

REDUCEREN VAN HEMELWATERAFSTROMING VANUIT LANDBOUWGRONDEN

AFSTUDEERONDERZOEK NAAR MOGELIJKE MAATREGELEN OM AFSTROMING VAN HEMELWATER IN HET HEUVELACHTIG LANDSCHAP IN ZUID-LIMBURG TE REDUCEREN EN DAARMEE WATEROVERLAST EN EROSIE TE VERMINDEREN. DIT ONDERZOEKSRAPPORT DIEN'T ALS HANDREIKING VOOR WATERSCHAP LIMBURG.



DEFINITIEF

VERSIE 1

15-6-2017

Auteurs:

B.A.A. (Bart) Keijzer – 2070615

J.P.W. (Jasper) van de Ven – 2078147

Civiele Techniek – Watermanagement

Sweco Nederland B.V.

Team Water

ing. S.J.W. (Sander) Hoegen
(bedrijfsbegeleider)

Avans Hogeschool

Academie voor Bouw & Infra

ir. I. (Ilonka) van Hoorn (1^e afstudeerdocent)

ir. D. (Dieuwke) Schotanus (2^e afstudeerdocent)

Voorwoord

Beste lezer,

Voor u ligt het adviesrapport behorende bij het afstudeeronderzoek 'Reduceren van hemelwaterafstroming vanuit landbouwgronden'. Het afstudeeronderzoek is uitgevoerd door Bart Keijzer en Jasper van de Ven, studenten Civiele Techniek met afstudeerrichting Watermanagement aan de Avans Hogeschool in Tilburg.

In opdracht van Sweco Nederland hebben wij gedurende de twintig weken durende afstudeerperiode onderzoek gedaan naar mogelijke maatregelen die getroffen kunnen worden in het landelijke gebied om de hemelwaterafstroming te reduceren en daarmee de overlast in de stedelijke kern van Ransdaal te verminderen. Het onderzoek heeft geleid tot drie maatregelenpakketten die de afstroming van hemelwater reduceren met respectievelijk 40%, 60% en 80%. Met ons onderzoek hopen wij Waterschap Limburg een handreiking te geven voor het oplossen van de locaties waar dezelfde problematiek voorkomt.

Voor het uitvoeren van ons afstudeeronderzoek zijn wij bijgestaan door verschillende personen die ieder op zijn of haar eigen manier hebben bijgedragen aan de rapportage.

Allereerst willen wij onze bedrijfsbegeleider Sander Hoegen, adviseur waterbeheer en waterkwaliteit, bedanken voor zijn begeleiding, input, geboden hulp en kritische feedback op het onderzoek.

Eveneens spreken wij onze dank uit richting Harrie Winterraeken, Marco de Redelijkheid, Marc Strookman en Helena Pavelkova van Waterschap Limburg voor de aangeleverde documenten, geleverde input en de kritische blik.

Daarnaast bedanken wij Jan van der Meulen en Jan Willem Bronkhorst van Sweco Nederland en de medewerkers van Nelen & Schuurmans voor de ondersteuning bij het 3Di-model.

Ook spreken wij onze dank uit naar alle personen die wij hebben mogen interviewen om tot dit rapport te komen.

Verder willen we graag onze afstudeerbegeleidster vanuit de opleiding, Ilonka van Hoorn bedanken voor haar kritische feedback op het afstudeeronderzoek.

Tot slot bedanken wij graag Dieuwke Schotanus voor haar begeleiding tijdens het afstudeeratelier Waterbouw waaraan tijdens de afstudeerfase is deelgenomen.

Wij wensen u veel leesplezier!

Bart Keijzer en Jasper van de Ven

Eindhoven, 15 juni 2017

Omslagfoto: Limburgs Heuvelland uit 'De parken van Parkstad' (Punt, 2015)

Samenvatting

Bij hevige neerslag in het hellende gebied van Zuid-Limburg ontstaat er veel wateroverlast in de - in de dalen gelegen - stedelijke gebieden door oppervlakkig afstromend hemelwater vanaf de hellingen. Op deze hellingen vindt veelal land- en akkerbouw plaats. Het afstromende hemelwater concentreert zich in stroombanen en zorgt daar voor erosie en neemt gewassen mee. Dit leidt tot veel schade in de agrarische sector (verlies van gewas en vruchtbare grond). Daarnaast zorgt het eroderend materiaal er in de kernen voor dat het watersysteem dichtsluit en de wateroverlast verergert. Dit probleem is echter al sterk verminderd door het toepassen van niet-kerende grondbewerking. Door de klimaatverandering worden de regenbuien steeds intenser waardoor de gevolgen toenemen. Vanuit de burgers, de Limburgse Land- en Tuinbouworganisatie en Waterschap Limburg is er om deze reden de wens om beter beschermd te worden tegen wateroverlast.

Op dit moment is het beschermingsniveau 1:25 (één keer per vijfentwintig jaar mag er wateroverlast optreden ten gevolge van oppervlakkige hemelwaterafstroming). Dit beschermingsniveau wordt - ondanks de genomen maatregelen ten aanzien van de problematiek (aanleggen waterbuffers en invoeren niet-kerende grondbewerking) - op dit moment op veel plaatsen niet gehaald. Waterschap Limburg heeft in het Waterbeheerplan 2016-2021 opgenomen dat men streeft naar een beschermingsniveau van 1:100 (één keer per honderd jaar mag er wateroverlast optreden ten gevolge van oppervlakkige hemelwaterafstroming).

Waar ondanks het treffen van maatregelen het behalen van 1:100 niet volledig haalbaar blijkt te zijn (te hoge kosten, onvoldoende geschikte maatregelen), dient het maximale beschermingsniveau te worden gerealiseerd. Ditzelfde streven is ook opgenomen in het Provinciaal Omgevingsplan Limburg. Om het hogere beschermingsniveau te realiseren heeft Waterschap Limburg het Beschermingsprogramma regionale overstromingen en wateroverlast in stedelijk gebied (BOOST) opgezet. In BOOST worden voor 51 knelpuntgebieden in Zuid-Limburg maatregelen voorbereid en uitgevoerd om het beschermingsniveau tegen afstromend hemelwater te verhogen. Deze maatregelen worden zoveel mogelijk uitgevoerd in synergie met het landschap, de ecologie en de agrarische bedrijfsvoering. Binnen BOOST wordt eerst gekeken of de neerslag kan infiltreren op de plek waar het valt alvorens er wordt gekeken om het water te bergen in het gebied. Daarbij wordt ook gekeken om het water beter te geleiden mocht het toch tot afstroming komen. Al laatste wordt er gekeken naar schadebeperkende maatregelen.

Sweco Nederland wil samen met Waterschap Limburg de mogelijkheden voor het reduceren van hemelwaterafstroming onderzoeken. Om deze reden is dit afstudeeronderzoek opgesteld. Waterschap Limburg zoekt naar een integrale werkwijze voor het benaderen van de knelpuntgebieden uit BOOST. Het is de bedoeling om de standpunten en bereidheid uit de agrarische sector te bepalen en samen met de kennis en standpunten binnen Waterschap Limburg tot maatregelenpakketten te komen die de hoeveelheid afstromend hemelwater reduceren en de wateroverlast verminderen. Deze doelstelling leidt tot de volgende hoofdvraag die in dit afstudeeronderzoek is behandeld: *Hoe ziet een door de belangrijkste stakeholders (Waterschap Limburg, LLTB en agrariërs) gedragen en theoretisch haalbaar maatregelenpakket eruit om oppervlakkig afstromen van hemelwater en de gevolgen hiervan te reduceren in Ransdaal bij een regenbui die ééns in de honderd jaar wordt verwacht?*

Om antwoord te geven op deze hoofdvraag zijn in dit afstudeerrapport drie maatregelenpakketten ontwikkeld voor het knelpuntgebied Ransdaal uit BOOST. Deze maatregelenpakketten verschillen in het percentage waarmee ze de afstroming van hemelwater reduceren bij een neerslaggebeurtenis van T=100, namelijk 40%, 60% en 80%. De maatregelenpakketten zijn opgesteld op basis van literatuuronderzoek naar effectiviteit, inpasbaarheid, kosten en baten en op basis van interviews om het draagvlak en mogelijkheid tot overeenstemming te achterhalen. Uiteindelijk heeft Waterschap

Limburg drie mogelijke maatregelenpakketten om de oppervlakkig hemelwaterafstroming vanuit het landelijke gebied te reduceren. Per pakket zijn de kosten, de baten en de instrumenten die nodig zijn om de maatregelen in te voeren uitgewerkt. De maatregelenpakketten met bijbehorende met achterliggende informatie dienen als handreiking van het Waterschap om de overige knelpuntgebieden te benaderen en op te lossen.

Binnen het onderzoek is er enkel gekeken naar een focusgebied binnen het casusgebied Ransdaal. Op dit focusgebied zijn de maatregelen toegepast en getest middels handberekeningen op effectiviteit. Er is hierbij niet gekeken naar de mogelijke effecten van de maatregelen op de waterkwaliteit. Daarnaast is er in het focusgebied vanuit gegaan dat de akkerbouwgewassen roteren en dat er jaarlijks een ander gewas wordt geteeld. Verder is in het afstudeerrapport uitgegaan van een zorgplicht voor iedere perceeleigenaar. Voor ieder perceel is een wateropgave te bepalen waarvoor de perceeleigenaar maatregelen dient te nemen om deze wateropgave te behalen.

Uit het onderzoek komt naar voren dat voor een gedragen maatregelenpakket drie soorten maatregelen nodig zijn, namelijk: bronmaatregelen, stroombaanmaatregelen en end-of-pipe maatregelen. Binnen geen enkel maatregelenpakket leiden alleen de bronmaatregelen tot de gewenste reductie. Het resterende deel van het afstromende hemelwater dient elders worden opgevangen met end-of-pipe maatregelen, zoals waterbuffers. Om bodemerosie in het focusgebied te reduceren is het treffen van stroombaanmaatregelen geadviseerd.

Het is van belang om goede afspraken te maken en de verantwoordelijkheden goed te verdelen tussen de perceeleigenaren en Waterschap Limburg om op efficiënte wijze de beoogde reductie te realiseren en tot een gedragen maatregelenpakket te komen. Er zijn verschillende mogelijkheden om de perceeleigenaren bereid te vinden tot het treffen van de maatregelen. Het treffen van mogelijke maatregelen is afhankelijk van de volgende factoren:

- Soort teelt (aardappelen, bieten, maïs, tarwe, gras, fruitteelt, et cetera);
- Methode van bewerken (niet-kerende grondbewerking of ploegen);
- Huidige mate van bodemverdichting;
- Rotatie van teeltsoort (heeft invloed op mogelijke maatregelen);
- Mate waarin maatregel wordt toegepast;
- Perceeleigenaar (verantwoordelijk voor te treffen maatregel).

Deze factoren maken het samenstellen van een maatregelenpakket gecompliceerd. Door rotatie van gewassen en eventuele verschuivingen tussen perceeleigenaren is er geen eenduidig maatregelenpakket op te stellen.

Tussen de verschillende maatregelenpakketten neemt de bergingsopgave met 20 procent per pakket toe. De effectiviteit van de bronmaatregelen stijgt met circa 5 procent per pakket. Het gevolg hiervan is dat de omvang van de end-of-pipe maatregelen met circa 15 procent toeneemt. De restopgave die per pakket door de end-of-pipe maatregelen wordt ingevuld neemt per maatregelenpakket toe doordat de berging die gerealiseerd wordt door de bronmaatregelen niet evenredig toeneemt met de bergingsopgave.

Om perceeleigenaren bereid te vinden de maatregelen te treffen zijn er een aantal mogelijke instrumenten beschikbaar:

- Kiezen voor effectieve maatregelen die weinig kosten met zich mee brengen en weinig tot geen kosten op de agrarische bedrijfsvoering lijken in de praktijk het meest haalbaar;
- Creëren van draagvlak voor maatregelen die meer impact hebben op de bedrijfsvoering en/of de kosten.
 - Op basis van samenwerking en overeenstemming;

- Door te informeren over mogelijke maatregelen en inpassing hiervan in bedrijfsvoering (middels kennis- en adviescentra);
- Motiveren en overtuigen (aantonen effectiviteit middels proefprojecten, proefboerderij Wijnandsrade, et cetera);
- Stimuleren (inzet financiële middelen).

Als vervolg op dit onderzoek is aanbevolen om het volgende te onderzoeken:

- Aanvullend onderzoek naar:
 - Invloed van de maatregelen op de waterkwaliteit;
 - Kosten & baten van de maatregelen;
 - Effectiviteit van de maatregelen (model en praktijk);
 - Toepassen van instrumenten;
 - Specificeren van de aannames uit dit onderzoek;
 - 3Di in QGIS (input en gebruik).
- Overeenstemmend overleg tussen Waterschap Limburg en perceeleigenaren.

Uit het afstudeeronderzoek is gebleken dat er verschillende geschikte maatregelen voor handen zijn om hemelwaterafstroming vanuit landelijk gebied te reduceren. De in dit afstudeeronderzoek beschreven maatregelenpakketten bieden een handreiking voor geschikte maatregelen en combinaties. Het is aan Waterschap Limburg om, samen met de betrokken partijen, de keuzes te maken voor de te implementeren maatregelen.

Inhoudsopgave

Voorwoord	1
Samenvatting	2
Lijst met afkortingen	7
Lijst met figuren	8
Lijst met tabellen	8
1 Inleiding	9
1.1 Aanleiding	9
1.2 Probleemstelling	10
1.3 Doelstelling	11
1.4 Afbakening	12
1.5 Aanpak	13
1.6 Leeswijzer	13
2 Onderzoeksmethodiek	15
2.1 Onderzoeksmethode	15
2.2 Onderzoeksontwerp	15
2.3 Literatuuronderzoek	16
2.4 Interviews	16
2.5 Modelstudie	17
2.5.1 Validatie en kalibratie	17
2.6 Maatregelenpakketten focusgebied Ransdaal	18
3 Theoretisch kader	20
3.1 Afstromend hemelwater en bodemerrosie	20
3.1.1 Afstromend hemelwater	20
3.1.2 Bodemerrosie	20
3.2 Zuid-Limburg	21
3.3 Bodembewerking	21
3.4 Beleid	22
3.5 Mogelijke maatregelen	23
3.5.1 Teelttechnische maatregelen	24
3.5.2 Inrichtingsmaatregelen	25
3.6 Instrumenten	26
4 Casusgebied Ransdaal	28
4.1 Gebiedsomschrijving	28
4.1.1 Oppervlaktewater	30
4.1.2 Hoogteligging	30
4.1.3 Bodemopbouw	31
4.1.4 Landbouw	31
4.2 Probleembeschrijving	32
4.2.1 Stroombanen, inundatie en kwetsbare panden	33
4.3 Focusgebied	34
4.3.1 Bergingsopgave focusgebied Ransdaal	36
4.3.2 Perceeleigenaren	38
5 Programma van Eisen	39
5.1 Limburgse Land- en Tuinbouwbond	39
5.2 Agrariërs	39
5.3 Waterschap Limburg	40
5.4 Multicriteria-analyse	41
6 Maatregelenpakketten	45
6.1 Maatregelenpakket 40% reductie	47
6.1.1 Benodigde instrumenten	50
6.1.2 Kosten- en baten	51
6.2 Maatregelenpakket 60% reductie	54
6.2.1 Benodigde instrumenten	57

6.2.2	Kosten- en baten	58
6.3	Maatregelenpakket 80% reductie	61
6.3.1	Benodigde instrumenten	63
6.3.2	Kosten- en baten	64
6.4	Samenwerking met Waterschap Limburg	65
6.5	Conclusie maatregelenpakketten	65
7	Conclusie, aanbeveling en discussie	67
7.1	Conclusie	67
7.2	Aanbeveling	69
7.3	Discussie	70
8	Bronnenlijst	75
9	Woordverklaring	80
10	Bijlagen	82

Lijst met afkortingen

AHN	Algemeen Hoogtebestand Nederland
BOOST	Waterschap Limburg treft in het kader van programma 'Beschermingsprogramma regionale Overstromingen en waterOverlast in STedelijk gebied' maatregelen om wateroverlast te reduceren.
BRP	Basisrioleringsplan
EU	Europese Unie
GLB	Gemeenschappelijk Landbouwbeleid
KEA	Kosten-effectanalyse
KRW	Europese Kaderrichtlijn Water
LLTB	Limburgse Land- en Tuinbouwbond
MCA	Multicriteria-analyse
MKBA	Maatschappelijke kosten-batenanalyse
MSL	Mean Sea Level (gemiddeld zeeniveau)
NKG	Niet-kerende grondbewerking
PvE	Programma van Eisen

Lijst met figuren

Figuur 2.1 3Di-model Ransdaal in QGIS 2.18.3.	17
Figuur 4.1 Ligging Ransdaal (Google Maps)	28
Figuur 4.2 Luchtfoto omgeving Ransdaal en Ransdalerveld	29
Figuur 4.3 Impressie omgeving Ransdaal 22-02-2017 (Jasper van de Ven)	29
Figuur 4.4 Hoogtekaart Ransdaal (AHN2)	30
Figuur 4.5 Dwarsdoorsnede hoogtekaart Ransdaal (AHN2)	31
Figuur 4.6 Gewassenteelt 2001 omgeving Ransdaal (www.portal.prvlimburg.nl)	32
Figuur 4.7 Versnippering kavels Ransdalerveld (Stichting Cultuur en Ontmoeting Ransdaal, z.j.)	33
Figuur 4.8 Knelpuntenkaart Ransdaal met stroombanen, inundatie en kwetsbare panden (QGIS)	34
Figuur 4.9 Focusgebied Ransdaal met locatie dwarsprofiel (QGIS)	35
Figuur 4.10 Dwarsprofiel focusgebied Ransdaal	35
Figuur 4.11 Locaties boorprofielen (www.dinoloket.nl)	36
Figuur 4.12 Geanonimiseerde perceeleigenaren focusgebied (QGIS)	38
Figuur 6.1 Processchema totstandkoming maatregelenpakketten	45
Figuur 6.2 Oppervlaktes percelen focusgebied	46
Figuur 6.3 Afmetingen aardappelruggen (De Jonge, 1981)	48
Figuur 6.4 Mogelijk inrichtingsplan maatregelenpakket 40% (QGIS)	49
Figuur 6.5 Mogelijk inrichtingsplan maatregelenpakket 60% (QGIS)	56
Figuur 6.6 Mogelijk inrichtingsplan maatregelenpakket 80% (QGIS)	62

Lijst met tabellen

Tabel 1.1 Verdeling deelvragen per hoofdstuk	14
Tabel 4.1 Resultaat 3Di-berekening focusgebied Ransdaal	37
Tabel 4.2 Bergingsopgave focusgebied Ransdaal	37
Tabel 4.3 Bergingsopgave per maatregelenpakket	38
Tabel 5.1 Multicriteria-analyse	43
Tabel 6.1 Maatregelenpakket 40% reductie hemelwaterafstroming	47
Tabel 6.2 Benodigde instrumenten maatregelenpakket 40%	51
Tabel 6.3 Kosten en baten maatregelenpakket 40%	52
Tabel 6.4 Maatregelenpakket 60% reductie hemelwaterafstroming	54
Tabel 6.5 Breedte randenbeheer (Visser, Guldemond & van der Wal, 2012)	55
Tabel 6.6 Benodigde instrumenten maatregelenpakket 60%	58
Tabel 6.7 Kosten en baten maatregelenpakket 60%	59
Tabel 6.8 Maatregelenpakket 80% reductie hemelwaterafstroming	61
Tabel 6.9 Benodigde instrumenten maatregelenpakket 80%	63
Tabel 6.10 Kosten en baten maatregelenpakket 80%	64
Tabel 6.11 Reductie door bronmaatregelen ten opzichte van bergingsopgave focusgebied	66

1 Inleiding

Dit afstudeerrapport richt zich op het reduceren van hemelwaterafstroming in hellende gebieden in Zuid-Limburg om de wateroverlast en de erosie die hieruit voortkomt te verminderen. In dit eerste hoofdstuk is ingegaan op de aanleiding van het afstudeeronderzoek, de probleemdefinitie, de doelstelling en de afbakening. In deze inleiding zijn verder onder meer de hoofdvraag en de verschillende deelvragen vermeld.

1.1 Aanleiding

Neerslag die in hellende gebieden valt, infiltreert of concentreert zich in stroombanen en stroomt vervolgens heuvelafwaarts de dalen in. In deze dalen zijn de stedelijke gebieden gelegen, zo ook in Nederlands meest hellende gebied in Zuid-Limburg. De wateroverlast die hier ontstaat bij hevige regenval wordt, naast het gebrek aan afvoer- en infiltratiemogelijkheden in stedelijk gebied, veroorzaakt door oppervlakkige afstroming van hemelwater vanaf de landbouwgronden die op de hellingen zijn gelegen. Door de klimaatverandering worden de regenbuien steeds intenser waardoor de kans op wateroverlast (inundatie* van gebouwen en wegen) toeneemt. Vandaar dat er de maatschappelijke wens van burgers, de landbouworganisatie (LLTB) en Waterschap Limburg is om beter beschermd te worden tegen wateroverlast.

Hemelwaterafstroming en daaruit volgende wateroverlast en bodemerosie in hellend gebied is iets van alle tijden. Echter is het in Nederland vanaf de jaren 50 van de 20^e eeuw sterk toegenomen (Geelen, 2006). Dit heeft te maken met verschillende ontwikkelingen. Uit Geelen (2006) blijkt dat dit kwam door de vraag naar hogere en meer oogstzekere productie. Dit werd mogelijk door de technische ontwikkelingen, zoals kunstmest en zwaardere machines. De gronden werden intensiever gebruikt. De grotere verdichting die optrad door de zwaardere machines zorgden voor minder infiltratie en meer hemelwaterafstroming. Daarnaast maakte de ruilverkaveling grootschalige akkerbouw mogelijk. Door de vergroting van de percelen ontstonden er grotere hellinglengtes* wat leidde tot meer wateroverlast en erosie doordat de afstromende neerslag meer snelheid op kon bouwen. Ook verdwenen door de grotere percelen veel graften* en hagen die een remmend effect hebben op afstromend hemelwater. Daarnaast werd in de naoorlogse periode veel grasland omgezet in bouwland. Gewassen op akkers zorgen tussen de 50 en 100 dagen per jaar voor volledige bodembedekking, terwijl grasland zorgt voor permanente bodembedekking. Dit leidde ertoe dat veel percelen gedurende een lange periode per jaar zeer gevoelig waren voor erosie. Verder namen de teelten met een late bodembedekking (zoals maïs) toe. Dit ging ten koste van gewassen die vroeg in het voorjaar de bodem bedekken (zoals granen). Dit zorgde ervoor dat de bodem in het voorjaar minder beschermd was tegen de sterk erosieve regenbuien. Niet alleen de hoeveelheid afstromend water nam toe, ook de gevolgen ervan namen toe. Dit kwam door de bevolkingsgroei. Het percentage aan verhard oppervlak nam toe en er werd steeds vaker gebouwd op plaatsen die hiervoor minder geschikt waren. Het gevolg hiervan was dat meer mensen vaker last kregen van water- en modderoverlast.

Door het afstromende hemelwater ontstaan er geulen die de akkerbouw belemmeren. Volgens De Roo (in Hessel et al., 2011) was het jaarlijkse bodemverlies voor het invoeren van niet-kerende grondbewerking in Zuid-Limburg ongeveer 14 ton/ha. Door deze grote hoeveelheid eroderend materiaal kunnen stuwbekkens dichtslibben waardoor het afstromende hemelwater tot stevige wateroverlast kan leiden buiten het stroomgebied (Commissie van Europese Gemeenschappen, 2006).

Om wateroverlast door afstromend hemelwater in Zuid-Limburg te verminderen is in het Provinciaal Omgevingsplan Limburg en het Waterbeheerplan 2016-2021 van Waterschap Limburg aangegeven dat er wordt gestreefd naar een beschermingsniveau van 1:100 (één keer per honderd jaar mag er

wateroverlast optreden ten gevolge van oppervlakkige hemelwaterafstroming) voor bebouwde gebieden. Op dit moment zijn er meerdere woongebieden met een beschermingsniveau van 1:25. Om het gestreefde hogere beschermingsniveau van 1:100 te realiseren heeft Waterschap Limburg het Beschermingsprogramma regionale Overstromingen en waterOverlast in STedelijk gebied (BOOST) opgezet.

In BOOST worden voor 51 knelpuntgebieden in het werkgebied van Waterschap Limburg maatregelen voorbereid en uitgevoerd om de bewoners en de woningen bescherming te bieden tegen wateroverlast ten gevolge van hemelwater. De maatregelen worden zo veel mogelijk in synergie met het landschap, de ecologie en de agrarische bedrijfsvoering ontworpen. Dit houdt in dat er met het bepalen van de maatregelen zoveel mogelijk rekening wordt gehouden met de huidige situatie in het gebied en dat deze niet wordt verslechterd. Hierbij streeft het Waterschap in eerste instantie naar brongerichte maatregelen zoals het lokaal infiltreren van hemelwater. Vervolgens wordt er gekeken naar maatregelen waarbij water wordt geborgen in het gebied. Ook worden de maatregelen met betrekking tot afvoeren van het hemelwater meegenomen. Tot slot worden er schadebeperkende maatregelen bij en aan bebouwing getroffen. Waar een beschermingsniveau van 1:100 niet volledig haalbaar blijkt te zijn, dient het maximaal haalbare beschermingsniveau gerealiseerd te worden.

Voortkomend uit BOOST is de vraag naar het onderliggende onderzoek gekomen. Waterschap Limburg is op zoek naar een integrale werkwijze voor het benaderen van de verschillende knelpuntgebieden. Men wil de standpunten en bereidheid vanuit de agrarische sector achterhalen en samen met de kennis en standpunten binnen het Waterschap tot maatregelenpakketten komen.

1.2 Probleemstelling

Waterschap Limburg ervaart dat zowel bij kortdurende hevige buien als bij langdurige buien hemelwater op landbouwpercelen tot afstroming kan komen. Bij een toetsbui $T=100$ bui valt er circa 47 millimeter regen in 20 minuten, 61 millimeter regen in 3 uur of 101 millimeter in 48 uur. Om benedenstrooms gelegen bebouwde gebieden de gewenste bescherming te kunnen bieden, dient de afspoeling van landbouwpercelen te worden gereduceerd. Bij 100% reductie van hemelwaterafstroming komt er geen regen tot afstroming van de percelen. Bij 0% reductie infiltreert slechts een deel van de neerslag op de percelen en de overige hoeveelheid komt tot afstroming. Dit is de 'absolute range', in de praktijk is 100% reductie echter onhaalbaar. Het Waterschap streeft naar een situatie waarin het systeem de hemelwaterafstroming aankan, zonder wateroverlast in gebouwen. Alle winst die in het agrarisch gebied wordt behaald, komt ten goede aan het systeem en de investeringen daarin.

Het rapport richt zich voor deze problematiek op een knelpuntgebied uit BOOST. Dit betreft het gebied rondom Ransdaal in de Gemeente Voerendaal. Dit gebied is in samenspraak met Waterschap Limburg gekozen. In het gebied komt algemene problematiek voor ten aanzien van afstromend hemelwater uit landelijk gebied. Ook is er in het gebied minstens één agrariër bekend die de problemen onderkent en die bereid is om mee te denken aan oplossingen. Tot slot heeft het gebied op dit moment niet de hoogste prioriteit bij Waterschap Limburg, maar is er wel bestuurlijke druk om het probleem in het casusgebied op te lossen. De maatregelenpakketten zijn opgesteld voor een klein 'focusgebied' in het casusgebied. Dit focusgebied is representatief voor het gehele gebied en vereenvoudigt het bepalen en toetsen van de maatregelenpakketten.

In het casusgebied worden bij $T=25$ buien problemen ervaren en ook hier is de wens om de veiligheidsfactor op te schalen naar $T=100$. De huidige getroffen maatregelen (niet-kerende grondbewerking*, waterbuffers) blijken niet voldoende te zijn, ondanks het feit dat de niet-kerende grondbewerking is geaccepteerd en op circa 97% van de akkers wordt toegepast (bijlage 3.7).

10 (83)

In dit onderzoeksrapport is voor het focusgebied binnen het casusgebied Ransdaal een antwoord gegeven op de volgende hoofdvraag:

Hoe ziet een door de belangrijkste stakeholders (Waterschap Limburg, LLTB en agrariërs) gedragen en theoretisch haalbaar maatregelenpakket eruit om oppervlakkig afstromen van hemelwater en de gevolgen hiervan te reduceren in Ransdaal bij een regenbui die ééns in de honderd jaar wordt verwacht?

Om tot een antwoord te komen op deze onderzoeksvraag dienen de volgende deelvragen te worden beantwoord:

- *Welk knelpuntgebied is het meest representatief voor BOOST?*
- *Wat is het Europese, Nederlandse en regionale beleid ten aanzien van hemelwaterafstroming en erosie?*
- *Op welke manier kan er draagvlak gecreëerd worden bij de agrariërs, de landbouworganisatie en de omwonenden?*
- *Hoe ontstaat oppervlakkige afstroming en bodemerosie en wat zijn de gevolgen ervan?*
- *In welke mate en op welke locaties leidt oppervlakkige afstroming in het gekozen casusgebied tot overlast?*
- *Wat zijn de gebiedskenmerken van het gekozen casusgebied die relatie hebben met het afstromend hemelwater (landschappelijk en ecologisch gebruik)?*
- *Wat voor agrarische bedrijfsvoering vindt er plaats in het casusgebied en welke relatie is te leggen tussen de agrarische bedrijfsvoering en het beschreven probleem?*
- *Welke hydrologische- en maatschappelijke knelpunten zijn er binnen dit gekozen casusgebied?*
- *Welke maatregelen zijn er mogelijk om afstroming van hemelwater van landbouwpercelen te reduceren tot een situatie waarbij het huidige systeem de afstroming kan verwerken zonder overlast in gebouwen?*
- *Welke van de mogelijke maatregelen worden door Waterschap Limburg als optimaal beschouwd?*
- *Welke van de mogelijke maatregelen worden door de agrariërs als optimaal beschouwd?*
- *Welke maatregelen zijn inpasbaar qua landschap, ecologie en agrarische bedrijfsvoering?*
- *Welke maatregelenpakketten zijn er nodig om de oppervlakkige hemelwaterafstroming van landbouwpercelen te reduceren tot drie gradaties (40%, 60% en 80% reductie van hemelwaterafstroming)?*
- *Wat zijn de verschillen in kosten en baten van de maatregelenpakketten die worden toegepast om de oppervlakkige hemelwaterafstroming te reduceren voor de agrariërs en de maatschappij (bewoners van het beheergebied van Waterschap Limburg)?*
- *Welke instrumenten (geld, dienst, wet- en regelgeving) of welke handelingen moeten genomen worden om de gekozen maatregelenpakketten daadwerkelijk te kunnen realiseren?*

1.3 Doelstelling

Waterschap Limburg heeft in BOOST verschillende gebieden in kaart gebracht waar wateroverlast plaatsvindt door het afstromen van hemelwater vanuit landelijk gebied en waar de huidige maatregelen niet voldoen aan de gewenste T=100 norm. Het doel van dit onderzoek is het, voor knelpuntgebied Ransdaal, ontwikkelen van drie maatregelenpakketten om tot 40%, 60% of 80% reductie van hemelwaterafstroming te komen om daarmee wateroverlast in de kern van Ransdaal te reduceren. Deze maatregelenpakketten dienen vervolgens als handreiking wanneer de problematiek

in het gebied aangepakt wordt. Daarnaast dienen de maatregelenpakketten als inspiratie voor de overige knelpuntgebieden uit BOOST.

Uiteindelijk ligt er een onderzoeksrapport dat de agrariërs en het Waterschap Limburg inzicht geeft in de kosten en baten voor drie maatregelenpakketten om hemelwaterafstroming van de landbouwpercelen te verminderen met als doel het watersysteem te ontzien en daarmee wateroverlast te reduceren. Dit wordt ondersteund met inrichtingsplannen voor een focusgebied binnen het casusgebied.

De percentages van de maatregelenpakketten geven weer in hoeverre het pakket de wateroverlast in het stedelijk gebied reduceert. Het 40%-pakket reduceert de berekende wateropgave met 40%. De overige 60% hemelwater stroomt af richting de kern. Bij het 60%-pakket wordt de overlast met 60% gereduceerd en stroomt er nog 40% de kern in. Het 80%-pakket reduceert de overlast met 80%. Hierdoor stroomt er nog slechts 20% af richting de kern.

1.4 Afbakening

Het afstudeeronderzoek is afgebakend met onderstaande uitgangspunten:

- Het onderzoek is gebaseerd op een bui van 23 juni 2016. In deze bui is 59 millimeter in vier uur gevallen. Deze neerslaggebeurtenis komt voort uit het door Waterschap Limburg aangereikte 3Di-model. Waterschap Limburg heeft dit model gehanteerd voor het project BRP Heugem-Limmel.
- In dit onderzoek is uitgegaan dat 50% van het hemelwater daadwerkelijk tot afstroming komt van het perceel (na aftrek van infiltratie). Dit percentage wordt ook in BOOST aangehouden.
- Het afstudeeronderzoek richt zich enkel op de kwantitatieve kant van hemelwaterafstroming. Onderzoek aan de kwaliteit van het afstromende hemelwater, en de mogelijke beperkingen die dit oplevert, is achterwege gelaten;
- In het onderzoek is rekening gehouden met alle soorten landbouw die in het casusgebied voorkomen (akkerbouw, veeteelt en fruitteelt). Voor alle soorten landbouw zijn maatregelen opgesteld;
- In het onderzoek is ervan uitgegaan dat alle stroombanen in het focusgebied het water naar de watergang leiden;
- In het afstudeerrapport is uitgegaan van het principe infiltreren, bergen en daarna pas afvoeren uit de beleidsregels van Waterschap Limburg;
- In het afstudeerrapport is, voortkomend uit voorgaand principe, uitgegaan van het principe dat iedere perceeleigenaar zorgdraagt voor het reduceren van de hemelwaterafstroming van een perceel. Per perceeleigenaar is er een wateropgave te kwantificeren. Iedere eigenaar dient aan deze opgave te voldoen;
- Naast de aangereikte gegevens uit het 3Di-model en de perceeleigenaren is het onderzoek gebaseerd op openbare data;
- In dit onderzoek is het casusgebied Ransdaal behandeld. Dit is een van de knelpuntgebieden uit BOOST. De maatregelenpakketten zijn voor een klein representatief gebied binnen dit casusgebied opgesteld, hierna te noemen het focusgebied;
- In het focusgebied zijn de oppervlaktes van de verschillende percelen bepaald. Op deze percelen staan verschillende gewassen. In werkelijkheid staan er niet jaren achtereenvolgende dezelfde gewassen op een perceel. Er is sprake van een rotatiesysteem met voornamelijk suikerbieten, aardappelen, maïs en tarwe om ziektes te voorkomen. In het onderzoek is het jaar 2001 aangehouden voor de perceelsverdeling en oppervlakte aan gewassen (figuur 4.6 uit paragraaf 4.1.4);

- De maatregelenpakketten zijn samengesteld op basis van draagvlak en verwachte effectiviteit.
- De effectiviteit van de maatregelenpakketten binnen het focusgebied is op basis van expert judgement ingeschat;
- De kosten zijn per maatregel weergegeven en niet voor het gehele focusgebied. Het invoeren van de maatregelen gebeurt niet over enkel het focusgebied, maar spreidt zich uit over het gehele casusgebied Ransdaal;
- De aanbevolen instrumenten zijn gebaseerd op een literatuuronderzoek en de interviews met de betrokken partijen. Waterschap Limburg gaat uit van een gelijkwaardige samenwerking en gedragen oplossingen en dus ook gezamenlijke keuzes;
- De opgestelde maatregelen en inrichtingsplannen voor 40%, 60% en 80% reductie zijn een interpretatie van mogelijke oplossingen. Draagvlak bij de betreffende perceeleigenaren is niet meegenomen.

1.5 Aanpak

De antwoorden op de hoofdvraag en de deelvragen zijn verkregen door middel van zowel kwalitatief als kwantitatief onderzoek uit te voeren. Dit gebeurt door middel van literatuuronderzoek, interviews, modelberekeningen en een casusstudie.

1.6 Leeswijzer

Om inzicht te bieden in de belangrijkste achtergrondinformatie die nodig is voor het uitvoeren van het onderzoek is in hoofdstuk 2 de onderzoeksmethodiek beschreven. In hoofdstuk 3 is het theoretisch kader waar de rest van het onderzoek op is gestoeld, weergegeven. Hoofdstuk 4 bestaat uit een omschrijving van het casusgebied Ransdaal met daarin onder meer een beschrijving van de belangrijkste knelpuntgebieden. In hoofdstuk 5 is het Programma van Eisen dat voort is gekomen uit de interviews weergegeven. Op basis van dit Programma van Eisen zijn in hoofdstuk 6 de drie verschillende maatregelenpakketten weergegeven en uitgewerkt. Het onderzoek is afgesloten in hoofdstuk 7 met de conclusie, discussie en aanbevelingen. In tabel 1.1 is weergegeven welke deelvragen in ieder hoofdstuk zijn beantwoord. Bij iedere deelvraag is eveneens aangegeven in welke paragraaf deze is behandeld.

Tabel 1.1 Verdeling deelvragen per hoofdstuk

Hoofdstuk	Deelvragen
1 Inleiding	Welk knelpuntgebied is het meest representatief voor BOOST? (1.1)
2 Onderzoeksmethodiek	
3 Theoretisch kader	- Hoe ontstaat oppervlakkige afstroming en bodemerosie en wat zijn de gevolgen ervan? (3.1) - Wat is het Europese, Nederlandse en regionale beleid ten aanzien van hemelwaterafstroming en erosie? (3.4) - Welke maatregelen zijn er mogelijk om afstroming van hemelwater van landbouwpercelen te reduceren tot een situatie waarbij het huidige systeem de afstroming kan verwerken zonder overlast in gebouwen? (3.5)
4 Casusgebied Ransdaal	- Wat zijn de gebiedskenmerken van het gekozen casusgebied die relatie hebben met het afstromend hemelwater (landschappelijk en ecologisch gebruik)? (4.1) - Wat voor agrarische bedrijfsvoering vindt er plaats in het casusgebied en welke relatie is te leggen tussen de agrarische bedrijfsvoering en het beschreven probleem? (4.1.4) - Welke hydrologische- en maatschappelijke knelpunten zijn er binnen dit gekozen casusgebied? (4.2 & 4.3) - In welke mate en op welke locaties leidt oppervlakkige afstroming in het gekozen casusgebied tot overlast? (4.2 & 4.3)
5 Programma van Eisen	- Welke van de mogelijke maatregelen worden door de agrariërs als optimaal beschouwd? (5.1 & 5.2) - Welke van de mogelijke maatregelen worden door Waterschap Limburg als optimaal beschouwd? (5.3) - Welke maatregelen zijn inpasbaar qua landschap, ecologie en agrarische bedrijfsvoering? (5.4)
6 Maatregelenpakketten	- Welke maatregelenpakketten zijn er nodig om de oppervlakkige hemelwaterafstroming van landbouwpercelen te reduceren tot drie gradaties (40%, 60% en 80% reductie van hemelwaterafstroming)? (6.1, 6.2 & 6.3) - Wat zijn de verschillen in kosten en baten van de maatregelenpakketten die worden toegepast om de oppervlakkige hemelwaterafstroming te reduceren voor de agrariërs en de maatschappij (bewoners van het beheergebied van Waterschap Limburg)? (6.1, 6.2 & 6.3) - Op welke manier kan er draagvlak gecreëerd worden bij de agrariërs, de landbouworganisatie en de omwonenden? (6.1, 6.2 & 6.3) - Welke instrumenten (geld, dienst, wet- en regelgeving) of welke handelingen moeten genomen worden om de gekozen maatregelenpakketten daadwerkelijk te kunnen realiseren? (6.1, 6.2 & 6.3)

2 Onderzoeksmethodiek

Dit hoofdstuk gaat in op de onderzoeksmethodiek. De methodiek is dusdanig opgesteld dat deze bij ieder BOOST-project kan worden toegepast. Eerst zijn de gebruikte onderzoeksmethodes beschreven. Vervolgens is het onderzoeksontwerp beschreven. Gevolgd door een beschrijving van het literatuuronderzoek, de interviews en de modelberekening. Tot slot is de casusstudie toegelicht.

2.1 Onderzoeksmethode

In het afstudeeronderzoek is gebruik gemaakt van een toegepaste, verkennende onderzoeksmethode, zowel in kwalitatieve als kwantitatieve zin. Toegepast onderzoek heeft als doel het vergroten van inzicht in de problematiek om vanuit daar tot oplossingen te komen (Fundamenteel onderzoek vs. toegepast onderzoek, z.j.). Verkennend onderzoek kent veel gelijkenissen met toegepast onderzoek. Het doel van verkennend onderzoek is het verkrijgen van inzicht in problematiek en daar mogelijke oplossingen voor vinden. Dit gebeurt op basis van bestaande informatie en interviews met betrokkenen (Baarda, 2014). Kwalitatief onderzoek is subjectief en richt zich op niet-numerieke gegevens (Swaen, 2013). De kwalitatieve onderdelen in dit onderzoek zijn de interviews met de verschillende betrokken partijen, het literatuuronderzoek, de veldbezoeken en het behandelen van het casusgebied Ransdaal. De tegenhanger van kwalitatief onderzoek is kwantitatief onderzoek. Kwantitatief onderzoek is objectief en richt zich op de numerieke gegevens (Swaen, 2013). In het afstudeeronderzoek behoren de modelberekeningen en de daaruit voortkomende resultaten tot kwantitatief onderzoek.

2.2 Onderzoeksontwerp

In het afstudeeronderzoek luidt de centrale onderzoeksvraag als volgt:

“Hoe ziet een door de belangrijkste stakeholders (Waterschap Limburg, LLTB en agrariërs) gedragen en theoretisch haalbaar maatregelenpakket eruit om oppervlakkig afstromen van hemelwater en de gevolgen hiervan te reduceren in Ransdaal bij een regenbui die ééns in de honderd jaar wordt verwacht?”

Door middel van het beantwoorden van de verschillende deelvragen uit paragraaf 1.2 is deze vraag te beantwoorden. In deze paragraaf is beschreven hoe en in welke volgorde het onderzoek is uitgevoerd.

De eerste fase van het onderzoek bestaat uit bureauonderzoek, bestaande uit een literatuur- en een modelstudie. De modelstudie in 3Di is bedoeld om de hoeveelheid afstromend hemelwater in het focusgebied te bepalen. De belangrijkste definities, uitgangspunten en uitkomsten uit het bureauonderzoek zijn opgenomen in het theoretisch kader. Het doel van het theoretisch kader is het inkaderen van het onderzoek (Krul, 2015). Hierin is alle informatie opgenomen die nodig is om maatregelenpakketten op te stellen voor het focusgebied binnen Ransdaal.

Op basis van de verkregen informatie in het bureauonderzoek zijn interviews afgenomen met de betrokken partijen (Waterschap Limburg, agrariërs in Ransdaal en LLTB). Op basis van deze interviews is een Programma van Eisen opgesteld per betrokken partij. Op basis hiervan zijn alle door de betrokken partijen genoemde maatregelen beoordeeld in een multicriteria-analyse (MCA) om een selectie van gedragen maatregelen te komen. Bij deze methode worden de verschillende maatregelen beoordeeld op een aantal criteria (uitvoerbaarheid, overeenstembaarheid, landschappelijke en bedrijfsmatige inpasbaarheid, implementatietijd, effectiviteit, kosten en baten).

Op basis van deze MCA zijn de maatregelenpakketten voor het focusgebied binnen casusgebied Ransdaal opgesteld, uitgewerkt en nader toegelicht. Er is hierbij gekeken naar inrichting, kosten, baten en benodigde instrumenten voor implementatie.

2.3 Literatuuronderzoek

Het literatuuronderzoek heeft, zoals eerder vermeldt, gediend als basis voor het onderzoek. Literatuuronderzoek is een methode om bestaande kennis over het onderwerp en het probleem te verzamelen (Krul, 2014). Het onderzoek richt zich op het achterhalen van de problematiek, de oorzaken en de gevolgen. Daarnaast is bekeken wat mogelijke oplossingen zijn om de problematiek te verminderen en is er gekeken welk beleid er wordt gevoerd aangaande het onderwerp. De belangrijkste bronnen die in dit onderzoek zijn gebruikt zijn:

- Geelen, 2006
- Jantowski, 2004
- De Redelijkheid, 2016
- Vermeulen, 2011

2.4 Interviews

Met behulp van interviews zijn de standpunten van de betrokken partijen Waterschap Limburg, LLTB en de agrariërs in Ransdaal achterhaald. Naast de drie belangrijkste betrokken partijen wat betreft de te treffen maatregelen zijn er ook interviews afgenomen met Gemeente Voerendaal en Provincie Limburg. Deze interviews zijn voornamelijk gestoeld op het achterhalen van de mogelijke instrumenten die de overheden hebben.

De interviews maken deel uit van het kwalitatieve deel van het afstudeeronderzoek. Er is gebruik gemaakt van een semigestructureerd interview, ofwel kwalitatief interview. Er is gekozen voor het toepassen van een semigestructureerde interviewmethode vanwege het feit dat er kan worden afgeweken van vooraf opgestelde vragen en er kan worden doorgevraagd. Dit in tegenstelling tot een gestructureerde interviewmethode (Dingemans, 2015). Daarnaast is er gekozen voor de semigestructureerde interviewmethode boven een ongestructureerd interview om een hogere validatie te kunnen bieden (Dingemans, 2015). Bij deze vorm van interviewen maakt de interviewer gebruik van een algemeen, vooropgesteld interviewschema met algemene vragen. Deze vragen zijn geordend van (onderkenning van het) probleem – oorzaak – gevolgen – naar mogelijke maatregelen die kunnen worden genomen en hoe deze kunnen worden ingevoerd. Van deze vragen mag worden afgeweken om meer gedetailleerde informatie te achterhalen (Dingemans, 2015). De gebruikte interviewschema's per betrokken partij (Waterschap Limburg, LLTB, agrariërs, Gemeente Voerendaal en Provincie Limburg) zijn terug te vinden in bijlage 2.

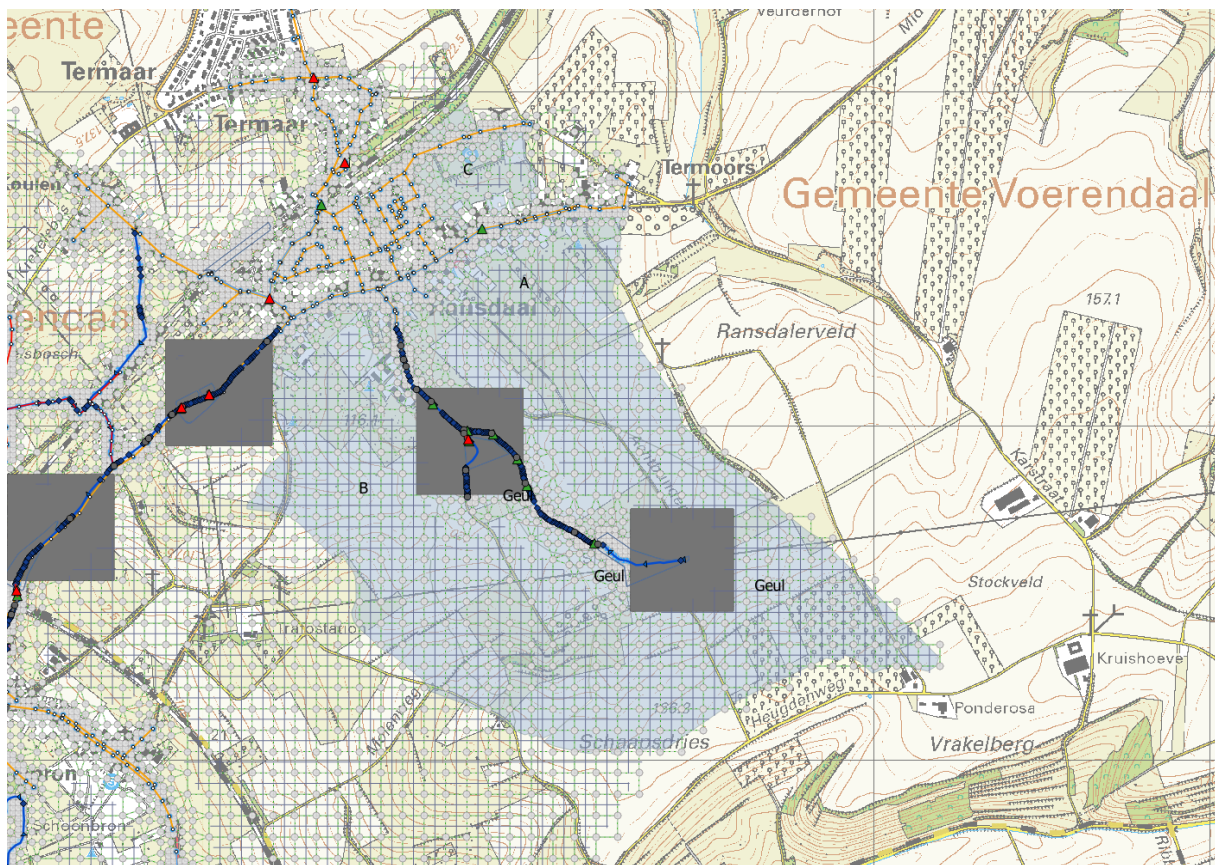
De interviews zijn persoonlijk met de betrokken personen afgenomen. Hiervoor is gekozen, omdat er op deze manier een persoonlijke sfeer ontstaat tijdens het interview. Het betreft een maatschappelijk gevoelig onderwerp en zo is getracht om de respondenten zich meer open te laten stellen om meer informatie te verkrijgen. Daarnaast voelen de betrokken partijen zich op deze manier meer betrokken in het proces. De betrokkenheid van alle partijen is in dit onderwerp zeer belangrijk.

Tijdens het afnemen is er nauwkeurig meegeschreven wat er is gezegd. Dit is vervolgens in verslagvorm opgeschreven. De verslagen zijn ter beoordeling naar de geïnterviewden gestuurd om zo een gedegen gespreksverslag te hebben. Ook zijn tijdens de interviews de mogelijke maatregelen met de geïnterviewde doorgenomen en is de mening van de geïnterviewde daarover in een tabel genoteerd. Deze tabel is vervolgens ook ter controle verzonden en dient vervolgens als bron voor de

MCA. Het aantal interviews dat is afgenomen is afhankelijk van de hoeveelheid nieuwe informatie die het afnemen van meer interviews oplevert. Wanneer het moment aanbreekt dat er geen nieuwe informatie uit de interviews naar voren komt, zijn er genoeg betrokkenen geïnterviewd. Dit noemt men theoretische saturatie (Dingemans, 2015). Het coderen van de interviews is gedaan door de belangrijkste zaken op te nemen in het Programma van Eisen.

2.5 Modelstudie

Om de wateroverlast die in Ransdaal ontstaat door de hevige regenbuien en daaruit voortkomend afstromend hemelwater te kwantificeren is het 3Di-model uit het project BRP Heugem-Limmel aangereikt door Waterschap Limburg. Figuur 2.1 toont de modelschematisatie ter plaatse van het casusgebied Ransdaal. De modelresultaten uit 3Di zijn uitgevoerd om meer inzicht te krijgen in welk deel van de gevallen neerslag tot afstroming komt. Deze uitkomst is vervolgens getoetst op plausibiliteit. In paragraaf 4.3.1 is dit toegelicht. Voor het gehele gebied rondom Ransdaal is bekend op welke locaties inundatie* optreedt. Alleen voor het focusgebied is de mate van afstromend hemelwater gekwantificeerd. Met deze gegevens is in een later stadium in de casusstudie vervolgens de effectiviteit van de maatregelen getoetst.



Figuur 2.1 3Di-model Ransdaal in QGIS 2.18.3

2.5.1 Validatie en kalibratie

De betrouwbaarheid van het aangereikte 3Di-model uit het project BRP Heugem-Limmel is sterk afhankelijk van de betrouwbaarheid van de inputgegevens. Het model dat is gebruikt voor de

kwantificatie van het deel van het hemelwater dat afstroomt, is geschematiseerd door Nelen & Schuurmans. Deze is gebaseerd op de volgende gegevens.

- Neerslaggebeurtenis van 23 juni 2016; 59 millimeter in vier uur;
- Waterstandgegevens uit waterbuffers op locatie;
- Aannames o.b.v. foto's betreft: ruwheden, landschapselementen, oneffenheden, et cetera.

Het gebruik van één neerslaggebeurtenis en het doen van aannames zorgt voor onzekerheid in de uitkomst van de probleemkwantificatie.

2.6 Maatregelenpakketten focusgebied Ransdaal

In de casusstudie rondom het focusgebied in Ransdaal zijn op basis van de literatuurstudie en de interviews de maatregelenpakketten samengesteld. Dit gebeurt met behulp van een methode om geschikte maatregelen te achterhalen. Hiervoor zijn verschillende methodes beschikbaar. Mogelijke methodes voor dit onderzoek zijn de monetaire methode, hieronder vallen de maatschappelijke kosten-batenanalyse (MKBA) en de kosten-effectanalyse (KEA). Bij deze methode worden de criteria uitgedrukt in valuta (MKBA-informatie, z.j.). Daarnaast is er de multicriteria-analyse (MCA). Bij de MCA kan de keuze worden gemaakt om weegfactoren toe te passen. Bij een MCA worden de alternatieven beoordeeld op basis van verschillende criteria (CROW, 2012). De alternatieven krijgen een score en eventueel een weegfactor. Dit heeft als doel om tot een rangschikking te komen tussen de verschillende alternatieven.

Om de verschillende maatregelen te toetsen wordt gebruik gemaakt van een MCA. De keuze voor deze methode is gemaakt doordat binnen deze methode de maatregelen getoetst worden op basis van meerdere criteria die in verschillende eenheden worden uitgedrukt en niet enkel in valuta uit te drukken. Er is gekozen om geen weegfactor te bepalen voor de criteria. Alle criteria worden namelijk als even belangrijk ervaren. Met een weegfactor wordt de schijn gewekt dat het ene criterium belangrijker is dan het andere criterium.

Vervolgens zijn voor het focusgebied drie maatregelenpakketten opgesteld (40%, 60% en 80%). Allereerst zijn in ieder pakket zowel bronmaatregelen, stroombaanmaatregelen als end-of-pipe maatregelen (paragraaf 3.5) opgenomen. Daarnaast zijn de maatregelenpakketten samengesteld op basis van verwachte effectiviteit uit de interviews en literatuuronderzoek. Daarnaast wegen ook de voorkeuren van de betrokken partijen sterk mee. In het 40%-pakket zijn de belangen van de agrariërs meer vertegenwoordigd terwijl in het 80%-pakket de belangen van Waterschap Limburg sterker zijn vertegenwoordigd. Het 60%-pakket is middenweg betreft effectiviteit en voorkeuren van de betrokken partijen. Of de effectiviteit die met ieder pakket wordt nagestreefd op deze manier wordt gehaald, is in samenwerking met een hydroloog doorgerekend. Doordat het gebruikte 3Di-model niet betrouwbaar genoeg is, zijn de maatregelen middels eenvoudige handberekeningen uitgevoerd. In deze berekeningen is rekening gehouden met het afstromingspercentage, de doorlaatbaarheid van de ondergrond en het hellingspercentage*. Daarnaast zijn er in de berekeningen aannames gedaan over percentages van verdichting van landbouwpercelen. Voor de maatregelen waar uit literatuur de infiltratiecapaciteit bekend is, wordt deze gebruikt. Als er geen informatie beschikbaar is, is er uitgegaan van bovenstaande gegevens of aannames. De maatregelen zijn dusdanig gedimensioneerd dat het gevraagde percentage reductie wordt behaald. De maatregelenpakketten zijn visueel onderbouwd middels een mogelijk inrichtingsplan voor het focusgebied.

Naast een inrichtingsplan is voor enkele perceeleigenaren binnen het focusgebied aangegeven wat de restopgave voor deze perceeleigenaar is. Dit volgt uit de wateropgave per hectare. Deze opgave verschilt per maatregelenpakket.

Vervolgens is per maatregelenpakket beschreven welke instrumenten er geschikt zijn om de maatregelen uit te voeren. Ook is beschreven wat het kost om de maatregelen in te voeren, wat de maatregelen naast reductie van hemelwaterafstroming mogelijk opleveren en wat de eventuele nadelen van de maatregelen zijn. Dit is beschreven op basis van literatuuronderzoek en de interviews. De kosten zijn uitgedrukt in bedragen. De baten zijn beschreven omdat het ingewikkeld is de baten in bedragen uit te drukken. Wanneer dit gewenst is kan hier een vervolgstudie naar worden uitgevoerd.

Na afloop van de casusstudie ligt er een globaal beeld van de mogelijke oplossingsrichtingen, hoe deze kunnen worden uitgevoerd en wat het oplevert. De nadere uitwerking en de vertaling naar de praktijk dient in een later stadium te worden uitgewerkt door Waterschap Limburg

3 Theoretisch kader

In dit theoretisch kader zijn de belangrijkste definities en uitgangspunten met betrekking tot het verminderen van afstromend hemelwater beschreven. De uitwerking van het casusgebied Ransdaal en de daaruit voortkomende maatregelenpakketten zijn op dit theoretisch kader gebaseerd.

3.1 Afstromend hemelwater en bodemerosie

In deze paragraaf is beschreven hoe hemelwater tot afstroming komt en onder invloed van welke factoren dit kan leiden tot bodemerosie.

3.1.1 Afstromend hemelwater

Afstromend hemelwater is de neerslag die over het oppervlak afstroomt naar lagergelegen delen. Of het water over het oppervlak afstroomt, is afhankelijk van een drietal factoren: de buffercapaciteit van de grond, infiltratiesnelheid en de oppervlakteberging. Hieronder zijn deze drie factoren toegelicht (Geelen, 2000):

- De buffercapaciteit wordt bepaald door het aantal grote luchtporiën in de bodem. In deze grote poriën kan een grote hoeveelheid water worden gebufferd. Dit kan alleen wanneer de poriën stabiel zijn. Bij vers bewerkte grond is dit vaak niet het geval. Wanneer de poriën niet stabiel zijn, kan de grond uit elkaar vallen en verslempen. Dit leidt ertoe dat veel neerslag afstroomt.
- De snelheid waarmee het water in de bodem zakt, wordt de infiltratiesnelheid genoemd. Het aantal kleine poriën in de bodem, gevormd door wormen en wortels, bepaalt deze snelheid. De hoeveelheid kleine poriën in de bodem wordt verstoord door grondbewerking. Daarnaast neemt door grondbewerking ook het bodemleven af dat zorgt voor nieuwe kanaaltjes in de bodem. Wanneer de bodem verslemp* is, kan het water nauwelijks infiltreren en ontstaat er oppervlakkige afstroming.
- De oppervlakteberging is de hoeveelheid water die op een akker blijft staan. Dit wordt bepaald door de ruwheid van de bodem en de helling van het perceel. Des te ruwer de bodem, des te meer kuilen waar water in kan staan. Des te steiler de helling, des te minder water een kuil kan bevatten. Wanneer bij grondbewerking de bodem ruw wordt gehouden en organisch materiaal bovenin wordt gehouden neemt de oppervlakteberging toe.

3.1.2 Bodemerosie

Bodemerosie is het wegwaaien of wegspoelen van de bovenste bodemlaag door wind of (regen)water (Bodemerosie: Wat is het?, z.j.). Samen met wind- en watererosie vormt erosie door menselijke activiteit (bijvoorbeeld: grondbewerking), zogenaamde bewerkingserosie, de belangrijkste erosievorm in Nederland. Dit rapport richt zich op watererosie in de akkerbouw in Zuid-Limburg en laat winderosie buiten beschouwing, omdat dit fenomeen in Limburg niet als groot probleem wordt ervaren (Hessel et al., 2011). Watererosie vindt voornamelijk plaats op sterke hellingen in Zuid-Limburg waar hemelwater tot afstroming komt. Water heeft een grote dichtheid (vergeleken met lucht) en is daardoor in staat grote bodemdeeltjes te transporteren. De richting waarop de deeltjes worden verplaatst bij watererosie is afhankelijk van de zwaartekracht (Hessel et al., 2011).

Bodemerosie hangt af van verschillende factoren. Het risico op bodemerosie wordt bepaald door het klimaat, reliëf, bodemkarakteristieken, morfologie, landgebruik en bodemmanagement (Hessel et al., 2011). Doordat bodemerosie afhankelijk is van veel factoren is de mate van optreden sterk ruimte- en tijdsafhankelijk. Bodemerosie bestaat uit drie processtappen: het losmaken, het transporteren en het

afzetten van de bodemdeeltjes(depositie). Het losmaken gebeurt door de regeninslag, vervolgens stroomt de neerslag af en neemt deze losgeslagen deeltjes mee. Tot slot worden de deeltjes afgezet wanneer de snelheid uit het afstromende water gaat, bijvoorbeeld als het water zich concentreert in een bekken of stedelijke kern. Er kan worden gesteld dat onbegroeide bodems het gevoeligst zijn voor het wegspoelen van grond. Daarnaast zijn gronden kwetsbaar voor erosie vlak nadat deze zijn bewerkt.

In de maanden april tot en met augustus is de kans op erosieve neerslag het grootst (Geelen, 2006). Echter treedt er ook in de wintermaanden veel erosie op doordat de akkers in deze tijd van het jaar vaak onbedekt, vastgereden en verslemp* zijn.

Niet al het sediment* dat door erosie vrijkomt verlaat het stroomgebied. Op complexe hellingen blijft meer dan 75% van het geërodeerde materiaal in het stroomgebied (Toy et al., in Hessel et al., 2011). Afzettingen in het stroomgebied vinden plaats bij lokale depressies, graften*, grasbanen, opvangbekkens, et cetera. Over het algemeen kan worden gesteld dat bij een groter stroomgebied de hoeveelheid sediment die het stroomgebied verlaat, afneemt (Hessel et al., 2011). Daarnaast verlaten voornamelijk de fijnere delen het stroomgebied, omdat deze later worden afgezet dan de grovere delen.

Watererosie heeft zowel gevolgen voor de gronden waar het materiaal geërodeerd wordt als voor de benedenstrooms gelegen gebieden. Aan de ene kant gaat er vruchtbare landbouwgrond uit het gebied verloren en kan er schade aan gewassen optreden of worden de landbouwactiviteiten belemmerd. Dit heeft hogere productiekosten en lagere opbrengsten als gevolg. Aan de andere kant zorgt watererosie voor wateroverlast, modderstromen en sedimentatie in het benedenstrooms gelegen stedelijke gebied.

3.2 Zuid-Limburg

Het deel van Nederland waar de aanwezigheid en de gevolgen van afstromend hemelwater en bodemerosie het grootst is, is Zuid-Limburg. In dit heuvelachtige, agrarische deel van Nederland heeft hemelwater veel ruimte om af te stromen. Zuid-Limburg bestaat daarnaast voornamelijk uit lössgronden, deze gronden zijn gevoelig voor erosie door de textuur* en het lage organische stofgehalte*. Daarbij zijn ze gevoelig voor verslemping* wat ertoe leidt dat de afvoer groter wordt en de hoeveelheid erosie toeneemt. (Hessel et al., 2011). Lössgronden zijn zeer vruchtbaar en daardoor wordt er veel landbouw op bedreven. Het betreft de teelt van maïs, granen, suikerbieten en aardappelen (Winteraeken en Spaan, in Hessel et al., 2011).

In Zuid-Limburg is het areaal aan akkerland sinds 1910 afgenomen (Hessel et al., 2011). Daarentegen is de teelt van watererosiegevoelige gewassen zoals suikerbieten en maïs in die periode toegenomen. Ook is de bodemstructuur verslechterd en is het waterbergend vermogen van de bodem afgenomen. Daarnaast zorgt de klimaatverandering voor heviger buien en neemt de hoeveelheid infrastructuur en bebouwing de komende jaren alleen maar toe. Deze factoren leiden ertoe dat de komende jaren het probleem van watererosie alleen maar toeneemt als er geen maatregelen worden getroffen.

3.3 Bodembewerking

Alle types van bodembewerking hebben één overkoepelend kenmerk, het is bedoeld om de grond los te maken. Bodembewerkingen worden om uiteenlopende redenen uitgevoerd, denk hierbij aan bodembeluchting, storende lagen opheffen, zaai- of pootbedbereiding, verwijderen van stoppels* en andere gewasresten, egaliseren, verwijderen van onkruid, onderwerken van organische mest of het aanaarden van ruggen (Reubens, Ruyschaert, D'Hose & D'Haene, 2012).

3.4 Beleid

Het Europese beleid ten aanzien van wateroverlast en erosie voortkomend uit afstromend hemelwater in landelijk gebied is vastgelegd in het Gemeenschappelijk Landbouwbeleid (GLB).

Gemeenschappelijk Landbouwbeleid

Het doel van de GLB is dat er zorg gedragen wordt voor het voorzien in voldoende voedsel in Europa en dat de landbouwproducten voor zowel boeren als voor consumenten gekocht en verkocht kunnen worden (RvO, 2017).

Lidstaten zijn zelf verantwoordelijk voor de invulling van de eisen uit het GLB en kunnen daarmee hun eigen landbouwbeleid bepalen. In Nederland is het de bedoeling dat er meer geïnnoveerd gaat worden door de bedrijven en zich daardoor op een betere manier op de markt kunnen focussen. Uitgangspunt is dat er naar een natuur- en milieuvriendelijke manier van produceren toe gewerkt wordt. In onderstaande alinea's van deze paragraaf is toegelicht op welke manier het GLB is ingevuld door de Nederlandse overheid. De beschreven wet- en regelgeving focust zich op de regio Zuid-Limburg waarbij de minimale vorm van landbeheer is beschreven die nodig is om erosie tegen te gaan. Het gaat hierbij om akkerbouw, tenzij benoemt staat dat het fruitteelt betreft.

Een perceel waarbij het hellingspercentage* 2% of meer bedraagt, wordt niet meer gebruikt voor fruitteelt tenzij het gras in deze boomgaard niet lager dan vijf centimeter wordt gemaaid. Bij een hellingspercentage van 5% is de maximale afstand van de boomgaard maximaal 300 meter of wordt de gaard na 300 meter onderbroken door een gewas dat niet erosie bevorderend werkt. Een andere mogelijkheid bij een hellingspercentage van 5% is dat de hellinglengte* maximaal 200 meter bedraagt of na 200 meter wordt onderbroken door een gewas dat niet erosie bevorderend werkt. Op een perceel waarbij het hellingspercentage 5% of meer is mag het snoeihout niet voor 15 juni geruimd worden, dit is een voorwaarde voor bovenstaande situaties. Bovenstaande regels gelden niet in het geval dat de bomenrijen dwars op de helling staan en als er geen punt is waar het afstromende hemelwater zich ophoopt.

Uiterlijk een maand na de oogst van hetzelfde teeltjaar* dient de landbewerker grondbewerking uit te voeren waarbij een minimale diepte van 15 centimeter wordt bereikt, een zogenaamde najaarsbewerking. Dit voorkomt dat er eventueel verslapping*, verdichting, korstvorming en/of wielspoorvorming plaatsvindt. Deze minimale diepte van 15 centimeter mag gereduceerd worden indien er een hamsterovereenkomst* van toepassing is en de rijsporen worden gewist na het inzaaien van bieten, maïs of uien. Daarbij mogen percelen met een hellingspercentage van 18% of meer enkel gebruikt worden als grasland.

Daarbij dient de landbewerker ieder teeltjaar op een perceel met een hellingspercentage van 2% of meer en een hellinglengte van 50 meter of meer ondiep te ploegen tot maximaal 12 centimeter diep, dit kan eventueel in combinatie met of het breken van de bodem op grotere diepte zonder de bodemopbouw te verstoren, een bodemcombinatie en een buffervoorziening van 10 m³ per hectare aan te leggen of het toepassen van een mulchstelsel* en een buffervoorziening van 20 m³ per hectare aan te leggen. De landbewerker moet uiterlijk 1 januari van het huidige teeltjaar de minister inlichten over de maatregelen die genomen zijn en op welke locatie de buffervoorziening is aangelegd.

Echter, deze maatregelen hoeven niet genomen te worden indien er niet-kerende grondbewerking* (NKG) heeft plaatsgevonden en er bodembedekking wordt ingezaaid die tot minimaal 15 september gehandhaafd kan blijven. Deze maatregelen hoeven ook niet genomen te worden bij gewassen die geteeld worden in ruggenteelt en er waterdrempels* worden toegepast die in totaal 100 m³ per hectare kunnen bergen. Een andere maatregel is het maken van een wateropvang* met minimaal een

capaciteit van 100 m³ per hectare. De laatste mogelijke maatregel is het telen van wintergraan dat vóór 1 januari van het betreffende teeltjaar ingezaaid wordt (Nederlandse Overheid, 2016).

Er zijn een aantal randvoorwaarden vastgesteld in het GLB waar aan voldaan moet worden, dit is vastgelegd in de 'Uitvoeringsregeling rechtstreekse betalingen GLB'. In eerste instantie is niet toegestaan om zonder vergunning water over de landbouwgronden te laten vloeien, ook is het verboden om afvalwater of andere stoffen te lozen die voortkomen uit het bedrijf. Om in aanmerking te komen voor betalingen is de landbouwer verplicht om percelen in te zaaien met een groenbemester*, dit dient uiterlijk voor 31 mei te gebeuren. In het paragraaf 3a lid 2 is opgesomd welke mogelijkheden er zijn omtrent de toegestane soorten groenbemester. Deze groenbemester moet tot minimaal 31 augustus gehandhaafd blijven. Verder is vastgesteld welke manier van landbeheer minimaal moet worden toegepast om erosie op specifieke locaties tegen te gaan in Zuid-Limburg, deze voorwaarden zijn eerder in deze paragraaf benoemd (Gemeenschappelijk landbouwbeleid, alinea 2).

3.5 Mogelijke maatregelen

Er zijn vele maatregelen beschikbaar om afstromend hemelwater te verminderen. Deze maatregelen richten zich op het verlagen van de stroomsnelheid van het afstromende water en het vasthouden van het water in het gebied (Hessel et al., 2011). Om wateroverlast te reduceren en de gevolgen te verminderen kunnen er verschillende maatregelen worden getroffen. In hoofdlijnen dienen de volgende zaken worden aangepakt om watererosie te bestrijden (Vermeulen, 2011):

- Vergroten bodembedekking; door het vergroten van de bodembedekking wordt het effect van de regeninslag beperkt (intergeulerosie). Dit heeft tot gevolg dat er minder oppervlakte-erosie plaatsvindt.
- Verhogen stabiliteit van de bodem; het effect van regeninslag wordt hierdoor verminderd.
- Vergroten infiltratie en waterberging; door het vergroten van de infiltratie en de waterberging kan de neerslag tijdelijk worden opgeslagen en stroomt deze niet af.

Alle mogelijke maatregelen zijn grofweg onder te verdelen in teelttechnische en inrichtingsmaatregelen. In deze paragraaf zijn de verschillende maatregelen benoemd en is de werking en het effect nader toegelicht (Geelen, 2006). Bij de mogelijkheden worden diepe, intensieve grondbewerkingen (ploegen, spitten, et cetera.) zoveel mogelijk voorkomen, omdat dit de bodemstructuur te veel schaadt. De overstap van intensieve bodembewerking naar de hieronder beschreven maatregelen zorgt in de meeste gevallen de eerste jaren voor een opbrengstderving, omdat de grond en het bodemleven moet wennen aan de nieuwe manier van werken. Na een aantal jaar is de opbrengst weer op hetzelfde niveau.

De verschillende teelttechnische en inrichtingsmaatregelen zijn onderverdeeld in drie categorieën: bronmaatregelen, stroombaanmaatregelen en end-of-pipe maatregelen. Hieronder zijn de verschillende categorieën toegelicht:

- Bronmaatregelen (B): maatregelen die ertoe leiden dat er een grotere hoeveelheid neerslag infiltreert en hierdoor niet tot afstroming komt. Deze maatregelen verminderen de hoeveelheid afstromend hemelwater en reduceren de gevolgen ervan in zowel het landelijk als het stedelijk gebied.
- Stroombaanmaatregelen (S): maatregelen die afstromend water afremmen en/of de bodemstabiliteit verbeteren waardoor er minder erosie plaatsvindt. Deze maatregelen verminderen het afstromen van hemelwater niet, maar vertragen het afstromend water enkel en verminderen de gevolgen ervan in het landelijk gebied.

- End-of-pipe maatregelen (E): maatregelen die afstromend hemelwater en meevoerend sediment* opvangen vlak voor het moment dat het schade oplevert in de stedelijke kernen. Deze maatregelen verminderen wateroverlast veroorzaakt door afstromend hemelwater uit landelijk gebied in de stedelijke kernen niet, maar verminderen de hoeveelheid afstromend water en de schade in het landelijk gebied niet.

Het probleem van afstromend hemelwater uit landelijk gebied is niet op te lossen door maatregelen uit één categorie. De maatregelen uit de verschillende categorieën versterken elkaar en leiden samen tot vermindering van de problematiek. De te ontwikkelen maatregelenpakketten bestaan uit een combinatie van maatregelen uit de verschillende categorieën. Op deze manier wordt de hoeveelheid afstromend hemelwater beperkt en wordt zoveel mogelijk voorkomen dat het hemelwater dat alsnog tot afstroming komt voor overlast zorgt.

3.5.1 Teelttechnische maatregelen

Teelttechnische maatregelen hebben het doel om de bodemstabiliteit, bodembedekking en de infiltratie te verbeteren door aanpassingen in teelt, bedrijfsvoering of grondbewerking. Deze maatregelen richten zich voornamelijk op het vergroten van de infiltratiecapaciteit en de bodembedekking. Hieronder een opsomming van de verschillende mogelijke teelttechnische maatregelen (Geelen, 2006) (Vermeulen, 2011). Achter iedere maatregel is tussen haakjes aangegeven tot welke categorie (B, S of E) de maatregel behoort. Enkele stroombaanmaatregelen kunnen mogelijk bijdragen aan het vasthouden van neerslag bij de bron.

- Gewaskeuze
 - Akkerland omzetten in grasland (S);
 - Teelt van een alternatief voedergewas voor maïs: luzerne (S);
 - Teelt van een alternatief voedergewas voor maïs: gehele plant silage (S);
 - Teelt van een erosiereducerend akkerbouwgewas (S);
 - Vervroegen van de oogst (S);
 - Zaaïen bij nauwere rijafstand (S);
 - Dubbelzaaïen (S);
 - Herfststruggen voor aardappelen (S);
 - Rulle aardappelruggen (S);
 - Strokenteelt (S);
 - Voedselbossen (B);
 - Polycultuur (B);
 - Stripcropping (S);
 - Bosaanplant/natuurcompensatie erosiegevoelig perceel (B).
- Aanvullende bodembedekking
 - Teelt van een groenbedekker (S);
 - Groenbedekker in het gewas gezaaid als onderzaai (S);
 - Tijdelijke onderzaai (S);
 - Beperken van zwartstrook in de fruitteelt (S);
 - Na de oogst achtergebleven gewasresten (S);
 - Volleveldstoepassing van een strodek in het voorjaar (S);
 - Houten miniatjes (S).
- Grondbewerking
 - Niet-kerende grondbewerking* zonder bodembedekking (B);
 - Niet-kerende grondbewerking met bodembedekking (B);
 - Directe inzaai in een bodembedekker (B);
 - Landbouw zonder grondbewerking (no-till) (B);

- Drempeltjes bij ruggenteelt (B);
- Wielsporen lostrekken in het voorjaar (B);
- Bodemverdichting ongedaan maken na de oogst (B);
- Mow-plow (S);
- Kuultjespatroon aan het oppervlak (B);
- Korst breken en schoffelen (B);
- Diepwoelen (B);
- Ondiep ploegen (B);
- Voorkomen van verdichting (B);
- Doorbreken verdichte laag ter plaatse van de rijpaden in de fruitteelt (B).
- Bemesting
 - Op peil houden of verhogen van de pH van de bouwvoor (B);
 - Op peil houden of verhogen van het humusgehalte (B);
 - Toedienen kalk (B);
 - Synthetische bodemstabilisatoren (B).

In bijlage 1.1 zijn de teelttechnische maatregelen nader toegelicht.

3.5.2 Inrichtingsmaatregelen

Inrichtingsmaatregelen hebben als doel het breken van de kracht van het stromende water of het opvangen en sturen van het water door aanpassingen in de inrichting van de akkers. Deze maatregelen richten zich voornamelijk op het geleiden, vertragen en opvangen van afstromend water. Hieronder zijn de mogelijke maatregelen genoemd (Geelen, 2006) (Vermeulen, 2011). Achter iedere maatregel is tussen haakjes aangegeven tot welke categorie (B, S of E) de maatregel behoort. Enkele stroombaanmaatregelen kunnen mogelijk bijdragen aan het vasthouden van neerslag bij de bron.

- Reduceren van de snelheid van afstroming
 - Contourbewerken (S);
 - Evenwijdig aan de helling hellingopwaarts ploegen (S);
 - Fruit aanplanten dwars op de helling (S);
 - Het realiseren of behouden van een duidelijke perceelgrens (S);
 - Groenstrook of grasbufferstrook (tijdelijk of permanent) (S);
 - Randenbeheer (S);
 - Opvang uitstroom door buurperceel (E);
 - Aanleg graften* (S);
- Watergeleiding
 - Aanleg van een grasbaan of grasgang in een vallei (S);
 - Dammen van hout of stobalen in de stroombaan (S);
 - Dubbele, kruisgewijze inzaai van graan in de stroombaan (S);
 - Toepassing van een strodek in de stroombaan (S);
 - Snoeihout in de fruitteelt pas na 15 juni ruimen (S);
 - Drainage in de stroombaan (B).
- Tijdelijke opvang
 - Realisatie van een buffervoorziening (E);
 - Dammen van aarde in de stroombaan (E).

In bijlage 1.2 zijn de inrichtingsmaatregelen nader toegelicht.

3.6 Instrumenten

Waterschap Limburg heeft in de presentatie 'Project bronmaatregelen wateroverlast vanuit landbouwpercelen' instrumenten benoemd en communicatiemogelijkheden. Deze lijst staat hieronder opgesomd. Het Waterschap zet bij voorkeur in op instrumenten die uitgaan van synergie en co-creatie en niet op regelgeving. Het Waterschap wil in samenspraak met de betrokken partijen tot mogelijke maatregelen komen.

- Bewustwording agrariërs bevorderen;
 - Informeren over belang en urgentie;
 - Eigen belang en voordeel aantonen;
 - Probleem en maatregelen onderbouwen met feiten;
 - Demonstratieprojecten om werking aan te tonen;
 - Ambassadeurs inschakelen.
- Intrinsiek motiveren;
 - Mutual gains approach (samen zoeken naar de beste oplossing);
 - Deelgenoot maken;
 - Lonkend perspectief schetsen;
 - Coalities smeden.
- Faciliteren;
 - Kennisplatform;
 - Adviescentrum;
 - Ontzorgen bij voorbereiden of uitvoeren van maatregelen;
 - Landbouwregelgeving aanpassen.
- Stimuleren;
 - Financieren;
 - Subsidiëren, vergoeden (b.v. groenblauwe diensten);
 - Gedifferentieerd belasting heffen.
- Reguleren, verplichten;
 - Wettelijke zorgplicht;
 - Convenant of verordening;
 - Keurbepaling.
- Confronteren;
 - Gedupeerden van wateroverlast in contact brengen met eigenaren van percelen waar het water vanaf komt.
- Overnemen;
 - Gronden verwerven en zelf grondgebruik of teeltwijze veranderen en voorzieningen aanleggen.

Uit het interview met Harry ter Heegde en Ton Geensen van Provincie Limburg (bijlage 3.7) blijkt dat Provincie Limburg de volgende middelen ter beschikking heeft om de maatregelen in te voeren:

- Ruimtelijke ordening; bijvoorbeeld door regels te stellen aan het scheuren van graslanden*.
- GLB (cross-compliance): momenteel zijn de voorwaarden aan de maatregelen die getroffen moeten worden geregeld in via de 'cross-compliance' in het GLB. Deze worden zeer goed nageleefd, maar de resultaten zijn niet goed genoeg waardoor er te weinig water op de agrarische gronden wordt vastgehouden. Echter, het aanpassen van de 'cross-compliance' in het GLB moeten op Europees niveau gebeuren. Dit neemt veel tijd in beslag en is waarschijnlijk niet de makkelijkste weg. Bij het ministerie van Economische Zaken lijkt weinig draagvlak voor het doen van een voorstel tot wijziging.

- Eigen regels opstellen/aanpassen: een mogelijkheid is het stellen van voorwaarden in de keur van Waterschap Limburg of in de provinciale Omgevingsverordening. Op deze manier is het mogelijk om de agrariërs te verplichten tot het treffen van maatregelen, kanttekening is dat het toezicht houden op deze nieuwe regels zeer complex is en kosten met zich meebrengt;
- Groenblauwe diensten: volgens Van Hattum & Westerink (2016) zijn groene- en blauwe diensten bovenwettelijke, vrijwillige activiteiten die worden ondernomen door particuliere grondeigenaren en grondgebruikers. Met het invoeren van de diensten wordt getracht maatschappelijke wensen of doelen op het gebied van natuur, landschap, waterbeheer en recreatie te realiseren. De groene diensten richten op het landschap, de natuur en de toegankelijkheid van landelijk gebied terwijl de blauw diensten zich richten op een gezond en robuust watersysteem.
- Eisen stellen aan pachtgronden: een maatregel op kleinere schaal, het is mogelijk om aanvullende eisen te stellen aan de gronden die verpacht worden door het Waterschap, de Provincie en de Gemeente om op deze manier meer water op deze gronden te kunnen bergen.

Draagvlak bij de agrariërs kan worden gecreëerd met behulp van waardenetwerken. Dit zijn door de Provincie gesubsidieerde groepen agrariërs (circa 10-15) die gezamenlijk een gemeenschappelijk knelpunt behandelen. Uitgangspunt is dat het op basis van vrijwilligheid gebeurt. Dit betekent dat een maatregel, die goed is voor het milieu alleen wordt opgepakt als de agrariër er ook (economisch) voordeel bij heeft. Als het probleem is opgelost dan wordt de groep weer opgeheven. De problemen, die worden opgepakt hebben te maken met uitspoeling van voedingsstoffen en/of gewasbeschermingsmiddelen naar het grondwater. Ook voor niet-kerende grondbewerking* zijn in het verleden demonstraties gegeven en loopt er een waardenetwerk over de periode 2016-2018.

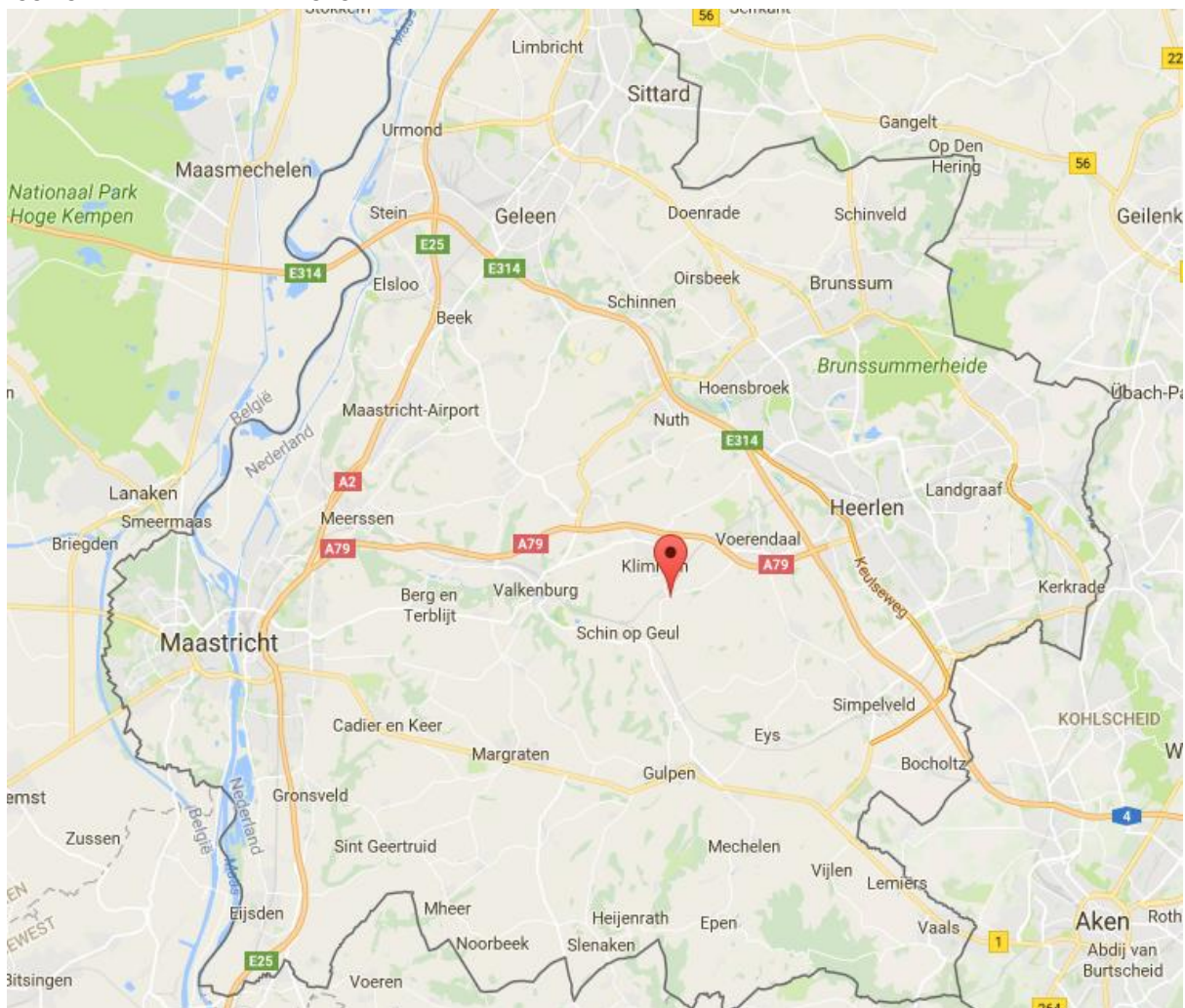
De LLTB en gemeenten hebben geen directe sturingsmiddelen om deze problematiek op te lossen. Zij kunnen enkel een ondersteunende rol spelen in het proces om de voorgeschreven maatregelen in te voeren. Gemeenten kan wel bijdragen aan het aanpassen van de regelgeving.

4 Casusgebied Ransdaal

In dit hoofdstuk volgt een gebieds- en probleembeschrijving van het casusgebied Ransdaal. Vervolgens is ingezoomd op het ‘focusgebied’ en hiervoor is er een toelichting op het probleem ten aanzien van hemelwaterafstroming opgenomen.

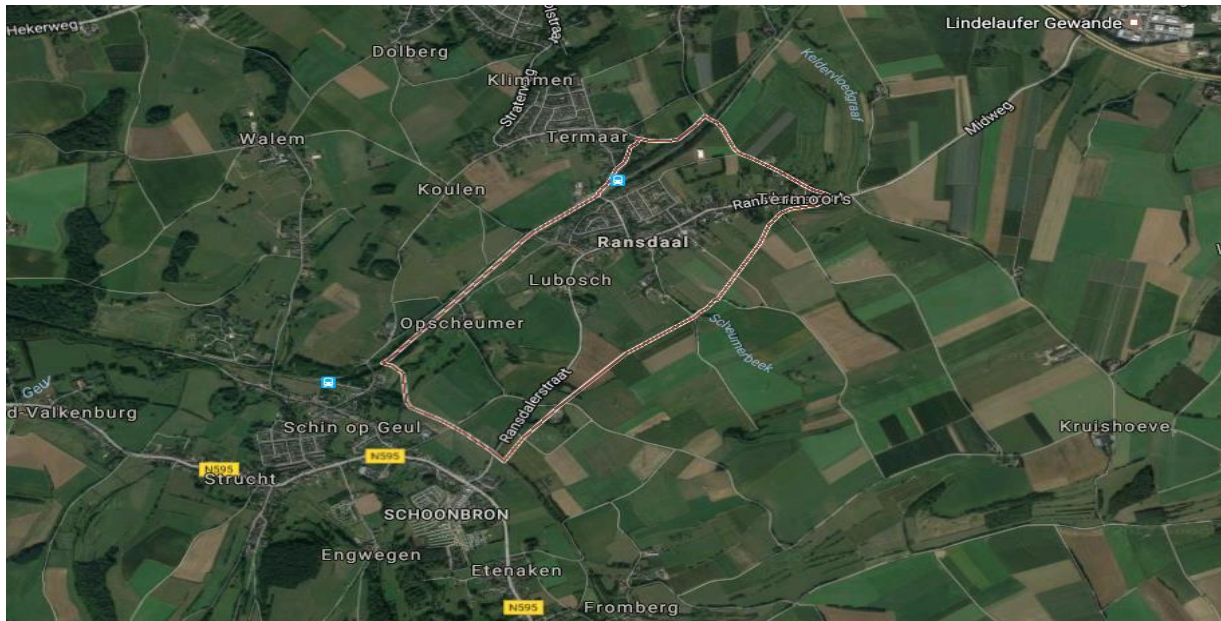
4.1 Gebiedsomschrijving

Ransdaal is dorp met ongeveer 1.000 inwoners, in de Gemeente Voerendaal in Limburg. Het dorp is gelegen in het Zuid-Limburgse landschap tussen de steden Maastricht en Heerlen. In figuur 4.1 is de ligging van Ransdaal weergegeven.



Figuur 4.1 Ligging Ransdaal (Google Maps)

Aan de noordzijde van Ransdaal ligt de kern van Klimmen. Voor de rest is Ransdaal omgeven door graslanden en akkers zoals is te zien op figuur 4.2. In figuur 4.3 is een indicatie van het gebied weergegeven. De foto is gemaakt vanaf de Karstraat in de richting van de Akerweg.



Figuur 4.2 Luchtfoto omgeving Ransdaal en Ransdalerveld (Google Maps)

Ransdaal ligt aan de westkant van het Ransdalerveld, een landbouwgebied in Zuid-Limburg. Het gebied is aan de noordzijde begrensd door Klimmen en aan de zuidzijde door Eyserheide. Ten oosten van het gebied is Heerlen gelegen en aan de westzijde vindt men Wijlre. In het Ransdalerveld zijn verschillende monumentale gebouwen als boerderijen en kerken te vinden. Daarnaast zijn er in het Ransdalerveld ook verschillende holle wegen te vinden. Dit zijn wegen die door inslijting zijn ontstaan.

De holle wegen zijn ontstaan als erosiegeul. Holle wegen worden gekenmerkt door steile, beplante wanden. Voorbeelden van holle wegen in het Ransdalerveld zijn de Oude Karstraat en de Oude Akerweg.



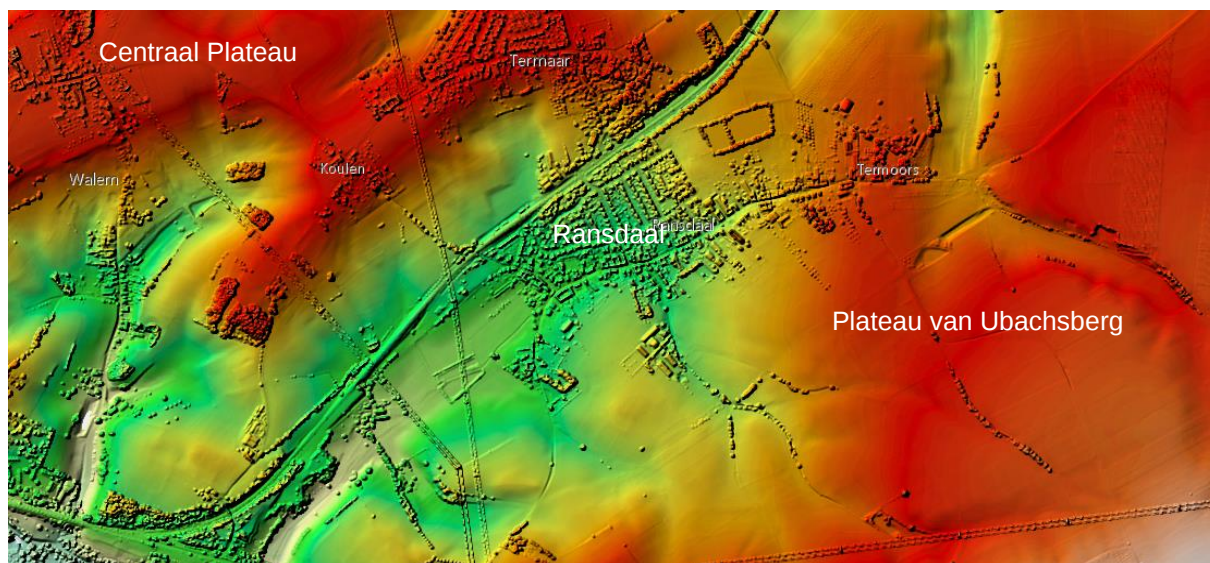
Figuur 4.3 Impressie omgeving Ransdaal 22-02-2017 (Jasper van de Ven)

4.1.1 Oppervlaktewater

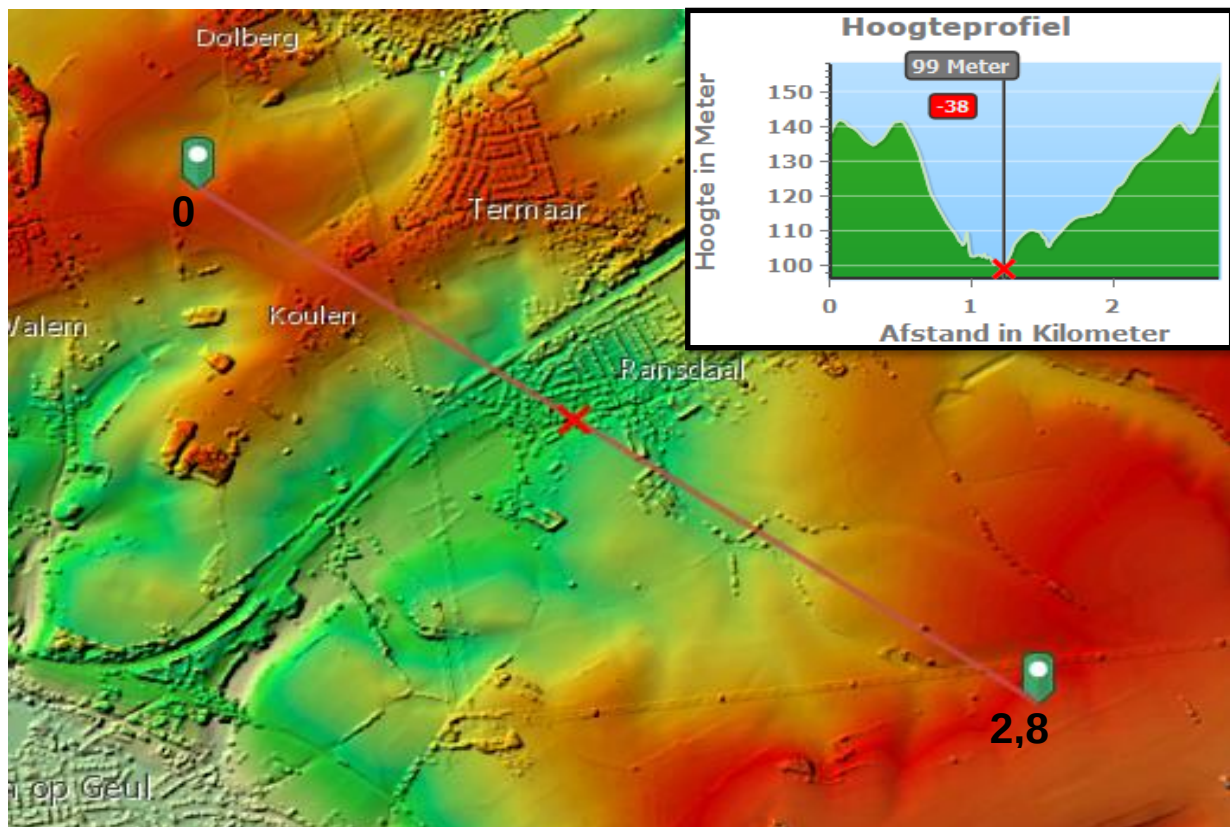
In de omgeving van Ransdaal zijn een aantal regenwaterbuffers aangelegd die wateroverlast moeten reduceren. In bijlage 5.4 zijn de regenwaterbuffers te zien zoals ze zijn opgenomen in de legger van Waterschap Roer en Overmaas. Verder is te zien dat er rondom Ransdaal twee beken gelegen zijn. In het oosten is de Keldervloedgraaf gelegen. Dit is de bovenloop van de Hoensbeek die alleen bij hevige regenval watervoerend is. De Hoensbeek is een twee kilometer lange zijbeek van de Geleenbeek. Aan de westkant is de Scheumerbeek gelegen. Deze beek is een belangrijke factor voor de hemelwaterafvoer van het Ransdalerveld. De Scheumerbeek mondt nabij Schoonbron uit in de Geul.

4.1.2 Hoogteligging

Figuur 4.4 toont de hoogtekaart. De kern van Ransdaal ligt in een dal, opgesloten tussen het Plateau van Ubachsberg en het Centraal Plateau. In potentie kan bij hevige regen veel water van de omringende hooggelegen (rode) delen afstromen naar de kern en daar inundatie* van woningen veroorzaken. In figuur 4.5 is een globale dwarsdoorsnede gemaakt op basis van het Actuele Hoogtebestand Nederland 2 (AHN2). In deze dwarsdoorsnede is te zien dat de kern Ransdaal tot soms wel vijftig meter lager gelegen is dan de omringende terreinen. In bijlage 5.1 is de geomorfologische informatie rondom Ransdaal weergegeven.



Figuur 4.4 Hoogtekaart Ransdaal (AHN2)



Figuur 4.5 Dwarsdoorsnede hoogtekaart Ransdaal (AHN2)

4.1.3 Bodemopbouw

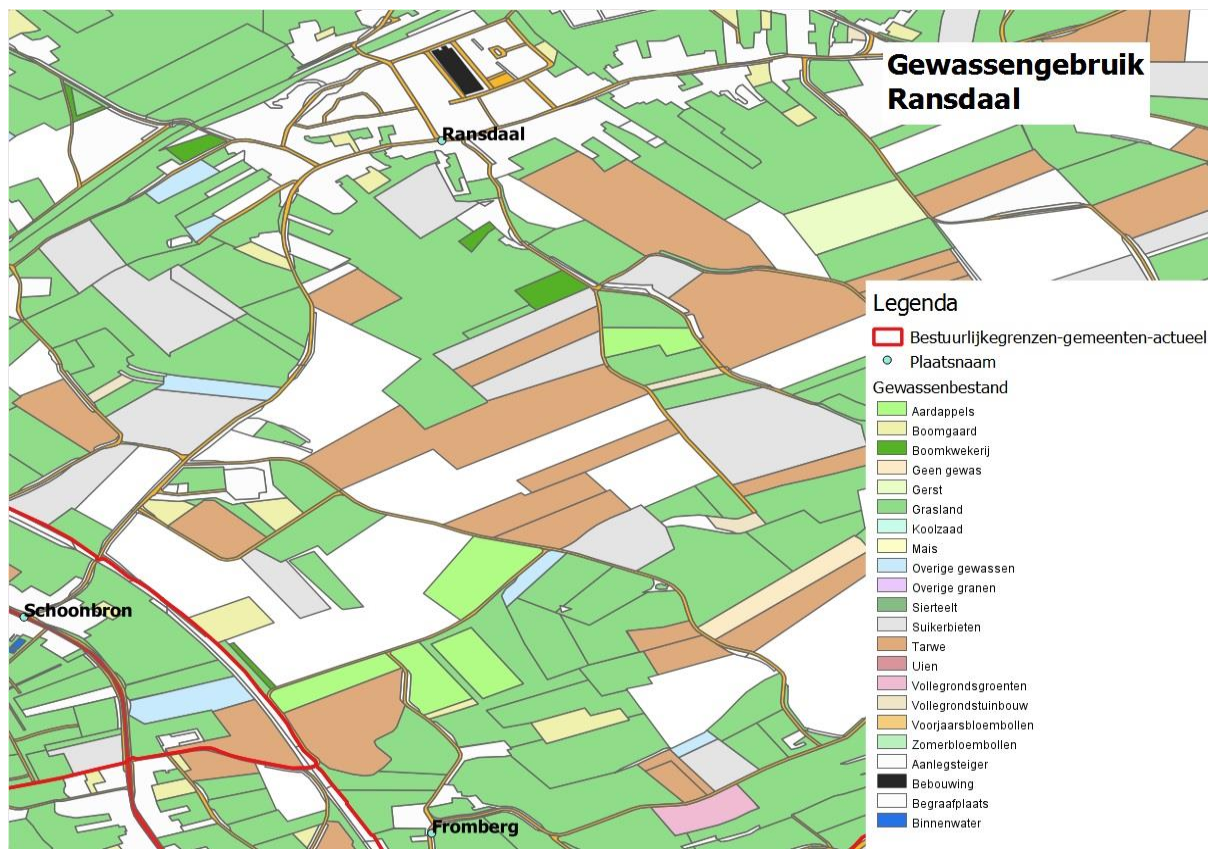
Zoals blijkt uit boormonsterprofielen B62B2163, B62B2185, B62B2493 en B62B2532 (bijlage 5.5 t/m 5.9, www.dinoloket.nl) bestaat de ondergrond in het casusgebied tot minimaal 3,50 meter min maaiveld uit leem. Door deze ondiep gelegen leemlagen is de infiltratie van hemelwater zeer klein (0,05 m/dag [Bot, 2011]). Het hemelwater stagneert en kan over het oppervlak afstromen.

4.1.4 Landbouw

Het Ransdalerveld staat te boek als landbouwgebied. In het gebied bevinden zich weinig ecologische kenmerken als bossen en struwelen. Her en der zijn er bomenrijen of rijen met struikgewas. Er zijn in het gebied weinig factoren aanwezig die de afstroomsnelheid verlagen. Een enkele agrariër heeft kleine maatregelen, zoals hagen, aangelegd om de afstroming te verminderen.

In figuur 4.6 en in bijlage 5.2 is zichtbaar welke gewassen in Ransdaal en omgeving verbouwd worden. Te zien is dat het landschap ten zuiden van Ransdaal met name bestaat uit: grasland, tarwe, suikerbieten, aardappelen, boomkwekerijen en maïs bestaat. Het landschap ten noorden van Ransdaal bestaat met name uit grasland.

Bieten, aardappelen, boomkwekerijen (indien niet dwars op de hoogtelijnen) en maïs behoren tot de groep gewassen die zeer erosiegevoelig zijn. Enkel grasland in dit gebied behoort tot de nauwelijks erosiegevoelige categorie (Geelen, 2006).



Figuur 4.6 Gewassenteelt 2001 omgeving Ransdaal (www.portal.prvlimburg.nl)

4.2 Probleembeschrijving

Volgens Stichting Cultuur en Ontmoeting Ransdaal (z.j.) was het landbouwgebied Ransdalerveld vroeger een versnipperd gebied met veel gemengde bedrijfsvoering. Boomgaarden, veeteelt en akkerbouw werden gecombineerd. Er was daardoor weinig specialistische kennis aanwezig in het gebied. Er waren vele kleine kavels en veel verschillende grondeigenaren (zie figuur 4.7). Tussen de kavels lagen graften*, steile begroeide randen. Deze graften waren in sommige gevallen van nature aanwezig (steilranden), maar ontstonden ook door grondbewerking waarbij gronddeeltjes door de zwaartekracht werden verplaatst. Daarnaast was de ontsluiting van het gebied door het ontbreken van verharde wegen slecht. De aanwezige wegen waren smal en waren diep ingesneden in het Limburgse löss (Stichting Cultuur en Ontmoeting Ransdaal, z.j.), zogenaamde holle wegen. Tijdens de wederopbouw van Nederland na de Tweede Wereldoorlog en de daarbij behorende industrialisatie en verstedelijking verdween de landbouwfunctie van Zuid-Limburg steeds meer. Mensen konden voor hogere lonen in België en het Roergebied in Duitsland aan de slag in de industrie. Om de landbouwfunctie te behouden werden er plannen voor gemaakt voor een ruilverkaveling. De landbouw moest moderniseren. Door de ruilverkaveling kon met behulp van de mechanisering de landbouw specialistischer worden gemaakt. In 1959 werd er, na jaren discussie, gestart met de ruilverkaveling. De graften waren een discussiepunt in het ruilverkavelingsproces. Voor de agrariërs vormden de graften voor verlies van waarde voor de akkers. Daarnaast zouden de graften door de sterkere tractoren in vergelijking tot de paarden niet meer ontstaan. De ruilverkavelingsorganisatie wilde de

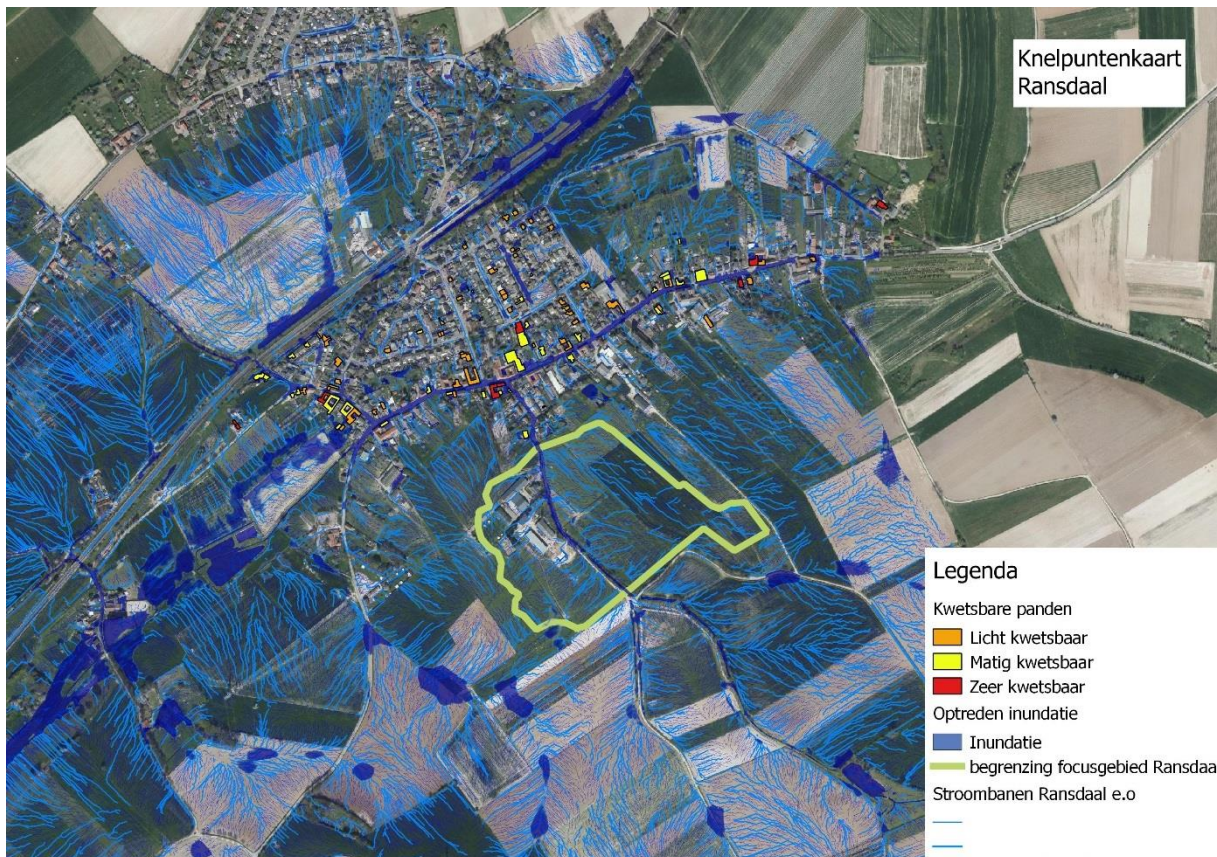
grachten juist behouden door de erosiereducerende werking. De agrariërs verbeterde hun uitgangspositie wanneer de grachten voor de ruilverkaveling werden verwijderd. Dat gold ook voor de holle wegen. Tijdens de ruilverkaveling verdwenen, in strijd met de ruilverkavelingsplannen, veel holle wegen en grachten. Enkele overgebleven holle wegen in het gebied werden als weg in gebruik genomen. Andere werden een waterloop en weer andere werden dichtgegooid tijdens de ruilverkaveling of door de agrariërs zelf. In de plannen waren ook maatregelen opgenomen om erosie te reduceren. Zo moesten de kavels zo veel mogelijk langs de hoogtelijnen worden gelegd. Daarnaast werden ontsluitingswegen tegen de helling opgelegd. Grachten dienden, waar mogelijk, zoveel mogelijk te worden behouden. Verder was de wens in de plannen dat de agrariërs de groundbewerking zoveel mogelijk langs de hoogtelijnen uitvoerden. Tot slot was er ook de wens om op de hellingen zoveel mogelijk grasland in plaats van akkers aan te leggen. Dit vanwege het feit dat grasland minder gevoelig is voor erosie. Deze twee wensen kon de ruilverkavelingsorganisatie niet zelf regelen en na de ruilverkaveling bleven hellinggronden veelal in gebruik voor de akkerbouw en ploegden agrariërs liever tegen de helling op om de kans op omslaan van de machine te verminderen (Stichting Cultuur en Ontmoeting Ransdaal, z.j.).



Figuur 4.7 Versnippering kavels Ransdalerveld
(Stichting Cultuur en Ontmoeting Ransdaal, z.j.)

4.2.1 Stroombanen, inundatie en kwetsbare panden

In figuur 4.8 zijn de locaties waar in Ransdaal inundatie* plaatsvindt, weergegeven. Het totale oppervlak van de panden waarin inundatie optreedt in Ransdaal is 12.250 m² (zie bijlage 7.5). De inundatiehoogtes zijn in figuur 4.8 niet weergegeven, omdat 3Di dusdanig onnauwkeurig is dat het mogelijk een verkeerd beeld over de inundatiehoogtes weergeeft. 3Di geeft wel een goed beeld over de locaties van de inundaties. In figuur 4.8 en bijlage 5.3 zijn eveneens de stroombanen die door het gebied lopen weergegeven. In deze stroombanen concentreert het hemelwater zich en hierdoor stroomt het water vervolgens de kern van Ransdaal in. Ook is in de figuur weergegeven welke gebouwen kwetsbaar zijn. Hierin is onderscheid gemaakt tussen licht, matig en zeer kwetsbaar. Verder is met de groene omlijning aangegeven voor welk focusgebied de maatregelenpakketten worden samengesteld. Dit circa focusgebied is circa 12 hectare groot en maakt onderdeel uit van een circa 71 hectare groot gebied dat kijkend naar de stroombanen afstroomt richting de kern van Ransdaal en daar inundatie veroorzaakt.

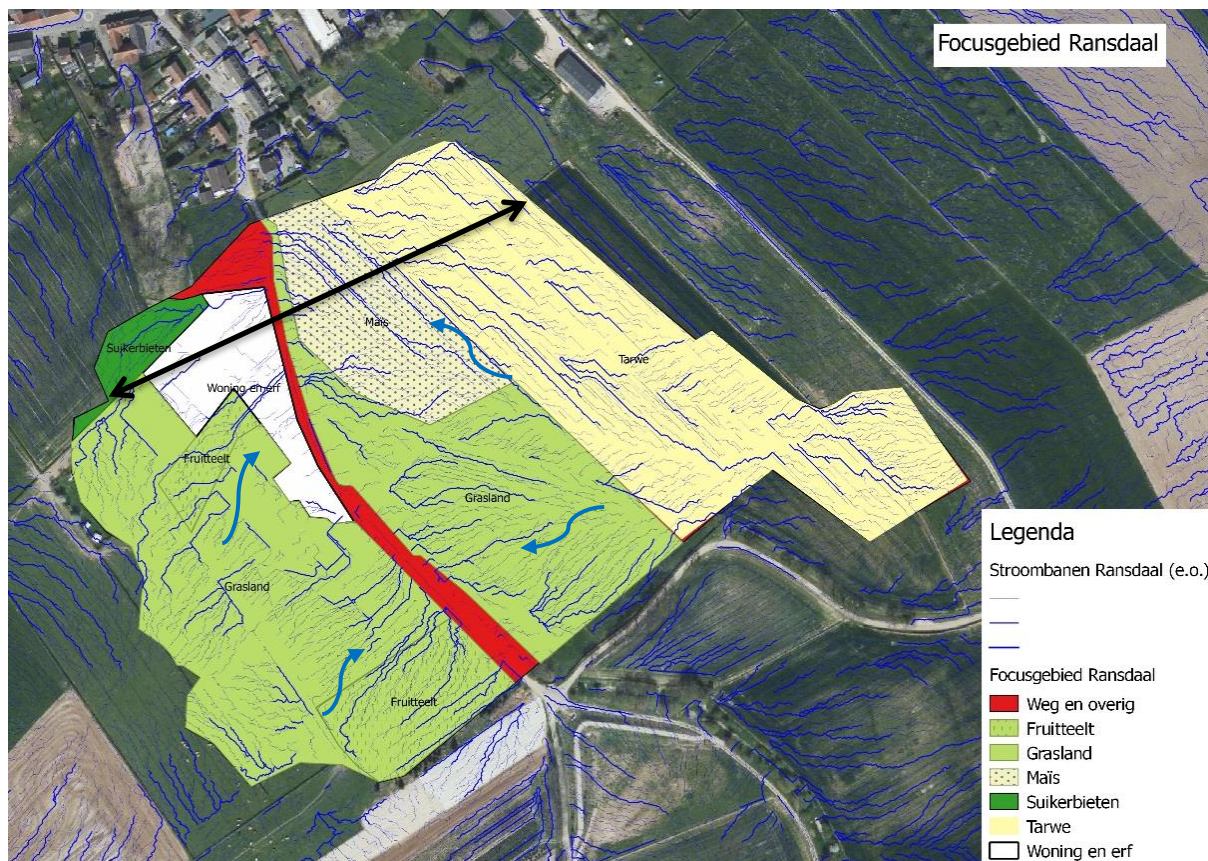


Figuur 4.8 Knelpuntenkaart Ransdaal met stroombanen, inundatie en kwetsbare panden (QGIS)

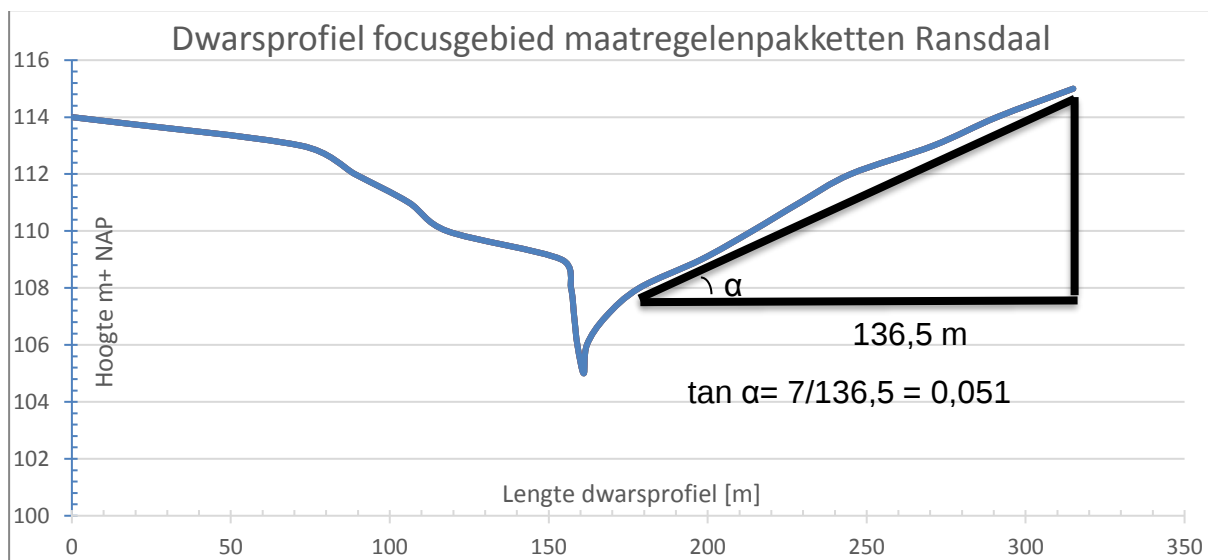
4.3 Focusgebied

Om de effectiviteit van de maatregelen te bepalen, is er een focusgebied aangewezen waar de maatregelen zijn toegepast. De keuze voor dit gebied is gemaakt op basis van de ligging vlakbij de kern van Ransdaal, geteelde gewassen, stroombanen en wateroverlast. Het focusgebied waar de maatregelenpakketten zijn geïmplementeerd is gelegen ter hoogte van de Sint Gillisstraat en de daar gelegen holle weg met daarnaast gelegen watergang (St. Gillisstraatlossing). In figuur 4.9 en bijlage 6.5 is het focusgebied weergegeven. Op deze figuur is te zien dat er in het gebied verschillende gewastypen aanwezig zijn. Daarnaast stromen er diverse grote stroombanen door het dwarsprofiel. Met de blauwe pijlen is de stroomrichting weergegeven.

In figuur 4.10 is de het dwarsprofiel van het focusgebied weergegeven. De depressie in het landschap is de weg met de daarnaast gelegen watergang. Voor de berekening van de effectiviteit van de maatregelenpakketten is uitgegaan van een gemiddeld hellingspercentage* in het gebied. Dit gemiddelde hellingspercentage is bepaald op basis van het dwarsprofiel in het focusgebied. Dit dwarsprofiel geeft een algemene indruk van de helling in het gebied weer. Uit figuur 4.10 blijkt dat het gemiddelde hellingspercentage 5% bedraagt. De locatie van het dwarsprofiel is in figuur 4.9 zichtbaar gemaakt met een zwarte pijl.



Figuur 4.9 Focusgebied Ransdaal met locatie dwarsprofiel (QGIS)



Figuur 4.10 Dwarsprofiel focusgebied Ransdaal

In het focusgebied zijn verschillende boringen uitgevoerd, deze zijn weergegeven in figuur 4.11. Eveneens is de peilbuis in het gebied weergegeven.

Zoals uit de gegevens van peilbuis B62B0421 (bijlage 6.4) blijkt is de grondwaterstand circa 20 meter beneden het maaiveld. De invloed van het grondwater op de infiltratie is om deze reden te verwaarlozen.

Uit de boorprofielen B62B2506, B62B2509 en B62B25010 (bijlagen 6.1 t/m 6.3) blijkt dat de ondergrond bestaat uit leem. Uit Bot (2011) blijkt dat leem een infiltratiecapaciteit heeft van 50 mm/dag. Uitgaande van deze gegevens infiltreert er in een 4 uur durende bui 50/6 $\approx$ 10 millimeter van de gevallen neerslag.



Figuur 4.11 Locaties boorprofielen (www.dinoloket.nl)

4.3.1 Bergingsopgave focusgebied Ransdaal

In het kader van BRP Heugem-Limmel is een regionaal model opgesteld in modelprogramma 3Di. Dit programma berekent de afstroming als gevolg van een neerslaggebeurtenis op 23 juni 2016. Tijdens deze neerslaggebeurtenis is 59 millimeter regen gevallen in een periode van vier uur. De in- en output en werkwijze van de berekening is te vinden in bijlage 7.3 en 7.4.

Voor het focusgebied is de berekening uitgevoerd zoals beschreven staat in paragraaf 2.5. Op deze manier is er een waterbalans van het focusgebied ontstaan gedurende de gesimuleerde bui van 59 millimeter over een periode van vier uur. Tabel 4.1 toont het resultaat voor het focusgebied. De oppervlakte van het focusgebied is circa 12,05 hectare. In het gebied viel 7.111 m³ neerslag. De berekende afstroming is 5.430 m³ minus 564 m³ (hemelwater werd geborgen in de St. Gillisstraatlossing) is 4.866 m³. In het focusgebied komt dus 68% van de totale bui tot afstroming. De achterliggende berekening van tabel 4.1 is te vinden in bijlage 7.1.

Tabel 4.1 Resultaat 3Di-berekening focusgebied Ransdaal

Neerslag [mm]	Neerslag [m^3/ha]	Oppervlakte focusgebied [ha]	Totaal volume neerslaggebeurtenis [m^3]	Afvoer focusgebied [m^3]	Berging watergang [m^3]	Totale bergingsopgave [m^3]	Bergingsofgave [m^3/ha]	Berekende afstroming
59	590	12	7111	5430	564	4866	404	68%

De uitkomst van de 3Di-berekening, waarbij 68% van het hemelwater tot afstroming komt, lijkt gevoelsmatig (expert judgement) extreem hoog en daardoor niet realistisch. De onnauwkeurigheid is mogelijk veroorzaakt door het gebruik van een te groot rekenraster en het feit dat 3Di nog niet geoptimaliseerd is voor het berekenen van afstromend oppervlaktewater in hellend gebied.

Waterschap Limburg gaat in BOOST uit dat bij een extreme bui ($T=100$) zo'n 50% van het neerslagvolume tot afstroming komt in het landelijke gebied. Dit percentage lijkt aannemelijk en is in dit rapport als referentie gehanteerd voor het opstellen van de maatregelenpakketten. In tabel 4.2 hieronder is de berekening van de bergingsopgave voor het vervolg van het onderzoek weergegeven. Bij deze berekening is uitgegaan van dezelfde neerslaggebeurtenis. Er is aangenomen dat de watergang 20 m^3/ha mag afvoeren. Deze hoeveelheid wordt afgetrokken van de bergingsopgave totaal (3.314 m^3). De bergingsopgave bedraagt hierdoor circa 3.300 m^3 . De achterliggende berekening van tabel 4.2 is te vinden in bijlage 7.2.

Tabel 4.2 Bergingsopgave focusgebied Ransdaal

Neerslag [mm]	Neerslag [m^3/ha]	Oppervlakte focusgebied [ha]	Totaal volume neerslaggebeurtenis [m^3]	Afstroming per hectare [m^3/ha]	Berging watergang [m^3/ha]	Bergingsofgave [m^3/ha]	Bergingsofgave totaal [m^3]	Afstroming [aanname]
59	590	12	7111	295	20	275	3314	50%

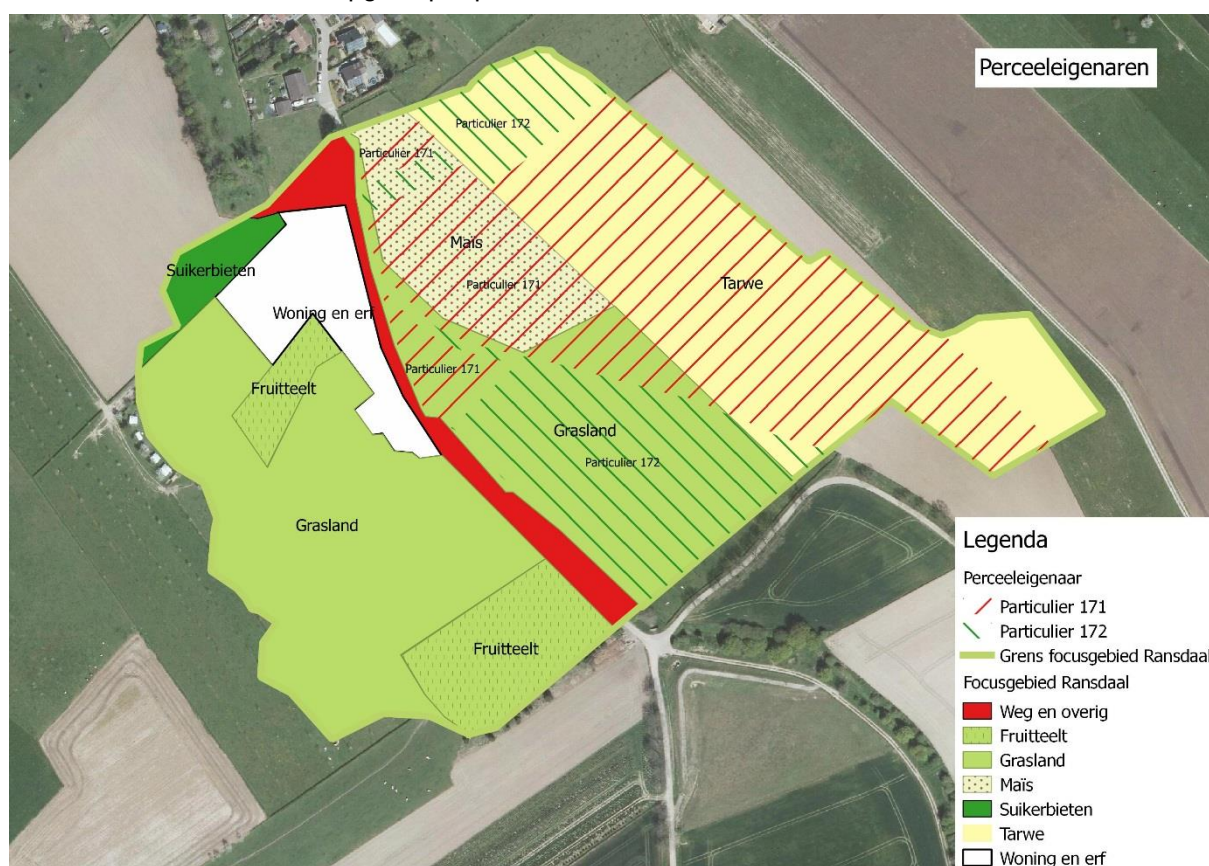
De totale bergingsopgave bij een afstromingspercentage van 50% bedraagt circa 3.300 m^3 . Dat wil zeggen dat wanneer er geen maatregelen worden getroffen er 3.300 m^3 water vanuit het focusgebied in de kern van Ransdaal terecht komt. Wanneer er maatregelen worden getroffen die 100% effect hebben op het reduceren van de afstroming, stroomt er vanuit het focusgebied 0 m^3 water de kern van Ransdaal in. De maatregelenpakketten die in dit afstudeerrapport zijn opgesteld zorgen respectievelijk voor 40%, 60% en 80% reductie van afstromend hemelwater richting de kern van Ransdaal. In tabel 4.3 staat de opgave per maatregelenpakket weergegeven. Zowel in m^3 als in m^3/ha .

Tabel 4.3 Bergingsopgave per maatregelenpakket

Maatregelenpakket	Bergingsopgave totaal [m ³]	Bergingsopgave per hectare [m ³ /ha]
40%	1320	110
60%	1980	165
80%	2640	220

4.3.2 Perceeleigenaren

Om te kunnen bepalen wat de wateropgave per perceeleigenaar is, is het noodzakelijk om te weten van wie ieder perceel in het focusgebied is. In figuur 4.12 en in bijlage 6.6 zijn de verschillende perceeleigenaren (anoniem) weergegeven. Op basis van deze figuur is in hoofdstuk 6 per maatregelenpakket voor de percelen ten oosten van de Sint Gillisstraat (rode vlak) aangegeven wat de resterende wateropgave per perceel is.



Figuur 4.12 Geanonimiseerde perceeleigenaren focusgebied

5 Programma van Eisen

In dit hoofdstuk zijn de eisen opgenomen ten aanzien van het oplossen van de problematiek en hoe die aangepakt dient te worden. Deze eisen komen voort uit interviews met de betrokken partijen (LLTB, agrariërs en Waterschap Limburg). Verslagen en resultaten van deze interviews zijn te vinden in bijlage 3 tot en 4. Op basis van deze eisen en literatuuronderzoek is in dit hoofdstuk een multicriteria-analyse (MCA) uitgevoerd. Op basis van de MCA zijn de verschillende maatregelenpakketten opgesteld.

5.1 Limburgse Land- en Tuinbouwbond

De LLTB onderkent het probleem van afstromend hemelwater vanaf het landelijk gebied. Men vindt dat de agrariërs zeker bij moeten dragen aan het oplossen van de problematiek. Echter wordt wel gesteld dat de agrariërs niet in hun bedrijfsvoering en verdienmodel mogen worden aangetast. Agrariërs zijn eerder geneigd mee te werken als de maatregel hen wat oplevert.

- Maatregelen met minieme wijziging in materieel of bewerkingstype hebben de voorkeur;
 - Weinig onkosten voor agrariër;
 - Effectief;
 - Makkelijk inpasbaar;
- Geen grote veranderingen in bedrijfsvoering die tot hoge (on)kosten leiden;
 - Akkerland is meer waard dan grasland, omzetten moeten worden vergoed;
 - Aardappelen en suikerbieten leveren meer op dan tarwe, maïs en gras;
- Stimuleren van en informeren over het treffen van maatregelen in plaats van reguleren;
 - Groenblauwe diensten;
 - Demonstratieprojecten;
 - Lezingen;
 - Onderzoek op proefboerderij Wijnandsrade;
 - Open dagen.
- Maatregelen die bijdragen aan verplicht te behalen doelen;
 - Randenbeheer draagt bij aan agrarisch natuurbeheer.
- Onderzoek uitvoeren naar:
 - Bodembedekkers die eind oktober of in november kunnen worden ingezaaid zodat oogst kan worden verlengd voor meer inkomsten.
- Meest kansrijke maatregelen bovenop huidige maatregelen volgens LLTB:
 - Kuiltjespatroon aan het oppervlak;
 - Randenbeheer (combinatie met agrarische natuurdoelstellingen);
 - Op peil houden humusgehalte in de bodem.

5.2 Agrariërs

Vanuit de agrariërs is er het gevoel dat zij al veel hebben bijgedragen met het invoeren van niet-kerende grondbewerking* (NKG) en groenbemesters* aan het verminderen van de problematiek. Volgens hen ligt het initiatief voor het oplossen van de problematiek bij het Waterschap. De agrariërs geven aan dat er tegen T=100 buien geen maatregelen kunnen worden genomen en dat de burgers de schade moeten accepteren.

- Maatregelen die zo min mogelijk de huidige bedrijfsvoering aanpassen;
 - No-tillage, voedselbossen, polyculturen hebben niet de voorkeur (te grote omslag van denken);
- Maatregelen die de gangbare manier van werken doorbreken genieten niet de voorkeur;
 - Dwars aanplanten boomplantages;
 - Contourbewerken;
- Verkleinen of opsplitsen percelen is niet wenselijk;
 - Grasbanen en groenstroken;
 - Greppels;

- Graften*.
- Aanleg buffers op de juiste locaties;
 - Locaties te bepalen in overeenstemming met agrariërs;
 - Meerdere kleine buffers op percelen of grote waterschapsbuffers;
- Hoeveelheid afstromend water afkomstig van fruitplantages terugdringen;
 - Infiltratiecapaciteit verhogen;
 - Verdichting werkpaden verwijderen;
- Natuurcompensatie plaats laten vinden op erosiegevoelige percelen;
- Vanggewassen telen na meerdere erosiegevoelige teelten of percelen;
 - Vergt flinke onderlinge afstemming tussen agrariërs, dat maakt het bewerkelijk.
- Subsidiereregelingen treffen om maatregelen ter reducering wateroverlast te bevorderen;
 - Verlagen waterschapsheffing;
 - Subsidiëren perceelsmaatregelen.
- Onderzoek naar ondergrondse afstroming van hemelwater;
- Communicatie;
 - Agrariërs betrekken in het proces;
 - Luisteren naar eisen en wensen en daar ook gebruik van maken;
 - Gebruik maken van gebiedskennis.
- Acceptatie van wateroverlast bij T=100 of vergelijkbare intensiteit;
 - Dusdanige neerslaghoeveelheden op het verkeerde moment (net na inzaai of groundbewerking) zijn desastreus en de gevolgen daarvan zijn niet te voorkomen.
- Meest kansrijke maatregelen bovenop huidige maatregelen volgens agrariërs:
 - Toezien op goed gebruik NKG* en bodembedekker, dient op de goede momenten in het jaar te gebeuren.
 - Aanleg buffers om water voor de kernen op te vangen;
 - Een paar grote buffers of meerdere kleintjes in overhoeken van percelen.
 - Opwerpen van dammen in stroombanen of aan het einde van het perceel;
 - Mag niet leiden tot het versnipperen van percelen.
 - Zaaïen bij nauwere rijafstanden op erosiegevoelige punten;
 - Subsidiëren van agrariërs die maatregelen treffen.

5.3 Waterschap Limburg

Waterschap Limburg wil het beschermingsniveau ten aanzien van hemelwateroverlast verhogen naar 1:100 mits voor de maatregelen de kosten en de baten in een gezonde verhouding staan en landschappelijk inpasbaar zijn. Het maatregelenpakket voor het landelijke gebied bestaat veelal uit een combinatie van maatregelen op de percelen en maatregelen in het watersysteem. Het Waterschap vindt dat de agrariërs hun maatschappelijke verantwoordelijkheid moeten pakken. Het Waterschap wil dit realiseren door de agrariërs te prikkelen om maatregelen te treffen om de problematiek te verminderen. Echter is het besef er bij het Waterschap dat ook de agrariërs niet het gehele probleem op kunnen lossen. Het Waterschap wil graag het aanleggen van waterbuffers combineren met bronmaatregelen door de agrariërs.

- Meest kansrijke maatregelen bovenop huidige maatregelen volgens Waterschap Limburg:
 - No-tillage, niet meer ploegen;
 - Voedselbossen, polycultuur;
 - Bosaanplant;
 - Extra waterbuffers in eigendom van het Waterschap;
 - Alternatieve voedergewassen: gehele plant silage;
- Maatregelen die ook bijdragen:
 - Gewasresten achterlaten na oogst;
 - Zaaïen bij nauwere rijafstand;
 - Herfstruggen;
 - Rulle ruggen;
 - Kuiljespatroon aan het oppervlak;

- Voorkomen van verdichting;
- Grasbanen of dubbelzaaien in stroombanen.

5.4 Multicriteria-analyse

De maatregelen die van de agrariërs, LLTB en Waterschap Limburg de voorkeur hebben zijn middels een multicriteria-analyse beoordeeld op uitvoerbaarheid, overeenstembaarheid, inpasbaarheid (landschappelijk en bedrijfsmatig), implementatietijd, effectiviteit, kosten en baten. Deze criteria zijn in overleg met Waterschap Limburg en Sweco opgesteld. De maatregelen zijn per criteria beoordeeld middels getallen (-2, -1, 0, 1, 2). De beoordelingen zijn, naast literatuuronderzoek, gebaseerd op de interviews met agrariërs, LLTB en Waterschap Limburg. In bijlage 8 zijn de achtergronden per maatregel terug te vinden. In deze tabel is het draagvlak van de verschillende partijen ook beoordeeld. Deze beoordeling is in de MCA meegenomen in het criterium 'haalbaarheid overeenstemming.' Hieronder zijn de criteria waarop is beoordeeld nader toegelicht.

- **Haalbaarheid overeenstemming:** de maatregelen zijn beoordeeld op de waarschijnlijkheid van het behalen van overeenstemming tussen de verschillende partijen over het treffen van de maatregel. De beoordeling is gebaseerd op de interviews met de betrokken partijen en de standpunten die hieruit naar voren zijn gekomen. De beoordeling per betrokken partij is te vinden in bijlage 8. De beoordelingen per partij zijn samengenomen in het criterium 'haalbaarheid overeenstemming'. De verdeling van de beoordeling loopt van 'zeer onwaarschijnlijk' (-2) naar 'onwaarschijnlijk' (-1) via 'waarschijnlijk onder voorwaarden' (0) naar 'waarschijnlijk' (1) tot 'zeer waarschijnlijk' (2).
- **Landschappelijke inpasbaarheid:** er is beoordeeld of de maatregel past binnen het landschap van Zuid-Limburg en specifiek Ransdaal. Daarbij zijn ook de mogelijk ecologische consequenties meegenomen. De beoordeling is gebaseerd op de mate van veranderingen die de maatregel op het huidige landschappelijke waarde teweegbrengt. De beoordeling loopt van 'niet inpasbaar/veel, grote, negatieve veranderingen' (-2) naar 'niet inpasbaar/enkele kleine, negatieve veranderingen' (-1) via 'geen invloed/veranderingen' (0) naar 'inpasbaar/enkele positieve veranderingen' (1) tot 'goed inpasbaar/veel, grote positieve veranderingen' (2).
- **Inpasbaar in agrarische bedrijfsvoering:** er is beoordeeld of de maatregel past binnen in de bedrijfsvoering van de agrariërs in Ransdaal. Wanneer de maatregel die huidige bedrijfsvoering negatief beïnvloedt scoort de maatregel negatief op dit criterium. Wanneer de maatregel de bedrijfsvoering niet beïnvloedt krijgt de maatregel score '0'. Wanneer de maatregel positief bijdraagt aan de bedrijfsvoering volgt een positieve beoordeling. De beoordeling is gebaseerd op de interviews met de verschillende agrariërs en de LLTB. De beoordeling loopt van 'niet inpasbaar' (-2) naar 'niet inpasbaar, tenzij' (-1) via 'geen invloed' (0) naar 'inpasbaar' (1) tot 'goed inpasbaar' (2).
- **Implementatietijd:** de maatregelen zijn evenzeer beoordeeld op de implementatietijd. De beoordeling is gebaseerd op de standpunten van de betrokken partijen voortkomend uit de interviews. Waar de standpunten van de verschillende partijen over een maatregel lijnrecht tegenover elkaar staan, wordt een lange implementatietijd verwacht. Bij overeenkomende standpunten ten aanzien van een maatregel wordt een korte implementatietijd verwacht. Sommige maatregelen kennen veel weerstand vanuit een betrokken partij, maar zijn wel heel effectief. Het is bij dergelijke maatregelen de moeite om te proberen de maatregel te implementeren. Echter, dit vergt waarschijnlijk veel tijd. De beoordeling loopt van 'lange implementatietijd (>10 jaar)' (-2) naar 'middellange implementatietijd (5-10 jaar)' (-1) via 'gemiddelde implementatietijd (ca. 5 jaar)' (0) naar 'middel korte implementatietijd (2-5 jaar)' (1) tot 'korte implementatietijd (<2 jaar)' (2).

- **Effectiviteit ten opzichte van huidige situatie:** de effectiviteit is beoordeeld op de werking ten opzichte van het reduceren van hemelwaterafstroming, vergroten infiltratiecapaciteit, verminderen wateroverlast en reduceren erosie. De effectiviteit komt voort uit literatuuronderzoek en interviews met de betrokken partijen. De beoordeling loopt van 'zeer negatief effect/huidige situatie verslechterd sterk' (-2) naar 'negatief effect/huidige situatie verslechterd licht' (-1) via 'geen effect/verandering' (0) naar 'positief effect/huidige situatie verbeterd licht' (1) tot 'heel positief effect/huidige situatie versterkt sterk' (2).
- **Kosten:** het criterium kosten is beoordeeld van 'zeer hoge kosten' (-2) naar 'hoge kosten' (-1) via 'gemiddelde kosten' (0) naar 'lage kosten' (1) tot 'zeer lage kosten' (2). De beoordeling is gebaseerd op basis van de interviews met de betrokken partijen en literatuuronderzoek.
- **Baten:** het criterium baten bestaat uit de aanvullende baten, naast de baten ten aanzien van de waterproblematiek, voor de betrokken partijen (bijvoorbeeld: stijgende opbrengst van het gewas). Het kan hierbij zowel gaan om negatieve als positieve baten. Bij negatieve baten heeft het invoeren van de maatregelen een negatief bijeffect. Bij positieve baten heeft het invoeren van de maatregelen een positief bijeffect. De beoordeling loopt van 'veel negatieve aanvullende baten' (-2) naar 'enkele negatieve aanvullende baten' (-1) via 'geen aanvullende baten' (0) naar 'enkele aanvullende baten' (1) tot 'veel aanvullende baten' (2).
- **Haalbaarheid/uitvoerbaarheid:** bij dit criterium is beoordeeld of de maatregel uitvoerbaar is. Op technisch en juridisch vlak, maar ook de verschillende standpunten van de betrokken partijen en de overeenkomsten en verschillen daarin worden meegenomen. De beoordeling van de uitvoerbaarheid loopt van 'niet uitvoerbaar' (-2) naar 'mogelijk niet uitvoerbaar' (-1) via 'uitvoerbaar onder voorwaarden' (0) naar 'goed uitvoerbaar' (1) tot 'zeer goed uitvoerbaar' (2).

In tabel 5.1 is de uitgevoerde multicriteria-analyse weergegeven. In de kolom 'Eindscore' is de eindbeoordeling van de maatregelen te zien. Dit is een som van getallen. De achterliggende argumenten voor de gegeven beoordeling is te vinden in bijlage 8. In de kolom 'Categorie' is weergegeven of het een bronmaatregel (B), stroombaanmaatregel (S) of end-of-pipe maatregel (E) betreft.

Tabel 5.1 Multicriteria-analyse

Maatregel	Categorie	Haalbaarheid overeenstemming	Landschappelijke inpasbaarheid	Inpasbaar in agrarische bedrijfsvoering	Implementatietijd	Effectiviteit t.o.v. huidige situatie	Kosten	Baten	Haalbaarheid/uitvoerbaarheid	Eindscore
Akkerland omzetten in grasland, hooiland, etc.	S	-1	1	-2	-2	2	0	1	-1	-2
Bosaanplant	B	1	2	-1	-2	2	-2	2	1	3
Doorbreken verdichte laag ter plaatse van de rijpaden in de fruitteelt	B	2	0	0	1	1	1	1	1	7
Dammen in stroombaan	B	0	0	0	1	1	-1	1	1	3
Drainage in stroombaan	S	-1	-1	-1	-2	0	-2	0	-1	-8
Drempeltjes bij ruggenteelt	B	1	0	0	1	1	0	1	1	5
Dubbele, kruisgewijze inzaai in stroombanen	S	1	0	0	1	1	-1	1	1	4
Dubbelzaaien of zaaien bij nauwere rijafstand	S	1	0	0	1	1	0	1	1	5
Fruit aanplanten dwars op helling	S	-2	0	-2	-2	1	0	1	-2	-6
Gewasresten achterlaten na oogst	S	1	0	0	1	1	0	2	1	6
Grasbanen in stroombanen	S	0	1	-1	-1	1	0	1	1	2
Grote waterbuffers	E	2	-1	0	1	2	-2	2	2	6
Herfstruggen bij aardappelen	S	-1	0	-1	-2	0	-1	0	-1	-6
Kleine buffers	E	0	-1	0	0	1	-2	1	1	0
Kuiltjespatroon aan het oppervlak	B	1	0	-1	-1	1	-1	0	1	0
Late bodembedekker	S	1	0	1	-2	0	-1	1	-2	-2
Maatregelen die percelen opsplitsen (graftern, grasbanen, etc.)	S	-2	1	-2	-2	1	0	1	-1	-4
Natuurcompensatie erosiegevoelig perceel	B	1	2	0	-1	1	-2	1	1	3
No-tillage	B	-1	0	-1	-2	2	1	2	-1	0
Onderzaai bij maïs	S	-1	0	-1	1	0	0	0	1	0
Opvang door buurperceel	S	-1	0	-2	-2	1	0	1	-2	-5
Randenbeheer	S	0	2	-1	-1	1	0	1	0	2
Rulle aardappelruggen	S	-1	0	-1	-2	0	0	-1	1	-4

Maatregel	Categorie	Haalbaarheid overeenstemming	Landschappelijke inpasbaarheid	Inpasbaar in agrarische bedrijfsvoering	Implementatietijd	Effectiviteit t.o.v. huidige situatie	Kosten	Baten	Haalbaarheid/uitvoerbaarheid	Eindscore
Strokenteelt	S	-1	0	-1	-2	0	0	0	1	-3
Teelt van een alternatief erosiereducerend akkerbouwgewas	S	0	0	-1	-2	1	0	1	-1	-2
Vervroegen van oogst	S	-1	0	-2	-2	0	-1	1	1	-4
Voedergewas gehele plant silage	S	-1	0	1	-1	1	0	1	0	1
Voedselbossen, polyculturen en bos voor houtproductie	B	-2	2	-2	-2	2	-1	1	-2	-4
Voorkomen verdichting	B	2	0	1	1	1	0	1	1	7

Uit de multicriteria-analyse volgen de maatregelen waar de maatregelenpakketten mee zijn opgesteld. De maatregelen met een totaalscore van 0 of hoger vormen samen de 'maatregelenset'. Deze zijn onderverdeeld in de drie verschillende pakketten. Maatregelen met een score op effectiviteit van 0 zijn niet meegenomen in de maatregelenpakketten. Hieronder een opsomming van de maatregelen die meegenomen zijn:

- Bosaanplant;
- Doorbreken verdichte laag ter plaatse van de rijpaden in de fruitteelt;
- Dammen in de stroombaan;
- Drempeltjes bij ruggenteelt;
- Dubbele, kruisgewijze inzaai in de stroombaan;
- Dubbelzaaien of zaaien bij nauwere rijafstand;
- Gewasresten achterlaten na de oogst;
- Grasbanen in de stroombaan;
- Grote waterbuffers;
- Kleine waterbuffers;
- Kuiltjespatroon aan het oppervlak;
- Natuurcompensatie erosiegevoelig perceel;
- No-tillage;
- Randenbeheer;
- Voedergewas gehele plant silage;
- Voorkomen van verdichting.

6 Maatregelenpakketten

In dit hoofdstuk zijn de maatregelenpakketten voor het focusgebied beschreven en ondersteund met een mogelijk inrichtingsplan. Bij deze beschrijving hoort de dimensionering van de maatregelen in het focusgebied, de kosten en baten van de te treffen maatregelen en de benodigde instrumenten om de maatregelen te implementeren. De maatregelenpakketten zijn slechts een leidraad voor het oplossen van de problematiek in het focusgebied. Tussen de verschillende pakketten is het mogelijk om maatregelen toe te voegen, te verwijderen of uit te wisselen

Om tot deze maatregelenpakketten te komen is in eerste instantie een multicriteria-analyse (MCA) uitgevoerd. In paragraaf 5.4 is het resultaat van de MCA weergegeven. Hierin zijn de afzonderlijke maatregelen beoordeeld op basis van de criteria. De maatregelen die hoger scoren dan de waarde 0 zijn verwerkt in de maatregelenpakketten, mits deze maatregelen hoger dan 0 score voor het criterium 'effectiviteit'. Maatregelen met effectiviteit 0 dragen immers niet bij aan het verbeteren van de huidige situatie. Vervolgens zijn de maatregelenpakketten opgesteld. Tijdens het opstellen van de drie verschillende maatregelenpakketten zijn de wensen van de verschillende partijen vertaald naar een maatregelenpakket. Hierin is het 40% maatregelenpakket het pakket dat het minst impact heeft op de huidige situatie, daarmee toont dit pakket de meeste overeenkomsten met de wensen van de agrariërs. Het 80% maatregelenpakket heeft de grootste impact op de huidige situatie en vertoont daarmee de meeste overeenkomsten van Waterschap Limburg. Het 60% maatregelenpakket is het pakket dat overeenkomsten vertoont met de wensen van beide partijen. Figuur 6.1 geeft het proces van de totstandkoming van de maatregelenpakketten weer.



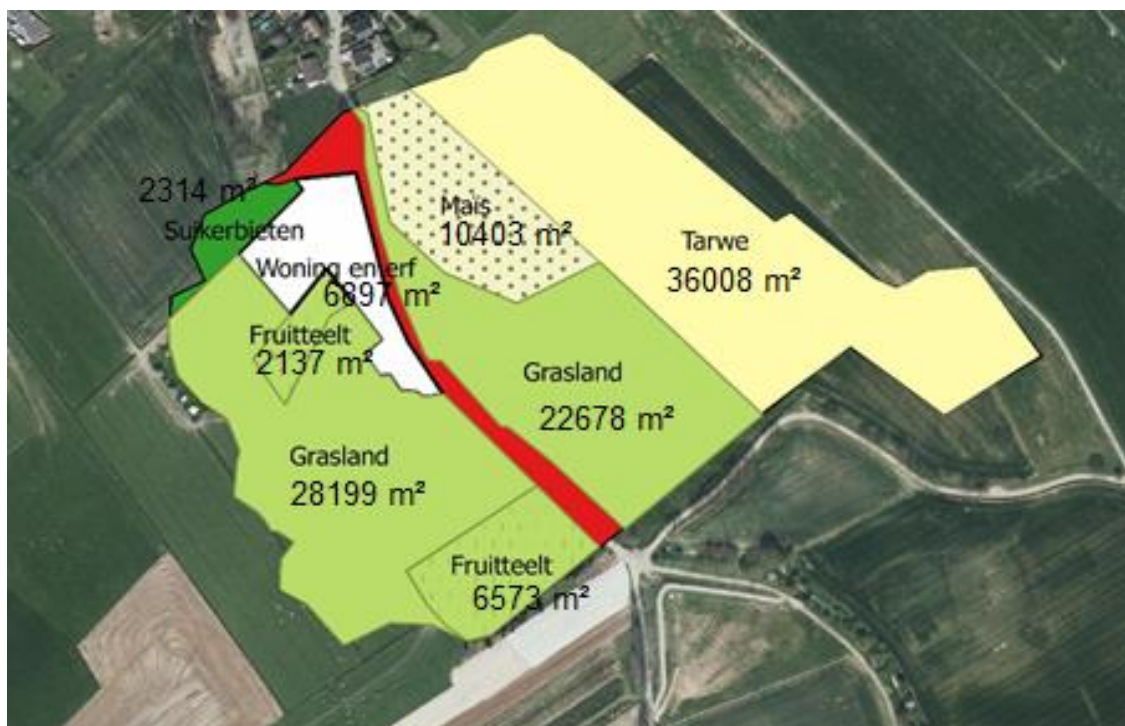
Figuur 6.1 Processchema totstandkoming maatregelenpakketten

Het resultaat van dit proces zijn drie maatregelenpakketten:

- Maatregelenpakket 40%
 - In dit pakket zijn de **eenvoudige** bronmaatregelen opgenomen die **weinig** impact hebben op de huidige bedrijfsvoering waarvoor draagvlak is vanuit de agrariërs. Door relatief **weinig** bronmaatregelen te treffen zijn er relatief **grote** end-of-pipe maatregelen nodig. Om erosieproblemen te verminderen zijn er stroombaanmaatregelen getroffen.
- Maatregelenpakket 60%
 - In dit pakket zijn bronmaatregelen opgenomen waar draagvlak **haalbaar** is vanuit zowel Waterschap Limburg als de agrariërs. Door relatief **meer eenvoudige** bronmaatregelen te treffen zijn er relatief **kleine** end-of-pipe maatregelen nodig. Om erosieproblemen te verminderen zijn er stroombaanmaatregelen getroffen.
- Maatregelenpakket 80%
 - In dit pakket zijn de **complexere** bronmaatregelen opgenomen waar draagvlak voor is vanuit Waterschap Limburg. Door **effectievere** bronmaatregelen te treffen zijn er relatief **kleine** end-of-pipe maatregelen nodig.

De maatregelen uit de maatregelenpakketten zijn (qua grootte) gedimensioneerd. Hiervoor zijn onderstaande uitgangspunten aangehouden:

- 50% van het neerslagvolume komt tot afstroming (zoals beschreven in paragraaf 4.3.1);
- Hellingspercentage in het focusgebied is gemiddeld 5% (figuur 4.10 uit paragraaf 4.3);
- 20% van de fruitteeltpercelen bestaat uit verdichte rijpaden;
- Perceeloppervlaktes uit figuur 6.2;
- De waterbuffers kunnen een waterschijf van één meter diep bergen.



Figuur 6.2 Oppervlaktes percelen focusgebied

- Het effect van de maatregelen 'drempeltjes bij ruggenteelt', 'dammen in stroombaan' en 'kuiltjespatroon aanbrengen aan het oppervlak' is niet gegarandeerd. Als voorbeeld: wanneer

- bij drempels bij ruggenteelt de drempels of aardappelrug wordt doorbroken ten gevolge van spoorvorming of erosie kan de drempel geen hemelwater vasthouden. Om deze reden is voor deze maatregelen een veiligheidsfactor van 2/3 aangenomen.
- In volledig verdichte grond infiltreert 0 millimeter. Wanneer de verdichting wordt opgegeven kan de bodem slechts 10 millimeter hemelwater infiltreren gedurende een vier uur durende bui (zoals beschreven in paragraaf 4.3);
 - Op de akkerbouwpercelen (maïs, tarwe, suikerbieten, aardappelen) vindt rotatie van teelten plaats. Ieder jaar wordt er een ander akkerbouwgewas op deze percelen verbouwd. Voor het dimensioneren van de maatregelen is wel rekening gehouden met de rotatie van gewassen;
 - De maatregel 'voorkomen verdichting' is niet meegenomen in de effectiviteitsberekening omdat het onbekend is in hoeverre hier nu mee wordt gewerkt.

Voor de kosten geldt dat enkel de kosten voor de agrariërs zijn weergegeven. De kosten voor het overtuigen van de betrokken en invoeren van de maatregelen zijn hierin niet meegenomen. Daarnaast is er in de tabellen in dit hoofdstuk via superscripts verwezen naar bronnen. Het betreft hier de volgende bronnen:

- ⁽¹⁾ (Jantowski, 2004)
- ⁽²⁾ (Bodembreed, 2012)
- ⁽³⁾ (M. de Redelijkheid, persoonlijke communicatie, 12 mei, 2017)
- ⁽⁴⁾ (Geelen, 2006)
- ⁽⁵⁾ (Visser, Guldmond & Van der Wal, 2012)
- ⁽⁶⁾ (www.gwwkosten.nl)
- ⁽⁷⁾ (BiodiverCity, 2011-b)
- ⁽⁸⁾ (BiodiverCity, 2011-a)

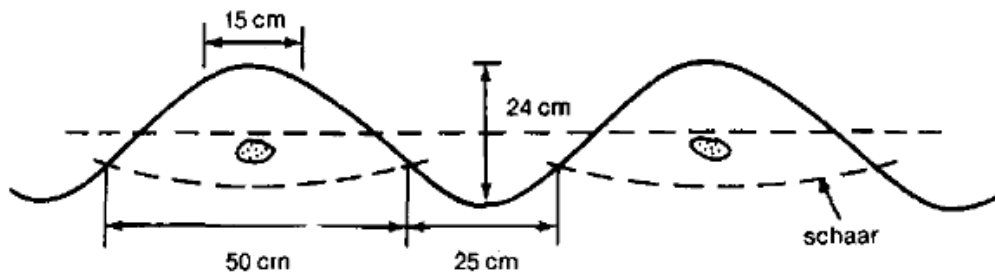
6.1 Maatregelenpakket 40% reductie

In deze paragraaf is maatregelenpakket 40% reductie (tabel 6.1) beschreven. De wateropgave in dit maatregelenpakket bedraagt, zoals uit tabel 4.3 uit paragraaf 4.3.1 blijkt, 1.320 m³ of 110 m³/ha. De inschatting voor het hydrologisch rendement is terug te vinden in bijlage 11.1.

Tabel 6.1 Maatregelenpakket 40% reductie hemelwaterafstroming

Categorie	40%	Ruimtebeslag	Hydrologisch rendement
Bronmaatregel	(a) Doorbreken verdichte laag ter plaatse van de rijpaden in de fruitteelt	0,87 ha	17,4 m ³
	(b) Natuurcompensatie erosiegevoelig perceel	0,25 ha	92,5 m ³
	(c) Drempeltjes bij ruggenteelt	3,6 ha	500 m ³
	(d) Voorkomen verdichting	Heel areaal	Tot 10 mm
Stroombaanmaatregel	(e) Zaaïen bij nauwere rijafstand	-	
	(f) Dubbele, kruisgewijze inzaai in stroombanen	-	
	(g) Gewasresten achterlaten na de oogst	Heel areaal	
End-of-pipe maatregel	(h) Grote waterbuffers	0,071 ha	710 m ³
	(i) Kleine buffers	0,071 ha	

- (a) In dit maatregelenpakket is het 'doorbreken van de verdichte laag ter plaatse van de rijpaden in de fruitteelt' toegepast op het gehele areaal aan fruitteelt. Dit leidt tot een extra infiltratie van $17,4 \text{ m}^3$.
- (b) Ter plaatse van het erosiegevoelige suikerbietenperceel is ter natuurcompensatie bloemrijke ruigte aangelegd. In deze ruigte is op circa 20% van het oppervlak gemiddeld 20 centimeter waterberging gecreëerd middels maaiveldverlagingen. Hierdoor ontstaat een extra waterberging van $92,5 \text{ m}^3$.
- (c) Door het aanleggen van drempeltjes bij ruggenteelt, op een perceel van 380 bij 100 meter, ontstaat er nog eens 500 m^3 waterberging. Hierbij is uitgegaan van drempels van 8 centimeter hoog tussen de 24 centimeter hoge aardappelruggen (figuur 6.3). De drempels zijn 20 centimeter lang. De tussenafstand tussen twee drempels bedraagt 45 centimeter (Bodembreed, 2012). Door deze tussenafstand zo klein mogelijk te maken wordt de kans op doorbreken verkleind. De hoeveelheid gerealiseerde waterberging door de drempels bij ruggenteelt verschilt jaarlijks door het rotatiesysteem van gewassen. Deze maatregel met deze afmetingen leidt op een perceel van één hectare tot een extra berging van 130 m^3 .

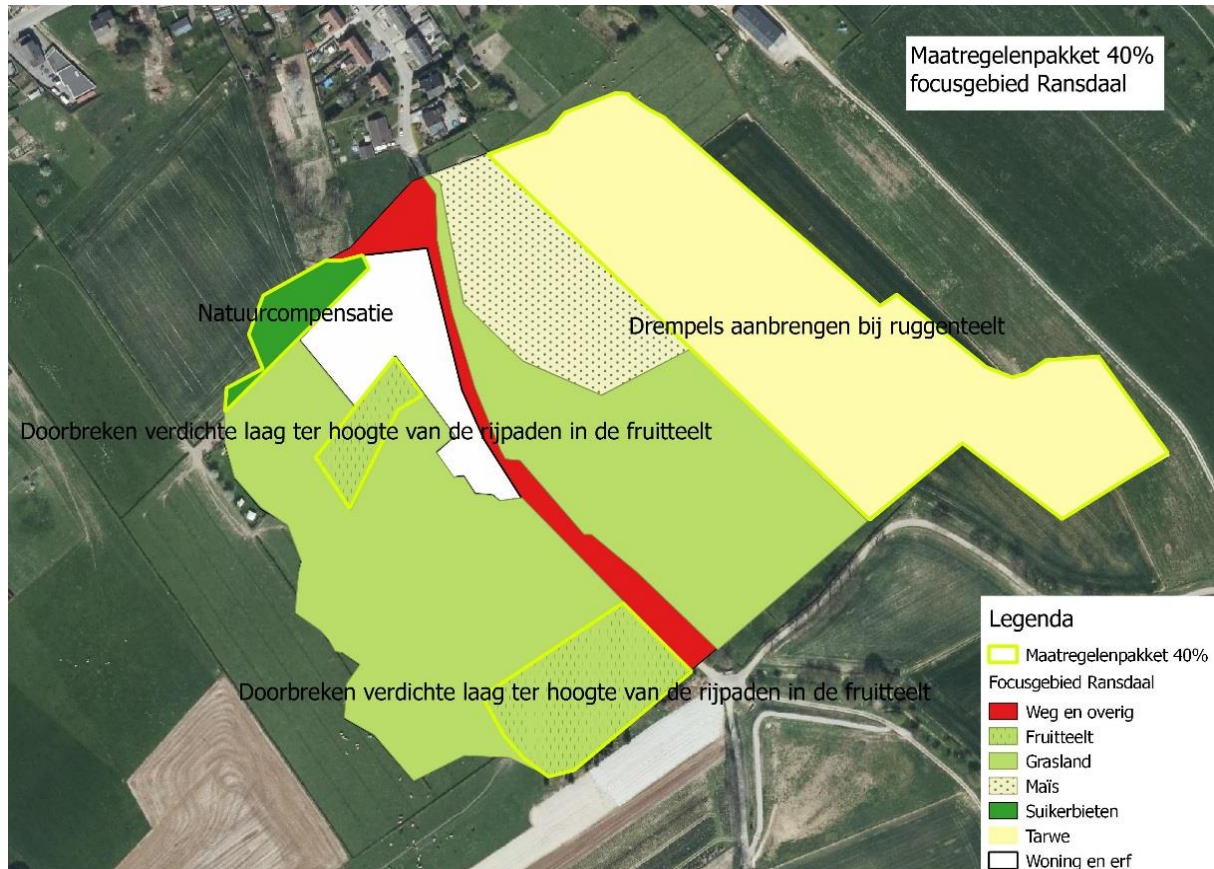


Figuur 6.3 Afmetingen aardappelruggen (De Jonge, 1981)

- (d) Voorkomen van verdichting is een maatregel die binnen ieder maatregelenpakket past en van belang is om toe te passen. Het daadwerkelijke effect is afhankelijk van de huidige mate van verdichting van de bodem. Deze maatregel kan tot 10 millimeter per oppervlak extra berging opleveren.
- (e) Deze maatregel is toegevoegd aan het maatregelenpakket om de gevolgen van het optreden van bodemerosie door afstromend hemelwater te verminderen. Er is aangeraden om waar mogelijk te zaaien bij een nauwere rijafstand. Hierdoor raakt de bodem sneller bedekt en zijn er meer wortels aanwezig om de bodem bij elkaar te houden. Hierdoor neemt de erosiegevoeligheid af. Dit kan worden toegepast als er op een perceel maïs wordt geteeld. De gangbare afstand tussen de rijen is hierbij 75 centimeter. Met kleine aanpassingen aan de zaaimachine kan deze afstand worden verkleind tot 45 centimeter.
- (f) Deze maatregel is toegevoegd aan het maatregelenpakket om de gevolgen van het optreden van bodemerosie door afstromend hemelwater te reduceren. Dubbel en kruisgewijs inzaaien in de stroombaan reduceert het optreden van bodemerosie.
- (g) Deze maatregel is toegevoegd aan het maatregelenpakket om de gevolgen van het optreden van bodemerosie door afstromend hemelwater te verminderen. Het achterlaten van gewasresten na de oogst zorgt voor een bodembedekking.
- (h/i) Met waterbuffers wordt de restopgave van minimaal 710 m^3 ingevuld.

In figuur 6.4 is een mogelijk inrichtingsplan van de maatregelen in het focusgebied weergegeven. De berekeningen voor de effectiviteit zijn op basis van dit inrichtingsplan gemaakt. In bijlage 10.1 is inrichtingsplan nader toegelicht.

De berekeningen van de hierboven beschreven effectiviteit van de maatregelen in het focusgebied zijn te vinden in bijlage 11.1.



Figuur 6.4 Mogelijk inrichtingsplan maatregelenpakket 40%

Na het uitvoeren van deze maatregelen is er een restopgave van tenminste 710 m³ water. Deze kan worden opgelost met buffers. We gaan ervan uit dat iedere perceeleigenaar verantwoordelijk is voor het bergen van het water dat van het eigen perceel afkomstig is. In onderstaand kader is een voorbeeld weergegeven van een mogelijke verdeling van de verantwoordelijkheid per perceeleigenaar. In dit voorbeeld is het rechterdeel van de weg in het focusgebied beschouwd. Uitgaande van een waterbuffer die een waterschijf van één meter diep kan bergen blijkt dat perceeleigenaar 171 op 465 m² water dient te bergen. Perceeleigenaar 172 dient op 235 m² water te bergen.

Voorbeeld: zodra er op het (tarwe)perceel gebruik gemaakt wordt van ruggenteelt kan de maatregel 'drempels bij ruggenteelt' worden toegepast. Op dit oppervlak heeft dit een reducerend effect van 500 m³, dit is 131 m³/ha. In het maatregelenpakket 40% dient er minimaal 110 m³/ha extra geborgen worden. Dit betekent dat particulier 171 en particulier 172 géén extra buffervoorziening hoeft aan te brengen op dit perceel. Zodra er geen ruggenteelt wordt toegepast is particulier 171 verantwoordelijk voor het bergen van (2,75 ha x 110 m³/ha) 305 m³ water op het perceel tarwe en is particulier 172 verantwoordelijk voor (0,45 ha x 110 m³/ha) 49,5 m³ water.

Zo geldt voor het maïspanceel, waarvoor in dit maatregelenpakket geen maatregelen worden getroffen, dat particulier 171 verantwoordelijk is voor het bergen van (0,9 x 110 m³/ha) 99 m³ water en dat particulier 172 verantwoordelijk is voor het bergen van (0,08 ha x 110 m³) 8,8 m³ water.

Tot slot geldt voor het perceel gras, waar in het 40% maatregelenpakket ook géén maatregelen worden getroffen, dat particulier 171 verantwoordelijk is voor het bergen van (0,55 ha x 110 m³/ha) 60,5 m³ water. Particulier 172 is op het perceel gras verantwoordelijk voor het bergen van (1,6 ha x 110 m³/ha) 176 m³ water.

6.1.1 Benodigde instrumenten

In tabel 6.2 is per maatregel binnen dit maatregelenpakket weergegeven welke instrumenten nodig zijn om deze maatregelen in te voeren. Waterschap Limburg heeft de voorkeur om betrokkenen te stimuleren maatregelen te nemen in plaats van deze via regelgeving op te leggen. Om de reden is voor vrijwel iedere maatregel aangegeven dat het informeren over belang en urgentie belangrijk is. Daarnaast is er aanbevolen een algemeen kennisplatform en adviescentrum worden geopend waar de perceeleigenaren voor vragen en advies terecht kunnen. Daarnaast is het voor sommige maatregelen nodig om extra onderzoek uit te voeren naar de werking en de inpasbaarheid. Dit onderzoek kan worden gecombineerd met demonstratieprojecten om de perceeleigenaren te overtuigen van de werking.

Tabel 6.2 Benodigde instrumenten maatregelenpakket 40%

Maatregelenpakket 40%	Instrumenten
Doorbreken verdichte laag ter plaatse van de rijpaden in de fruitteelt	- Informeren over belang en urgentie; - Onderzoek naar werking en mogelijke manieren; - Probleem en maatregelen onderbouwen met feiten; - Opnemen in GLB; - Regelen via groenblauwe diensten; - Kennisplatform en adviescentrum over toepassen maatregel.
Natuurcompensatie erosiegevoelig perceel	- Gronden verwerven en zelf grondgebruik veranderen en voorzieningen aanleggen.
Drempeltjes bij ruggenteelt (hoogte: 8 cm, tussenafstand: 45 cm) ⁽²⁾	- Informeren over belang en urgentie; - Kennisplatform en adviescentrum; - Gedifferentieerd belasting heffen; - Demonstratieproject om werking aan te tonen.
Voorkomen verdichting	- Kennisplatform of adviescentrum over voorkomen verdichting.
Zaaien bij nauwere rijafstand (maïs: 45 i.p.v. 75 cm) ⁽⁴⁾	- Informeren over belang en urgentie; - Wijzen op eigen belang en voordelen; - Kennisplatform en adviescentrum over toepassen maatregel.
Dubbele, kruisgewijze inzaai in stroombanen (breedte ≥ 3 m)	- Informeren over belang en urgentie; - Wijzen op eigen belang en voordelen; - Kennisplatform en adviescentrum over toepassen maatregel.
Gewasresten achterlaten na de oogst	- Eigen belang en voordeel aantonen; - Kennisplatform en adviescentrum over toepassen maatregel.
Grote waterbuffers	- Gronden verwerven en zelf grondgebruik veranderen en voorzieningen aanleggen; - Wettelijke zorgplicht tot bergen van een minimale hoeveelheid van 110 m³/ha.
Kleine buffers	- Gronden verwerven en zelf grondgebruik veranderen en voorzieningen aanleggen; - Wettelijke zorgplicht tot bergen van een minimale hoeveelheid van 110 m³/ha.

6.1.2 Kosten- en baten

In tabel 6.3 zijn de kosten, baten en mogelijke nadelen voor de maatregelen uit het maatregelenpakket 40% reductie van hemelwaterafstroming weergegeven. De eenheidsprijzen zijn per maatregel weergegeven.

Tabel 6.3 Kosten en baten maatregelenpakket 40%

Maatregelenpakket 40%	Kosten	Eenheid	Baten	Nadelen na invoeren maatregelen	Opmerking
Doorbreken verdichte laag ter plaatse van de rijpaden in de fruitteelt	€ 35 ⁽⁶⁾	per uur	- Vergroten infiltratiecapaciteit; - Reduceren afstromend hemelwater.	- Extra werkgang; - Aanschaf materieel.	De genoemde kosten zijn enkel voor de werkgang. Mogelijke aanschaf van het juiste materieel is hierin niet meegenomen.
Natuurcompensatie erosiegevoelig perceel	€ 83 ⁽⁸⁾	per ha	- Vergroten landschappelijke waarde; - Vergroten infiltratiecapaciteit; - Reduceren afstromend hemelwater.	- Areaalverlies perceeleigenaar; - Na aanplant duurt het lang voordat de werking optimaal is.	De beheerkosten zijn hierin niet meegenomen. Er is enkel gekeken naar de aanlegkosten. Er is ook niet gekeken naar kosten voor grondverwerving.
Drempeltjes bij ruggenteelt (hoogte: 8 cm, tussenafstand: 45 cm) ⁽²⁾	€ 40 ⁽²⁾	per ha	- Vergroten oppervlaktebuffering; - Reduceren afstromend hemelwater.	- Aanschaf of aanpassen pootmachine die drempels maakt; - Drempels moeten voor rooien worden verwijderd om rooidiepte gelijk te houden.	
Voorkomen verdichting	€ 0	per ha	- Vergroten infiltratiecapaciteit; - Verbeteren/behoud bodemstructuur; - Reduceren afstromend hemelwater.	- Gebruik vaste rijpaden vergt aanschaf materieel met GPS; - GPS in bosrijke omgeving kan problemen opleveren; - Controle naleven maatregel gecompliceerd.	Hiervoor zijn geen kosten opgenomen. De kosten hiervan zijn afhankelijk van de huidige stand per agrariër. Mogelijke kosten kunnen zijn de aanschaf van een tractor met GPS.
Zaaien bij nauwere rijafstand (maïs: 45 i.p.v. 75 cm) ⁽⁴⁾	€ 40 ⁽⁶⁾	per uur	- Eerdere, dichtere bodembedekking; - Verbeteren erosiebescherming.	- Aanschaf of aanpassen zaaimachine; - Meer zaad benodigd.	Voor de kosten is gekeken naar de kosten van een zaaiang. De kosten voor extra zaad en een aangepaste zaaimachine zijn niet meegenomen.
Dubbele, kruisgewijze inzaai in stroombanen (breedte ≥ 3 m)	€ 40 ⁽⁶⁾	per uur	- Eerdere, dichtere bodembedekking; - Verbeteren erosiebescherming in stroombaan.	- Extra werkgang; - Enkel effectief in periode dat gewas op het perceel staat; - Controleren maatregel ingewikkeld; - Meer zaad benodigd.	Voor de kosten is gekeken naar de kosten van een zaaiang. De kosten voor extra zaad zijn niet meegenomen.

Maatregelenpakket 40%	Kosten	Eenheid	Baten	Nadelen na invoeren maatregelen	Opmerking
Gewasresten achterlaten na de oogst	€ 250 ⁽¹⁾	per ha	- Verhogen humusgehalte; - Verbeteren bodemstructuur; - Verhogen stikstofgehalte bodem; - Vergroten infiltratiecapaciteit; - Vergroten erosiebescherming.		
Grote waterbuffers	€ 65 ⁽³⁾	per m ³	- Voorkomen wateroverlast in de kern.	- Areaalverlies perceeleigenaar; - Onderhoudskosten.	De kosten zijn exclusief de kosten voor de grondverwerving.
Kleine buffers	€ 65 ⁽³⁾	per m ³	- Voorkomen wateroverlast in de kern.	- Areaalverlies perceeleigenaar; - Onderhoudskosten; - Controle naleven gecompliceerd.	De kosten zijn exclusief de kosten voor de grondverwerving.

6.2 Maatregelenpakket 60% reductie

In deze paragraaf is maatregelenpakket 60% reductie (tabel 6.4) beschreven. Uit tabel 4.3 in paragraaf 4.3.1 blijkt dat er voor dit maatregelenpakket een bergingsopgave geldt van 1.980 m³ of 165 m³/ha. De inschatting voor het hydrologisch rendement is terug te vinden in bijlage 11.2.

Tabel 6.4 Maatregelenpakket 60% reductie hemelwaterafstroming

Categorie	60%	Ruimtebeslag	Hydrologisch rendement
Bronmaatregel	(a) Doorbreken verdichte laag ter plaatse van de rijpaden in de fruitteelt	0,21 ha	4,3 m ³
	(b) Voorkomen verdichting	Heel areaal	Tot 10 mm
	(c) Dammen in stroombaan	0,005 ha	8 m ³
	(d) Bosaanplant	1,25 ha	250 m ³
	(e) Kuiltjespatroon aan het oppervlak	3,83 ha	485 m ³
Stroombaanmaatregel	(f) Zaaïen bij nauwere rijafstand	-	-
	(g) Dubbele, kruisgewijze inzaai in stroombanen	-	-
	(h) Gewasresten achterlaten na de oogst	Heel areaal	-
	(i) Randenbeheer	-	-
End-of-pipe maatregel	(j) Grote waterbuffers	0,12 ha	1233 m ³
	(k) Kleine buffers	0,12 ha	

(a) In dit maatregelenpakket is het 'doorbreken van de verdichte laag ter plaatse van de rijpaden in de fruitteelt' enkel toegepast op het kleine fruitteeltperceel. Dit leidt tot een extra infiltratie van 4,3 m³.

(b) Voorkomen van verdichting is een maatregel die binnen ieder maatregelenpakket past en van belang is om toe te passen. Het daadwerkelijke effect is afhankelijk van de huidige mate van verdichting van de bodem. Deze maatregel kan tot 10 millimeter per oppervlak extra berging opleveren.

(c) Daarnaast is er in dit pakket aanbevolen om dammen in de stroombanen toe te passen. Deze dammen worden op hoeken van percelen toegepast en zijn bij voorkeur 0,50 meter hoog (Geelen, 2006) om het landschap zo min mogelijk te schaden. De dammen kunnen worden gemaakt van hout, stro, grond, et cetera. Doordat ze in een hoek worden geplaatst ontstaat er achter de dam van 20 meter (2 x 10 meter) 8 m³ waterberging. Hierin is rekening gehouden met een veiligheidsfactor van 2/3 omdat het risico bestaat dat de dammen breken.

(d) Het grotere, zuidelijk gelegen fruitteeltperceel is, gezamenlijk met een deel van het grasperceel, omgezet in bos. Hierdoor wordt de infiltratiecapaciteit vergroot tot 0,02 m³/ m² (De Redelijkheid, 2016). Dit leidt op dit oppervlak tot een vermindering van de bergingsopgave met 250 m³.

(e) De laatste bronmaatregel die er in dit pakket is aanbevolen, is aan het aanbrengen van een kuiltjespatroon vlak na de inzaai (bij voorkeur in dezelfde werkgang). Door deze kuiltjes ontstaat er een extra oppervlakteberging van 19 millimeter (Vermeulen, 2011). Als dit op het grote perceel aan de oostkant van het focusgebied is toegepast, zorgt dit voor een oppervlakteberging van 485 m³. Hierin is een veiligheidsfactor van 2/3 meegenomen, omdat het risico bestaat dat de kuiltjes door het alsnog afstromende hemelwater wegspoelen. De oppervlakteberging in het focusgebied is te optimaliseren als het maken van een kuiltjespatroon op meerdere percelen wordt toegepast.

(f) Deze maatregel is toegevoegd aan het maatregelenpakket om de gevolgen van het optreden van bodemerosie door afstromend hemelwater te reduceren. Er is aangeraden om waar mogelijk te zaaïen

bij een nauwere rijafstand. Hierdoor raakt de bodem sneller bedekt en zijn er meer wortels aanwezig om de bodem bij elkaar te houden. Hierdoor neemt de erosiegevoeligheid af. Dit kan worden toegepast als er op een perceel maïs wordt geteeld. De gangbare afstand tussen de rijen is hierbij 75 centimeter. Met kleine aanpassingen aan de zaaimachine kan deze afstand worden verkleind tot 45 centimeter

(g) Deze maatregel is toegevoegd aan het maatregelenpakket om de gevolgen van het optreden van bodemerosie door afstromend hemelwater te verminderen. Dubbel en kruisgewijs inzaaien in de stroombaan reduceert het optreden van bodemerosie

(h) Deze maatregel is toegevoegd aan het maatregelenpakket om de gevolgen van het optreden van bodemerosie door afstromend hemelwater te reduceren. Het achterlaten van gewasresten na de oogst zorgt voor een bodembedekking

(i) Deze maatregel is toegevoegd aan het maatregelenpakket om de gevolgen van het optreden van bodemerosie door afstromend hemelwater te verminderen. Hierbij worden stroken van 0,25 tot 12 meter ingezaaid om de bodem minder erosiegevoelig te maken. Als bijkomend effect levert deze maatregel een bijdrage aan de ecologie. Tabel 6.5 uit Visser, Guldemond & Van der Wal (2012) geeft weer in hoeverre de breedte van randenbeheer de ecologische waarde versterkt. In overleg kan de breedte van het randenbeheer worden vastgesteld.

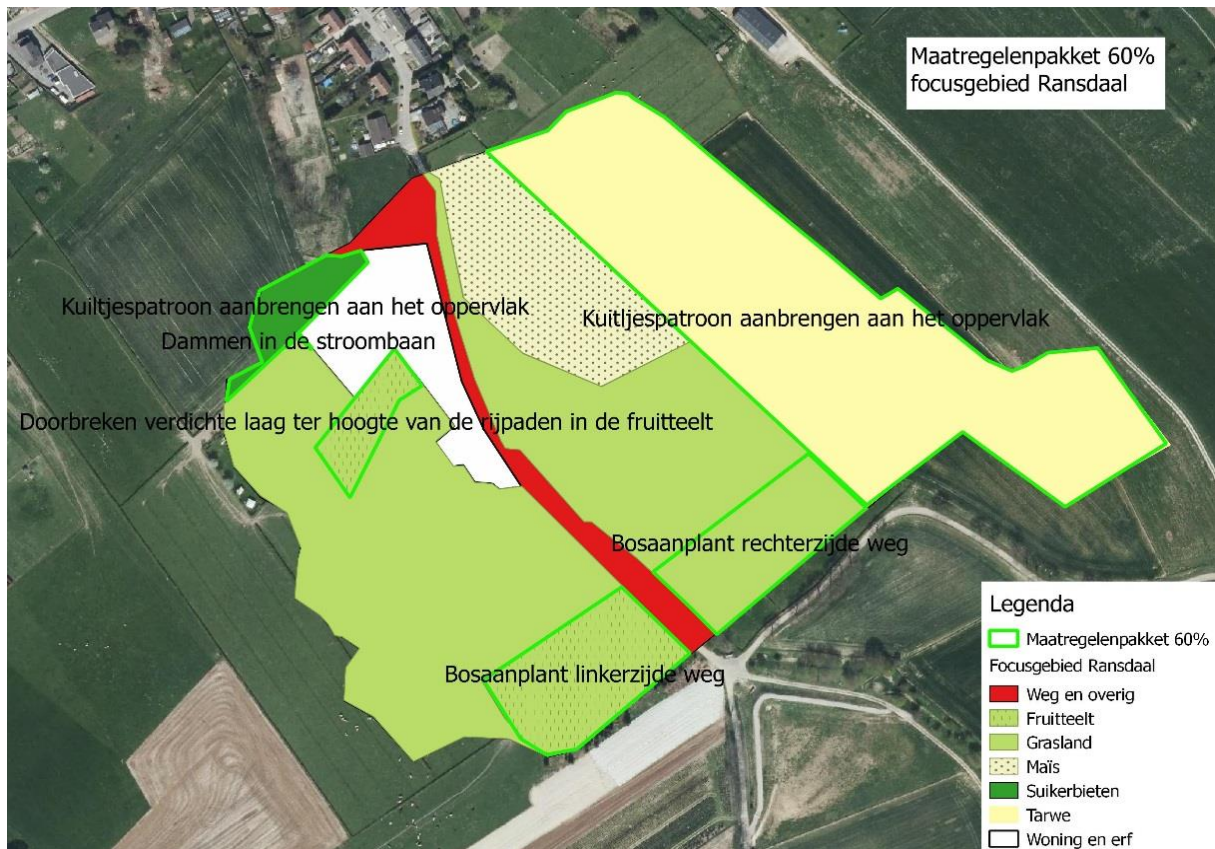
Tabel 6.5 Breedte randenbeheer (Visser, Guldemond & Van der Wal, 2012)

	Ondergrens (m)	Bovengrens* (m)
Gewasbescherming: drift	0,25 - 1,5 **	3
Gewasbescherming: afspoeling	1	***
Gewasbescherming: FAB en bestuivers	3	6
Nutriënten: af- en uitspoeling	3	12
Biodiversiteit: vogels	9	12
Biodiversiteit: zoogdieren (muizen)	3	12
Landschappelijke kwaliteit en recreatie	3	12
* Er wordt uitgegaan van een maximale breedte van de rand van 12 meter, omdat daar boven niet meer van een rand gesproken kan worden.		
** Op basis van LOTV. Minimaal 0,25 meter voor granen en maximaal 1,5 meter voor o.a. aardappel.		
*** Geen onderzoek over kunnen vinden; afhankelijk van neerslag(pieken) en aanwezigheid greppels		

(j/k) Met waterbuffers wordt de restopgave van minimaal 1.230 m³ ingevuld.

In figuur 6.5 is een mogelijk inrichtingsplan van de maatregelen in het focusgebied weergegeven. De berekeningen voor de effectiviteit zijn op basis van dit inrichtingsplan gemaakt. In bijlage 10.2 is het inrichtingsplan nader toegelicht.

De berekeningen van de hierboven beschreven effectiviteit van de maatregelen in het focusgebied zijn te vinden in bijlage 11.2.



Figuur 6.5 Mogelijk inrichtingsplan maatregelenpakket 60%

Na het uitvoeren van deze maatregelen is er een restopgave van tenminste 1.233 m³ water. Deze kan worden opgelost met buffers. We gaan ervan uit dat iedere perceeleigenaar verantwoordelijk is voor het bergen van het water dat van het eigen perceel afkomstig is. In onderstaand kader is een voorbeeld weergegeven van een mogelijke verdeling van de verantwoordelijkheid per perceeleigenaar. In dit voorbeeld is het rechterdeel van de weg in het focusgebied beschouwd. Uitgaande van een waterbuffer die een waterschijf van één meter diep kan bergen blijkt dat perceeleigenaar 171 op 345 m² water dient te bergen. Perceeleigenaar 172 dient op 225 m² water te bergen.

Voorbeeld: binnen dit maatregelenpakket wordt op het tarweperceel 'kuiltjespatroon aanbrengen aan het oppervlak' toegepast. Dit zorgt voor een berging van 485 m³, dit is 127 m³/ha. Naast deze maatregel dient er nog (165 m³/ha – 127 m³/ha) 38 m³/ha water geborgen te worden. Particulier 171 dient op het tarweperceel nog (2,75 ha x 38 m³/ha) 104,5 m³ water te bergen. Particulier 172 is verantwoordelijk voor het bergen van (0,45 ha x 38 m³/ha) 17,1 m³ water.

Zo geldt voor het maisperceel, waarvoor in dit maatregelenpakket geen maatregelen worden getroffen, dat particulier 171 verantwoordelijk is voor het bergen van (0,9 x 165 m³/ha) 148,5 m³ water en dat particulier 172 verantwoordelijk is voor het bergen van (0,08 ha x 165 m³/ha) 13,2 m³ water.

Op het grasperceel wordt in dit maatregelenpakket 0,6 ha bos aangeplant. Dit gebeurt op het eigendom van particulier 172. Deze maatregel zorgt voor een berging van 118 m³/ha. Op het perceel waar bos is aangeplant dient nog (165 m³/ha - 118 m³/ha) 47 m³/ha geborgen te worden. Voor het resterende areaal gras (1,6 ha- 0,6 ha) dient nog 165 m³/ha geborgen te worden. Particulier 172 is verantwoordelijk voor het bergen van (1,0 ha x 165 m³/ha) 165 m³ en (0,6 ha x 47 m³/ha) 28,2 m³ water. Particulier 171 is verantwoordelijk voor het bergen van (0,55 ha x 165 m³/ha) 90,75 m³ water.

6.2.1 Benodigde instrumenten

In tabel 6.6 is per maatregel binnen dit maatregelenpakket weergegeven welke instrumenten nodig zijn om deze maatregelen in te voeren. Waterschap Limburg heeft de voorkeur om betrokkenen te stimuleren maatregelen te nemen in plaats van deze via regelgeving op te leggen. Om de reden is voor vrijwel iedere maatregel aangegeven dat het informeren over belang en urgentie belangrijk is. Daarnaast wordt er aanbevolen een algemeen kennisplatform en adviescentrum worden geopend waar de perceeleigenaren voor vragen en advies terecht kunnen. Daarnaast is het voor sommige maatregelen nodig om extra onderzoek uit te voeren naar de werking en de inpasbaarheid. Dit onderzoek kan worden gecombineerd met demonstratieprojecten om de perceeleigenaren te overtuigen van de werking.

Tabel 6.6 Benodigde instrumenten maatregelenpakket 60%

Maatregelenpakket 60%	Instrumenten
Doorbreken verdichte laag ter plaatse van de rijpaden in de fruitteelt	- Informeren over belang en urgentie; - Onderzoek naar werking en mogelijke manieren; - Probleem en maatregelen onderbouwen met feiten; - Opnemen in GLB; - Regelen via groenblauwe diensten; - Kennisplatform en adviescentrum over toepassen maatregel.
Voorkomen verdichting	- Kennisplatform of adviescentrum over voorkomen verdichting.
Dammen in stroombaan (hoogte: ≥ 50 cm, breedte stroombaanbreed (10 m)) ⁽⁴⁾	- Informeren over belang en urgentie; - Subsidieregeling bij wateroverlast door dammen; - Eisen stellen aan pachtgronden
Bosaanplant	- Gronden verwerven en zelf grondgebruik veranderen en voorzieningen aanleggen.
Kuiltjespatroon aan het oppervlak	- Informeren over belang en urgentie; - Kennisplatform en adviescentrum; - Demonstratieprojecten om werking aan te tonen; - Gedifferentieerd belasting heffen; - Aanschaf machine deels vergoeden vanuit groenblauwe diensten.
Zaaien bij nauwere rijafstand (maïs: 45 i.p.v. 75 cm) ⁽⁴⁾	- Informeren over belang en urgentie; - Wijzen op eigen belang en voordelen; - Kennisplatform en adviescentrum over toepassen maatregel.
Dubbele, kruisgewijze inzaai in stroombanen (breedte ≥ 3 m)	- Informeren over belang en urgentie; - Wijzen op eigen belang en voordelen; - Kennisplatform en adviescentrum over toepassen maatregel.
Gewasresten achterlaten na de oogst	- Eigen belang en voordeel aantonen; - Kennisplatform en adviescentrum over toepassen maatregel.
Randenbeheer (breedte 1-12 m) ⁽⁵⁾	- Informeren over belang en urgentie; - Kennisplatform en adviescentrum over maatregel; - Financiële compensatie vanuit groenblauwe diensten; - Aantonen dat de grond die gebruikt wordt voor randenbeheer ook agrariërs kan worden benut.
Grote waterbuffers	- Gronden verwerven en zelf grondgebruik veranderen en voorzieningen aanleggen; - Wettelijke zorgplicht tot bergen van een minimale hoeveelheid van 165 m³/ha.
Kleine buffers	- Gronden verwerven en zelf grondgebruik veranderen en voorzieningen aanleggen; - Wettelijke zorgplicht tot bergen van een minimale hoeveelheid van 165 m³/ha.

6.2.2 Kosten- en baten

In tabel 6.7 zijn de kosten, baten en mogelijke nadelen voor de maatregelen uit het maatregelenpakket 60% reductie van hemelwaterafstroming weergegeven. De eenheidsprijzen zijn per maatregel weergegeven.

Tabel 6.7 Kosten en baten maatregelenpakket 60%

Maatregelenpakket 60%	Kosten	Eenheid	Baten	Nadelen na invoeren maatregelen	Opmerking
Doorbreken verdichte laag ter plaatse van de rijpaden in de fruitteelt	€ 35 ⁽⁶⁾	per uur	- Vergroten infiltratiecapaciteit; - Reduceren afstromend hemelwater.	- Extra werkgang; - Aanschaf materieel.	De genoemde kosten zijn enkel voor de werkgang. Mogelijke aanschaf van het juiste materieel is hierin niet meegenomen.
Voorkomen verdichting	€ 0	per ha	- Vergroten infiltratiecapaciteit; - Verbeteren/behoud bodemstructuur; - Reduceren afstromend hemelwater.	- Gebruik vaste rijpaden vergt aanschaf materieel met GPS; - GPS in bosrijke omgeving kan problemen opleveren; - Controle naleven maatregel gecompliceerd.	Hiervoor zijn geen kosten opgenomen. De kosten hiervan zijn afhankelijk van de huidige stand per agrariër. Mogelijke kosten kunnen zijn de aanschaf van een tractor met GPS.
Dammen in stroombaan (hoogte: ≥ 50 cm, breedte stroombaanbreed (10 m)) ⁽⁴⁾	€ 100 ⁽¹⁾	per stuk	- Reduceren afstromend hemelwater; - Tijdelijk bufferen; - Sedimentering eroderend materiaal.	- Mogelijk areaalverlies agrariërs; - Zorgt ook voor buffering op perceel bij buien kleiner dan T=100.	
Bosaanplant	€ 220 ⁽⁷⁾	per are	- Vergroten landschappelijke waarde; - Vergroten infiltratiecapaciteit; - Reduceren afstromend hemelwater.	- Areaalverlies agrariërs; - Na aanplant duurt het lang voordat de werking optimaal is.	De beheerkosten zijn hierin niet meegenomen, enkel de aanlegkosten. De kosten voor het werven van eventuele gronden zijn hierin niet meegenomen.
Kuiltjespatroon aan het oppervlak	€ 40 ⁽⁶⁾	per uur	- Vergroten oppervlakteberging; - Reduceren afstromend hemelwater.	- Kans op doorbreken bij hevige buien; - Mogelijk diepere groundbewerking nodig, vergt nader onderzoek.	De genoemde kosten zijn enkel voor de werkgang. Mogelijke aanschaf van het juiste materieel is hierin niet meegenomen.
Zaaien bij nauwere rijafstand (maïs: 45 i.p.v. 75 cm) ⁽⁴⁾	€ 40 ⁽⁶⁾	per uur	- Eerdere, dichtere bodembedekking; - Verbeteren erosiebescherming.	- Aanschaf of aanpassen zaaimachine; - Meer zaad benodigd.	Voor de kosten is gekeken naar de kosten van een zaaigang. De kosten voor extra zaad en een aangepaste zaaimachine zijn niet meegenomen.

Maatregelenpakket 60%	Kosten	Eenheid	Baten	Nadelen na invoeren maatregelen	Opmerking
Dubbele, kruisgewijze inzaai in stroombanen (breedte ≥ 3 m)	€ 40 ⁽⁶⁾	per uur	- Eerdere, dichtere bodembedekking; - Verbeteren erosiebescherming in stroombaan.	- Extra werkgang; - Enkel effectief in periode dat gewas op het perceel staat; - Controleren maatregel ingewikkeld; - Meer zaad benodigd.	Voor de kosten is gekeken naar de kosten van een zaaigang. De kosten voor extra zaad zijn niet meegenomen.
Gewasresten achterlaten na de oogst	€ 250 ⁽¹⁾	per ha	- Verhogen humusgehalte; - Verbeteren bodemstructuur; - Verhogen stikstofgehalte bodem; - Vergroten infiltratiecapaciteit; - Vergroten erosiebescherming.		
Randenbeheer (breedte 1-12 m) ⁽⁵⁾	€ 500 ⁽¹⁾	per 1000 m ²	- Vergroten infiltratiecapaciteit; - Remmen afstromend hemelwater; - Vergroten landschappelijke waarde; - Vergroten biodiversiteit; - Vergroten erosiebescherming;	- Beperkt areaal verlies doordat randenbeheer kan worden ingezet in bedrijfsvoering; - Mogelijk opsplitsen van percelen; - Vergroten biodiversiteit en landschappelijke kwaliteit.	
Grote waterbuffers	€ 65 ⁽³⁾	per m ³	- Voorkomen wateroverlast in de kern.	- Areaalverlies perceeleigenaar; - Onderhoudskosten.	De kosten zijn exclusief de kosten voor de grondverwerving.
Kleine buffers	€ 65 ⁽³⁾	per m ³	- Voorkomen wateroverlast in de kern.	- Areaalverlies perceeleigenaar; - Onderhoudskosten; - Controle naleven gecompliceerd.	De kosten zijn exclusief de kosten voor de grondverwerving.

6.3 Maatregelenpakket 80% reductie

In deze paragraaf is maatregelenpakket 80% reductie (tabel 6.8) beschreven. Zoals uit tabel 4.3 in paragraaf 4.3.1 blijkt, is de bergingsopgave voor dit maatregelenpakket 2.640 m³ of 220 m³/ha. De inschatting voor het hydrologisch rendement is terug te vinden in bijlage 11.3.

Tabel 6.8 Maatregelenpakket 80% reductie hemelwaterafstroming

Categorie	80%	Ruimtebeslag	Hydrologisch rendement
Bronmaatregel	(a) Doorbreken verdichte laag ter plaatse van de rijpaden in de fruitteelt	0,87 ha	17,4 m ³
	(b) No-tillage	4,7 ha	300 m ³
	(c) Voorkomen verdichting		Tot 10 mm
	(d) Bosaanplant	2,8 ha	564 m ³
Stroombaanmaatregel	(e) Zaaïen bij nauwere rijafstand	-	-
	(f) Voedergewas gehele plant silage	Maïsareaal	-
	(g) Dubbele, kruisgewijze inzaai in stroombanen	-	-
	(h) Grasbanen in stroombanen	-	-
End-of-pipe maatregel	(i) Grote waterbuffers	0,18 ha	1760 m ³

(a) Het 'doorbreken van de verdichte laag ter plaatse van de rijpaden in de fruitteelt' is in dit pakket toegepast op het gehele areaal aan fruitteelt. Dit leidt tot een extra berging van 17,4 m³

(b) In dit maatregelenpakket is het no-tillage principe aanbevolen. Volgens Sun et al. (2015) vermindert no-tillage de afstroming met nog eens 22% vergeleken met NKG*. Dit levert over alle akkerbouwgronden in het focusgebied een totale afstromingsreductie van 300 m³ op. Overige erosiereducerende maatregelen hoeven niet meer getroffen te worden.

(c) Voorkomen van verdichting is een maatregel die binnen ieder maatregelenpakket past en van belang is om toe te passen. Het daadwerkelijke effect is afhankelijk van de huidige mate van verdichting van de bodem. Deze maatregel kan tot 10 millimeter per oppervlak extra berging opleveren.

(d) In dit pakket is het grote grasperceel omgezet in bospercelen. Doordat bos een grotere infiltratie- en bergingscapaciteit heeft, kan er 564 m³ worden geborgen.

(e) Deze maatregel is toegevoegd aan het maatregelenpakket om de gevolgen van het optreden van bodemerrosie door afstromend hemelwater te verminderen. Er is aangeraden om waar mogelijk te zaaïen bij een nauwere rijafstand. Hierdoor raakt de bodem sneller bedekt en zijn er meer wortels aanwezig om de bodem bij elkaar te houden. Hierdoor neemt de erosiegevoeligheid af. Dit kan worden toegepast als er op een perceel maïs wordt geteeld. De gangbare afstand tussen de rijen is hierbij 75 centimeter. Met kleine aanpassingen aan de zaaimachine kan deze afstand worden verkleind tot 45 centimeter

(f) Daarnaast is aangeraden om erosiegevoelige teelten zoals maïs om te zetten in gehele plant silage. Deze producten hebben een eerdere en betere bodembedekking waardoor de erosiegevoeligheid afneemt

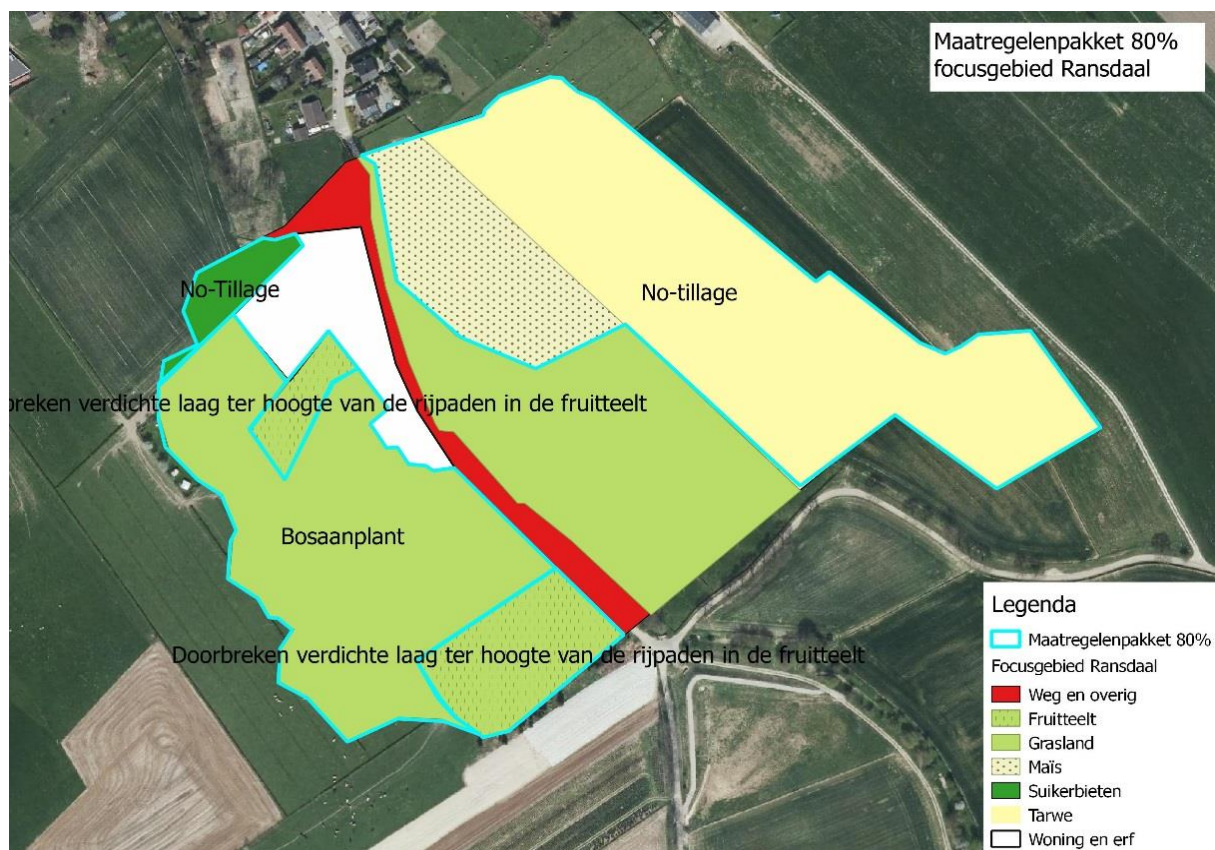
(g) Deze maatregel is toegevoegd aan het maatregelenpakket om de gevolgen van het optreden van bodemerrosie door afstromend hemelwater te reduceren. Dubbel en kruisgewijs inzaaien in de stroombaan reduceert het optreden van bodemerrosie

(h) Deze maatregel is toegevoegd aan het maatregelenpakket om de gevolgen van het optreden van bodemerosie door afstromend hemelwater te verminderen. De grasbanen verminderen het optreden van bodemerosie, daarbij kunnen grasbanen in de stroombaan functioneren als geleidingsstrook naar een waterbuffer. In tegenstelling tot (g) functioneert deze maatregel het gehele jaar.

(i) Met waterbuffers wordt de restopgave van minimaal 1.760 m³ ingevuld.

In figuur 6.6 is een mogelijk inrichtingsplan van de maatregelen in het focusgebied weergegeven. De berekeningen voor de effectiviteit zijn op basis van dit inrichtingsplan gemaakt. In bijlage 10.3 is het inrichtingsplan nader toegelicht.

De berekeningen van de hierboven beschreven effectiviteit van de maatregelen in het focusgebied zijn te vinden in bijlage 11.3.



Figuur 6.6 Mogelijk inrichtingsplan maatregelenpakket 80%

Na het uitvoeren van deze maatregelen is er een restopgave van tenminste 1.760 m³ water. Deze kan worden opgelost met buffers. We gaan ervan uit dat iedere perceeleigenaar verantwoordelijk is voor het bergen van het water dat van het eigen perceel afkomstig is. In onderstaand kader is een voorbeeld weergegeven van een mogelijke verdeling van de verantwoordelijkheid per perceeleigenaar. In dit voorbeeld is het rechterdeel van de weg in het focusgebied beschouwd. Uitgaande van een waterbuffer die een waterschijf van één meter diep kan bergen blijkt dat perceeleigenaar 171 op 685 m² water dient te bergen. Perceeleigenaar 172 dient op 430 m² water te bergen.

Voorbeeld: Binnen dit maatregelenpakket wordt er no-tillage toegepast op het tarweperceel en op het maïisperceel. No-tillage zorgt voor een reductie in afstromend hemelwater van $0,0065 \text{ m}^3/\text{m}^2$, dit is $65 \text{ m}^3/\text{ha}$. Op het tarwe- en het maïs perceel dient nog $(220 \text{ m}^3/\text{ha} - 65 \text{ m}^3/\text{ha}) 155 \text{ m}^3/\text{ha}$ geborgen te worden. Particulier 171 is verantwoordelijk voor het bergen $(2,75 \text{ ha} \times 155 \text{ m}^3/\text{ha}) 426 \text{ m}^3$ water op het tarwe perceel en $(0,9 \text{ ha} \times 155 \text{ m}^3/\text{ha}) 139,5 \text{ m}^3$ water op het maïs perceel. Particulier 172 is verantwoordelijk voor het bergen van $(0,45 \text{ ha} \times 155) 70 \text{ m}^3$ water op het tarwe perceel en voor $(0,08 \text{ ha} \times 155) 12,4 \text{ m}^3$ op het maïs perceel.

Op het grasperceel worden in het 80% maatregelenpakket geen maatregelen getroffen. Particulier 171 is verantwoordelijk voor het bergen van $(0,55 \text{ ha} \times 220 \text{ m}^3/\text{ha}) 121 \text{ m}^3$ water, particulier 172 is verantwoordelijk voor $(1,6 \text{ ha} \times 220 \text{ m}^3/\text{ha}) 350 \text{ m}^3$ waterberging.

6.3.1 Benodigde instrumenten

In tabel 6.9 is per maatregel binnen dit maatregelenpakket weergegeven welke instrumenten nodig zijn om deze maatregelen in te voeren. Waterschap Limburg heeft de voorkeur om betrokkenen te stimuleren maatregelen te nemen in plaats van deze via regelgeving op te leggen. Om de reden is voor vrijwel iedere maatregel aangegeven dat het informeren over belang en urgentie belangrijk is. Daarnaast is aanbevolen een algemeen kennisplatform en adviescentrum worden geopend waar de perceeleigenaren voor vragen en advies terecht kunnen. Daarnaast is het voor sommige maatregelen nodig om extra onderzoek uit te voeren naar de werking en de inpasbaarheid. Dit onderzoek kan worden gecombineerd met demonstratieprojecten om de perceeleigenaren te overtuigen van de werking.

Tabel 6.9 Benodigde instrumenten maatregelenpakket 80%

Maatregelenpakket 80%	Instrumenten
No-tillage	- Informeren en overtuigen middels pilots, demonstraties, onderzoeken, excursies naar no-tillage bedrijven; - Kennisplatform en adviescentrum; - Lonkend perspectief schetsen; - Opnemen in GLB; - Eigen belang en voordeel aantonen.
Doorbreken verdichte laag ter plaatse van de rijpaden in de fruitteelt	- Informeren over belang en urgentie; - Onderzoek naar werking en mogelijke manieren; - Probleem en maatregelen onderbouwen met feiten; - Opnemen in GLB; - Regelen via groenblauwe diensten; - Kennisplatform en adviescentrum over toepassen maatregel.
Voorkomen verdichting	- Kennisplatform of adviescentrum over voorkomen verdichting.
Bosaanplant	- Gronden verwerven en zelf grondgebruik veranderen en voorzieningen aanleggen.
Zaaïen bij nauwere rijafstand (maïs: $45 \text{ i.p.v. } 75 \text{ cm}$) ⁽⁴⁾	- Informeren over belang en urgentie; - Wijzen op eigen belang en voordelen; - Kennisplatform en adviescentrum over toepassen maatregel.
Dubbele, kruisgewijze inzaai in stroombanen (breedte $\geq 3 \text{ m}$)	- Informeren over belang en urgentie; - Wijzen op eigen belang en voordelen; - Kennisplatform en adviescentrum over toepassen maatregel.
Grasbanen in stroombanen (breedte $\geq 3 \text{ m}$) ⁽⁴⁾	- Areaalverlies en moeilijkere bewerking compenseren met subsidieregeling.
Grote waterbuffers	- Gronden verwerven en zelf grondgebruik veranderen en voorzieningen aanleggen; - Wettelijke zorgplicht tot bergen van een minimale hoeveelheid van $220 \text{ m}^3/\text{ha}$.

6.3.2 Kosten- en baten

In tabel 6.10 zijn de kosten, baten en mogelijke nadelen voor de maatregelen uit het maatregelenpakket 80% reductie van hemelwaterafstroming weergegeven. De eenheidsprijzen zijn per maatregel weergegeven.

Tabel 6.10 Kosten en baten maatregelenpakket 80%

Maatregelenpakket 80%	Kosten	Eenheid	Baten	Nadelen na invoeren maatregelen	Opmerking
No-tillage	€ 0	per ha	- Vergroten infiltratiecapaciteit; - Reduceren bodemerosie; - Reduceren afstromend hemelwater; - Toename organische stof en bodemleven; - Minder arbeid; - Minder brandstofverbruik; - Bodemstructuur verbeterd.	- Meer schimmels en slakken verwacht in gewas; - Lagere bodemtemperatuur bij ontkieming.	De kosten vallen per saldo positief uit. De 5 tot 10% lagere opbrengst wordt meer dan gecompenseerd door besparing op arbeid en brandstof (bijlage 13). Verplichte najaarsbewerking uit GLB halen.
Doorbreken verdichte laag ter plaatse van de rijpaden in de fruitteelt	€ 35 ⁽⁶⁾	per uur	- Vergroten infiltratiecapaciteit; - Reduceren afstromend hemelwater.	- Extra werkgang; - Aanschaf materieel.	De genoemde kosten zijn enkel voor de werkgang. Mogelijke aanschaf van het juiste materieel is hierin niet meegenomen.
Voorkomen verdichting	€ 0	per ha	- Vergroten infiltratiecapaciteit; - Verbeteren/behoud bodemstructuur; - Reduceren afstromend hemelwater.	- Gebruik vaste rijpaden vergt aanschaf materieel met GPS; - GPS in bosrijke omgeving kan problemen opleveren; - Controle naleven maatregel gecompliceerd.	Hiervoor zijn geen kosten opgenomen. De kosten hiervan zijn afhankelijk van de huidige stand per agrariër. Mogelijke kosten kunnen zijn de aanschaf van een tractor met GPS.
Bosaanplant	€ 220 ⁽⁷⁾	per are	- Vergroten landschappelijke waarde; - Vergroten infiltratiecapaciteit; - Reduceren afstromend hemelwater.	- Areaalverlies agrariërs; - Na aanplant duurt het lang voordat de werking optimaal is.	De beheerkosten zijn hierin niet meegenomen, enkel de aanlegkosten. De kosten voor het werven van eventuele gronden zijn hierin niet meegenomen.

Maatregelenpakket 80%	Kosten	Eenheid	Baten	Nadelen na invoeren maatregelen	Opmerking
Zaaïen bij nauwere rijafstand (maïs: 45 i.p.v. 75 cm) ⁽⁴⁾	€ 40 ⁽⁶⁾	per uur	- Eerdere, dichtere bodembedekking; - Verbeteren erosiebescherming.	- Aanschaf of aanpassen zaaimachine; - Meer zaad benodigd.	Voor de kosten is gekeken naar de kosten van een zaaigang. De kosten voor extra zaad en een aangepaste zaaimachine zijn niet meegenomen.
Dubbele, kruisgewijze inzaai in stroombanen (breedte ≥ 3 m)	€ 40 ⁽⁶⁾	per uur	- Eerdere, dichtere bodembedekking; - Verbeteren erosiebescherming in stroombaan.	- Extra werkgang; - Enkel effectief in periode dat gewas op het perceel staat; - Controleren maatregel ingewikkeld; - Meer zaad benodigd.	Voor de kosten is gekeken naar de kosten van een zaaigang. De kosten voor extra zaad zijn niet meegenomen.
Grasbanen in stroombanen (breedte ≥ 3 m) ⁽⁴⁾	€ 750 ⁽¹⁾	per 1000 m ²	- Verbeteren erosiebescherming; - Voorkomen ontstaan erosiegeulen; - Geleidingsbaan naar eventuele buffer.	- Beperkt areaalverlies - Opsplitsing percelen	
Grote waterbuffers	€ 65 ⁽³⁾	per m ³	- Voorkomen wateroverlast in de kern.	- Areaalverlies perceeleigenaar; - Onderhoudskosten.	De kosten zijn exclusief de kosten voor de grondverwerving.

6.4 Samenwerking met Waterschap Limburg

De totale bergingsopgave voor het focusgebied bedraagt 3.300 m³. Bij het 40% reducerende maatregelenpakket is 1.320 m³ geborgen in het landelijke gebied, er komt nog 1.980 m³ water tot afstroming. Bij het 60% reducerende maatregelenpakket is er 1.980 m³ water geborgen waardoor er nog 1.320 m³ water tot afstroming komt. Bij het 80% reducerende maatregelenpakket is 2.640 m³ water geborgen, er komt nog 660 m³ water tot afstroming.

Met enkel bronmaatregelen worden de genoemde percentages in het focusgebied niet gehaald. Een mogelijkheid om deze hoeveelheid water te kunnen bergen is door het toepassen van kleinere buffers bovenstrooms en grotere buffers vlak voor de dorps- of stadskern. Om deze maatregel zo optimaal mogelijk toe te passen is duidelijke overeenstemming en samenwerking tussen Waterschap Limburg en de perceeleigenaren vereist.

6.5 Conclusie maatregelenpakketten

Om de gewenste reductie te halen is een combinatie van bron-, stroombaan- en end-of-pipe maatregelen nodig. In de pakketten waarin de gevraagde reductie groter is, hebben de bronmaatregelen relatief meer effect dan bij de kleinere maatregelenpakketten. Echter leidt dit er niet toe dat de end-of-pipe maatregelen direct kleiner worden. Doordat de wateropgave dusdanig veel groter wordt, moeten de end-of-pipe maatregelen een groter deel van de bergingsopgave invullen. De effectiviteit van de bronmaatregelen is voor een groot deel afhankelijk van de infiltratiecapaciteit van

65 (83)

de bodem. Doordat de leemlaag de infiltratiecapaciteit beperkt is het met deze maatregelen niet mogelijk om de gewenste bergingsopgave met enkel bronmaatregelen te halen. De restopgave van de verschillende pakketten staat niet in verhouding met de effectiviteit van de bronmaatregelen. Dit is weergegeven in tabel 6.11. De bergingsopgave neemt toe met 20% per maatregelenpakket. De effectiviteit van de bronmaatregelen neemt ook toe, maar met circa 5% per maatregelenpakket. De toename van de bergingsopgave is niet evenredig met de toename van de effectiviteit van de bronmaatregelen. Het gevolg hiervan is dat de restopgave voor de end-of-pipe-maatregelen per maatregelenpakket in verhouding groter wordt.

Tabel 6.11 Reductie door bronmaatregelen ten opzichte van bergingsopgave

	40%	60%	80%	100%
Bergingsopgave [m ³]	1320	1980	2640	3314
Bronmaatregelen totaal [m ³]	610	747	880	
End-of-pipemaatregelen totaal [m ³]	710	1233	1760	
Reductie door bronmaatregelen t.o.v. bergingsopgave focusgebied	18%	23%	27%	
Restopgave end-of-pipe maatregelen t.o.v. bergingsopgave focusgebied	22%	37%	53%	

Het 40%-pakket omvat voornamelijk maatregelen waar draagvlak voor is bij de agrariërs. Het gaat hierin om eenvoudig in te voeren maatregelen met weinig invloed op de bedrijfsvoering. Echter sluiten deze maatregelen minder aan bij de wensen van Waterschap Limburg. Dit maakt het implementeren, ondanks de eenvoudige maatregelen, gecompliceerd.

In het 80%-pakket zijn veelal maatregelen opgenomen die aansluiten bij de voorkeur van Waterschap Limburg. De belangen van de agrariërs zijn hierin minder vertegenwoordigd. Dit maakt het, mede door de complexiteit van het implementeren van enkele maatregelen (bv. no-tillage), ingewikkeld om het pakket in te voeren.

Het 60%-pakket omvat maatregelen die door beide partijen als haalbaar worden gezien, maar niet de directe voorkeur genieten in vergelijking met het 40%-pakket voor de agrariërs en het 80%-pakket voor het Waterschap. Het invoeren van de gehele samenstelling van dit pakket is om deze reden het meest kansrijk indien er wordt gehandeld namens de gedachte om gezamenlijk tot een oplossing te komen.

7 Conclusie, aanbeveling en discussie

In dit hoofdstuk is de hoofdvraag van het afstudeeronderzoek beantwoord. Deze hoofdvraag luidt: *Hoe ziet een door de belangrijkste stakeholders (Waterschap Limburg, LLTB en agrariërs) gedragen en theoretisch haalbaar maatregelenpakket eruit om oppervlakkig afstromen van hemelwater en de gevolgen hiervan te reduceren in Ransdaal bij een regenbui die ééns in de honderd jaar wordt verwacht?* Het antwoord op deze vraag vormt de conclusie van het onderzoek. Daarnaast zijn in dit hoofdstuk aanbevelingen gegeven voor het onderzoek. Hierin is beschreven wat mogelijke vervolgstappen zijn om het onderzoek aan te scherpen of te verbeteren. Tot slot is het uitgevoerde onderzoek kritisch bekeken en is aangegeven welke onzekerheden er zijn en hoe deze kunnen worden opgelost of in vervolgstudies kunnen worden voorkomen.

7.1 Conclusie

In deze paragraaf zijn puntsgewijs de belangrijkste conclusies van het afstudeeronderzoek benoemd.

- Het casusgebied Ransdaal is representatief voor de optredende problematiek die ontstaat door afstromend hemelwater in Zuid-Limburg. Dit komt door de leemlaag die in de grond aanwezig is. Dit is een typische Zuid-Limburgse bodemopbouw. Door de aanwezigheid van de ondiepe leemlaag kan het hemelwater niet voldoende snel infiltreren en komt het mede door het hellende karakter snel tot afstroming.
- Uit het focusgebied (12 ha) in Ransdaal komt bij een neerslaggebeurtenis van 59 millimeter in 4 uur tijd 3.300 m³ water tot afstroming vanuit het landelijk gebied. In de kern van Ransdaal leidt dit tot 12.250 m² inundatie in de panden. De maatregelenpakketten zijn ingevuld vanuit de basisgedachte dat iedere perceeleigenaar voldoet aan de opgave van 40%, 60% en 80% reductie. Dit betekent een bergingsopgave in het focusgebied van respectievelijk 1.320 m³ (110 m³/ha), 1.980 m³ (165 m³/ha) en 2.640 m³ (220 m³/ha).
- De maatregelen die zijn geselecteerd sluiten aan bij het principe infiltreren, bergen en daarna pas afvoeren dat in de beleidsregels van Waterschap Limburg is vastgelegd.
- Om afstroming van hemelwater en de overlast die hierdoor veroorzaakt wordt te reduceren zijn drie verschillende soorten maatregelen nodig, namelijk: bronmaatregelen (infiltreren), stroombaanmaatregelen (afvoeren) en end-of-pipe maatregelen (bergen).
- Zoals blijkt uit de multicriteria-analyse in paragraaf 5.4 zijn veel maatregelen niet inpasbaar vanwege:
 - Gebrek aan draagvlak vanuit de betrokken partijen;
 - Matige inpasbaarheid in het landschap en de bedrijfsvoering;
 - Lange implementatietijd;
 - Laag hydrologisch rendement ten aanzien van reductie afstroming;
 - Te hoge kosten;
 - Te weinig aanvullende baten (verhogen ecologische waarde, et cetera).
- De volgende maatregelen zijn wel toegepast in de maatregelenpakketten.
 - Bronmaatregelen (infiltreren):
 - Bosaanplant;
 - Doorbreken verdichte laag ter plaatse van rijpaden in de fruitteelt;
 - Drempeltjes bij ruggenteelt;
 - Kuiltjespatroon in het oppervlak;
 - Natuurcompensatie erosiegevoelig perceel;
 - No-tillage (niet meer ploegen);
 - Voorkomen van verdichting.

- Stroombaanmaatregelen (afvoeren):
 - Dammen in de stroombaan;
 - Dubbele, kruisgewijze inzaai in de stroombaan;
 - Dubbelzaaien of zaaien bij nauwere rijafstand;
 - Gewasresten achterlaten na de oogst;
 - Grasbanen in de stroombaan;
 - Randenbeheer;
 - Voedergewas gehele plant silage.
 - End-of-pipe maatregelen (bergen):
 - Grote waterbuffers vóór de kern;
 - Kleine waterbuffers op specifieke knelpuntlocaties.
 - De samenstelling van de maatregelenpakketten (40%, 60% en 80% reductie) is, zoals beschreven in hoofdstuk 6, gebaseerd op basis van draagvlak en ingeschatte effectiviteit. Het 40%-pakket richt zich voornamelijk op de belangen van de agrariërs terwijl het 80%-pakket zich met name richt op de belangen van Waterschap Limburg. In het 60%-pakket zijn de maatregelen opgenomen waarvoor nauwelijks tot geen weerstand is vanuit een van de betrokken partijen.
 - De gehele bergingsopgave realiseren door enkel het toepassen van bronmaatregelen (gericht op infiltratie) is, met de maatregelen die in dit onderzoek zijn meegenomen, in géén van de maatregelenpakketten mogelijk. Binnen ieder maatregelenpakket is het treffen van stroombaanmaatregelen en met name van end-of-pipe maatregelen, zoals het aanleggen van waterbuffers, een vereiste is om de gewenste bergingsopgave (per perceeleigenaar) te behalen.
 - Tussen de verschillende maatregelenpakketten neemt de bergingsopgave met 20 procent per pakket toe. De effectiviteit van de bronmaatregelen stijgt met circa 5 procent per pakket. Het gevolg hiervan is dat de omvang van de end-of-pipe maatregelen met circa 15 procent toeneemt. De restopgave die per pakket door de end-of-pipe maatregelen wordt ingevuld neemt per maatregelenpakket toe doordat de berging die gerealiseerd wordt door de bronmaatregelen niet evenredig toeneemt met de bergingsopgave.
 - Het gericht treffen van maatregelen en opstellen van maatregelenpakketten om tot reductie van hemelwaterafstroming in het landelijk gebied te komen is een gecompliceerde opgave die afhankelijk is van een aantal factoren, namelijk:
 - Soort teelt (aardappelen, bieten, maïs, tarwe, gras, fruitteelt, et cetera);
 - Methode van bewerken (niet-kerende grondbewerking of ploegen);
 - Huidige mate van bodemverdichting;
 - Rotatie van teeltsoort (heeft invloed op mogelijke maatregelen);
 - Mate waarin maatregel wordt nageleefd;
 - Perceeleigenaar (verantwoordelijkheid te treffen maatregel en instandhouding ervan).
- De toepassing en effectiviteit van de verschillende maatregelenpakketten is ieder jaar verschillend doordat de teeltsoorten ieder jaar variëren.
- Om agrariërs/perceeleigenaren bereid te vinden tot het treffen van maatregelen op hun percelen in het landelijk gebied is het van belang om maatregelen aan te dragen waar draagvlak voor is. Dit zijn maatregelen die voor de perceeleigenaren weinig impact hebben op de kosten en de impact op de wijze van bedrijfsvoering. Daarnaast is het van belang om de perceeleigenaren te motiveren om daadwerkelijk maatregelen te treffen. Dit kan door draagvlak te creëren op basis van samenwerking, door te informeren middels kennis- en adviescentra, te

motiveren en te overtuigen van en over maatregelen, door het gebruik van financiële middelen (subsidies en vergoedingen) of door maatregelen te verplichten.

- Om de bergingsopgave de behalen is samenwerking tussen agrariërs en Waterschap Limburg noodzakelijk. Enerzijds vindt Waterschap Limburg dat de agrariërs de maatschappelijke verplichting hebben om het water dat afkomstig is van hun percelen vast te houden of te bergen tijdens een hevige neerslaggebeurtenis. Anderzijds heeft Waterschap Limburg de wens dat de dorpskern van Ransdaal geen wateroverlast ondervindt gedurende een T=100 situatie waardoor Waterschap Limburg ook maatregelen dient te treffen om de gewenste reductie te behalen.
- Ter conclusie, binnen de drie maatregelenpakketten (40%, 60% en 80% reductie) zijn maatregelen geselecteerd op basis van draagvlak, landschappelijke- en agrarische inpasbaarheid, effectiviteit, haalbaarheid, implementatietijd en kosten & baten. Deze maatregelen zijn verdeeld over de drie verschillende pakketten waarin enerzijds rekening gehouden is met de standpunten van de agrariërs, anderzijds met de standpunten van Waterschap Limburg. De verdeling van de maatregelen over de pakketten is niet leidend, maar is een mogelijke samenstelling van maatregelen om tot een gedragen maatregelenpakket om tot een gewenste hoeveelheid reductie van afstroming van hemelwater vanuit het landelijk gebied te komen.

7.2 Aanbeveling

Uit het onderzoek komen de volgende aanbevelingen naar voren:

- Aanvullend onderzoek invloed op waterkwaliteit: dit onderzoek focust zich op het aspect waterkwaliteit. Eventuele positieve of negatieve effecten van de maatregelen op de waterkwaliteit zijn niet onderzocht. Een onderzoek naar de effectiviteit van de maatregelen op de waterkwaliteit is aanbevolen.
- Aanvullend onderzoek kosten & baten: in dit onderzoek is een indicatie van de kosten en de baten van de maatregelen weergegeven. Een aanvullend onderzoek om inzicht in de complete kosten & baten van de aanleg van de maatregelen, het beheer van de maatregelen en de kosten om de maatregelen te implementeren (overtuigen, kenniscentra, et cetera) te krijgen is aanbevolen.
- Aanvullend onderzoek naar innovatieve maatregelen: in dit onderzoek is een literatuurstudie uitgevoerd naar maatregelen die in meerdere of mindere mate bekend zijn. Een mogelijke aanvulling op dit onderzoek is het ontwikkelen en meenemen van innovatieve oplossingen in het proces.
- Aanvullend onderzoek toepassen instrumenten: in dit onderzoek is per maatregel een opsomming van mogelijke instrumenten weergegeven om tot een maatregel te realiseren. Een aanvulling op dit onderzoek is het concreet bepalen van een instrument en de specifieke toepassing van het instrument per maatregel. Daarbij moet ook de vertaalslag richting het implementeren middels de instrumenten worden onderzocht.
- Effectiviteit van maatregelen bepalen in de praktijk: in dit onderzoek is de effectiviteit van de maatregelen ingeschat op basis van handberekeningen. Om een nauwkeuriger inzicht te creëren in de effectiviteit van verschillende maatregelen is het aanbevolen om de effectiviteit van de maatregelen te toetsen middels het uitvoeren van pilotprojecten.
- Overleg Waterschap Limburg en agrariërs/perceeeigenaren: om een gewenste hoeveelheid afstromend hemelwater te reduceren is samenwerking tussen Waterschap Limburg en agrariërs/perceeeigenaren nodig. Het is aanbevolen om te starten met een communicatieproces met als doel om overeenstemming te bereiken over de te nemen

maatregelen (implementatietijd, verantwoordelijkheid in kosten, uitvoering, beheer en onderhoud).

- 3Di-model input: om het probleem dat zich voordoet tijdens een T=100 gebeurtenis in het model zo nauwkeuring mogelijk te benaderen, is er meer en nauwkeurigere inputdata nodig van de BOOST-gebieden en in dit geval van het focusgebied in Ransdaal wat betreft de hoogte van het gebied, de infiltratiecapaciteit van de bodem, de ruwheden in het gebied en de neerslaggebeurtenis T=100.
- 3Di-model schematiseren: in een aanvullend onderzoek is aanbevolen het model op juiste wijze te schematiseren voor het focusgebied waarop deze is toegepast om een nauwkeurige bergingsopgave te bepalen.

7.3 Discussie

In deze paragraaf is de gehanteerde methodiek bediscussieerd. Dit is gedaan door alle uitgevoerde onderdelen en gemaakte keuzes langs te lopen en te bespreken.

Het doel van dit onderzoeksrapport is om tot een theoretisch haalbaar, gedragen, maatregelenpakket te komen om overlast die ontstaat door het afstromen van hemelwater in Ransdaal te reduceren. Het onderzoek heeft geleid tot drie maatregelenpakketten (40%, 60% en 80%) waarbij in verschillende mate de afstroming van hemelwater wordt gereduceerd. Om tot dit resultaat te komen is de methode gevolgd zoals beschreven in hoofdstuk 2. Hierin is beschreven hoe dit proces is verlopen.

Allereerst is er literatuuronderzoek uitgevoerd om inzicht te creëren in het specifieke probleem. Hierbij is gefocust op het ontstaan van afstromend hemelwater, het optreden van bodemerosie en welke mogelijke maatregelen er zijn om beide problemen te reduceren. Tijdens het literatuuronderzoek is te veel de nadruk gelegd op het onderzoeken van maatregelen die bodemerosie tegengaan waardoor er te weinig werd gefocust op het daadwerkelijke probleem aanpakken bij de bron: het water dat tot afstroming komt vasthouden of bergen in het landelijke gebied. Dit heeft als gevolg dat de maatregelenpakketten completer zijn. Het afstromende hemelwater kan tijdens een T=100 situatie niet allemaal bij de bron worden vastgehouden of geborgen. Er komt dus hemelwater tot afstroming waardoor erosie optreedt. In de maatregelenpakketten zijn uiteindelijk ook maatregelen opgenomen om deze optredende erosie te reduceren.

Tijdens het literatuuronderzoek is weinig buitenlandse literatuur gebruikt, in het buitenland is veel onderzoek gedaan naar maatregelen tegen het optreden van erosie en het vasthouden van water, deze informatie is niet optimaal benut.

De keuze voor het casusgebied Ransdaal heeft met een aantal factoren te maken gehad. Het afstudeeronderzoek dient een breder belang te dienen. Door een knelpuntgebied uit BOOST te kiezen kan dit afstudeerrapport als handreiking/leidraad/inspiratie dienen voor de overige knelpuntgebieden uit BOOST. Het gevolg van deze eis aan het knelpuntgebied is dat het casusgebied dat gekozen wordt, een representatief gebied is. Daarnaast is het voor dit onderzoek van belang om in gesprek te gaan met betrokken partijen in en rondom het casusgebied om informatie in te winnen over het probleem dat in het casusgebied speelt en om inzicht te kunnen ontwikkelen welke standpunten deze partijen hebben. Het dient dus een casusgebied te zijn waar de betrokken partijen bereid zijn om met studenten in gesprek te gaan over het onderwerp afstromend hemelwater en bodemerosie. Tot slot dient het onderzoek dat is uitgevoerd geen andere BOOST-projecten in de weg te zitten als het gaat over terreinbezoeken en interviews met betrokken partijen. Waterschap Limburg en Sweco, hebben meegedacht in het kiezen van een casusgebied en hebben een aantal casusgebieden voorgesteld. Uiteindelijk bleek Ransdaal het gebied dat het meest voldoet aan de beschreven voorkeuren. Dit is een duidelijk en logisch proces geweest zonder dat het vooraf duidelijk is vastgelegd. Echter, binnen het onderzoek dient de effectiviteit van de gekozen maatregelen te worden bepaald. Het bepalen van

de kwantiteit van het probleem, verschillende maatregelen in het gebied toepassen en de effectiviteit van ervan te bereken was een te grote opgave. Daarom is binnen het casusgebied Ransdaal een focusgebied gekozen waar de maatregelenpakketten zijn ingericht en de effectiviteit ervan berekend. De keuze voor dit focusgebied is gemaakt op basis van de volgende criteria:

- Het focusgebied dient dicht bij de kern van Ransdaal te liggen;
- De stroombanen van het focusgebied dienen richting de kern van Ransdaal te stromen.
- Het probleem in het gebied dient kwantificeerbaar te zijn;
- Er is sprake van verschillende teeltsoorten;
- Het focusgebied is niet 'te groot'.

Op basis van deze criteria is besloten om het focusgebied, zoals weergegeven in figuur 4.8 uit paragraaf 4.2.1, te kiezen. Ook de keuze voor het focusgebied is een duidelijk en logisch proces geweest. In verband met een krappe planning moest de keuze voor dit focusgebied snel worden gemaakt. Wellicht dat een ander focusgebied ook geschikt of geschikter was geweest, hier is na de keuze voor het focusgebied geen aandacht aan besteed.

Na het uitvoeren van het literatuuronderzoek zijn er interviews gevoerd met de verschillende betrokken partijen die te maken hebben met het casusgebied Ransdaal, dit zijn: Waterschap Limburg, de LLTB en de agrariërs in en rondom Ransdaal. Om een zo concreet mogelijk beeld te krijgen van het probleem en om mogelijkheden om tot maatregelen te komen zijn aanvullende interviews afgenomen met de Gemeente Voerendaal en Provincie Limburg. Tijdens deze interviews zijn de mogelijke maatregelen die uit het literatuuronderzoek voortkwamen besproken met de verschillende partijen om de standpunten ten aanzien van de maatregelen te bepalen. Deze interviews hebben geleid tot een compleet overzicht van standpunten van de verschillende betrokken partijen, echter is de verslaglegging van deze interviews niet heel uitgebreid. Om een nog beter beeld van de standpunten te krijgen hadden de interviews mogelijkerwijs uitgebreider moeten worden opgesteld.

Om deze standpunten mee te kunnen nemen tijdens het opstellen van de maatregelenpakketten is er een Programma van Eisen opgesteld van de partijen die een directe relatie hebben met het afstromende hemelwater in het focusgebied in Ransdaal (Waterschap Limburg, de LLTB en de agrariërs). Dit Programma van Eisen is opgesteld op basis van de afgenomen interviews, er is geen nader onderzoek verricht naar huidige plannen, beleid, visies, et cetera van de verschillende partijen waardoor dit Programma van Eisen wellicht niet compleet of niet geheel reëel is. Anderzijds is op deze manier wel de mening van de mensen achter deze plannen, beleid, visies, et cetera. Dit is van belang om inzichtelijk te krijgen voor welke maatregelen draagvlak creëren mogelijk is.

Op basis van het literatuuronderzoek en het Programma van Eisen is vervolgens een multicriteria-analyse (MCA) uitgevoerd. Een MCA is een gevoelige methode om te gebruiken om een keuze te maken doordat de persoon die deze uitvoert bewust of onbewust niet per definitie objectief is. Echter, is dit een bruikbare methode om maatregelen te beoordelen op basis van verschillende criteria. Het resultaat van deze MCA is onzeker. De uitslag van de beoordelingen in de MCA hebben de studenten geïnterpreteerd en verwerkt tot de verschillende maatregelenpakketten met hierin een logische verdeling van maatregelen. Deze maatregelenpakketten zijn niet leidend maar biedt slechts een handrijking. Ook omdat deze op basis van een MCA en op basis van de interpretatie van de studenten zijn opgesteld. Er is in de MCA geen gebruik gemaakt van weegfactoren. De studenten wilden objectieve maatregelenpakketten samenstellen. De betrokken partijen hebben ieder andere belangen bij de gestelde criteria. Door gebruik te maken van weegfactoren worden enkele criteria belangrijker geacht dan anderen. Om belangen van de betrokken partijen gelijk te waarderen wordt er geen gebruik gemaakt van weegfactoren.

Na het vaststellen van de maatregelen per maatregelenpakket zijn voor deze maatregelen de effectiviteit, de kosten en baten en de mogelijke instrumenten om de maatregel te implementeren bepaald. Om de effectiviteit van de maatregelen te bepalen is eerst het probleem gekwantificeerd voor het focusgebied. In eerste instantie is dit geprobeerd door middel van 3Di in QGIS, met een model en simulatie van een neerslaggebeurtenis door Nelen & Schuurmans B.V., met deze tool kan voor een gebied een waterbalans worden opgesteld van in- en uitstromend water in het focusgebied. Dit proces heeft een aantal weken de tijd in beslag genomen. De werking van het 3Di-model en het juist selecteren en verwerken van de gegevens is niet eenvoudig. Daarnaast is er geen handleiding beschikbaar dus is er verschillende keren externe hulp nodig geweest. Uiteindelijk is met behulp vanuit Sweco en Nelen & Schuurmans B.V. de waterbalans voor het focusgebied opgesteld. De uitkomst van deze waterbalans is dat in het focusgebied 68% van het water tot afstroming komt. Volgens expert judgement van Sweco en Waterschap Limburg lijkt deze waarde onrealistisch hoog. Het gehanteerde rekengrid is te grof voor het focusgebied en vanuit Nelen & Schuurmans is aangegeven dat het 3Di-model nog niet geoptimaliseerd is voor hellend gebied. Dit proces is tijdrovend geweest en heeft uiteindelijk de conclusie opgeleverd dat de 3Di veel potentie heeft om het probleem dergelijk te kwantificeren maar de schematisatie en 3Di daarvoor nog geoptimaliseerd moeten worden.

Door tijdnoed is op zeer korte termijn een nieuwe manier bepaald om het probleem toch te kwantificeren. De volgende aannames zijn daarin gedaan:

- Uitgaan van de neerslaggebeurtenis van 23 juni 2016 uit 3Di (59 millimeter neerslag over 4 uur);
- 50% van de neerslag komt tot afstroming (afkomstig vanuit Waterschap Limburg);
- Al het afstromende water komt uiteindelijk in de St. Gillisstraatlossing (geul), richting de kern van Ransdaal terecht;
- Er treedt geen plasvorming op in het landelijk gebied;
- Het focusgebied is ca. 12 hectare (vastgesteld in QGIS);
- 20 m³/ha wordt afgevoerd door de St. Gillisstraatlossing;

De uitkomst van de berekening van deze bergingsopgave is gebaseerd op veel aannames die niet getoetst zijn aan de werkelijkheid, er is toch uitgegaan van deze waarde, mede door de korte resterende onderzoeksperiode. De juistheid in de uitkomst van deze berekening is onzeker. Deze berekening biedt wel de mogelijkheid om een indicatie van de effectiviteit van de maatregelen vast te stellen.

Voordat de effectiviteit bepaald kan worden is per maatregelenpakket een inrichtingsplan opgesteld. De maatregelen binnen het pakket zijn op een zo logisch mogelijke manier in het focusgebied verwerkt. Waar een maatregel kan worden toegepast hangt af van het gewas van dat jaar. Bij deze inrichting is niet gekeken naar de perceeleigenaar maar naar het soort gewas dat op dit moment geteeld wordt. Het meenemen van de perceeleigenaar tijdens het maken van het inrichtingsplan is niet haalbaar in dit onderzoek doordat de perceeleigenaren anoniem zijn gebleven. Deze inrichtingsschetsen geven op een duidelijke manier één mogelijkheid weer om praktisch invulling te geven aan de maatregelenpakketten en de locatie waar deze maatregelen getroffen kunnen worden.

Op basis van de probleemkwantificatie is vastgesteld hoeveel m³ water er geborgen dient te worden per maatregelenpakket. Vervolgens is per maatregelenpakket (40%, 60% en 80%) bepaald hoe effectief de bronmaatregelen zijn die binnen dit pakket getroffen worden. Deze effectiviteit is bepaald door middel van handberekeningen. Voor deze handberekening is uitgegaan van de volgende informatie.

- Gemiddelde hellingspercentage ca. 5% (bepaald o.b.v. dwarsdoorsnede);
- Geen invloed van de grondwaterstand (o.b.v. peilbuisgegevens van Dinoloket);
- Bovenste grondlaag is een leemlaag (o.b.v. boorgegevens van Dinoloket);
- Infiltratie leem 50 mm/dag (o.b.v. Grondwaterzakboekje [Bot, 2011])
- Infiltratie gedurende de neerslaggebeurtenis 10 mm/4-uur;
- Een veiligheidsfactor van 2/3 voor de maatregelen 'drempeltjes bij ruggenteelt', 'kuiltjespatroon aanbrengen aan het oppervlak' en 'dammen in de stroombaan';
- Bergend oppervlak natuurcompensatie is 20%;
- Oppervlak rijpaden fruitteelt 20%;
- Extra infiltratie door bosaanplant $0,02 \text{ m}^3/\text{m}^2$ (De Redelijkheid, 2016);
- Kuiltjespatroon aanbrengen het oppervlak bergt $19 \text{ mm}/\text{m}^2$ (Vermeulen, 2011);
- No-tillage zorgt voor $0,0065 \text{ m}^3/\text{m}^2$ extra berging (o.b.v. Sun et al, 2015)

Op basis van bovenstaande informatie is per maatregelenpakket berekend hoe effectief de bronmaatregelen zijn. Tijdens deze handberekening is ervan uitgegaan dat de waardes afkomstig uit de bronnen juist zijn. De aannames zijn gedaan op basis van de inschattingen van een expert binnen Sweco en van de studenten. Deze aannames zorgen voor onzekerheid in de uitkomst van de handberekeningen. Naast de onzekerheid wat betreft de aannames kunnen er ook onnauwkeurigheden zitten in de handberekeningen. Echter, deze berekeningen hebben het doel een indicatie te geven van de effectiviteit van de maatregelen en dienen daarmee het doel. In geen van de maatregelenpakketten zorgen enkel de bronmaatregelen voor de gewenste reductie in de afstroming van hemelwater. De rest van de reductie is behaald door het toepassen van end-of-pipe maatregelen, zoals waterbuffers. Een derde kanttekening bij de berekening van de effectiviteit is dat de inrichting van het maatregelenpakket in het focusgebied is gemaakt op basis van het huidige gewassenbestand. Door rotatie van gewassen varieert de mogelijke inrichting van het focusgebied dus ieder jaar. De hoeveelheid berging in m^3 is een momentopname.

Nadat de maatregelenpakketten zijn samengesteld en de werking is vastgesteld zijn de kosten en baten van de maatregelen bepaald. Dit is per maatregel gebeurd omdat de maatregelenpakketten als handreiking bieden en niet leidend zijn. Er is daardoor slechts beperkt rekening gehouden met maatregelen die elkaar versterken of verzwakken in een pakket. De kosten zijn bepaald op basis van beschikbare literatuur. Over enkele maatregelen is dusdanig weinig bekend dat hiervoor aannames zijn gedaan of dat er vergelijkbare zaken zijn onderzocht.

Kijkend naar de instrumenten geldt dat deze zijn opgesteld op basis van de voor de betrokken partijen beschikbare instrumenten. Ook hierin is per maatregel gekeken welke instrumenten geschikt zijn. De koppeling naar de pakketten is niet gemaakt doordat de pakketten een handreiking vormen. Ook is er geen rekening gehouden met innovatieve manieren om de maatregelen te implementeren.

Uiteindelijk is een aanzet gedaan naar de invloed van de maatregelen op de verantwoordelijkheid voor het bergen van water op de grond van de percee-eigenaren. In een vergelijking tussen twee verschillende percee-eigenaren is weergegeven hoeveel m^3 water de percee-eigenaar nog dient te bergen na het toepassen van de verschillende maatregelenpakketten en welke invloed de maatregelen dus hebben op de verantwoordelijkheid. De hoeveelheid m^3 berging is afhankelijk van de hoeveelheid grond de percee-eigenaar bezit en hoeveel m^3/ha water er geborgen dient te worden om tot de gewenste reductie te komen. De uitkomsten van deze berekeningen zijn volledig afhankelijk van de juistheid van de bergingsopgave en van de berekening van de effectiviteit van de maatregelen. Daarom is de uitkomst van deze berekening onzeker. In dit deel van het rapport gaat het om de denkwijze die is toegepast om uiteindelijk tot een gewenste reductie te komen in het afstromen van hemelwater en hoe deze gerealiseerd kan worden.

Alle informatie die tijdens het onderzoek is gevonden, aan is geleverd en uit de interviews naar voren is gekomen is als waarheid aangenomen. Hierover is geen nauwkeurigheidanalyse uitgevoerd. Wat betreft het literatuuronderzoek en de aangeleverde documenten van het Waterschap is dit niet noodzakelijk. Van de gevonden en aangeleverde informatie mag worden aangenomen dat deze juist is. Wat betreft de ingewonnen informatie uit de interviews is dat minder vanzelfsprekend. Uit interviews wordt niet altijd objectieve informatie gewonnen, maar speelt ook het gevoel, de mening en wellicht de tactiek van de geïnterviewde een grote rol. In dit onderzoek is de informatie uit de interviews als waarheid aangenomen zonder deze te verifiëren. Echter zijn er genoeg personen geïnterviewd die veelal dezelfde informatie gaven. Daarnaast was een van de doelen van de interviews ook het achterhalen van de mening van de geïnterviewden en was het niet de bedoeling om feiten boven tafel te krijgen. De conclusies die zijn getrokken, zijn deels gebaseerd op de informatie die via bovenstaande wijze is ingewonnen. De juistheid van de getrokken conclusies is afhankelijk van de juistheid van de ingewonnen informatie. Deze is niet ten alle tijden te verifiëren vandaar dat de getrokken conclusies wellicht onnauwkeurig zijn.

8 Bronnenlijst

- Baarda, B. (2014). *Dit is onderzoek!* (2e ed.). Groningen/Houten, Nederland: Noordhoff Uitgevers bv.
- Bakker, M. (2012). *Een onderzoek naar de provinciale ruimtelijke instrumenten van de Wet ruimtelijke ordening*. Geraadpleegd van <http://arno.uvt.nl/show.cgi?fid=122315>
- Bentevelsen, Y. (z.j.). Draagvlak. Geraadpleegd op 20 februari, 2017, van <http://www.carrieretijger.nl/functioneren/management/draagvlak>
- BiodiverCity. (2011-a). Bloemrijke ruigte. Geraadpleegd op 18 mei, 2017, van <http://www.biodiversitycity.info/index.php/biotoop/3/detail>
- BiodiverCity. (2011-b). Bos. Geraadpleegd op 18 mei, 2017, van <http://www.biodiversitycity.info/index.php/biotoop/8/detail>
- Bodembreed. (2012, 23 maart). Drempels voorkomen erosie. *Boerenbond Management & Techniek*, 17(6), 47-49. Geraadpleegd van <http://edepot.wur.nl/279892>
- Bodemerosie: Wat is het? (z.j.). Geraadpleegd van <http://www.atlasnatuurlijkkapitaal.nl/bodemerosie>
- Bot, B. (2011). *Grondwaterzakboekje*. Rotterdam, Nederland: Bot Raadgevend Ingenieur.
- Bus, C. B. (1996, 15 juli). Teelthandleiding pootaardappelen - rugopbouw. Geraadpleegd op 15 maart, 2017, van <http://www.kennisakker.nl/kenniscentrum/handleidingen/teelthandleiding-pootaardappelen-rugopbouw>
- Combinatieteelt (mengcultuur, polycultuur). (z.j.). Geraadpleegd op 6 maart, 2017, van http://www.voedselencyclopedie.nl/combinatieteelt_mengcultuur_polycultuur
- Commissie van Europese Gemeenschappen. (2006). *Richtlijn van het Europees Parlement en de Raad; tot vaststelling van een kader voor de bescherming van de bodem en tot wijziging van Richtlijn 2004/35/EG (2006/0086COD)*. Geraadpleegd van <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/PDF/?uri=CELEX:52006PC0232&from=en>
- CROW. (2012, 23 juli). Multicriteria-analyse-MCA. Geraadpleegd van <https://www.crow.nl/kennis/bibliotheek-verkeer-en-vervoer/kennisdocumenten/multicriteria-analyse-mca>
- Dingemans, K. (2015, 8 september). Soorten interviews. Geraadpleegd van <https://www.scribbr.nl/onderzoeksmethoden/soorten-interviews/>
- Effecten van grondbewerking op bodemleven. (z.j.). Geraadpleegd op 3 februari, 2017, van <http://www.handboekbodemenbemesting.nl/nl/handboekbodemenbemesting/Handeling/Grondbewerking-en-berijding/Effecten-van-grondbewerking-op-bodemleven.html>
- Erosie. (z.j.). Geraadpleegd op 8 februari, 2017, van <http://www.west-vlaanderen.be/ondernemen/mesam/nederlands/paginas/erosie.aspx>
- EU. (z.j.-a). Agriculture and soil protection. Geraadpleegd op 03 februari, 2017, van https://ec.europa.eu/agriculture/envir/soil_en
- EU. (z.j.-b). Cross-Compliance. Geraadpleegd op 02 februari, 2017, van https://ec.europa.eu/agriculture/direct-support/cross-compliance_en
- EU. (z.j.-c). Thematische bodembescherming. Geraadpleegd op 02 februari, 2017, van <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/PDF/?uri=CELEX:52006DC0231&from=NL>

- EU. (2003, 29 september). VERORDENING (EG) Nr. 1782/2003 VAN DE RAAD. Geraadpleegd van <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32003R1782&from=nl>
- EU. (2006, 22 september). RICHTLIJN VAN HET EUROPEES PARLEMENT EN DE RAAD tot vaststelling van een kader voor de bescherming van de bodem en tot wijziging van Richtlijn 2004/35/EG [Verordening]. Geraadpleegd van <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/PDF/?uri=CELEX:52006PC0232&from=EN0>
- EU. (2013, 20 november). BESLUIT Nr. 1386/2013/EU VAN HET EUROPEES PARLEMENT EN DE RAAD. Geraadpleegd van <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32013D1386&from=EN>
- Fundamenteel onderzoek vs. toegepast onderzoek. (z.j.). Geraadpleegd op 25 april, 2017, van <http://deafstudeerconsultant.nl/afstudeertips/onderzoeksmethoden/fundamenteel-onderzoek-vs-toegepast-onderzoek/>
- Geelen, P. M. T. M. (2000, december). Biologische akkerbouw in Zuid-Limburg; erosiegevoeligheid vormt zware handicap. *PAV Bulletin Akkerbouw*, 4(12), 37-41. Geraadpleegd van <http://edepot.wur.nl/214673>
- Geelen, P. M. T. M. (2006). *Handboek Erosiebestrijding*. Hasselt, België: Provincie Limburg.
- Geelen, P. M. T. M., Crombach, C. J. E., & Bus, C. B. (2004, 15 januari). Beperking van watererosie in aardappelen op lössgrond. Geraadpleegd op 10 maart, 2017, van <http://www.kennisakker.nl/kenniscentrum/document/beperking-van-watererosie-aardappelen-op-l%C3%B6ssgrond>
- Gemeente Voerendaal. (2013). *Bestemmingsplan Kernen Klimmen, Ransdaal, Ubachsberg e.o.* (NL.IMRO.0986.BPkernenKRU-OH01). Geraadpleegd van http://www.ruimtelijkeplannen.nl/documents/NL.IMRO.0986.BPkernenKRU-OH01/t_NL.IMRO.0986.BPkernenKRU-OH01_index.html
- Groen Kennisnet. (2016, 22 januari). Voedselbossen. Geraadpleegd op 6 maart, 2017, van <https://www.groenkennisnet.nl/nl/groenkennisnet/dossier/dossier-voedselbossen>
- Hack-Ten Broeke, M. J. D., Beek, C. L. van, Hoogland, T., Knotters, M., Mol-Dijkstra, J. P., Schils, R. L. M., Smit, A., Vries, F. de. (2009). *Kaderrichtlijn Bodem; Basismateriaal voor eventuele prioritaire gebieden* (Alterra-rapport 2007). Geraadpleegd van <http://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/137524>
- Hattum, T. van, & Westerink, J. (2016). *Deltafact Blauwe diensten*. Geraadpleegd van http://deltaproof.stowa.nl/pdf/Blauwe_diensten?rld=25
- Hessel, R., Stolte, J., & Riksen, M. (2011). *Huidige maatregelen tegen water- en winderosie in Nederland* (Alterra-rapport 2131). Geraadpleegd van <http://edepot.wur.nl/164250>
- Http://www.greatplainsmfg.de. (z.j.). SIMBA AQUEEL II [Foto]. Geraadpleegd van <http://www.greatplainsmfg.de/de/products/736/simba-aqueel-ii>
- Inagro. (2014, december). Mengteelten graan met erwten of veldbonen [Foto]. Geraadpleegd van <http://edepot.wur.nl/326325>
- IRS. (2015, juni). Lage bandenspanning spaart bodemstructuur. Geraadpleegd op 10 maart, 2017, van <https://www.irs.nl/alle/teelthandleiding/2.2-lage-bandspanning-spaart-bodemstructuur>

- Jantowski, B. (2004). Een kwantitatieve analyse van erosieremmende maatregelen volgens de Erosieverordening 2003 met behulp van LISEM 2.154. Geraadpleegd van <http://edepot.wur.nl/116379>
- Jonge, P. de. (1981). *PAGV Handboek* (6e ed.). Geraadpleegd van <http://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/345371>
- Kennisakker. (z.j.). Teelthandleiding luzerne. Geraadpleegd op 10 maart, 2017, van <http://www.kennisakker.nl/book/export/html/2866>
- Kerkhofs, P. (2011, 10 september). Akkerrand [Foto]. Geraadpleegd van http://www.hei-heg-hoogeind.dse.nl/activiteiten/in%20het%20verleden/actief_Randenbeheer/velddag_september_2011/velddag_2011.htm
- Krul, A. (2014, 20 maart). Zo doe je een literatuuronderzoek of literatuurstudie. Geraadpleegd op 25 april, 2017, van <https://www.scribbr.nl/scriptie-structuur/hoe-doe-je-literatuuronderzoek/>
- Krul, A. (2015, 28 augustus). Het theoretisch kader van een scriptie: hoe en wat? Geraadpleegd van <https://www.scribbr.nl/scriptie-structuur/theoretisch-kader-van-scriptie/>
- Limburgs Land- en Tuinbouw Bond. (2011, augustus). Erosiebestrijding. Geraadpleegd van http://www.bodemambities.nl/dsresource?objectid=rivmp:201183&type=org&disposition=inline&ns_nc=1
- Maïsteelt in stroken. (z.j.). Geraadpleegd op 10 maart, 2017, van <http://www.maisteeltinstroken.nl/maisteelt-stroken>
- Melkvee.nl. (2013, 6 juni). Warmte doet maïs goed [Foto]. Geraadpleegd van <https://www.maiscoach.nl/2013/06/06/warmte-doet-mais-goed/>
- Mkba-informatie. (z.j.). Multicriteria-analyse (MCA). Geraadpleegd van <http://www.mkba-informatie.nl/mkba-basics/abc-van-de-mkba/multicriteria-analyse-mca/>
- Natuurmonumenten. (z.j.). Holle wegen. Geraadpleegd op 2 maart, 2017, van <https://www.natuurmonumenten.nl/holle-wegen>
- Nederlandse Overheid Economische Zaken. (2016, 01 juli). Uitvoeringsregeling rechtstreekse betalingen GLB. Geraadpleegd van <http://wetten.overheid.nl/BWBR0035925/2016-07-01>
- Praktijknetwerk Niet Kerende Grondbewerking; Algemene informatie. (z.j.). Geraadpleegd op 3 februari, 2017, van <http://www.nietkerendegrondbewerking.nl/nkg-algemeneinformatie.html?i2s1>
- Productschap Akkerbouw, Productschap Tuinbouw, & LLTB. (2013). *Erosiebestrijding; De voorschriften vanaf 1 september 2013*. Geraadpleegd van www.overmaas.nl/.../brochure-erosie-productschap_akkerbouw_en_tuinbouw.pdf
- Provinciale Staten van Limburg. (2015). *Provinciaal Waterplan Limburg 2016-2021; Samen werken aan water*. Geraadpleegd van http://www.limburg.nl/Beleid/Water/Provinciaal_Waterbeleid/Provinciaal_Waterplan_Limburg_2016_2021
- Punt, S. (2015, 07 juli). De parken van parkstad. Geraadpleegd van https://issuu.com/madeinveld/docs/punt_sjaak_-_ontwerprapport_72dpi

- Redelijkheid, M. de. (2016, 20 december). Project bronmaatregelen wateroverlast vanuit landbouwpercelen [Interne powerpointpresentatie]. Geraadpleegd van <http://intranet.waterschaplimburg.nl>
- Reubens, B., Ruyschaert, G., D'Hose, T., & D'Haene, K. (2012). Eindrapport Bodembreed Interreg; Overzicht van resultaten, inzichten en aanbevelingen (Instituut voor Landbouw- en Visserijonderzoek). geraadpleegd van <http://www.bodembreed.eu/info/resultaten/>
- Rietberg, P., Luske, B., Visser, A., & Kuikman, P. (2013, 1 januari). Handleiding goed koolstofbeheer. Geraadpleegd van <http://www.louisbolk.org/downloads/2716.pdf>
- Rijksdienst voor Ondernemend Nederland. (2017, 03 februari). Gemeenschappelijk Landbouwbeleid - GLB. Geraadpleegd van <http://www.rvo.nl/onderwerpen/agrarisch-ondernemen/gemeenschappelijk-landbouwbeleid>
- Rijkswaterstaat. (z.j.). Kaderrichtlijn Water. Geraadpleegd van <https://www.rijkswaterstaat.nl/water/wetten-regels-en-vergunningen/natuur-en-milieuwetten/kaderrichtlijn-water/index.aspx>
- Starnieuws. (2015, 09 juli). Pilotproject om erosie tegen te gaan bij Weg naar Zee. Geraadpleegd van <http://www.starnieuws.com/index.php/welcome/index/nieuwsitem/30156>
- Skipper86. (z.j.). Traktor ploegt het land [Foto]. Geraadpleegd van <https://nl.depositphotos.com/44206949/stock-video-traktor-plows-the-land.html>
- Stevens, J. (z.j.). Draagvlak creëren binnen uw team of organisatie. Geraadpleegd op 20 februari, 2017, van <http://www.desteven.nl/leerdoelen/persoonlijke-leerdoelen/communicatie-gesprekstechnieken-leerdoelen/draagvlak-creeren>
- Stichting Cultuur en Ontmoeting Ransdaal. (z.j.). Geschiedenis van het Ransdalerveld. Geraadpleegd op 2 maart, 2017, van <http://www.ransdaalontmoeting.nl/joomla/geschiedenis>
- Sukkel, W. (2012). Ploegen, hoe diep moet ik gaan?. Geraadpleegd van http://www.wg.net/ekoland/pdf/Ekoland%2010-2012_p12-13_Ploegen.%20hoe%20diep%20moet%20ik%20gaan_W%20Sukkel.pdf
- Sun, Y., Zeng, Y., Shi, Q., Pan, X., & Huang, S. (2015). *No-tillage controls on runoff: A meta-analysis* (DOI: 10.1016/j.still.2015.04.007). Geraadpleegd van https://www.researchgate.net/publication/276852828_No-tillage_controls_on_runoff_A_meta-analysis
- Swaen, B. (2013, 10 oktober). Kwalitatief vs. kwantitatief onderzoek. Geraadpleegd op 25 april, 2017, van <https://www.scribbr.nl/onderzoeksmethoden/kwalitatief-vs-kwantitatief-onderzoek/>
- The Farmers life. (2013, 26 april). What is No-Till? [Foto]. Geraadpleegd van <http://thefarmerslife.com/what-is-no-till/>
- Veeteelt. (2017, 16 januari). Jos Groten: 'Mais wordt niet voor niets al jaren op 75 cm geteeld'. Geraadpleegd op 16 maart, 2017, van <http://veeteelt.nl/nieuws/jos-groten-mais-wordt-niet-voor-niets-al-jaren-op-75-cm-geteeld>
- Vermeulen, B. (2011). *Alternatieven voor Niet Kerende Grondbewerking; Literatuurstudie erosiebestrijding in combinatie met ploegen op lössgronden*. Geraadpleegd van <http://www.bodembreed.eu/info/resultaten/>

- Visser, A., Guldemon, J. A., & Wal, A. J. van der. (2012). *Randenbeheer in het GLB*. Geraadpleegd van http://www.clm.nl/uploads/pdf/801-Randenbeheer_GLB.pdf
- Waterschap Limburg. (2017, 01 februari). Regels over agrarische bedrijfsvoering. Geraadpleegd van <https://www.waterschaplimburg.nl/overons/regels-wetgeving-0/regels-agrarische/>
- Waterschap Peel en Maasvallei. (2016, 21 december). Code Oranje: Wateroverlast? [Video]. Geraadpleegd van <https://www.youtube.com/watch?v=QQQLoQToVrs>
- Wat is een voedselbos? (z.j.). Geraadpleegd op 10 maart, 2017, van <http://voedselbos.arborealis.nl/voedselbos/wat-is-een-voedselbos.html>
- Weide, R. van der, Alebeek, F. van, & Broek, R. van den. (2008). *En de boer, hij ploegde niet meer?; Literatuurstudie naar effecten van niet kerende Grondbewerking versus ploegen*. Geraadpleegd van <http://www.nietkerendegrondbewerking.nl/ploegloosliteratuurstudie.pdf>

9 Woordverklaring

Bodemruwheid	Oneffenheid van de bedding of waterbodem waardoor stromingsweerstand wordt veroorzaakt.
Erosie	Het afvoeren van bodemmateriaal door het oppervlakkig afstromende hemelwater.
Flowlines	Lijnen die geproduceerd zijn middels de simulatie met 3Di. Deze lijnen bevatten outputdata van de simulatie, waaronder het debiet.
Graften	Een steile aarden wal in een veelal hellend terrein, opgeworpen om de erosie te bestrijden en daarom begroeid met struikgewas.
Groenbemester	Een gewas dat wordt geteeld ten behoeve van groenbemesting.
Groenbemesting	Het telen van planten op een stuk grond om deze vervolgens onder te ploegen of te mulchen. Dit wordt gedaan om het percentage organische stof en het stikstofgehalte in de bodem te verhogen. Een deel van die organische stof wordt in de bodem omgezet in humus. Andere redenen zijn dat groenbemesters kunnen optreden als vanggewassen voor de opvang van meststoffen, dat ze kunnen helpen de bodemstructuur te verbeteren, bodemerosie kunnen tegengaan en soms ongewenste gewassen (onkruid) helpen onderdrukken.
Hamsterverbintenis	Dit is een verbintenis die is ontstaan door de subsidieregelingen van Provincie Limburg. Met als specifiek doel om de leefomgeving van de hamster te beschermen.
Hellingspercentage	Het hoogteverschil uitgedrukt in een percentage.
Hellinglengte	De lengte van een het perceel die dwars op de helling staat.
Hoofdgewas	Het gewas dat geteeld wordt met het doel om winst te maken of te gebruiken voor eigen gebruik.
Inundatie	Onder water lopen, overstromen
Mulchsysteem	Een systeem waarbij de bodem in het najaar geploegd wordt, vervolgens wordt er bodembedekking ingezaaid en in het voorjaar vindt er enkel niet-kerende grondbewerking plaats.
Mulch	Grof gehakt plantaardig materiaal (takken, schors) dat dient om de bodem te bedekken.
Niet-kerende grondbewerking	Grondbewerking, met uitzondering van ploegen, waarbij de grond die geroerd wordt zich beperkt tot de bovenste 12 centimeter. Dit kan ook gebeuren in combinatie met het breken van de bodem waarbij géén verstoring van de huidige bodemopbouw plaatsvindt.
Organische stofgehalte	Het percentage dood organisch materiaal in de bodem
Perceel	Een stuk oppervlakte grond die in eigendom is van één beheerder waarop een gewas wordt verbouwd.
Sediment	Het door bewegend ijs, stromend water of de wind achterlaten van het door deze transporterende media meegenomen los materiaal.
Stoppel	Afgesneden halm op akker.
Teeltjaar	De periode na de oogst van het hoofdgewas in het ene jaar tot en met de oogst van het hoofdgewas in het jaar wat daarop volgt. Indien er sprake is van meerdere gewassen wordt er gekeken vanaf de laatste oogst voor 1 januari.
Textuur	De manier waarop een materiaal is opgebouwd, de ruimtelijke indeling, de structuur, het al dan niet chaotische patroon.

Verslemping/verslempst:	Bodemkundige eigenschap waarbij het bovenste laag (eerste één à twee centimeter) van de bodem onder invloed van neerslag verspoelt, zodat de bodemdeeltjes bij opdrogen een harde korst op de grond vormen.
Waterdrempel	Een rug van aarde, deze liggen dwars in de rijen van teelt en hebben de functie om het afstromende water te bergen.
Wateropvang	Maatregel die getroffen wordt waarbij er een voorziening wordt gemaakt om water te kunnen bergen.

10 Bijlagen

1. Uitwerking mogelijke maatregelen
 - 1.1. Uitwerking teelttechnische maatregelen
 - 1.2. Uitwerking inrichtingsmaatregelen
2. Gespreksvoorbereiding
 - 2.1. Gespreksvoorbereiding Bert Vergoossen (LLTB)
 - 2.2. Gespreksvoorbereiding Peter Erkens (LTTB Heuvelland)
 - 2.3. Gespreksvoorbereiding agrariërs Ransdaal
 - 2.4. Gespreksvoorbereiding René Cleef & Chantal Kurvers (Gemeente Voerendaal)
 - 2.5. Gespreksvoorbereiding Harry ter Heegde & Ton Geensen (Provincie Limburg)
 - 2.6. Mogelijke maatregelen
3. Besprekingsverslagen
 - 3.1. Besprekingsverslag Bert Vergoossen (LLTB)
 - 3.2. Besprekingsverslag Peter Erkens (LTTB Heuvelland)
 - 3.3. Besprekingsverslag René Wiertz (agrariër)
 - 3.4. Besprekingsverslag Jos Soogele (agrariër)
 - 3.5. Besprekingsverslag Ruud Steinbusch (agrariër)
 - 3.6. Besprekingsverslag René Cleef & Chantal Kurvers (Gemeente Voerendaal)
 - 3.7. Besprekingsverslag Harry ter Heegde & Ton Geensen (Provincie Limburg)
4. Beoordeling maatregelen betrokken partijen
 - 4.1. Beoordeling maatregelen Bert Vergoossen (LLTB)
 - 4.2. Beoordeling maatregelen Jos Soogele (agrariër)
 - 4.3. Beoordeling maatregelen Ruud Steinbusch (agrariër)
 - 4.4. Beoordeling maatregelen Harrie Winteraeken & Marco de Redelijkheid (Waterschap Limburg)
5. Kaartmateriaal Ransdaal
 - 5.1. Geomorfologische kaart Ransdaal
 - 5.2. Gewassenbestand Ransdaal
 - 5.3. Knelpuntenkaart Ransdaal
 - 5.4. Legger Ransdaal
 - 5.5. Locaties boorprofielen Ransdaal
 - 5.6. Boormonsterprofiel B62B2163
 - 5.7. Boormonsterprofiel B62B2185
 - 5.8. Boormonsterprofiel B62B2493
 - 5.9. Boormonsterprofiel B62B2532
6. Kaartmateriaal focusgebied
 - 6.1. Boormonsterprofiel B62B2506
 - 6.2. Boormonsterprofiel B62B2509
 - 6.3. Boormonsterprofiel B62B2510
 - 6.4. Grondwaterstand put B62B0421

82 (83)

- 6.5. Focusgebied met stroombanen
- 6.6. Perceeleigenaren focusgebied
- 7. Bergingsopgave focusgebied Ransdaal
 - 7.1. Bergingsopgave focusgebied Ransdaal (3Di)
 - 7.2. Bergingsopgave focusgebied Ransdaal (aanname)
 - 7.3. In- en output 3Di
 - 7.4. Werkwijze berekening 3Di
 - 7.5. Inundatieoppervlak panden Ransdaal
- 8. Onderbouwing MCA
- 9. Onderbouwing samenstelling maatregelenpakketten
 - 9.1. Onderbouwing samenstelling maatregelenpakket 40%
 - 9.2. Onderbouwing samenstelling maatregelenpakket 60%
 - 9.3. Onderbouwing samenstelling maatregelenpakket 80%
- 10. Inrichtingsplannen
 - 10.1. Inrichtingsplan maatregelenpakket 40%
 - 10.2. Inrichtingsplan maatregelenpakket 60%
 - 10.3. Inrichtingsplan maatregelenpakket 80%
- 11. Handberekeningen maatregelen
 - 11.1. Handberekeningen maatregelen maatregelenpakket 40%
 - 11.2. Handberekeningen maatregelen maatregelenpakket 60%
 - 11.3. Handberekeningen maatregelen maatregelenpakket 80%
- 12. Criteria keuze casusgebied
- 13. Voordelen no-tillage (niet ploegen) Waterschap Limburg
- 14. Plan van Aanpak en planning
 - 14.1. Plan van Aanpak
 - 14.2. Gedetailleerde planning afstuderen
 - 14.3. Globale planning afstuderen
- 15. Taakverdeling