dit omvat de dierlijke mest die op de landbouwbodems terecht komt en waarbij de stikstofemissies uit stal en opslag al zijn afgetrokken. Deze emissies komen terug in het knooppunt dierlijke productie. De berekening zijn uitgevoerd in de Bodembalans en door de VLM, namelijk 100,38 kton N en 21,16 kton P (Lenders et al., 2012) en 101,04 kton N en 20,39 kton P (VLM, 2010). Het verschil tussen deze twee cijfers is te wijten aan het tijdstip van rapportering en een verschillende afbakening.
- Stikstof uit de atmosfeer (Lenders et al., 2012 en VMM, 2012): N-depositie komt voor op de Vlaamse landbouwbodems en is berekend op gemeenteniveau (gemiddelde stikstofdepositie per gemeente en per hectare vermenigvuldigd met het landbouwareaal per gemeente). Bovendien kunnen stikstoffixerende gewassen (namelijk de vlinderbloemigen) ook stikstof uit de lucht onttrekken. Gemiddelde cijfers over de stikstoffixatie zijn hiervoor gebruikt en vermenigvuldigd met het areaal aan stikstoffixerende gewassen in Vlaanderen.
- Gebruik van digestaat, groen- en GFT-compost, slibs en schuimaarde: deze stromen zijn in detail berekend in het VLM voortgangsrapport (VLM, 2010). De slibs en schuimaarde zijn afkomstig uit de voedingsindustrie, terwijl digestaat en compost uit de verwerking van biomassa. Uit de bodembalans blijkt dat 1,16 kton N en 0,365 kton P uit andere meststoffen zijn verbruikt. Uit het VLM voortgangsrapport kennen we de verdeling tussen de verschillende types meststoffen. De totale hoeveelheden komen ongeveer overeen met de berekeningen uit de Bodembalans.

Meer informatie over de berekeningen staat in de geciteerde rapporten.

3.3.2.2 *Outputstromen*

De producten uit de Vlaamse plantaardige productie zijn bestemd voor de voedingsindustrie (voornamelijk fruit en groenten, deel van de granen), de dierlijke productie (grassen, voedergrassen) en de veevoederindustrie (voornamelijk granen). Elk teelt is verdeeld over de drie knooppunten:

- Tuinbouw: voedingsindustrie;

- Granen: 85% naar veevoederindustrie, 15% naar voedingsindustrie (Boerenbond, mondelinge toelichting);
- Grassen: dierlijke productie;
- Voedergewassen (zoals voederbieten, -rapen, -kool, -wortelen, silomaïs, klaver): dierlijke productie;
- Eiwithoudende planten (zoals droge erwten): veevoederindustrie.

De uitgebreide lijst wordt voorgesteld in de bijlage per knooppunt. Wat de productie van gewassen voor verwerking naar biofuels betreft, is verondersteld dat deze in Vlaanderen voor het jaar 2009 laag zijn ten opzichte van de totale geproduceerde gewassen. De voornaamste in Vlaanderen geteelde gewassen gebruikt voor de productie van biodiesel en bioethanol zijn silomaïs, tarwe en koolzaad.

Gegevens uit het Landbouwmonitoringsnetwerk beschrijven per gewas het areaal, de opbrengst in 2009 en de stikstof- en fosforinhouden (Lenders et al., 2012). Dit is begroot op 151,9 kton N in 2009. Op basis hiervan en van de verdeling tussen de drie knooppunten zijn de stromen begroot.

Tabel 14: Berekening per outputstroom van de plantaardige productie

Berekening	Eenheid	Bron
<i>Output =</i>	Ton NP	
$\sum_{teelt} (Opbrengst_{teelt}$	Ton/ha	LMN
<i>* Areal</i> _{teelt}	Ha	LMN
<i>* InhoudNP</i> _{teelt}	%	LMN

Voor stikstof aan outputzijde moet men ook rekening houden met emissies naar lucht. NH₃ komt als gas vrij uit dierlijke mest en kunstmest bij het uitrijden van de mest op akkers en weiden. NO_x wordt geproduceerd in de bodem na mestgebruik en uit de verbranding van energiedragers. N₂O komt vrij tijdens de processen van nitrificatie en denitrificatie en wordt gestimuleerd door gebruik van stikstofrijke meststoffen. Deze stromen zijn berekend in het knooppunt lucht. Ook N₂ komt vrij uit de landbouwbodems en is verondersteld twee maal zo groot te zijn als de N₂O stroom.

Stikstof en fosfor stromen ook door naar de bodem en naar het oppervlaktewater. Uit de bodembalans (Lenders et al., 2012) blijkt dat er een overschot van stikstof bestaat gelijk aan 30,6 kton N (+/-10,3) en voor fosfor bestaat er een tekort van 0,0 (+/- 2,7) kton P. De verliezen naar oppervlaktewater worden hier ook inbegrepen en worden dus afgetrokken van dit overschot in de stofboekhouding. De verliezen naar oppervlaktewater zijn begroot met het SENTWA-model door VMM (VMM, 2013a). Daarnaast dienen ook de N-emissies vanuit de bodem naar de lucht afgetrokken te worden van het resterende overschot. Deze N-emissies zijn op te delen in N₂O en N₂ emissies uit denitrificatie in de bodem. Het verschil tussen het overschot van de bodembalans en de emissies naar oppervlaktewater en lucht duidt aan hoeveel nutriënten naar het grondwater sijpelt of worden onttrokken aan de bodem. Deze wordt ingeschat op basis van bovenstaande berekening op 3,03 kton N en -1,14 kton P.

3.3.3 Stofboekhouding

Tabel 15: Stofboekhouding van de plantaardige productie

Input	Symbool	N (kton)	P (kton)
Dierlijke productie	F13	100,38 ±20,0%	21,16 ±20,0%
Chemische en overige industrie	F25	68,99 ±10,0%	1,43 ±10,0%
Lucht (N-depositie)	F26	17,30 ±10,0%	-
Voedingsindustrie	F27	0,98 ±20,0%	0,15 ±20,0%
Lucht (N-fixatie)	F87	5,49 ±10,0%	-
Biomassaverwerking	F144	2,41 ±50,0%	0,32 ±50,0%
Bodem	F176	-	1,14 ±2,70%
Totaal		195,55	24,20
Output	Symbool	N (kton)	P (kton)
Dierlijke productie	F11	112,00 ±10,0%	15,80 ±10,0%
Veevoederindustrie	F28	22,30 ±10,0%	4,20 ±10,0%
Voedingsindustrie	F29	17,40 ±10,0%	3,10 ±10,0%
Biomassaverwerking	F143	0,88 ±20,0%	0,07 ±20,0%
Lucht (NH ₃)	F118	12,73 ±10,0%	-
Lucht (NO _x)	F121	2,85 ±10,0%	-
Lucht (N ₂ O)	F119	3,32 ±10,0%	-
Lucht (N ₂)	F120	4,98 ±10,0%	-
Water	F54	19,27 ±10,0%	1,14 ±10,0%
Bodem	F176	3,03 ±10,29%	-
Totaal		198,76	24,31

3.4 Dierlijke productie

3.4.1 Algemene beschrijving

De nutriënten stromen het knooppunt dierlijke productie langs vier kanalen binnen: import van levende dieren, veevoerders uit veevoederindustrie en uit de voedingsindustrie, en ruwvoerders uit de plantaardige productie. De import van veevoerders is opgenomen in de veevoederindustrie.

De output wordt verdeeld over: geslachte dieren naar voedingsindustrie, levende dieren voor export, melk en eieren productie naar voedingsindustrie en mest. De slachthuizen en kadaververwerkende industrie maken in deze studie deel uit van het knooppunt voedingsindustrie. Zowel geschikte als ongeschikte dieren voor menselijke consumptie gaan dus naar de voedingsindustrie. Afval hieruit stroomt verder naar de afvalverwerking. De productie van melk en eieren gaat volledig naar de

voedingsindustrie. De export ervan vertrekt vanuit dit laatste knooppunt. Mest kan op landbouwbodems gebruikt worden voor de plantaardige productie of worden verwerkt.

Tabel 16: Beschrijving knooppunt dierlijke productie

Input	Beschrijving
Veevoederindustrie	Veevoerders voor Vlaamse veehouderij
Plantaardige productie	Ruwvoerders (grassen, voederbieten,...)
Voedingsindustrie	Bij- en restproducten naar dierlijke productie als voeder
Import	Import van levende dieren
Output	Beschrijving
Plantaardige productie	Mest voor bemesting in de plantaardige productie
Voedingsindustrie	Dierlijke producten (dieren, melk, en eieren)
Export dierlijke mest	Export van dierlijke mest
Biomassaverwerking	Mestverwerking
Export	Export van levende dieren
Lucht (NO _x)	NO _x -emissies naar lucht
Lucht (NH ₃)	NH ₃ -emissies naar lucht
Lucht (N ₂ O)	N ₂ O-emissies naar lucht
Lucht (N ₂)	N ₂ -emissies naar lucht

3.4.2 Assumpties en berekeningen

3.4.2.1 Inputstromen

De veevoerders kunnen uit drie verschillende bronnen afkomstig zijn: de plantaardige productie, de veevoederindustrie of de voedingsindustrie. De nutriënten in grassen, voedergewassen en groenbedekkers stromen van de plantaardige naar de dierlijke productie en zijn berekend op basis van opbrengst- en areaalgegevens, en de bijhorende N- en P-inhouden (zie knooppunt plantaardige productie). De inputstroom uit de veevoederindustrie wordt berekend in het knooppunt veevoederindustrie. De inputstroom van de voedingsindustrie is aangegeven door FEVIA als 5% van de totale hoeveelheid bijproducten die als veevoeder worden gebruikt. De overige 95% gaan naar de veevoederindustrie (FEVIA, mondelinge toelichting). De berekeningen hiervoor worden meer expliciet gedetailleerd in het knooppunt voedingsindustrie.

Voor de levende dieren uit import zijn Belgische statistieken gebruikt (Tabel 17; FOD Economie, 2013e). Uit de Landbouwenquête van 2009 (FOD Economie, 2013a) kent men het aandeel per diersoort dat in Vlaanderen wordt geproduceerd (Tabel 18). Men gaat ervan uit dat dezelfde aandelen toegepast kunnen worden op de import gegevens om de Vlaamse import gegevens te berekenen. Deze gegevens zijn omgerekend naar levend gewicht om de totale N- en P-stromen te kunnen berekenen. De berekeningen hieronder gelden ook voor export.

$$Import VL_{soort} = Import BE_{soort} * \frac{Veestapel VL_{soort}}{Veestapel BE_{soort}} * Slacht\ rendement_{soort}^{-1}$$

$$Import VL = \sum_{soort} Import VL_{soort} * NPinhoud$$

Tabel 17: Invoer van levende dieren in kg karkasgewicht, Import BE_{Soort} (FOD Economie, 2013e)

Rund en kalf	Varken	Schapen en geiten	Paarden	Kippen	Ander gevogelte	Konijnen en wild
25.986	75.632	1.835	1.834	245.783	1.064	8.373

Tabel 18: Percentage Vlaamse veestapel ten opzichte van Belgische veestapel (FOD Economie, 2013a)

Veestapel	Verdeling
Runderen	0,50
Koeien	0,47
Varkens	0,94
Schapen	0,61
Geiten	0,67
Paardachtigen	0,62
Pluimvee	0,84
Konijnen	0,84
Overige	0,89

Tabel 19: N- en P- inhouden, en massaverdeling van weefseltypes in dieren (op basis van Afolayan et al., 2002; University of Cambridge, 2013)

	P (g/g)	N (g/g)	Massaverdeling
Beenderen	0,095	0,0455	11,02%
Vlees	0,002	0,0413	47,14%
Ingewanden	0,002	0,0413	41,84%

Het gewogen gemiddelde van de N- en P-inhouden wordt berekend door de specifieke inhouden te vermenigvuldigen met de massaverdeling. Zo is een N-inhoud van 0,0418 g N/g en een P-inhoud van 0,0122 g P/g bekomen.

Tabel 20: Slachtrendement (karkasgewicht/levend gewicht) (KU Leuven, 2013)

Vleeskuiken: 0,75
Kalkoen: 0,80
Schaap: 0,50
Rund: 0,60
Varken: 0,80

3.4.2.2 Outputstromen

Naast mest en emissies naar lucht, zijn de belangrijkste outputs vlees, melk, eieren, en afval. Slachthuizen alsook kadaververwerkende bedrijven zijn een onderdeel van het knooppunt voedingsindustrie. Zowel levende als dode dieren die naar het slachthuis of naar kadaververwerkende bedrijven gaan zijn dus een outputstroom van het knooppunt dierlijke productie naar de voedingsindustrie. Het dierlijk afval dat hieruit voortkomt kan een bijproduct zijn dat gebruikt wordt in de voedingsindustrie, veevoederindustrie en chemische en overige industrie (vb. cosmetica of verf). Dierlijk afval gaat ook naar afvalverwerking (OVAM, 2013). Dit is een deel van de stroom die van voeding naar afval gaat.

Tabel 21: Outputs van de dierlijke productie

Dierlijk product	Bestemming
Geslachte dieren geschikt voor consumptie (incl. afval)	Voedingsindustrie
Geslachte dieren niet geschikt voor consumptie	Voedingsindustrie
Levende dieren voor export	Export
Eieren	Voedingsindustrie
Melk	Voedingsindustrie
Mest	Landbouw en verwerking

Per diersoort en voor Vlaanderen zijn gegevens beschikbaar over de tonnages geslachte dieren die ongeschikt zijn voor menselijke consumptie (Rendac, 2009) en de karkasgewichten van dieren die wel geschikt zijn voor consumptie (FOD Economie, 2013b). De karkasgewichten zijn omgerekend naar levend gewicht op basis van percentages gevonden in de literatuur, zie Tabel 20. Op basis van KU Leuven (2013) is een schatting gemaakt van de verhouding in gewicht voor de beenderen, het vlees en de ingewanden (zie bijlage) en voor elk type weefsel de N en P inhouden.

Tabel 22: Berekeningen van de outputs van de dierlijke productie naar de voedingsindustrie

Berekening		
<i>Output dierlijke producten naar voedingsindustrie =</i>	Ton NP	
$\sum_{\text{soort}} ((\text{Slacht ongeschikt}_{\text{soort}})$	Ton (opgehaald, totaal gewicht)	Rendac, 2009 (gegevens voor Vlaanderen)
$+ (\text{Slacht geschikt}_{\text{soort}} + \text{Invoer}_{\text{soort}} - \text{Uitvoer}_{\text{soort}})$	Ton (karkasgewicht)	FOD Economie, 2013b en 2013e (gegevens voor België)
$* \text{Vlaamse productie}_{\text{soort}}$	%	BEMEFA, 2009
$* \text{Levend gewicht}_{\text{soort}}$	Ratio	Literatuur ¹
$* \text{NP Inhoud Dier}_{\text{soort}}$	%	Literatuur ²
$+ (\text{Eieren VL} + \text{Invoer Eieren} - \text{Uitvoer Eieren})$	Ton	FOD Economie, 2013d (gegevens voor Vlaanderen)
$* \text{NP Inhoud Eieren}$	%	Literatuur ³
$+ (\text{Melk VL} + \text{Invoer Melk} - \text{Uitvoer Melk})$	Ton	FOD Economie, 2013c (gegevens voor Vlaanderen)
$* \text{NP inhoud Melk}$	%	Literatuur ³

¹Ratios (kg levend gewicht/kg karkasgewicht): Runderen: 100/60; Varkens: 100/75; Kippen en ander gevogelte: 100/75; Schapen en geiten: 100/50; Paarden: 100/60; Konijnen en wild: 100/75, zie Tabel 20

²Gewogen gemiddelde van massapercentage en N&P-inhouden van beenderen, vlees en ingewanden.
Massapercentages: 11% beenderen, 47% vlees, 41% ingewanden, zie Tabel 19

N&P-inhouden: 0,045% N en 0,095% P in beenderen, 0,041% N en 0,002% P in vlees en ingewanden

³Dietgrail, 2013

Tabel 23: Geslacht gewicht van de dieren geslacht in slachthuizen, onderworpen aan de keuring en geschikt verklaard voor het gebruik, in Vlaanderen, in 2009 (FOD Economie, 2013b)

Runderen	197.992.251
Varkens	915.043.759
Schape	186.197
Geiten en geitjes	3.792
Paarden en veulens	2.299.518
Gevogelte	394.488.522

Tabel 24: Opgehaalde tonnages van dieren niet geschikt voor consumptie in Vlaanderen, 2009 (Rendac, 2009)

Rendac (BE)	ton
Varken	23.916
Zeug	12.238
Rund >1 jaar	12.730
Rund <1 jaar	2.912
Kalf	3.328
Schaap/Geit	713
Paard	1.949
Veulen	97
Big	5.375
Lam	112
Pluimvee	5.430
Subtotaal	68.799
Diversen	316
Opgehaald tonnage	69.114

Tabel 25: Melkproductie, -uitvoer en -invoer in Vlaanderen (FOD Economie, 2013c)

Melk (ton)	Totale productie	Uitvoer	Invoer	Menselijke voeding
Volle melk	301.021	116.569	73.852	258.817
Afgeroomde	26.642	14.803	5.369	17.495
Yoghurt	146.514	132.582	67.810	82.358
Melkdranken	64.453	74.731	14.046	3.947
Andere verse producten	41.965	0	0	42.019
Verbruiksroom	65.448	28.892	12.870	49.418
Condensmelk	42.911	23.210	26.224	41.630
Poeder van volle melk/room	31.743	54.234	38.553	18.780
Poeder van afgeroomde melk	44.125	43.659	34.537	32.583
Boter	45.136	65.991	61.881	28.648
Kaas	34.265	47.823	109.384	90.617
Smeltkaas	17.231	20.683	11.915	8.507
Totaal	861.454	623.178	456.440	674.821

Tabel 26: Productie, uitvoer en invoer van eieren (FOD Economie, 2013d)

Totaal eieren (*1.000 stuks)	
Productie	2.034.564
Uitvoer	1.362.660
Invoer	1.299.685
Menselijke consumptie	1.492.751 (94.640 ton)

De stikstof en fosfor gehalten in melk zijn geschat op 0,005 g N/g (Grappin and Horwitz, 1988) en 0,00094 g P/g (Dietgrail, 2013). Voor eieren is dit geschat op 0,0008 g N/g (Buchi, 2010) en 0,0019 g P/g (Dietgrail, 2013).

Voor de export van levende dieren wordt dezelfde methodologie gevolgd als voor import (zie hoger). Onderstaande tabel geeft de uitvoer van levende dieren aan in ton karkasgewicht.

Tabel 27: Uitvoer van levende dieren (ton karkasgewicht) (FOD Economie, 2013e)

Rund en kalf	Varken	Schape en geiten	Paarden	Kippen	Ander gevogelte	Konijnen en wild
32.869	16.646	56	1.257	23.212	18	8.710

Het voortgangsrapport van VLM (2010) geeft het mestverbruik door de plantaardige productie en de export van mest. De export van mest in VLM (2010) is berekend op basis van de geregistreerde transportdocumenten van mesttransporten.

De emissies naar lucht zijn bepaald op basis van gegevens van het MIRA (VMM, 2013a). De emissies worden geproduceerd tijdens het stallen en opslaan van mest en tijdens het verbruik van brandstoffen voor transport en verwarming. De emissies tijdens het uitrijden van mest zijn opgenomen in het knooppunt plantaardige productie.

Ook in het afvalwater uit de melkveehouderij is een relatief belangrijke concentratie aan stikstof en fosfor terug te vinden. Deze stroom kan op basis van de BBT-studie veeteelt (VITO, 2006) ingeschat worden op respectievelijk 0,07 kton N en 0,10 kton P. Omwille van het minieme belang van deze stroom in de totale nutriëntenstroom en het feit dat de bestemming van dit afvalwater niet gekend is, wordt dit niet meegenomen. In de praktijk zal een deel van deze stroom verwerkt worden in lokale zuiveringsinstallaties en een deel zal met de dierlijke mest uitgevoerd worden op het land. In spuiwater van luchtwassers is een concentratie van 30 tot 100 g N/l terug te vinden. In 2009 werden 31.732.751 l spuiwater geregistreerd in de Vlaamse landbouwsector (VLM, schriftelijke toelichting). Dit leidt tot een N-stroom van minimaal 0,95 tot maximaal 3,17 kton N. In het geval van biologische luchtwassers kan het stikstofbevattende water gemengd worden met mest en worden uitgereden op landbouwpercelen. Het kan ook opnieuw hergebruikt worden voor de reiniging van stallen bijvoorbeeld na het omzetten van de nitrieten en nitraten in stikstofgas. Het spuiwater van chemische luchtwassers kan niet met mest worden gemengd maar mag wel op de akkers worden uitgereden. Afhankelijk van de bestemming van het spuiwater zou deze stroom moeten opgesplitst worden naar verschillende knooppunten. Deze verdeling is niet gekend en er wordt verondersteld dat deze al in rekening werden gebracht in het knooppunt plantaardige productie onder de inputstromen van bemesting.

3.4.3 Stofboekhouding

Tabel 28: Stofboekhouding van de dierlijke productie

Input	Symbol	N (kton)	P (kton)
Veevoederindustrie	F10	178,78 ±20,0%	34,25 ±20,0%
Plantaardige productie	F11	112,00 ±10,0%	15,80 ±10,0%
Voedingsindustrie	F12	4,49 ±20,0%	0,88 ±20,0%
Import	F38	16,95 ±20,0%	0,81 ±20,0%
Totaal		312,23	51,74
Output	Symbol	N (kton)	P (kton)
Plantaardige productie	F13	100,38 ±20,0%	21,16 ±20,0%
Voedingsindustrie	F14	95,09 ±20,0%	8,94 ±20,0%
Export mest	F16	4,02 ±20,0%	1,27 ±20,0%
Export levende dieren	F39	3,53 ±20,0%	0,17 ±20,0%
Biomassaverwerking	F17	20,66 ±5,7%	5,48 ±20,0%
Lucht (NH ₃)	F122	18,74 ±10,0%	-
Lucht (NO _x)	F125	2,42 ±10,0%	-
Lucht (N ₂ O)	F123	0,77 ±10,0%	-
Lucht (N ₂)	F124	1,15 ±10,0%	-
Totaal		246,77	37,02

3.5 Huishoudens en Handel & diensten

3.5.1 Algemene beschrijving

De huishoudens in Vlaanderen kopen voedingsproducten en niet-voedingsproducten aan. De voedingsproducten zijn enkel afkomstig uit de voedingsindustrie. De distributiesector wordt hier buiten beschouwing gelaten, omdat wordt aangenomen dat de distributie geen nutriënten toevoegt of verwijdert. Voedingsverliezen van de distributiesector worden toegewezen aan de voedingssector en zijn zichtbaar in de afvalstromen van de voedingssector. De import van producten wordt verondersteld te zijn opgenomen in het knooppunt van herkomst, dus de import van voedingsproducten wordt opgenomen in het knooppunt voedingsindustrie. De niet-voedingsproducten komen van het knooppunt chemische en overige industrie. Belangrijke stromen zijn de detergents, bemestingsproducten en bestrijdingsmiddelen gebruikt in de privé tuinen, cosmetica, enz. Er is ook productie van NO_x bij het verbranden van brandstof voor transport en verwarming.

De input van stikstof en fosfor in huishoudens komt uiteindelijk terecht in de knooppunten afvalverwerking, water en biomassaverwerking. Stromen naar de openbare afvalwaterzuivering worden hier ook berekend. Enkel de GFT-stromen en restafval die verbrandt, gestort, of geëxporteerd worden, gaan naar het knooppunt afvalverwerking. De GFT-stromen die vergist of gecomposteerd worden gaan naar het knooppunt biomassaverwerking. De N- en P-stromen naar het water (oppervlaktewater) komen van de huishoudens die niet op een openbare afvalwaterzuiveringsinstallatie zijn aangesloten. De stromen naar lucht zijn voornamelijk afkomstig van gebouwenverwarming en off-road emissies (van bijvoorbeeld grasmaaiers, tuingereedschap en vervoer op niet openbare weg). Emissies van auto's zijn opgenomen in het knooppunt transport en energie.

Tabel 29: Beschrijving knooppunt huishoudens en handel & diensten

Input	Beschrijving
Voedingsindustrie	Consumptie van voedingsproducten
Chemische en overige industrie	Consumptie van niet-voedingsproducten
Biomassaverwerking	Organische producten als bemesting voor privégebruik
Lucht (N ₂)	N ₂ input voor verwarming en off-road transport
Output	Beschrijving
Afvalverwerking	Organische biologisch afval naar verbranding, stort of export
Openbare afvalwaterzuivering	Afvalwater naar Openbare afvalwaterzuivering
Water	Emissies naar water
Biomassaverwerking	Organisch biologisch afval naar compostering, vergisting
Lucht (NO _x)	NO _x -emissies naar lucht
Lucht (NH ₃)	NH ₃ -emissies naar lucht
Lucht (N ₂ O)	N ₂ O-emissies naar lucht

3.5.2 Assumpties en berekeningen

3.5.2.1 *Inputstromen*

De import van levensmiddelen door de huishoudens is verondersteld verwaarloosbaar te zijn en werd dus op nul gesteld.

De aankoop van voedingsproducten wordt in het knooppunt voedingsindustrie besproken.

De aankoop van niet-voedingsproducten (namelijk detergents, cosmetica, tuinproducten, enz.) is berekend op basis van de literatuur. Uit een Europese studie (Ott & Rechberger, 2012) blijkt dat 83 kton P (+/- 10%) wordt verbruikt in detergents en 20 kton P (+/- 70%) in cosmetica en andere fosforhoudende producten. Deze gegevens zijn omgerekend naar Vlaanderen door middel van het bevolkingspercentage. Vlaanderen heeft 1,57% van de Europese bevolking (Vlaanderen: 6.209.000 (www.vlaanderen.be), EU-15: 396.340.334 (epp.eurostat.ec.europa.eu)). Deze aanname houdt geen rekening met economische toestand van de verschillende regio's in de Europese Unie. Een alternatieve berekening maakt gebruik van bruto nationaal product maar deze is niet weerhouden in deze studie. Er is verondersteld dat het verbruik van N in niet-voedingsproducten 5 maal het verbruik van P is.

De inputstroom van N₂ is gelijkgesteld aan de stikstofemissies van dit knooppunt geproduceerd tijdens het verbranden van brandstof voor verwarming en transport (op niet-openbare weg).

3.5.2.2 *Outputstromen*

De nutriënten in de voedingsproducten die instromen vanuit de voedingsindustrie gaan verder naar afvalverwerking, openbare afvalwaterzuiveringsinstallaties, en naar verwerking van biomassa. De hoeveelheid afval wordt bepaald op basis van de gegevens uit het Biomassa verslag van OVAM (2013). Enkel de stromen van organisch biologisch afval die in het restafval te vinden zijn en verbrand worden, worden hier meegenomen. Dit wordt verder besproken in het knooppunt afvalverwerking. De nutriënten die naar de openbare afvalwaterzuivering stromen en naar biomassaverwerkingsinstallaties worden begroot in de bijhorende knooppunten.

Er wordt ook rekening houden met de emissies naar lucht en naar oppervlaktewater. Deze gegevens worden besproken in de knooppunten lucht en water, respectievelijk. De emissies uit verwarming en off-road verbrandingsmotoren zijn opgenomen in dit knooppunt en gerapporteerd in het Milieurapport Vlaanderen. Emissies naar oppervlaktewater houden ook rekening met de sector handel & diensten.

3.5.3 Stofboekhouding

Tabel 30: Stofboekhouding van de huishoudens en handel & diensten

Input	Symbol	N (kton)	P (kton)
Voedingsindustrie	F22	33,62 ±200,0%	4,02 ±200,0%
Chemische en overige industrie	F23	8,09 ±22,0%	1,62 ±40,0%
Biomassaverwerking	F139	2,30 ± 50,0%	0,49 ± 50,0%
Lucht (N ₂)	F182	4,03 ±10,0%	-
Totaal		48,04	6,13
Output			
Afvalverwerking	F8	12,44 ±10,0%	1,00 ±10,0%
Openbare afvalwaterzuivering	F19	19,79 ±10,0%	3,35 ±10,0%
Water	F20	6,41 ±10,0%	1,15 ±10,0%
Biomassaverwerking	F191	3,10 ±20,0%	0,64 ±20,0%
Septisch slib RWZI	F220	0,45 ±20,0%	0,25 ±20,0%
Lucht (NH ₃)	F127	1,23 ±10,0%	-
Lucht (NO _x)	F128	3,18 ±10,0%	-
Lucht (N ₂ O)	F129	0,63 ±10,0%	-
Lucht (N ₂)	F133	0,27 ±10,0%	-
Totaal		47,50	6,39

3.6 Afvalverwerking

3.6.1 Algemene beschrijving

Enkel het organisch biologisch afval (OBA) dat naar verbranding, stort of export gaat wordt hier weerhouden. N- en P-houdend afval wordt geproduceerd door de huishoudens, de voedingsindustrie, de chemische en overige industrie en de openbare afvalwaterzuiveringsinstallaties. De afvalstromen die hergebruikt, gerecycleerd of verwerkt worden tot grondstoffen, vertrekken als output uit de afvalproducerende knooppunten en zijn input van andere knooppunten. Organisch biologisch afval dat vergist of gecomposteerd wordt, stroomt van het knooppunt waar de afval ontstaat naar het knooppunt biomassaverwerking. De voedingsindustrie produceert slibs, OBA en dierlijk afval. De huishoudens leveren OBA in het restafval. De chemische en overige industrie heeft afvalstromen van hout, slibs en OBA in restafval en de openbare afvalwaterzuiveringsinstallaties produceren slibs.

De afvalstromen worden verbrand, gestort of geëxporteerd. De verbranding resulteert in assen en emissies naar lucht. Er is verondersteld dat alle stikstof wordt omgezet in gassen (NO_x, NH₃ en N₂),

terwijl de fosfor in de assen blijft. Deze assen worden verder gestort of gaan naar de chemische en overige industrie om verder verwerkt te worden. Bij de afvalverwerking ontstaat ook afvalwater (knooppunt openbare afvalwaterzuivering).

Tabel 31: Beschrijving knooppunt afvalverwerking

Input	Beschrijving
Huishoudens	OBA in restafval naar verbranding
Voedingsindustrie	OBA, slibs en dierlijk afval naar verbranding, export of stort
Chemische en overige industrie	Hout, OBA en slibs naar verbranding
Openbare afvalwaterzuivering	Slibs naar verbranding
Output	Beschrijving
Afvalwaterzuivering	Afvalwater naar de openbare afvalwaterzuivering
Export	P-assen
Lucht (NO _x)	NO _x -emissies naar lucht
Lucht (NH ₃)	NH ₃ -emissies naar lucht
Lucht (N ₂)	N ₂ -emissie naar lucht
Export	Afval naar export
Stort	Gestort afval

3.6.2 Assumpties en berekeningen

3.6.2.1 Inputstromen

De inputstromen zijn gerapporteerd door OVAM in de biomassa inventarisatie (2013). Per stroom is de origine en de bestemming beschreven (Tabel 32). Elke inputstroom wordt dan vermenigvuldigd met de N- en P-inhouden (Tabel 33). Het organisch biologisch afval is verondersteld dezelfde concentraties te hebben als voor voeding. De slibs uit de voedingsindustrie en de chemische en overige industrie hebben een stikstofgehalte van 1,5% (Sede, 2013) en een fosforgehalte van 2,5% (OVAM, mondelinge toelichting). De N- en P-inhouden van dierlijk afval zijn geschat op 0,075 g N/g en 0,04 g P/g (Wageningen Universiteit, 2010).

Tabel 32: Massastromen van OBA (ton) (OVAM, 2013)

Inputs	Hout	OBA selectief	Dierlijk afval	Slibs	OBA in restafval
Huishoudens (F8)					829.551
Chemische en overige industrie (F1)	75.000			199.645	344.559
Voedingsindustrie (F2)		5.232	145.221	146	
Openbare afvalwaterzuivering (F3)				91.115	

Tabel 33: N- en P-inhoud van verschillende afvalstromen

	N-inhoud (gN/g)	P-inhoud (gP/g)	Bron
Hout	0,007	0,0012	UGent, meting
Slib	0,015	0,0250	N: Sede, 2013 P: OVAM, mondelinge toelichting
Organisch biologisch afval (OBA)	0,015	0,0012	Gewogen gemiddelde voedsel (zie knooppunt Voedingsindustrie)
Dierlijk afval	0,077	0,0400	Wageningen Universiteit, 2010

3.6.2.2 Outputstromen

Voor de outputstromen naar export of stort zijn dezelfde hoeveelheden (Tabel 34) en gehalten (Tabel 33) gebruikt als in de biomassa inventarisatie van OVAM (2013). Outputstromen naar verbranding produceren emissies naar lucht voor stikstof en fosforrijke assen. Deze hoeveelheden zijn gelijkgesteld aan de inputstromen die naar verbranding gaan. Het Milieुरapport Vlaanderen schat de NO_x-emissie op 0,56 kton N. De verbranding van deze afvalstoffen gebeurt zonder de productie van thermische NO_x-emissies in grote verbrandingsinstallatie met rookgasreiniging. Het Milieुरapport Vlaanderen heeft ook emissies van ammoniak geregistreerd en de nutriëntstromen naar de openbare afvalwaterzuivering begroot (zie knooppunt openbare afvalwaterzuivering). De stroom van N₂ naar lucht en van P in de assen naar export is berekend op basis van het verschil tussen de inputstromen en de berekende outputstromen (export, stort, openbare afvalwaterzuivering, lucht NO_x).

Tabel 34: Massastromen van OBA per type afvoer (ton) (OVAM, 2013)

Outputs	Hout	OBA selectief	Dierlijk afval	Slibs	OBA in restafval
Stort (F130)		5.232			
Verbranding (F245)	75.000		76.701	290.906	1.174.110
Export (F15)			68.520		

3.6.3 Stofboekhouding

Tabel 35: Stofboekhouding van de afvalverwerking

Input	Symbol	N (kton)	P (kton)
Chemische en overige industrie	F1	8,69 ±10,0%	5,50 ±10,0%
Voedingsindustrie	F2	11,20 ±10,0%	5,91 ±10,0%
Huishoudens	F8	12,44 ±10,0%	1,00 ±10,0%
Openbare afvalwaterzuivering	F3	3,71 ±10,0%	2,81 ±20,0%
Totaal		36,05	15,21
Output	Symbol	N (kton)	P (kton)
Export	F15	0,09 ±10,0%	2,74 ±10,0%
Openbare afvalwaterzuivering	F60	0,01 ±10,0%	0,00 ±10,0%
Export (P-assen)	F245	-	12,37 ±10,0%
Stort	F130	5,24 ±10,0%	0,01 ±10,0%
Lucht (NH ₃)	F205	0,00 ±10,0%	-
Lucht (NO _x)	F206	0,56 ±20,0%	-
Lucht (N ₂)	F183	30,14 ±20,0%	-
Totaal		36,06	15,12

3.7 Openbare afvalwaterzuivering

3.7.1 Algemene beschrijving

De openbare afvalwaterzuivering heeft tot doel het afvalwater afkomstig van de huishoudens en een deel van de industrie te zuiveren. Dit knooppunt omvat zowel de rioleringsinfrastructuur als de rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI) en kleinschalige waterzuiveringsinstallaties (KWZI). De nutriënteninput naar de openbare afvalwaterzuivering is in de eerste plaats afkomstig van de huishoudens, voedingsindustrie, de veevoederindustrie, de papierindustrie, afvalverwerking, transport en energie en de overige chemische industrie (Tabel 36). Voor elk van deze sectoren wordt een deel van het afvalwater via de riolering naar de afvalwaterzuivering geleid. Via openingen in het rioleringsnetwerk komt regenwater en infiltratiewater (grondwater) de afvalwaterzuivering binnen. Overstorten leiden tot lozingen vanuit de riolering naar het oppervlaktewater, zonder zuivering. Daarnaast is er ook input van septisch slib voor de vergistingsinstallatie van de RWZI die zowel septisch slib als waterzuiveringsslib behandelt. De nutriënten in het huishoudelijke en industriële afvalwater zullen grotendeels verwijderd worden tijdens het zuiveringsproces en worden op deze manier geëmitteerd naar de lucht (N₂ en N₂O) of zijn terug te vinden in het waterzuiveringsslib (afvalverwerking). De nutriënten die niet verwijderd worden uit het afvalwater, komen met het gezuiverde water terecht in het oppervlaktewater (knooppunt water).

Tabel 36: Algemene beschrijving knooppunt openbare afvalwaterzuivering

Input	Beschrijving
Voedingsindustrie	Afvalwater afkomstig van de voedingsindustrie
Veevoederindustrie	Afvalwater afkomstig van de veevoederindustrie
Afvalverwerking	Afvalwater afkomstig van afvalverwerking
Transport en energie	Afvalwater afkomstig van transport- en energiesector
Chemische en overige industrie	Afvalwater afkomstig van de chemische en overige industrie
Huishoudens en handel & diensten	Afvalwater afkomstig van de huishoudens, handel & diensten en andere consumptiegroepen
Lucht	Aanvoer van regenwater
Bodem	Aanvoer van infiltratiewater
Huishoudens en handel & diensten	Aanvoer van septisch slib voor slibverwerking op RWZI
Output	Beschrijving
Water	Emissies naar oppervlaktewater
Water	Overstort naar oppervlaktewater
Lucht	Emissies naar lucht
Afvalverwerking	Slib naar afvalverwerking

3.7.2 Assumpties en berekeningen

3.7.2.1 Afvalwaterzuivering

De vuilvracht van de huishoudens naar de openbare afvalwaterzuivering is berekend op basis van het aantal inwoners dat aangesloten is op de openbare afvalwaterzuivering (VMM zone A) (VMM, 2010e) en de huishoudelijke afvalwatersamenstelling (inwonersequivalent) volgens de rekenregels van Aquafin (Tabel 37). Deze afvalwatersamenstelling is verkozen boven de cijfers van EPAS (9,7 g N/IE/dag en 1,4 g P/IE/dag) (EPAS, 2001) aangezien deze een onderschatting zijn, wat blijkt na vergelijking met metingen en rekenregels in andere Europese landen, zoals aangegeven in o.a. Henze (1997).

Tabel 37: Definitie inwonersequivalent (Marjoleine Weemaes, Aquafin, persoonlijke communicatie, 17 juni 2013)

Component	Hoeveelheid
Huishoudelijk afvalwater	120 L/dag
Stikstof	12 g/dag
Fosfor	2 g/dag

Daarnaast bevat het knooppunt huishoudens en handel & diensten eveneens de deelsectoren die onder handel & diensten vallen. Het afvalwater van deze deelsectoren is opgeteld bij het huishoudelijk afvalwater (VMM, 2010a; VMM, 2010b; VMM, 2010c):

- Wasserijen;
- Overige gezondheidszorg;
- Ziekenhuizen;
- Onderwijs;

- Kantoren & administratie;
- Eet- & drinkgelegenheden;
- Verschaffen van accommodatie;
- Handel;
- Andere diensten.

De huishoudens en handel & diensten produceerden in 2009 206 433 161 m³ afvalwater met een vracht van 19,79 kton N en 3,35 kton P (zie bijlage).

Voor het afvalwater afkomstig uit de voedingsindustrie is de som genomen van de vervaardiging van voeding, dranken en de winning en distributie van water (VMM, 2010a; VMM, 2010b; VMM, 2010c). Het afvalwater van het knooppunt transport en energie is de som van het afvalwater van de sectoren uit de emissie-inventaris water (VMM) transport & verkeer en energie & warmte. Verder is de chemische industrie de verzamelnaam van de afvalwaters afkomstig van de overige industriële deelsectoren die niet opgenomen zijn in Tabel 36 (zie bijlage).

Voor de begroting van het totale in- en effluentdebiet en de stikstof- en fosforvracht is de som gemaakt voor de 233 RWZI's en KWZI's (kleinschalige waterzuiveringsinstallaties) in Vlaanderen (zie bijlage). In totaal behandelden de rioolwaterzuiveringsinstallaties in 2009 686.175.892 m³ afvalwater, met een vuilvracht van 23,98 kton N en 3,53 kton P (Tabel 38).

Het riool- en collectorenstelsel is beveiligd met een overstort die in werking treedt bij hevige regen. Er wordt aangenomen dat 2% van het afvalwaterdebiet en 4% van de vuilvracht op deze manier ongezuiverd in het oppervlaktewater wordt geloosd (Marjoleine Weemaes, Aquafin, persoonlijke communicatie, 17 juni 2013). Het influent van de afvalwaterzuiveringsinstallaties bevat hierdoor slechts 98% van de geproduceerde hoeveelheid afvalwater en 96% van de stikstof- en fosforvracht, waardoor er in totaal 700.179.482 m³ afvalwater is geproduceerd met een vracht van 24,98 kton N en 3,68 kton P. De overstort is daardoor begroot op 14.003.590 m³ met 1,00 kton N en 0,15 kton P.

De som van het industriële afvalwater en het afvalwater van huishoudens (227.374.061 m³/j) draagt voor 32,5% bij aan het totale afvalwaterdebiet (700.179.482 m³/j). Het overige debiet (67,5%) is, na overleg met Aquafin, in gelijke volumetrische delen verdeeld onder regenwater en het infiltratiewater afkomstig van grondwater. De gemiddelde stikstofconcentratie in dit regen- en grondwater is respectievelijk 1,16 mg/l N en 9,7 mg/l N (VMM, 2013a; VMM, 2013b), waardoor de infiltratie van regenwater 0,27 kton N en grondwater 2,29 kton N toevoegen aan de afvalwatervracht.

De nutriënten in het huishoudelijke en industriële afvalwater worden grotendeels verwijderd tijdens het zuiveringsproces. De nutriënten die niet verwijderd worden uit het afvalwater, komen met het gezuiverde water terecht in het oppervlaktewater. Tabel 38 toont dat beide nutriënten in hoge mate verwijderd worden uit het afvalwater.

Tabel 38: Gemiddelde verwijderingspercentage van het door de openbare afvalwaterzuivering behandelde afvalwater in 2009 (VMM, 2010d)

	Stikstof	Fosfor
Influent	23,98 kton N/jaar	3,53 kton P/jaar
Effluent	5,06 kton N/jaar	0,55 kton P/jaar
Verwijderingsefficiëntie	78,9%	84,5%

De uit het water verwijderde nutriënten komen terecht in het waterzuiveringsslib (voor N en P) of worden geëmitteerd naar de lucht (enkel voor N, als N_2 of N_2O). Het deel van de stikstof dat terechtkomt in het slib is het gevolg van assimilatorische opname, en het deel geëmitteerd naar de atmosfeer is het gevolg van biologische nitrificatie/denitrificatie.

Uit de data (zie 3.7.2.2) hieronder volgt dat waterzuiveringsslib een stofstroom van 3.755 ton N/jaar vertegenwoordigt, waaruit kan besloten worden dat 20% van de verwijderde stikstof tot biomassa omgezet wordt, en 80% tot gasvormige verbindingen. Er wordt daarbij verondersteld dat 0,8% van de inkomende stikstofvracht (0,19 ton N) geëmitteerd wordt als N_2O (persoonlijke communicatie Aquafin) en 99,2% als N_2 (15,09 ton N).

Voor fosforverwijdering kunnen vier mechanismen onderscheiden worden, waarbij assimilatorische opname door het slib het belangrijkste mechanisme is (Tabel 39).

Tabel 39: Theoretisch verwacht aandeel van de vier fosforverwijderingsmechanismen in de totale P-verwijdering in Vlaanderen (Marjoleine Weemaes, Aquafin, persoonlijke communicatie, 3 mei 2013), gelinkt aan de gemeten P-verwijdering

P-verwijderingsroute	Bijdrage tot P-verwijdering	kton P/jaar
Assimilatorische opname door het slib	65%	1,94
Gebonden aan ijzer	17%	0,51
Gebonden aan aluminium	9%	0,27
Bio-P met behulp van polyfosfaat-accumulerende organismen	8%	0,24

Naast het inkomend afvalwater behandelt de waterzuivering eveneens de vloeibare fractie van de slibvergistinginstallaties (zie 3.7.2.2). Gezien de slibvergisting ook septisch slib behandelt, dient de nutriëntenfractie van het vergist septisch slib (dunne fractie) aan het influent van de afvalwaterzuivering worden toegevoegd. De volledige stofboekhouding voor de afvalwaterzuivering is weergegeven in Tabel 40.

Tabel 40: Stofboekhouding voor de afvalwaterzuivering binnen de openbare afvalwaterzuiveringsinstallaties (zonder slibverwerking)

Input	m³/j	N (kton/j)	P (kton/j)
Voedingsindustrie	6.378.682	0,44	0,08
Veevoederindustrie	17.843	0	0
Afvalverwerking	885.042	0,01	0,001
Transport en energie	513.263	0,01	0,001
Chemische industrie	13.146.070	0,47	0,04
Huishoudens en handel & diensten	206.433.161	19,79	3,35
Regen (water)	236.402.710	0,27	0
Infiltratiewater (grondwater-bodem)	236.402.710	2,29	0
Totaal	700.179.482	23,23	3,47
Influent (incl. naar overstort)	700.179.482	24,98	3,68
Recirculatie vergist septisch slib		0,11	0,01
Totaal input		25,10	3,69
Output	m³/j	N (kton/j)	P (kton/j)
Overstort	14.003.589	1,00	0,15
Effluent	686.046.694	5,06	0,55
Actief slib	91.593 tonDS/j	3,76	2,99
N ₂ O		0,19	
N ₂		15,09	
Totaal output		25,10	3,68

De totale flux van afvalwater (zie Totaal in Tabel 40) die berekend is als de som van het afvalwater afkomstig van de industrie, huishoudens en infiltratiewater bevat 7,03% minder stikstof en 5,59% minder fosfor dan de stroom die berekend wordt als de gemeten influentvracht (som RWZI's en KWZI's), inclusief de overstort. Deze discrepantie is voornamelijk te wijten aan de aannames gemaakt bij het definiëren van het inwonersequivalent en de begroting van de overstortfractie. Via de inbouw van onzekerheden wordt deze inconsistentie in de stofstroomanalyse statistisch verwerkt.

3.7.2.2 Slibverwerking door RWZI

De samenstellingen en hoeveelheden slib zijn bekomen via Aquafin (Tabel 41). Van het geproduceerde waterzuiveringslib in 2009 is 35,6% vergist, al dan niet na bijmenging van septisch materiaal. Tijdens de vergisting wordt een deel van de gebonden stikstof en fosfor vrijgesteld naar de waterfase. Na slibontwatering wordt deze waterige fractie in de praktijk teruggestuurd naar de afvalwaterbehandelingslijn in de RWZI. De nutriënten in dit vloeibaar digestaat zijn berekend op basis van het verschil tussen de stikstofvracht in het slib voor en na vergisting. Voor het P-gehalte in het actief slib is gebruik gemaakt van het verschil tussen de P-concentraties in het in- en effluent van de waterzuiveringsinstallaties, aangezien dit een betere inschatting geeft van de reële P-concentratie (3,26% i.p.v. 2,27%)

Tabel 41: Stromen van slib en septisch materiaal binnen het knooppunt openbare afvalwaterzuivering. N- en P-gehalten zijn een gemiddelde van alle types slib (Marjoleine Weemaes, Aquafin, persoonlijke communicatie, 3 mei 2013)

Input	kton DS/jaar	% N	kton N/jaar	% P	kton P/jaar
Actief slib niet naar vergisting	58.942	4,10	2,42	3,26	1,92
Actief slib naar vergisting	32.651	4,10	1,34	3,26	1,06
Septisch slib (naar vergisting)	10.964	4,10	0,45	2,27	0,25
Output	kton DS/jaar	% N	kton N/jaar	% P	kton P/jaar
Niet vergist slib	58.942	4,10	2,42	3,26	1,92
Dikke fractie van vergiste mengsel van actief slib en	32.642	3,95	1,29	2,79	0,91
Recirculatie van de waterige fractie van vergist septisch slib			0,11		0,01
Recirculatie van de waterige fractie van vergist actief slib en septisch naar de afvalwaterzuivering			0,50		0,40

Slib en het vergiste mengsel van slib en septisch materiaal stroomt door naar de slibverwerking, met verbranding, co-verbranding en stortplaatsafdichting als finale bestemmingen (Tabel 42). In totaal verlaat er 3,71 kton N en 2,81 kton P het knooppunt openbare afvalwaterzuivering als slib voor slibverwerking. De as na (co-)verbranding wordt gedeeltelijk industrieel benut, o.a. bij de productie van bakstenen en Hydrostab®, en wordt gedeeltelijk gestort. De exacte verdeling van deze finale afzetwegen is niet bekend.

Tabel 42: Verwerkingsfaciliteiten voor de slibs en gerelateerde eindbestemmingen (Marjoleine Weemaes, Aquafin, persoonlijke communicatie, 3 mei 2013)

Slibverwerking	% niet vergist slib	% vergist slib en vergist septisch materiaal	Bestemming
Drogers	23,5	52,8	Co-verbranding
Sleco	26,7	27,4	Co-verbranding
Hooge Maey	12,8	6,2	Stortplaatsafdichting
Brugge	37,1	12,7	Verbranding
Remondis	0,0	0,9	Co-verbranding

Op basis van de bestemmingspercentages en slibsamenstellingen, zijn stofstromen naar de bestemmingen gekwantificeerd (Tabel 43). Hieruit volgt dat de meerderheid van de nutriënten (61% van de stikstof en 38% van de fosfor) in co-verbrandingsinstallaties terecht komt.

Tabel 43: Stofstromen van slib, ingedeeld per verwerkingsbestemming (Marjoleine Weemaes, Aquafin, persoonlijke communicatie, 3 mei 2013)

Type slib	Slibverwerking	kton DS/jaar	kton N/jaar	kton P/jaar
Niet vergist slib	Verbranding	21,87	0,90	0,71
	Co-verbranding	29,59	1,21	0,96
	Stortplaatsafdichting	7,55	0,31	0,24
Vergist slib en vergist septisch slibmateriaal	Verbranding	4,15	0,16	0,12
	Co-verbranding	26,47	1,05	0,74
	Stortplaatsafdichting	2,02	0,08	0,06
Totaal	Verbranding	26,01	1,06	0,61
	Co-verbranding	56,06	2,26	1,41
	Stortplaatsafdichting	9,57	0,39	0,23

3.7.3 Stofboekhouding openbare afvalwaterzuivering

De volledige stofboekhouding van de openbare afvalwaterzuivering, inclusief de afvalwaterbehandeling en slibverwerking is weergegeven in Tabel 44. Deze stofboekhouding combineert de boekhouding van de afvalwaterzuivering (Tabel 40) en de slibverwerking (Tabel 41).

Tabel 44: Stofboekhouding openbare afvalwaterzuivering

Input	Symbool	Debiet (m ³ /j)	N (kton/j)	P (kton/j)
Voedingsindustrie	F89	6.378.682	0,44 ±10,0%	0,08 ±10,0%
Veevoederindustrie	F117	17.843	0 ±10,0%	0 ±10,0%
Afvalverwerking	F60	885.042	0,01 ±10,0%	0,001 ±10,0%
Transport en energie	F110	513.263	0,01 ±10,0%	0,001 ±10,0%
Chemische industrie	F111	13.146.070	0,41 ±10,0%	0,04 ±10,0%
Huishoudens en handen & diensten	F19	206.433.161	19,79 ±10,0% 10,0%	3,35 ±10,0%
Lucht (regen)	F184	236.402.710	0,27 ±10,0%	0 ±0,0%
Bodem (infiltratiewater)	F219	236.402.710	2,29 ±10,0%	0 ±0,0%
Huishoudens en handel & diensten (septisch slib)	F220	10.964 kton DS/j	0,45 ±10,0%	0,25 ±10,0%
Totaal			23,68	3,72
Output	Symbool	Debiet (m ³ /j)	N (kton/j)	P (kton/j)
Water (overstort)	F221	14.003.589	0,999 ±20,0%	0,15 ±20,0%
Water (effluent)	F108	686.046.694	5,059 ±10,0%	0,55 ±10,0%
Lucht (N ₂)	F243		15,28 ±20,0%	0 ±0,0%
Lucht (N ₂ O)	F244		0,19 ±20,0%	0 ±0,0%
Afvalverwerking (slib)	F3		3,708 ±10,0%	2,81 ±20,0%
Totaal			25,05	3,51

3.7.4 Rechtstreekse lozing van afvalwater

Naast het afvalwater dat gezuiverd wordt op de openbare afvalwaterzuivering wordt er ook afvalwater rechtstreeks geloosd in het oppervlaktewater. Deze lozingen gebeuren al dan niet na zuivering op de bedrijfssite of via de individuele behandeling van afvalwater (IBA) bij de huishoudens of afbraak in septische putten bij huishoudens zonder IBA (Tabel 45). Deze emissies zijn onderdeel van de totale emissies naar het oppervlaktewater bekomen via het VMM Milieurapport Vlaanderen (VMM, 2013a). Deze bron maakt geen onderscheid tussen de deelstromen die naar de openbare waterzuivering gaan en die via riool, IBA of rechtstreeks naar het oppervlaktewater gaan. Tabel 45 toont deel stroom die naar het oppervlaktewater gaat, zonder behandeling in de openbare afvalwaterzuivering.

Tabel 45: Emissies naar oppervlaktewater zonder behandeling door de openbare afvalwaterzuivering (VMM, 2010a; VMM, 2010b; VMM, 2010c)

Sector	Debiet (m ³ /j)	N (kton/j)	P (kton/j)
Voedingsindustrie	32.830.986	0,34	0,08
Veevoederindustrie	105.215	0	0
Plantaardige productie	6.418	0	0
Afvalverwerking	4.151.901	0,08	0,005
Transport en energie	7.749.965	0,05	0,003
Chemische en overige industrie	123.834.507	1,08	0,15
Handel & diensten	4.483.212	0,11	0,03
Huishoudens zonder IBA	579.860	6,28	1,11
Huishoudens met IBA	1.210.200	0,02	0,01

Sommige bedrijven gaan voor de lozing afvalwater op het oppervlaktewater instaan voor de eigen afvalwaterzuivering. Aangezien tijdens de waterzuivering nutriënten verloren gaan via denitrificatie of opgenomen worden in het slib, is het voor het sluiten van de massabalans van belang om naast de emissies naar het milieu eveneens de stikstof- en fosforvrucht van het onbehandeld afvalwater te bekomen per knooppunt. Hiervoor is verondersteld dat de stikstof- en fosforconcentraties in het afvalwater van de sectoren dat behandeld wordt door de openbare afvalwaterzuivering representatief is voor het onbehandeld afvalwater van de sectoren (Tabel 46). Het verschil in stikstof- en fosforvrucht tussen dit onbehandeld afvalwater en de emissies naar het oppervlaktewater zijn bijgevolg nutriënten die tijdens het zuiveringsproces op de bedrijfssite verwijderd worden. Doordat deze stromen in de praktijk evenwel vaak gering zijn, is deze stroom (N₂-gas en slib) bij de stofstroomanalyse enkel in rekening gebracht voor het knooppunt voedingsindustrie en chemische en overige industrie

Tabel 46: Ongezuiverd afvalwater dat niet behandeld wordt door de openbare afvalwaterzuivering per sector en voor zuivering op bedrijf of IBA (VMM, 2010a; VMM, 2010b; VMM, 2010c)

Sector	Debiet (m ³ /j)	N (kton/j)	P (kton/j)
Voedingsindustrie	32.830.986	2,26	0,40
Veevoederindustrie	105.215	0,002	0
Plantaardige productie	6.418	0	0
Afvalverwerking	4.151.901	0,05	0,004
Transport en energie	7.749.965	0,17	0,02
Chemische en overige industrie	123.834.507	4,72	0,48
Huishoudens met IBA	1.210.200	0,04	0,01

3.8 Transport en energie

3.8.1 Algemene beschrijving

Het knooppunt transport en energie bevat de processen voor centrale energieproductie en transport. Het omvat de elektriciteitscentrales (op steenkool en aardgas), de processen van warmtekrachtkoppeling zoals beschreven in het Milieurapport Vlaanderen, en transport (goederen- en personenvervoer van alle sectoren). De inputstromen van dit knooppunt zijn de grondstoffen voor de centrale energieproductie, namelijk steenkool, aardolie, biomassa en gas die verbruikt worden tijdens de verbrandingsprocessen. Daarnaast wordt stikstofgas uit de lucht onttrokken, door thermische reactie tot reactieve stikstofcomponenten (NO_x). De outputstromen zijn voornamelijk de emissies naar milieu (lucht en water) en de nutriëntenfluxen in het afvalwater. De fosforrijke assen uit verbranding van grondstoffen gaan naar de cementindustrie.

Tabel 47: Beschrijving knooppunt transport en energie

Input	Beschrijving
Import N ₂	N ₂ in aardgas en in lucht voor verbrandingsprocessen
Import	Grondstoffen voor energieproductie (steenkool en stookolie)
Output	Beschrijving
Chemische en overige industrie	P-rijke assen
Afvalwaterzuivering	Afvalwater naar de openbare afvalwaterzuivering
Water	Emissies naar water
Lucht (NO _x)	NO _x -emissies naar lucht
Lucht (NH ₃)	NH ₃ -emissies naar lucht
Lucht (N ₂ O)	N ₂ O-emissies naar lucht

3.8.2 Assumpties en berekeningen

3.8.2.1 Inputstromen

De grondstoffen uit import zijn steenkool, stookolie en aardgas. Tabel 48 toont alle inputstromen van de energiesector. Biomassa is in dit knooppunt niet meegenomen. De nucleaire warmte en andere brandstoffen zijn verder niet mee in rekening genomen omdat deze geen stikstof of fosfor te bevatten. Voor elke overblijvende inputstroom worden de gegevens in Joule omgezet naar

hoeveelheden en vervolgens naar N-stromen. Gassen hebben een energierendement van 38,87 MJ/m³ (Wilcock, 2005) waarbij 1m³ 0,714 kg bevat (BC, 2013), en een stikstofinhoud van 14% in massa. Deze stikstofinhoud komt bijna uitsluitend van de aanwezigheid van N₂ in het gas en is dus een niet-reactieve vorm van stikstof. Vaste brandstoffen hebben een energierendement van 35,27 J/kton (Wilcock, 2005) en een N-inhoud van 0,015 gN/g. Petroleumproducten hebben een energierendement van 38,37 J/kL (Wilcock, 2005) en een stikstofinhoud van 1%. De N₂ in het gas vormt het grootste aandeel van de inputstromen van dit knooppunt. Deze stroom wordt echter niet weerhouden in de discussie in de volgende hoofdstukken daar het niet-reactief is en weinig opportuniteiten biedt voor recuperatie.

Voor fosfor is de import van grondstoffen gelijk aan de totale outputstroom. Deze stroom wordt echter niet berekend door een gebrek aan informatie over de assen.

Tabel 48: Inputstromen van de energiesector (Aernouts & Jaspers, 2012)

Transformatiesector	PJ
Nucleaire warmte	228,6
Biomassa	24,1
Andere brandstoffen	9,7
Gassen	167,6
Petroleumproducten	1,4
Vaste brandstoffen	46,7
Totaal	478,1

Voor transport en verkeer zijn dezelfde aannames genomen op basis van het verbruik van de transportsector. Tevens is er verondersteld dat alle NO_x thermisch is en dus een equivalente N₂ aan inputzijde heeft. De input van N₂ is dus gelijk aan de output van NO_x door transport.

Tabel 49: Inputstromen van de transportsector (Aernouts & Jaspers, 2012)

Transportsector	PJ
Biomassa	5,2
Elektriciteit	2,9
Aardgas	3,3
Gas- en dieselolie	147,6
Benzine	22,7
LPG	0,8

3.8.2.2 Outputstromen

Voor stikstof zijn de emissies naar lucht de belangrijkste outputstroom. Deze worden gemeten en gerapporteerd in het Milieurapport Vlaanderen (VMM, 2013a). Emissies naar lucht en water van energieproductie door elektriciteitscentrales, en door warmtekrachtkoppelinginstallaties, van goederen- en personenvervoer zijn opgeteld. Ook nutriënten in het afvalwater worden begroot (zie knooppunt openbare afvalwaterzuivering).

De assen die vanuit dit knooppunt naar de chemische en overige industrie gaan bevatten geen stikstof. Informatie rond de hoeveelheid assen die geproduceerd worden door de energiesector zijn naar onze kennis niet beschikbaar. Deze stroom is dus niet gekwantificeerd maar wel opgenomen in het model.

Door rookgasreiniging in energiecentrales wordt alle N uitgewassen, op de gerapporteerde emissies naar lucht na. De emissies van N₂ uit de centrale energieproductie is dus gelijk aan de import van N₂ verminderd met de gerapporteerde emissies naar lucht.

3.8.3 Stofboekhouding

Tabel 50: Stofboekhouding van transport en energie

Input	Symbool	N (kton)	P (kton)
Lucht (N ₂)	F50	20,70 ±10,0%	-
Import fossiele brandstof	F242	495,70 ±10,0%	0,00
Totaal		516,40	
Output	Symbool	N (kton)	P (kton)
Water	F52	0,05 ±10,0%	0,003 ±10,0%
Openbare afvalwaterzuivering	F110	0,01 ±10,0%	0,00 ±10,0%
Lucht (NH ₃)	F225	0,56 ±10,0%	-
Lucht (NO _x)	F224	26,22 ±10,0%	-
Lucht (N ₂ O)	F226	0,54 ±10%	-
Lucht (N ₂)	F189	489,08±10,0%	0
Totaal		516,66	0,01

3.9 Biomassaverwerking

Het knooppunt biomassaverwerking wordt onderverdeeld in drie deelknooppunten naargelang de verwerkingstechniek en de grondstoffen: mestverwerking, compostering en industriële vergisting. De input- en outputstromen van elk deelknooppunt zijn sterk verschillend waardoor deze opdeling gemaakt is om de verschillen tussen de verwerkingstechnieken en de aanpak in kaart te brengen. Een overzicht van het knooppunt biomassaverwerking is weergegeven op het einde van dit hoofdstuk.

Deze drie verwerkingstechnieken zullen in de toekomst in belang stijgen en bieden mogelijkheden tot verbetering en recyclage van organische grondstoffen.

3.9.1 Mestverwerking

3.9.1.1 Algemene beschrijving

Mestverwerking is één van de maatregelen om het mestoverschot in Vlaanderen te beperken binnen de wettelijke grenzen. Vlaanderen is sinds 1 januari 2007 volledig afgebakend als kwetsbaar gebied, waardoor er maximaal 170 kg N/ha/jaar via dierlijke mest toegelaten wordt op Vlaamse landbouwgronden. Een uitbreiding van de veestapel is sindsdien toegestaan met als voorwaarde dan mestverwerking van de bijkomende dierlijke mest voorzien wordt (VMM, 2013b en VLM, 2010).

In het mestdecreet wordt een onderscheid gemaakt tussen mestbewerking en mestverwerking. Mestbewerking is het behandelen van dierlijke mest waarna de nutriënten ervan terug op Vlaamse landbouwgrond gebracht worden. Bij mestverwerking worden de nutriënten vervat in de dierlijke mest niet terug op Vlaamse landbouwgrond gebracht, maar worden ze geëxporteerd als organische meststoffen, afgezet bij particulieren/in parken/op bermen of omgezet naar minerale meststoffen of milieuneutrale componenten (VCM, 2013a).

Het deelsknooppunt mestverwerking wordt onderverdeeld in vier types verwerkingstechnieken: biologie, agrarische vergisting, biothermisch drogen en substraatbereiding.

- De meest toegepaste mestverwerkingstechniek in Vlaanderen is de biologie. Bij een biologie wordt de stikstof in de dunne fractie na scheiding via nitrificatie en denitrificatie omgezet naar het onschadelijke stikstofgas (N_2). Tijdens de nitrificatie zetten bacteriën ammoniak (NH_3) om naar nitraat (NO_3^-) in de aanwezigheid van zuurstof, waarna het NO_3^- tijdens de denitrificatie, in afwezigheid van zuurstof op zijn beurt omgezet wordt naar stikstofgas (N_2). (VCM, 2013b).
- Tijdens het agrarische vergistingsproces wordt organisch materiaal afgebroken en omgezet in biogas door middel van micro-organismen in de afwezigheid van zuurstof. Biogas is een energierijk gas dat hoofdzakelijk samengesteld is uit methaan en koolstofdioxide, met daarnaast nog enkele sporen van gasen zoals N_2 , H_2 , H_2S en H_2O . Het natte residu van de vergisting wordt digestaat genoemd en bevat heel wat nutriënten (N, P en K) die beschikbaar zijn voor planten indien het als bemesting wordt gebruikt. De samenstelling ervan varieert naargelang de inputstromen die vergist worden. In principe komt bijna elk organisch-biologisch materiaal in aanmerking voor vergisting. (Biogas-E, 2006).
- Bij composteren, in het kader van mestverwerking ook wel biothermisch drogen genoemd, wordt het organisch materiaal door micro-organismen afgebroken in aanwezigheid van zuurstof. Het eindproduct is een exportwaardige organische meststof. Als grondstoffen worden meestal de dikke fractie van varkensmest en pluimveemest gebruikt, al dan niet in combinatie met andere biomassa (VCM, 2013c).
- Substraatbereiders zijn producenten en leveranciers van substraat aan champignonkwekerijen. Substraat, ook wel champost genoemd, bestaat uit paardenmest die samen met kippenmest, stro en gips gecomposteerd wordt (Lenders et al., 2012).

Voor het ganse mestverwerkingsknooppunt, werden de stromen onderverdeeld in twee groepen:

- externe stromen die het knooppunt binnenkomen (import, dierlijke productie, voedingsindustrie en plantaardige productie) en verlaten (export, plantaardige productie en huishoudens), en die intern verdeeld worden tussen de vier verwerkingstechnieken. Stikstofemissies naar de lucht zijn ook gerapporteerd.
- interne stromen binnen het knooppunt (transport van de verwerkers naar andere verwerkers, verzamelpunten, mestvoerders en producenten andere meststoffen (PAM) en omgekeerd).

Tabel 51: Beschrijving deelpknooppunt mestverwerking

Externe input	Beschrijving
Import	Dierlijke mest en andere meststoffen uit import
Dierlijke productie	Dierlijke mest en andere meststoffen
Voedingsindustrie	Organisch-biologisch afval
Plantaardige productie	Energiegewassen
Externe output	Beschrijving
Export	Export van verwerkte producten
Huishoudens	Aankoop van bodem verbeterende producten
Plantaardige productie	Afzet als bodem verbeterende producten
Lucht	Stikstofemissies naar lucht

3.9.1.2 Assumpties en berekeningen

Gegevens over het transport van meststoffen van en naar de vier verschillende verwerkingstechnieken zijn bekomen via de VLM (VLM, mondeling en schriftelijke toelichting). De meststoffen omvatten dierlijke mest en andere meststoffen. Deze laatste zijn alle meststoffen van niet dierlijk en niet chemische oorsprong zoals schuimaarde, zuiveringslib, spuistroom en compost waarin geen dierlijke mest verwerkt is (groen en GFT-compost). Schuimaarde is een kalkachtige stof die afkomstig is van de suikerindustrie en wordt in de landbouw gebruikt als bodemverbeteraar. Lib is afkomstig uit de industrie en spuistroom is het overtollige drainwater dat niet door gewassen in de glastuinbouw wordt opgenomen en dat niet hergebruikt kan worden als voedingswater (Lenders et al., 2012 en VLM, 2013). In de data van de VLM wordt geen onderscheid gemaakt tussen deze andere meststoffen onderling, waardoor het niet mogelijk is om hun afkomst op te splitsen tussen de verschillende knooppunten. Aangezien deze vorm van externe input toch minimaal is in vergelijking met de aanvoer van dierlijke mest, zijn deze ook bij het knooppunt dierlijke productie gerekend.

Aangezien er voor het jaar 2009 onvoldoende registraties zijn over de output van de verwerkingstechniek 'substraatbereiders', zijn hiervoor de cijfers van het jaar 2010 gebruikt.

De verwerkingstechniek 'agrarische vergisters' omvat alle vergisters die dierlijke mest aanvoeren. In de gegevens van de VLM, is enkel mest als grondstof in rekening gebracht, niet organisch-biologisch afval (OBA) en energiegewassen. In het voortgangsrapport van Biogas-E (Meers, 2011), is gerapporteerd dat er in 2009 131,151 GWh_{el} (gigawattuur, elektrisch) is opgewekt door agrarische vergisters. Indien er verondersteld wordt dat 1 m³ biogas overeenkomt met 1,15 kg biogas en 2 kWh_{el} (kilowattuur, elektrisch), kan voor deze type vergisters berekend worden hoeveel biogas er gevormd is in 2009. Voor agrarische vergisters is dit 75,4 kton biogas.

$$\frac{131,151 \text{ GWh}_{el}}{2 \text{ kWh}_{el}} * 1000000 = 65575500 \text{ m}^3 \text{ biogas}$$

$$65575500 \text{ m}^3 * \frac{1,15 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{1000000} = 75,4 \text{ kton biogas}$$

De input aan OBA en energiegewassen is vervolgens met de volgende vergelijking berekend:

$$\text{Input OBA en Energiegewassen} = (\text{Output digestaat} + \text{Output biogas}) - \text{Input mest}$$

Input OBA en Energiegewassen

$$\begin{aligned} &= (333,18 \text{ kton digestaat} + 75,4 \text{ kton biogas}) - 221,96 \text{ kton mest} \\ &= 186,62 \text{ kton input} \end{aligned}$$

De opsplitsing tussen de hoeveelheid OBA en de hoeveelheid energiegewassen is bekomen uit de gegevens van VLACO (VLACO, schriftelijke toelichting). Volgens deze cijfers is de massaverhouding tussen energiegewassen en OBA ongeveer 16/84.

$$\text{Input OBA} = 186,62 \text{ kton input} * 0,836 = 156,01 \text{ kton OBA}$$

$$\text{Input Energiegewassen} = 186,62 \text{ kton input} * 0,164 = 30,61 \text{ kton Energiegewassen}$$

Hierdoor is de input van de verwerkingstechniek 'vergisters' aangevuld met 30,61 kton energiegewassen afkomstig van de plantaardige productie en 156,01 kton OBA afkomstig van de voedingsindustrie. De N- en P-inhouden van organisch afval bedragen volgens Bernstad et al. (2011) respectievelijk 1,5% en 0,198% op drogestofgehalte. Het drogestofgehalte bedraagt 51,8% (Bernstad et al., 2011). De N- en P-inhouden van energiemaïs bedraagt volgens Zwart et al. (2006) 13 kg N en 2,2 kg P₂O₅ per ton drogestof (Zwart et al., 2006).

Tabel 52: N- en P-inhouden van OBA en energiemaïs

	% N	% P	Bron
OBA	0,777	0,103	Bernstad et al., 2011
Energiemaïs	1,300	0,096	Zwart et al., 2006

De N₂-emissie van de biologieën is eveneens bekomen via de VLM (VLM, mondeling en schriftelijke toelichting). Het Milieurapport Vlaanderen (VMM, 2013a) geeft de NH₃-emissie bij mestverwerking.

3.9.1.3 Stofboekhouding

De inputs en outputs per verwerkingstechniek worden weergegeven in Tabel 53 tot Tabel 56.

Tabel 53: Stofboekhouding van de verwerkingstechniek biologie

Input	Massa (kton)	N (kton)	P (kton)
Dierlijke productie	1.213,06	11,27	2,35
Externe input	1.213,06	11,27	2,35
Van verwerkers	77,89	0,53	0,20
Van verzamelpunten	3,24	0,02	0,01
Van mestvoerders	0,15	0,00	0,00
Van PAM	0,52	0,00	0,00
Interne input	81,81	0,56	0,20
Output	Massa (kton)	N (kton)	P (kton)
Export	12,36	0,22	0,30
Huishoudens	0,02	0,00	0,00
Plantaardige productie	967,47	0,33	0,12
Lucht (N ₂ -emissie)	-	10,29	-
Externe output	979,85	10,84	0,42
Naar verwerker	148,31	1,71	1,86
Naar verzamelpunten	3,22	0,00	0,00
Naar mestvoerder	0,91	0,00	0,00
Interne output	152,44	1,71	1,86

PAM: producenten andere meststoffen

Tabel 54: Stofboekhouding van de verwerkingstechniek agrarische vergisting

Input	Massa (kton)	N (kton)	P (kton)
Import	0,06	0,00	0,00
Dierlijke productie	104,96	0,94	0,21
Voedingsindustrie	156,01	1,21	0,16
Plantaardige productie	30,61	0,40	0,07
Externe input	261,11	2,16	0,37
Van verwerkers	35,90	0,28	0,21
Van verzamelpunten	71,59	0,66	0,15
Van mestvoerder	0,03	0,00	0,00
Van PAM	9,42	0,04	0,01
Interne input	116,94	0,98	0,37
Output	Massa (kton)	N (kton)	P (kton)
Export	17,45	0,19	0,06
Huishoudens	0,10	0,00	0,00
Plantaardige productie	176,96	0,31	0,06
Lucht (NH ₃ -N)	-	0,28	-
Externe output	194,51	0,78	0,12
Naar verwerker	113,57	1,11	0,51
Naar verzamelpunten	22,01	0,08	0,01
Naar mestvoerder	1,18	0,00	0,00
Naar PAM	1,91	0,01	0,00
Interne output	138,67	1,20	0,52

PAM: producenten andere meststoffen

Tabel 55: Stofboekhouding van de verwerkingstechniek biothermisch drogen

Input	Massa (kton)	N (kton)	P (kton)
Import	93,72	2,33	0,84
Dierlijke productie	262,26	6,72	2,29
Externe input	355,98	9,05	3,13
Van verwerkers	175,55	2,37	2,12
Van verzamelpunten	3,79	0,07	0,03
Van mestvoerder	0,61	0,01	0,00
Van PAM	22,75	0,25	0,06
Interne input	202,70	2,70	2,22
Output	Massa (kton)	N (kton)	P (kton)
Export	502,31	11,89	5,55
Huishoudens	7,05	0,06	0,01
Plantaardige productie	32,13	0,07	0,01
Lucht (NH ₃ -N)	-	0,38	-
Externe output	541,49	12,39	5,57
Naar verwerker	11,55	0,28	0,12
Naar verzamelpunten	7,21	0,05	0,01
Naar mestvoerder	1,80	0,03	0,01
Naar PAM	0,06	0,00	0,00
Interne output	20,62	0,36	0,15

PAM: producenten andere meststoffen

Tabel 56: Stofboekhouding van de verwerkingstechniek substraatbereiding

Input	Massa (kton)	N (kton)	P (kton)
Import	331,87	2,33	0,65
Dierlijke productie	161,70	1,73	0,47
Externe input	493,57	4,06	1,12
Van verwerkers	95,63	0,50	0,12
Van mestvoerder	0,03	0,00	0,00
Van verzamelpunten	0,38	0,02	0,00
Interne input	96,04	0,52	0,12
Output	Massa (kton)	N (kton)	P (kton)
Export	445,03	2,82	0,70
Huishoudens	0,14	0,00	0,00
Plantaardige productie	1,40	0,01	0,00
Externe output	446,57	2,84	0,70
Naar verwerker	133,15	0,77	0,18
Naar verzamelpunten	0,07	0,00	0,00
Naar mestvoerder	0,14	0,00	0,00
Interne output	133,36	0,77	0,18

De stofboekhouding van het volledige deelknooppunt mestverwerking (vier verwerkingstechnieken samen) wordt weergegeven in Tabel 57.

Tabel 57: Stofboekhouding van het deelknooppunt mestverwerking

Input	Symbool	N (kton)	P (kton)
Import	F107	4,66 ±10,0%	1,49 ±10,0%
Dierlijke productie	F17	20,66 ± 5,7%	5,31 ±50,0%
Voedingsindustrie	F131	1,21 ±20,0%	0,16 ±20,0%
Plantaardige productie	F132	0,40 ±20,0%	0,07 ±20,0%
Totaal		26,93	7,03
Output	Symbool	N (kton)	P (kton)
Export	F146	15,12 ±20,0%	6,61 ±20,0%
Huishoudens	F140	0,06 ±20,0%	0,01 ±20,0%
Plantaardige productie	F147	0,71 ±20,0%	0,19 ±20,0%
Lucht (N ₂ -emissie)	F149	10,29 ±10,0%	-
Lucht (NH ₃ -emissie)	F141	0,66 ±10,0%	-
Totaal		26,84	6,81

3.9.2 Compostering

3.9.2.1 Algemene beschrijving

Compostering is een natuurlijk omvormingsproces waarbij micro-organismen organisch materiaal afbreken en verwerken onder gecontroleerde omstandigheden. Het proces verloopt in de aanwezigheid van zuurstof en met vrijstelling van koolstofdioxide, water, warmte en restgassen (ammoniak, vluchtige zwavelverbindingen en lachgas). Tijdens het composteren, loopt de temperatuur op tot 55-70°C. Het eindproduct is compost, een stabiel bodem verbeterend middel met een hoog gehalte aan organisch materiaal en nutriënten (VLACO, 2013a).

De inputstromen van dit deelknooppunt zijn OBA, GFT- en groenafval. Mest vormt geen input voor dit deelknooppunt, terwijl dit wel het geval is voor de verwerkingstechniek ‘biothermisch drogen’ in het deelknooppunt mestverwerking. Het organische materiaal is afkomstig van huishoudens (GFT en groenafval) en de voedingsindustrie (OBA). De compost gaat naar de huishoudens, de plantaardige productie of wordt geëxporteerd (VLACO, mondelinge en schriftelijke toelichting).

Tabel 58: Beschrijving knooppunt composteren

Externe input	Beschrijving
Voedingsindustrie	Organisch-biologisch afval
Huishoudens	GFT-afval en groenafval
Externe output	Beschrijving
Export	Export van compost
Huishoudens	Aankoop van bodem verbeterende producten
Plantaardige productie	Afzet als bodem verbeterende producten
Lucht	Stikstofemissies naar lucht

3.9.2.2 Assumpties en berekeningen

3.9.2.2.1 Inputstromen

Het ingezamelde organisch-biologisch afval (OBA) is bijna hoofdzakelijk afkomstig uit de agro- en voedingsindustrie maar een deel komt ook van de distributiesector of van afvalverwerkende bedrijven. Een opsplitsing maken tussen de verschillende deelsectoren (afvalsector, voedingsindustrie, agro-industrie (bv zetmeel, bio-ethanol, bio-based economy ...)) is niet evident aangezien VLACO niet voor alle bedrijven over deze gedetailleerde informatie beschikt. OBA wordt ook aangevoerd uit het buitenland, maar hierover zijn geen gegevens beschikbaar. De aanvoer van GFT-afval en groenafval is quasi integraal afkomstig van de huishoudens. De tonnages van de drie inputstromen zijn 2,3 kton OBA, 194,8 kton GFT en 559,7 kton groenafval (VLACO, mondelinge en schriftelijke toelichting).

De N- en P-inhouden van GFT zijn bepaald in het laboratorium analytische en toegepaste ecochemie aan de Universiteit Gent (N: 6,28 g N/kg GFT en P: 1,07 g P/kg GFT). De N- en P-inhouden van organisch afval bedragen volgens Bernstad et al. (2011) respectievelijk 1,5% en 0,198% op drogestofgehalte. Het drogestofgehalte bedraagt 51,8% (Bernstad et al., 2011).

Tabel 59: N- en P-inhouden van OBA en GFT-afval

	% N	% P	Bron
OBA	0,777	0,103	Bernstad et al., 2011
GFT-afval	0,628	0,107	UGent Labo voor bos en natuur

Om de P-input van het groenafval te berekenen, is verondersteld dat de totale P-input gelijk moet zijn aan de totale P-output.

$$Totale\ Pinput = Pinput\ groenafval + Pinput\ GFTafval + Pinput\ OBA = Totale\ Poutput$$

$$Pinput\ groenafval = Totale\ Poutput - Pinput\ GFTafval - Pinput\ OBA$$

$$Pinput\ groenafval = 0,64\ kton\ P - 0,21\ kton\ P\ (GFTafval) - 0,00\ kton\ P\ (OBA) \\ = 0,21\ kton\ P$$

De N-input van groenafval is berekend door te veronderstellen dat de totale N-input gelijk is aan de N-output van de compost vermeerderd met de N-emissie die optreedt tijdens het composteren.

$$Totale\ Ninput = Ninput\ groenafval + Ninput\ GFTafval + Ninput\ OBA \\ = Noutput\ compost + Nemissie$$

Gellynck et al., 2006 geeft een overzicht van de NH₃- en N₂O-emissie tijdens het composteren van GFT-afval: 27 g NH₃/ton GFT en 101 g N₂O/ton GFT. Deze waarden zijn als volgt omgerekend naar N-emissies:

$$27 \frac{g\ NH_3}{ton\ GFT} \cong 22,2 \frac{g\ NH_3 - N}{ton\ GFT}$$

$$101 \frac{g\ N_2O}{ton\ GFT} \cong 64,3 \frac{g\ N_2O - N}{ton\ GFT}$$

Deze N-emissies zijn vervolgens vermenigvuldigd met de totale massa input (756,8 kton input).

$$\frac{22,2 \frac{g \text{ NH}_3 - \text{ N}}{\text{ton GFT}} * 756,8 \text{ kton}}{1000000} = 0,017 \text{ kton NH}_3 - \text{ N}$$

$$\frac{64,3 \frac{g \text{ N}_2\text{O} - \text{ N}}{\text{ton GFT}} * 756,8 \text{ kton}}{1000000} = 0,046 \text{ kton N}_2\text{O} - \text{ N}$$

De totale N-emissie is dus 0,07 kton N. Deze N-emissie is opgeteld bij de N-output van de compost (3,06 kton N). Dit geeft de totale N-input (3,12 kton N). Het verschil tussen deze totale N-input en de N-input van GFT-afval (1,22 kton N) en OBA (0,02 kton N) geeft de N-input van groenafval (1,87 kton N).

$$N_{\text{input groenafval}} = \text{Totale N}_{\text{input}} - N_{\text{input GFTafval}} - N_{\text{input OBA}}$$

$$N_{\text{input groenafval}} = 3,12 \text{ kton N} - 1,22 \text{ kton N} - 0,02 \text{ kton N} = 1,87 \text{ kton N}$$

3.9.2.2.2 Outputstromen

In 2009 is 30% GFT-compost en 70% groencompost geproduceerd (VLACO, 2009a). De afzet van compost bij de diverse markten is steeds in deze verhouding gesplitst tussen GFT- en groencompost. De gemiddelde N- en P-inhoud van GFT-compost is 12 kg N/ton en 7 kg P₂O₅/ton of 3,06 kg P/ton en voor groencompost 7 kg N/ton en 2,8 kg P₂O₅/ton of 1,22 kg P/ton (VLACO, 2013b).

Tabel 60: N- en P-inhouden van GFT-compost en groencompost

	% N	% P	Bron
GFT-compost	1,20	0,306	VLACO, 2013b
Groencompost	0,70	0,122	VLACO, 2013b

Een aantal afzetmarkten, zoals potgrondfabrikanten, grondopmengers en andere grootafnemers, zijn geen eindgebruikers maar gaan de compost bewerken en/of verder verhandelen (VLACO, 2009b). Voor deze afzetmarkten is verondersteld dat 25% naar de plantaardige productie gaat en 75% naar de huishoudens gaat. De stroom naar de afzetmarkt land- en tuinbouw is bij het knooppunt plantaardige productie gerekend en de stroom naar groenvoorziening bij huishoudens.

3.9.2.3 Stofboekhouding

Tabel 61: Stofboekhouding van het knooppunt compostering

Input	Symbool	N (kton)	P (kton)
Huishoudens	F191	3,10 ±20,0%	0,64 ±20,0%
Voedingsindustrie	F192	0,02 ±20,0%	0,00 ±0,0%
Totaal		3,12	0,64
Output	Symbool	N (kton)	P (kton)
Huishoudens	F194	2,24 ±20,0%	0,47 ±20,0%
Plantaardige productie	F195	0,74 ±20,0%	0,16 ±20,0%
Export	F193	0,08 ±20,0%	0,02 ±20,0%
Lucht (NH ₃ -emissie)	F196	0,02 ±20,0%	-
Lucht (N ₂ O-emissie)	F190	0,05 ±20,0%	-
Totaal		3,13	0,65

3.9.3 Industriële vergisters

3.9.3.1 Algemene beschrijving

Tot voor kort werd anaërobe vergisting vooral met mestverwerking geassocieerd. In de eerste installaties werd namelijk enkel mest vergist, maar vandaag neemt het gebruik van afvalstoffen en energiegewassen als grondstoffen voor anaërobe vergisters steeds toe (Biogas-E, 2007).

De afvalstoffen en energiegewassen die als grondstoffen gebruikt worden, zijn afkomstig van de voedingsindustrie en plantaardige productie respectievelijk. Organisch-biologisch afval wordt ook aangevoerd vanuit het buitenland. Het digestaat gaat naar de plantaardige productie of wordt geëxporteerd.

Tabel 62: Beschrijving knooppunt industriële vergisters

Externe input	Beschrijving
Import	Organisch-biologisch afval
Plantaardige productie	Energiegewassen
Voedingsindustrie	Organisch-biologisch afval
Externe output	Beschrijving
Export	Export van digestaat
Plantaardige productie	Afzet als bodemverbeterend product
Lucht	Stikstofemissies naar lucht

3.9.3.2 Assumpties en berekeningen

Inputstromen

De vergisters die dierlijke mest aanvoeren, hier benoemd als agrarische vergisters, zijn bij het knooppunt mestverwerking meegerekend. Bij het deelknooppunt industriële vergisters gaat het enkel over de vergisters die organisch-biologisch afval (OBA) en energiegewassen aanvoeren, hier benoemd als industriële vergisters. Het voortgangsrapport van Biogas-E (Meers, 2011) vermeldt dat in 2009 72,71 GWh_{el} (gigawattuur, elektrisch) opgewekt is door industriële vergisters. Indien er opnieuw verondersteld wordt dat 1 m³ biogas overeenkomt met 1,15 kg biogas en 2 kWh_{el}, betekent dit dat er 41,8 kton biogas geproduceerd is door industriële vergisters.

$$\frac{72,71 \text{ GWh}_{el}}{2 \text{ kWh}_{el}} * 1000000 = 36355000 \text{ m}^3 \text{ biogas}$$

$$36355000 \text{ m}^3 * \frac{1,15 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{1000000} = 41,8 \text{ kton biogas}$$

De input van de industriële vergisters in 2009 is berekend door de input van de agrarische vergisters te vermenigvuldigen met de verhouding (41,8 kton biogasproductie industriële vergisters/75,4 kton biogasproductie agrarische vergisters). Dit geeft een inputstroom van 226,35 kton energiegewassen en OBA:

$$\text{Input OBA en Energiegewassen} = \left(\frac{41,8 \text{ kton biogas}}{75,4 \text{ kton biogas}} \right) * \text{input agrarische vergisters}$$

$$\begin{aligned} \text{Input OBA en Energiegewassen} \\ &= \left(\frac{41,8 \text{ kton biogas}}{75,4 \text{ kton biogas}} \right) * (186,62 \text{ kton OBA en E} + 221,96 \text{ kton mest}) \\ &= 226,35 \text{ kton OBA en Energiegewassen} \end{aligned}$$

De opsplitsing tussen de twee types grondstoffen is op dezelfde manier zoals hierboven beschreven (zie knooppunt mestverwerking).

$$\text{Input OBA} = 226,35 \text{ kton} * 0,836 = 189 \text{ kton OBA}$$

$$\text{Input Energiegewassen} = 226,35 \text{ kton} * 0,164 = 37 \text{ kton Energiegewassen}$$

Van de 189 kton OBA input is ongeveer 37,7 kton OBA geïmporteerd (VCM, schriftelijke toelichting). De rest is afkomstig van de voedingsindustrie.

Voor de N- en P-inhouden van OBA en energiemaïs die toegepast werden, zie Tabel 52.

Outputstromen

De output van de vergisters is gelijk aan de input verminderd met de biogasproductie.

$$\text{Output digestaat} = \text{Input OBA en Energiegewassen} - \text{Output biogas}$$

$$\begin{aligned} \text{Output digestaat} &= 226,35 \text{ kton OBA en Energiegewassen} - 41,8 \text{ kton biogas} \\ &= 184,55 \text{ kton digestaat} \end{aligned}$$

De N- en P-inhouden van ruw digestaat bedragen 0,4% N en 0,38% P₂O₅ of 0,17% P (VLACO, schriftelijke toelichting). Het digestaat gaat naar de plantaardige productie of wordt geëxporteerd. Volgens Teodorita Al Seadi et al. (2008) heeft biogas een NH₃-gehalte van maximaal 1 volumeprocent. Indien er verondersteld wordt dat de dichtheid van biogas 1,15 kg/m³ is en de dichtheid van ammoniak 0,6 kg/m³, dan bedraagt het maximale NH₃-gehalte van het biogas 0,18 kton N (Teodorita Al Seadi et al., 2008).

$$(41,8 \text{ kton biogas} * 1000000) / 1,15 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 36347826 \text{ m}^3 \text{ biogas}$$

$$36347826 \text{ m}^3 \text{ biogas} * 0,01 = (363478,26 \text{ m}^3 \text{ NH}_3 * 0,6 \text{ kg/m}^3) / 1000000 = 0,218 \text{ kton NH}_3 \text{ of } 0,18 \text{ kton N}$$

3.9.3.3 Stofboekhouding

Tabel 63: Stofboekhouding van het knooppunt industriële vergisters

Input	Symbool	N (kton)	P (kton)
Import	F199	0,29 ±50,0%	0,04 ±50,0%
Voedingsindustrie	F197	1,18 ±50,0%	0,16 ±50,0%
Plantaardige productie	F198	0,48 ±50,0%	0,04 ±50,0%
Totaal		1,95	0,24
Output	Symbool	N (kton)	P (kton)
Plantaardige productie	F171	0,52 ±50,0%	0,21 ±50,0%
Export	F200	0,22 ±50,0%	0,09 ±50,0%
Lucht (NH ₃ -N)	F239	0,18 ±50,0%	-
Totaal		0,92	0,30

3.9.3.4 Bespreking van de data

Het verschil tussen de input en output van nutriënten (1,02 kton N en 0,03 kton P), is waarschijnlijk het gevolg van de onzekerheden in de schatting van de N/P-waarden voor OBA, energiegewassen en digestaat.

3.9.4 Stofboekhouding

Tabel 64: Stofboekhouding van het knooppunt biomassaverwerking

Input	Symbool	N (kton)	P (kton)
Import	F107	4,96 ±10,0%	1,53 ±10,0%
Dierlijke productie	F17	20,66 ±5,7%	5,31 ±20,0%
Voedingsindustrie	F90	2,41 ±50,0%	0,32 ±50,0%
Plantaardige productie	F143	0,88 ±20,0%	0,10 ±10,0%
Huishoudens	F191	3,10 ±20,0%	0,64 ±20,0%
Totaal		32,01	7,90
Output	Symbool	N (kton)	P (kton)
Export	F106	15,42 ±20,0%	6,72 ±20,0%
Huishoudens	F139	2,30 ±50,0%	0,49 ±50,0%
Plantaardige productie	F144	1,97 ±50,0%	0,56 ±50,0%
Lucht (N ₂ -emissie)	F148	10,29 ±20,0%	-
Lucht (NH ₃ -emissie)	F141 F196 F239	0,87 ±20,0%	-
Lucht (N ₂ O-emissie)	F190	0,05 ±20,0%	-
Totaal		30,90	7,77

3.10 Chemische en overige industrie

3.10.1 Algemene beschrijving

De beschrijving van het knooppunt chemische en overige industrie wordt onderverdeeld in een aantal deelsectoren met relevante N- en P-stromen: chemische industrie omvat de productie van meststoffen, voederfosfaten, fosforzuur en overige; de overige industrie omvat de papierproductie en metallurgie. Er is te weinig informatie beschikbaar om bovenvermelde opsplitsing ook door te rekenen als deelknooppunten in de stofstroommodellering. Het stofstroommodel beschouwt het knooppunt van de chemische en overige industrie als geheel. Hierbij is er enkel gebruik gemaakt van de in- en outputstromen die betrokken zijn in de andere knooppunten van deze studie, de import en exportstromen van de deelknooppunten en de inputstroom lucht van de deelknooppunt meststoffen.

3.10.2 Chemische industrie

3.10.2.1 Meststoffen

3.10.2.1.1 Algemene beschrijving

BASF heeft cijfers over de productie, aankoop en gebruik van ammoniak, een belangrijk grondstof voor minerale meststoffen ter beschikking gesteld (BASF, schriftelijke toelichting). De cijfers van het referentiejaar 2009 zijn volgens BASF niet geschikt omwille van de economische crisis en bijbehorende productiestilstanden. Daarom zijn de cijfers van het jaar 2008 gebruikt. De productie van ammoniak door BASF bedroeg in 2008 650 kton NH₃, of 533 kton N. Dezelfde hoeveelheid is

door BASF aangekocht op de wereldmarkt. Van de totale hoeveelheid ammoniak is 49% verwerkt tot minerale meststoffen. De productie van minerale meststoffen bedroeg 548,84 kton N in 2008. In 2012 werden de meststoffenactiviteiten van BASF verkocht aan EuroChem. Daarnaast gebruikt BASF ammoniak ook voor de productie van een aantal intermediaire chemische verbindingen, zoals amines (3%), caprolactam (19%) en methyleendifenyldiisocyanaat (7%). Caprolactam wordt gebruikt voor de productie van nylon en methyleendifenyldiisocyanaat (MDI) is een voorloper van polyurethaan. Een deel van de ammoniak wordt ook verkocht (22%). Deze gegevens zijn niet weerhouden in het kader van deze studie omdat er verondersteld is dat het grootste deel hiervan geëxporteerd wordt en dat de nutriënten hierin verwerkt weinig opportuniteiten bieden voor recuperatie.

Gegevens rond het verbruik van minerale meststoffen op de Vlaamse landbouwgrond zijn uit de bodembalans van de Vlaamse landbouw 2009, opgesteld door de VMM en AMS, gehaald (Lenders et al., 2012). Het via de bodembalans berekend kunstmestgebruik omvat het geheel van minerale meststoffen, bladvoeding, kalkmest en andere meststoffen. Dit is berekend door het jaarlijkse gewogen gemiddelde kunstmestgebruik per gewas en per hectare te vermenigvuldigen met het overeenkomstige areaal per gewas in Vlaanderen. Dit geeft een gebruik van 68,99 kton N en 1,43 kton P uit minerale meststoffen op de Vlaamse landbouwgrond. Het gebruik van minerale meststoffen stelt een stroom voor van de chemische en overige industrie naar de plantaardige productie. De productie van minerale meststoffen 548,84 kton N overtreft ruimschoot het verbruik ervan in Vlaanderen 68,99 kton N. Het grootste deel wordt dus geëxporteerd. Het particulier gebruik wordt verwaarloosbaar klein verondersteld en dus niet meegenomen in de stofboekhouding.

De grootste producent van organische meststoffen en aanverwanten in België is DCM: De Ceuster Meststoffen NV. Hun cijfergegevens voor het jaar 2009 zijn ontoereikend om de nodige informatie te leveren. DCM wijst er echter op dat de organische meststoffensector (excl. dierlijke mest) toch een minimale rol speelt in vergelijking met andere sectoren. In 2009 is ongeveer 30 kton organische meststoffen geproduceerd voor de Benelux, Frankrijk en Duitsland. Hiervan blijft ongeveer de helft in Vlaanderen. De N- en P-hoeveelheden zijn niet gekend (DCM, mondelinge en schriftelijke toelichting).

3.10.2.1.2 Stofboekhouding

Tabel 65: Stofboekhouding van de deelsector minerale meststoffen

Input	N (kton)	P (kton)
Import	274,42	/
Lucht	274,42	/
Totaal	548,84	/
Output	N (kton)	P (kton)
Plantaardige productie	68,99	1,43
Export	479,85	/
Totaal	548,84	/

3.10.2.2 Voederfosfaten

3.10.2.2.1 Algemene beschrijving

Tessengerlo Chemie is de enige echt belangrijke producent van voederfosfaten in Vlaanderen. Ze importeren fosfaaterts uit Marokko en produceren dicalciumfosfaat dat ofwel geëxporteerd wordt, ofwel naar de veevoederindustrie gaat. De productie van dicalciumfosfaat was uitzonderlijk zeer laag in 2009, ongeveer de helft van de productie in 2007-2008 en 2010-2012 ten gevolge van de economische crisis. Daarom zijn de cijfers van het jaar 2012 gebruikt (Tabel 67). Dit geeft een betere representatie van de werkelijke situatie. Het residu dat gestort werd en de beperkte emissies naar water zijn ook gerapporteerd (Tessengerlo Chemie, schriftelijke toelichting). De voederfosfaatafdeling van Tessengerlo Chemie zal sluiten op 1 januari 2014.

Tabel 66: Beschrijving deelsector voederfosfaten

Externe input	Beschrijving
Import	Grondstoffen uit import
Externe output	Beschrijving
Export	Export van verwerkte producten
Veevoedingsindustrie	Aankoop van voederfosfaten

3.10.2.2.2 Stofboekhouding

Tabel 67: Stofboekhouding van de deelsector voederfosfaten

Input	Massa (kton)	P (kton)
Import	320	44,71
Totaal	320	44,71
Output	Massa (kton)	P (kton)
Veevoedingsindustrie	18	3,24
Export	217	39,06
Afvalverwerking	45	0,68
Openbare afvalwaterzuivering	/	0,01
Totaal	280	42,99

3.10.2.2.3 Bespreking van de data

Tussen de input en output is er nog een verschil van 1,7 kton. Aangezien het stoffige producten zijn, is er nog stofvrijzetting (het stof blijft achter op de wegen, deze worden regelmatig gereinigd).

3.10.2.3 Fosforzuur

3.10.2.3.1 Algemene beschrijving

Prayon in Puurs importeert fosforzuur uit Marokko. Dit wordt gezuiverd en afgezet in Vlaanderen (voedingsindustrie, veevoedingsindustrie en chemische en overige industrie) of wordt geëxporteerd. Het gezuiverd fosforzuur wordt ook gebruikt voor de productie van fosfaat-zouten die vervolgens naar de voedingsindustrie gaan in Vlaanderen of geëxporteerd worden. Tabel 69 toont de cijfers van

Prayon voor het referentiejaar 2009 (Prayon, schriftelijke toelichting). Tussen de input en output is er nog een verschil van 8,14 kton P, hetgeen mogelijks kan verklaard worden door stockverschillen.

Tabel 68: Beschrijving deelsector fosforzuur

Externe input	Beschrijving
Import	Grondstoffen uit import
Externe output	Beschrijving
Export	Export van gezuiverd fosforzuur en fosfaat-zouten
Veevoedingsindustrie	Afzet van gezuiverd fosforzuur en fosfaat-zouten
Veevoedingsindustrie	Afzet van gezuiverd fosforzuur
Chemische en overige industrie	Afzet van gezuiverd fosforzuur
Water	Emissies naar water

3.10.2.3.2 Stofboekhouding

Tabel 69: Stofboekhouding van de deelsector fosforzuur

Input	Massa (kton)	P (kton)
Import fosforzuur	84,50	36,90
Totaal	84,50	36,90
Output	Massa (kton)	P (kton)
Export	62,00	27,59
Veevoedingsindustrie	0,27	0,11
Voedingsindustrie	1,96	0,84
Chemische en overige industrie	0,27	0,11
Water	0,27	0,11
Totaal	64,76	28,76

3.10.2.4 Overige

3.10.2.4.1 Algemene beschrijving

Het verbruik van niet-voedingsproducten afkomstig van de chemische en overige industrie, zoals detergents en cosmetica, is in het knooppunt huishoudens besproken. Daarnaast vormt polyurethaan een belangrijke stikstofstroom gezien de vele toepassingen, zoals het gebruik in de auto-industrie, in meubelen en beddengoed, in kleefmiddelen, enz.

3.10.3 Overige industrie

3.10.3.1 Papier

3.10.3.1.1 Algemene beschrijving

Om de nutriëntenbalans voor de papierindustrie op te stellen is Cobelpa, de vereniging van de Belgische fabrikanten van papierdeeg, papier en karton vzw, en twee van hun grootste leden in Vlaanderen gecontacteerd (Cobelpa, Sappi en Stora Enso, mondelinge en schriftelijke toelichting en

Stora Enso, 2013). Het is moeilijk om de volledige balans in kaart te brengen omdat de beschikbare gegevens dikwijls enkel op Belgisch niveau gekend zijn en niet op Vlaams niveau.

De belangrijkste inputstromen voor de papierindustrie zijn hout en gerecupereerd papier. Deze zijn afkomstig van huishoudens, de plantaardige productie of worden geïmporteerd. Daarnaast worden ook chemicaliën gebruikt afkomstig van de chemische en overige industrie. Het geproduceerde papier gaat naar de huishoudens of export. De papierindustrie heeft slib en schors als nevenproducten. De emissies naar lucht en water zijn gerapporteerd in het Milieuraapport Vlaanderen en zijn in Tabel 75 terug te vinden (VMM, 2013a).

Tabel 70: Beschrijving deelsector papier

Externe input	Beschrijving
Import	Grondstoffen uit import
Plantaardige productie	Hout
Huishoudens en handel & diensten	Gerecupereerd papier
Chemische en overige industrie	Grondstoffen van de chemische en overige industrie
Externe output	Beschrijving
Export	Export van papier en slib
Huishoudens en handel & diensten	Aankoop van papier
Verbranding/composteren	Schors na ontschorsing
Water	Emissies naar water
Lucht	Stikstofemissies naar lucht

3.10.3.1.2 Assumpties en berekening

De gegevens van Cobelpa, Sappi en Stora Enso worden hieronder besproken (Cobelpa, Sappi en Stora Enso, mondelinge en schriftelijke toelichting en Stora Enso, 2013). Het papier van Sappi is gemaakt van hout, terwijl Stora Enso papier vervaardigt uit gerecupereerd papier.

Balans voor Sappi

De belangrijkste grondstoffen gebruikt bij de papierproductie van Sappi zijn hout (loof- en naaldhout) en eigen geproduceerde CTMP (chemithermomechanical pulping) pulp. Aangezien de N- en P-inhouden van deze CTMP pulp niet gekend zijn, is gewerkt met de grondstoffen hiervan: fijnspar, populier en chemicaliën. Het hout is voor ongeveer 40% afkomstig van Vlaanderen. De rest wordt geïmporteerd. Daarnaast worden chemicaliën, additieven, vulstof, pigmenten, enzymen, enz. gebruikt bij de productie van pulp, papier, papiercoating en bij de waterzuivering. Belangrijke nevenstromen zijn het slib, dat naar de landbouw in Nederland gaat, en de schors na ontschorsing die verbrand of gecomposteerd wordt. De emissies naar water zijn ook gerapporteerd. Slechts 10% van het geproduceerd papier is in Vlaanderen afgezet, de rest is geëxporteerd (Sappi, mondelinge en schriftelijke toelichting).

De N en P-inhouden van papier zijn gevraagd aan Sappi, Stora Enso en Cobelpa. Ze konden hiervoor geen waarden geven aangezien er heel veel verschillende soorten papier en karton zijn. In de

literatuur kunnen diverse waarden teruggevonden worden. De waarden (N: 0,15% en P: 0,02%) van Sokka et al. (2004) zijn volgens Sappi veel te hoog. Antikainen et al. (2004) rapporteert dezelfde P-inhoud (0,02%) maar een lagere N-inhoud (0,04%). Deze cijfers zijn gebruikt in deze studie (Tabel 71). De N- en P-inhoud van fijnspar bedragen 0,058% N en 0,004% P (Hagen-Thorn et al., 2004). De N- en P-inhoud van populier hout (N: 0,07% en P: 0,0158%) en schors (N: 0,88% en P: 0,083%) zijn bepaald in het laboratorium voor bos en natuur aan de Universiteit Gent.

Tabel 71: N- en P-inhoud van papier, fijnspar en populier

	% N	% P	Bron
Papier	0,042	0,024	Antikainen et al., 2004
Fijnspar	0,058	0,004	Hagen-Thorn et al., 2004
Populier hout	0,070	0,016	UGent labo voor bos en natuur
Populier schors	0,880	0,083	UGent labo voor bos en natuur

Aangezien de N- en P-inhoud van de overige componenten die gebruikt worden niet gekend zijn, is verondersteld dat het N/P-gehalte gelijk is aan het verschil tussen input en output.

Tabel 72: Stofboekhouding van Sappi

Input	Massa (kton)	N (kton)	P (kton)
Import	115,82	0,07	0,01
Plantaardige productie	77,22	0,05	0,00
Chemische en overige industrie	192,15	0,15	0,11
Totaal	385,19	0,27	0,12
Output	Massa (kton)	N (kton)	P (kton)
Export	347,62	0,18	0,11
Huishoudens	37,16	0,02	0,00
Verbranding/composteren	5,70	0,05	0,00
Water	/	0,03	0,00
Totaal	390,48	0,27	0,12

Balans voor Stora Enso

De papierproductie van Stora Enso is gebaseerd op gerecupereerd papier. Het gerecupereerde papier is afkomstig van huishoudens of wordt geïmporteerd. Het geproduceerde papier gaat terug naar de huishoudens of wordt geëxporteerd. Het slib van de waterzuivering en ontinkten, samen met het houtafval, worden intern gebruikt voor de productie van een deel van de vereiste elektriciteit en stoom (Stora Enso, Schriftelijke toelichting en Stora Enso, 2013). Dit wordt in de balans dus niet meegenomen.

Tabel 73: Stofboekhouding van Stora Enso

Input	Massa (kton)	N (kton)	P (kton)
Import	239,12	0,10	0,06
Huishoudens	358,68	0,15	0,09
Totaal	597,80	0,25	0,14
Output	Massa (kton)	N (kton)	P (kton)
Export	393,67	0,17	0,09
Huishoudens	80,63	0,03	0,02
Totaal	474,30	0,20	0,11

Balans voor Vlaanderen

De totale papierproductie, import en export van papier in België is door Cobelpa gerapporteerd (Cobelpa, mondelinge en schriftelijke toelichting). Eveneens de totale import en export van gerecupereerd papier (Tabel 74). Enkel de productie en export van papier op Vlaamse niveau is gekend. In 2009 was dit 70% van de Belgische productie en export. Het verschil tussen productie en export gaat naar de Vlaamse huishoudens. Voor de import van papier en gerecupereerd papier en export van gerecupereerd papier is dezelfde verhouding genomen waardoor Vlaanderen een gewicht krijgt van 70%.

Tabel 74: Data geleverd door Cobelpa voor het jaar 2009

Totale input	België	Vlaanderen	%
Invoer papier en karton	2.965	nb	
Invoer gerecupereerd papier	1.636	nb	
Totale output	België	Vlaanderen	%
Productie papier en karton	1.796	1.257	70
Lokaal papier en karton (= productie - export)	421	297	71
Uitvoer papier en karton	1.375	960	70
Uitvoer gerecupereerd papier	2.426	nb	

Tussen de totale papierproductie in Vlaanderen (1257 kton), gerapporteerd door Cobelpa, en de totale papierproductie van Sappi (371,6 kton) en Stora Enso (474,3 kton) samen, is er nog een groot verschil van 411,1 kton papier. Aangezien 78% van de papierproductie in Vlaanderen gebaseerd is op gerecupereerd papier, is 78% van dit verschil bij de balans van Stora Enso gerekend en 22% bij de balans van Sappi (Cobelpa, mondelinge en schriftelijke toelichting). De hoeveelheid gerecupereerd papier geïmporteerd volgens de balans van Stora Enso (336 kton voor Vlaanderen) verschilt sterk van het door Cobelpa gerapporteerde hoeveelheid (1636 kton voor België). Enkel de eerste is in rekening gebracht.

3.10.3.1.3 Stofboekhouding

Tabel 75: Stofboekhouding van de deelsector papier

Input	Massa (kton)	N (kton)	P (kton)
Import	2555,65	1,10	0,59
Huishoudens	504,19	0,21	0,12
Plantaardige productie	96,01	0,06	0,01
Chemische en overige industrie	192,15	0,19	0,14
Totaal	3.348,00	1,56	0,85
Output	Massa (kton)	N (kton)	P (kton)
Export	2.674,64	1,16	0,67
Huishoudens	297,00	0,12	0,07
Luchtemissie (NO _x -N)	0,14	0,14	-
Water	0,14	0,13	0,01
Verbranding en/of compostering	7,09	0,06	0,01
Totaal	2.979,01	1,62	0,76

3.10.3.2 Metallurgie

3.10.3.2.1 Algemene beschrijving

Vroeger werden fosforrijke ertsen gebruikt in de staalindustrie. Bij de verwijdering van fosfor uit staal werden fosforrijke thomasslakken verkregen die als meststof gebruikt werden. De verwijdering van fosfor uit staal was echter duur in vergelijking met de waarde van de fosfor. Daarom werd er overgeschakeld naar fosforarme ertsen die vaak aangevoerd worden uit Zuid-Amerika of Zuid-Afrika. Bij ArcelorMittal Gent is er ruim 400 kton staalslak per jaar maar het P₂O₅ gehalte ligt rond de 1,2-1,5 % en dan nog in nauwelijks opneembare verbindingen. Dit betekent dat er jaarlijks ongeveer 2,4 kton P wordt vastgelegd in staalslakken. Hoogovenslak en andere slakken zijn eveneens fosforarm, en daar ligt het P-gehalte vaak onder 1% (Arcelormittal, mondelinge en schriftelijke toelichting). Volgens OVAM wordt het slak hetzij ingezet in cement, hetzij als grind/dolomietvervanger (wegenbouw) gebruikt, of nog opgeslagen (wegens slechte marktsituatie) of intern gebruikt, en een zeer kleine fractie wordt als meststof gebruikt in Frankrijk en Duitsland (OVAM, schriftelijke toelichting). Huidige slakken zijn inert wat betekent dat er dus geen leaching optreedt (Arcelormittal, mondelinge en schriftelijke toelichting).

3.10.4 Stofboekhouding

Aangezien er te weinig informatie beschikbaar is, wordt het knooppunt chemische en overige industrie beschouwd als één proces (black box). Enkel de in- en outputstromen die betrokken zijn in de andere knooppunten van deze studie, de input van lucht bij de sector meststoffen en de opgesomde importen en exporten van de bovenvermelde deeltknooppunten worden gebruikt bij de opbouw van de stofboekhouding. De emissies naar lucht en oppervlaktewater zijn gehaald uit het Milieuraapport Vlaanderen (VMM, 2013a).

Tabel 76: Stofboekhouding van het knooppunt chemische en overige industrie

Input	Symbool	N (kton)	P (kton)
Import	F238	275,52 ±20,0%	82,2 ±20,0%
Lucht	F218	274,42 ±20,0%	-
Voedingsindustrie	F116	11,29 ±20,0%	1,35 ±20,0%
Totaal		561,23	83,55
Output	Symbool	N (kton)	P (kton)
Afvalverwerking	F1	8,69 ±10,0%	5,50 ±10,0%
Huishoudens	F23	8,09 ±22,0%	1,62 ±40,0%
Veevoeder	F85	9,61 ±10,0%	6,62 ±10,0%
Plantaardige productie	F25	68,99 ±10,0%	1,43 ±10,0%
Openbare afvalwaterzuivering	F111	0,41 ±10,0%	0,04 ±10,0%
Lucht (NH ₃)	F204	0,46 ±10,0%	-
Lucht (NO _x)	F202	6,21 ±10,0%	-
Lucht (N ₂ O)	F203	2,15 ±10,0%	-
Lucht (N ₂)	F233	3,31 ±10,0%	-
Water	F58	1,081 ±10,0%	0,158 ± NaN
Export	F227	418,01 ±20,0%	67,32 ±20,0%
Totaal		527,01	82,68

3.11 Lucht

3.11.1 Algemene beschrijving

De inputstromen van het knooppunt lucht zijn de stikstofemissies van reactieve (NH₃, NO_x en N₂O) en niet-reactieve stikstof (N₂) naar de lucht boven Vlaanderen vanuit de diverse knooppunten en geïmporteerd in Vlaanderen. De outputstromen zijn atmosferische depositie, biologische stikstoffixatie, gebruik van stikstofgas bij transport en energie, chemische industrie en export uit Vlaanderen (atmosfeer en buitenland).

Tabel 77: Beschrijving knooppunt lucht

Externe input	Beschrijving
Import (NH ₃ en NO _x)	Import van verzurende N-emissies
Voedingsindustrie (NO _x , N ₂)	N-emissies van de voedingsindustrie
Plantaardige productie (NO, NH ₃ , N ₂ O)	N-emissies van de plantaardige productie
Dierlijk productie (NO _x , NH ₃ , N ₂ O)	N-emissies van de dierlijke productie
Huishoudens en handel & diensten (NO _x , NH ₃ , N ₂ O)	N-emissies van huishoudens
Afvalverwerking (NO _x en NH ₃)	N-emissies van afvalverwerking
Openbare afvalwaterzuivering (N ₂ O en N ₂)	N-emissies van de openbare afvalwaterzuivering
Transport en energie (NO _x , NH ₃ , N ₂ O)	N-emissies van transport en energie
Biomassaverwerking (N ₂ O, NH ₃ , N ₂)	N-emissies van biomassaverwerking
Chemische en overige industrie (N ₂ O, NH ₃ , NO _x)	N-emissies van de chemische industrie, metaal, textiel, papier en overige
Water (N ₂ O en N ₂)	N-emissies van het knooppunt water
Verandering in stock (N ₂)	Netto afname van de stock
Externe output	Beschrijving
Export (N ₂ O)	Export van N ₂ O naar atmosfeer
Export (NH ₃ en NO _x)	Export van verzurende emissies naar atmosfeer
Plantaardige productie (N ₂ + NO _x + NH ₃)	Biologische stikstoffixatie en atmosferische depositie
Transport en energie (N ₂)	N ₂ gebruikt in verbrandingsprocessen
Openbare afvalwaterzuivering (NO _x en NH ₃)	Afvoer van NO _x en NH ₃ via regenwater
Chemische en overige industrie (N ₂)	N ₂ gebruikt voor de productie van ammoniak
Bodem (NO _x en NH ₃)	Atmosferische depositie

3.11.2 Assumpties en berekeningen

De NO_x, NH₃ en N₂O-emissies naar de lucht uit de verschillende sectoren zijn berekend en gerapporteerd in het Milieuraapport Vlaanderen (VMM, 2013a). De niet-reactieve N₂-emissie van de biologieën is uit de gegevens van de VLM gehaald (VLM, mondelinge en schriftelijke toelichting).

Een deel van de NH₃- en NO_x-emissies zal na verloop van tijd terug neerslaan op de Vlaamse bodem. Dit fenomeen wordt atmosferische stikstofdepositie genoemd. De stikstofdepositie is berekend op gemeenteniveau (gemiddelde stikstofdepositie per gemeente en per hectare vermenigvuldigd met het landbouwareaal per gemeente). De gemiddelde stikstofdepositie in Vlaanderen bedraagt 26,1 kg N/ha (NO_x: 9,1 kg N/ ha en NH₃: 16,9 kg N/ha) (VMM, 2012). Ammoniakale stikstof is dus ongeveer 65% uit van de stikstofdepositie in 2009. Hiervan zal een deel terecht komen op het landbouwareaal (662.653 ha) en vormt aldus een N-input voor de plantaardige productie. De rest zal terecht komen op het overige Vlaamse grondgebied, buiten het landbouwareaal (689.547 ha). Deze stikstofstroom wordt beschouwd als tijdelijke accumulatie van reactieve stikstof in de bodem. Een deel van de

gedeponeerde stikstof in Vlaanderen is geïmporteerd. 65% van de NO_x-depositie in Vlaanderen is het gevolg van import en voor de NH₃-depositie was dit 29%. Binnen Vlaanderen is het grootste deel van de verzurende depositie toe te schrijven aan transport voor de totale NO_x-depositie (24%) en aan de sector landbouw voor de totale NH₃-depositie (66%) (VMM, 2013c).

Een ander deel van de Vlaamse NH₃-en NO_x-emissies zal buiten Vlaanderen gedeponeerd worden. Van de NO_x-emissies wordt minder dan een derde als verzurende depositie in eigen regio afgezet, en van de NH₃-emissies wordt meer dan 80% in Vlaanderen afgezet (VMM, 2006). De rest wordt als export beschouwd.

Daarnaast vormt de biologische stikstoffixatie door stikstof-fixerende gewassen, voornamelijk vlinderbloemigen, een stikstofstroom van de lucht naar de plantaardige productie. Dit is berekend door de gemiddelde stikstoffixatie per gewas en per hectare te vermenigvuldigen met het overeenkomstige areaal per gewas in Vlaanderen (Lenders et al., 2012).

Een deel van de stikstof dat via de plantaardige en dierlijke productie in het water terecht komt, zal naar de atmosfeer gaan onder de vorm van N₂O en N₂. Dit stelt dus een stroom voor van het knooppunt water naar het knooppunt lucht (VMM, 2013a).

Via regenwater wordt reactieve stikstof (NH₃ en NO_x) uit de lucht gewassen die dan vervolgens via openingen in het rioleringsnetwerk in de openbare afvalwaterzuivering terecht komt. Dit stelt een stikstofstroom voor van het knooppunt lucht naar het knooppunt openbare afvalwaterzuivering.

De emissies van N₂ uit de centrale energieproductie vertegenwoordigt een stroom van het knooppunt transport en energie naar het knooppunt lucht.

Tenslotte wordt stikstofgas uit de lucht gebruikt bij verbrandingsprocessen en door de chemische industrie voor de productie van ammoniak. Hierdoor is er een stikstofstroom van het knooppunt lucht naar het knooppunt transport en energie en van het knooppunt lucht naar het knooppunt chemische en de overige industrie.

De input en output van het knooppunt lucht zijn niet in evenwicht, daarom wordt ook een verandering in stock beschouwd die berekend wordt in de stofstroomanalyse. De stock zelf is niet begroot, want het betreft hier een oneindige stock van N₂-gas in de atmosfeer. Deze verandering in stock betekent een netto omzetting van inert N₂-gas naar reactieve stikstofvormen, zodat er meer reactieve stikstof in het systeem komt, dan er wordt omgezet naar niet-reactieve stikstof.

3.11.3 Stofboekhouding

Tabel 78: Stofboekhouding van het knooppunt lucht

Input		N (kton)		
Import	Reactieve N	NH ₃ -N	F56	6,64 ±10,0%
		NO _x -N	F201	8,04 ±10,0%
Voedingsindustrie	Reactieve N	NO _x -N	F179	0,53 ±10,0%
	Niet reactieve N	N ₂ -N	F178	1,52 ±10,0%

Plantaardige productie	Reactieve N	NH ₃ -N	F118	12,73 ±10,0%
		NO _x -N	F121	2,85 ±10,0%
		N ₂ O-N	F119	3,32 ±10,0%
	Niet reactieve N	N ₂ -N	F120	4,98 ±10,0%
Dierlijke productie	Reactieve N	NH ₃ -N	F122	18,74 ±10,0%
		NO _x -N	F125	2,42 ±10,0%
		N ₂ O-N	F123	0,77 ±10,0%
	Niet reactieve N	N ₂ -N	F124	1,15 ±10,0%
Huishoudens	Reactieve N	NH ₃ -N	F127	1,23 ±10,0%
		NO _x -N	F128	3,18 ±10,0%
		N ₂ O-N	F129	0,63 ±10,0%
Afvalverwerking	Reactieve N	NH ₃ -N	F205	0,00 ±10,0%
	Reactieve N	NO _x -N	F206	0,56 ±20,0%
	Niet reactieve N	N ₂ -N	F183	30,14 ±20,0%
Openbare afvalwaterzuivering	Reactieve N	N ₂ O-N	F244	0,19 ±20,0%
	Niet reactieve N	N ₂ -N	F243	15,09 ±10,0%
Transport en energie	Reactieve N	NH ₃ -N	F225	0,56 ±10,0%
		NO _x -N	F224	26,22 ±10,0%
		N ₂ O-N	F226	0,54 ±10,0%
	Niet reactieve N	N ₂ -N	F189	489,08 ±20,0%
Biomassaverwerking	Reactieve N	NH ₃ -N	F141 F196 F239	0,87 ±10,0%
		N ₂ O-N	F190	0,05 ±20,0%
	Niet reactieve N	N ₂ -N	F148	10,29 ±10,0%
Chemische en overige industrie	Reactieve N	NH ₃ -N	F204	0,46 ±10,0%
		NO _x -N	F202	6,21 ±10,0%
		N ₂ O-N	F203	2,15 ±10,0%
	Niet reactieve N	N ₂ -N	F233	3,31 ±10,0%
Water	Reactieve N	N ₂ O-N	F208	0,78 ±10,0%
	Niet reactieve N	N ₂ -N	F209	1,17 ±10,0%
Totaal input				656,39

Output		N (kton)		
Export	Reactieve N	NH ₃ -N	F215	8,36 ±10,0%
		NO _x -N	F216	33,34 ±10,0%
		N ₂ O-N	F217	8,43 ±10,0%
Plantaardige productie	Reactieve N	NH ₃ en NO _x -N	F26	17,3 ±10,0%
	Niet reactieve N	N ₂ -N	F87	5,49 ±10,0%
Huishoudens	Niet reactieve N	N ₂ -N	F182	4,03 ±10,0%
Openbare afvalwaterzuivering	Reactieve N	NH ₃ en NO _x -N	F184	0,27 ±10,0%
Transport en energie	Niet reactieve N	N ₂ -N	F50	34,03 ±10,0%
Chemische en overige industrie	Niet reactieve N	N ₂ -N	F218	274,42 ±10,0%
Bodem	Reactieve N	NH ₃ en NO _x -N	F94	18 ±10,0%
Verandering in stock	Niet reactieve N	N ₂ -N		
Totaal output				403,67

3.12 Water

3.12.1 Algemene beschrijving

De inputstromen voor het knooppunt water zijn de stikstof- en fosforverliezen naar het oppervlaktewater vanuit de diverse knooppunten. De outputstromen zijn stikstofverliezen naar de lucht en export buiten Vlaanderen.

Tabel 79: Beschrijving knooppunt water

Externe input	Beschrijving
Voedingsindustrie	N- en P-verliezen door de voedingsindustrie
Veevoedingsindustrie	N- en P-lozingen door de veevoedingsindustrie
Plantaardige productie	N- en P-lozingen door de plantaardige productie
Dierlijk productie	N- en P-verliezen door de dierlijke productie
Huishoudens en handel & diensten	N- en P-lozingen door de huishoudens
Openbare afvalwaterzuivering	N- en P-lozingen door afval en afvalwater
Transport en energie	N- en P-lozingen door verbrandingsprocessen
Chemische en overige Industrie	N- en P-lozingen door de chemische industrie, metaal, textiel, papier, overige
Externe output	Beschrijving
Lucht (N ₂ O)	N ₂ O-emissies naar de lucht
Lucht (N ₂)	N ₂ -emissies naar de lucht
Export	Export van stikstof- en fosforstromen

3.12.2 Assumpties en berekeningen

De emissies van de industriële knooppunten en huishoudens en handel & diensten naar oppervlaktewater zijn gerapporteerd in tabel 45 en zijn opgenomen als input in het knooppunt water. De emissies naar oppervlaktewater van huishoudens en handel & diensten is de afvalwaterstroom die niet gezuiverd wordt in de openbare afvalwaterzuivering. De deelstroom van huishoudens is berekend met de aangepaste inwonersequivalenten vermeld in tabel 37 (12 g N/IE/dag en 2 g P/IE/dag) . Aan outputzijde zal een gedeelte van de stikstoflozingen in het oppervlaktewater door de plantaardige en dierlijke productie naar de atmosfeer (knooppunt lucht) gaan onder de vorm van N₂O en N₂ (VMM, 2013a). De N₂O-emissies zijn berekend en gerapporteerd door VMM (2013). De N₂-emissies zijn geschat op 1,5 maal de N₂O-emissies. Een meer gedetailleerde berekening staat in de bijlage van deze studie. De grotere input dan output zorgt voor een verandering in stock of zal geëxporteerd worden buiten Vlaanderen. Wellicht komt een deel van deze stikstof en fosfor in de bodem terecht of via het rivierstelsel in de zee terecht. Het is echter niet mogelijk om binnen de opzet van deze studie hiervan een kwantitatieve inschatting te maken. Aangezien deze stromen niet begroot zijn, noch de eindpunten van deze stromen bekend zijn, wordt dit samengebracht in de stroom export.

3.12.3 Stofboekhouding

Tabel 80: Stofboekhouding van het knooppunt water

Input	Symbol	N (kton)	P (kton)
Voedingsindustrie	F43	0,34 ±10,0%	0,08 ±10,0%
Veevoederindustrie	F86	0,00 ±10,0%	0,00 ±NaN
Plantaardige productie	F54	19,27 ±10,0%	1,14 ±10,0%
Huishoudens en handel en diensten	F20	6,41 ±10,0%	1,15 ±10,0%
Openbare afvalwaterzuivering (effluent)	F108	5,06 ±10,0%	0,55 ±10,0%
Openbare afvalwaterzuivering (Overstort afvalwater)	F221	1,00 ±20,0%	0,15 ±20,0%
Transport en energie	F52	0,05 ±10,0%	0,003 ±10,0%
Chemische en overige industrie	F58	1,08 ±10,0%	0,15 ±10,0%
Totaal		33,21	3,22
Output	Symbol	N (kton)	P (kton)
Lucht (N ₂ O)	F208	0,78 ±10,0%	-
Lucht (N ₂)	F209	1,17 ±10,0%	-
Verandering in stock en export	F213	31,28 ±10,0%	3,22 ±10,0%
Totaal		33,23	3,22

3.13 Bodem

3.13.1 Algemene beschrijving

Het knooppunt bodem omvat de bodem vanaf het maaiveld tot en met de freatische grondwaterlagen. De inputstromen van het knooppunt bodem zijn de stikstof- en fosforstromen vanuit de plantaardige productie. Nutriëntenverliezen uit de plantaardige productie zijn deels een inputstroom in de bodem. Een inputstroom zou ook afkomstig kunnen zijn van de huishoudens ten gevolge van thuiscompostering, maar hierover zijn geen gegevens beschikbaar. De outputstromen zijn de stikstof- en fosforstromen naar de plantaardige productie, alsook de groenproductie in tuinen (13 % van oppervlakte Vlaanderen).

3.13.2 Assumpties en berekeningen

De stroom van de plantaardige productie naar de bodem wordt begroot op basis van het overschot op de bodembalans van de Vlaamse landbouw (Lenders et al., 2012). Lenders et al. (2012) begroten een overschot aan stikstof van 30,6 kton N (+/-10,3) en een tekort aan fosfor van 0,0 (+/- 2,7) kton P. Van dit overschot dienen een aantal factoren afgetrokken te worden.

- stikstof- en fosforverliezen van de plantaardige productie naar het oppervlaktewater, begroot met het SENTWA-model door VMM (19,27 kton N en 1,14 kton P) (VMM, 2013);
- de N₂O-emissies vanuit de bodem naar de lucht: 3,32 kton N (VMM, 2013a);
- het resterende N-overschot is emissie van N₂ of gaat doorsijpelen naar oppervlakte- en grondwater. De emissie van N₂ uit chemische denitrificatie wordt geschat op 1,5 maal de N₂O-emissie: dus 4,98 kton N.

Het verschil tussen het overschot van de bodembalans en de emissies naar oppervlaktewater en lucht geeft de hoeveelheid nutriënten die naar het grondwater sijpelt of onttrokken wordt aan de bodem. Deze wordt ingeschat op basis van bovenstaande berekening op 3,03 kton N en -1,14 kton P. Daarnaast gaat 2,16 kton N onder de vorm van infiltrerend grondwater in het rioleringsstelsel van de bodem naar de openbare afvalwaterzuivering.

De berekening van de stikstofdepositie op de overige bodem in Vlaanderen is toegelicht in het knooppunt lucht. Deze stikstofstroom wordt beschouwd als een accumulatie van reactieve stikstof in de niet-landbouwbodem.

De grotere input voor N en de grotere output voor P, voor een verandering in stock in de bodem en wordt begroot in de stroomanalyse.

3.13.3 Stofboekhouding

Tabel 81: Stofboekhouding van het knooppunt bodem

Input	Symbool	N (kton)	P (kton)
Plantaardige productie	F176	3,03 ±10,29%	-
Lucht	F94	18,00 ±10,0%	0,00 ±NaN
Totaal		21,03	
Output	Symbool	N (kton)	P (kton)
Lucht (N ₂)	F212	4,98 ±10,0%	-
Lucht (N ₂ O)	F211	3,32 ±10,0%	-
Openbare afvalwaterzuivering	F219	2,16 ±10,0%	-
Plantaardige productie	F176	-	1,14 ±2,70%
Verandering in stock			
Totaal		10,46	1,14

4 Stofstroomanalyse

De stofstroomanalyse heeft als doel om de data verkregen uit de stofboekhouding verder te verwerken in een statistisch en grafisch model waarin de onderlinge relaties tussen de knooppunten verder worden gepreciseerd. Het academisch softwarepakket STAN verwerkt de onzekerheden in de ruwe data van de stofboekhouding. Hierdoor is finaal een sluitende massabalans voor stikstof en fosfor bekomen binnen de systeemgrenzen van het Vlaams Gewest en zijn eveneens de onzekerheden blootgelegd. Vervolgens is het model gevisualiseerd, waarbij de verschillende nutriëntenstromen met behulp van Sankey pijlen zijn voorgesteld.

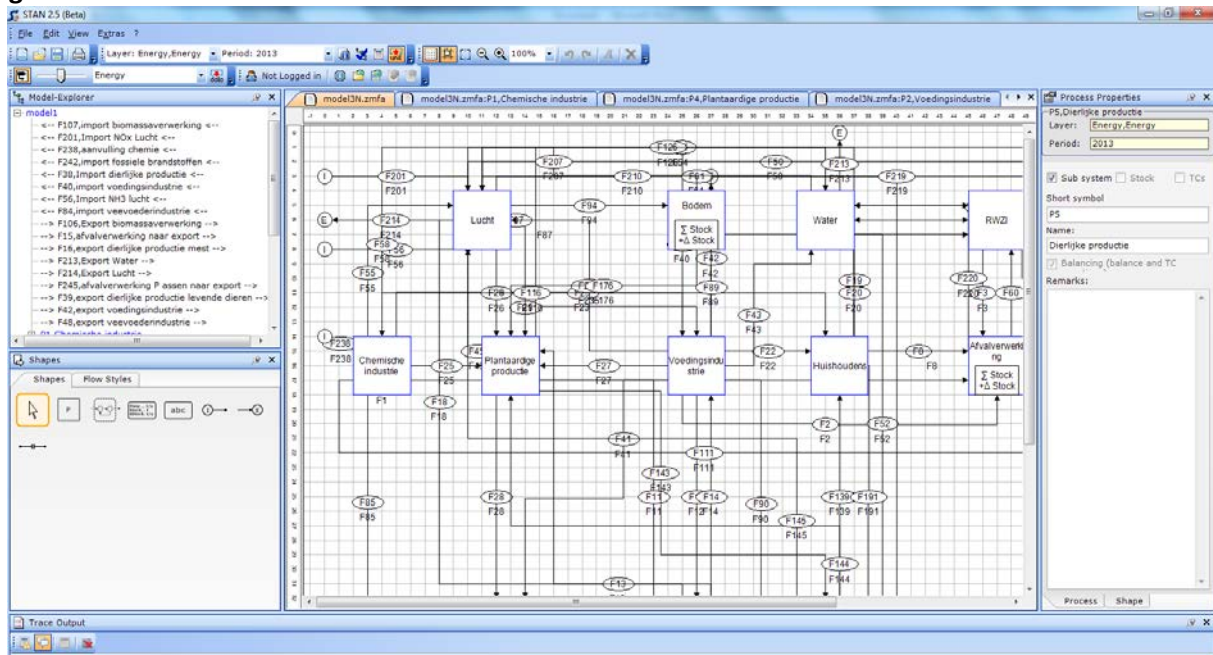
4.1 Methodiek stofstroomanalyse

De stofstroomanalyse is uitgevoerd volgens dezelfde systematiek die eerder is toegepast door Ott & Rechberger (2012) en Smit et al. (2010). Hierbij is gebruik gemaakt van het academisch softwarepakket STAN 2.5. Het softwarepakket is ontwikkeld aan de Technische Universiteit van Wenen volgens de Europese waste managementrichtlijnen en is conform de Oostenrijkse ÖNORM S 2096 normering, die de standaardisatie van stofstroomanalyses binnen de waste management preciseert. Hierdoor maakt STAN het mogelijk om op een gestandaardiseerde manier arbitraire systemen te beschrijven en analyseren.

4.1.1 Opbouw van een grafisch model in STAN

Een grafisch model wordt opgebouwd, waarbij de knooppunten overeenstemmen met de systemen en subsystemen uit de eerder opgestelde stofboekhouding. De opbouw van het model gebeurt in de Grafische User Interface (GUI) van de software. Deze interface bevat een tekengebied waarin vooraf gedefinieerde objecten zoals processen, stromen, systeemgrenzen en tekstvelden via sjablonen beschikbaar zijn voor de grafische opbouw van het model (figuur 5). De processen worden op die manier visueel verbonden via de gemeenschappelijke in- en outputstromen. Import- en exportstromen worden aangewend om processen te verbinden met het gebied buiten de systeemgrenzen en zijn aangeduid met de letters I en E.

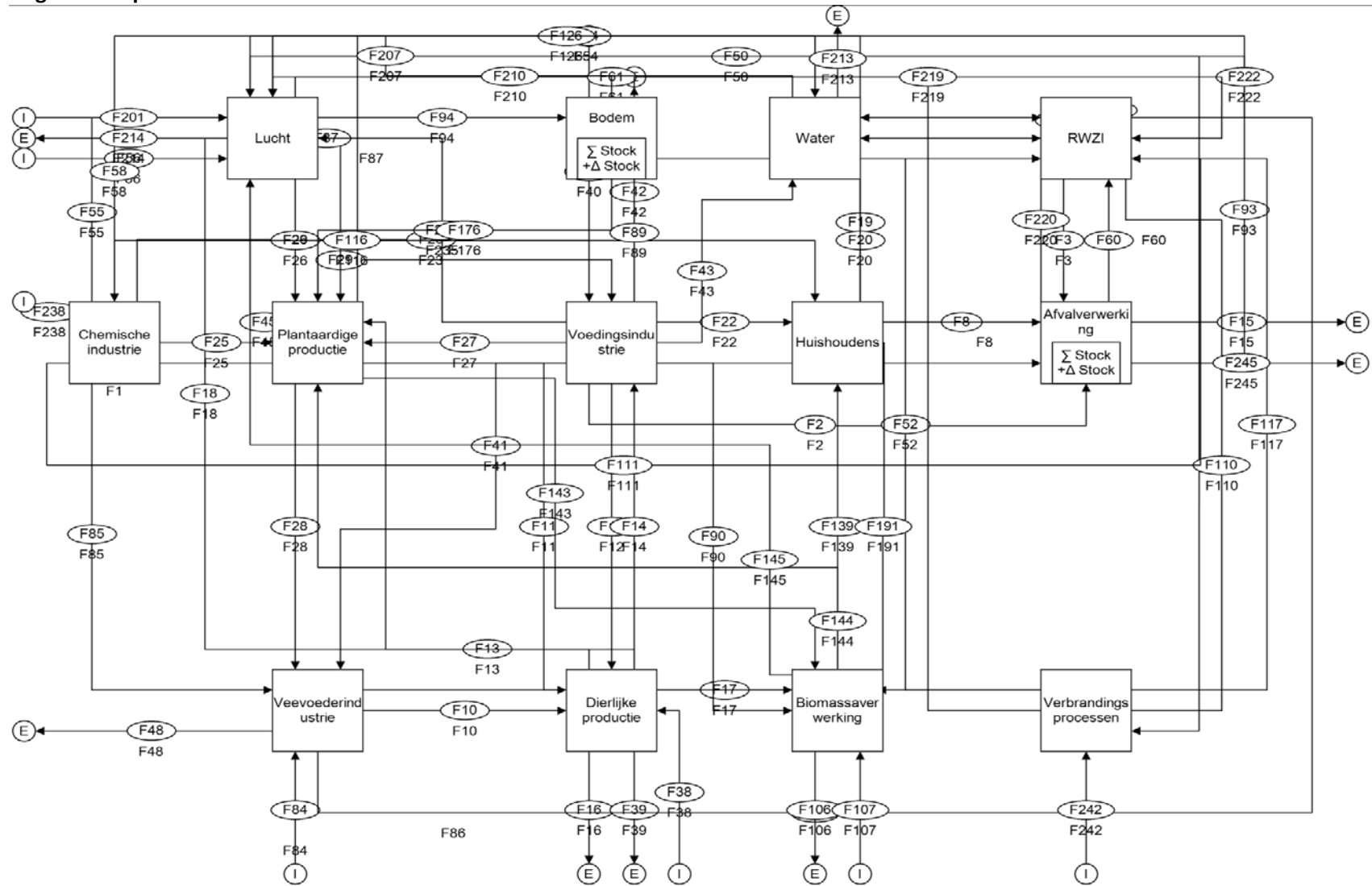
Figuur 5: Grafische user interface van STAN 2.5



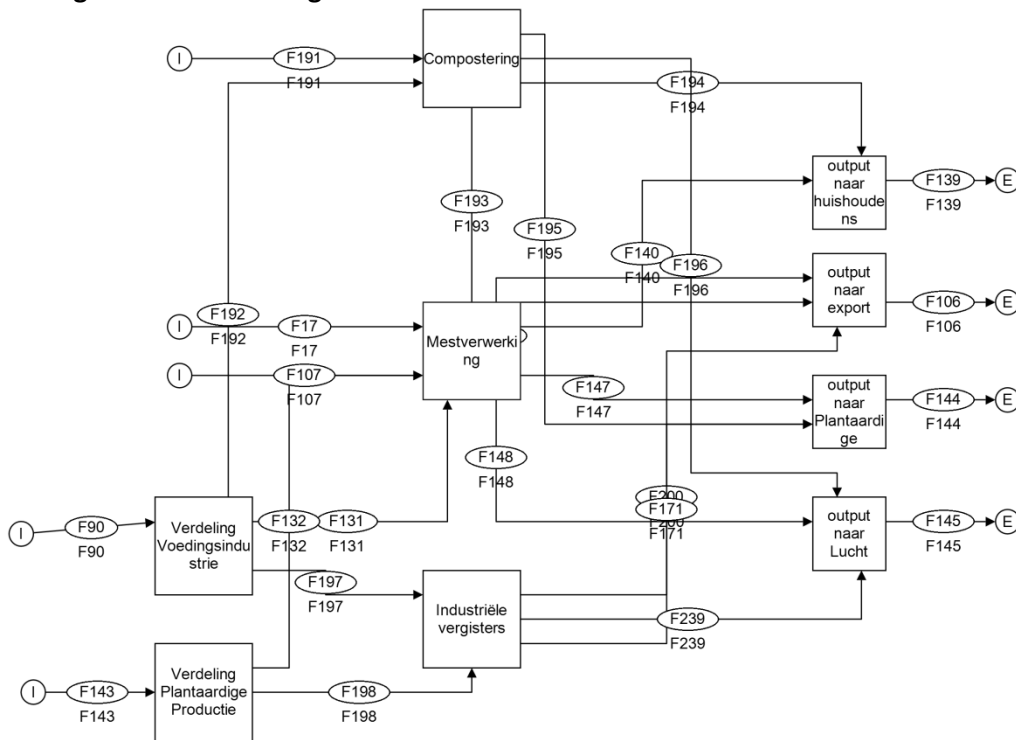
Het ontwikkelde model in deze studie is opgebouwd uit de 13 knooppunten die eerder beschreven zijn in de stofboekhouding (Tabel 2). Het Vlaams Gewest is gekozen als systeemgrens, waardoor in- en outputstromen die deze grenzen overschrijden beschouwd worden als import- en exportstromen (figuur 6). Binnen het algemeen stroommodel is elk van de 13 processen verder beschouwd als een subsysteem, waardoor het mogelijk is om ook binnen de knooppunten de interne stromen aan te duiden en te kwantificeren (figuur 7).

Naast in- en outputstromen kunnen de knooppunten ook voorraden (stocks) bevatten aan nutriënten. In deze studie zijn dergelijke voorraden niet in rekening gebracht. In de knooppunten lucht, bodem en afvalverwerking zijn wel mogelijke veranderingen in stocks (Δ stock) geïmplementeerd in het model. Voor bodem is deze wijziging in N- en P-stock geïntroduceerd om het verbruik (of surplus) van de reeds aanwezige nutriënten in de bodem door de plantaardige productie (bodembalans) weer te geven. Voor het knooppunt afvalverwerking fungeren de stortplaatsen als een stock, waardoor het afval dat afgevoerd wordt naar de stortplaats als een wijziging in de stock wordt beschouwd.

Figuur 6: Algemene opbouw van het stofstroommodel

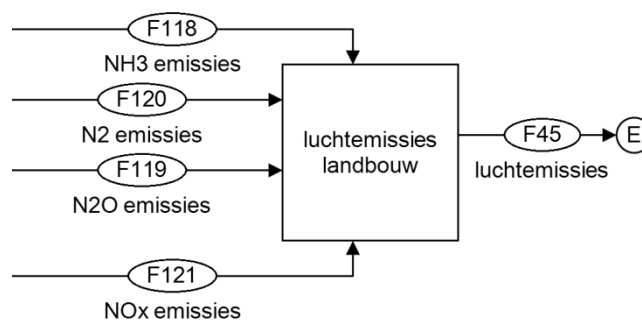


Figuur 7: Substelsiem biomassaverwerking dat opgebouwd is uit de processen compostering, mestverwerking en industriële vergisters



In STAN is het niet mogelijk om het onderscheid te maken tussen de verschillende stikstofspecties (NH_3 , NO_x , N_2O , N_2) binnen eenzelfde stroom. Om deze diversifiëring toch mogelijk te maken is er bij de opbouw van het model per knooppunt een subproces ontwikkeld waarin de verschillende types van luchtemissies als aparte stromen worden beschouwd. Binnen dit subproces luchtemissies worden vervolgens de stikstofemissies gesommeerd in 1 outputstroom die dan naar het knooppunt lucht vertrekt (figuur 8).

Figuur 8: Subproces luchtemissies in het knooppunt plantaardige productie

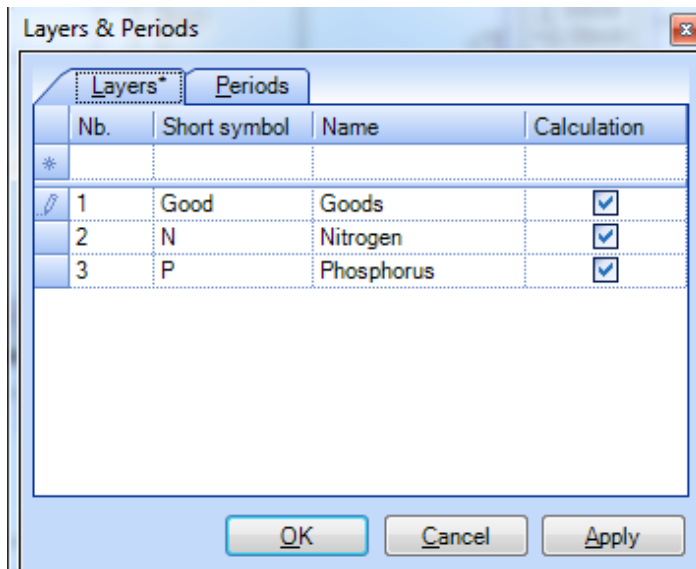


Eens het model is opgebouwd kunnen de data uit de stofboekhouding geïmporteerd worden in het systeem. De inputdata worden daarbij voor verschillende hiërarchische lagen ingevoerd. In het ontwikkelde model is er gekozen om, waar mogelijk, per stroom drie lagen van data in te geven (figuur 9 en figuur 10):

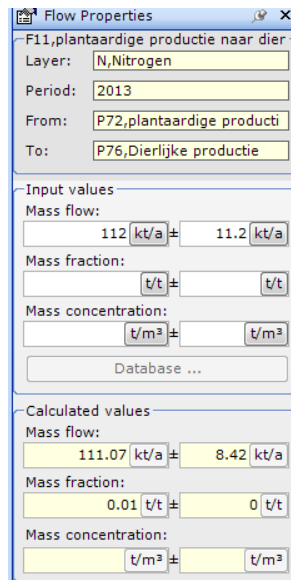
- totale massa van de stroom (kton/jaar);

- hoeveelheid stikstof die de stroom bevat (kton N/jaar);
- hoeveelheid fosfor die de stroom bevat (kton P/jaar)

Figuur 9: De drie aangewende lagen voor data input in het model



Figuur 10: Flow properties voor data input



Bij de bepaling van de nutriëntenstromen dient voor elke stikstof- en fosforstroom ook de betrouwbaarheid van de data te worden gekwantificeerd. Daar waar er gebruik gemaakt is van verschillende databronnen is de onzekerheid op de data mathematisch bepaald. Voor andere cijfergegevens is de betrouwbaarheid van de data geschat. Aan goed gedocumenteerde stromen, waarbij de data afkomstig zijn van metingen en jaarrapporten, is daarbij een kleinere onzekerheid toegewezen dan aan het cijfermateriaal dat bekomen is via aannames of schattingen. Ook de mate van onevenwicht tussen input en output per knooppunt is in rekening gebracht.

4.1.2 Analyse en berekeningen

De verwerking van inconsistenties en onevenwichten in de stofboekhouding gebeurt in de stofstroomanalyse via een statistisch model. Het grafisch ontwikkeld model wordt daarbij automatisch omgezet naar een mathematisch model, waarbij het principe van het behoud van massa centraal staat. Hierbij wordt er gebruik gemaakt van 4 vergelijkingen:

- *Massabalansvergelijking:*

$$\Sigma \text{ inputs} = \Sigma \text{ outputs} + \text{verandering in voorraden}$$

- *Transfer coefficient vergelijking:*

$$\text{Output}_x = \text{transfer coefficient}_{\text{OUTPUT } x} \cdot \Sigma \text{ inputs}$$

- *Vergelijking van de voorraden:*

$$\text{Stock}_{\text{PERIODE } i+1} = \text{stock}_{\text{PERIODE } i} + \text{verandering in stock}_{\text{PERIODE } i}$$

- *Concentratievergelijking:*

$$\text{Massa}_{\text{NUTRIENT}} = \text{massa}_{\text{PRODUCT}} \cdot \text{concentratie}_{\text{NUTRIENT}}$$

Via errorpropagatie en datareconciliatie wordt de data daarbij statistisch verwerkt om zo een sluitende massabalans te verkrijgen, zowel op het algemeen systeemniveau als per knooppunt op subsysteemniveau. Bovendien wordt het zo ook mogelijk om ongekeerde stromen alsnog te kwantificeren. Extra statistische tests zijn eveneens geïmplementeerd om grote fouten en contradicties in de inputdata te detecteren.

In het hier ontwikkelde model is de statistische verwerking in de stofstroomanalyse uitgevoerd op het niveau van stikstof en fosfor. De ingevoerde data op het niveau van de productstromen is daarbij niet in rekening gebracht omdat deze data niet voor alle stromen gekend waren.

Bij de eindredactie van deze studie, zijn er nog correcties gemaakt in de stofboekhouding, die niet meer verwerkt zijn in de stofstroomanalyse in hoofdstuk 4. Deze aanpassingen zijn gemaakt in de tabellen 7, 30, 45, 50, 76 en 80, ter hoogte van de stromen F19, F20, F43, F86, F52, F58, F213. Een extra stroom F133 werd toegevoegd aan de stofboekhouding van huishoudens en handel & diensten in tabel 30, die dus niet is opgenomen in de stofstroomanalyse.

4.1.3 Visualisatie van het stofstroommodel

De verschillende nutriëntenstromen van het model worden voorgesteld met behulp van Sankey pijlen. De breedte van de Sankey pijlen is evenredig met de waarde van de massastromen, waardoor de belangrijkste massastromen eenvoudig visueel herkend kunnen worden. Deze visualisatie gebeurt zowel voor de stikstof- als de fosforstromen. Verder kunnen de ingevoerde data van de stofboekhouding samen met de berekende data in tabelvorm geëxporteerd worden naar Excel via de Data Explorer of Process List (figuur 11).

Figuur 11: Process List in STAN die exporteren van data naar Excel mogelijk maakt

Process List - model1 (N,Nitrogen, 2013)

Drag a column header here to group by that column.

Pr...	Process name	Input/Outp...	Flow	Flow name	Mass flow [kt/a]	Mass flow (calculated) [kt/a]
P71	Lucht	Output	F217	N2O export Lucht	12.45±10.0%	12.36±10.0%
P71	Lucht	Output	F172	N2	73.16±10.0%	70.11±6.8%
P72	plantaardige productie	Input	F87	Lucht naar Plantaardige productie	5.49±10.0%	5.44±10.1%
P72	plantaardige productie	Input	F13	dierlijke productie naar plantaardige productie	100.38±10.0%	101.12±8.0%
P72	plantaardige productie	Input	F25	chemische industrie naar plantaardige productie	68.99±10.0%	64.10±9.4%
P72	plantaardige productie	Input	F26	Lucht naar Plantaardige productie 2	14.19±10.0%	13.87±10.1%
P72	plantaardige productie	Input	F27	voedingsindustrie naar plantaardige productie	0.98±20.0%	0.98±20.0%
P72	plantaardige productie	Input	F144	Biomassaverwerking naar plantaardige product...	2.40±50.0%	2.71±17.7%
P72	plantaardige productie	Input	F176	bodem naar plantaardige productie	7.21±50.0%	5.87±59.4%
P72	plantaardige productie	Output	F143	Plantaardige productie naar biomassaverwerki...		0.79±31.0%
P72	plantaardige productie	Output	F28	plantaardige productie naar veevoederindustrie	22.30±10.0%	22.47±9.8%
P72	plantaardige productie	Output	F29	plantaardige productie naar voedingsindustrie	17.40±10.0%	17.49±9.9%
P72	plantaardige productie	Output	F11	plantaardige productie naar dierlijke productie	112.00±10.0%	111.07±7.6%
P72	plantaardige productie	Output	F54	plantaardige productie naar water	19.27±10.0%	19.57±8.7%
P72	plantaardige productie	Output	F118	NH3 emissies landbouw	15.70±10.0%	15.96±8.0%
P72	plantaardige productie	Output	F120	N2 emissies landbouw	2.80±10.0%	2.81±9.9%
P72	plantaardige productie	Output	F119	N2O emissies landbouw	1.40±10.0%	1.40±10.0%
P72	plantaardige productie	Output	F121	NOx emissies landbouw	2.53±10.0%	2.54±9.9%
P73	Voedingsindustrie	Input	F14	dierlijke productie naar voedingsindustrie	100.26±20.0%	114.66±9.0%
P73	Voedingsindustrie	Input	F29	plantaardige productie naar voedingsindustrie	17.40±10.0%	17.49±9.9%
P73	Voedingsindustrie	Input	F40	import voedingsindustrie	172.22±10.0%	150.18±7.9%
P73	Voedingsindustrie	Output	F89	voedingsindustrie naar RWZI	0.44±10.0%	0.44±10.0%
P73	Voedingsindustrie	Output	F90	voedingsindustrie naar biomassaverwerking	4.97±50.0%	2.11±23.5%
P73	Voedingsindustrie	Output	F116	voedingsindustrie naar chemische industrie	11.29±20.0%	11.67±19.3%
P73	Voedingsindustrie	Output	F12	voedingsindustrie naar dierlijke productie	4.49±20.0%	4.46±20.1%
P73	Voedingsindustrie	Output	F22	voedingsindustrie naar huishoudens	33.62±200.0%	44.19±5.6%
P73	Voedingsindustrie	Output	F27	voedingsindustrie naar plantaardige productie	0.98±20.0%	0.98±20.0%
P73	Voedingsindustrie	Output	F41	voedingsindustrie naar veevoederindustrie	77.32±10.0%	77.69±9.0%
P73	Voedingsindustrie	Output	F42	export voedingsindustrie	117.12±10.0%	127.31±8.0%
P73	Voedingsindustrie	Output	F234	afvalwater voeding	2.26±20.0%	2.26±7.0%

Close

4.2 Voedingsindustrie

Uit de stofboekhouding van de voedingsindustrie valt af te leiden dat de uitgaande stromen 9% minder stikstof, maar 12% meer fosfor bevatten dan de inkomende stromen. Na datareconciliatie in het stofstroommodel is er een finale stikstof- en fosforbalans bekomen waarbij 290,27 kton stikstof en 38,95 kton fosfor wordt verwerkt in het knooppunt voedingsindustrie (Tabel 82). Tabel 82 en volgende tabellen van de stofstroomanalyse bevatten naast de data van de stofboekhouding, de resultaten van de stofstroomanalyse.

Bij het opstellen van het stofstroommodel is er voor de voedingsindustrie eveneens een interne waterzuivering (op de bedrijfssite) geïmplementeerd om de nutriëntenverliezen in rekening te brengen ten gevolge van de afvalwaterbehandeling die lozing voorafgaat (cfr. 3.7.4). Er wordt hierbij de aanname gemaakt dat de afvalwaterbehandeling resulteert in de omzetting van reactief stikstof naar stikstofgas (luchtemissies) en de vorming van P-rijk slib dat verder verwerkt wordt als vast afval. Voor de stofstroomanalyse is verondersteld dat het knooppunt voedingsindustrie geen voorraden aan stikstof of fosfor bevat.

Tabel 82: Stofstroomanalyse van de voedingsindustrie*

Input	Symbool	N (kton)	N berekend (kton)	P (kton)	P berekend (kton)
Dierlijke productie	F14	95,09 ±25,0%	119,92 ±15,4%	8,94 ±25,0%	12,98±17,2%
Plantaardige productie	F29	17,40 ±20,0%	17,66 ±19,6%	3,10 ±20,0%	3,31±18,5%
Import	F40	185,63 ±20,0%	152,68 ±16,1%	24,40 ±20,0%	22,66±13,9%
Totaal		298,12	290,26	36,44	38,95
Output	Symbool	N (kton)	N berekend (kton)	P (kton)	P berekend (kton)
Export	F42	129,04 ±20,0%	144,96 ±15,2%	14,34 ±20,0%	14,94±17,2%
Huishoudens en handel & diensten	F22	33,62 ±20,0%	36,85 ±7,6%	4,02 ±20,0%	4,40±15,9%
Veevoederindustrie	F41	77,32 ±20,0%	74,98 ±18,4%	13,91 ±20,0%	10,68±21,9%
Dierlijke productie	F12	4,49 ±25,0%	4,47 ±20,1%	0,88 ±25,0%	0,85±25,8%
Plantaardige productie	F27	0,98 ±20,0%	0,98 ±20,0%	0,15 ±20,0%	0,15±20,1%
Chemische en overige industrie	F116	11,29 ±20,0%	11,39 ±19,8%	1,35 ±20,0%	1,36±19,9%
Biomassaverwerking	F90	4,97 ±50,0%	2,20 ±17,3%	0,59 ±50,0%	0,37±16,0%
Afvalverwerking	F2	11,20 ±10,0%	11,21 ±7,0%	5,82 ±10,0%	5,98±6,5%
Openbare afvalwaterzuivering	F89	0,44 ±10%	0,44 ±10,0%	0,08 ±10%	0,08±10,0%
Water	F43	0,74 ±10%	0,74 ±9,9%	0,15 ±10%	0,14±20,8%
Lucht (N ₂)	F178	1,52 ±20%	1,52 ±16,7%	0,00±NaN	0,00±NaN
Lucht (NO _x)	F179	0,68 ±20%	0,53±20,0%	0,00±NaN	0,00±NaN
Totaal		274,76	290,27	41,44	38,95

* De stroom F43 in deze tabel komt niet overeen met deze in de stofboekhouding in tabel 7. Tabel 7 bevat de gecorrigeerde versie, die niet meer meegenomen werd in de stofstroomanalyse in tabel 82. Zie ook punt 4.1.2.

4.3 Veevoederindustrie

Voor de veevoederindustrie bedraagt het verschil in de stofboekhouding tussen in- en output voor stikstof en fosfor slechts 4% en 3% (Tabel 83). Na verwerking in de stofstroomanalyse is de totale stikstof- en fosforvracht bijgesteld naar 193,87 kton N en 32,49 kton P (Tabel 83). De

gereconcilieerde waarden liggen daarbij zowel voor de input- als outputdata lager in vergelijking met de stofboekhouding. Dit is vooral het gevolg van een daling van de import- en de outputstroom van veevoeder naar de dierlijke productie (cfr. 4.5).

Tabel 83: Stofstroomanalyse van de veevoederindustrie

Input	Symbool	N (kton)	N berekend (kton)	P (kton)	P berekend (kton)
Plantaardige productie	F28	22,30 ±20,0%	22,53 ±19,6%	4,20 ±20,0%	4,30 ±19,3%
Voedingsindustrie	F41	77,32 ±20,0%	74,98 ±18,4%	13,91 ±20,0%	10,68 ±21,9%
Import	F84	100,44 ±20,0%	86,85 ±18,5%	18,44 ±20,0%	11,75 ±22,6%
Chemische en overige industrie	F85	9,61 ±20,0%	9,50 ±20,2%	6,62 ±20,0%	5,77 ±22,2%
Totaal		209,67	193,86	43,17	32,50
Output	Symbool	N (kton)	N berekend (kton)	P (kton)	P berekend (kton)
Dierlijke productie	F10	178,78 ±25,0%	152,26 ±11,17%	34,25 ±25,0%	23,79 ±10,3%
Export	F48	39,50 ±20,0%	41,60 ±18,5%	7,57 ±20,0%	8,70 ±16,7%
Water	F86	0,01 ±10,0%	0,01 ±10,0%	0,00 ±NaN	0,00 ±NaN
Openbare afvalwaterzuivering	F117	0,00 ±NaN	0,00 ±NaN	0,00 ±NaN	0,00 ±NaN
Totaal		218,29	193,87	41,82	32,49

4.4 Plantaardige productie

Voor het knooppunt plantaardige productie is de stikstof- en fosforbalans in de stofboekhouding quasi gesloten, waardoor de gereconcilieerde stromen nauw aansluitend op 195,01 kton N en 24,57 kton P berekend zijn (Tabel 84).

Tabel 84: Stofstroomanalyse van plantaardige productie

Input	Symbool	N (kton)	N berekend (kton)	P (kton)	P berekend (kton)
Dierlijke productie	F13	100,38 ±25,0%	108,51 ±18,3%	21,16 ±25,0%	21,41 ±16,1%
Chemische en overige industrie	F25	68,99 ±20,0%	61,08 ±19,6%	1,43 ±20,0%	1,38 ±20,7%
Lucht (N-depositie)	F26	17,30 ±20,0%	16,76 ±20,5%	0,00 ±NaN	0,00 ±NaN
Voedingsindustrie	F27	0,98 ±20,0%	0,98 ±20,0%	0,15 ±20,0%	0,15 ±20,1%
Lucht (N-fixatie)	F87	5,49 ±20,0%	5,44 ±20,2%	0,00 ±NaN	0,00 ±NaN
Biomassaverwerking	F144	2,41 ±50,0%	2,24 ±13,5%	0,32 ±50,0%	0,52 ±11,2%
Bodem	F176	-	-	1,14 ±2,70%	1,11 ±20,6%
Totaal		195,55	195,01	24,20	24,57
Output	Symbool	N (kton)	N berekend (kton)	P (kton)	P berekend (kton)
Dierlijke productie	F11	112,00 ±25,0%	107,50 ±17,3%	15,80 ±25,0%	15,70 ±21,4%
Veevoederindustrie	F28	22,30 ±20,0%	22,53 ±19,6%	4,20 ±20,0%	4,30 ±19,3%
Voedingsindustrie	F29	17,40 ±20,0%	17,66 ±19,6%	3,10 ±20,0%	3,31 ±18,5%
Biomassaverwerking	F143	0,88 ±20,0%	0,66 ±36,1%	0,07 ±20,0%	0,08 ±15,1%
Lucht (NH ₃)	F118	12,73 ±20,0%	13,02 ±19,5%	0,00 ±NaN	0,00 ±NaN
Lucht (NO _x)	F121	2,85 ±20,0%	2,86 ±19,9%	0,00 ±NaN	0,00 ±NaN
Lucht (N ₂ O)	F119	3,32 ±20,0%	3,34 ±19,9%	0,00 ±NaN	0,00 ±NaN
Lucht (N ₂)	F120	4,98 ±20,0%	5,03 ±19,8%	0,00 ±NaN	0,00 ±NaN
Water	F54	19,27 ±10,0%	19,35 ±8,8%	1,14 ±10,0%	1,17 ±16,8%
Bodem	F176	3,03 ±10,29%	3,03 ±10,3%	-	-
Totaal		197,88	195,01	24,24	24,57

4.5 Dierlijke productie

In de stofboekhouding van de dierlijke productie bevatten de inputstromen 21% meer stikstof en 28% meer fosfor dan de outputstromen, wat overeenkomt met een absoluut verschil van 65 kton N en 18 kton P. In de stofstroomanalyse is er een finaal evenwicht bereikt waarbij 281 kton N en 41 kton P verwerkt wordt in het knooppunt dierlijke productie.

Tabel 85: Stofstroomanalyse van dierlijke productie

Input	Symbol	N (kton)	N berekend (kton)	P (kton)	P berekend (kton)
Veevoederindustrie	F10	178,78 ±25,0%	152,26 ±11,7%	34,25 ±25,0%	23,79 ±10,3%
Plantaardige productie	F11	112,00 ±25,0%	107,50 ±17,3%	15,80 ±25,0%	15,70 ±21,4%
Voedingsindustrie	F12	4,49 ±25,0%	4,47 ±20,1%	0,88 ±25,0%	0,85 ±25,8%
Import	F38	16,95 ±25,0%	16,32 ±20,7%	0,81 ±25,0%	0,78 ±25,8%
Totaal		312,23	280,55	51,74	41,12
Output	Symbol	N (kton)	N berekend (kton)	P (kton)	P berekend (kton)
Plantaardige productie	F13	100,38 ±25,0%	108,51 ±18,3%	21,16 ±25,0%	21,41 ±16,1%
Voedingsindustrie	F14	95,09 ±25,0%	119,92 ±15,4%	8,94 ±25,0%	12,98 ±17,2%
Export mest	F16	4,02 ±25,0%	4,10 ±29,4%	1,27 ±25,0%	1,36 ±27,9%
Export levende dieren	F39	3,53 ±25,0%	3,59 ±29,5%	0,17 ±25,0%	0,17 ±29,7%
Biomassaverwerking	F17	20,66 ±50,0%	20,57 ±11,0%	5,48 ±25,0%	5,21 ±8,6%
Lucht (NH ₃)	F122	18,74 ±20,0%	19,50 ±19,1%	0,00 ±NaN	0,00 ±NaN
Lucht (NO _x)	F125	2,42 ±20,0%	2,43 ±19,9%	0,00 ±NaN	0,00 ±NaN
Lucht (N ₂ O)	F123	0,77 ±20,0%	0,77 ±20,0%	0,00 ±NaN	0,00 ±NaN
Lucht (N ₂)	F124	1,15 ±20,0%	1,15 ±19,9%	0,00 ±NaN	0,00 ±NaN
Totaal		246,77	280,54	37,02	41,12

4.6 Huishoudens en handel & diensten

Voor het knooppunt huishoudens is in de stofboekhouding een verschil tussen in- en output bekomen van 5% voor stikstof en 7% voor fosfor. De finale massabalans via stofstroomanalyse verschilt hierdoor weinig van de stofboekhouding en is vastgelegd op 51,19 kton N en 6,47 kton P (Tabel 86).

Tabel 86: Stofstroomanalyse van huishoudens en handel & diensten*

Input	Symbool	N (kton)	N berekend (kton)	P (kton)	P berekend (kton)
Voedingsindustrie	F22	33,62 ±200,0%	36,85 ±7,6%	4,02 ±200,0%	4,40 ±15,9%
Chemische en overige industrie	F23	8,09 ±22,0%	8,03 ±22,1%	1,62 ±40,0%	1,59 ±40,3%
Biomassaverwerking	F139	2,30 ± 50,0%	2,30 ±15,2%	0,49 ± 50,0%	0,48 ±15,2%
Lucht (N ₂)	F182	4,03 ±20,0%	4,01 ±20,1%	0,00 ±NaN	0,00 ±NaN%
Totaal		48,04	51,19	6,13	6,47
Output	Symbool	N (kton)	N berekend (kton)	P (kton)	P berekend (kton)
Afvalverwerking	F8	12,44 ±10,0%	12,48 ±9,8%	1,00 ±10,0%	1,00 ±10,0%
Openbare afvalwaterzuivering	F19	19,79 ±10,0%	20,61 ±6,3%	3,35 ±10,0%	3,24 ±7,2%
Water	F20	9,50 ±10,0%	9,50 ±9,7%	1,35 ±10,0%	1,35 ±9,5 %
Biomassaverwerking	F191	3,10 ±20,0%	3,11 ±11,6%	0,64 ±20,0%	0,64 ±11,7%
Septisch slib RWZI	F220	0,45 ±20,0%	0,45 ±9,9%	0,25 ±20,0%	0,25 ±19,6%
Lucht (NH ₃)	F127	1,23 ±20,0%	1,23 ±10,0%	0,00 ±NaN	0,00 ±NaN
Lucht (NO _x)	F128	3,18 ±20,0%	3,18 ±10,0%	0,00 ±NaN	0,00 ±NaN
Lucht (N ₂ O)	F129	0,63 ±20,0%	0,63 ±10,0%	0,00 ±NaN	0,00 ±NaN
Totaal		50,28	51,19	6,59	6,47

* De stofstroomanalyse in deze tabel is gebaseerd op een eerdere versie van de stofboekhouding in tabel 30, waarvan weerslag in deze tabel. Dus kolom 3 en 5 in tabel 86 wijkt in die zin af van tabel 30. Zie ook punt 4.1.2.

4.7 Afvalverwerking

In het knooppunt afvalverwerking worden afvalstromen verbrand, gestort of geëxporteerd. In het stofstroommodel is de stortplaats geïmplementeerd als een subproces waarin de nutriënten worden opgeslagen (stock). Gezien de hoeveelheid stikstof en fosfor die reeds aanwezig is in de stortplaatsen niet gekend is, wordt hierbij enkel de wijziging in de stock (nieuw gestort materiaal) weergegeven.

Binnen de stofboekhouding is de massabalans zowel voor N als P nagenoeg gesloten. Via de stofstroomanalyse is er finaal een vracht van 36,05 kton N en 15,36 kton P gekomen die in dit knooppunt wordt verwerkt (Tabel 87).

Tabel 87: Stofstroomanalyse van de afvalverwerking

Input	Symbol	N (kton)	N berekend (kton)	P (kton)	P berekend (kton)
Chemische en overige industrie	F1	8,69 ±10,0%	8,69 ±9,9%	5,50 ±10,0%	5,46 ±9,3%
Voedingsindustrie	F2	11,20 ±10,0%	11,21 ±7,0%	5,91 ±10,0%	5,98 ±6,5%
Huishoudens en handel & diensten	F8	12,44 ±10,0%	12,48 ±9,8%	1,00 ±10,0%	1,00 ±10,0%
Openbare afvalwaterzuivering	F3	3,71 ±10,0%	3,67 ±11,2%	2,81 ±20,0%	2,92 ±8,0%
Totaal		36,05	36,05	15,21	15,36
Output	Symbol	N (kton)	N berekend (kton)	P (kton)	P berekend (kton)
Export	F15	0,09 ±10,0%	0,09 ±10,0%	2,74 ±10,0%	2,75 ±9,8%
Openbare afvalwaterzuivering	F60	0,01 ±10,0%	0,01 ±10,0%	0,00 ±10,0%	0,00 ±10,0%
Export (P-assen)	F245	-	0,00 ±NaN	12,37 ±10,0%	12,59 ±5,2%
Verandering in stock (stort)	F130	5,24 ±10,0%	5,24 ±10,0%	0,01 ±10,0%	0,01 ±10,0%
Lucht (NH ₃)	F205	0,00 ±NaN	0,00 ±NaN	0,00 ±NaN	0,00 ±NaN
Lucht (NO _x)	F206	0,56 ±20,0%	0,56 ±20,0%	0,00 ±NaN	0,00 ±NaN
Lucht (N ₂)	F183	30,14 ±20,0%	30,16 ±5,8%	0,00 ±NaN	0,00 ±NaN
Totaal		36,06	36,05	14,59	15,36

4.8 Openbare afvalwaterzuivering

Het stofstroommodel van de openbare afvalwaterzuivering is opgebouwd uit een waterzuiveringseenheid en een slibvergistingseenheid. Septisch slib en een deel van het geproduceerde actief slib worden vergist alvorens dit samen met het niet-vergist slib afgevoerd wordt naar de afvalverwerking. Voor het stofstroommodel is het ongezuiverd afvalwater dat via de overstort wordt geloosd ook een onderdeel van de openbare afvalwaterzuivering. Met de stofstroomanalyse is een massabalans bekomen waarbij de waterzuivering 24,53 kton N en 3,61 kton P verwerkt.

Tabel 88: Stofstroomanalyse van de openbare afvalwaterzuivering

Input	Symbol	N (kton)	N berekend (kton)	P (kton)	P berekend (kton)
Voedingsindustrie	F89	0,44 ± 10,0%	0,44 ±10,0%	0,08 ±10,0%	0,08 ±10,0%
Veevoederindustrie	F117	0,00 ± 10,0%	0,00 ±10,0%	0,00 ±10,0%	0,00 ±10,0%
Afvalverwerking	F60	0,01 ± 10,0%	0,01 ±10,0%	0,00 ±10,0%	0,00 ±10,0%
Transport en energie	F110	0,01 ± 10,0%	0,01 ±10,0%	0,00 ±10,0%	0,00 ±10,0%
Chemische en overige industrie	F111	0,41 ± 10,0%	0,41 ±10,0%	0,04 ±10,0%	0,04 ±10,0%
Huishoudens	F19	19,79 ± 10,0%	20,61 ±6,3%	3,35 ±10,0%	3,24 ±7,2%
Lucht (regen)	F184	0,27 ± 10,0%	0,27 ±10,0%	0,00 ±NaN	0,00 ±NaN
Bodem (infiltratiewater)	F219	2,29 ± 10,0%	2,33 ±19,4%	0,00 ±NaN	0,00 ±NaN
Huishoudens (septisch slib)	F220	0,45 ± 20,0%	0,45 ±9,9%	0,25 ±20,0%	0,25 ±19,6%
Totaal		23,68	24,53	3,72	3,61
Output	Symbol	N (kton)	N berekend (kton)	P (kton)	P berekend (kton)
Water (overstort)	F221	1,00 ± 20,0%	0,99 ±20,1%	0,15 ±20,0%	0,15 ±19,8%
Water (effluent)	F108	5,06 ± 10,0%	5,01 ±9,8%	0,55 ±10,0%	0,55 ±9,8%
Lucht (N ₂)	F243	15,28 ± 20,0%	14,67 ±8,4%	0,00 ±NaN	0,00 ±NaN
Lucht (N ₂ O)	F244	0,19 ± 20,0%	0,19 ±20,0%	0,00 ±NaN	0,00 ±NaN
Afvalverwerking (slib)	F3	3,71 ± 10,0%	3,67 ±11,2%	2,81 ±20,0%	2,92 ±8,0%
Totaal		25,05	24,53	3,51	3,61

4.9 Transport en Energie

Voor het knooppunt Transport en Energie is een gereconcilieerde massabalans gekomen waarbij 527 kton N en 0,01 kton P in het knooppunt wordt verwerkt (Tabel 89). Doordat de hoeveelheid P-slakken die geproduceerd worden tijdens de verbrandingsprocessen niet gekend is, zijn voor fosfor enkel de emissies naar de openbare afvalwaterzuivering en het knooppunt water in rekening gebracht. De input van N₂ uit de lucht of in de gasen als brandstof vormt het grootste aandeel van de inputstromen van dit knooppunt. Deze niet-reactieve stroom is relatief groot ten opzichte van de andere knooppunten en wordt dus niet weerhouden in de discussie over recuperatiemogelijkheden.

Tabel 89: Stofstroomanalyse van transport en energie*

Input	Symbol	N (kton)	N berekend (kton)	P (kton)	P berekend (kton)
Lucht (N ₂)	F50	20,70 ±20,0%	33,98 ±20,0%	0,00 ±NaN	0,00 ±NaN
Import fossiele brandstof	F242	495,70 ±10,0%	493,04 ±9,0%	0,00 ±10,0%	0,01 ±9,1%
Totaal		516,40	527,02	0,00	0,01
Output	Symbol	N (kton)	N berekend (kton)	P (kton)	P berekend (kton)
Water	F52	0,24 ±10,0%	0,24 ±10,0%	0,01 ±10,0%	0,01 ±10,0%
Openbare afvalwaterzuivering	F110	0,01 ±10,0%	0,01 ±10,0%	0,00 ±10,0%	0,00 ±10,0%
Lucht (NH ₃)	F225	0,56 ±20,0%	0,56 ±20,0%	0,00 ±NaN	0,00 ±NaN
Lucht (NO _x)	F224	26,22 ±20,0%	26,25 ±20,0%	0,00 ±NaN	0,00 ±NaN
Lucht (N ₂ O)	F226	0,54 ±20,0%	0,54 ±20,0%	0,00 ±NaN	0,00 ±NaN
Lucht (N ₂)	F189	489,08 ±20,0%	499,42 ±9,0%	0,00 ±NaN	0,00 ±NaN
Totaal		516,66	527,03	0,01	0,01

* De stroom F52 in deze tabel komt niet overeen met deze in de stofboekhouding in tabel 50. Tabel 50 bevat de gecorrigeerde versie, die niet meer meegenomen werd in de stofstroomanalyse in tabel 89. Zie ook punt 4.1.2.

4.10 Biomassaverwerking

Het knooppunt biomassaverwerking is de overkoepeling van de processen compostering, mestverwerking en industriële vergisters. Samen verwerken deze processen 31,19 kton N en 7,78 kton P volgens de stofstroomanalyse (Tabel 90). Binnen de stofstroomanalyse zijn compostering, mestverwerking en industriële vergisting eveneens apart behandeld.

Tabel 90: Stofstroomanalyse van biomassaverwerking

Input	Symbool	N (kton)	N berekend (kton)	P (kton)	P berekend (kton)
Import	F107	4,96 ±20,0%	4,65 ±10,0%	1,53 ±20,0%	1,48 ±10,1%
Dierlijke productie	F17	20,66 ±20,0%	20,57 ±11,0%	5,31 ±20,0%	5,21 ±8,6%
Voedingsindustrie	F90	2,41 ±50,0%	2,20 ±17,3%	0,32 ±50,0%	0,37 ±16,0%
Plantaardige productie	F143	0,88 ±20,0%	0,66 ±36,1%	0,07 ±20,0%	0,08 ±15,1%
Huishoudens	F191	3,10 ±20,0%	3,11 ±11,6%	0,64 ±20,0%	0,64 ±11,7%
Totaal		32,01	31,19	7,90	7,78
Output	Symbool	N (kton)	N berekend (kton)	P (kton)	P berekend (kton)
Export	F106	15,42 ±20,0%	15,55 ±13,0%	6,72 ±20,0%	6,82 ±6,2%
Huishoudens	F139	2,30 ±50,0%	2,30 ±15,2%	0,49 ±50,0%	0,48 ±15,2%
Plantaardige productie	F144	1,97 ±50,0%	2,24 ±13,5%	0,56 ±50,0%	0,52 ±11,2%
Lucht (N ₂ -emissie)	F148	10,29 ±20,0%	10,35 ±9,8%	0,00 ±NaN	0,00 ±NaN
Lucht (NH ₃ -emissie)	F141 F196 F239	0,87 ±20,0%	0,89 ±20,0%	0,00 ±NaN	0,00 ±NaN
Lucht (N ₂ O-emissie)	F190	0,05 ±20,0%	0,05 ±20,0%	0,00 ±NaN	0,00 ±NaN
Totaal		30,90	31,19	7,77	7,79

4.10.1 Compostering

Voor het deelknooppunt compostering is de massabalans reeds gesloten in de stofboekhouding, waardoor de stikstof- en fosforstromen in dit knooppunt nagenoeg ongewijzigd blijven (Tabel 91). De stikstof- en fosforvrucht die behandeld wordt in dit knooppunt bedraagt 3,13 kton N en 0,64 kton P.

Tabel 91: Stofstroomanalyse van het subproces compostering

Input	Symbol	N (kton)	N berekend (kton)	P (kton)	P berekend (kton)
Huishoudens	F191	3,10 ±20,0%	3,11 ±11,6%	0,64 ±20,0%	0,64 ±11,7%
Voedingsindustrie	F192	0,02 ±20,0%	0,02 ±20,0%	0,00 ±10,0%	0,00 ±10,0%
Totaal		3,12	3,13	0,64	0,64
Output	Symbol	N (kton)	N berekend (kton)	P (kton)	P berekend (kton)
Huishoudens	F194	2,24 ±20,0%	2,24 ±15,6%	0,47 ±20,0%	0,47 ±15,5%
Plantaardige productie	F195	0,74 ±20,0%	0,74 ±19,4%	0,16 ±20,0%	0,15 ±20,4%
Export	F193	0,08 ±20,0%	0,08 ±25,0%	0,02 ±20,0%	0,02 ±20,0%
Lucht (NH ₃ -emissie)	F196	0,02 ±20,0%	0,02 ±15,6%	0,00 ±NaN	0,00 ±NaN
Lucht (N ₂ O-emissie)	F190	0,05 ±20,0%	0,05 ±20,0%	0,00 ±NaN	0,00 ±NaN
Totaal		3,13	3,13	0,65	0,64

4.10.2 Mestverwerking

Voor het deelknooppunt mestverwerking is via de stofstroomanalyse een finale nutriëntenvracht van 26,99 kton N en 6,91 kton P bekomen (Tabel 92).

Tabel 92: Stofstroomanalyse van het subproces mestverwerking

Input	Symbol	N (kton)	N berekend (kton)	P (kton)	P berekend (kton)
Import	F107	4,66 ±10,0%	4,65 ±10,0%	1,49 ±10,0%	1,48 ±10,1%
Dierlijke productie	F17	20,66 ±25,0%	20,57 ±11,0%	5,48 ±25,0%	5,21 ±8,6%
Voedingsindustrie	F131	1,21 ±20,0%	1,37 ±17,2%	0,16 ±20,0%	0,16 ±19,6%
Plantaardige productie	F132	0,40 ±20,0%	0,40 ±20,0%	0,07 ±20,0%	0,06 ±20,3%
Totaal		26,93	26,99	7,03	6,91
Output	Symbol	N (kton)	N berekend (kton)	P (kton)	P berekend (kton)
Export	F146	15,12 ±20,0%	15,21 ±13,3%	6,61 ±20,0%	6,72 ±6,2%
Huishoudens	F140	0,06 ±20,0%	0,06 ±20,0%	0,01 ±20,0%	0,01 ±20,0%
Plantaardige productie	F147	0,71 ±20,0%	0,71 ±19,8%	0,19 ±20,0%	0,18 ±20,7%
Lucht (N ₂ -emissie)	F148	10,29 ±10,0%	10,35 ±9,8%	0,00 ±NaN	0,00 ±NaN
Lucht (NH ₃ -emissie)	F141	0,66 ±10,0%	0,66 ±20,0%	0,00 ±NaN	0,00 ±NaN
Totaal		26,84	27,00	6,81	6,91

4.10.3 Industriële vergisters

In de stofboekhouding van de industriële vergisters valt op dat de inputstromen meer dan dubbel zoveel stikstof bevatten dan de outputstromen, terwijl de inkomende fosforvracht 25% lager ligt dan de uitgaande. Dit heeft geresulteerd in een onzekerheid van 50% op de data van de stofboekhouding. Finaal is de massabalans gesloten voor dit proces met een N- en P-vracht van respectievelijk 1,27 kton N en 0,27 kton P (Tabel 93).

Tabel 93: Stofstroomanalyse van industriële vergisters

Input	Symbool	N (kton)	N berekend (kton)	P (kton)	P berekend (kton)
Import	F199	0,29 ±50,0%	0,21 ±68,1%	0,04 ±50,0%	0,04 ±46,9%
Voedingsindustrie	F197	1,18 ±50,0%	0,80 ±39,5%	0,16 ±50,0%	0,21 ±24,3%
Plantaardige productie	F198	0,48 ±50,0%	0,26 ±86,8%	0,04 ±50,0%	0,02 ±67,0%
Totaal		1,95	1,27	0,24	0,27
Output	Symbool	N (kton)	N berekend (kton)	P (kton)	P berekend (kton)
Plantaardige productie	F171	0,52 ±50,0%	0,79 ±29,7%	0,21 ±50,0%	0,19 ±19,9%
Export	F200	0,22 ±50,0%	0,27 ±40,6%	0,09 ±50,0%	0,08 ±49,9%
Lucht (NH ₃ -N)	F239	0,18 ±50,0%	0,21 ±42,1%	0,00 ±NaN	0,00 ±NaN
Totaal		0,92	1,27	0,30	0,27

4.11 Chemische en overige industrie

In de beschrijving van de stofboekhouding is het onderdeel chemische en overige industrie opgesplitst in verschillende deelprocessen (meststoffen, voederfosfaten, fosforzuur, papier en metallurgie). Bij de opbouw van het stofstroommodel voor het knooppunt van de chemische en overige industrie is er evenwel voor gekozen om dit knooppunt als 1 proces te beschouwen aangezien er te weinig informatie voor handen is om met behulp van bovenvermelde opsplitsing een sluitende balans te bekomen naar de overige knooppunten toe.

Net als voor de voedingsindustrie is voor de chemische en overige industrie een interne afvalwaterzuivering geïmplementeerd om de nutriëntenverliezen via denitrificatie in rekening te brengen (cfr. 3.7.4). Hierbij wordt opnieuw verondersteld dat stikstof als stikstofgas geëmitteerd wordt, terwijl het verwijderde fosfor via het vast afval wordt verwerkt. Finaal zijn de stikstof- en fosforstromen gereconcilieerd zodat 564,48 kton N en 82,47 kton P verwerkt worden door de chemische en overige industrie (Tabel 94).

Tabel 94: Stofstroomanalyse van chemische en overige industrie*

Input	Symbol	N (kton)	N berekend (kton)	P (kton)	P berekend (kton)
Import	F238	275,52 ±20,0%	263,70 ±17,8%	82,2 ±20,0%	81,11 ±12,9%
Lucht (N ₂)	F218	274,42 ±20,0%	271,39 ±9,9%	0,00 ±NaN	0,00 ±NaN
Voedingsindustrie	F116	11,29 ±20,0%	11,39 ±19,8%	1,35 ±20,0%	1,36 ±19,9%
Totaal		561,23	546,48	83,55	82,47
Output	Symbol	N (kton)	N berekend (kton)	P (kton)	P berekend (kton)
Afvalverwerking	F1	8,69 ±10,0%	8,69 ±9,9%	5,50 ±10,0%	5,46 ±9,3%
Huishoudens	F23	8,09 ±22,0%	8,03 ±22,1%	1,62 ±40,0%	1,59 ±40,3%
Veevoeder	F85	9,61 ±10,0%	9,50 ±20,2%	6,62 ±10,0%	5,77 ±22,2%
Plantaardige productie	F25	68,99 ±10,0%	61,08 ±19,6%	1,43 ±10,0%	1,38 ±20,7%
Openbare afvalwaterzuivering	F111	0,41 ±10,0%	0,41 ±10,0%	0,04 ±10,0%	0,04 ±10,0%
Lucht (NH ₃)	F204	0,46 ±20,0%	0,46 ±20,0%	0,00 ±NaN	0,00 ±NaN
Lucht (NO _x)	F202	6,21 ±20,0%	6,22 ±20,0%	0,00 ±NaN	0,00 ±NaN
Lucht (N ₂ O)	F203	2,15 ±20,0%	2,15 ±20,0%	0,00 ±NaN	0,00 ±NaN
Lucht (N ₂)	F233	3,31 ±20,0%	3,31 ±11,9%	0,00 ±NaN	0,00 ±NaN
Water	F58	1,41 ±10,0%	1,41 ±9,9%	0,18 ±10,0%	0,18 ±9,5%
Export	F227	418,01 ±20,0%	445,23 ±11,3%	67,32 ±20,0%	68,05 ±15,3%
Totaal		527,34	546,49	82,71	82,47

* De stroom F58 in deze tabel komt niet overeen met deze in de stofboekhouding in tabel 76. Tabel 76 bevat de gecorrigeerde versie, die niet meer meegenomen werd in de stofstroomanalyse in tabel 94. Zie ook punt 4.1.2.

4.12 Lucht

Het knooppunt lucht bevat alle luchtmissies van de verschillende processen. Doordat STAN geen onderscheid maakt tussen de verschillende stikstofspecies, zijn de emissies NH₃, NO_x, N₂O en N₂ als aparte stromen voorgesteld. In de finale stikstofbalans na stofstroomanalyse is er daarbij 675,91 kton N verwerkt (Tabel 95).

De reactieve N-stroom naar lucht komt vooral van afvalverwerking (31 kton N), transport en energie (27 kton N), dierlijke productie (23 kton N) en plantaardige productie (19 kton N) en de chemische en overige industrie (9 kton N). De N-emissie naar lucht van afvalverwerking gebeurt vooral onder de vorm van N₂. Die van transport en energie en chemische en overige industrie gebeurt vooral onder de vorm van NO_x en de landbouwsector stoot vooral NH₃ uit.

Tabel 95: Stofstromanalyse van het knooppunt lucht

Input		Symbol	N (kton)	N berekend (kton)	
Import	Reactieve N	NH ₃ -N	F56	6,64 ±20,0%	6,64 ±20,0%
		NO _x -N	F201	8,04 ±20,0%	8,04 ±20,0%
Voedingsindustrie	Reactieve N	NO _x -N	F179	0,53 ±20,0%	0,53 ±20,0%
	Niet reactieve N	N ₂ -N	F178	1,52 ±20,0%	1,52 ±16,7%
Plantaardige productie	Reactieve N	NH ₃ -N	F118	12,73 ±20,0%	13,02 ±19,5%
		NO _x -N	F121	2,85 ±20,0%	2,86 ±19,9%
		N ₂ O-N	F119	3,32 ±20,0%	3,34 ±19,9%
	Niet reactieve N	N ₂ -N	F120	4,98 ±20,0%	5,03 ±19,8%
Dierlijke productie	Reactieve N	NH ₃ -N	F122	18,74 ±20,0%	19,50 ±19,1%
		NO _x -N	F125	2,42 ±20,0%	2,43 ±19,9%
		N ₂ O-N	F123	0,77 ±20,0%	0,77 ±20,0%
	Niet reactieve N	N ₂ -N	F124	1,15 ±20,0%	1,15 ±19,9%
Huishoudens	Reactieve N	NH ₃ -N	F127	1,23 ±20,0%	1,23 ±20,0%
		NO _x -N	F128	3,18 ±20,0%	3,18 ± 20,0%
		N ₂ O-N	F129	0,63 ±20,0%	0,63 ±20,0%
Afvalverwerking	Reactieve N	NH ₃ -N	F205	0,00 ±20,0%	0,00 ±20,0%
		NO _x -N	F206	0,56 ±20,0%	0,56 ±20,0%
	Niet reactieve N	N ₂ -N	F183	30,14 ±20,0%	30,16 ±5,8%
Openbare afvalwaterzuivering	Reactieve N	N ₂ O-N	F244	0,19 ±20,0%	0,19 ±20,0%
	Niet reactieve N	N ₂ -N	F243	15,09 ±10,0%	14,67 ±8,4%
Transport en energie	Reactieve N	NH ₃ -N	F225	0,56 ±20,0%	0,56 ±20,0%
		NO _x -N	F224	26,22 ±20,0%	26,25 ±20,0%
		N ₂ O-N	F226	0,54 ±20,0%	0,54 ±20,0%
	Niet-Reactieve N	N ₂ -N	F189	489,08 ±20,0%	499,42 ±9,0%
Biomassaverwerking	Reactieve N	NH ₃ -N	F141 F196 F239	0,86 ±20,0%	0,86 ±9,1%
		N ₂ O-N	F190	0,05 ±20,0%	0,05 ±20,0%
	Niet reactieve N	N ₂ -N	F148	10,29 ±20,0%	10,35 ±9,8%

Chemische en overige industrie	Reactieve N	NH ₃ -N	F204	0,46 ±20,0%	0,46 ±20,0%
		NO _x -N	F202	6,21 ±20,0%	6,22 ±20,0%
		N ₂ O-N	F203	2,15 ±20,0%	2,15 ±20,0%
	Niet reactieve N	N ₂ -N	F233	3,31 ±20,0%	3,31 ±11,9%
Water	Reactieve N	N ₂ O-N	F208	0,78 ±20,0%	0,78 ±20,0%
	Niet reactieve N	N ₂ -N	F209	1,17 ±20,0%	1,17 ±19,9%
Totaal				656,39	675,91
Output		Symbool		N (kton)	N berekend (kton)
Export	Reactieve N	NH ₃ -N	F215	8,36 ±20,0%	8,36 ±20,0%
		NO _x -N	F216	33,34 ±20,0%	33,34 ±20,0%
		N ₂ O-N	F217	8,43 ±20,0%	8,43 ±20,0%
Plantaardige productie	Reactieve N	NH ₃ en NO _x -N	F26	17,3 ±20,0%	16,76 ±20,5%
	Niet reactieve N	N ₂ -N	F87	5,49 ±20,0%	5,44 ±20,2%
Huishoudens	Niet reactieve N	N ₂ -N	F182	4,03 ±20,0%	4,01 ±20,1%
Openbare afvalwaterzuivering	Reactieve N	NH ₃ en NO _x -N	F184	0,27 ±20,0%	0,27 ±20,0%
Transport en energie	Niet reactieve N	N ₂ -N	F50	34,03 ±20,0%	33,98 ± 20,0%
Chemische en overige industrie	Niet reactieve N	N ₂ -N	F218	274,42 ±20,0%	271,39 ±9,9%
Bodem	Reactieve N	NH ₃ en NO _x -N	F94	18,0 ±20,0%	18,0 ±20,0%
Verandering in stock	Niet reactieve N	N ₂ -N			275,94 ±13,0%
Totaal				403,67	675,92

4.13 Water

Onder het knooppunt water wordt enkel oppervlaktewater verstaan, aangezien grondwater als een onderdeel van het knooppunt bodem wordt gezien. Omdat de influx van nutriënten vanuit het buitenland via rivieren binnen deze studie begroot is, is deze stroom niet in rekening gebracht in het stofstroommodel. Er wordt tevens de aanname gemaakt dat het knooppunt water geen stock bevat, waardoor de nutriënten die niet naar de openbare afvalwaterzuivering of lucht gaan geëxporteerd worden buiten de systeemgrenzen.

De emissie van N naar water komt vooral van de plantaardige sector (19 kton N), huishoudens (10 kton N) en het effluent van openbare waterzuivering (5 kton N). Dit zijn ook de belangrijkste sectoren voor de emissie van P naar water: de plantaardige sector (1,1 kton P), huishoudens (1,4 kton P) en het effluent van openbare waterzuivering (0,6 kton N).

Tabel 96: Stofstroomanalyse van het knooppunt water*

Input	Symbool	N (kton)	N berekend (kton)	P (kton)	P berekend (kton)
Voedingsindustrie	F43	0,74 ±10,0%	0,74 ±9,9%	0,15 ±10,0%	0,14 ±20,8%
Veevoederindustrie	F86	0,01 ±10,0%	0,01 ±10,0%	0,00 ±NaN	0,00 ±NaN
Plantaardige productie	F54	19,27 ±10,0%	19,35 ±8,8%	1,14 ±10,0%	1,17 ±16,8%
Huishoudens en handel & diensten	F20	9,5 ± 10,0%	9,50 ±9,7%	1,35 ±10,0%	1,35 ±9,5%
Openbare afvalwaterzuivering (effluent)	F108	5,06 ±10,0%	5,01 ±9,8%	0,55 ±10,0%	0,55 ±9,8%
Openbare afvalwaterzuivering (Overstort afvalwater)	F221	1,00 ±20,0%	0,99 ±20,1%	0,15 ±20,0%	0,15 ±19,8%
Transport en energie	F52	0,24 ±10,0%	0,24 ±10,0%	0,01 ±10,0%	0,01 ±10,0%
Chemische en overige industrie	F58	1,41 ±10,0%	1,41 ±9,9%	0,18 ±10,0%	0,18 ±9,5%
Totaal		37,23	37,25	3,53	3,55
Output	Symbool	N (kton)	N berekend (kton)	P (kton)	P berekend (kton)
Lucht (N ₂ O)	F208	0,78 ±20,0%	0,78 ±20,0%	0,00 ±NaN	0,00 ±NaN
Lucht (N ₂)	F209	1,17 ±20,0%	1,17 ±19,9%	0,00 ±NaN	0,00 ±NaN
Export	F213	35,01 ±20,0%	35,30 ±5,3%	3,53 ±10,0%	3,55 ±6,1%
Totaal		36,96	37,25	3,53	3,55

* De stofstroomanalyse in deze tabel is gebaseerd op een eerdere versie van de stofboekhouding in tabel 80, waarvan weerslag in deze tabel. Dus kolom 3 en 5 in tabel 96 wijkt in die zin af van tabel 80. Zie ook punt 4.1.2.

4.14 Bodem

Het knooppunt bodem bevat de processen die gerelateerd zijn aan de bodem en het grondwater. Naast emissies naar lucht en insijpeling van grondwater naar de riolering, gebeurt de uitwisseling van nutriënten van dit knooppunt vooral met de plantaardige productie. Doordat de stocks van stikstof en fosfor in de landbouwbodem onvoldoende gekend zijn is voor deze studie op basis van de bodembalans enkel de nutriëntenflux van en naar de landbouw in rekening gebracht. Het resultaat van de stofstroomanalyse is daarbij dat er 10,41 kton stikstof als stock wordt toegevoegd aan de bodem, terwijl er 1,11 kton fosfor uit de bodem verdwijnt (Tabel 97).

Tabel 97: Stofstroomanalyse van het knooppunt bodem

Input	Symbool	N (kton)	N berekend (kton)	P (kton)	P berekend (kton)
Plantaardige productie	F176	3,03 ±10,29%	3,03 ±10,30%	-	-
Lucht	F94	18,00 ±20,0%	18,00 ±10,0%	0,00 ±NaN	0,00 ±NaN
Totaal		21,03	21,03		
Output	Symbool	N (kton)	N berekend (kton)	P (kton)	P berekend (kton)
Lucht (N ₂)	F212	4,98 ±20,0%	4,98 ±20,0%	0,00 ±NaN	0,00 ±NaN
Lucht (N ₂ O)	F211	3,32 ±20,0%	3,32 ±19,9%	0,00 ±NaN	0,00 ±NaN
Openbare afvalwaterzuivering	F219	2,29 ±10,0%	2,33 ±19,4%	0,00 ±NaN	0,00 ±NaN
Plantaardige productie	F176	-	-	1,14 ±2,70%	1,11 ±20,6%
Verandering in stock			10,41 ±36,8%		-1,11 ±20,6%
Totaal		10,46	21,04	1,14	0

4.15 Visualisatie van het stofstroommodel

Uit de visualisatie van het stofstroommodel valt af te leiden dat de nutriëntenstromen zowel voor stikstof (figuur 12) als fosfor (figuur 13) geconcentreerd zijn in de cyclus van de voedselproductie, waarin de processen van de plantaardige productie, veevoederindustrie, dierlijke productie en voedingsindustrie nauw aan elkaar verbonden zijn. De voedingsindustrie fungeert daarbij eveneens als een transitknooppunt, waarbij een grote flux van nutriënten geïmporteerd wordt en na bewerking opnieuw Vlaanderen verlaat.

Op basis van de visuele voorstelling van de stofstroomanalyse kunnen twee duidelijke hotspots binnen Vlaanderen geïdentificeerd worden¹.

De brede Sankey pijlen van en naar het knooppunt chemische en overige industrie vallen op voor zowel de N- en de P-stofstroomanalyse. In Vlaanderen bevinden zich een aantal zeer grote spelers in de chemische industrie die veel N en P verwerken. Voor N gaat het over ammoniakproductie dat verder gebruikt wordt voor de productie van minerale meststoffen. Voor P gaat het over de import van fosforzuur dat als basisproduct gebruikt wordt in de veevoederindustrie, de voedingsindustrie en chemische en overige industrie. Voor zowel de N- en P-stromen geldt dat er veel import maar ook veel export van nutriënten is. De belangrijkste interactie van de chemische industrie met de andere knooppunten verloopt via het gebruik van minerale meststoffen.

De knooppunten plantaardige productie, dierlijke productie, veevoederindustrie en voedingsindustrie springen ook in het oog door het belang van de stromen tussen deze knooppunten. Deze knooppunten, die samen de agrovoedingscluster vormen, zijn op vlak van nutriëntengebruik zeer sterk met mekaar verbonden zijn. Veevoeder dient als input voor de dierlijke productie, waar de meeste nutriënten worden omgevormd tot mest dat vooral gebruikt wordt in de plantaardige productie. De plantaardige productie en de dierlijke productie, samen de landbouwsector, leveren de belangrijkste inputstroom van nutriënten van de voedingsindustrie. De

¹ De brede Sankey pijl van N van het knooppunt transport en energie naar lucht omvat vooral een stroom van inert N₂ (489 kton N). 27 kton N uit het knooppunt transport en energie omvat de stromen NO_x en N₂O. Enkel de stromen NO_x en N₂O hebben een impact op het milieu en zouden zoveel mogelijk beperkt moeten worden.

voedingsindustrie en de plantaardige productie vormen op hun beurt een belangrijke input van de veevoederindustrie, naast de import van grondstoffen voor veevoeder.

De efficiëntieverbeteringen en het potentieel om de milieu-impact te verminderen kunnen vooral afgeleid worden van de stromen van nutriënten naar de milieucompartimenten lucht en water. De onderstaande cijfers zijn vooral gebaseerd op de cijfers weergegeven in sectie 0 voor de emissie naar lucht en 4.13 voor de emissie naar water.

De stroom reactieve N naar lucht komt vooral van transport en energie (27 kton N), dierlijke productie (23 kton N) en plantaardige productie (19 kton N) en de chemische en overige industrie (9 kton N). De reactieve N-emissie naar lucht van transport en energie en chemische en overige industrie gebeurt vooral onder de vorm van NO_x en de landbouwsector stoot vooral NH_3 uit. In elk van deze sectoren kunnen de reactieve N-verliezen naar lucht gereduceerd worden door de technologische verbeteringen en gedragsveranderingen inzake mobiliteit en energiegebruik. Bij de verwerking van afval kan een betere selectieve inzameling meer GFT uit de restfractie houden. Bij de selectieve verwerking van GFT kunnen de nutriënten opnieuw beschikbaar gesteld worden van andere sectoren i.p.v. N de lucht in te blazen bij de verbranding van restafval. In de transport- en energiesector kunnen betere motoren, het gebruik van hernieuwbare energie en een betere modale split het verbruik van brandstoffen verminderen. Een daling in het brandstofverbruik zal ook de NO_x -uitstoot doen dalen. Bovendien kunnen technologische verbeteringen in de verbrandingsprocessen de emissies van NO_x doen dalen ten voordele van het minder schadelijke N_2 . In de landbouwsector wordt nu al een heel arsenaal aan technieken toegepast om de ammoniakemissies te beperken, maar deze zouden door nog meer bedrijven kunnen gebruikt worden.

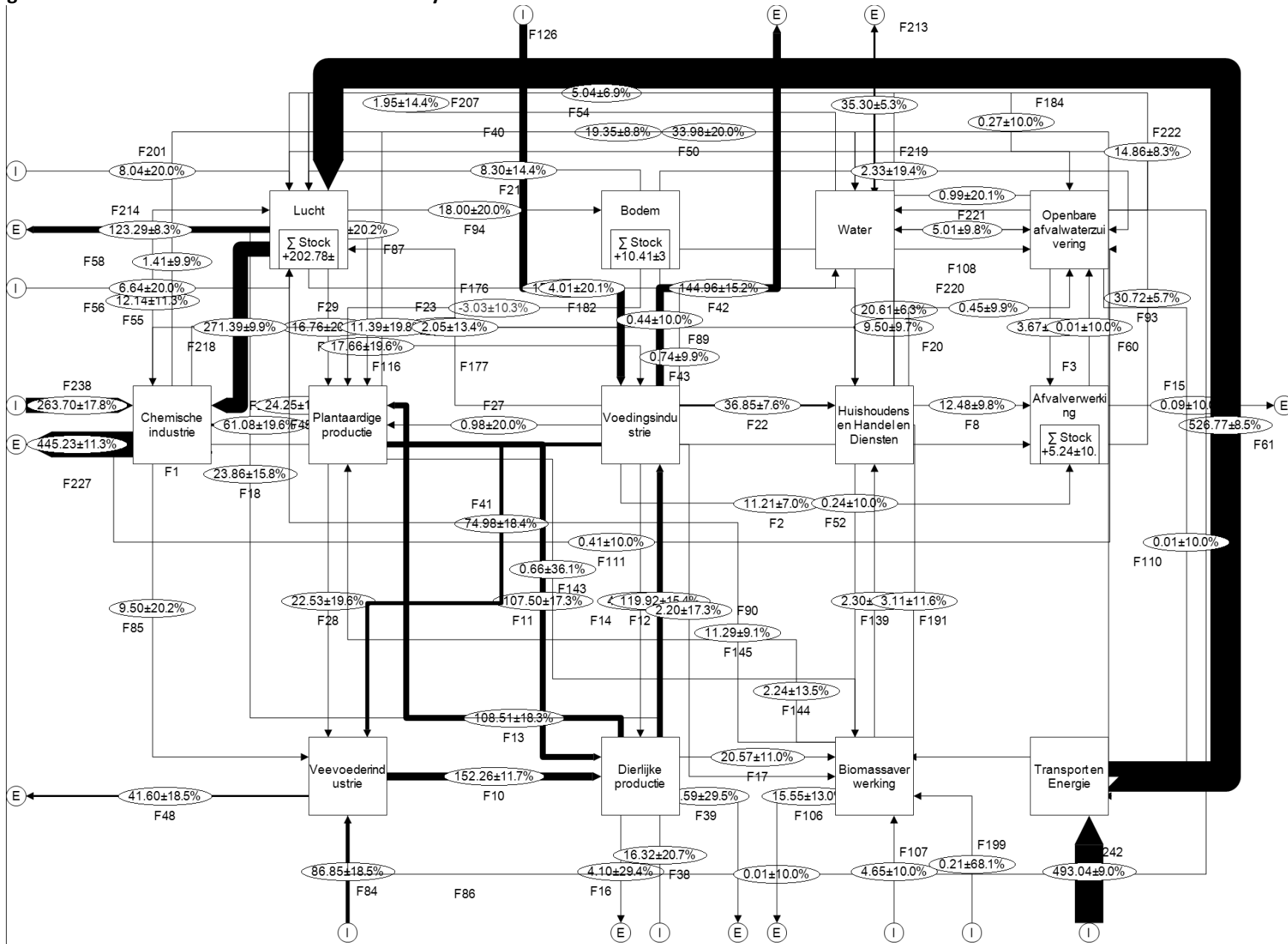
De emissie van N naar water komt vooral van de plantaardige sector (19 kton N), huishoudens (10 kton N) en het effluent van openbare waterzuivering (5 kton N). Dit zijn ook de belangrijkste sectoren voor de emissie van P naar water: de plantaardige sector (1,2 kton P), huishoudens (1,4 kton P) en het effluent van openbare waterzuivering (0,6 kton P). Betere technieken voor waterzuivering, zoals struvietvorming i.p.v. nitrificatie-denitrificatie, kan op dit vlak het potentieel voor recyclage sterk verbeteren.

Op basis van het stofstroommodel en de stofboekhoudingen komen volgende stromen in aanmerking voor betere terugwinning (figuur 12 en 13):

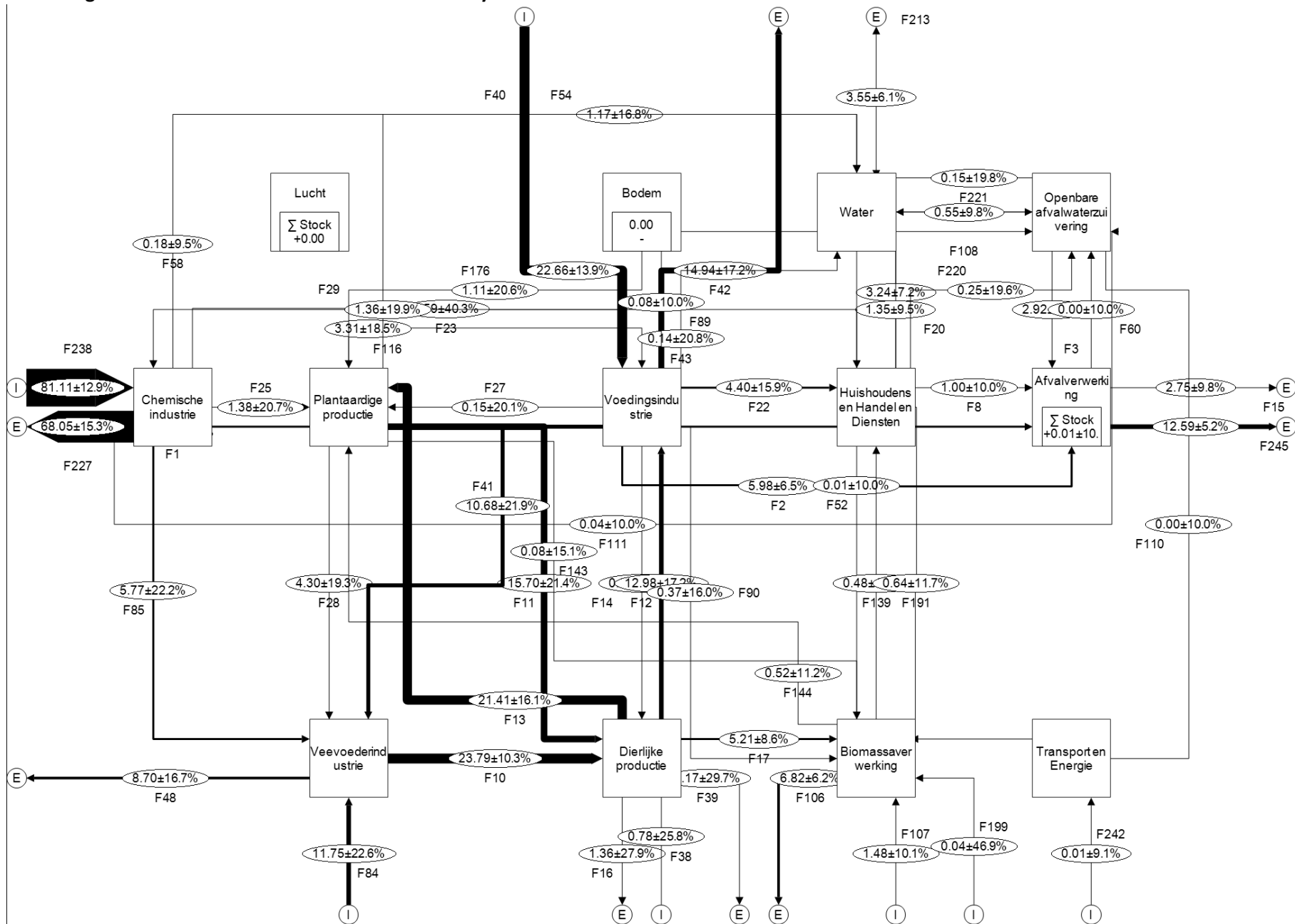
- F25: Chemische industrie -> plantaardige productie 61 kton N en 1,4 kton P. Deze stroom omvat de minerale meststoffen waarvan het gebruik zou kunnen dalen door het beter benutten van andere nutriëntenstromen binnen het agrovoedingscomplex.
- F43, F86, F54, F20, F108, F221, F52, F58: alle stromen naar water. De nutriënten die het compartiment water bereiken zijn zeer moeilijk terug te winnen omdat de concentratie aan nutriënten heel laag is. Het is daarom best om te vermijden de nutriëntenverliezen naar water optreden. Dit kan in de plantaardige productie, het belangrijkste knooppunt met verliezen naar water, bijvoorbeeld door betere bemestingstechnieken, groenbemesting, het voorkomen van erosie ...
- F225, F224, F226, F189: verliezen van N naar lucht door verbrandingsprocessen in de transport en energiesector kunnen vermeden worden door lager energieverbruik, efficiëntere motoren en betere modale split in personenvervoer.

- F206, F183: de N in restafval is momenteel moeilijk te recupereren. Het gevolg is dat alle N in het knooppunt lucht terecht komt en niet meer benutbaar is voor de Vlaamse economie. Selectieve inzameling van afval voorkomt dat restafval moet verbrand worden en zorgt dus ook voor een betere nutriëntencyclus.
- F243, F244, F148: Nitrificatie – denitrificatie in de afvalwaterzuivering en mestverwerking zorgt voor een verlies aan N naar het knooppunt lucht dat niet meer benutbaar is. Andere technieken voor waterzuivering en mestverwerking kunnen N en P capteren, bv. als struviet, en opnieuw bruikbaar maken voor de rest van de economie.

Figuur 12: Visualisatie van de stikstofstroomanalyse



Figuur 13: Visualisatie van de fosforstroomanalyse



4.16 Vergelijking van de stofstroomanalyse met de Europese fosforbalans van Ott & Rechberger (2012)

De in dit werk voorgestelde stofstroomstudie is uitgevoerd naar analogie met de studie van Ott & Rechberger (2012). Beide studies worden hier zowel naar methodiek als naar resultaten toe met elkaar vergeleken.

4.16.1 Vergelijking van het stofstroommodel

Daar waar de hier beschreven studie de stikstof- en fosforstromen in Vlaanderen in kaart heeft gebracht, beschrijft Ott & Rechberger (2012) de fosforstromen binnen de EU15 (Oostenrijk, België, Denemarken, Finland, Frankrijk, Duitsland, Griekenland, Ierland, Italië, Luxemburg, Nederland, Portugal, Spanje, Zweden en het Verenigd Koninkrijk).

Naast de systeemgrenzen die de studies afbakenen is ook de opbouw van het model verschillend. De Vlaamse studie is opgebouwd uit 13 knooppunten die de economische en ecologische processen voorstellen (Tabel 2). De relaties tussen deze knooppunten, alsook de import- en exportstromen, hebben daarbij geresulteerd in 140 stromen. De studie van Ott & Rechberger (2012) verdeelt de EU15 in 5 processen en 36 stromen (figuur 14). Deze processen zijn:

- landbouw (inclusief landbouwgrond en dierlijke productie);
- industrie en handel & diensten;
- consumptie;
- afvalwaterzuivering;
- afvalverwerking.

Opmerkelijk is dat de hydrosfeer en atmosfeer buiten de systeemgrenzen van het model vallen. De hydrosfeer is daardoor gedefinieerd als de verzamelaar van de onbekende stromen en verliezen naar het milieu, waardoor de relatie van de economische processen met het milieu slechts summier beschreven is.

Naast de opbouw van het stofstroommodel verschilt eveneens de aanpak van de dataverzameling. Voor de kwantificatie van de stikstof- en fosforstromen in Vlaanderen is er gekozen voor het jaar 2009. De stofboekhouding is daarbij opgesteld via een bottom-up aanpak, waarbij de focus ligt op primaire databronnen, die ter beschikking werden gesteld via koepelorganisaties en nationale en regionale rapporten. Deze informatie is verder aangevuld met wetenschappelijke publicaties.

Het opstellen van de stofboekhouding van de Europese fosforbalans gebeurde in tegenstelling tot de Vlaamse studie niet voor een enkel kalenderjaar. Om seizoenale variaties in rekening te brengen werd waar mogelijk het gemiddelde genomen van drie opeenvolgende jaren voor het kwantificeren van de stromen. Indien echter recente data niet voorhanden was werd er beroep gedaan op eerdere statistieken, waardoor de studie gebruik maakt van data van de periode tussen 1999 en 2010 en daarbij vaak data van verschillende jaren door elkaar gebruikt in het model. Daarnaast gebeurde de dataverwerking via een top-down methodiek, gebruik makend van algemeen beschikbare statistieken van de VN of EU zoals FAO (Food and Agriculture Organisation), EUROSTAT en OESO (Organisatie voor Economische Samenwerking en Ontwikkeling). Indien algemene cijfers daarbij ontbraken, zijn deze aangevuld door extrapolatie van nationale cijfers naar de EU15. Door het gebruik van deze top-down structuur is er bijgevolg weinig rekening gehouden met de heterogeniteit van de verschillende lidstaten.

4.16.2 Vergelijking van de nutriëntenstromen

In de studie van Ott & Rechberger (2012) worden de fosforfluxen uitgedrukt in kg/(capita.jaar). Door de nutriëntenfluxen in Vlaanderen te delen door het inwonersaantal in 2009 (5.987.795 inwoners) (VMM, 2010a) is het mogelijk om deze stromen te vergelijken.

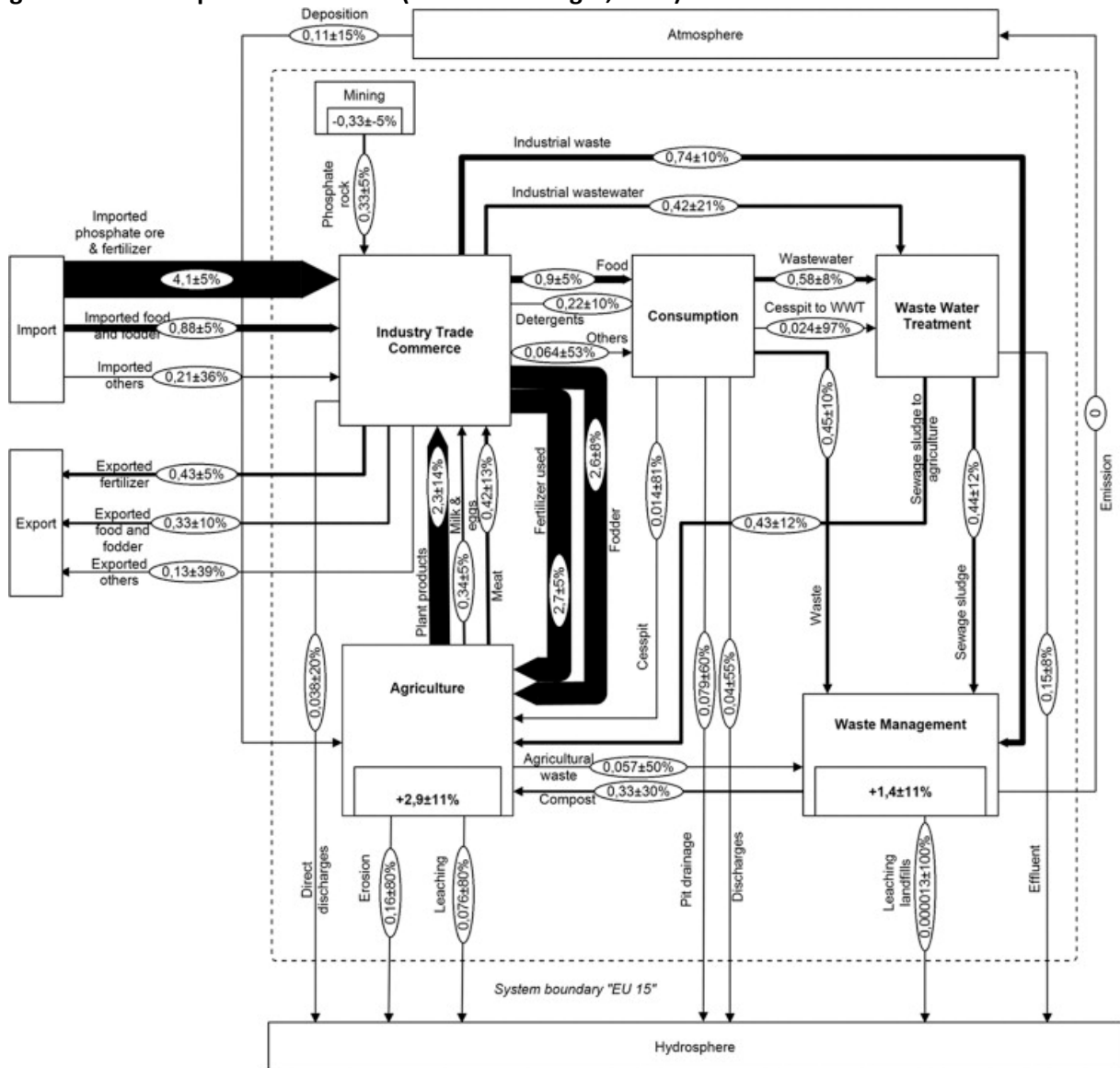
Een vergelijking van de Europese en Vlaamse landbouw bewijst dat het Vlaams Gewest gekenmerkt wordt door intensieve veeteelt. In de EU15 wordt er 4,9 kg P/capita als diervoeder (zowel import als afkomstig van de landbouw) aangewend, wat resulteert in de productie 0,76 kg P/capita vlees en andere producten, terwijl er 4 kg P/capita mest geproduceerd wordt. In Vlaanderen wordt er daarentegen 6,9 kg P/capita als diervoeder aangewend, terwijl er 2,2 kg P/capita vleesproducten wordt geproduceerd en 4,7 kg P/capita mest.

De plantaardige productie produceert in de EU15 verder 4,6 kg P/capita aan plantaardige producten (voeding + veevoeder), terwijl er 2,7 kg P/capita als fosforrijke kunstmest wordt aangewend. In Vlaanderen wordt er 3,9 kg P/capita plantaardige producten geproduceerd, waarbij er slechts 0,23 kg P/capita kunstmest wordt gebruikt.

Een vergelijking van de voedingsindustrie toont dat er in Vlaanderen 5,7 kg P/capita geïmporteerd wordt naar de voedingsindustrie en veevoederindustrie, terwijl er 3,94 kg P/capita geëxporteerd wordt. De binnenlands voedselconsumptie bedraagt daarbij 0,73 kg P/capita. De import en export buiten de EU15 bedraagt respectievelijk 0,88 en 0,33 kg P/capita. Daarnaast wordt er in de EU15 0,9 kg P/capita voedsel geconsumeerd.

De hoeveelheid afvalwater die door de openbare afvalwaterzuivering wordt verwerkt is voor de EU15 begroot op 0,58 kg P/capita, wat evenveel is als de afvalwaterzuivering in Vlaanderen. Door de verschillen in opbouw van het model is het vergelijken van andere stromen te moeilijk.

Figuur 14: De Europese fosforbalans (Ott & Rechberger, 2012)



5 Milieu-indicatoren

Drie verschillende milieu-indicatoren zijn in dit deel besproken, namelijk aandeel in de nutriëntenstromen, uitvoer en invoer van nutriënten. De aanpak volgens knooppunt en volgens sector (zoals opgedeeld in het Milieurapport Vlaanderen) is hier gehanteerd. Onderstaande tabel 98 geeft de aggregatie weer van de knooppunten tot sectoren en is een samenvatting van tabel 2.

Tabel 98: Verdeling van de knooppunten per sector

Sector	Knooppunten
Energie	Deel van energie en transport Biomassaverwerking – deel vergisting
Transport	Deel van energie en transport
Handel & diensten	Deel van huishoudens en handel & diensten
Huishoudens	Deel van huishoudens en handel & diensten
Industrie	Voedingsindustrie Veevoederindustrie Chemische en overige industrie Afvalverwerking Openbare afvalwaterzuivering Biomassaverwerking – deel compostering
Landbouw	Plantaardige productie Dierlijke productie Biomassaverwerking – deel mestverwerking

5.1 Aandeel per knooppunt

Het aandeel van elk knooppunt in de stofstroomanalyse wordt hier besproken. Hierdoor worden de hotspots binnen de nutriëntencycli blootgelegd. Elk knooppunt heeft een verschillend aandeel in de totale stromen van nutriënten. Dit kan aanduiden waar potentiële toepassingen voor nutriëntenrecuperatie mogelijk zijn. Indien een knooppunt een grote rol speelt, kan men na nader onderzoek betere strategieën bedenken voor het optimaliseren van de nutriëntencycli en – recuperatie.

Men ziet in Tabel 99 dat de belangrijkste knooppunten (met meer dan 10% aandeel) de volgende zijn:

- Voor stikstof:
 - o Lucht;
 - o Chemische en overige industrie;
 - o Transport en energie;
 - o Voedingsindustrie;
 - o Dierlijke productie.
- Voor fosfor:
 - o Chemische en overige industrie;
 - o Dierlijke productie;
 - o Voedingsindustrie;
 - o Veevoederindustrie;
 - o Plantaardige productie.

Tabel 99: Aandeel van elk knooppunt in de stofstroomanalyse

Knooppunt	kton N	% N	kton P	% P
Voedingsindustrie	290,27	9,97	38,95	15,19
Veevoederindustrie	193,87	6,66	32,49	12,67
Plantaardige productie	195,01	6,70	24,57	9,58
Dierlijke productie	280,54	9,64	41,12	16,04
Huishoudens	51,19	1,76	6,47	2,52
Afvalverwerking	36,05	1,24	15,36	5,99
Transport en energie	527,03	18,11	0,01	0,00
Openbare afvalwaterzuivering	24,53	0,84	3,61	1,41
Biomassaverwerking	31,19	1,07	7,79	3,04
Chemische en overige industrie	546,49	18,78	82,47	32,17
Lucht	675,92	23,22	0	0,00
Water	37,25	1,28	3,55	1,38
Bodem	21,04	0,72	0	0,00

Uitgezonderd de emissies van stikstof naar lucht, zijn de chemische en overige industrie de belangrijkste verbruikers van nutriënten. De productie van grondstoffen voor de landbouw, namelijk minerale meststoffen en voederfosfaten, is verantwoordelijk voor de grootste nutriëntenstromen binnen de chemische en overige industrie. De inputs hiervoor zijn grotendeels ingevoerd uit het buitenland.

Het verbruik van brandstoffen voor het produceren van energie en voor transport is verantwoordelijk voor grote stromen van stikstof. Dit is hoofdzakelijk de stroom N₂ die vermengd zit in het aardgas. Deze inerte vorm van N heeft geen impact op het milieu en biedt geen mogelijkheden voor terugwinning of verbetering van efficiëntie van gebruik.

Meer dan de helft van de input uit de dierlijke productie komt uit de veevoederindustrie. De belangrijkste outputs zijn de mestproductie en de vlees-, ei-, melk-, en afvalproductie. Het grootste aandeel van de geproduceerde mest dient als organische meststof voor de plantaardige productie. Met de opkomst en ontwikkeling van het knooppunt biomassaverwerking, zou dit aandeel in de komende jaren sterk kunnen dalen.

De grootste inputstroom van de voedingsindustrie is de import van voedingsproducten en grondstoffen. De geproduceerde voedingsproducten gaan voornamelijk naar export en naar de Vlaamse huishoudens. Ook bijproducten voor de veevoederindustrie staan in voor een groot aandeel. Tevens is de stroom van fosfor naar afvalverwerking een mogelijkheid tot nutriëntenrecuperatie.

Naast inputs uit de plantaardige productie en de chemische en overige industrie blijken de grondstoffen uit import en uit de voedingsindustrie de belangrijkste voor de veevoederindustrie. Naar output toe, zijn er echter weinig recuperatiemogelijkheden. De mengvoeders gaan ofwel naar de dierlijke productie in Vlaanderen of naar export. Een verwaarloosbare stroom van stikstof en fosfor gaat naar de rioolwaterzuiveringsinstallatie of naar het milieu via het knooppunt water.

Wat de plantaardige productie betreft zijn de belangrijkste inputs de minerale meststoffen en de dierlijke mest, en de belangrijkste outputs de veevoerders. Een aanzienlijke stroom van stikstof voornamelijk vloeit naar het oppervlaktewater met de gekende impact op milieu, zoals een hoger risico voor eutrofiëring.

5.2 Aandeel per sector

Het aandeel per sector, zoals beschreven in het Milieuraapport Vlaanderen is berekend op basis van de knooppunten en van de totale nutriëntenstromen waarbij de milieuknooppunten (lucht, water en bodem) niet zijn inbegrepen.

De industriële sector zorgt voor het grootste aandeel in de totale nutriëntenstromen, waaronder de chemische en overige industrie de belangrijkste deelsector of knooppunt is. De landbouwsector is de tweede grootste sector. De organische stromen in de landbouw zoals mest en bijproducten van de plantaardige productie vormen een grote bron aan nutriënten, van zowel stikstof, fosfor, organische koolstof en kali. In de huidige context waar milieuverontreiniging en duurzaam gebruik van grondstoffen belangrijke aandachtspunten zijn, worden onderzoek en praktijkvoorbeelden uitgebreid naar het herwinnen van de biomassa in nevenstromen om nutriënten- en energiecycli beter te sluiten.

Tabel 100: Aandeel per sector, milieuknooppunten niet inbegrepen

Sector	kton N	% N	kton P	% P
Energie	482,73	22,18	0,65	0,25
Transport	47,43	2,18	0,00	0,00
Handel & diensten	0,00	0	0,00	0
Huishoudens	51,19	2,35	6,47	2,56
Industrie	1.092,48	50,20	173,15	68,48
Landbouw	502,55	23,09	72,60	28,32

De uitbreiding van het knooppunt biomassaverwerking naar mestverwerking, industriële vergisters en compostering sluit aan op de groeiende nood van nutriëntenrecuperatie. Deze deelknooppunten maken respectievelijk deel uit van de sectoren landbouw, industrie en energie en zijn verantwoordelijk voor een relatief laag aandeel hierin. Biomassaverwerking neemt in belang toe.

5.3 Uitvoer van nutriënten per knooppunt

5.3.1 Uitvoer naar milieu (lucht, water en bodem)

Vanuit de verschillende knooppunten stromen stikstof en fosfor naar de knooppunten lucht, water en bodem.

De N-emissie vanuit de diverse knooppunten naar de lucht bedraagt ongeveer 661,43 kton N. 86% van deze emissie is onder vorm van niet reactief N₂-gas. Het knooppunt transport en energie neemt het grootste aandeel met 526,77 kton N of 80% van het totaal. Dit is voor 95% onder vorm van N₂-gas.

Tabel 101: Uitvoer van stikstof naar het knooppunt lucht

	kton N-NOx	kton N-NH ₃	kton N-N ₂ O	kton N-N ₂	Totaal	%
Voedingsindustrie	0,53			1,52	2,05	0
Veevoederindustrie						0
Plantaardige productie	2,86	13,02	3,34	5,02	24,24	4
Dierlijke productie	2,43	19,5	0,77	1,15	23,85	4
Huishoudens en handel & diensten	3,18	1,23	0,63		5,04	1
Afvalverwerking	0,56	0		30,16	30,72	5
Transport en energie	26,25	0,56	0,54	499,42	526,77	80
Openbare afvalwaterzuivering			0,19	14,67	14,86	2
Biomassaverwerking		0,89		10,35	11,24	2
Chemische en overige industrie	6,22	0,46	2,15	3,58	12,14	2
Lucht						0
Water			0,78	1,17	1,95	0
Bodem			3,32	4,98	8,30	1
Totaal	42,03	35,66	11,72	572,02	661,43	

Vanuit de diverse knooppunten treden er ook stikstof- en fosforverliezen op naar het knooppunt water, namelijk 38,21 kton N en 3,55 kton P. De drie knooppunten die verantwoordelijk zijn voor de grootste verliezen naar het oppervlaktewater zijn de plantaardige productie, de huishoudens en handel & diensten en de openbare afvalwaterzuivering.

Tabel 102: Uitvoer van stikstof en fosfor naar het knooppunt water

	kton N	%	kton P	%
Voedingsindustrie	0,74	2	0,14	4
Veevoederindustrie	0,01	0	0	0
Plantaardige productie	19,35	51	1,17	33
Dierlijke productie		0		0
Huishoudens en handel & diensten	9,5	25	1,35	38
Afvalverwerking		0		0
Transport en energie	0,24	1	0,01	0
Openbare afvalwaterzuivering	5,01	13	0,7	20
Biomassaverwerking		0		0
Chemische en overige industrie	1,41	4	0,18	5
Lucht	1,95	5		0
Water		0		0
Bodem		0		0
Totaal	38,21		3,55	

Van het knooppunt plantaardige productie stroomt stikstof naar de bodem ter waarde van 3,03 kton. Daarnaast treedt er ook een stikstofstroom op van de lucht naar de niet landbouwbodem in Vlaanderen (18 kton N) die beschouwd wordt als een accumulatie van reactieve stikstof in de niet landbouwbodem.

Tabel 103: Uitvoer van stikstof en fosfor naar het knooppunt bodem

	kton N	kton P
Voedingsindustrie		
Veevoederindustrie		
Plantaardige productie	3,03	
Dierlijke productie		
Huishoudens		
Afvalverwerking		
Transport en energie		
Openbare afvalwaterzuivering		
Biomassaverwerking		
Chemische en overige industrie		
Lucht	18	
Water		
Bodem		
Totaal	21,03	

5.3.2 Uitvoer buiten Vlaanderen

In totaal zijn er 8 knooppunten die stikstof en/of fosfor exporteren, namelijk de voedingsindustrie, de veevoederindustrie, de dierlijke productie, de afvalverwerking, biomassaverwerking, chemische en overige industrie, lucht en water. Ongeveer 28% van de totale stromen wordt geëxporteerd.

De totale hoeveelheid stikstof die geëxporteerd wordt is 813,71 kton. De grootste uitvoerder van stikstof is de chemische en overige industrie die dankzij de export van minerale meststoffen voor 55% van de totale uitvoer aansprakelijk is. Daarna volgt de voedingsindustrie die voor 18% van de totale uitvoer van stikstof zorgt. Het gaat hier voornamelijk om organische stikstof aanwezig in de voedingsproducten. Het knooppunt lucht exporteert NH_3 , NO_x , N_2O en N_2 die samen 15% van de totale uitvoer vormen.

De overige knooppunten die stikstof in mindere mate exporteren, zijn: de veevoedingsindustrie, dierlijke productie, de afvalverwerking, de biomassaverwerking en het knooppunt water. De veevoederindustrie staat in voor 5% van de totale uitvoer. De stikstof aanwezig in mengvoeders bevindt zich in organische en minerale vorm. De dierlijke productie en de biomassaverwerking exporteert organische stikstof. De stikstof die door het knooppunt water geëxporteerd wordt, werd berekend door de input te verminderen met de N-emissies naar lucht.

De totale hoeveelheid fosfor die geëxporteerd wordt is 118,93 kton. Hiervan is opnieuw de chemische en overige industrie de grootste uitvoerder. Het gaat hier voornamelijk om de export van voederfosfaten en fosforzuur. Daarna volgen de afvalverwerking, de voedings- en veevoederindustrie en de biomassaverwerking. De afvalverwerking exporteert voornamelijk organische fosfor aanwezig in assen. De voedingsindustrie exporteert organische fosfor aanwezig in voedingsproducten en de veevoederindustrie exporteert minerale voederfosfaten. De overige knooppunten die in mindere mate fosfor exporteren, zijn: de dierlijke productie, de biomassaverwerking en water. Bij zowel de biomassaverwerking als de dierlijk productie is organische fosfor terug te vinden.

Tabel 104: Uitvoer van stikstof en fosfor per knooppunt (in kton en in % van de totale export)

	kton N	% export N	kton P	% export P
Voedingsindustrie	144,96	18	14,94	13
Veevoederindustrie	41,6	5	8,7	7
Plantaardige productie		0		0
Dierlijke productie	7,69	1	1,53	1
Huishoudens		0		0
Afvalverwerking	0,09	0	15,34	13
Transport en energie		0		0
Openbare afvalwaterzuivering		0		0
Biomassaverwerking	15,55	2	6,82	6
Chemische en overige industrie	445,23	55	68,05	57
Lucht (NH ₃ -N)	8,36	1		0
Lucht (NO _x -N)	33,34	4		0
Lucht (N ₂ O-N)	8,43	1		0
Lucht (N ₂ -N)	73,16	9		0
Water	35,3	4	3,55	3
Bodem		0		0
Totaal	813,71		118,93	

5.4 Uitvoer van nutriënten per sector

5.4.1 Uitvoer naar milieu (lucht, water en bodem)

De 13 verschillende knooppunten worden verdeeld over de verschillende sectoren zoals beschreven in het Milieuraapport Vlaanderen. Stikstof en fosfor stromen vanuit deze sectoren naar het milieu.

Uit Tabel 105 blijkt dat de sector energie verantwoordelijk is voor 71% van de totale N-emissie naar lucht. Het gaat vooral over het onschadelijke N₂. Daarna volgen de sectoren transport, industrie en landbouw met respectievelijk 10%, 9% en 9% van het totaal.

Tabel 105: Uitvoer van stikstof en fosfor naar het knooppunt lucht per sector

	kton N-NO _x	kton N-NH ₃	kton N-N ₂ O	kton N-N ₂	Totaal	%
Energie	5,53	0,49	0,28	454,47	460,77	71
Transport	20,72	0,56	0,26	44,95	66,49	10
Handel & diensten	0,85	0	0,22	0	1,07	0
Huishoudens	2,33	1,23	0,41	0	3,97	1
Industrie	7,31	0,48	2,34	49,93	60,06	9
Landbouw	5,29	32,90	4,11	16,52	58,82	9
Totaal	42,03	35,66	7,62	565,87	651,18	

De drie sectoren die voor de grootste stikstof- en fosforverliezen naar het knooppunt water zorgen zijn landbouw, huishoudens en industrie (Tabel 106).

Tabel 106: Uitvoer van stikstof en fosfor naar het knooppunt water per sector

	kton N	%	kton P	%
Energie	0,24	1	0,01	0
Transport	0	0	0	0
Handel & diensten	0,83	2	0,2	6
Huishoudens	8,67	24	1,15	34
Industrie	7,17	20	1,02	31
Landbouw	19,35	53	1,17	35
Totaal	36,26		3,34	

Van de landbouwsector stroomt er stikstof naar de bodem terwijl fosfor door de gewassen onttrokken wordt aan de al dan niet fosforverzadigde bodems.

Tabel 107: Uitvoer van stikstof en fosfor naar het knooppunt bodem per sector

	kton N	kton P
Energie		
Transport		
Handel & diensten		
Huishoudens		
Industrie		
Landbouw	3,03	
Totaal	3,03	

5.4.2 Uitvoer buiten Vlaanderen

De belangrijkste uitvoer van zowel stikstof als fosfor komt van de sector industrie. Deze omvat de voedings- en de veevoedingsindustrie, de chemische en overige industrie, het deelknooppunt industriële vergisters en verwerkingsactiviteit agrarische vergisters van de biomassaverwerking, de afvalverwerking en de openbare afvalwaterzuivering. Deze sector staat in voor 97% van de totale stikstofuitvoer en 93% van de totale uitvoer van fosfor. Daarnaast zorgt de sector landbouw en in zeer beperkte mate de sector energie voor de uitvoer van stikstof en fosfor.

Tabel 108: Uitvoer van stikstof en fosfor per sector

	kton N	% export N	kton P	% export P
Energie	0,46	0	0,15	0
Transport		0		0
Handel & diensten		0		0
Huishoudens		0		0
Industrie	631,96	97	107,05	93
Landbouw	22,71	3	8,19	7
Totaal	654,67		115,24	

5.5 Invoer van nutriënten per knooppunt

5.5.1 Invoer vanuit milieu (lucht, water en bodem)

Stikstof en fosfor worden uit het milieu onttrokken en omgezet naar andere stoffen en producten door verschillende knooppunten. De impact op het milieu van de verschillende knooppunten kan hierdoor beter ingeschat worden.

Uit de lucht wordt N₂ onttrokken en gefixeerd door stikstoffixerende planten. Tevens wordt er ook NH₃ en NO_x op de landbouwbodems gedeponeerd, dat omgezet kan worden naar nitriet door de processen van ammonificatie en nitrificatie. In totaal wordt ongeveer 20 kton N door het knooppunt plantaardige productie benut. Daarnaast is er ook depositie van N op niet-landbouwbodems. Dit is opgenomen in het knooppunt bodem.

N₂ wordt ook in het knooppunt transport en energie verbruikt: 34 kton N. Dit is berekend aan de hand van de output van dit knooppunt en moet dus met de nodige voorzorgen geïnterpreteerd worden. Ook huishoudens trekken N₂ uit de lucht voor de verwarming van gebouwen en off-road transport.

Het knooppunt chemische en overige industrie is de grootste onttrekker van N₂ uit de lucht. Dit wordt verbruikt tijdens de verschillende industriële processen. Door de grote onzekerheden in de stofboekhouding van dit knooppunt moet dit cijfer echter ook met voorzorg geïnterpreteerd worden.

Tabel 109: Invoer van stikstof uit het knooppunt lucht

	kton N-NO _x	kton N-NH ₃	kton N-N ₂ O	kton N-N ₂	Totaal
Voedingsindustrie					0
Veevoederindustrie					0
Plantaardige productie	16,76			5,44	22,20
Dierlijke productie					0
Huishoudens				4,02	4,02
Afvalverwerking					0
Transport en energie				33,98	33,98
Openbare afvalwaterzuivering				0,27	0,27
Biomassaverwerking					0
Chemische en overige industrie				271,39	271,39
Lucht	/	/	/	/	0
Water					0
Bodem				18,00	18
Totaal	16,76			333,10	349,86

Stikstof en fosfor kunnen ook onttrokken worden uit het knooppunt water. Dit gebeurt echter voornamelijk voor stikstof naar het knooppunt lucht onder de vorm van N₂ en N₂O. Deze uitwisseling is toe te wijzen aan de processen van denitrificatie waarbij deze stoffen vrijkomen.

Tabel 110: Invoer van stikstof uit het knooppunt water

	kton N-NO _x	kton N-NH ₃	kton N-N ₂ O	kton N-N ₂	kton N	Totaal
Voedingsindustrie						0
Veevoederindustrie						0
Plantaardige productie						0
Dierlijke productie						0
Huishoudens						0
Afvalverwerking						0
Transport en energie						0
Openbare afvalwaterzuivering						0
Biomassaverwerking						0
Chemische en overige industrie						0
Lucht			0,78	1,17		1,95
Water	/	/	/	/	/	/
Bodem						0
Totaal	0	0	0,78	1,17	0	1,95

Ook uit de bodem kan stikstof en fosfor worden onttrokken naar de overige knooppunten. De plantaardige productie zorgt voor een stikstofoverschot in de bodem van 3,03 kton, terwijl een fosfor uit de bodem wordt onttrokken ter hoogte van 1,11 kton. De rioolwaterzuiveringsinstallaties nemen tevens ook stikstof op uit het knooppunt bodem door de aanvoer van infiltratiewater. De invoer van stikstof uit de bodem naar het knooppunt lucht is toe te schrijven aan het uitrijden van kunstmest op landbouwbodems.

Tabel 111: Invoer van stikstof en fosfor uit het knooppunt bodem

	kton N	kton P
Voedingsindustrie		
Veevoederindustrie		
Plantaardige productie		1,11
Dierlijke productie		
Huishoudens		
Afvalverwerking		
Transport en energie		
Openbare afvalwaterzuivering	2,33	0,00
Biomassaverwerking		
Chemische en overige industrie		
Lucht	8,30	
Water		
Bodem		
Totaal	10,63	1,11

5.5.2 Invoer in Vlaanderen

Uit de stofboekhouding blijkt dat 7 knooppunten stikstof en/of fosfor invoeren, namelijk de voedingsindustrie, de veevoederindustrie, de dierlijke productie, transport en energie, biomassaverwerking, chemische en overige industrie en lucht.

De totale hoeveelheid stikstof die geïmporteerd wordt is 1024,09 kton. Daarvan zijn de drie grootste invoerders het knooppunt transport en energie, chemische en overige industrie, en de voedingsindustrie. Het knooppunt transport en energie importeert aanzienlijke hoeveelheden stikstof in de brandstoffen die gebruikt worden tijdens voor het opwekken van klassieke energie en voor transport. Deze brandstoffen bevatten echter weinig fosfor. De chemische en overige industrie importeert zowat 26% van de totale geïmporteerde N. Voornamelijk minerale stikstof wordt in de chemische en overige industrie gebruikt. Een groot deel van de chemische en overige industrie kon niet verklaard worden door de stofboekhouding door een gebrek aan gegevens. De cijfers berekend in de stofstroomanalyse voor de chemische en overige industrie moeten dus voorzichtig geïnterpreteerd worden. De voedingsindustrie is verantwoordelijk voor 15% van de totale invoer van N. Het gaat hier voornamelijk om stikstof in de voedingsproducten en dus om organische stikstof.

De overige knooppunten die instaan voor het importeren van stikstof, maar in mindere mate, zijn: de veevoederindustrie, de dierlijke productie, het compartiment lucht en de biomassaverwerking. De veevoederindustrie importeert zowel mengvoeders als grondstoffen voor het produceren ervan. Het staat in voor 8% van de invoer. De nutriënten bevinden zich in de vorm in organische en minerale stoffen. De dierlijke productie voert stikstof (onder organische vorm) in door de import van levende dieren. Voor het knooppunt lucht gaat het voornamelijk om verzurende stoffen, namelijk NH_3 en NO_x . Tot slot wordt er ook dierlijke mest en andere meststoffen ingevoerd voor de verwerkingstechnieken van mestverwerking, namelijk biothermisch drogen en substraatbereiding. In dit geval zullen de nutriënten zich ook in organische vorm bevinden.

Tabel 112: Invoer van stikstof en fosfor per knooppunt (in kton en in % van de totale import)

	kton N	% import N	kton P	% import P
Voedingsindustrie	152,68	15	22,66	19
Veevoederindustrie	86,85	8	11,75	10
Plantaardige productie		0		0
Dierlijke productie	16,32	2	0,78	1
Huishoudens		0		0
Afvalverwerking		0		0
Transport en energie	493,04	48	0,01	0
Openbare afvalwaterzuivering		0		0
Biomassaverwerking	4,86	0	1,52	1
Chemische en overige industrie	263,70	26	81,11	69
Lucht	6,64	1		0
Water		0		0
Bodem		0		0
Totaal	1024,09		117,83	

117,83 kton fosfor wordt ingevoerd door de volgende knooppunten: voedingsindustrie, veevoederindustrie, dierlijke productie, transport en energie, biomassaverwerking en de chemische en overige industrie. In dit geval zijn de drie belangrijkste knooppunten de chemische en overige, de voedings- en de veevoederindustrie. Tezamen importeren ze 98% van de totale ingevoerde fosfor. De chemische en overige industrie heeft hierbij een groter aandeel dan voor stikstof door de productie van voederfosfaten die daarna naar de veevoederindustrie gaan. Organische fosfor is voornamelijk terug te vinden in de knooppunten voedingsindustrie, de dierlijke productie, de biomassaverwerking en in mindere mate in de veevoederindustrie. Minerale fosfor daarentegen wordt meer gebruikt in de chemische en overige industrie alsook in de mengvoeders.

5.6 Invoer van nutriënten per sector

5.6.1 Invoer vanuit milieu (lucht, water en bodem)

De knooppunten kunnen verdeeld worden over de verschillende sectoren zoals beschreven in het Milieuraapport Vlaanderen. De invoer van stikstof en fosfor vanuit het milieu naar de bestaande sectoren zijn afkomstig uit lucht en bodem. Er vindt immers geen invoer van nutriënten plaats vanuit het oppervlaktewater naar economische knooppunten, en dus sectoren.

De sectoropdeling toont aan dat de sector industrie instaat voor 82% van invoer van N₂ uit de lucht. De N₂ wordt opgenomen tijdens productie- en verbrandingsprocessen. Andere belangrijke sectoren zijn transport en landbouw. Hierbij wordt N₂ vanuit de lucht ingevoerd enkel voor brandstofverbranding voor vervoer.

Tabel 113: Invoer van N₂ uit lucht per sector

Sector	kton N ₂
Energie	0,00
Transport	33,98
Handel & diensten	0,85
Huishoudens	3,17
Industrie	271,66
Landbouw	22,20
Totaal	331,86

Uit onderstaande tabel blijkt dat fosfor op schaal Vlaanderen door de gewassen onttrokken aan de al dan niet fosforverzadigde bodems. Het overschot aan stikstof is behandeld in tabel 107 als uitvoer uit de landbouw naar de bodem.

Tabel 114: Invoer van N en P uit de bodem per sector

Sector	kton N	kton P
Energie	0,00	0,00
Transport	0,00	0,00
Handel & diensten	0,00	0,00
Huishoudens	0,00	0,00
Industrie	2,33	0,00
Landbouw	0,00	1,11
Totaal	2,33	1,11

5.6.2 Invoer in Vlaanderen

De belangrijkste invoerder van zowel stikstof als fosfor is de sector industrie. Deze omvat de voedings- en de veevoedingsindustrie, de chemische en overige industrie, het deelpknooppunt industriële vergisters van de biomassaverwerking, de afvalverwerking en de openbare afvalwaterzuivering.

Tabel 115: Invoer van N en P in Vlaanderen per sector

Sector	kton N	% import N	kton P	% import P
Energie	448,67	44	0,01	0
Transport	44,37	4	0,00	0
Handel & diensten	0,00	0	0,00	0
Huishoudens	0,00	0	0,00	0
Industrie	503,44	49	115,52	99
Landbouw	20,97	2	0,78	1
Totaal	1.017,45		116,31	

6 Besluit

Het doel van deze studie is het maken van een stofstroomanalyse van het Vlaamse Gewest van de nutriënten N en P voor Vlaanderen. De Vlaamse economie is daarvoor opgedeeld in 13 knooppunten om stromen tussen de deelsectoren in beeld te krijgen. De stromen tussen de economische knooppunten en de stromen van de economische knooppunten naar de milieuknooppunten geven een indicatie van de hotspots van nutriënten en tonen waar het meeste potentieel ligt voor efficiëntieverbeteringen van het gebruik van nutriënten.

Op basis van de visuele voorstelling van de stofstroomanalyse in figuren 12 en 13 kunnen twee duidelijke hotspots binnen Vlaanderen geïdentificeerd worden².

De brede Sankey pijlen in figuren 12 en 13 van en naar het knooppunt chemische en overige industrie vallen op voor zowel de N- en de P-stofstroomanalyse. In Vlaanderen bevinden enkele zeer grote spelers in de chemische industrie die veel N en P verwerken. Voor N gaat het over ammoniakproductie dat verder gebruikt wordt voor de productie van minerale meststoffen. Voor P gaat het over de import van fosforzuur dat als basisproduct gebruikt wordt in de veevoederindustrie, de voedingsindustrie en chemische en overige industrie. Voor zowel de N- en P-stromen geldt dat er veel import maar ook veel export van nutriënten is. Vlaanderen speelt dus de rol van logistieke draaischijf binnen Europa waar binnen de Vlaamse industrie ook een aantal bewerkingen van de nutriëntenrijke producten gebeurt. P komt bijvoorbeeld binnen in de vorm van fosforzuur en wordt geëxporteerd in de vorm van voederfosfaten. Ammoniak wordt geproduceerd op basis van N_2 maar dit gebeurt met verbruik van geïmporteerd aardgas. De belangrijkste interactie van de chemische industrie met de andere knooppunten verloopt via het gebruik van minerale meststoffen. Dit is dan ook het belangrijkste punt waar efficiëntieverbeteringen te halen zijn. Als Vlaanderen er in slaagt om dezelfde productie te halen door het meer en efficiënter gebruik van andere dan minerale meststoffen, dan zal de afhankelijkheid van fossiele bronnen van nutriënten ook dalen.

De knooppunten plantaardige productie, dierlijke productie, veevoederindustrie en voedingsindustrie springen ook in het oog door het belang van de stromen tussen deze knooppunten. Deze knooppunten, die samen de agrovoedingscluster vormen, zijn op vlak van nutriëntengebruik zeer sterk met mekaar verbonden zijn. Veevoeder dient als input voor de dierlijke productie, waar de meeste nutriënten worden omgevormd tot mest dat vooral gebruikt wordt in de plantaardige productie. De plantaardige productie en de dierlijke productie, samen de landbouwsector, leveren de belangrijkste inputstroom van nutriënten van de voedingsindustrie. De voedingsindustrie en de plantaardige productie vormen op hun beurt de belangrijkste input van de veevoederindustrie. Ondanks het feit dat er een zeer nauwe samenwerking is tussen deze deelsectoren en dat al veel inspanningen gedaan worden om de benutting van nutriënten te verbeteren, is het toch in dit vierluik dat de meeste winst kan geboekt worden. Bovendien groeit de interactie tussen de agrovoedingscluster en het knooppunt biomassaverwerking. Enerzijds komt dit door het toenemende belang van de biogebaseerde economie en anderzijds door het toenemende gebruik van verwerkingstechnieken op reststromen van biomassa.

² De brede Sankey pijl van N van het knooppunt transport en energie naar lucht omvat vooral een stroom van inert N_2 (489 kton N). 27 kton N uit het knooppunt transport en energie omvat de stromen NO_x en N_2O . Enkel de stromen NO_x en N_2O hebben een impact op het milieu en zouden zoveel mogelijk beperkt moeten worden.

De efficiëntieverbeteringen en het potentieel om de milieu-impact te verminderen kunnen vooral afgeleid worden van de stromen van nutriënten naar de milieucompartimenten lucht en water.

De stroom reactieve N naar lucht komt vooral van transport en energie (27 kton N), dierlijke productie (23 kton N) en plantaardige productie (19 kton N) en de chemische en overige industrie (9 kton N). De reactieve N-emissie naar lucht van transport en energie en chemische en overige industrie gebeurt vooral onder de vorm van NO_x en de landbouwsector stoot vooral NH_3 uit. In elk van deze sectoren kunnen de reactieve N-verliezen naar lucht gereduceerd worden door de technologische verbeteringen en gedragsveranderingen inzake mobiliteit en energiegebruik. Bij de verwerking van afval kan een betere selectieve inzameling meer GFT uit de restfractie houden. Bij de selectieve verwerking van GFT kunnen de nutriënten opnieuw beschikbaar gesteld worden van andere sectoren i.p.v. N de lucht in te blazen bij de verbranding van restafval. In de transport- en energiesector kunnen betere motoren, het gebruik van hernieuwbare energie en een betere modale split het verbruik van brandstoffen verminderen. Een daling in het brandstofverbruik zal ook de NO_x -uitstoot doen dalen. Bovendien kunnen technologische verbeteringen in de verbrandingsprocessen de emissies van NO_x doen dalen ten voordele van het minder schadelijke N_2 . In de landbouwsector wordt nu al een heel arsenaal aan technieken toegepast om de ammoniakemissies te beperken, maar deze zouden door nog meer bedrijven kunnen gebruikt worden.

De emissie van N naar water komt vooral van de plantaardige sector (19 kton N), huishoudens (10 kton N) en het effluent van openbare waterzuivering (5 kton N). Dit zijn ook de belangrijkste sectoren voor de emissie van P naar water: de plantaardige sector (1,2 kton P), huishoudens (1,4 kton P) en het effluent van openbare waterzuivering (0,6 kton P). Betere technieken voor waterzuivering, zoals struvietvorming i.p.v. nitrificatie-denitrificatie, kan op dit vlak het potentieel voor recyclage sterk verbeteren.

Een vergelijking van de Vlaamse stofstroomanalyse met een Europese studie van Ott & Rechberger (2012) toont dat Vlaanderen een regio is met zeer grote nutriëntenfluxen in vergelijking met de andere regio's in EU-15. De consumptie van P in de voeding en de emissie van P in afvalwater per inwoner is vergelijkbaar maar verschillende industriële sectoren verwerken veel meer nutriënten per inwoner dan in andere EU lidstaten. Deze situatie leidt tot een aantal kwetsbaarheden maar ook tot opportuniteiten. Vlaanderen gebruikt 2 kg P per inwoner meer dan EU-15 aan geïmporteerd voeder. Maar Vlaanderen gebruikt 2,4 kg P per inwoner minder aan fosforrijke minerale meststof.

Een vergelijking van de Vlaamse stofstroomanalyse met een Nederlandse P-stofstroomanalyse van Smit et al. (2010) toont dat Vlaanderen gelijkaardige uitdagingen heeft. Er is in beide landen een potentieel tot betere benutting via efficiënter gebruik in de landbouwsector en betere verwerkingstechnieken voor afval. Een opmerkelijk verschil tussen beide studies is dat er geen accumulatie van P gevonden wordt in de Vlaamse bodem in 2009 terwijl Smit et al. (2010) een accumulatie vinden van 17 kg P/ha.jaar. Het verschil kan verklaard worden door een verschillend referentiejaar, 2005 in Nederland en 2009 in Vlaanderen. De situatie in Vlaanderen was in 2000 ook sterk verschillend van die in 2009. In 2000 rapporteert Milieurapport Vlaanderen nog een overschot op de bodembalans van de landbouw van 21 kg P/ha.jaar in Vlaanderen. Dit grote verschil geeft aan dat het zinvol is om voorliggende studie op regelmatige basis te herhalen. Op die manier kunnen trends in stromen van nutriënten geëvalueerd worden en kan de vooruitgang op het terrein opgevolgd worden. Een belangrijk hiaat in deze studie is inzicht in de voorraden van nutriënten. Een

eerste aanzet is gegeven in deze studie door in de knooppunten afvalverwerking, lucht en bodem een verandering in stock op te nemen in de stofstroomanalyse. Dit geeft aan dat minstens in deze knooppunten een belangrijke voorraad bestaat. Ook voor het knooppunt water kan een voorraadbepaling zinvol zijn om inzicht te krijgen in de nutriënten opgeslagen in de waterkolom en de waterbodem.

7 Referenties

Aernouts K. & Jespers K. (2012) Energiebalans Vlaanderen 2010. VITO.

Antikainen R., Haapanen R. & Rekolainen S. (2004) Flows of nitrogen and phosphorus in Finland - the forest industry and use of wood fuels, *Journal of Cleaner Production*, 12: 919-934.

BC, British Columbia (2013) Conversion factors for fuel. Tax information sheet, Ministry of Finance.

BEMEFA (2009) Jaarrapport 2009. Raadpleegbaar op www.bemefa.be.

BEMEFA (2013) Inventaris van inputs en outputs van de Vlaamse mengvoederfabrikanten voor het jaar 2009.

Bernstad A. & la Cour Jansen J., (2011) A life cycle approach to the management of household food waste - A Swedish full-scale case study, *Waste Management*, 31: 1879-1896.

Biogas-E (2006) Vergisting - omzetten van biomassa in een energierijk gas. Kessel-Lo, België: ODE-Vlaanderen; 68 p.

Biogas-E (2007) Vergisting op boerderijschaal: techniek, grondstoffen en eindproducten. Rumbeke-Beitem, België: POVLT; 32 p.

Buchi (2010) Nitrogen and protein determination according to the Kjeldahl method. Short note.

Dietgrail (2013) Phosphorus and protein content of food. Retrieved from: www.dietgrail.com.

EPAS (2001) Bepaling van het huishoudelijk lozingsgedrag in Vlaanderen in het kader van de wetenschappelijke onderbouwing van de milieueffing. Gent, België; 48p.

FEVIA (2009) Jaarrapport 2009. Raadpleegbaar op www.fevia.be.

FEVIA (2011) Duurzaamheidsverslag van de Belgische voedingsindustrie.

FOD Economie (2013a) Landbouwenquête van mei 2009. Raadpleegbaar op statbel.fgov.be.

FOD Economie (2013b) Slachtstatistieken 2009. Raadpleegbaar op statbel.fgov.be.

FOD Economie (2013c) Bevoorradingbalansen melk 2009. Raadpleegbaar op statbel.fgov.be.

FOD Economie (2013d) Bevoorradingbalansen eieren 2009. Raadpleegbaar op statbel.fgov.be.

FOD Economie (2013e) Bevoorradingbalansen vlees 2009. Raadpleegbaar op statbel.fgov.be.

Gellynck X., Verhelst P., Van Huylenbroeck G., Buysse J., Verstraete W., Windey K., Lavrysen L. et al. (2006) Opmaken van een toetsingskader voor de kwalitatieve en kwantitatieve evaluatie van het beleid inzake de selectieve inzameling van afvalstromen. Gent: Universiteit Gent, Vakgroep Landbouweconomie, Afdeling Agro-Marketing.

GfK (2009) Database: marktonderzoek rond voedingsconsumptie in België.

Grappin R. & Horwitz W. (1988) Determination of nitrogen content in milk by the Kjeldahl method using copper sulfate: interlaboratory study. *J Assoc Off Anal Chem*, 71(5): 893-898.

Hagen-Thorn A., Armolaitis K., Calleson I. & Stjernquist I. (2004) Macronutrients in tree stems and foliage: a comparative study of six temperate forest species planted at the same sites, *Annals of Forest Science*. 61: 489-498.

Lenders S., Oeyen A., D'hooghe J. & Overloop S. (2012) Bodembalans van de Vlaamse landbouw, cijfers voor 2007-2009, Departement Landbouw en Visserij, afdeling Monitoring en Studie in samenwerking met de Vlaamse Milieumaatschappij, Brussel.

LV (2012) Landbouwrapport 2012. Departement Landbouw en Visserij, Vlaamse overheid.

Meers E. (2011) Inleiding en voorstelling voortgangsrapport Biogas-E 2011.

Ott C. & Rechberger H. (2012) The European phosphorus balance. Resources, Conservation and Recycling, 60: 159-172.

OVAM (2013) Inventaris Biomassa 2011-2012 - draft versie.

R.A. Afolayan, M.P.B. Deland, D.L. Rutley, C.D.K. Bottema, A.L. Ewers, R.W. Ponzoni & W.S. Pitchford (2002) Prediction of carcass meat, fat and bone yield across diverse cattle genotypes using live-animal measurements. *Anim. Prod. Aust*, 24: 13-16.

Rendac (2009) Jaarrapport 2009. Raadpleegbaar op www.rendac.be.

Sede (2013) Wat is slib?. Raadpleegbaar op www.sede.be.

Smit A.L., van Middelkoop J.C., van Dijk W., van Reuler H., de Buck A.J. & van de Sanden P.A.C.M. (2010) 'A quantification of phosphorus flows in the Netherlands through agricultural production, industrial processing and households'.

Sokka L., Antikainen R. & Kauppi P. (2004) Flows of nitrogen and phosphorus in municipal waste: a substance flow analysis in Finland, *Progress in Industrial Ecology*, 1: 165-186.

Stora Enso (2013) Langerbrugge Mill produces paper based on 100% recycled fibre. Stora Enso, Langerbrugge, België; Raadpleegbaar op: <http://www.storaenso.com/about-us/mills/belgium/langerbrugge-mill/Pages/langerbrugge-mill-runs-with-recovered-fibre.aspx>.

Teodorita Al Seadi et al. (2008) Biogas for Eastern Europe: Biogas Handbook. 126 p; Raadpleegbaar op: <http://www.lemvigbiogas.com/BiogasHandbook.pdf>.

University of Cambridge (2013) Structure and composition of bone. <http://www.doitpoms.ac.uk/tlplib/bones/structure.php>.

VCM (2013a) Wat is mestverwerking? Vlaamse Coördinatiecentrum Mestverwerking, Brugge, België; Raadpleegbaar op: http://www.vcmestverwerking.be/information/index_nl.phtml?informationtreeid=101.

VCM (2013b) Technieken. Biologie. Vlaamse Coördinatiecentrum Mestverwerking, Brugge, België; Raadpleegbaar op: http://www.vcm-mestverwerking.be/tech/detail_nl.phtml?id=16.

VCM (2013c) Technieken. Biothermische drogen/composteren. Vlaamse Coördinatiecentrum Mestverwerking, Brugge, België; Raadpleegbaar op: http://www.vcm-mestverwerking.be/tech/detail_nl.phtml?id=14.

VLACO (2009a) Activiteitenverslag 2009, Vlaamse Compostorganisatie vzw, Mechelen, België; www.vlaco.be.

VLACO (2009b) Ecologische en economische voordelen van gft- en groencompost. Vlaamse Compostorganisatie vzw, Mechelen, België; 33 p.

VLACO (2013a) Wat is compost? Vlaamse Compostorganisatie vzw, Mechelen, België; Raadpleegbaar op: <http://www.vlaco.be/compost-gebruik/wat-is-compost>.

VLACO (2013b) Gemiddelde samenstelling van Vlaco-compost. Vlaamse Compostorganisatie vzw, Mechelen, België; Raadpleegbaar op: <http://www.vlaco.be/professionele-verwerking/eindproducten/gemiddelde-samenstelling>.

VLAM (2009) Import, export, productiegegevens van groenten en fruit in België. Raadpleegbaar op www.vlam.be.

VLM (2010) Voortgangsrapport Mestbank 2010 betreffende het mestbeleid in Vlaanderen, Vlaamse Landmaatschappij, Brussel, België; www.vlm.be.

VLM (2013) Wie is producent en wat zijn andere meststoffen? Vlaamse Milieumaatschappij, Brussel, België; Raadpleegbaar op: <http://www.vlm.be/intermediairs/Producentenvananderemeststoffen/Pages/default.aspx>.

VMM (2006) Milieurapport Vlaanderen, Achtergronddocument 2006, Verzuring, Van Avermaet P., Van Hooste H., Overloop S., Vlaamse Milieumaatschappij, Aalst, www.milieurapport.be.

VMM (2010a) Schatting emissies water bedrijven 2009. EmissiesWater_Bedrijven_2009-2010.

VMM (2010b) Bijschatting emissies water bedrijven 2009. EmissiesWater_Bedrijven_Bijschatting_2009-2010.

VMM (2010c) Legende emissies bedrijven. Legende_EmissiesWater_Bedrijven.

VMM (2010d) Emissies RWZI 2009. Emissies_RWZI_2009-2010.

VMM (2010e) Emissies huishoudens. Huishoudelijke_belasting_OW_2008.

VMM (2012) MIRA-T rapporten: milieuthema vermesting, vermestende depositie, stikstofdepositie; Vlaamse Milieumaatschappij, Aalst, www.milieurapport.be.

VMM (2013a) Rapportering: emissies naar lucht en oppervlakte water. Raadpleegbaar op www.milieurapport.be.

VMM (2013b) MIRA Indicatorrapport 2012. Marleen Van Steertegem (eindred.), Milieurapport Vlaanderen, Vlaamse Milieumaatschappij, www.milieurapport.be.

VMM (2013c) MIRA-T rapporten: milieuthema verzuring, verzurende depositie, aandeel doelgroepen en import tot de verzurende depositie; Vlaamse Milieumaatschappij, Aalst, www.milieurapport.be.

Wageningen Universiteit (2010) Effecten van diermeel in het voer op gezondheid en welzijn van pluimvee en varkens, Rapport 337, Wageningen, <http://edepot.wur.nl/174826>.

Wilcock W. (2005) Energy in natural processes and human consumption - some numbers. Course notes. University of Washington. 10 p.

Zwart K., Oudendag D., Ehlert P. & Kuikman P. (2006) Duurzaamheid co-vergisting van dierlijke mest. Wageningen, Alterra; 70 p. Rapport No. 1437.

8 Bijlage

De bijlage is beschikbaar bij de Vlaamse Milieumaatschappij, dienst Milieurapportering, mira@vmm.be of 015 451 461.