



Vlaanderen
is omgeving



Herziening van de neerslagerosiviteitsfactor R voor de Vlaamse erosiemodellering

 Eindrapport

DEPARTEMENT
OMGEVING

omgevingvlaanderen.be

Herziening van de neerslagerosiviteitsfactor R voor de Vlaamse erosiemodellering

In deze studie is een nieuwe waarde voor de neerslagerosiviteit berekend voor de Vlaamse erosiemodellering. Voor de berekeningen werd de voor België ontwikkelde methode van de KU Leuven gebruikt (Verstraeten et al., 2006) met als neerslagdata de 10 minuten resolutie data ter beschikking gesteld door het KMI en de VMM. Een referentiewaarde van $1239 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$ werd berekend voor Ukkel, in het geval dat er wordt rekening gehouden met een klimatologische referentieperiode van 30 jaar (1991-2020). Het gemiddelde van de berekende neerslagerosiviteitswaarden voor alle stations in Vlaanderen/België benaderen deze referentiewaarde zeer dicht. De berekeningen in deze studie tonen een stijgende trend in de neerslagerosiviteitswaarden in de laatste 30 jaar. Het opvolgen van deze trend is belangrijk voor een goede inschatting van het effect van neerslag op watererosie. Deze studie bevestigt de keuze van de waarde van $1250 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$ voor de Vlaamse erosiemodellering, dewelke behouden wordt voor toekomstige modelleeroefeningen.

Dit rapport bevat de mening van de auteur(s) en niet noodzakelijk die van de Vlaamse Overheid.

COLOFON

Verantwoordelijke uitgever

Peter Cabus
Departement Omgeving
Vlaams Planbureau voor Omgeving
Koning Albert II-laan 20 bus 8, 1000 Brussel
vpo.omgeving@vlaanderen.be
www.omgevingvlaanderen.be

Auteurs

Sacha Gobeyn, Johan Van de Wauw, Niels De Vleeschouwer en Daan Renders – Fluves
Nele Van Ransbeeck – VMM
Gert Verstraeten – KU Leuven
Petra Deproost – Departement Omgeving

Wijze van citeren

Gobeyn, S., Van de Wauw, J., De Vleeschouwer, N., Renders, D., Van Ransbeeck, N., Verstraeten, G. & Deproost, P. (2021). Herziening van de neerslagerosiviteitsfactor R voor de Vlaamse erosiemodellering. Departement Omgeving, Brussel, 44 pp.

PARTNERS

FLUVES

VLAAMSE
MILIEUMAATSCHAPPIJ

KU LEUVEN

MANAGEMENTSAMENVATTING

De neerslagerosiviteit is één van de belangrijkste factoren die bodemerosie bepalen. De erosieve kracht van neerslag wordt gekwantificeerd via de neerslagerosiviteitsfactor R. Deze R-factor is een maat voor de totale erosiviteit van een reeks buien binnen één jaar. De methode houdt rekening met zowel neerslaghoeveelheden als -intensiteiten. Binnen het kader van Vlaams erosiebeleid wordt gebruik gemaakt van een waarde van de neerslagerosiviteitsfactor van 1250 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ jaar⁻¹ om watererosie en sediment transport in te schatten. In deze studie is een nieuwe waarde voor de neerslagerosiviteit berekend in functie van de erosie- en sedimenttransportmodellering voor Vlaanderen. Voor de berekeningen werd de voor België gestandaardiseerde methode van de KU Leuven gebruikt (Verstraeten et al., 2006). Als inputdata werd gebruik gemaakt van de op een resolutie van 10 minuten beschikbare neerslagdata van alle neerslagstations van het KMI en de VMM in België, verdeeld over zowel Vlaanderen als Wallonië. Een referentiewaarde van 1239 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ jaar⁻¹ werd berekend voor Ukkel, rekening houdend met een klimatologische referentieperiode van 30 jaar (1991-2020). Deze nieuwe referentiewaarde is hoger dan de berekende waarden van Verstraeten et al. (2006). Dit wordt enerzijds verklaard door een verbetering in de dataverwerking, maar ook door de stijgende trend van de berekende neerslagerosiviteit in de laatste 10 jaar. Aan de basis hiervan liggen een reeks extreme events in de laatste jaren (zoals bijvoorbeeld de Pukkelpopstorm). De nieuwe referentiewaarde wordt bevestigd door het gemiddelde van alle, op jaarbasis berekende, neerslagerosiviteitswaarden van de andere stations in Vlaanderen en België. Het opvolgen van de stijgende trend is van belang om een goede inschatting te geven van het effect van veranderende neerslagtrends op erosie en de mogelijke impact van klimaatverandering. Het verschil tussen de waarden berekend in deze studie, enerzijds, en de waarde van 1250 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ jaar⁻¹ gebruikt in de erosiemodellering, anderzijds, is dermate klein dat ze geen invloed zal uitoefenen op de resultaten van de erosie en transportmodellering. Daarom wordt het gebruik van waarde van 1250 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ jaar⁻¹ voor de erosiemodellering behouden.

INHOUDSTAFEL

1	Introductie	5
2	Methodologie	6
3	Resultaten.....	9
3.1	Jaarlijkse erosiviteit	9
3.2	Maandelijkse erosiviteit	16
4	Discussie	18
5	Conclusie.....	20
	Data en code	21
	Referenties	22
	Appendix A	23
	Appendix B	42
	Maandelijkse analyse	42
	Outlieranalyse	43

1 INTRODUCTIE

De Vlaamse overheid maakt gebruik van een aangepaste versie van het Water and Tillage Erosion Model/Sediment Delivery Model (WaTEM/SEDEM), een erosie en sedimenttransport model ontwikkeld door de KU Leuven, afdeling Geografie en Toerisme van het departement Aard- en Omgevingswetenschappen (voorheen het Labo voor Experimentele Geomorfologie, Afdeling Fysische en Regionale Geografie, Departement Geografie-Geologie). WaTEM-SEDEM is een raster-gebaseerd model dat op jaarlijkse basis de hoeveelheid bodemerosie en sedimenttransport vanaf hellingen naar waterlopen simuleert. Het is een samenvoeging van WaTEM (Van Oost et al., 2000) dat vooral gericht is op ruimtelijke simuleren van bodemerosie door water en bewerking, en SEDEM (Van Rompaey et al., 2001) dat gericht is op het simuleren van sedimenttransport naar de waterlopen. (Renders et al., in prep). De berekeningen van de jaarlijkse erosie en de sedimentafvoer per pixel zijn gebaseerd op de RUSLE-vergelijking (Renard et al., 1997):

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P \quad (1)$$

met:

A = gemiddeld jaarlijks bodemverlies door watererosie (ton ha⁻¹ jaar⁻¹);

R = gemiddelde jaarlijkse neerslagerosiviteit (MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ jaar⁻¹);

K = bodemerosiegevoeligheid (ton h MJ⁻¹ mm⁻¹);

LS = topografische factor, afhankelijk van de hellingslengte en hellingsgraad (dimensieloos);

C = gewas- en bedrijfsvoeringsfactor (dimensieloos);

P = erosiebeheersingsfactor (dimensieloos).

Neerslagerosiviteit is één van de belangrijkste factoren die bodemerosie bepalen. De erosieve kracht van neerslag wordt gekwantificeerd in neerslagerosiviteit R. Dit is een maat voor de totale erosiviteit van een reeks buien binnen één jaar. De neerslagerosiviteitsfactor maakt gebruik van de neerslaghoeveelheden en kinetische energie van één bui om de gemiddelde erosiviteit van neerslag op jaarbasis te bepalen. De R-waarde is een aantal keer berekend voor Vlaanderen. Van Rompaey et al. (2000) hanteerde een waarde voor Vlaanderen variërend tussen 490 en 860 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ jaar⁻¹, gebaseerd op de berekeningen van Bollinne (1982) voor België. Voor toepassingen van neerslagerosiviteit (in bijvoorbeeld het WaTEM/SEDEM model) in Vlaanderen wordt sinds 2004 gebruik gemaakt van een R-waarde van 871 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ jaar⁻¹ op basis van neerslagdata met een resolutie van 10 minuten, gemeten te Ukkel door het KMI in de periode 1898-2002 (Verstraeten et al., 2006). De analyse van Verstraeten et al. (2006) toont aan dat zowel de temporele als spatiale variatie van de neerslagwaarden leiden tot een grote variatie in de afgeleide neerslagerosiviteitsfactor R. Verstraeten et al. (2006) toonden aan dat meetperiodes van 20 jaar nodig zijn om betrouwbare langetermijnwaarden te berekenen en om de interjaarlijkse variabiliteit te minimaliseren. Hoewel er in Vlaanderen sinds 2003 verschillende pluviografen werden geïnstalleerd, is de gemiddelde meetperiode onvoldoende lang om betrouwbare R-waarden per neerslagstation te berekenen. Notebaert et al. (2006) pasten de methode van Verstraeten et al. (2006) toe voor de periode 1995-2004 en konden geen statistisch relevant verschil vaststellen tussen de gemiddelde R-waarde van Ukkel en die van 10 andere Vlaamse stations. Voor de berekening van de erosiekaart werd beslist de gemiddelde R-factor van Ukkel over de periode 1898-2004 te gebruiken, met name een waarde van 880 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ jaar⁻¹. Vanwege deze variatie is het belangrijk dat de neerslagerosiviteitsfactor op regelmatige basis wordt geëvalueerd, om zowel temporele als spatiale variaties te onderzoeken, en actuele waarden voor de

neerslagerosiviteitsfactor af te leiden. Het doel van deze studie is om de neerslagerosiviteitsfactor R te herberekenen op basis van neerslagdata van Ukkel (KMI) opgemeten vanaf 1898 tot en met 2020. Daarenboven wordt een nieuwe klimatologische referentieperiode gedefinieerd, en worden de resultaten bekomen met de data van Ukkel vergeleken met R-waarden bekomen met andere pluviografen in Vlaanderen.

2 METHODOLOGIE

De gemiddelde jaarlijkse neerslag erosiviteitsfactor R ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1} \text{jaar}^{-1}$) wordt gegeven door vergelijking (2) (Verstraeten et al., 2006):

$$R = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left(\sum_{k=1}^{m_j} E_k(I_{30})_k \right)_j \quad (2)$$

met j de index van het beschouwde jaar (n jaren), k de index van de bui (m_j buien voor het jaar j). $E_k(I_{30})_k$ of EI_{30} is de erosie-index, en wordt bekomen door de totale kinetische energie E_k (J m^{-2}) van een bui k te vermenigvuldigen met de maximale 30-minuten regenintensiteit (I_{30} , mm h^{-1}). De totale kinetische energie E_k van een bui k wordt bepaald door vergelijking (3):

$$E = \sum_{r=1}^o e_r \Delta V_r \quad (3)$$

met r, de index van een datapunt in een neerslagtijdsreeks (met o, het aantal datapunten) en ΔV_r , de hoeveelheid neerslag geobserveerd op r. In deze studie wordt een increment gedefinieerd door een resolutie van 10 minuten, dus er is één meting elke 10 minuten. Met andere woorden, ΔV_r is de hoeveelheid gevallen neerslag over 10 minuten. De kinetische energie per eenheid van neerslaghoeveelheid e_r ($\text{J m}^{-2} \text{mm}^{-1}$) wordt berekend met vergelijking (4):

$$e_r = 11.12 i_r^{0.31} \quad (4)$$

Met i_r de neerslagintensiteit (mm h^{-1}) over een resolutie van 10 minuten. Voor het berekenen van de maximale 30-minuten regenintensiteit (I_{30}) van de storm wordt de intensiteit van 10 minuten herschaald naar een resolutie van 30 minuten. Met andere woorden, de 30 minuten intensiteit wordt voor elke r bepaald door de totale neerslag van de vorige 30 minuten op te tellen en te delen door 30 minuten ($=\Delta V_{r,30\text{min}}/\Delta t_{30\text{min}}$ met Δt , de verstreken tijd in uren, hier 0,5 h).

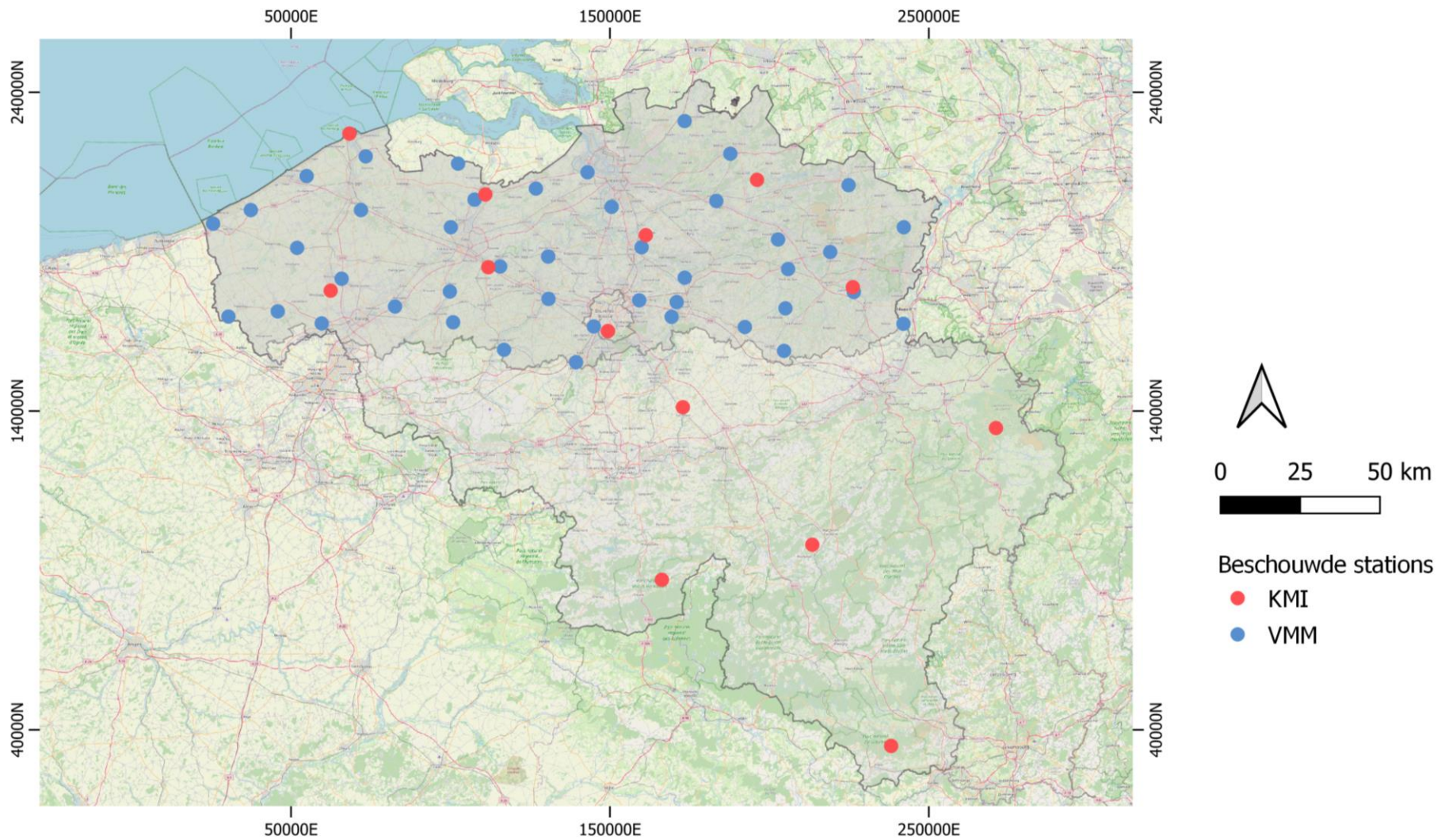
Verskillende events of buien worden van elkaar onderscheiden door een droge periode van zes uur (i.e. geen neerslag geobserveerd gedurende 6 uur). Een event wordt enkel als een erosief event beschouwd als het totaal volume groter of gelijk aan 1,27 mm is (Verstraeten et al., 2006). Dus, de EI_{30} wordt niet berekend voor events met een totaal volume lager dan 1,27. .

De Matlab code van Verstraeten et al. (2006) wordt gehanteerd om de $E_k(I_{30})_k$ (verder in de tekst aangeduid als EI_{30}) en R-waarden te bepalen. Er wordt één belangrijke verbetering toegevoegd in de code: neerslagwaarden boven de 1 mm per 10 minuten werden in de studie van Verstraeten et al. (2006) naar het lagere geheel getal afgerond (vb. '1,30', '2,80' en '3,20' mm werden respectievelijk ingelezen als '1,00', '2,00' en '3,00' mm). In de vernieuwde code worden bij getallen boven de 1 mm de decimalen na de komma niet afgerond. Dit heeft belangrijke implicaties voor de berekening

gezien het niet naar beneden afronden er zal voor zorgen dat hogere EI_{30} en R-waarden worden bekomen.

In Tabel 1 zijn de statistieken van de data te zien die gebruikt zijn voor de bepaling van R. Om deze databank op te stellen zijn initieel de volledige data voor alle stations over de beschikbare jaren beschouwd (t.e.m. 2020). Een overzicht van de locaties van alle 57 stations (13 KMI, 44 VMM), waarvoor neerslag data beschikbaar zijn, is te zien in Figuur 1. Per jaartijdsreeks van één station werden eerst alle nul waarden verwijderd (een 'niet-nul tijdsreeks'). Vervolgens werd onderzocht of er ontbrekende data aanwezig waren in deze niet-nul tijdsreeks. Indien een niet-nul tijdsreeks minder dan 5 % ontbrekende waarden had, dan werd de niet-nul tijdsreeks voor het betreffende jaar behouden. Het is belangrijk op te merken dat de 5 % drempelwaarde geldig is voor de niet-nul tijdsreeksen. In een volgende stap werden enkel de tijdsreeksen (per jaar) in beschouwing genomen waarvoor hun eerste niet-nul waarde en laatste niet-nul waarde binnen respectievelijk de eerste dertig en laatste dertig dagen liggen van één jaar. Met andere woorden, indien geen neerslag geregistreerd is in januari of december, dan werd de tijdsreeks niet beschouwd. De motivatie voor deze randvoorwaarde is om te vermijden dat incomplete datasets (vb. enkel data vanaf april) worden meegenomen. Deze analyse werd herhaald voor alle jaren van alle station. In verdere tekst wordt naar deze dataset verwezen als gefilterde data.

De statistieken van deze gefilterde data zijn te vinden in Tabel 1. Een overzicht van de volledigheid per dataset wordt gegeven in Tabel 6. Er zijn 57 stations (14 KMI, 43 VMM) over voor de analyse, waarvan twee gelokaliseerd zijn te Ukkel (KMI), vijf in Wallonië (KMI) en 50 in Vlaanderen (7 KMI, 43 VMM). In totaal blijven 552 (gefilterde data set) inputbestanden over om door te rekenen met het R-factor script. In elke van deze files is de niet-nul reeks van de hoeveelheid neerslag (mm) te vinden voor één jaar voor één station, dit op een temporele resolutie van 10 minuten.



Figuur 1: Overzicht van de gebruikte KMI (rood) en VMM (blauw) neerslag stations (57 stations, twee op de locatie van Ukkel). Het gebruikte coördinatensysteem is Lambert72 (EPSG:31370).

3 RESULTATEN

3.1 JAARLIJKSE EROSIVITEIT

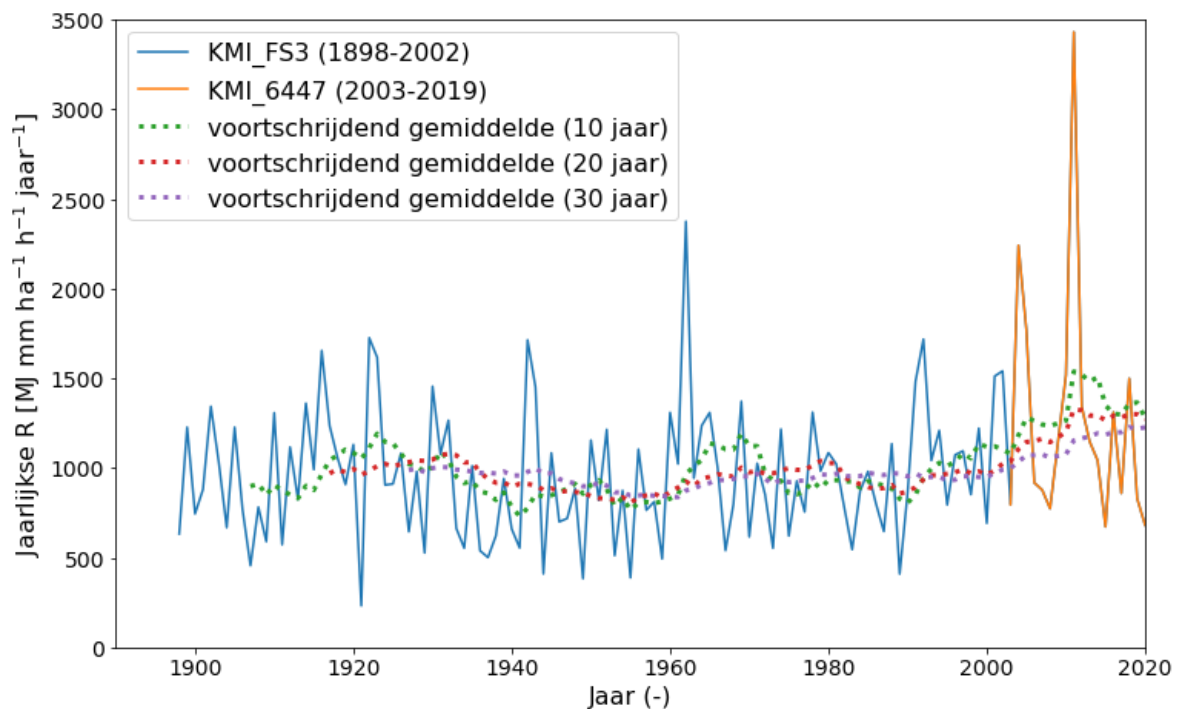
In een eerste analyse worden enkel de tijdsreeksen ter beschikking te Ukkel in beschouwing genomen zoals in Verstraeten et al. (2006). In Figuur 2 is de evolutie van de jaarlijkse R in functie van het jaar getoond (blauw en oranje lijn), samen met de voortschrijdend R over 10, 20 en 30 jaar (respectievelijk groen gestippelde, rood gestreepte en paars gestippelde/gestreepte lijn). De voortschrijdende gemiddeldes indiceren een stijgende trend van R. Het is onduidelijk of de toename in R te wijten is aan 1) klimaatverandering, 2) verschil in meettoestel, dan wel aan 3) toevallige variabiliteit in neerslagkarakteristieken. In Ukkel werd de pluviograaf die sinds 1898 continu metingen verrichtte (KMI_FS3) immers vervangen door een nieuw type (KMI_6447). Hoewel er geen aanwijsbare redenen zijn om aan te nemen dat de nieuwe pluviograaf vanaf 2003 systematisch hogere intensiteiten kan registreren, is dit potentieel wel een verklaring voor het verschil in R na 2002. In Ukkel werden in 2011 ook twee zeer intense regenbuien geregistreerd (“Pukkelpopstorm” van 18 augustus 2011 en onweer van 22-23 augustus 2011). Desalniettemin zijn deze buien niet exceptioneel voor Vlaanderen. Gelijkaardige buien komen bijna jaarlijks voor en leiden tot lokale wateroverlast, maar worden zelden geregistreerd door een officieel meetstation en hun ruimtelijk voorkomen is beperkt (zie ook Verstraeten et al., 2001). Er is dan ook geen enkele reden om aan te nemen dat dit uitzonderlijke waarden zijn die een vertekend beeld van de jaarlijkse gemiddelde erosiviteit zouden geven. Integendeel, het ontbreken van intense regenbuien in de dataset van Ukkel in de periode vóór 2003 zal eerder aanleiding geven tot een onderschatting van R. Indien de resultaten verder worden geanalyseerd dan wordt geobserveerd dat de voortschrijdende standaardafwijking op de R-waarde op basis van 30 jaar ook stijgt (hier niet geplot), wat de bovenstaande redenering ondersteunt.

In Tabel 2 zijn de gemiddelde R-waarden voor Ukkel opgelijst voor verschillende periodes. Er wordt een R-waarde van $1239 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$ berekend op basis van de 30 laatste jaar (1991-2020). Het gebruik van een R-waarde gedefinieerd voor de laatste 30 jaar wordt aangeraden omdat een schaal op basis van 30 jaar voldoende is om een betrouwbare waarde te krijgen gegeven de variabiliteit van de R-waarden (Verstraeten et al., 2006). Deze periode van 30 jaar is ook de referentieperiode die door het KMI gehanteerd wordt voor de berekening van de normalen (gemiddelden over de periode) te Ukkel. In het huidige CN-WS model voor Vlaanderen wordt een waarde gehanteerd van $1250 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$ (Deproost et al., 2018), dewelke gebaseerd was op tussentijdse resultaten van de huidige studie. Het belangrijkste verschil is het gebruik van de jaren 1988 tot en met 2017 in de vorige studie ten opzichte van 1991 tot en met 2020 in deze studie voor het berekenen van de R-waarde voor de klimatologische referentieperiode. Daarenboven werden de datareeksen in de studie van Deproost et al. (2018) niet gefilterd (zie einde sectie 2, ‘gefilterde data’ en Tabel 1 en Tabel 6). Voor het opstellen van Tabel 2 is het jaar 2009 voor station KMI_6447 niet meegenomen (volledigheid tijdsreeks is gelijk aan 78 %, zie Tabel 6) in deze studie, maar wel voor de studie van Deproost et al. (2018).

Tabel 1: Overzicht gefilterde data en statistieken van gefilterde neerslagtijdsreeksen (56 stations, de statistieken zijn berekend op basis van de gefilterde tijdsreeksen met niet-nul waarden, zie sectie 2). Eén station – P10_042, te Vorselaar – staat hier niet gerapporteerd omdat alle niet-nul tijdsreeksen onvolledig waren. Het Lambert72 coördinatensysteem wordt gebruikt voor de definitie van de X- en Y-coördinaten. Het is belangrijk om op te merken dat de minimumwaarde afhankelijk is van de detectielimiet van de pluviometers.

ID	Station	Locatie	Jaren	X- coördinaat	Y- coördinaat	Aantal	Minimum (mm)	Mediaan (mm)	Maximum (mm)
1	KMI_6414	Beitem	2004-2008;2010;2013;2014;2016-2020	62433	177770	42740	0,01	0,10	17,20
2	KMI_6418	Zeebrugge	2013;2015-2018;2020	68311	227035	21452	0,01	0,06	12,90
3	KMI_6431	Zelzate	2013-2017	110942	207931	15148	0,01	0,20	16,00
4	KMI_6434	Melle	2004;2006-2008;2013;2017-2020	111863	185117	30848	0,01	0,10	16,60
5	KMI_6439	Sint-Katelijne-Waver	2008-2010;2012;2013;2015-2020	161253	195183	29785	0,01	0,10	14,20
6	KMI_6447	Ukkel	2003-2008;2010-2020	149377	165077	56474	0,01	0,10	21,00
7	KMI_6455	Dourbes	2002-2008;2010-2016;2017-2020	166282	87083	60561	0,01	0,10	16,00
8	KMI_6459	Ernage	2001-2012;2014;2015;2017-2020	172864	141211	57898	0,01	0,10	17,60
9	KMI_6464	Retie	2013;2014;2016-2020	196134	212533	24441	0,01	0,10	17,60
10	KMI_6472	Humain	2006;2007;2009;2016-2020	213458	98067	32929	0,01	0,10	16,77
11	KMI_6477	Diepenbeek	2005;2007;2008;2011;2012;2014;2015-2019	226166	178859	32446	0,01	0,10	22,60
12	KMI_6484	Buzenol	2005;2007;2009;2010-2012;2014-2016;2020	238183	34949	38916	0,01	0,10	15,20
13	KMI_6494	MontRigij	2013-2017;2019	271048	134673	33639	0,01	0,10	13,10
14	KMI_FS3	Ukkel	1989-2002	149377	165077	331206	0,10	0,10	19,60
15	P01_003	Zarren	2005;2006;2008;2010;2012;2014;2016;2018;2020	51907	191193	35014	0,01	0,10	15,18
16	P01_010	Ieper	2008;2010;2012;2015-2020	45836	171260	31263	0,01	0,10	17,71
17	P01_015	Sint-Joris	2008;2009;2011;2012;2014;2015;2017-2020	37391	203053	32384	0,01	0,11	21,61
18	P01_029	De Panne	2009;2010;2015-2018	25566	198775	19688	0,01	0,12	15,75
19	P01_037	Poperinge	2015-2018;2020	30383	169639	15936	0,01	0,12	12,64
20	P02_004	Oostkamp	2008-2012;2014;2017;2018;2020	71934	203046	32372	0,01	0,11	17,74
21	P02_008	Klemskerke	2005;2009;2011;2012;2014;2016-2020	54903	213712	33477	0,01	0,11	13,37
22	P02_030	Dudzele	2015;2017;2018;2020	73428	219889	12881	0,01	0,12	14,82
23	P03_005	Vinderhout	2009;2010;2012;2014;2015-2020	100117	197676	39196	0,01	0,09	13,21
24	P03_017	Boekhoute	2009;2010;2014;2017-2020	102378	217610	25395	0,01	0,10	15,89
25	P03_036	Stekene	2009-2012;2016-2018;2020	126793	209790	21803	0,01	0,18	19,68
26	P03_041	Ertvelde	2010;2011;2014;2016-2020	107553	206313	23557	0,01	0,14	11,68
27	P04_001	Melsele	2005;2009-2012;2016	142966	214911	20783	0,01	0,10	15,79
28	P04_020	Massemen	2007;2010-2012;2014;2016-2020	115584	185349	33525	0,01	0,11	14,55
29	P04_027	Wilrijk	2009;2011;2014;2015;2017-2020	150532	204061	27892	0,01	0,10	17,41
30	P05_019	Waregem	2007;2009;2012;2016-2018;2020	82616	172798	26351	0,01	0,09	9,93
31	P05_038	Geluwe	2016-2020	59622	167497	15381	0,01	0,12	10,00

32	P05_039	Roeselare	2009;2011;2012; 2014-2018;2020	65867	181510	32852	0,01	0,10	17,74
33	P06_014	Maarke- Kerkem	2011;2012;2014-2018	100828	167846	24900	0,01	0,09	19,10
34	P06_040	Zingem	2009-2012;2014-2020	99800	177500	30479	0,01	0,15	15,96
35	P07_006	Liedeker- ke	2009- 2011;2013;2015;2018;20 19	130730	175177	23444	0,01	0,09	15,66
36	P07_021	Moerbe- ke	2009;2010;2012; 2014;2017;2018;2020	116794	159224	22617	0,01	0,10	10,75
37	P07_022	Dender- belle	2009;2012;2014-2020	130619	188456	32689	0,01	0,09	18,01
38	P08_009	St- Pieters- Leeuw	2008;2010-2012; 2014;2015;2017-2020	144952	166549	36708	0,01	0,09	15,07
39	P08_013	Korbeek- Dijle	2010;2012;2015; 219- 2020	169338	169563	22293	0,01	0,09	26,03
40	P08_018	Bonheid- en	2008;2009;2011;2012;20 18;2019	159936	191383	21299	0,02	0,09	19,14
41	P08_023	Lembeek	2015-2019	139389	155330	15290	0,01	0,12	15,40
42	P08_028	Rotselaar	2010;2012;2015	173437	181832	14268	0,01	0,09	13,28
43	P08_031	Heverle- e	2009;2010-2013; 2015;2016-2019	170944	174177	28793	0,01	0,10	19,84
44	P08_033	Nossege- m	2009;2010;2012;2018- 2020	159180	174735	21857	0,01	0,09	16,75
45	P09_012	Niel-bij- St.- Truiden	2011;2014- 2016;2018;2019	204600	158877	18409	0,01	0,09	19,45
46	P09_016	Lummen	2010;2012;2018-2020	205866	184545	16688	0,01	0,09	10,48
47	P09_025	Houthal- en	2009-2012;2016;2018- 2020	219082	189904	30697	0,01	0,09	14,59
48	P09_026	Runkele- n	2009;2014;2015;2017- 2020	205040	172223	23344	0,01	0,09	23,07
49	P09_032	Tienen	2009-2011;2014; 2015;2017-2020	192311	166377	29474	0,01	0,09	27,38
50	P09_034	Tessend- erlo	2016;2017-2020	202728	193815	18273	0,01	0,09	9,50
51	P09_035	Beverst	2014;2018-2020	226491	177335	11808	0,01	0,09	20,99
52	P10_011	Herentals	2005;2012;2014;2018	183363	205910	17743	0,01	0,10	14,81
	P10_042	Vossela- ere	2018			3407	0,01	0,09	13,74
53	P11_002	Overpel- t	2006- 2007;2011;2015;2018- 2020	224843	210857	24744	0,01	0,09	11,16
54	P11_007	Loenho- ut	2006;2009-2012;2015- 2016;2018-2020	173416	230970	38004	0,01	0,09	16,21
55	P11_024	Kanne	2012;2015;2018;2020	242038	167382	19487	0,01	0,08	17,79
56	P11_043	Neeroet- eren	2009-2012;2015-2017- 2020	242149	197668	40223	0,01	0,09	26,59



Figuur 2: Gemiddelde jaarlijkse R ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1} \text{jaar}^{-1}$) (Ukkel)

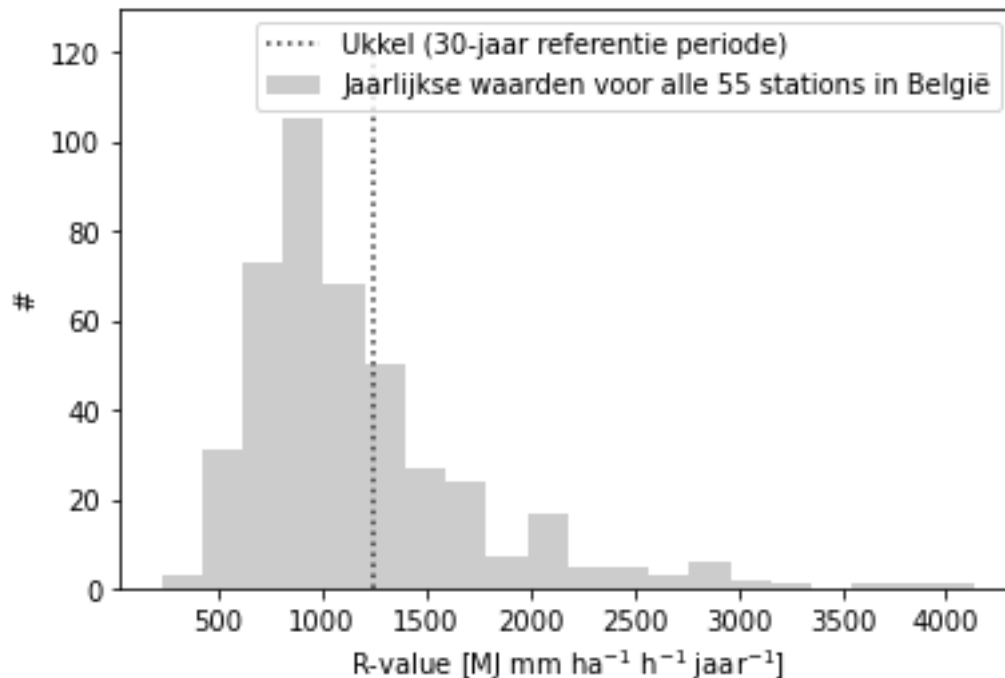
Tabel 2: Gemiddelde jaarlijkse R berekend op basis van de tijdsreeksen ter beschikking in Ukkel (KMI_FS3, KMI_6447).

Periode	Gemiddelde jaarlijkse R ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1} \text{jaar}^{-1}$)	Nota
1898-2002	958	Originele dataset Ukkel (KMI_FS3) - één pluviograaf
2003-2020	1277	Nieuwe dataset - één toestel (KMI_6447)
1898-2020	1003	Totale dataset Ukkel (KMI_FS3 & KMI_6447) - twee verschillende toestellen
1999-2020	1237	Laatste 22 jaar – minimum periode voorgesteld door RUSLE-handboek
1991-2020	1239	Laatste 30 jaar - klimatologische referentieperiode
1990-2000	1095	Gemiddelde periode van oudste sedimentmetingen
2000-2020	1272	Periode van sedimentmeetnet

De waarde van Ukkel wordt geëvalueerd met de R-waarden berekend met behulp van de data van de andere stations. Hiervoor zijn alle R-waarden berekend voor de 55 resterende stations in België (waarvan 5 in Wallonië, 50 in Vlaanderen), dit voor de jaren gerapporteerd in Tabel 1.

In Figuur 3 is de distributie te zien van alle jaarlijkse R-waarden voor de stations in België (exclusief Ukkel, 55 stations, voor de jaren gerapporteerd in Tabel 1). Er wordt een licht positieve distributie geobserveerd met een minimale en maximale waarde van 222 en 4134 $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1} \text{jaar}^{-1}$. Het gemiddelde van deze distributie is gelijk aan 1171 $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1} \text{jaar}^{-1}$. Hierbij zijn de data van 55 Belgische stations gebruikt, en dus niet de twee stations in Ukkel. Er wordt een waarde van 1138 $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1} \text{jaar}^{-1}$ bekomen indien het gemiddelde berekend wordt op basis van de stations in Vlaanderen (50 stations, exclusief de vijf stations van KMI in Wallonië, en exclusief de twee stations in Ukkel). De gemiddelde waarden voor België en Vlaanderen benaderen de lange-termijnwaarde van Ukkel. Dit maakt de waarde te Ukkel op basis van de 30 jaar referentieperiode een aanvaardbare schatting voor de gemiddelde neerslagerosiviteit in Vlaanderen. De gemiddelde waarde voor 43

Vlaamse meetstations werd in de studie van Deproost et al. (2018) geschat op 1264 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ jaar⁻¹ (op basis van 442 R-waarden). Deze waarde was bepaald aan de hand van alle VMM stations, en dus niet met de extra zeven stations van het KMI in het grondgebied van Vlaanderen. Het is belangrijk om op te merken dat in de studie van Deproost et al. (2018) de data niet gefilterd werden. Er wordt een waarde van 1130 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ jaar⁻¹ voor deze studie bekomen indien de R-waarde op basis van de gefilterde data van de 43 VMM stations wordt berekend.



Figuur 3: Distributie van alle jaarlijkse R-waarden [MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ jaar⁻¹] voor alle stations in België. De waarde te Ukkel bepaald aan de hand van de klimatologische referentieperiode van 30 jaar is aangeduid met de stippellijn.

In Tabel 3 is een overzicht te zien van de gemiddelden en standaardafwijkingen van de R-waarden voor de verschillende stations (55 Belgische stations, excl. Ukkel) over de beschouwde jaren (voor de selectie van de jaren, zie Tabel 1). Een aantal stations (vb. P03_036, Stekene, P04_001, Melsele, KMI_6484, Buzenol, , maar vooral KMI_6494, Mont Rigi) hebben een zeer hoge gemiddelde waarde ten opzichte van Ukkel, terwijl de meeste andere stations gelijkaardige waarden hebben. De hoogste waarde wordt genoteerd op het bijna hoogste punt van België, Mont Rigi (680 m), niet ver van Signal de Botrange (Hoge Venen, 694 m). Er zijn ook hoge waarden (> 1500 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ jaar⁻¹) geschat voor de twee andere stations die met de Ardense hoogvlakte worden geassocieerd, met name KMI_6484 (Buzenol) en KMI_6472 (Humain). Bolline (1982) kwam tot een gelijkaardige conclusie bij een ruimtelijke analyse van de neerslagerosiviteitswaarden bepaald voor volledig België. In de studie van Bolline (1982) werden hogere erosiviteitswaarden geschat voor de Ardense hoogvlakte.

Er kan echter op basis van de huidige data set geen significante lineair verband (5 % significantie niveau) afgeleid worden tussen enerzijds, het verschil tussen het gemiddelde per station en de R-waarde voor de 30 jaar referentieperiode te Ukkel, en anderzijds, de afstand tussen de beschouwde stations en Ukkel. Daarbij is de standaard deviatie op de R-waarden voor alle stations vrij groot (vaak groter dan 40 % van de gemiddelde waarde). De ruimtelijke verdeling van de variatie op de gemiddelde R-waarde voor Vlaanderen vertoont dus geen specifiek patroon, wat suggereert dat de afwijkingen op het gemiddelde eerder willekeurig verdeeld zijn over de ruimte. Dit gegeven, en het

feit dat de gemiddelde waarde voor Vlaanderen gelijkaardig is aan deze van Ukkel, ondersteunen de stelling dat de R-waarde voor Ukkel een representatieve waarde is voor Vlaanderen.

Daarbij is dat de temporele schaal per station (behalve Ukkel) onvoldoende groot (maximum 18 jaar) om conclusies te trekken voor de neerslagerosiviteit geschat voor die stations. Gegeven deze variatie per station wordt geconcludeerd dat het gebruik van een locatie-gebonden waarde berekend op basis van meerdere jaren niet aangeraden wordt voor toepassingen in de erosiemodellering. In Tabel 4 zijn de gemiddeldes en standaard afwijkingen voor de jaren over alle beschouwde stations voor België (55) te zien, dit voor de laatste 20 jaar. Er wordt een grote spreiding geobserveerd tussen de gemiddeldes voor de verschillende jaren. Ook hier is de standaard deviatie op de R-waarden hoog, ditmaal per jaar (ook vaak hoger dan 40 %). Gegeven de variatie per jaar wordt gelijkaardig geconcludeerd dat het gebruik van een jaarlijkse waarde berekend op basis van meerdere stations niet aangeraden wordt voor toepassingen in de erosiemodellering.

Het is belangrijk om te benadrukken dat de waarden berekend met de datasets van België en Vlaanderen gebruikt worden ter evaluatie van de waarde bekomen met de tijdsreeks in Ukkel. De beschikbare dataset leent er zich niet toe om op een betrouwbare manier ruimtelijke patronen en temporele evoluties van de neerslagerosiviteit in Vlaanderen te analyseren. Voor dergelijke analyses moet gewacht worden tot langere tijdsreeksen voor deze meetstations ter beschikking zijn.

Tabel 3: Overzicht van de resultaten van de berekening van de R –waarde (MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ jaar⁻¹) voor de 55 stations in België (exclusief de twee stations Ukkel) . Het verschil in R-waarde te Ukkel werd bepaald door per station het gemiddelde te berekenen en dit te vergelijken met de waarde te Ukkel voor de 30-jaar referentieperiode. Voor deze analyse zijn alleen de gefilterde data gebruikt (zie sectie 2).

Station	Afstand (km)	Aantal jaren metingen	Gemiddelde jaarlijkse R	Standaard afwijking R	Verskil met R waarde Ukkel
KMI_6459	33	18	1275	591	36
KMI_6455	80	17	1113	507	-126
KMI_6414	88	13	1272	582	33
P06_040	51	11	1004	308	-235
KMI_6477	78	11	1383	479	144
P11_043	98	11	1366	854	127
KMI_6439	32	10	977	286	-262
P01_003	101	10	1318	792	79
P08_009	5	10	950	336	-289
P04_020	39	10	1205	582	-34
P03_005	59	10	1160	326	-79
P01_015	118	10	1033	362	-206
P02_008	106	10	1017	463	-222
KMI_6484	158	10	1522	594	283
P11_007	70	10	1146	413	-93
P01_010	104	9	1180	384	-59
P05_039	85	9	1371	741	132
P09_032	43	9	1272	745	33
P02_004	86	9	1050	377	-189
P07_022	30	9	1074	297	-165
KMI_6434	43	9	1363	537	124
P08_031	23	8	1132	512	-107
KMI_6472	93	8	1515	965	276
P04_027	39	8	1231	482	-8
P03_036	50	8	1602	937	363
P03_041	59	8	995	331	-244
P09_025	74	8	1119	510	-120
P09_026	56	7	1050	472	-189
P07_006	21	7	858	312	-381
P11_002	88	7	859	274	-380
P07_021	33	7	775	329	-464
P06_014	49	7	889	189	-350
P05_019	67	7	737	203	-502
KMI_6464	67	7	1144	618	-95
P03_017	70	7	1162	495	-77
KMI_6418	102	6	822	357	-417
P08_013	20	6	966	425	-273
P08_018	28	6	1466	1148	227
KMI_6494	125	6	2062	550	823
P01_029	128	6	1516	1303	277
P04_001	50	6	1592	406	353
P08_033	14	6	1431	729	192
P09_012	56	6	1238	489	-1
P09_034	61	5	896	243	-343
P11_024	93	5	1320	852	81
P10_011	53	5	1393	563	154
KMI_6431	58	5	1027	272	-212
P01_037	119	5	1054	258	-185
P08_023	14	5	853	189	-386
P05_038	90	5	840	144	-399
P09_016	60	5	800	222	-439
P09_035	78	4	1273	82	34
P02_030	94	4	1170	398	-69
P08_028	29	4	873	316	-366
P10_042	68	1	1193	-	-46

Tabel 4 Overzicht van de resultaten van de berekening van de R-waarde (MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ jaar⁻¹) voor de jaren 2001 tot en met 2020 (rekening houdend met alle 55 Belgische station, exclusief Ukkel). Het aantal stations waarmee per jaar is rekening gehouden is opgelijst in kolom 2. Voor deze analyse zijn alleen de gefilterde data gebruikt (zie sectie 2).

Jaar	Gemiddelde jaarlijkse R	Standaard afwijking R	Aantal stations
2020	986	538	41
2019	958	227	36
2018	928	459	51
2017	1055	655	37
2016	1424	769	34
2015	945	339	32
2014	1437	581	30
2013	1277	352	10
2012	1234	553	32
2011	1353	697	24
2010	1294	326	28
2009	1276	539	27
2008	1402	687	12
2007	1444	389	10
2006	1214	470	8
2005	1374	783	9
2004	1087	269	4
2003	759	284	2
2002	2199	794	2
2001	1693	-	1

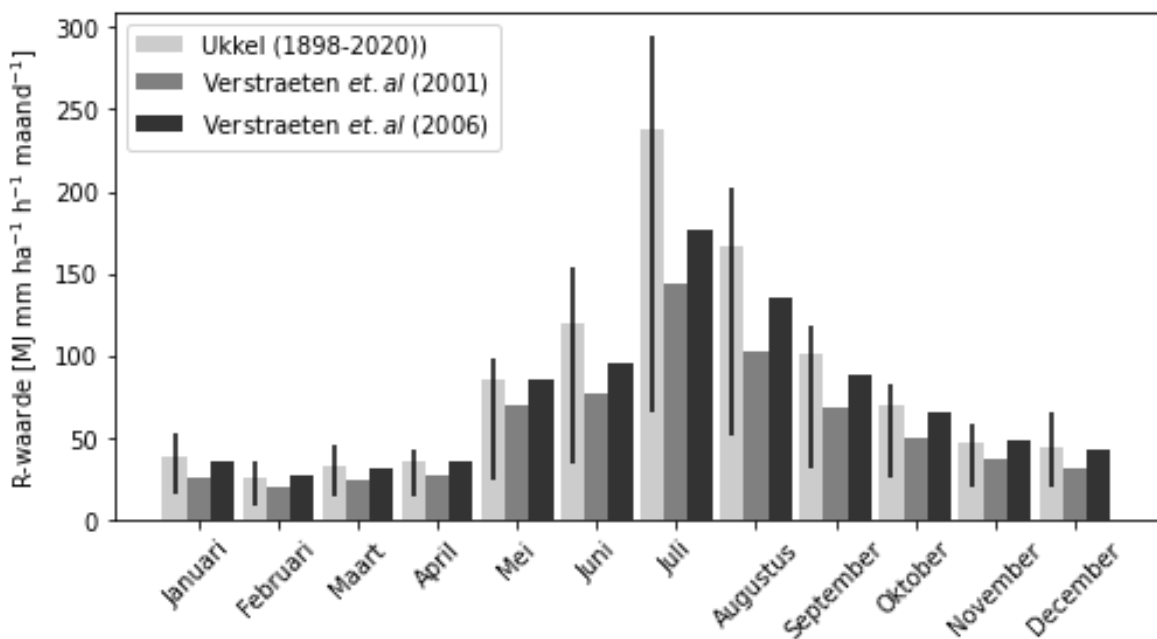
3.2 MAANDELIJKSE EROSIVITEIT

In een volgende stap worden maandelijkse R_{μ} –waarden berekend op basis van vergelijking (2). Eén belangrijk verschil met vergelijking (2) is dat $m_{\mu,j}$ het aantal buien is voor maand μ in het jaar j :

$$R_{\mu} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left(\sum_{k=1}^{m_{\mu,j}} E_k(I_{30})_k \right)_j \quad (5)$$

In de berekening worden dezelfde stelregels gebruikt als voor de berekening van de jaarlijkse erosiviteitsfactor (1,27 mm). In Figuur 4 zijn de maandelijkse waarden (MJ.mm.ha⁻¹ h⁻¹ maand⁻¹) voor Ukkel te vinden (18981 tot en met 2020, licht grijs). De gemiddelde maandelijkse waarden gerapporteerd in Verstraeten et al. (2001) staan afgebeeld in het donkergrijs. De onderste en bovenste waarde van de foutenmarge worden gedefinieerd door het 25 en 75 percentiel van de maandelijkse $E_{I_{30}}$ -waarden berekend in deze studie. In de maandelijkse waarden is er een duidelijke piek te observeren in juli, terwijl het minimum in februari wordt geobserveerd. De waarden gerapporteerd in Verstraeten et al. (2001) liggen – vooral voor de maanden juni, juli en augustus – een stuk lager, maar wel binnen de foutenmarge gedefinieerd door de 25 en 75 percentiel waarden. Een belangrijk verschil met deze studie is dat in de studies van Verstraeten et al. (2001) en Verstraeten et al. (2006) gebruik werd gemaakt van de data van 1898 tot en met 1997 en 1898 tot en met 2002, respectievelijk. Indien de maandelijkse R-waarden nader worden onderzocht, dan wordt voor zowel de maanden juli als augustus een stijgende trend geobserveerd sinds 1998 (op

basis van het 30-jaar voortschrijdend gemiddelde, een stijging van 178 naar 247 (+38%) en 165 naar 303 (+84%) voor respectievelijk de maanden juli en augustus, zie analyse Appendix B). De stijging in de R-waarden voor juli en augustus in de laatste 30 jaar verklaren dus de hogere R-waarden voor die maanden t.o.v. de R-waarden gerapporteerd in Verstraeten et al. (2001) en Verstraeten et al. (2006). Een tweede verklaring voor de hogere waarden in juli en augustus is de verbetering die is geïmplementeerd in de code. Deze verbetering houdt rekening met extreem hoge waarden: waarden groter dan 1 mm per 10 minuten worden niet meer naar beneden afgerond naar het absolute getal (zie ook sectie 2 en Appendix B). Deze hogere waarden (> 1 mm) worden vooral geobserveerd in de maanden juli en augustus. Dit wordt ook geobserveerd voor mei, juni en september, maar in mindere mate (voor analyse, zie Appendix B). De verdeling van de maandelijkse waarden voor de andere stations vertoont een gelijkaardige trend als deze van Ukkel (lagere waarden in de winter, hogere in de zomer).. De maandelijkse waarden voor de laatste 30 jaar (zie ook Tabel 2, 1991-2020)) zijn te vinden in Tabel 5.



Figuur 4: Gemiddelde maandelijkse erosiviteit R-waarde te Ukkel op basis van de klimatologische referentieperiode van 30 jaar. De onderste en bovenste waarde van de foutmarges worden gedefinieerd door de 25 en 75 percentiel waarde van de erosiviteitswaarden van de betreffende maand. Deze waarden worden vergeleken met de maandelijkse R-waarden berekend door Verstraeten et al. (2001) en Verstraeten et al. (2006).

Tabel 5: Gemiddelde maandelijkse neerslagerosiviteit R bepaald met de data te Ukkel, 1991 tot en met 2020.

Maand	Maandelijkse R MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹ jaar ⁻¹
Januari	56
Februari	27
Maart	32
April	33
Mei	84
Juni	163
Juli	247
Augustus	303
September	112
Oktober	79
November	53
December	50
Som	1239

4 DISCUSSIE

Een nieuwe waarde voor de gemiddelde jaarlijkse R van 12395 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ jaar⁻¹ voor Vlaanderen wordt bekomen op basis van een klimatologische referentieperiode van 30 jaar, gebruik makend van de neerslagdata te Ukkel. Deze waarde ligt hoger dan 871 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ jaar⁻¹ bepaald met de data van Ukkel (1988-2002) door Verstraeten et al. (2006). De waarde bekomen door Verstraeten et al. (2006) wordt best vergeleken met de waarde van 948 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ jaar⁻¹ berekend in deze studie te Ukkel voor de jaren 1988-2002 (zie Tabel 2). Het verschil is te wijten aan een correctie doorgevoerd aan de matlab-code die in het verleden werd gebruikt om de waarde van R te berekenen. In de vorige codering werden neerslagrecords boven de 1 mm steeds naar het lagere gehele getal afgerond, vb. '1,30', '2,80' en '3,20' mm werden respectievelijk ingelezen als 1, 2 en 3 mm. In de nieuwe codering wordt rekening gehouden met de aanwezigheid van decimalen voor waarden boven 1 mm. Het is belangrijk om te noteren dat in zowel de oude en nieuwe codering waarden tussen 0 en 1 mm correct worden ingelezen. De correctie heeft een belangrijke impact op de berekening van R gezien de impact van outliers (zoals 1 of meer mm regen per 10 min) op de berekening van de I_{30} en e_r vrij hoog is. Het matlab script en de data die gebruikt zijn voor de berekeningen zijn te vinden in de GitHub repository (<https://github.com/cn-ws/rfactor>, <https://doi.org/10.5281/zenodo.4756750>), respectievelijk. Deze correcties leiden tot hogere berekende R-waarden.

In de vergelijking van de bekomen R-waarde met andere waarden gerapporteerd in de literatuur, is het belangrijk om te vermelden dat de RUSLE vergelijking (vergelijking 1) ontwikkeld is in de context van erosieprocessen geobserveerd in de Verenigde Staten. De resultaten van het toepassen van deze vergelijking, en hun deelcomponenten zoals de R-factor, zijn dus niet 1-op-1 vertaalbaar naar een context van erosie in Vlaanderen of Europa. Het blijft daarom het belangrijk om de gebruikte formules in de RUSLE-vergelijking te evalueren in de toegepaste context. Voor de R-factor is dit voor België uitgewerkt door Salles et al. (1999). Een wijziging van de R-factor zal de berekening van het gemiddeld jaarlijks bodemverlies door watererosie via de RUSLE-vergelijking (zie vergelijking (1)) rechtstreeks en in verhouding tot de toe- of afname van de R-factor beïnvloeden. Er zijn in

Vlaanderen echter weinig data beschikbaar om de parameters in de RUSLE vergelijking te kalibreren. De berekeningen met de RUSLE-vergelijking worden dan ook hoofdzakelijk gebruikt voor het bepalen van 'erosieklassen' en niet zozeer als 'absolute waarden' (Oorts et al., 2018).

Erosie en sedimenttransport wordt in Vlaanderen gemodelleerd via WaTEM/SEDEM, als onderdeel van het model CN-WS. Dit model maakt gebruik van de transportcapaciteit (TC) ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{jaar}^{-1}$) om te bepalen hoeveel sediment stroomafwaarts zal getransporteerd worden (uitgedrukt in -de sediment afvoer per pixel X, $S_o(X)$), $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{jaar}^{-1}$):

$$S_o(X) = \begin{cases} S_A(X), & S_A(X) \leq TC(X) \\ TC(X), & S_A(X) > TC(X) \end{cases} \quad (6)$$

met :

$$S_A(X) = S_i(X) + A(X) \quad (7)$$

en

$$TC(X) = kTC \cdot E_{PR}(X) \quad (8)$$

In deze vergelijkingen is A de bruto erosie ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{jaar}^{-1}$), berekend volgens vergelijking (1), $S_A(X)$ de totale hoeveelheid sediment aanwezig in één pixel, $S_i(X)$ de hoeveelheid sediment die in de pixel instroomt (afkomstig van de stroomopwaartse pixels) ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{jaar}^{-1}$) en $E_{PR}(X)$, de potentiële erosie door geconcentreerde afvoer in geulen ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{jaar}^{-1}$) (bepaald door de erosiegevoeligheid van de bodem, de hellingsgraad en -lengte, en de neerslagerosiviteit). Vergelijking (6) en de transportcapaciteit TC bepalen het aandeel van het beschikbaar sediment dat zal stroomafwaarts getransporteerd worden. Indien een hogere waarde voor R wordt gebruikt als input voor het model, zal een grotere hoeveelheid beschikbaar sediment per pixel gesimuleerd worden, alsook een grotere $E_{PR}(X)$ waarde. Daarom wordt in de erosiemodellering de kTC parameter, een waarde die uitdrukt wat de sediment transmissiviteit (uitgedrukt in meter) is voor een bepaald landschap (of land bedekking), gekalibreerd om de balans tussen depositie en erosie (vergelijking 6 en 7) in functie van het landgebruik in te schatten. Voor deze kalibratie worden sedimentmetingen in bufferbekkens en waterlopen gebruikt. Als de R-waarde door een andere berekeningsmethode wordt gewijzigd is een kalibratie van WaTEM/SEDEM vereist. Een hogere R-waarde zal dan leiden tot een lagere kTC waarde (of omgekeerd) zodat de gesimuleerde hoeveelheid sediment die wordt aangevoerd naar de waterloop niet wijzigt. Natuurlijk, bij een verandering van de R-waarde door een wijziging van het klimaat is geen kalibratie vereist en laat de nieuw-berekende R-waarde toe om de impact van klimaatverandering op het erosierisico in te schatten.

Panagos et al. (2015) berekenden een waarde van $601,5 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$ voor de neerslagerosiviteitsfactor van België op basis van neerslagdata van Vlaanderen (20 weerstations) en Wallonië (29 weerstations) voor de periode 2004-2013. Een eerste verschil is dat in de studie van Panagos et al. (2015) gebruik gemaakt wordt van 30 minuten (weerstations Vlaanderen) en 60 minuten (weerstations Wallonië) neerslagdata voor België, terwijl in deze studie een tijdreeks met een tijdsresolutie van 10 minuten gebruikt wordt. Door een grovere resolutie te hanteren zijn de berekende maximale 30-minuten regenintensiteiten (I_{30}) een stuk lager (piekintensiteiten worden uitgefilterd op een resolutie van 30 minuten). Daardoor is de afgeleide kinetische energie, berekend op basis van de I_{30} , een stuk lager in de berekeningen van Panagos et al. (2015). Een tweede verschil is de waarde gekozen om de grens te definiëren tussen een erosieve en niet-erosieve bui. Panagos

et al. (2015) koos een waarde van 12,7 mm, terwijl in deze studie een waarde van 1,27 mm gebruikt werd. De keuze voor een grenswaarde van 1,27 wordt onderbouwd in Verstraeten et al. (2006). Bovendien worden in Panagos et al. (2015) enkel buien meegerekend met een minimumintensiteit van 25,4 mm h⁻¹. In deze studie wordt rekening gehouden met buien waarvan het totaal volume gelijk is aan 1,27 mm of meer zoals beschreven in Verstraeten et al. (2006). Tenslotte maken Panagos et al. (2015) gebruik van een andere formule om de relatie tussen de intensiteit en de kinetische energie te beschrijven. In onze studie wordt gebruik gemaakt van vergelijking (4), dewelke geëvalueerd is in de context van neerslagkarakteristieken in België (Salles et al., 2002), terwijl Panagos et al. (2015) gebruik maakt van een relatie afgeleid op basis van data voor de Verenigde Staten (Brown and Foster, 1987). De berekende R-waarde met de kinetische energie formule van Salles et al. (2002) zal hogere waarden inschatten voor de kinetische energie van een bui gezien deze formule gevoeliger is aan hoge intensiteitswaarden.

In de huidige modeltoepassingen voor erosie- en sedimentmodellering (Deproost et al., 2018; Renders et al., in prep) wordt 1250 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ jaar⁻¹ gebruikt als waarde voor de regenerosiviteitsfactor R. Deze waarde is gebaseerd op tussentijdse resultaten van de berekening van de R-factor, m.n. 1240 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ jaar⁻¹ voor de gemiddelde R-factor te Ukkel voor de periode 1988-2017 en een gemiddelde R-factor voor 43 Vlaamse meetstations van 1264 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ jaar⁻¹. De geactualiseerde gemiddelde R-factor te Ukkel voor de periode 1990-2020 bedraagt 1239 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ jaar⁻¹. De waarde voor Vlaanderen wordt in deze studie bijgesteld tot 1137 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ jaar⁻¹ door rekening te houden met de zeven stations van het KMI gelegen in Vlaanderen (exclusief Ukkel, 43+7 = 50 stations). Een waarde van 1171 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ jaar⁻¹ werd in deze studie bepaald met de data van alle 55 stations in België (exclusief Ukkel). Het is belangrijk om aan te duiden dat de waarden voor België en Vlaanderen gebruikt worden ter evaluatie van de waarde te Ukkel. De verdeling in ruimtelijke context vertoont een willekeurig patroon en suggereert dus dat de waarde te Ukkel als representatieve waarde kan gebruikt worden voor Vlaanderen en België. De berekende waarden bevestigen de eerder gemaakte keuze van 1250 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ jaar⁻¹ als referentiewaarde in Vlaanderen. Finaal wordt het verschil tussen de waarden (1239 tegenover 1250) dermate klein ingeschat dat ze geen invloed zal uitoefenen op de resultaten van de erosie en sediment transport modellering. Daarom wordt het gebruik van waarde van 1250 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ jaar⁻¹ voor de erosiemodellering behouden.

5 CONCLUSIE

De neerslagerosiviteit R bepaalt in grote mate de schatting van de hoeveelheid potentieel bodemverlies door watererosie. In deze studie werd een gemiddelde waarde van 1239 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ jaar⁻¹ berekend voor Ukkel, rekening houdend met een klimatologische referentieperiode van 30 jaar. De berekeningen in deze studie tonen een stijgende trend van het 30-jarig voortschrijdende gemiddelde van de jaarlijkse R-waarden. De stijgingen kunnen verklaard worden door een verschil in meetmethode, toevallige variabiliteit en/of het frequenter voorkomen van intensere zomeronweders. Het opvolgen van deze trend wordt in het berekenen van toekomstige R-waarden dus ook van belang om een goede inschatting van potentieel bodemverlies door watererosie te bekomen.

Voor de modellering van watererosie en sedimenttransport wordt de eerder gekozen waarde van 1250 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ jaar⁻¹ (Deproost et al., 2018) als referentiewaarde behouden. Deze waarde

sluit aan bij de gemiddelde R-factor voor de laatste 30 jaar (1990-2019) en wordt ook bevestigd door de gemiddelde R-factor van 50 andere weerstations in Vlaanderen met variabele meetperioden.

DATA EN CODE

In de GitHub repository (<https://github.com/cn-ws/rfactor>) worden alle scripts en de publieke data gebruikt voor deze studie open source beschikbaar gemaakt. De data die meegeleverd worden, zijn te vinden in de subfolder *tests/data*. Deze data zijn de verwerkte neerslagdata (niet-nul tijdsreeksen) van de originele data van de VMM. De VMM-data kunnen ook opgevraagd worden via www.waterinfo.be. De data van het KMI zijn niet publiek beschikbaar. Deze data kunnen wel aangevraagd worden bij het KMI via hun website (<https://www.meteo.be/nl/over-het-kmi/contact/gegevens-kmi>). De file die gebruikt werd om al dan niet bepaalde jaren voor stations mee op te nemen in de analyse, staat onder *test/data/files_flanders.csv*. De code om de R-factor en de E_{30} -waarden te berekenen is te vinden in *src/rfactor*. Daarenboven wordt de analyse uitgevoerd voor deze studie aangeleverd in de jupyter notebook in *docs/notebooks/analysis_flanders.ipynb*.

De documentatie voor de code is te vinden op: <https://cn-ws.github.io/rfactor/index.html>

Wijze van citatie (zie <https://github.com/cn-ws/rfactor> voor recentste versie!):

Gobeyn, S. Van de Wauw, J., De Vleeschouwer, N., Renders, D. Van Hoey, S. and Verstraeten, G. 2021. cn-ws/rfactor: v0.0.2. doi:10.5281/zenodo.4756750

REFERENTIES

- Bollinne, A., 1982. Etude et prévision des sols limoneux cultivés en moyenne Belgique. (Doctoraat). Université de Liège, Luik.
- Brown, L.C., Foster, G.R., 1987. Storm erosivity using idealized intensity distributions. Transactions of the ASAE 30, 0379–0386. <https://doi.org/10.13031/2013.31957>
- Deproost, P., Renders, D., Van de Wauw, J., Van Ransbeeck, N., Verstraeten, G., 2018. Herkalibratie van WaTEM/SEDEM met het DHMV-II als hoogtemodel: eindrapport. Departement Omgeving, Brussel.
- Notebaert, B., Govers, G., Verstraeten, G., Van Oost, K., Poesen, J., Van Rompaey, A., 2006. Verfijnde erosiekaart Vlaanderen: eindrapport. K.U. Leuven, Leuven.
- Panagos, P., Ballabio, C., Borrelli, P., Meusburger, K., Klik, A., Rousseva, S., Tadić, M.P., Michaelides, S., Hrabalíková, M., Olsen, P., Aalto, J., Lakatos, M., Rymaszewicz, A., Dumitrescu, A., Beguería, S., Alewell, C., 2015. Rainfall erosivity in Europe. Science of The Total Environment 511, 801–814. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.01.008>
- Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., McCool, D.K., Yoder, D.C., 1997. Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE), Agriculture Handbook. U.S. Department of Agriculture, Washington.
- Renders, D., Van de Wauw, J., Gobeyn, S., Deproost, P., in prep. Operationaliseren en optimaliseren van het submodel WaTEM/SEDEM in CN-WS voor de modellering van erosie en sedimenttransport in Vlaanderen. Vlaams Planbureau voor Omgeving, Brussels, België.
- Salles, C., Poesen, J., Pissart, A., 1999. Rain erosivity indices and drop size distribution for central Belgium. Presented at the General Assembly of the European Geophysical Society, The Hague, The Netherlands, p. 280.
- Salles, C., Poesen, J., Sempere-Torres, D., 2002. Kinetic energy of rain and its functional relationship with intensity. Journal of Hydrology 257, 256–270. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(01\)00555-8](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(01)00555-8)
- Van Rompaey, A., Govers, G., Waumans, T., Van Oost, K., Poesen, J., Desmet, J., 2000. Een regionale bodemerosiekaart voor Vlaanderen 6.
- Verstraeten, G., Poesen, J., Demarée, G., Salles, C., 2006. Long-term (105 years) variability in rain erosivity as derived from 10-min rainfall depth data for Ukkel (Brussels, Belgium): Implications for assessing soil erosion rates. Journal of Geophysical Research. 111, D22109. <https://doi.org/10.1029/2006JD007169>
- Verstraeten, G., Van Oost, K., Van Rompaey, A., Poesen, J., Govers, G., 2001. Integraal land- en waterbeheer in landelijke gebieden met het oog op het beperken van bodemverslies en modderoverlast (proefproject gemeente Gengelom). Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap - Afdeling Land, Leuven.

APPENDIX A

Tabel 6: Overzicht van volledigheid van elke data set (per station, per jaar). Als de waarde -1 wordt vermeld, betekent dit data voor de maand januari en/of december ontbreken.

Bron	File	Volledigheid	Bron	File	Volledigheid
KMI	KMI_6414_2003	-1	VMM	P03_041_2009	0.925118
KMI	KMI_6414_2004	0.998679577	VMM	P03_041_2010	1
KMI	KMI_6414_2005	0.999596449	VMM	P03_041_2011	0.998896
KMI	KMI_6414_2006	0.99862543	VMM	P03_041_2012	0.896144
KMI	KMI_6414_2007	0.996527778	VMM	P03_041_2013	0.874849
KMI	KMI_6414_2008	0.99790795	VMM	P03_041_2014	0.981296
KMI	KMI_6414_2009	0.885766646	VMM	P03_041_2015	0.920901
KMI	KMI_6414_2010	1	VMM	P03_041_2016	0.994962
KMI	KMI_6414_2011	0.405079251	VMM	P03_041_2017	0.998191
KMI	KMI_6414_2012	0.805385231	VMM	P03_041_2018	1
KMI	KMI_6414_2013	0.96438294	VMM	P03_041_2019	0.988679
KMI	KMI_6414_2014	1	VMM	P03_041_2020	0.985996
KMI	KMI_6414_2015	0.629396771	VMM	P03_041_2021	-1
KMI	KMI_6414_2016	1	VMM	P04_001_2004	-1
KMI	KMI_6414_2017	0.999737945	VMM	P04_001_2005	0.96879
KMI	KMI_6414_2018	0.999096658	VMM	P04_001_2006	0.561069
KMI	KMI_6414_2019	1	VMM	P04_001_2007	0.711954
KMI	KMI_6414_2020	0.981448763	VMM	P04_001_2008	0.942783
KMI	KMI_6414_2021	-1	VMM	P04_001_2009	0.9884
KMI	KMI_6418_2012	-1	VMM	P04_001_2010	0.997613
KMI	KMI_6418_2013	1	VMM	P04_001_2011	0.995375
KMI	KMI_6418_2014	0.632393085	VMM	P04_001_2012	0.969651
KMI	KMI_6418_2015	1	VMM	P04_001_2013	0.51834
KMI	KMI_6418_2016	1	VMM	P04_001_2014	0.454758
KMI	KMI_6418_2017	0.999521531	VMM	P04_001_2015	0.569823
KMI	KMI_6418_2018	1	VMM	P04_001_2016	0.971212
KMI	KMI_6418_2019	0.757190265	VMM	P04_001_2017	0.637441
KMI	KMI_6418_2020	0.965336821	VMM	P04_001_2019	0.891802
KMI	KMI_6418_2021	-1	VMM	P04_001_2020	0.904332
KMI	KMI_6431_2012	-1	VMM	P04_001_2021	-1
KMI	KMI_6431_2013	1	VMM	P04_020_2006	-1
KMI	KMI_6431_2014	1	VMM	P04_020_2007	0.957728
KMI	KMI_6431_2015	1	VMM	P04_020_2008	0.246967
KMI	KMI_6431_2016	1	VMM	P04_020_2009	0.211889
KMI	KMI_6431_2017	1	VMM	P04_020_2010	0.996741
KMI	KMI_6431_2018	0.168181818	VMM	P04_020_2011	0.991758
KMI	KMI_6431_2019	0	VMM	P04_020_2012	0.969852

KMI	KMI_6431_2020	0	VMM	P04_020_2013	0.861117
KMI	KMI_6431_2021	0	VMM	P04_020_2014	1
KMI	KMI_6434_2002	-1	VMM	P04_020_2015	0.165213
KMI	KMI_6434_2003	0.88639201	VMM	P04_020_2016	0.99811
KMI	KMI_6434_2004	0.998302927	VMM	P04_020_2017	0.998007
KMI	KMI_6434_2005	0.913994169	VMM	P04_020_2018	1
KMI	KMI_6434_2006	1	VMM	P04_020_2019	0.999672
KMI	KMI_6434_2007	0.999688376	VMM	P04_020_2020	0.999341
KMI	KMI_6434_2008	0.994935854	VMM	P04_020_2021	-1
KMI	KMI_6434_2009	0.781462837	VMM	P04_027_2008	-1
KMI	KMI_6434_2010	0.411550633	VMM	P04_027_2009	0.996286
KMI	KMI_6434_2011	0.479255774	VMM	P04_027_2010	0.861263
KMI	KMI_6434_2012	0.902604167	VMM	P04_027_2011	0.995231
KMI	KMI_6434_2013	1	VMM	P04_027_2012	0.815624
KMI	KMI_6434_2014	0.888074617	VMM	P04_027_2013	0.807463
KMI	KMI_6434_2015	0.936004785	VMM	P04_027_2014	0.981852
KMI	KMI_6434_2016	0.619242199	VMM	P04_027_2015	0.994945
KMI	KMI_6434_2017	1	VMM	P04_027_2016	0.763772
KMI	KMI_6434_2018	1	VMM	P04_027_2017	0.998415
KMI	KMI_6434_2019	0.999088838	VMM	P04_027_2018	1
KMI	KMI_6434_2020	0.997099047	VMM	P04_027_2019	0.998661
KMI	KMI_6434_2021	-1	VMM	P04_027_2020	0.998593
KMI	KMI_6439_2007	-1	VMM	P04_027_2021	-1
KMI	KMI_6439_2008	0.997821351	VMM	P04_01_2019	0.893436
KMI	KMI_6439_2009	1	VMM	P04_01_2020	0.906317
KMI	KMI_6439_2010	1	VMM	P05_019_2006	-1
KMI	KMI_6439_2011	0.685674548	VMM	P05_019_2007	0.979557
KMI	KMI_6439_2012	0.997695853	VMM	P05_019_2008	0.826571
KMI	KMI_6439_2013	0.999650594	VMM	P05_019_2009	0.98019
KMI	KMI_6439_2014	0.833996024	VMM	P05_019_2010	0.622459
KMI	KMI_6439_2015	0.950283617	VMM	P05_019_2011	0.507381
KMI	KMI_6439_2016	1	VMM	P05_019_2012	0.996975
KMI	KMI_6439_2017	1	VMM	P05_019_2013	0.841096
KMI	KMI_6439_2018	0.999652295	VMM	P05_019_2014	0.318007
KMI	KMI_6439_2019	0.934673367	VMM	P05_019_2015	0.412052
KMI	KMI_6439_2020	0.99705635	VMM	P05_019_2016	0.979861
KMI	KMI_6439_2021	-1	VMM	P05_019_2017	0.992694
KMI	KMI_6447_2003	0.990023943	VMM	P05_019_2018	1
KMI	KMI_6447_2004	0.992337165	VMM	P05_019_2019	0.926487
KMI	KMI_6447_2005	1	VMM	P05_019_2020	0.962789
KMI	KMI_6447_2006	1	VMM	P05_019_2021	-1
KMI	KMI_6447_2007	1	VMM	P05_038_2012	0.020285
KMI	KMI_6447_2008	0.99851632	VMM	P05_038_2013	0.581141

KMI	KMI_6447_2009	0.785983203	VMM	P05_038_2014	0.271704
KMI	KMI_6447_2010	1	VMM	P05_038_2015	0.618063
KMI	KMI_6447_2011	1	VMM	P05_038_2016	1
KMI	KMI_6447_2012	0.993961353	VMM	P05_038_2017	0.997947
KMI	KMI_6447_2013	1	VMM	P05_038_2018	1
KMI	KMI_6447_2014	1	VMM	P05_038_2019	1
KMI	KMI_6447_2015	1	VMM	P05_038_2020	0.998722
KMI	KMI_6447_2016	1	VMM	P05_038_2021	-1
KMI	KMI_6447_2017	1	VMM	P05_039_2008	-1
KMI	KMI_6447_2018	1	VMM	P05_039_2009	0.997445
KMI	KMI_6447_2019	1	VMM	P05_039_2010	0.718588
KMI	KMI_6447_2020	0.994482173	VMM	P05_039_2011	1
KMI	KMI_6447_2021	-1	VMM	P05_039_2012	0.969555
KMI	KMI_6455_2000	-1	VMM	P05_039_2013	0.875304
KMI	KMI_6455_2001	0.859464408	VMM	P05_039_2014	0.993009
KMI	KMI_6455_2002	1	VMM	P05_039_2015	1
KMI	KMI_6455_2003	1	VMM	P05_039_2016	0.991917
KMI	KMI_6455_2004	0.99962321	VMM	P05_039_2017	0.997461
KMI	KMI_6455_2005	1	VMM	P05_039_2018	1
KMI	KMI_6455_2006	0.99395233	VMM	P05_039_2019	0.884389
KMI	KMI_6455_2007	1	VMM	P05_039_2020	0.99894
KMI	KMI_6455_2008	0.995553085	VMM	P05_039_2021	-1
KMI	KMI_6455_2009	0.655015198	VMM	P06_014_2004	-1
KMI	KMI_6455_2010	0.994411571	VMM	P06_014_2005	0.398957
KMI	KMI_6455_2011	1	VMM	P06_014_2006	0.891795
KMI	KMI_6455_2012	0.996421115	VMM	P06_014_2007	0.651163
KMI	KMI_6455_2013	1	VMM	P06_014_2008	0.817059
KMI	KMI_6455_2014	1	VMM	P06_014_2009	0.977829
KMI	KMI_6455_2015	1	VMM	P06_014_2010	0.747408
KMI	KMI_6455_2016	1	VMM	P06_014_2011	0.999716
KMI	KMI_6455_2017	0.728462763	VMM	P06_014_2012	0.982081
KMI	KMI_6455_2018	1	VMM	P06_014_2013	0.865188
KMI	KMI_6455_2019	1	VMM	P06_014_2014	1
KMI	KMI_6455_2020	0.993914036	VMM	P06_014_2015	0.994772
KMI	KMI_6455_2021	1	VMM	P06_014_2016	0.991426
KMI	KMI_6459_2000	-1	VMM	P06_014_2017	0.998295
KMI	KMI_6459_2001	0.950610275	VMM	P06_014_2018	1
KMI	KMI_6459_2002	0.988078736	VMM	P06_014_2019	0.723648
KMI	KMI_6459_2003	1	VMM	P06_014_2020	0.374971
KMI	KMI_6459_2004	1	VMM	P06_014_2021	-1
KMI	KMI_6459_2005	1	VMM	P06_040_2008	-1
KMI	KMI_6459_2006	0.977394164	VMM	P06_040_2009	0.965249
KMI	KMI_6459_2007	1	VMM	P06_040_2010	1

KMI	KMI_6459_2008	0.99771615	VMM	P06_040_2011	1
KMI	KMI_6459_2009	0.990079365	VMM	P06_040_2012	0.999552
KMI	KMI_6459_2010	1	VMM	P06_040_2013	0.770011
KMI	KMI_6459_2011	0.992765957	VMM	P06_040_2014	0.980858
KMI	KMI_6459_2012	1	VMM	P06_040_2015	0.999401
KMI	KMI_6459_2013	0.947390751	VMM	P06_040_2016	1
KMI	KMI_6459_2014	1	VMM	P06_040_2017	0.998073
KMI	KMI_6459_2015	1	VMM	P06_040_2018	1
KMI	KMI_6459_2016	0.81559168	VMM	P06_040_2019	1
KMI	KMI_6459_2017	1	VMM	P06_040_2020	0.998773
KMI	KMI_6459_2018	1	VMM	P06_040_2021	-1
KMI	KMI_6459_2019	1	VMM	P07_006_2004	-1
KMI	KMI_6459_2020	1	VMM	P07_006_2005	0.882734
KMI	KMI_6459_2021	-1	VMM	P07_006_2006	0.575215
KMI	KMI_6464_2012	-1	VMM	P07_006_2007	0.644467
KMI	KMI_6464_2013	0.986185725	VMM	P07_006_2008	0.891024
KMI	KMI_6464_2014	0.99795835	VMM	P07_006_2009	0.997657
KMI	KMI_6464_2015	0.541028729	VMM	P07_006_2010	0.997967
KMI	KMI_6464_2016	1	VMM	P07_006_2011	0.999378
KMI	KMI_6464_2017	1	VMM	P07_006_2012	0.759783
KMI	KMI_6464_2018	1	VMM	P07_006_2013	0.996841
KMI	KMI_6464_2019	1	VMM	P07_006_2014	0.783241
KMI	KMI_6464_2020	0.995875344	VMM	P07_006_2015	0.999464
KMI	KMI_6464_2021	-1	VMM	P07_006_2016	0.890569
KMI	KMI_6472_2002	-1	VMM	P07_006_2017	0.053004
KMI	KMI_6472_2003	0.86054197	VMM	P07_006_2018	1
KMI	KMI_6472_2004	0.896934307	VMM	P07_006_2019	0.989264
KMI	KMI_6472_2005	0.939197531	VMM	P07_006_2020	0.904746
KMI	KMI_6472_2006	1	VMM	P07_006_2021	-1
KMI	KMI_6472_2007	1	VMM	P07_021_2006	-1
KMI	KMI_6472_2008	0.89	VMM	P07_021_2007	0.239312
KMI	KMI_6472_2009	0.998714653	VMM	P07_021_2008	0.460854
KMI	KMI_6472_2010	0.907948476	VMM	P07_021_2009	0.998526
KMI	KMI_6472_2011	0.484482469	VMM	P07_021_2010	0.982874
KMI	KMI_6472_2012	0.579235939	VMM	P07_021_2011	0.925105
KMI	KMI_6472_2013	0.878514589	VMM	P07_021_2012	0.998227
KMI	KMI_6472_2014	0.859431681	VMM	P07_021_2013	0.624098
KMI	KMI_6472_2015	0.692841019	VMM	P07_021_2014	1
KMI	KMI_6472_2016	1	VMM	P07_021_2015	0.614629
KMI	KMI_6472_2017	1	VMM	P07_021_2016	0.671771
KMI	KMI_6472_2018	1	VMM	P07_021_2017	0.992507
KMI	KMI_6472_2019	0.963026361	VMM	P07_021_2018	1
KMI	KMI_6472_2020	0.988156921	VMM	P07_021_2019	0.685109

KMI	KMI_6472_2021	-1	VMM	P07_021_2020	0.98374
KMI	KMI_6477_2004	-1	VMM	P07_021_2021	-1
KMI	KMI_6477_2005	0.999565028	VMM	P07_022_2006	-1
KMI	KMI_6477_2006	0.834653806	VMM	P07_022_2007	0.619008
KMI	KMI_6477_2007	0.987053994	VMM	P07_022_2008	0.478061
KMI	KMI_6477_2008	0.957038995	VMM	P07_022_2009	0.989943
KMI	KMI_6477_2009	0.997638725	VMM	P07_022_2010	0.51375
KMI	KMI_6477_2010	0.82778127	VMM	P07_022_2011	0.449952
KMI	KMI_6477_2011	1	VMM	P07_022_2012	0.986218
KMI	KMI_6477_2012	1	VMM	P07_022_2013	0.91198
KMI	KMI_6477_2013	0.917627677	VMM	P07_022_2014	0.99348
KMI	KMI_6477_2014	0.96835443	VMM	P07_022_2015	0.992882
KMI	KMI_6477_2015	1	VMM	P07_022_2016	0.953941
KMI	KMI_6477_2016	1	VMM	P07_022_2017	0.997483
KMI	KMI_6477_2017	1	VMM	P07_022_2018	1
KMI	KMI_6477_2018	1	VMM	P07_022_2019	0.998658
KMI	KMI_6477_2019	1	VMM	P07_022_2020	0.997999
KMI	KMI_6477_2020	0.931034483	VMM	P07_022_2021	-1
KMI	KMI_6477_2021	-1	VMM	P08_009_2004	-1
KMI	KMI_6484_2003	-1	VMM	P08_009_2005	0.717896
KMI	KMI_6484_2004	0.907593523	VMM	P08_009_2006	0.797504
KMI	KMI_6484_2005	1	VMM	P08_009_2007	0.345167
KMI	KMI_6484_2006	0.918514561	VMM	P08_009_2008	0.976836
KMI	KMI_6484_2007	0.999756868	VMM	P08_009_2009	0.524898
KMI	KMI_6484_2008	0.877808345	VMM	P08_009_2010	0.996743
KMI	KMI_6484_2009	1	VMM	P08_009_2011	0.996979
KMI	KMI_6484_2010	1	VMM	P08_009_2012	0.970278
KMI	KMI_6484_2011	0.996937213	VMM	P08_009_2013	0.743088
KMI	KMI_6484_2012	1	VMM	P08_009_2014	0.999716
KMI	KMI_6484_2013	0.934963325	VMM	P08_009_2015	1
KMI	KMI_6484_2014	1	VMM	P08_009_2016	0.311363
KMI	KMI_6484_2015	0.998454007	VMM	P08_009_2017	0.998058
KMI	KMI_6484_2016	1	VMM	P08_009_2018	1
KMI	KMI_6484_2017	0.727450284	VMM	P08_009_2019	0.995608
KMI	KMI_6484_2018	0.602569093	VMM	P08_009_2020	0.998916
KMI	KMI_6484_2019	0.867185657	VMM	P08_009_2021	-1
KMI	KMI_6484_2020	0.980506823	VMM	P08_013_2004	-1
KMI	KMI_6484_2021	-1	VMM	P08_013_2005	0.876246
KMI	KMI_6494_2012	-1	VMM	P08_013_2006	0.853565
KMI	KMI_6494_2013	1	VMM	P08_013_2007	0.885076
KMI	KMI_6494_2014	1	VMM	P08_013_2008	0.763084
KMI	KMI_6494_2015	0.999831508	VMM	P08_013_2009	0.823846
KMI	KMI_6494_2016	1	VMM	P08_013_2010	0.979597

KMI	KMI_6494_2017	1	VMM	P08_013_2011	0.623933
KMI	KMI_6494_2018	0.91388836	VMM	P08_013_2012	0.970963
KMI	KMI_6494_2019	0.992891882	VMM	P08_013_2013	0.863418
KMI	KMI_6494_2020	0.922819972	VMM	P08_013_2014	0.400435
KMI	KMI_6494_2021	-1	VMM	P08_013_2015	0.999729
KMI	KMI_FS3_1898	1	VMM	P08_013_2016	0.774637
KMI	KMI_FS3_1899	1	VMM	P08_013_2017	0.865612
KMI	KMI_FS3_1900	1	VMM	P08_013_2018	1
KMI	KMI_FS3_1901	1	VMM	P08_013_2019	0.999237
KMI	KMI_FS3_1902	1	VMM	P08_013_2020	0.998621
KMI	KMI_FS3_1903	1	VMM	P08_013_2021	-1
KMI	KMI_FS3_1904	1	VMM	P08_018_2004	-1
KMI	KMI_FS3_1905	1	VMM	P08_018_2005	0.94124
KMI	KMI_FS3_1906	1	VMM	P08_018_2006	0.845884
KMI	KMI_FS3_1907	1	VMM	P08_018_2007	0.927754
KMI	KMI_FS3_1908	1	VMM	P08_018_2008	0.977594
KMI	KMI_FS3_1909	1	VMM	P08_018_2009	0.997223
KMI	KMI_FS3_1910	1	VMM	P08_018_2010	0.830355
KMI	KMI_FS3_1911	1	VMM	P08_018_2011	0.997394
KMI	KMI_FS3_1912	1	VMM	P08_018_2012	0.981498
KMI	KMI_FS3_1913	1	VMM	P08_018_2013	0.885053
KMI	KMI_FS3_1914	1	VMM	P08_018_2014	0.485723
KMI	KMI_FS3_1915	1	VMM	P08_018_2015	0.902828
KMI	KMI_FS3_1916	1	VMM	P08_018_2016	0.395364
KMI	KMI_FS3_1917	1	VMM	P08_018_2017	0.754515
KMI	KMI_FS3_1918	1	VMM	P08_018_2018	1
KMI	KMI_FS3_1919	1	VMM	P08_018_2019	0.986429
KMI	KMI_FS3_1920	1	VMM	P08_018_2020	0.93775
KMI	KMI_FS3_1921	1	VMM	P08_018_2021	-1
KMI	KMI_FS3_1922	1	VMM	P08_023_2008	-1
KMI	KMI_FS3_1923	1	VMM	P08_023_2009	0.734671
KMI	KMI_FS3_1924	1	VMM	P08_023_2010	0.274546
KMI	KMI_FS3_1925	1	VMM	P08_023_2013	0.410431
KMI	KMI_FS3_1926	1	VMM	P08_023_2014	0.402712
KMI	KMI_FS3_1927	1	VMM	P08_023_2015	0.975362
KMI	KMI_FS3_1928	1	VMM	P08_023_2016	0.962826
KMI	KMI_FS3_1929	1	VMM	P08_023_2017	0.99504
KMI	KMI_FS3_1930	1	VMM	P08_023_2018	1
KMI	KMI_FS3_1931	1	VMM	P08_023_2019	0.994181
KMI	KMI_FS3_1932	1	VMM	P08_023_2020	0.949425
KMI	KMI_FS3_1933	1	VMM	P08_023_2021	-1
KMI	KMI_FS3_1934	1	VMM	P08_028_2008	-1
KMI	KMI_FS3_1935	1	VMM	P08_028_2009	0.38646

KMI	KMI_FS3_1936	1	VMM	P08_028_2010	0.996342
KMI	KMI_FS3_1937	1	VMM	P08_028_2011	0.838173
KMI	KMI_FS3_1938	1	VMM	P08_028_2012	0.967543
KMI	KMI_FS3_1939	1	VMM	P08_028_2013	0.892499
KMI	KMI_FS3_1940	1	VMM	P08_028_2014	0.847156
KMI	KMI_FS3_1941	1	VMM	P08_028_2015	0.999417
KMI	KMI_FS3_1942	1	VMM	P08_028_2016	0.911867
KMI	KMI_FS3_1943	1	VMM	P08_028_2017	0.696956
KMI	KMI_FS3_1944	1	VMM	P08_028_2018	1
KMI	KMI_FS3_1945	1	VMM	P08_028_2019	0.382423
KMI	KMI_FS3_1946	1	VMM	P08_028_2020	0.929647
KMI	KMI_FS3_1947	1	VMM	P08_028_2021	-1
KMI	KMI_FS3_1948	1	VMM	P08_031_2008	-1
KMI	KMI_FS3_1949	1	VMM	P08_031_2009	0.997218
KMI	KMI_FS3_1950	1	VMM	P08_031_2010	0.996314
KMI	KMI_FS3_1951	1	VMM	P08_031_2011	0.861619
KMI	KMI_FS3_1952	1	VMM	P08_031_2012	0.983429
KMI	KMI_FS3_1953	1	VMM	P08_031_2013	0.979871
KMI	KMI_FS3_1954	1	VMM	P08_031_2014	0.936668
KMI	KMI_FS3_1955	1	VMM	P08_031_2015	0.997306
KMI	KMI_FS3_1956	1	VMM	P08_031_2016	0.965002
KMI	KMI_FS3_1957	1	VMM	P08_031_2017	0.132316
KMI	KMI_FS3_1958	1	VMM	P08_031_2018	1
KMI	KMI_FS3_1959	1	VMM	P08_031_2019	0.980798
KMI	KMI_FS3_1960	1	VMM	P08_031_2020	0.931119
KMI	KMI_FS3_1961	1	VMM	P08_031_2021	-1
KMI	KMI_FS3_1962	1	VMM	P08_033_2008	-1
KMI	KMI_FS3_1963	1	VMM	P08_033_2009	0.990691
KMI	KMI_FS3_1964	1	VMM	P08_033_2010	0.989698
KMI	KMI_FS3_1965	1	VMM	P08_033_2011	0.66834
KMI	KMI_FS3_1966	1	VMM	P08_033_2012	0.979637
KMI	KMI_FS3_1967	1	VMM	P08_033_2013	0.652118
KMI	KMI_FS3_1968	1	VMM	P08_033_2014	0.945772
KMI	KMI_FS3_1969	1	VMM	P08_033_2015	0.693785
KMI	KMI_FS3_1970	1	VMM	P08_033_2016	0.335611
KMI	KMI_FS3_1971	1	VMM	P08_033_2017	0.884484
KMI	KMI_FS3_1972	1	VMM	P08_033_2018	1
KMI	KMI_FS3_1973	1	VMM	P08_033_2019	0.999743
KMI	KMI_FS3_1974	1	VMM	P08_033_2020	0.985067
KMI	KMI_FS3_1975	1	VMM	P08_033_2021	-1
KMI	KMI_FS3_1976	1	VMM	P09_012_2004	-1
KMI	KMI_FS3_1977	1	VMM	P09_012_2005	0.870755
KMI	KMI_FS3_1978	1	VMM	P09_012_2006	0.948845

KMI	KMI_FS3_1979	1	VMM	P09_012_2007	0.944351
KMI	KMI_FS3_1980	1	VMM	P09_012_2008	0.624403
KMI	KMI_FS3_1981	1	VMM	P09_012_2009	0.333197
KMI	KMI_FS3_1982	1	VMM	P09_012_2010	0.423241
KMI	KMI_FS3_1983	1	VMM	P09_012_2011	0.997881
KMI	KMI_FS3_1984	1	VMM	P09_012_2012	0.701365
KMI	KMI_FS3_1985	1	VMM	P09_012_2013	0.491013
KMI	KMI_FS3_1986	1	VMM	P09_012_2014	0.991197
KMI	KMI_FS3_1987	1	VMM	P09_012_2015	1
KMI	KMI_FS3_1988	1	VMM	P09_012_2016	1
KMI	KMI_FS3_1989	1	VMM	P09_012_2017	0.876392
KMI	KMI_FS3_1990	1	VMM	P09_012_2018	1
KMI	KMI_FS3_1991	1	VMM	P09_012_2019	0.999436
KMI	KMI_FS3_1992	1	VMM	P09_012_2020	0.904043
KMI	KMI_FS3_1993	1	VMM	P09_012_2021	-1
KMI	KMI_FS3_1994	1	VMM	P09_016_2004	-1
KMI	KMI_FS3_1995	1	VMM	P09_016_2005	0.840022
KMI	KMI_FS3_1996	1	VMM	P09_016_2006	0.782909
KMI	KMI_FS3_1997	1	VMM	P09_016_2007	0.87377
KMI	KMI_FS3_1998	1	VMM	P09_016_2008	0.511661
KMI	KMI_FS3_1999	1	VMM	P09_016_2009	0.831714
KMI	KMI_FS3_2000	1	VMM	P09_016_2010	0.995516
KMI	KMI_FS3_2001	1	VMM	P09_016_2011	0.919309
KMI	KMI_FS3_2002	1	VMM	P09_016_2012	0.977543
VMM	P01_001_2018	-1	VMM	P09_016_2013	0.69311
VMM	P01_003_2004	-1	VMM	P09_016_2014	0.313472
VMM	P01_003_2005	0.999447208	VMM	P09_016_2015	0.882306
VMM	P01_003_2006	0.999441341	VMM	P09_016_2016	0.587592
VMM	P01_003_2007	0.771866717	VMM	P09_016_2017	0.914096
VMM	P01_003_2008	0.976264481	VMM	P09_016_2018	1
VMM	P01_003_2009	0.482050603	VMM	P09_016_2019	0.998589
VMM	P01_003_2010	0.998112699	VMM	P09_016_2020	0.972396
VMM	P01_003_2011	0.651791326	VMM	P09_016_2021	-1
VMM	P01_003_2012	0.95988935	VMM	P09_025_2008	-1
VMM	P01_003_2013	0.885883155	VMM	P09_025_2009	0.998904
VMM	P01_003_2014	1	VMM	P09_025_2010	0.997071
VMM	P01_003_2015	0.896373057	VMM	P09_025_2011	0.999735
VMM	P01_003_2016	1	VMM	P09_025_2012	0.981349
VMM	P01_003_2017	0.997391304	VMM	P09_025_2013	0.875851
VMM	P01_003_2018	1	VMM	P09_025_2014	0.886318
VMM	P01_003_2019	0.945547362	VMM	P09_025_2015	0.916206
VMM	P01_003_2020	0.999133449	VMM	P09_025_2016	0.956491
VMM	P01_003_2021	1	VMM	P09_025_2017	0.873481

VMM	P01_010_2004	-1	VMM	P09_025_2018	1
VMM	P01_010_2005	0.898659103	VMM	P09_025_2019	0.999505
VMM	P01_010_2006	0.816990291	VMM	P09_025_2020	0.998337
VMM	P01_010_2007	0.835008179	VMM	P09_025_2021	-1
VMM	P01_010_2008	0.977172717	VMM	P09_026_2008	-1
VMM	P01_010_2009	0.779814438	VMM	P09_026_2009	0.96401
VMM	P01_010_2010	0.995390377	VMM	P09_026_2010	0.137157
VMM	P01_010_2011	0.8802515	VMM	P09_026_2011	0.045143
VMM	P01_010_2012	0.982737661	VMM	P09_026_2012	0.584245
VMM	P01_010_2013	0.312018376	VMM	P09_026_2013	0.771725
VMM	P01_010_2014	0.177440965	VMM	P09_026_2014	0.977074
VMM	P01_010_2015	0.999699158	VMM	P09_026_2015	0.999129
VMM	P01_010_2016	0.987887324	VMM	P09_026_2016	0.814299
VMM	P01_010_2017	0.996311097	VMM	P09_026_2017	0.996459
VMM	P01_010_2018	1	VMM	P09_026_2018	1
VMM	P01_010_2019	0.999702381	VMM	P09_026_2019	0.998659
VMM	P01_010_2020	0.999448732	VMM	P09_026_2020	0.995654
VMM	P01_010_2021	-1	VMM	P09_026_2021	-1
VMM	P01_015_2004	-1	VMM	P09_032_2008	-1
VMM	P01_015_2005	0.905433647	VMM	P09_032_2009	0.997014
VMM	P01_015_2006	0.761716018	VMM	P09_032_2010	0.996504
VMM	P01_015_2007	0.9	VMM	P09_032_2011	0.999031
VMM	P01_015_2008	0.97	VMM	P09_032_2012	0.923895
VMM	P01_015_2009	0.997792494	VMM	P09_032_2013	0.780184
VMM	P01_015_2010	0.487432537	VMM	P09_032_2014	1
VMM	P01_015_2011	0.999318337	VMM	P09_032_2015	0.998804
VMM	P01_015_2012	0.982667309	VMM	P09_032_2016	0.456597
VMM	P01_015_2013	0.802202742	VMM	P09_032_2017	0.997429
VMM	P01_015_2014	0.992957746	VMM	P09_032_2018	1
VMM	P01_015_2015	1	VMM	P09_032_2019	0.998911
VMM	P01_015_2016	0.859914939	VMM	P09_032_2020	0.998132
VMM	P01_015_2017	0.996649406	VMM	P09_032_2021	-1
VMM	P01_015_2018	1	VMM	P09_034_2008	-1
VMM	P01_015_2019	0.997861289	VMM	P09_034_2009	0.809489
VMM	P01_015_2020	0.997657394	VMM	P09_034_2010	0.942537
VMM	P01_015_2021	-1	VMM	P09_034_2011	0.604678
VMM	P01_029_2008	-1	VMM	P09_034_2012	0.346965
VMM	P01_029_2009	0.998099891	VMM	P09_034_2013	0.624608
VMM	P01_029_2010	0.951902748	VMM	P09_034_2014	0.549217
VMM	P01_029_2011	0.353186498	VMM	P09_034_2015	0.794015
VMM	P01_029_2012	0.084473808	VMM	P09_034_2016	0.981114
VMM	P01_029_2013	0.898366104	VMM	P09_034_2017	0.997676
VMM	P01_029_2014	0.605079217	VMM	P09_034_2018	1

VMM	P01_029_2015	0.981623277	VMM	P09_034_2019	1
VMM	P01_029_2016	1	VMM	P09_034_2020	0.999133
VMM	P01_029_2017	0.987149918	VMM	P09_034_2021	-1
VMM	P01_029_2018	1	VMM	P09_035_2008	-1
VMM	P01_029_2019	0.907924743	VMM	P09_035_2009	0.949003
VMM	P01_029_2020	0.942762796	VMM	P09_035_2010	0.524642
VMM	P01_029_2021	-1	VMM	P09_035_2011	0.584733
VMM	P01_037_2008	-1	VMM	P09_035_2012	0.436444
VMM	P01_037_2009	0.798709677	VMM	P09_035_2013	0.376841
VMM	P01_037_2010	0.33698689	VMM	P09_035_2014	0.999669
VMM	P01_037_2011	0.335023143	VMM	P09_035_2015	0.504607
VMM	P01_037_2012	0.039771365	VMM	P09_035_2016	0.080469
VMM	P01_037_2013	0.345898004	VMM	P09_035_2018	1
VMM	P01_037_2014	0.107111992	VMM	P09_035_2019	0.998739
VMM	P01_037_2015	0.999392835	VMM	P09_035_2020	0.997026
VMM	P01_037_2016	0.998781231	VMM	P09_035_2021	-1
VMM	P01_037_2017	0.996995995	VMM	P10_011_2004	-1
VMM	P01_037_2018	1	VMM	P10_011_2005	0.997608
VMM	P01_037_2019	0.795130795	VMM	P10_011_2006	0.896688
VMM	P01_037_2020	0.967004342	VMM	P10_011_2007	0.79522
VMM	P01_037_2021	-1	VMM	P10_011_2008	0.948445
VMM	P02_004_2004	-1	VMM	P10_011_2009	0.933943
VMM	P02_004_2005	0.867164899	VMM	P10_011_2010	0.1817
VMM	P02_004_2006	0.829399392	VMM	P10_011_2011	0.934372
VMM	P02_004_2007	0.893911007	VMM	P10_011_2012	0.999017
VMM	P02_004_2008	0.968198824	VMM	P10_011_2013	0.925597
VMM	P02_004_2009	0.995416554	VMM	P10_011_2014	0.999687
VMM	P02_004_2010	0.996024845	VMM	P10_011_2015	0.43833
VMM	P02_004_2011	0.995616598	VMM	P10_011_2016	1
VMM	P02_004_2012	0.981991996	VMM	P10_011_2017	0.75906
VMM	P02_004_2013	0.858249086	VMM	P10_011_2018	1
VMM	P02_004_2014	0.992855016	VMM	P10_011_2019	0.887104
VMM	P02_004_2015	0.618765066	VMM	P10_011_2020	0.737628
VMM	P02_004_2016	0.889824393	VMM	P10_011_2021	-1
VMM	P02_004_2017	0.997899711	VMM	P10_042_2009	-1
VMM	P02_004_2018	1	VMM	P10_042_2010	0.405075
VMM	P02_004_2019	0.114971803	VMM	P10_042_2011	0.72375
VMM	P02_004_2020	0.999637812	VMM	P10_042_2012	0.850454
VMM	P02_004_2021	-1	VMM	P10_042_2013	0.851047
VMM	P02_008_2004	-1	VMM	P10_042_2014	0.498048
VMM	P02_008_2005	1	VMM	P10_042_2015	0.840274
VMM	P02_008_2006	0.448198198	VMM	P10_042_2016	0.82217
VMM	P02_008_2007	0.790111248	VMM	P10_042_2017	0.927306

VMM	P02_008_2008	0.557813077	VMM	P10_042_2018	1
VMM	P02_008_2009	0.986858191	VMM	P10_042_2019	0.060434
VMM	P02_008_2010	0.620278695	VMM	P10_042_2020	-1
VMM	P02_008_2011	0.994915793	VMM	P10_042_2021	0
VMM	P02_008_2012	0.980792609	VMM	P11_002_2004	-1
VMM	P02_008_2013	0.85572843	VMM	P11_002_2005	0.933495
VMM	P02_008_2014	1	VMM	P11_002_2006	0.999705
VMM	P02_008_2015	0.80447693	VMM	P11_002_2007	0.973939
VMM	P02_008_2016	0.994680851	VMM	P11_002_2008	0.919281
VMM	P02_008_2017	0.996781744	VMM	P11_002_2009	0.907648
VMM	P02_008_2018	1	VMM	P11_002_2010	0.886579
VMM	P02_008_2019	0.996081977	VMM	P11_002_2011	0.998847
VMM	P02_008_2020	0.997673066	VMM	P11_002_2012	0.541734
VMM	P02_008_2021	-1	VMM	P11_002_2013	0.848824
VMM	P02_030_2012	0.011008538	VMM	P11_002_2014	0.756878
VMM	P02_030_2013	0.440940196	VMM	P11_002_2015	0.978278
VMM	P02_030_2014	0.770604396	VMM	P11_002_2016	0.859836
VMM	P02_030_2015	0.96635183	VMM	P11_002_2017	0.81654
VMM	P02_030_2016	0.775116279	VMM	P11_002_2018	1
VMM	P02_030_2017	0.997978047	VMM	P11_002_2019	0.999201
VMM	P02_030_2018	1	VMM	P11_002_2020	0.996191
VMM	P02_030_2019	0.639733444	VMM	P11_002_2021	-1
VMM	P02_030_2020	0.959123223	VMM	P11_007_2004	-1
VMM	P02_030_2021	0	VMM	P11_007_2005	0.700287
VMM	P03_005_2004	-1	VMM	P11_007_2006	0.960287
VMM	P03_005_2005	0.901408451	VMM	P11_007_2007	0.562688
VMM	P03_005_2006	0.859608209	VMM	P11_007_2008	0.748056
VMM	P03_005_2007	0.899977216	VMM	P11_007_2009	0.998116
VMM	P03_005_2008	0.944027138	VMM	P11_007_2010	0.997638
VMM	P03_005_2009	0.990503825	VMM	P11_007_2011	0.996011
VMM	P03_005_2010	0.979381443	VMM	P11_007_2012	0.984264
VMM	P03_005_2011	0.88869694	VMM	P11_007_2013	0.901825
VMM	P03_005_2012	0.971889301	VMM	P11_007_2014	0.678242
VMM	P03_005_2013	0.877526754	VMM	P11_007_2015	0.999737
VMM	P03_005_2014	1	VMM	P11_007_2016	0.994058
VMM	P03_005_2015	0.991143725	VMM	P11_007_2017	0.847001
VMM	P03_005_2016	0.969320672	VMM	P11_007_2018	1
VMM	P03_005_2017	0.996878252	VMM	P11_007_2019	0.999212
VMM	P03_005_2018	1	VMM	P11_007_2020	0.959474
VMM	P03_005_2019	0.999227998	VMM	P11_007_2021	-1
VMM	P03_005_2020	0.998976197	VMM	P11_024_2006	-1
VMM	P03_005_2021	-1	VMM	P11_024_2007	0.370981
VMM	P03_017_2004	-1	VMM	P11_024_2008	0.860686

VMM	P03_017_2005	0.879355174	VMM	P11_024_2009	0.512776
VMM	P03_017_2006	0.838645911	VMM	P11_024_2010	0.64717
VMM	P03_017_2007	0.883296324	VMM	P11_024_2011	0.654714
VMM	P03_017_2008	0.941504178	VMM	P11_024_2012	0.96626
VMM	P03_017_2009	0.988860326	VMM	P11_024_2013	0.916765
VMM	P03_017_2010	0.995130702	VMM	P11_024_2014	1
VMM	P03_017_2011	0.363555893	VMM	P11_024_2015	0.999728
VMM	P03_017_2012	0.543265414	VMM	P11_024_2016	0.612291
VMM	P03_017_2013	0.126544944	VMM	P11_024_2017	0.775217
VMM	P03_017_2014	0.999688085	VMM	P11_024_2018	1
VMM	P03_017_2015	0.792486943	VMM	P11_024_2019	0.901905
VMM	P03_017_2016	0.321173469	VMM	P11_024_2020	0.998729
VMM	P03_017_2017	0.997947665	VMM	P11_024_2021	-1
VMM	P03_017_2018	1	VMM	P11_043_2008	-1
VMM	P03_017_2019	0.978939355	VMM	P11_043_2009	0.998566
VMM	P03_017_2020	0.998420637	VMM	P11_043_2010	0.996734
VMM	P03_017_2021	-1	VMM	P11_043_2011	0.999411
VMM	P03_036_2008	-1	VMM	P11_043_2012	0.978826
VMM	P03_036_2009	0.961737332	VMM	P11_043_2013	0.425548
VMM	P03_036_2010	1	VMM	P11_043_2014	1
VMM	P03_036_2011	0.985484707	VMM	P11_043_2015	0.999729
VMM	P03_036_2012	1	VMM	P11_043_2016	0.995528
VMM	P03_036_2013	0.785128205	VMM	P11_043_2017	0.998446
VMM	P03_036_2014	0.617152236	VMM	P11_043_2018	1
VMM	P03_036_2015	0.933895539	VMM	P11_043_2019	0.999487
VMM	P03_036_2016	0.985179197	VMM	P11_043_2020	0.997938
VMM	P03_036_2017	0.989856298	VMM	P11_043_2021	-1
VMM	P03_036_2018	1			
VMM	P03_036_2019	0.691721788			
VMM	P03_036_2020	0.994136617			
VMM	P03_036_2021	-1			

Tabel 7: Jaarlijkse waarden per station voor de R-factor ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$) en neerslag (mm) voor alle beschouwde stations en jaren (zie ook kolom 3 en 6 in Tabel 6, groter dan > 0.95).

Station	Jaar	R-waarde	Totale neerslag	Station	Jaar	R-waarde	Totale neerslag
KMI_6414	2004	1409.88	691.6	P02_008	2019	627.1	714.54
KMI_6414	2005	2824.48	750.5	P02_008	2020	740.05	720.05
KMI_6414	2006	1128.24	842.1	P02_030	2015	1166.67	781.6
KMI_6414	2007	1662.33	839	P02_030	2017	1733.51	920.33
KMI_6414	2008	1321.46	811.1	P02_030	2018	876.17	683.22
KMI_6414	2010	1336.45	813.1	P02_030	2020	902.67	749.78
KMI_6414	2013	1047.68	803.45	P03_005	2009	1431.33	785.05
KMI_6414	2014	1599.69	785.43	P03_005	2010	1622.2	915.23
KMI_6414	2016	1256.18	867.19	P03_005	2012	1423.15	982.88
KMI_6414	2017	827.25	705.6	P03_005	2014	897.21	758.02
KMI_6414	2018	561.47	589.75	P03_005	2015	802.88	700.81
KMI_6414	2019	1018.14	726.12	P03_005	2016	1345.26	805.56
KMI_6414	2020	545.92	674.15	P03_005	2017	916.3	809.45
KMI_6418	2013	1258.15	628.2	P03_005	2018	687.31	648.16
KMI_6418	2015	1171.09	650.04	P03_005	2019	1042.75	795.31
KMI_6418	2016	430.69	546.29	P03_005	2020	1431.8	846.15
KMI_6418	2017	973.45	643.02	P03_017	2009	1451.07	798.59
KMI_6418	2018	535.93	526.36	P03_017	2010	2026.5	868.33
KMI_6418	2020	562.66	548.88	P03_017	2014	1337.3	769.14
KMI_6431	2013	1085.58	847.4	P03_017	2017	827.71	795.19
KMI_6431	2014	1465.57	845.3	P03_017	2018	605.06	633.36
KMI_6431	2015	965.41	800.1	P03_017	2019	732.18	722.51
KMI_6431	2016	835.82	873.7	P03_017	2020	1155.84	818.62
KMI_6431	2017	781.54	868.38	P03_036	2009	3121	744.19
KMI_6434	2004	1171.8	704.3	P03_036	2010	1518.71	838.32
KMI_6434	2006	2137.41	1044.9	P03_036	2011	1028.09	710.73
KMI_6434	2007	1873.39	1053.4	P03_036	2012	1708.57	898.62
KMI_6434	2008	910.84	862.1	P03_036	2016	2895.96	946.18
KMI_6434	2013	2109.58	948	P03_036	2017	1092.06	843.2
KMI_6434	2017	832.48	785.32	P03_036	2018	614.04	636.51
KMI_6434	2018	1360.2	632.48	P03_036	2020	839.75	745.36
KMI_6434	2019	891.66	730.41	P03_041	2010	1416.57	765.74
KMI_6434	2020	978.48	804.23	P03_041	2011	410.98	569.51
KMI_6439	2008	950.13	706.5	P03_041	2014	1206.7	784.13
KMI_6439	2009	874.9	728.1	P03_041	2016	1306.48	846.19
KMI_6439	2010	1095.26	857.9	P03_041	2017	793.91	797.86
KMI_6439	2012	1029.76	831.5	P03_041	2018	803.95	661.49

KMI_6439	2013	961.79	719.5	P03_041	2019	1132.84	760.63
KMI_6439	2015	945.36	719.26	P03_041	2020	884.61	762.75
KMI_6439	2016	1695.05	897.58	P04_001	2005	2041.24	703.59
KMI_6439	2017	638.61	671.89	P04_001	2009	1636.82	723.8
KMI_6439	2018	835.92	569.18	P04_001	2010	2025.07	859.21
KMI_6439	2020	742.24	723.96	P04_001	2011	1437.38	766.8
KMI_6447	2003	796.45	661.3	P04_001	2012	972.89	805.75
KMI_6447	2004	2241.25	879.9	P04_001	2016	1436.63	867.24
KMI_6447	2005	1772.08	713.4	P04_020	2007	1737.58	871.77
KMI_6447	2006	917.67	702.5	P04_020	2010	891.58	815.08
KMI_6447	2007	877.78	748	P04_020	2011	1128.79	704.87
KMI_6447	2008	773.95	702.9	P04_020	2012	798.14	776.82
KMI_6447	2010	1518.35	884.1	P04_020	2014	1370.87	749.89
KMI_6447	2011	3430.75	785.5	P04_020	2016	1383.9	851.83
KMI_6447	2012	1341.01	928.5	P04_020	2017	811.92	694.35
KMI_6447	2013	1146.81	787.67	P04_020	2018	580.79	567.22
KMI_6447	2014	1042.55	736.96	P04_020	2019	818.59	662.29
KMI_6447	2015	672.43	708.9	P04_020	2020	2525.44	799.09
KMI_6447	2016	1311.06	902.66	P04_027	2009	958.71	717.14
KMI_6447	2017	859.37	745.12	P04_027	2011	1882.02	752.25
KMI_6447	2018	1499.02	643.75	P04_027	2014	1343.47	797.56
KMI_6447	2019	829.06	800.09	P04_027	2015	870.67	713.75
KMI_6447	2020	681.29	731.91	P04_027	2017	955.32	758.54
KMI_6455	2002	1637.78	943.1	P04_027	2018	2051.39	651.67
KMI_6455	2003	959.19	657.3	P04_027	2019	843.12	754.07
KMI_6455	2004	778.79	703.8	P04_027	2020	941.22	722.69
KMI_6455	2005	631.49	570.6	P05_019	2007	1055.44	825.41
KMI_6455	2006	646.79	733.1	P05_019	2009	909.63	733.17
KMI_6455	2007	975.58	829.5	P05_019	2012	743.16	829.94
KMI_6455	2008	886.73	944.3	P05_019	2016	785.56	774.64
KMI_6455	2010	1165.32	792.2	P05_019	2017	646.8	723.16
KMI_6455	2011	822.41	639.1	P05_019	2018	526.93	621.57
KMI_6455	2012	797.69	861.7	P05_019	2020	489.85	635.78
KMI_6455	2013	1291.12	821.1	P05_038	2016	883.29	785.53
KMI_6455	2014	2298.42	845.91	P05_038	2017	938.25	687.1
KMI_6455	2015	829.82	772.39	P05_038	2018	916.66	623.12
KMI_6455	2016	993.4	806.29	P05_038	2019	873.73	676.31
KMI_6455	2018	2281.46	748.29	P05_038	2020	587.26	663.72
KMI_6455	2019	795.6	820.17	P05_039	2009	1652.01	839.45
KMI_6455	2020	1133.24	883.12	P05_039	2011	765.24	674.72
KMI_6459	2001	1693.05	954.4	P05_039	2012	2096.17	997.7

KMI_6459	2002	2760.57	1056.3	P05_039	2014	2849.12	877.25
KMI_6459	2003	557.9	539.1	P05_039	2015	1568.85	721.44
KMI_6459	2004	986.03	611.1	P05_039	2016	1138.84	882.92
KMI_6459	2005	554.33	445.6	P05_039	2017	763.45	775.46
KMI_6459	2006	1481.64	758.9	P05_039	2018	823.27	621.96
KMI_6459	2007	1186.64	870	P05_039	2020	679.86	699.21
KMI_6459	2008	2046.33	918	P06_014	2011	1191.89	672.46
KMI_6459	2009	1709.76	893.8	P06_014	2012	865.86	789.51
KMI_6459	2010	1522.1	805.8	P06_014	2014	870.78	714.46
KMI_6459	2011	1775.62	635.8	P06_014	2015	1043.26	686.83
KMI_6459	2012	1077.18	835.2	P06_014	2016	653.14	738.42
KMI_6459	2014	1356.54	804.78	P06_014	2017	914.3	706.7
KMI_6459	2015	614.58	724.45	P06_014	2018	686.76	578.89
KMI_6459	2017	1304.92	744.36	P06_040	2009	1751.65	693.81
KMI_6459	2018	790.66	586.29	P06_040	2010	1249.33	833.55
KMI_6459	2019	947.92	788.3	P06_040	2011	606.87	603.66
KMI_6459	2020	587.18	696.37	P06_040	2012	962.68	765.6
KMI_6464	2013	1241.39	635	P06_040	2014	900.11	748.51
KMI_6464	2014	701.71	677.6	P06_040	2015	752.09	722.58
KMI_6464	2016	2478.5	956.01	P06_040	2016	1114.31	829.42
KMI_6464	2017	746.28	751.01	P06_040	2017	840.26	729.57
KMI_6464	2018	934.71	654.05	P06_040	2018	928.22	645.24
KMI_6464	2019	827.43	788.89	P06_040	2019	813.36	714.51
KMI_6464	2020	1080.51	721.86	P06_040	2020	1122.14	767.49
KMI_6472	2006	1001.33	822.2	P07_006	2009	674.72	679.29
KMI_6472	2007	1232.62	938.5	P07_006	2010	889.38	763.48
KMI_6472	2009	1704.81	856.2	P07_006	2011	1045.54	665.86
KMI_6472	2016	3825.64	994.03	P07_006	2013	1440.68	789.51
KMI_6472	2017	996.44	767.06	P07_006	2015	797.83	688.61
KMI_6472	2018	1220.86	740.46	P07_006	2018	486.19	482.23
KMI_6472	2019	1236.38	922.76	P07_006	2019	672.73	602.81
KMI_6472	2020	904.84	859.85	P07_021	2009	815.36	693.22
KMI_6477	2005	910.36	686.8	P07_021	2010	854.55	759.5
KMI_6477	2007	2115.16	913.8	P07_021	2012	1069.58	780.16
KMI_6477	2008	1602.16	805.7	P07_021	2014	1223.23	777.64
KMI_6477	2011	1005.68	661.4	P07_021	2017	601.12	664.79
KMI_6477	2012	811.76	724.4	P07_021	2018	222.35	311.61
KMI_6477	2014	1125.93	696.6	P07_021	2020	640.73	691.24
KMI_6477	2015	1481.98	742.44	P07_022	2009	1183.23	728.86
KMI_6477	2016	2178.2	827.04	P07_022	2012	1175.54	831.34
KMI_6477	2017	1205.92	704.84	P07_022	2014	1555.7	816.31

KMI_6477	2018	1759.81	578.19	P07_022	2015	989.63	704.99
KMI_6477	2019	1014.29	752.75	P07_022	2016	943.83	832.35
KMI_6484	2005	1340.33	722.1	P07_022	2017	527.94	701.31
KMI_6484	2007	1493.06	1104.6	P07_022	2018	886.72	599.48
KMI_6484	2009	1331.83	1019.7	P07_022	2019	1377.68	717.27
KMI_6484	2010	1140.23	1015	P07_022	2020	1029.24	738.03
KMI_6484	2011	1272.74	879.3	P08_009	2008	762.89	732.09
KMI_6484	2012	2789.66	1223.8	P08_009	2010	1092.9	797.29
KMI_6484	2014	945.32	878.9	P08_009	2011	1382.57	690.24
KMI_6484	2015	1319.84	943.1	P08_009	2012	1572.63	810.01
KMI_6484	2016	1176.94	975.1	P08_009	2014	750.72	735.81
KMI_6484	2020	2413.12	1146.96	P08_009	2015	437.51	680.56
KMI_6494	2013	1470.3	1143.3	P08_009	2017	912.07	729.47
KMI_6494	2014	2949.46	1432.3	P08_009	2018	795.05	580.55
KMI_6494	2015	1964.98	1531.56	P08_009	2019	1063.41	783.5
KMI_6494	2016	2132.93	1567.3	P08_009	2020	730.76	740.08
KMI_6494	2017	2329.98	1637.88	P08_013	2010	1771.23	779.99
KMI_6494	2019	1525.24	1543.16	P08_013	2012	826.47	783.08
KMI_FS3	1898	632.73	534.5	P08_013	2015	596	647.99
KMI_FS3	1899	1227.2	678.8	P08_013	2018	1006.9	553.22
KMI_FS3	1900	744.57	674.6	P08_013	2019	937.49	716.05
KMI_FS3	1901	880.19	675.4	P08_013	2020	655.11	682.32
KMI_FS3	1902	1343.36	740.8	P08_018	2008	1201.97	708.83
KMI_FS3	1903	1029.82	824.4	P08_018	2009	935.5	714.5
KMI_FS3	1904	667.7	642.3	P08_018	2011	3559.21	737.66
KMI_FS3	1905	1227.12	886.1	P08_018	2012	1960.21	847.78
KMI_FS3	1906	767.99	794.6	P08_018	2018	498.51	451.01
KMI_FS3	1907	455.82	602.9	P08_018	2019	640.04	700.65
KMI_FS3	1908	781.84	659.1	P08_023	2015	574.17	657.68
KMI_FS3	1909	589.61	831.5	P08_023	2016	977.6	803.09
KMI_FS3	1910	1307.86	961.5	P08_023	2017	748.65	682.21
KMI_FS3	1911	572.39	723.2	P08_023	2018	928.46	531.57
KMI_FS3	1912	1116.5	917.5	P08_023	2019	1035.39	782.01
KMI_FS3	1913	824.51	779.8	P08_028	2010	1302.78	732.9
KMI_FS3	1914	1360.79	851.9	P08_028	2012	901.14	788.64
KMI_FS3	1915	991.14	886.6	P08_028	2015	710.89	613.49
KMI_FS3	1916	1654.85	1022	P08_028	2018	576.55	504.17
KMI_FS3	1917	1235.07	843.1	P08_031	2009	2056.03	787.91
KMI_FS3	1918	1056.75	833	P08_031	2010	1735.07	796.78
KMI_FS3	1919	908.02	952.7	P08_031	2012	1087.95	840.26
KMI_FS3	1920	1130.5	738.2	P08_031	2013	864.56	683.58

KMI_FS3	1921	231.82	407.3	P08_031	2015	821.37	679.04
KMI_FS3	1922	1725.75	908.3	P08_031	2016	1118.51	831.43
KMI_FS3	1923	1617.16	896.3	P08_031	2018	528.64	439.59
KMI_FS3	1924	905.08	826.5	P08_031	2019	840.05	721.26
KMI_FS3	1925	911.28	1049	P08_033	2009	1770.41	741.96
KMI_FS3	1926	1081.12	872.1	P08_033	2010	1145.87	797.6
KMI_FS3	1927	644.72	813.5	P08_033	2012	884.72	826.52
KMI_FS3	1928	980.05	857.5	P08_033	2018	2744.29	657.38
KMI_FS3	1929	526.42	670.3	P08_033	2019	1244.31	809.04
KMI_FS3	1930	1455.35	926.6	P08_033	2020	796.13	716.58
KMI_FS3	1931	1077.21	838.3	P09_012	2011	1828.27	546.01
KMI_FS3	1932	1265.61	826.5	P09_012	2014	1651.83	683.46
KMI_FS3	1933	663.1	715.8	P09_012	2015	872.82	644.34
KMI_FS3	1934	553.48	686.2	P09_012	2016	988.08	688.49
KMI_FS3	1935	1011.81	892	P09_012	2018	593.06	500.27
KMI_FS3	1936	538.54	745.9	P09_012	2019	1492.89	724.6
KMI_FS3	1937	501.18	862.7	P09_016	2010	1156.43	695.74
KMI_FS3	1938	621.93	704.5	P09_016	2012	717.38	727.28
KMI_FS3	1939	941.02	902.2	P09_016	2018	559.38	495.64
KMI_FS3	1940	659.69	799.1	P09_016	2019	834.1	687.12
KMI_FS3	1941	554.41	720.7	P09_016	2020	735.05	601.65
KMI_FS3	1942	1714.05	826.9	P09_025	2009	1149.73	761.28
KMI_FS3	1943	1451.11	752.1	P09_025	2010	1412.61	796.29
KMI_FS3	1944	409.93	749.4	P09_025	2011	1103.84	715.26
KMI_FS3	1945	1084.08	738.8	P09_025	2012	649.85	763.19
KMI_FS3	1946	699.93	844.9	P09_025	2016	2198.33	925.32
KMI_FS3	1947	718.74	634.6	P09_025	2018	887.16	622.05
KMI_FS3	1948	885.24	791.9	P09_025	2019	945.4	798.45
KMI_FS3	1949	383.09	527.6	P09_025	2020	603.87	680.28
KMI_FS3	1950	1155	949.2	P09_026	2009	1309.91	727.96
KMI_FS3	1951	820.12	876.2	P09_026	2014	860.36	620.76
KMI_FS3	1952	1214.8	925.7	P09_026	2015	838.36	696.91
KMI_FS3	1953	511.63	555.2	P09_026	2017	614.45	653.87
KMI_FS3	1954	874.6	737.4	P09_026	2018	799.04	537.14
KMI_FS3	1955	388.09	615.8	P09_026	2019	919.58	694.31
KMI_FS3	1956	1104.51	795.1	P09_026	2020	2009.47	646.12
KMI_FS3	1957	764.94	786	P09_032	2009	774.42	658.06
KMI_FS3	1958	811.97	834.8	P09_032	2010	786.58	692.71
KMI_FS3	1959	493.41	560.7	P09_032	2011	2048.53	665.44
KMI_FS3	1960	1309.42	962.6	P09_032	2014	1863.38	679.82
KMI_FS3	1961	1022.45	903.4	P09_032	2015	1011.12	666.21

KMI_FS3	1962	2375.19	861.9	P09_032	2017	404.21	587.91
KMI_FS3	1963	943.4	714	P09_032	2018	849.31	529.52
KMI_FS3	1964	1236.82	785.7	P09_032	2019	1038.12	706.36
KMI_FS3	1965	1308.91	1073.6	P09_032	2020	2669.39	675.09
KMI_FS3	1966	1004.51	1055.9	P09_034	2016	1119.35	845.35
KMI_FS3	1967	539.97	707.2	P09_034	2017	723.07	710.8
KMI_FS3	1968	797.74	776.3	P09_034	2018	1091.56	623.99
KMI_FS3	1969	1371.86	776.5	P09_034	2019	982.6	767.43
KMI_FS3	1970	616.37	728.2	P09_034	2020	563.28	651.41
KMI_FS3	1971	1025.73	695.9	P09_035	2014	1359.28	726.92
KMI_FS3	1972	852.21	715.3	P09_035	2018	1184.92	344.78
KMI_FS3	1973	553.2	693.7	P09_035	2019	1323.01	789.04
KMI_FS3	1974	1216.78	1039.7	P09_035	2020	1223.6	691.34
KMI_FS3	1975	621.1	732.3	P10_011	2005	768.89	634.59
KMI_FS3	1976	927.27	542.1	P10_011	2012	1220.56	835.4
KMI_FS3	1977	755.36	857	P10_011	2014	1433.48	756.98
KMI_FS3	1978	1310.65	768.6	P10_011	2016	2301.43	962.32
KMI_FS3	1979	983.1	837.9	P10_011	2018	1243.12	645.71
KMI_FS3	1980	1085.13	915.8	P10_042	2018	1193.34	699.8
KMI_FS3	1981	1021.39	1015.1	P11_002	2006	1087.48	754.17
KMI_FS3	1982	780.7	801.3	P11_002	2007	1111.88	914.15
KMI_FS3	1983	545.34	699.2	P11_002	2011	1230.48	706
KMI_FS3	1984	870.91	930.2	P11_002	2015	638.4	674.49
KMI_FS3	1985	980.82	758.8	P11_002	2018	657.96	559.67
KMI_FS3	1986	802.12	942.4	P11_002	2019	727.89	707.54
KMI_FS3	1987	646.49	912.3	P11_002	2020	558.56	622.63
KMI_FS3	1988	1134.96	1004.3	P11_007	2006	1438.82	812.63
KMI_FS3	1989	409.09	639.2	P11_007	2009	937.11	745.65
KMI_FS3	1990	860.74	759.9	P11_007	2010	1129.98	815.57
KMI_FS3	1991	1482.84	793.8	P11_007	2011	2104.54	776.55
KMI_FS3	1992	1718.18	916.5	P11_007	2012	1447.47	920.83
KMI_FS3	1993	1041.91	856.7	P11_007	2015	703.79	764.86
KMI_FS3	1994	1209.29	893.2	P11_007	2016	986.88	848.58
KMI_FS3	1995	794.51	765.3	P11_007	2018	939.27	681.75
KMI_FS3	1996	1073.07	744.6	P11_007	2019	896.74	756.43
KMI_FS3	1997	1095	700.7	P11_007	2020	879.33	721.92
KMI_FS3	1998	852.05	948	P11_024	2012	2779.84	993.33
KMI_FS3	1999	1221.63	879.7	P11_024	2014	1273.21	745.21
KMI_FS3	2000	691.86	849.1	P11_024	2015	852.3	737.57
KMI_FS3	2001	1511.89	1092.3	P11_024	2018	1076.13	557.81
KMI_FS3	2002	1540.85	1077.8	P11_024	2020	620.89	645.57

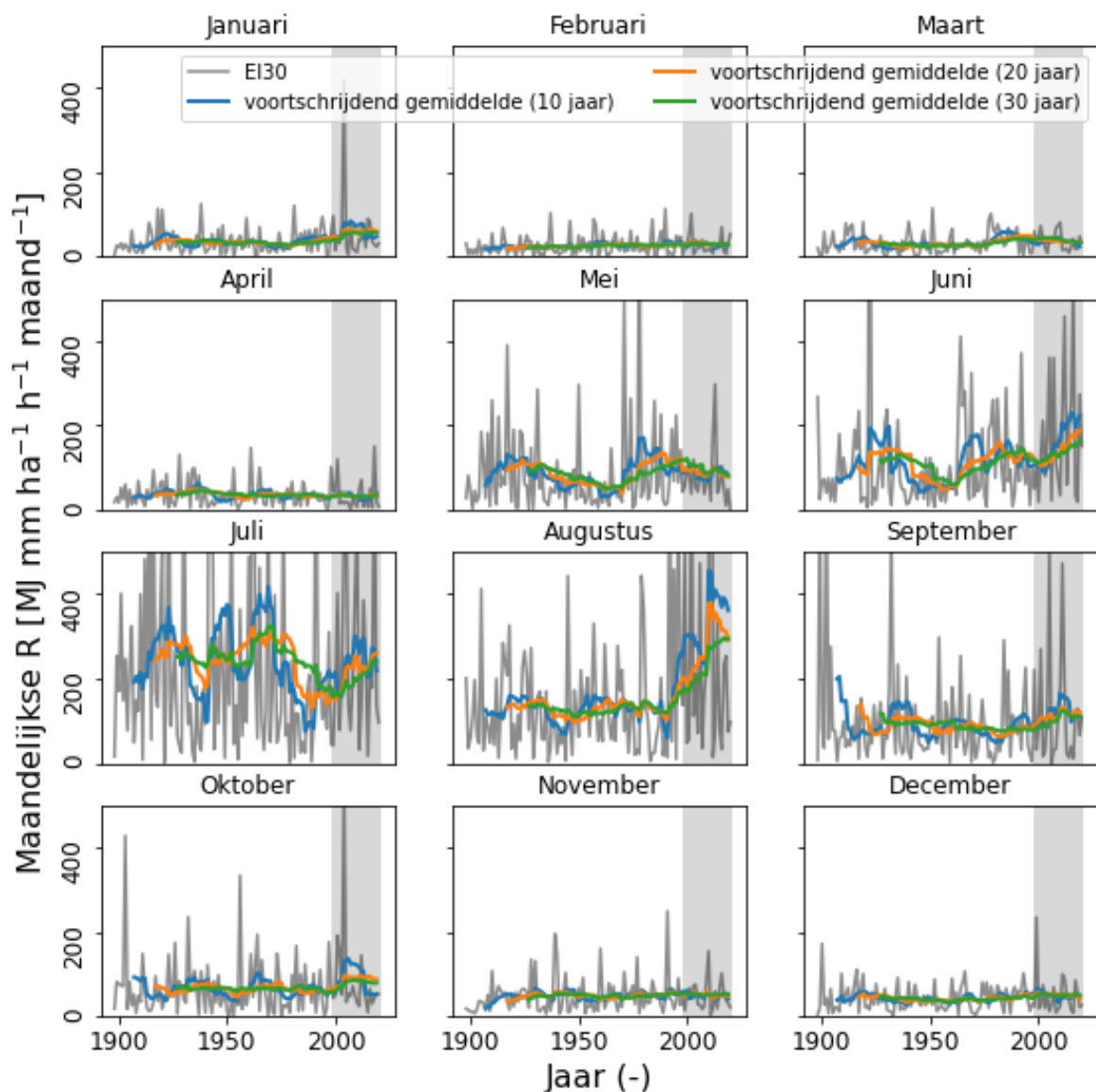
P01_003	2005	2093.02	819.58	P11_043	2009	851.35	695.8
P01_003	2006	786.74	720.74	P11_043	2010	990.51	776.36
P01_003	2008	3234.06	828.18	P11_043	2011	2403.2	665.99
P01_003	2010	1128.57	807.39	P11_043	2012	594.83	734.79
P01_003	2012	931.51	866.54	P11_043	2014	2400.98	787.7
P01_003	2014	1179.77	732.25	P11_043	2015	1540.99	746.56
P01_003	2016	756.15	764.91	P11_043	2016	3042.06	883.46
P01_003	2017	1323.17	782.07	P11_043	2017	680.35	718.93
P01_003	2018	1166.88	653.9	P11_043	2018	878.24	547.49
P01_003	2020	580.49	682.21	P11_043	2019	907.81	744.41
P01_010	2008	1630.12	825.78	P11_043	2020	738.46	628.37
P01_010	2010	1453.64	803.47				
P01_010	2012	1754.33	954.83				
P01_010	2015	686.18	685.34				
P01_010	2016	1146.18	835.72				
P01_010	2017	975	709.41				
P01_010	2018	810.65	691.48				
P01_010	2019	827.86	670.78				
P01_010	2020	1338.85	767.18				
P01_015	2008	1018.72	672.34				
P01_015	2009	764.8	688.77				
P01_015	2011	926.61	682.56				
P01_015	2012	1259.6	929.17				
P01_015	2014	1836.51	773.55				
P01_015	2015	761.51	764.71				
P01_015	2017	1005.44	756.22				
P01_015	2018	758.07	674.47				
P01_015	2019	646.7	685.86				
P01_015	2020	1347.17	716.35				
P01_029	2009	790.28	738.37				
P01_029	2010	1199.9	779.11				
P01_029	2015	1246.76	775.21				
P01_029	2016	1066.05	780.85				
P01_029	2017	4134.11	861.54				
P01_029	2018	657.52	675.96				
P01_037	2015	665.96	722.47				
P01_037	2016	1092.82	819.96				
P01_037	2017	1235.34	722.02				
P01_037	2018	1321.12	697.4				
P01_037	2020	955.71	754.72				
P02_004	2008	1263.39	844.85				

P02_004	2009	879.57	762.87				
P02_004	2010	1168.04	874.24				
P02_004	2011	877.36	741.25				
P02_004	2012	1246.92	1010.21				
P02_004	2014	1757.16	866.39				
P02_004	2017	1123.96	823.8				
P02_004	2018	627.68	676.11				
P02_004	2020	504.31	632.4				
P02_008	2005	1203.09	778.84				
P02_008	2009	1021.83	734.45				
P02_008	2011	643.2	660.76				
P02_008	2012	1325	933.53				
P02_008	2014	731.87	726.72				
P02_008	2016	746.95	775.22				
P02_008	2017	2146.57	862.93				
P02_008	2018	980.34	666.74				

APPENDIX B

MAANDELIJKSE ANALYSE

In Figuur 5 is de temporele evolutie van de maandelijkse R-factor te zien (grijs), samen met het voortschrijdende gemiddelden over 10 (blauw), 20 (rood) en 30 (groen) jaar. Het grijs kader toont de jaren die toegevoegd zijn ten opzichte van Verstraeten et al. (2001). Deze grafiek is gemaakt door de EI30-waarden voor alle buien per maand op te tellen, dit voor elk jaar, en de evolutie van deze maandelijkse cumulatieve EI30-waarde (of 'maandelijkse R-waarde') te plotten. Er wordt geobserveerd dat –gebaseerd op de voortschrijdende gemiddeldes - de grootste absolute verschillen vooral worden waargenomen voor de maanden mei, juni, juli en augustus. Dit zijn de maanden met het grootste aandeel uitschieters in de maandelijkse R-waarde (vb. Pukkelpopstorm 2011, augustus, piek in voortschrijdende gemiddelden). De verschillen zijn vooral in stijgende lijn, bijvoorbeeld voor augustus wordt sinds 1990 een stijgende trend geobserveerd in de maandelijkse R-factor, wat ook het geval is voor juni en juli, echter pas vanaf 2000. Voor juli wordt tevens geobserveerd dat er tijdens periode tussen 1970 en 2000 een sterk dalende trend in de 30-jarig gemiddelde R-factor is.



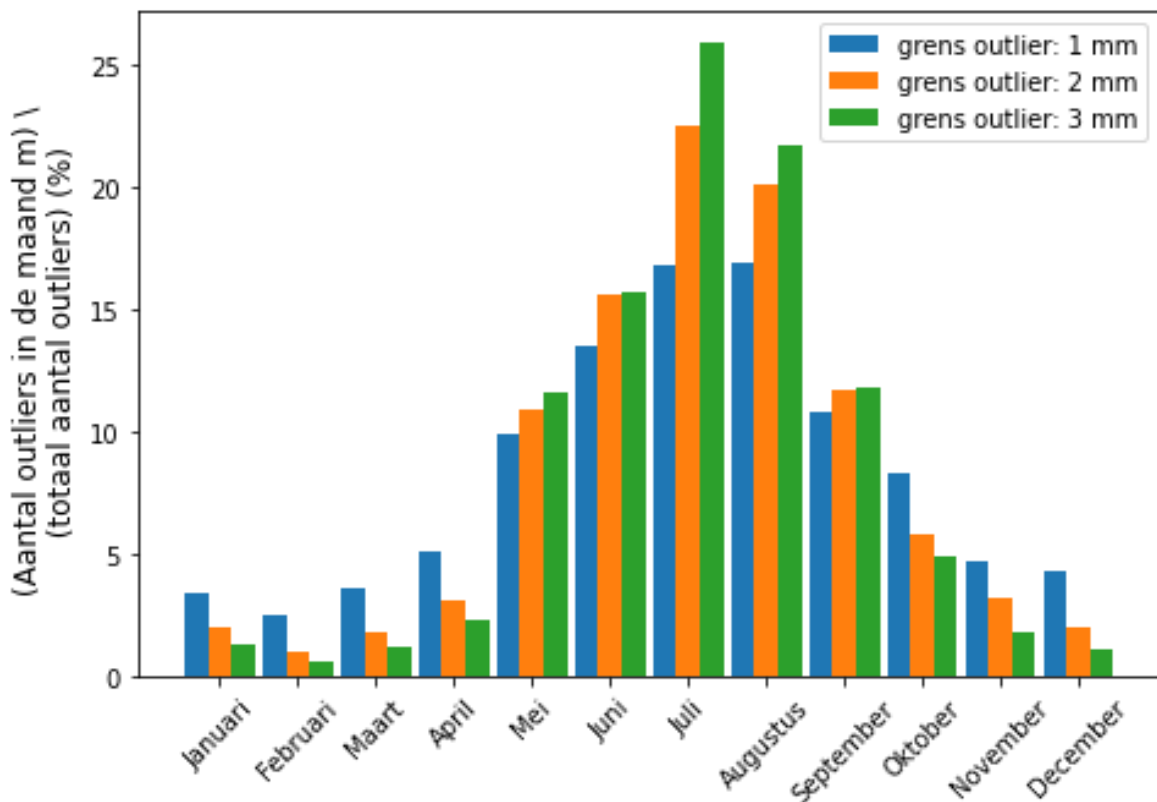
Figuur 5: Jaarlijkse evolutie van de maandelijkse R-factor (uitgedrukt in opgetelde EI30, per maand, $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ maand}^{-1}$), berekend met de data te Ukkel. De jaarlijkse waarden zijn gegeven in het donkergrijs, terwijl de voortschrijdende gemiddelden over 10, 20 en 30 jaar gegeven zijn in het blauw, rood en groen. Het grijs kader toont de jaren die toegevoegd zijn ten opzichte van Verstraeten et al. (2001).

OUTLIERANALYSE

In Figuur 6 staat de verdeling van het aantal outliers per maand afgebeeld (in percentage). Om deze figuur op te maken werd bepaald hoeveel neerslag-outliers er in één bepaalde maand voorkwamen en dit aantal te delen door het totaal aantal outliers in de dataset. Een outlier werd gedefinieerd door de grenswaarde 1 mm, 2 mm of 3 mm, respectievelijk afgebeeld in het blauw, oranje en groen. Deze plot werd opgesteld door de neerslagdata van alle jaren (1898-2020) te Ukkel te beschouwen. Er werd m.a.w. berekend hoeveel outliers in – bijvoorbeeld – de maand januari voorkwamen voor alle maanden januari vanaf 1898 tot en met 2020, en dit aantal te delen door het totaal aantal outliers in de dataset. Deze analyse werd vervolgens herhaald door een ondergrens van 2 mm en 3

mm te hanteren. De grenzen zijn vastgezet op de gehele waarden (1, 2 en 3 mm) omdat dit de waarden waren waarmee de oude R-factor code de berekeningen deed (enkel afronding voor waarden hoger dan 1 mm) (zie ook sectie 2, aanpassing code).

De figuur toont aan dat de meeste neerslagoutliers voorkomen in de late lente en zomer (maanden mei, juni, juli en augustus). Er wordt geobserveerd dat in de zomer (juli en augustus) ook proportioneel de grootste outliers (waarden boven 3 mm, zie groen) voorkomen. Voor zowel juli en augustus komen een gelijk aandeel outliers boven de 1 mm voor (voor beide maanden komen 17 % van de outliers boven de 1 mm voor in de maand juli/augustus), terwijl in de maand juli meer dan 25 % van de outliers boven de 3 mm voorkomen. Doordat de outliers niet meer worden afgerond naar beneden (nieuwe modelcode) wordt verwacht dat de gemiddelde maandelijkse waarde voor alle maanden stijgt, maar vooral voor de maanden mei, juni, juli, augustus en september. Verder wordt verwacht dat de stijging het grootst zal zijn voor de maand juli, gezien deze het grootste aandeel 3 mm outliers bevat (rekening houdend met sensitiviteit R-berekeningen voor outliers). Deze analyse wordt bevestigd door de observaties in Figuur 4.



Figuur 6: Verdeling van het aantal outliers in neerslag (mm per 10 minuten) over verschillende maanden. De beschouwde maanden staan afgebeeld op de x-as, terwijl op y-as het percentage outliers staat. Het percentage outliers werd berekend door het aantal neerslagdatapunten boven een bepaalde grens (grens outlier, zie legende) voor één maand te bepalen, en deze te delen voor het totaal neerslagdatapunten (voor alle maanden) boven dezelfde grens. Deze plot werd opgesteld door alle data te Ukkel te gebruiken (1898-2020).