

Drinkwater op een melk- veebedrijf

Gebruik van regenwater

Lotte VAN LOOVEREN

Promotor: Prof. Dr. Ir. B. AERNOOTS

Co-promotor: Ing. E. STEVENS

Masterproef ingediend tot het behalen van de
graad van master of Science in de bioweten-
schappen: land- en tuinbouwkunde, afstudeer-
richting plantaardige en dierlijke productie

Academiejaar 2018-2019

© Copyright KU Leuven

Zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van zowel de promotor(en) als de auteur(s) is overnemen, kopiëren, gebruiken of realiseren van deze uitgave of gedeelten ervan verboden. Voor aanvragen i.v.m. het overnemen en/of gebruik en/of realisatie van gedeelten uit deze publicatie, kan u zich richten tot KU Leuven Campus Geel, Kleinhoefstraat 4, B-2440 Geel, +32 14 72 13 00 of via e-mail iiw.geel@kuleuven.be.

Voorafgaande schriftelijke toestemming van de promotor(en) is eveneens vereist voor het aanwenden van de in deze masterproef beschreven (originele) methoden, producten, schakelingen en programma's voor industrieel of commercieel nut en voor de inzending van deze publicatie ter deelname aan wetenschappelijke prijzen of wedstrijden.

Voorwoord

Voor u ligt de thesis 'Drinkwater op een melkveebedrijf- gebruik van regenwater'. Na vier jaar studeren, is deze thesis geschreven in het kader van mijn afstuderen. Tijdens mijn studie en het realiseren van deze scriptie heb ik hulp gekregen van vele mensen, die allemaal een dankwoord verdienen.

In eerste instantie wil ik graag mijn interne promotor Ben Aernouts bedanken voor de begeleiding, feedback en ondersteuning. Dankzij zijn hulp ben ik steeds optijd in de juiste richting gestuurd waardoor het onderzoek, de verwerking en het schrijven in goede banen werd geleid.

Mijn onderzoek is uitgevoerd op de Hooibeekhoeve in Geel. Ook zij verdienen een dankwoord voor de medewerking. In het bijzonder wil ik mijn externe promotor Els Stevens bedanken voor het delen van de bijkomende informatie en haar tips.

Verder richt ik ook graag een woord van dank aan mijn familie. Mijn mama, zus en broer hebben mij continue gesteund tijdens mijn studie. Bij hen kon ik altijd terecht voor advies. Ook wil ik graag mijn moemoe en vava bedanken voor de motiverende woorden.

Hartelijk dank! Ik wens u veel leesplezier toe.

Lotte Van Looveren, Wuustwezel, 20 april '19

Samenvatting

De zoektocht naar alternatieve waterbronnen wordt steeds belangrijker waarin de recuperatie van regenwater een belangrijke rol speelt. Op de meeste melkveebedrijven kent regenwater enkel een toepassing als reinigingswater.

In de volksmond wordt regenwater onterecht gedefinieerd als gratis water. Een melkveebedrijf heeft een continue behoefte aan water terwijl de hoeveelheid regenval sterk kan variëren en geen dagelijks gegeven is. De enige oplossing om zo lang mogelijk aan de waterbehoefte te kunnen beantwoorden, is het opslagen van regenwater.

Drinkwater kent strenge normen en richtwaarden zodat het geconsumeerd kan worden zonder risico's. Uit de resultaten van de wateranalyses blijkt dat de organoleptische en chemische kwaliteit van het opgeslagen regenwater voldoen aan de normen en richtwaarden. De biologische waterkwaliteit overschrijdt regelmatig de grenswaarden en is enorm variabel. Om risico's tot besmetting met pathogenen te reduceren, is een ontsmettingsmethode noodzakelijk. Het proefbedrijf maakt gebruik van elektrochemische activering. Die installatie heeft een gunstig effect op het aantal kiemen, totale coliformen, *Escherichia coli* en enterococci. Het effect op sulfietreducerende clostridia en *Clostridium perfringens* is ondermaats.

Om de economische rendabiliteit na te gaan, zijn nauwkeurige modellen nodig voor de predictie van de drinkwaterinname. De kalveren, tot 5 maanden, hebben een gemiddelde dagelijkse waterinname van 21,2 liter. Het jongvee wordt opgesplitst op basis van de leeftijd. Jongvee tot en met 1 jaar heeft een gemiddelde waterinname van 35,2 liter per dag. Jongvee tot en met 2 jaar heeft een gemiddelde dagelijkse waterinname van 49,6 liter. Voor de droogstaande koeien wordt een gemiddelde waterinname van 76,4 liter per dag verwacht. De lacterende koeien drinken dagelijks gemiddeld 98,3 liter.

Op basis van de kwaliteit, kan regenwater na ontsmetting, gebruikt worden als drinkwater. Door de variërende waterkwaliteit zijn controles en wateranalyses enorm belangrijk. Die controles en wateranalyses brengen een extra kost met zich mee. Maar de grootste kost is echter de waterbehandeling. De aankoop van de ontsmettingsinstallatie maar ook de onderhouds- en verbruikskosten komen bovenop de opslagkosten. Bovendien wordt de waterbehoefte niet volledig vervuld door het opvangen van regenwater en zal het bedrijf afhankelijk zijn van verschillende waterbronnen. Ondanks die afhankelijkheid kan het gebruik van regenwater toch besparingen opleveren. Omdat de besparingen sterk afhankelijk zijn van de bedrijfs-situatie werd een simulatietool ontwikkeld waarmee landbouw(st)ers de berekening kunnen maken voor zijn/haar bedrijf.

Om de tool bruikbaar te maken voor zoveel mogelijk melkveebedrijven, zijn verschillende scenario's mogelijk. Belangrijke invoergegevens van de tool zijn de grootte van de veestapel, de dakoppervlakte en zoötechnische kengetallen zoals melkgift en lactatiestadium. De jaarlijkse besparingen, toegepast op de Hooibeekhoeve, variëren tussen de 1.462,67 en 3.108,70 euro. De jaarlijkse besparing van 1.462,67 euro stemt overeen met het scenario dat een opslag moet aangelegd worden en een installatie moet aangekocht worden. Indien het bedrijf reeds beschikt over een opslag en ontsmettingsinstallatie bedraagt de jaarlijkse besparing 3.108,70 euro. De recuperatie van regenwater tot drinkwater is dus economisch rendabel.

Abstract

Flemish dairy farming is a growing industry and has therefore a growing demand for water. The need for water in dairy farming represents about 15% of the total water use in Flemish agriculture and horticulture. Flemish dairy farming uses primarily groundwater as a source of water, followed by tap water, rainwater and surface water. However, due to inefficient water use, the ground water sources are scarce in Flanders. The search for alternative water sources is becoming more and more important. In this context, the recuperation of rainwater has an important role.

Rainwater is often popularly defined as free water. This is however not the case. A dairy farm has a continuous need for water while the amount of rainfall can vary drastically and does not occur on a daily basis. The only solution to cover the needs for water on a long term basis is the storage of rainwater.

The conversion of rainwater into drinking water is an interesting alternative if the water can be used without risks and if it's economically viable. Strict quality standards and guide values are set for drinking water. Health problems or other side effects can occur if the quality does not fulfill with the threshold limits. These two conditions are the basis of this research.

Water quality is assessed based on three criteria. The first criterion is the organoleptic water quality. This criterion includes the external characteristics such as odor, color, taste and purity. The second criterion is the chemical quality such as presence of chemical constituents, heavy metals and fertilizers. The third criterion is the biological water quality. This criterion includes the pathological micro-organisms. Depending on which criteria do not meet the standards, a cleaning and/or disinfecting method is necessary.

The results of water analysis have shown that the organoleptic and chemical quality of rainwater meets the standards and guide values. However, the biological water quality often exceeds the guide values and is also highly variable. Unwanted micro-organisms often originate from feces from birds, mammals and rodents that have access to the rainwater storage. But also carcasses of birds or rodents can impose a danger. To improve the biological water quality, a disinfection installation is needed. The trial farm uses electrochemical activation water treatment. This installation has a favorable effect on the number of germs, the total number of coliforms, *Escherichia coli* and enterococci. The effect on sulfite reducing coliforms and *Clostridium perfringens* however is inferior.

To check the economic profitability, accurate models are needed for the prediction of drinking water intake. The drinking behavior of dairy cattle and young cattle was also observed. The calves up to 5 months have an average daily water intake of 21,2 liter. The young cattle are categorized based on the age. Young cattle up to 1 year of age have a daily water intake of 35,2 liter. Young cattle up to 2 years of age have a daily water intake of 49,6 liter. For dry cows, a daily water consumption of 76,4 liter is expected. Lactating cows drink on average 98,3 liter per day.

Based on the water quality, rainwater can be used as drinking water after disinfection. However, the water need will be higher than the amount of water that can be collected from the roof of the stables. The use of rainwater will therefore only be able to cover part of the drinking water requirement. The water bill will therefore be lowered. However, the recuperation into drinking water has also disadvantages. Water analyzes and controls are extremely important due to the varying water quality. These checks and water analyzes entail additional costs, but the biggest cost is the water treatment itself. The purchase of the installation but also the maintenance and consumption come on top of the storage costs. Moreover, the water requirement is not fully met by rainwater collection and the farm will be dependent of different water sources. Despite the advantages, the use of rainwater as drinking water loses its attractiveness.

A calculation tool is designed to regain that attractiveness. By filling in the simulation tool with farm specific data, the farmers are stimulated to recuperate rainwater, into drinking water or non-potable water. The results of the tool are extremely interesting. At the 'Hooibeekhoeve', the annual savings vary between 1.462,67 and 3.108,70 euro. The conversion of rainwater, taking into account the costs, is economically viable.

Keywords: dairy farm, disinfection, rainwater, water intake, waterquality

Publiceerbaar artikel

Regenwater als drinkwater op een melkveebedrijf

De Vlaamse melkveebedrijven worden steeds groter. Het aantal melkveebedrijven daalt, maar het aantal melkkoeien per bedrijf stijgt. Minder bedrijven zorgen voor een toegenomen productie. Die stijgende productie vertegenwoordigt een grote vraag naar water. Een vraag naar iets wat in Vlaanderen beperkt beschikbaar is.

Het waterverbruik in Vlaanderen is voornamelijk afhankelijk van oppervlakte- en grondwater. Door het onzorgvuldig gebruik van grondwater, zijn de grondwatervorraden in Vlaanderen erg klein. Het verbruik is op vele plaatsen groter dan de aanvulling daardoor zullen sommige grondwaterlagen opdrogen. De nood naar alternatieve waterbronnen en een zorgvuldig waterverbruik is hoog. Daarin speelt de recuperatie van regenwater een belangrijke rol.

Waterbehoefte in de melkveesector

De waterbehoefte in de Vlaamse melkveesector is hoog. Het vertegenwoordigt ongeveer 15% van het totale watergebruik in de Vlaamse land- en tuinbouw. Naast de behoefte aan drinkwater, heeft de melkveesector ook nood aan water voor reiniging en ontsmetting, koeling van melk, irrigatie van de landbouwgewassen enzovoort. De melkveehouderij gebruikt hoofdzakelijk grondwater als waterbron, gevolgd door respectievelijk leiding-, regen- en oppervlaktewater. De meeste landbouwbedrijven zijn grootverbruikers en verbruiken dus meer dan 500 m³ water per jaar. Ze zijn verplicht om jaarlijks een wateraangifte in te dienen. Op basis van die wateraangifte worden twee heffingen berekend. De eerste heffing is de heffing op de winning van grondwater. De tweede heffing is de heffing op waterverontreiniging. Het gebruik van water gaat gepaard met de productie van afvalwater. De heffing op waterverontreiniging is van kracht zodat de vervuiler betaald. De kosten die

gepaard gaan met het verbruik van water kunnen dus sterk oplopen.

Het hoofddoel van de melkveesector is zoveel mogelijk melk produceren aan een zo laag mogelijke productiekost op een duurzame manier met aandacht voor de omgeving en welzijn van zowel mens als dier. Water is eveneens een voedingsstof en mag dus niet over het hoofd gezien worden. Echter wordt tot op heden de waterinname van melkkoeien nog steeds te weinig beschouwd als beperkende factor voor de melkproductie.

Drinkwaterkwaliteit

Naast de kwantiteit, wordt de hoeveelheid waterinname sterk beïnvloed door de waterkwaliteit. Drinkwater heeft strenge normen en richtwaarden. Als het water niet voldoet aan de grenswaarden kan het gezondheidsproblemen of andere neveneffecten veroorzaken. De kwaliteit wordt beoordeeld op basis van drie criteria. Het eerste criterium is de organoleptische waterkwaliteit. Dat criterium houdt de uiterlijke kenmerken zoals geur, kleur, smaak en helderheid in. Het tweede criterium is de chemische kwaliteit zoals chemische bestanddelen, pesticiden en zware metalen. Het laatste criterium is de biologische waterkwaliteit. Tot dat criterium behoren de pathogene micro-organismen.

Regenwaterrecuperatie

De recuperatie van regenwater tot drinkwater is pas interessant als het geconsumeerd kan worden zonder risico's en economisch rendabel is. Die twee voorwaar-

den werden onderzocht op de Hooibeekhoeve te Geel.

Een melkveebedrijf heeft een continue behoefte aan water terwijl de hoeveelheid regenval sterk kan variëren en geen dagelijks gegeven is. De enige oplossing om zo lang mogelijk aan de waterbehoefte te kunnen beantwoorden, is het opslagen van regenwater. Door het regenwater in de opslagput te analyseren, kunnen uitspraken gedaan worden over de waterkwaliteit. Indien de waterkwaliteit niet voldoet aan de normen en richtwaarden, is een waterbehandeling noodzakelijk. Afhankelijk van welke criteria niet voldoen, is een reinigings- en/of ontsmettingsmethode nodig. De Hooibeekhoeve beschikt over een ontsmettingsinstallatie gebaseerd op elektrochemische activering (ECA). Eveneens wordt het water na ontsmetting geanalyseerd om uitspraken te doen over de effectiviteit van het ECA-toestel.

Naast de grootte van de dakoppervlakte bepalen helling, oriëntatie en dakbedekking de hoeveelheid regenwater dat opgevangen kan worden. Hellende daken zijn georiënteerd naar een bepaalde richting. Bij regenweer is in Vlaanderen de hoofdwindrichting West tot Zuid-West. Een oriëntatie naar die hoofdwindrichting zorgt voor een maximale opvang. De helling en dakbedekking hebben een invloed op de hoeveelheid regenwater dat verloren gaat via verdamping. Daarna wordt de jaarlijkse hoeveelheid opgevangen regenwater afgetoetst met de jaarlijkse drinkwaterbehoefte.

Resultaten

De organoleptische en chemische waterkwaliteit in een regenwaterput vormen geen probleem en voldoen aan de normen en richtwaarden. De biologische waterkwaliteit overschrijdt vaak de grenswaarden en is enorm variabel. Daarom is een ECA-toestel aanwezig op de Hooibeekhoeve. De ontsmettingsmethode zorgt

voor een significante reductie van het aantal kiemen, totale coliformen, *Escherichia coli* en enterococci. Het ECA-toestel zorgt voor een zwak significante reductie van sulfietreducerende clostridia. Voor *Clostridium perfringens* vindt geen significante verbetering plaats.

De richtwaarden voor het aantal kiemen, totale coliformen en *E. coli* worden niet overschreden. Voor 72% van de analyses is waterkwaliteit na ontsmetting voor enterococci in orde. Voor clostridium wordt in 71% van de analyses de richtwaarden niet overschreden. Voor sulfietreducerende clostridia is de kwaliteit in 32% van de analyses aanvaardbaar.

De totale dakoppervlakte van de melkveestal en de jongveestal samen (Hooibeekhoeve) bedraagt 3841,13 m². Rekening houdend met de helling, oriëntatie en dakbedekking bedraagt de totale oppervlakte nog 3.657,13 m².

De gemiddelde hoeveelheid jaarlijkse neerslag, op basis van de laatste acht jaar, bedraagt 724,1 liter per vierkante meter. Dat betekent dat op jaarbasis 2.648 m³ regenwater wordt opgevangen.

Om de dagelijkse waterbehoefte te kennen, wordt het drinkgedrag van de lacterende koeien en jongvee eveneens geobserveerd. De resultaten van de drinkwaterbehoefte worden weergegeven in onderstaande tabel.

Dagelijkse waterbehoefte voor kalveren, jongvee en melkvee (Hooibeekhoeve)

	Aantal	Waterinname (liter/dier/dag)	Totaal (liter/dag)
Kalveren	11	21,2	233,2
Jongvee tot 1 jaar	24	35,2	844,8
Jongvee tot 2 jaar	30	49,6	1488,0
Droogstaande koeien	7	76,4	534,8
Lacterende koeien	77	98,3	7569,1

De totale dagelijkse waterbehoefte op de Hooibeekhoeve bedraagt 10,7 m³. Op jaarbasis bedraagt dat 3.905,5 m³.

Discussie

Doordat het regenwater rechtstreeks van het dakoppervlak verzameld wordt, vormt de organoleptische en chemische waterkwaliteit geen probleem. De microbiële kwaliteit van het opgeslagen regenwater is sterk variërend. Ongewenste micro-organismen zijn vaak afkomstig van uitwerpselen van vogels, zoogdieren en knaagdieren die toegang hebben tot het stroomgebied of de opslagput. Een voorbeeld daarvan is *Escherichia coli*. Maar ook kadavers van vogels of knaagdieren kunnen een gevaar vormen bijvoorbeeld als deze besmet zijn met *Clostridium botulinum*. Bovendien is het stilstaand water in de opslagput een ideale leefomgeving voor bacteriën.

Om risico's tot besmetting met dergelijke pathogenen te reduceren, is een ontsmettingsmethode noodzakelijk alvorens regenwater gebruikt kan worden als drinkwater. Een ontsmettingsinstallatie zorgt voor extra kosten, namelijk aankoop, onderhoud en verbruik. Het ECA-toestel op de Hooibeekhoeve heeft voor verschillende parameters een effectieve werking. Maar het effect op sulfietreducerende clostridia en *Clostridium perfringens* is minder gunstig.

De jaarlijkse waterbehoefte (3.905,5 m³) op de Hooibeekhoeve is groter dan jaarlijkse hoeveelheid opgevangen regenwater (2.648 m³). Er is dus een tekort van 1.257,5 m³. Het tekort aan regenwater moet worden opgevangen door een andere waterbron.

Conclusie

Regenwater kan gebruikt worden als drinkwater voor melkvee. Maar het gebruik van regenwater heeft voor- en nadelen. Een deel van de waterbehoefte van het melkveebedrijf kan vervuld worden door regenwater. Bijgevolg heeft het als voordeel dat de waterrekening zal dalen.

Maar het gebruik kent ook grote nadelen. Zo wordt de volledige waterbehoefte van een doorsnee melkveebedrijf niet vervuld waardoor het bedrijf afhankelijk is van meerdere waterbronnen. Door de variërende kwaliteit zijn regelmatige controles en wateranalyses noodzakelijk. Die controles en wateranalyses brengen een extra kost met zich mee maar de grootste kost is echter de waterbehandeling. De aankoop van de ontsmettingsinstallatie en de onderhouds- en verbruikskosten komen bovenop de kosten van opslag. Ondanks het voordeel, verliest de toepassing van regenwater als drinkbaar water zijn aantrekkelijkheid.

Om die aantrekkelijkheid terug te winnen, wordt een berekeningstool ontworpen. Door de simulatietool met bedrijfseigen gegevens in te vullen, worden landbouw(st)ers op basis van cijfers gestimuleerd om regenwater te recupereren al dan niet tot drinkwater. De tool vindt u op: www.hooibeekhoeve.be.



INHOUD

Voorwoord	i
Samenvatting	ii
Abstract	iii
Publiceerbaar artikel	v
Lijst met afkortingen	xi
Lijst met figuren	xii
Lijst met tabellen	xiii
Inleiding	1
1 Literatuurstudie	2
1.1 <i>Water</i>	2
1.1.1 Belang van water in biologische systemen	2
1.1.2 Kwaliteitsnormen voor water	2
1.1.3 Bronnen van water	10
1.1.4 Recuperatie van regenwater	14
1.2 <i>Melkveehouderij in Vlaanderen</i>	15
1.2.1 Melkkoeien.....	15
1.2.2 Productie.....	16
1.3 <i>Belang van drinkbaar water in de melkveehouderij</i>	17
1.3.1 Verbruik van water in de Vlaamse melkveesector	17
1.3.2 Drinkwaterverbruik	18
1.4 <i>Technieken voor het zuiveren en ontsmetten van water</i>	22
1.4.1 Verwijderen van zwevende deeltjes	22
1.4.2 Ontijzeren	24
1.4.3 Elektrische geleidbaarheid (EC)	27
1.4.4 Desinfectie	27
2 Probleemstelling, onderzoeksvragen en doelen	34
3 Materiaal en methode	35
3.1 <i>Onderzoek</i>	35
3.1.1 Bedrijfsinformatie	35
3.1.2 Stalindeling	35
3.1.3 Drinkwaterbeschikbaarheid	39

3.1.4	Parameters	40
3.1.5	Regenwaterrecuperatie	42
3.1.6	Regenwaterbehandeling	42
3.1.7	Totstandkoming simulatietool	42
3.2	<i>Statistische analyses</i>	43
3.2.1	Waterkwaliteit	43
3.2.2	Lacterende koeien	43
3.2.3	Droogstaande koeien	44
3.2.4	Jongvee	44
4	Resultaten	46
4.1	<i>Waterkwaliteit</i>	46
4.2	<i>Waterinname</i>	47
4.2.1	Lacterende koeien	47
4.2.2	Droogstaande koeien	51
4.2.3	Jongvee	53
4.3	<i>Regenwaterrecuperatie</i>	56
4.4	<i>Simulatietool</i>	59
5	Discussie	61
5.1	<i>Waterkwaliteit</i>	61
5.2	<i>Waterinname</i>	62
5.2.1	Lacterende koeien	62
5.2.2	Droogstaande koeien	65
5.2.3	Jongvee	67
5.3	<i>Regenwaterrecuperatie</i>	69
5.4	<i>Simulatietool</i>	69
	Conclusie	71
	Referenties	73
	Bijlagen	83

Lijst met afkortingen

AES	atomaire emissiespectrometrie
BELAC	Belgische accreditatie-instelling
btw	belasting toegevoegde waarde
<i>C. botulinum</i>	<i>Clostridium botulinum</i>
<i>C. perfringens</i>	<i>Clostridium perfringens</i>
CCN	cerebrocorticale necrose
DIM	days in milk
DNA	desoxyribonucleïnezuur
<i>E. coli</i>	<i>Escherichia coli</i>
EC	elektrische geleidbaarheid
ECA	elektrochemische activering
EDTA	ethyleendiaminetetra-azijnzuur
EPS	extracellular polymeric substances
GLB	gemeenschappelijk landbouwbeleid
ICP	inductief gekoppeld plasma
ISO	International Organization for Standardization
kve	kolonievormende eenheden
NOM	natuurlijk organisch materiaal
PIH	Provinciaal Instituut voor Hygiëne
RMSE	root mean squared error
RNA	ribonucleïnezuur
RV	relatieve luchtvochtigheid
SD	standaardafwijking
SODIS	solar water disinfection
SS _E	som of squared errors
THI	temperature and humidity index
TTC	2,3,5-trifenylnitroazolium chloride
UV	ultraviolet
VE	vervuilingseenheden
VLAREL	Vlaams reglement inzake erkenningen met betrekking tot het leefmilieu

Lijst met figuren

Figuur 1-1 Natuurlijke waterkringloop	2
Figuur 1-2 Biofilm in een waterleiding.....	10
Figuur 1-3 Verdeling van de watermaatschappijen in Vlaanderen	11
Figuur 1-4 Regenwaterdimensioneringsgrafiek	13
Figuur 1-5 Evolutie van het aantal melkkoeien in Vlaanderen.....	16
Figuur 1-6 Evolutie van het aantal melkveebedrijven en het gemiddelde aantal melkkoeien per bedrijf in Vlaanderen	16
Figuur 1-7 Evolutie van de melkleveringen en het aantal melkleveraars in Vlaanderen	17
Figuur 1-8 Waterverbruik op gespecialiseerde melkveebedrijven	18
Figuur 1-9 Werking micro-, ultra-, nanofiltratie en omgekeerde osmose	27
Figuur 1-10 Schematisch overzicht van de werking van een ECA-toestel.....	29
Figuur 1-11 Verschillende werkingsmethode van Zilver.....	32
Figuur 3-1 Indeling van de melkveestal, Hooibeekhoeve.....	37
Figuur 3-2 Indeling van de jongveestal, Hooibeekhoeve.....	38
Figuur 4-1 Waterinname in functie van de tijd (lacterende koeien)	46
Figuur 4-2 Gemiddelde waterinname ± 2 keer de standaardfout (lacterende koeien)	46
Figuur 4-3 Voorspelde waterinname in functie van werkelijke waterinname, model met gemiddelde temperatuur (lacterende koeien)	48
Figuur 4-4 Voorspelde waterinname in functie van werkelijke waterinname, model met minimum temperatuur (lacterende koeien).....	48
Figuur 4-5 Boxplot van het waterverbruik (droogstaande koeien)	50
Figuur 4-6 Waterverbruik in functie van de meetdag (droogstaande koeien)	50
Figuur 4-7 Voorspelde waterinname in functie van de werkelijke waterinname, model van dataset 1 met minimum temperatuur (droogstaande koeien).....	52
Figuur 4-8 Voorspelde waterinname in functie van de werkelijke waterinname, model van dataset 3 (droogstaande koeien)	52
Figuur 4-9 Waterinname in functie van de tijd (jongvee)	53
Figuur 4-10 Gemiddelde waterinname ± 2 keer de standaardfout (jongvee).....	53
Figuur 4-11 Waterinname in functie van de leeftijd (jongvee)	53
Figuur 4-12 Waterinname in functie van het gewicht (jongvee).....	53
Figuur 4-13 Voorspelde waterinname in functie van de werkelijke waterinname (jongvee)...	54
Figuur 4-14 Extrapolatie van de hellingcoëfficiënt.....	56
Figuur 4-15 Regenwaterdimensioneringsgrafiek, toegepast op de Hooibeekhoeve.....	57

Lijst met tabellen

Tabel 1-1 Indeling van de totale hardheid van water	4
Tabel 1-2 Heffing exclusief 21% BTW	12
Tabel 1-3 Hellingcoëfficiënt voor de correctie van regenwateropvang op schuine daken.....	14
Tabel 1-4 Dakbedekkingcoëfficiënt voor de correctie van regenwateropvang.....	14
Tabel 3-1 Drinkwatergelegenheden bestaande stalgedeelte, melkveestal Hooibeekhoeve ..	39
Tabel 3-2 Drinkwatergelegenheden nieuwe stalgedeelte, melkveestal Hooibeekhoeve.....	39
Tabel 3-3 Drinkwatergelegenheden jongveestal, Hooibeekhoeve	39
Tabel 3-4 Berekening dakoppervlakte van de jongvee- en melkveestal, Hooibeekhoeve	42
Tabel 4-1 Resultaten van de bacteriologische waterkwaliteit na statistische analyse	46
Tabel 4-2 Onderzoek naar de verschillen in parameters in de melkveestal	48
Tabel 4-3 Het volledige model van lineaire regressie voor beide groepen in de melkveestal	49
Tabel 4-4 De correlatiecoëfficiënten tussen koegebonden parameters met aanduiding van het significantieniveau	50
Tabel 4-5 Correlatiecoëfficiënten tussen omgevingsparameters met aanduiding van het significantieniveau	51
Tabel 4-6 Gemiddelde gewicht, leeftijd en waterinname per kring	53
Tabel 4-7 De correlatiecoëfficiënten met aanduiding van het significantieniveau	56
Tabel 4-8 Berekening van de totale dakoppervlakte rekening houdend met dakbedekking- en hellingcoëfficiënt.....	57
Tabel 4-9 Dagelijkse drinkwaterbehoefte op de Hooibeekhoeve	59

INLEIDING

Alle sectoren en levende organismen hebben een behoefte aan water. In Vlaanderen wordt die vraag naar water voornamelijk beantwoord door het gebruik van grond- en oppervlaktewater (Departement Landbouw & Visserij, 2014c). Echter elke bron is uitputbaar. Daardoor is de zoektocht naar alternatieve waterbronnen en een zuinig waterverbruik de enige oplossing om de gevraagde waterkwantiteit en –kwaliteit te kunnen blijven garanderen. Bovendien wordt Vlaanderen door het onzorgvuldig waterverbruik tot op heden gedefinieerd als een regio met een ernstig watertekort (Departement Landbouw & Visserij, 2014b).

Naast de kwantiteit is de waterkwaliteit een enorm belangrijk begrip. Die kwaliteit wordt beoordeeld op basis van drie criteria. Het eerste criterium is de organoleptische kwaliteit zoals helderheid, smaak, kleur en geur. Het tweede criterium is de chemische kwaliteit en houdt pH, hardheid, chemische bestanddelen,... in. Het laatste criterium, en misschien wel het meest belangrijkste criterium, is de biologische kwaliteit. De aanwezigheid of de overschrijding van de normen van pathogene micro-organismen kunnen gezondheidsproblemen of andere ongewenste neveneffecten met zich meebrengen (van Leeuwen, 2000; Ryckaert *et al*, 2008). Een afwijkende kwaliteit kan worden verbeterd door verschillende installaties of chemische middelen. Echter heeft elke methode van reiniging of ontsmetting zowel voor- als nadelen. Eveneens zijn vaak combinaties van verschillende methoden noodzakelijk (Jacobsen, 2004).

In het eerste hoofdstuk van de literatuurstudie wordt kennis gemaakt met water en de verschillende waterbronnen. De nadruk van dat hoofdstuk ligt op de waterkwaliteit waarbij de normen en richtwaarden zijn gebaseerd op drinkbaar water voor melkvee. De evolutie en de huidige toestand van de Vlaamse melkveesector komt kort aanbod in het tweede hoofdstuk. In het derde hoofdstuk wordt dieper ingegaan op het drinkwaterverbruik door de melkveesector. De verschillende reinigings- en ontsmettingsmethoden met hun toepassing worden besproken in het laatste hoofdstuk van de literatuurstudie. Na de literatuurstudie volgen de hoofdstukken bijhorend aan het onderzoek.

Op de meeste landbouwbedrijven kent regenwater een toepassing als reinigingswater. Regenwater recupereren tot drinkwater is een interessant alternatief als het geconsumeerd kan worden zonder risico's en economisch rendabel is. De recuperatie tot drinkwater vraagt dus naar meer onderzoek.

De beoordeling van de kwaliteit en de effectiviteit van een eventuele waterbehandeling gebeurt op basis van wateranalyses. De waterstalen worden genomen in de regenwateropslagput en aftappunten in de melkvee- en jongveestal.

Om de economische rendabiliteit na te gaan, is het belangrijk om de dagelijkse waterinname van melkvee en jongvee te voorspellen aan de hand van parameters. Op basis van de dagelijkse waterinname kan de jaarlijkse waterbehoefte worden berekend. Door de jaarlijkse drinkwaterbehoefte af te toetsen met de hoeveelheid jaarlijks opgevangen regenwater en rekening te houden met opslag- en waterbehandelingskosten, kunnen de besparingen/kosten op jaarbasis worden berekend. Omdat de besparingen/kosten sterk afhankelijk zijn van de bedrijfssituatie wordt een tool ontwikkeld. Door de tool met bedrijfseigen gegevens in te vullen, worden landbouw(st)ers op basis van cijfers gestimuleerd om regenwater te recupereren.

1 LITERATUURSTUDIE

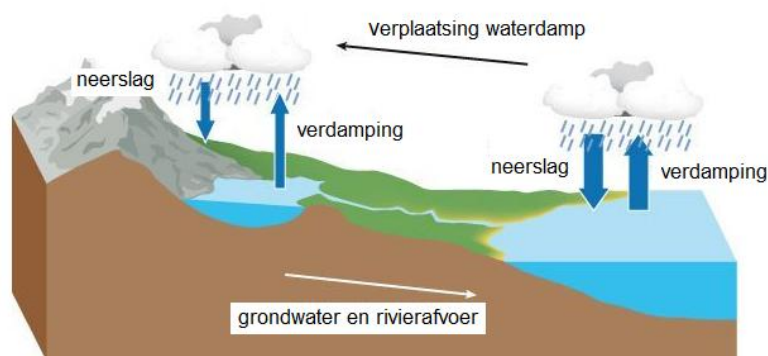
1.1 Water

Water heeft in de natuur een tweeledig karakter. Het is essentieel voor het leven op aarde maar brengt echter ook problemen zoals overstromingen met zich mee. De functie van water is sterk afhankelijk van zijn toepassing. Aan de hand van die toepassing worden de kwaliteitseisen bepaald. Water dat dient voor consumptie zal daarom moeten voldoen aan verschillende normen of richtwaarden.

1.1.1 Belang van water in biologische systemen

De waterkringloop is de belangrijkste factor in de evolutie van wateromgevingen en ecosystemen. Echter wordt die waterkringloop de laatste jaren sterk gemanipuleerd door de klimaatveranderingen en toenemende menselijke activiteiten (Zhang *et al.*, 2017). Het resultaat daarvan uit zich in een geleidelijke overgang van een natuurlijk naar een natuurlijk- sociale waterkringloop, met andere woorden een weerspiegeling van zowel de natuur als de samenleving (Lu *et al.*, 2016a; Zhang *et al.*, 2017).

De natuurlijke waterkringloop is de transformatie van water van het aardoppervlak naar de atmosfeer en vervolgens terug naar het aardoppervlak. Figuur 1-1 toont de natuurlijke waterkringloop. Het bestaat uit verschillende componenten namelijk verdamping, neerslag, bodemvocht, rivierafvoer en grondwater (Feng *et al.*, 2017). Aan elk subproces moet voldoende aandacht worden geschonken om een gezonde waterkringloop te handhaven (Lu *et al.*, 2016a).



Figuur 1-1 Natuurlijke waterkringloop (Feng *et al.*, 2017)

De sociale waterkringloop houdt menselijke handelingen zoals consumptie, drainage en hergebruik in (Dirmeyer *et al.*, 2016; Lu *et al.*, 2016a). Bij een gezonde waterkringloop wordt de natuurlijke cyclus niet verstoord door de sociale waterkringloop (Zhang *et al.*, 2017).

1.1.2 Kwaliteitsnormen voor water

De verschillende bronnen van waterverontreiniging worden opgedeeld in twee groepen. Tot de eerste groep behoren de verontreinigingen van de waterbron veroorzaakt door zowel natuurlijke als menselijke activiteiten. Die natuurlijke verontreinigingen houden minerale afzet-

ting en verwerking in. Voorbeelden van menselijke verontreinigingen zijn uitspoeling door landbouwactiviteiten, gecontroleerde afvalwaterlozingen en ongecontroleerde lozingen zoals lekkage en ongevallen met al dan niet chemische stoffen. De tweede groep bestaat uit verontreinigingen veroorzaakt tijdens de waterbehandeling en distributie (van Leeuwen, 2000).

Voor drinkwater, onafhankelijk van de waterbron, zijn de verontreinigingen sterk begrensd. Drinkwater moet veilig en zonder risico kunnen worden geconsumeerd. Om die veiligheid te kunnen garanderen, worden normen en richtwaarden opgesteld die de maximale toelaatbare concentratie van een bestanddeel bepaalt. Zolang die maximale toelaatbare concentratie niet wordt bereikt, treden er geen significante gezondheidsrisico's op (van Leeuwen, 2000).

De beoordeling van waterkwaliteit gebeurt op basis van drie criteria namelijk organoleptisch, scheikundig en biologisch (Ryckaert *et al.*, 2008). De selectie van de hieronder vermelde parameters wordt gemaakt op basis van de wateranalyses uitgevoerd door het Provinciaal Instituut voor Hygiëne (PIH). Het beschikt over een BELAC-accreditatie en een VLAREL-erkenning voor het nemen van watermonsters en voor het analyseren (Provincie Antwerpen, 2019b).

1.1.2.1 Organoleptische kwaliteit

Onder het criterium van organoleptische waterkwaliteit vallen de uiterlijke kenmerken zoals geur, kleur en helderheid (Ryckaert *et al.*, 2008). Elke gebruiker maakt, door middel van de zintuigen, hierop een snelle kwaliteitsbeoordeling (Dietrich & Burlingame, 2015).

Geur

Kwaliteitsvol water heeft geen geur. Het water mag dus ook geen chloorgeur, afkomstig van desinfectie, bevatten (Dierengezondheidszorg Vlaanderen, 2018). Algen, een voorkomend probleem bij oppervlaktewater, geven het water een onaangename geur (Whitehead & Hornberger, 1984). De aanwezigheid van sulfide resulteert in een rottende geur vergelijkbaar met de geur van rotte eieren (Dierengezondheidszorg Vlaanderen, 2018).

Kleur

Het streefdoel bij kwalitatief goed drinkwater is kleurloos (Ryckaert *et al.*, 2008; Dierengezondheidszorg Vlaanderen, 2018). Echter zorgen verschillende bestanddelen voor een afwijkende kleur. De aanwezigheid van algen geeft naast een onaangename geur ook een groene kleur aan het oppervlaktewater (Whitehead & Hornberger, 1984). De aanwezigheid van opgelost ijzer geeft aan het water een roodbruine kleur (Chatuverdi & Dave, 2012). Een zwarte kleur wijst op de aanwezigheid van mangaan (Mamchenko & Chernova, 2013).

Helderheid

De helderheid van het water wordt bepaald door de aanwezigheid van opgeloste deeltjes. Een andere term, die wordt bepaald door de aanwezigheid van opgeloste deeltjes, is de troebelheid. Troebelheid wordt gedefinieerd als de mate van verstrooiing en absorptie van licht door opgeloste stoffen in het water (Watertool, 2011). Maar ook inmenging van zand, leem en klei zorgen voor een troebele oplossing (Ryckaert *et al.*, 2008). Voor kwaliteitsvol water wordt gestreefd naar helder water (Dierengezondheidszorg Vlaanderen, 2018).

1.1.2.2 Scheikundige kwaliteit

De scheikundige of chemische kwaliteit van water houden de gehalten van chemische stoffen in. Eveneens wordt de aanwezigheid van toxische stoffen zoals zware metalen en pesticiden tot dat criterium beoordeeld (Ryckaert *et al.*, 2008).

pH

De pH of zuurtegraad wordt gedefinieerd als het negatieve logaritme van de concentratie waterstofionen (Behnood *et al.*, 2016). De pH van kwaliteitsvol water is neutraal, wat overeenstemt met een pH-waarde van 7 (Ryckaert *et al.*, 2008; Dierengezondheidszorg Vlaanderen, 2018). Drinkwater met een pH tussen 6 en 9 is geschikt voor runderen (Beede, 2008). Dierengezondheidszorg Vlaanderen (2018) heeft als norm een pH tussen de 5,5 en 8,5. Zuur water met een pH lager dan 5,5 veroorzaakt chronische pensacidose (Dierengezondheidszorg Vlaanderen, 2018; Adams & Sharpe, 2014). Die pensacidose veroorzaakt een verlaagde voederopname, een vertraagd groeipatroon en een verminderde melkgift met bovendien een lager vetgehalte. Koeien met chronische acidose krijgen ook meer te kampen met infectieuze en metabole problemen (Adams & Sharpe, 2014).

Het meten van de pH gebeurt op basis van potentiometrie met behulp van een pH-meter. De meter bevat twee elektroden waarvan één elektrode wordt ondergedompeld in een referentievloeistof en de andere in de te meten vloeistof. De meting is gebaseerd op het potentiaalverschil tussen de elektroden (Wockenfus *et al.*, 2013).

Hardheid – calcium – magnesium

De concentraties van calcium en magnesium zijn groter dan alle andere ionen waardoor de hardheid kan worden gelijkgesteld aan de som van calcium- en magnesiumconcentraties (Lerga & O'Sullivan, 2008; Watertool, 2011; AquaFlandres, 2017). Er bestaan drie verschillende soorten hardheid. Onder tijdelijke hardheid vallen de calcium- en magnesiumverbindingen die neerslaan bij het koken van water. De neergeslagen stoffen zijn calcium- en magnesiumcarbonaat. De blijvende hardheid zijn de calcium- en magnesiumverbindingen die na het koken nog aanwezig zijn. Het zijn de calcium- en magnesiumzouten. Bij de bespreking van de hardheid van water gaat het over de totale hardheid. Die hardheid is het geheel van tijdelijke en blijvende hardheid samen (Watertool, 2011). De hardheid wordt uitgedrukt in Franse (°F) of Duitse graden (°D). Eén Franse graad stemt overeen met 0,56 Duitse graad (AquaFlandres, 2017).

Op basis van de totale hardheid kan water worden opgedeeld in vijf categorieën van zeer zacht tot en met zeer hard water. Tabel 1-1 toont de indeling van de totale hardheid van water.

Tabel 1-1 Indeling van de totale hardheid van water, uitgedrukt in Franse en Duitse graden (AquaFlandres, 2017)

	Franse graden (°F)	Duitse graden (°D)
Zeer zacht	0 – 7	0 – 4
Zacht	7 – 15	4 – 8
Middelhard	15 – 30	8 – 17
Hard	30 – 45	17 – 25
Zeer hard	> 45	> 25

Eén Franse graad stemt overeen met 4 mg/l calcium of 10 mg/l calciumcarbonaat. Uitgedrukt met magnesium, komt één Franse graad overeen met 2,4 mg/l magnesium of 4 mg/l magnesiumoxide. Eén Duitse graad wordt uitgedrukt met calciumoxide namelijk één Duitse graad is gelijk aan 10 mg/l calciumoxide (AquaFlandres, 2017).

De hardheid van het water beïnvloedt de smaak. Hard water is smakelijker dan zacht water (Dierengezondheidszorg Vlaanderen, 2018). Calcium en magnesium zijn niet schadelijk voor het milieu en veroorzaken geen gezondheidsrisico's voor mens en dier (Veríssimo *et al.*, 2007; Watertool, 2011; Dierengezondheidszorg Vlaanderen, 2018). De richtwaarden voor de totale hardheid, calcium en magnesium zijn respectievelijk kleiner of gelijk aan 20°D, 270 mg/l en 50 mg/l (Dierengezondheidszorg Vlaanderen, 2018). Die richtwaarden zijn om ongewenste neveneffecten zoals verstopte leidingen te vermijden (Veríssimo *et al.*, 2007; Lerga & O'Sullivan, 2008).

De concentratie van calcium en magnesium worden bepaald door ICP-AES. ICP staat voor inductief gekoppeld plasma. AES staat voor atomaire emissiespectrometrie. Bij die methode wordt het watermonster verstoven en naar een inductief gekoppeld plasma geleid. Het plasma is argon. Calcium en magnesium worden door de toegevoegde thermische energie in geëxciteerde toestand gebracht. Het terugvallen naar grondtoestand zorgt voor het uitzenden van lichtfotonen. De golflengten van die lichtfotonen worden gemeten met een atomaire emissiespectrometer en zijn karakteristiek voor het element. Via de intensiteit kan de concentratie bepaald worden. De emissielijn van calcium is 315,887; 317,933 en 393,366 nm. De emissielijn van magnesium is 279,079; 279,553 en 285,213 (Emis, 2006). Uit de concentratie van calcium en magnesium kan de totale hardheid berekend worden (Emis, 2011). Formule 1-1 geeft de berekeningsmethode weer.

$$\text{Hardheid (mg CaCO}_3\text{/L)} = 2,497 * \text{mg Ca/l} + 4,118 * \text{mg Mg/l} \quad (1-1)$$

Geleidbaarheid – natrium – chloriden

Geleidbaarheid hangt af van het zoutgehalte (Watertool, 2011). Bij een zoutintoxicatie is het de hoeveelheid natrium die voor problemen zorgt (Dierengezondheidszorg Vlaanderen, 2018). Van nature komt natrium in het water terecht via bodem en gesteentes. Een onthardingsinstallatie, die werkt met natriumchloride, zorgt voor een verhoogde natriumconcentratie. Calcium- en magnesium zijn ionen met twee elektronen op de buitenste schil. Natrium bevat slechts één elektron op de buitenste schil. Telkens zijn twee natriumionen noodzakelijk voor het verwijderen van één calcium- of magnesiumion. Bij het onthardingsproces zal de concentratie van natrium dus sterk stijgen (Watertool, 2011). Een geleidbaarheid van 2100 $\mu\text{S/cm}$ bij een temperatuur van 25 °C, een natriumconcentratie kleiner dan of gelijk aan 400 mg/l en een chloridenconcentratie kleiner dan of gelijk aan 250 mg/l zijn de richtwaarden (Dierengezondheidszorg Vlaanderen, 2018).

Een methode voor het bepalen van de geleidbaarheid is de conductiviteitsmeter. De conductiviteitsmeter bestaat uit twee elektroden waarover een spanning wordt aangelegd. Echter is het meten van elektrische geleidbaarheid gevoelig voor verontreinigingen die foutieve resultaten kunnen veroorzaken (Medrano *et al.*, 2007).

De concentratie van natrium wordt bepaald met ICP-AES. De emissielijnen zijn 589,592; 588,995 en 330,237 nm (Emis, 2006).

Ijzer – mangaan

Ijzer is een van de meest voorkomende metalen in de aardkorst en is plaatsafhankelijk (Ryckaert *et al.*, 2008; Chaturvedi & Dave, 2012; Lu & Compton, 2013). Het komt van nature in water voor in opgeloste en neergeslagen vorm. Een verhoogde aanwezigheid van ijzer in water kan ook afkomstig zijn door corrosie van ijzeren leidingen (Ryckaert *et al.*, 2008; Chaturvedi & Dave, 2012). Zoals eerder vermeld, leidt een overmatige ijzerconcentratie in het

drinkwater tot een onaangename smaak en een rode verkleuring (Ryckaert *et al.*, 2008; Chaturvedi & Dave, 2012; Dierengezondheidszorg Vlaanderen, 2018). De norm voor ijzer is minder dan 2,6 mg/l (Dierengezondheidszorg Vlaanderen, 2018).

Meestal gepaard met een overmaat aan ijzer komt mangaan voor. Door de aanwezigheid van mangaan in geoxideerde vorm is het onoplosbaar in het water. Mangaan geeft aan het water een donkere, zwarte kleur (Watertool, 2011). Eveneens voor mangaan bestaat een richtwaarde. De concentratie moet kleiner zijn dan of gelijk zijn aan 1 mg/l (Dierengezondheidszorg Vlaanderen, 2018).

Ijzer en mangaan worden geanalyseerd door middel van ICP-AES. De belangrijkste emissielijnen voor ijzer zijn 259,940; 238,200 en 239,562 nm. Mangaan heeft 257,610 en 293,306 nm als emissielijnen (Emis, 2006).

Fosfor – fosfaat

In de natuur komt fosfor voor onder de vorm van fosfaat. Verschillende gesteentes bevatten fosfaat die langzaam in kleine hoeveelheden kan oplossen (Watertool, 2011). Die natuurlijke verontreiniging van water met fosfaten zorgt zelden voor problemen en overschrijdt de richtwaarde (≤ 2 mg/l) weinig (Watertool, 2011; Dierengezondheidszorg Vlaanderen, 2018). Fosfaatmeststoffen zijn essentieel in de landbouwproductie. Maar in de natuurlijke waterwegen zorgt het voor ernstige eutrofiëring. Fosfaat kan reageren met ammonium en magnesium tot de vorming van struviet ($\text{NH}_4\text{MgPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$). Die kristallijnen neerslag veroorzaakt verstopping in filters en andere apparaten voor waterbehandeling (Luo *et al.*, 2016).

Aan de basis voor de bepaling van het gehalte ligt de reactie van orthofosfaat met ammoniummolybdaat en kaliumantimoonantarsaat in zuur milieu tot fosfor-molybdeenzuur. Toevoeging van ascorbinezuur leidt tot de reductie van fosfor-molybdeenzuur. Het resultaat van de reductie is een blauwe kleur, dat wordt waargenomen door een spectrofotometrische bepaling bij 880 nm (Emis, 2008a).

Zwavel – sulfaat – sulfide

De overheersende vorm van zwavel in water is sulfaat. De concentratie van sulfaat is afhankelijk van de zuurtegraad van het water. De sulfaatconcentratie is dus een parameter voor het bepalen van de pH van het water. Hoge sulfaatconcentraties gaan gepaard met een lage pH (Fung *et al.*, 2008).

De norm voor sulfaat in drinkwater is kleiner dan of gelijk aan 250 mg/l (Dierengezondheidszorg Vlaanderen, 2018). Hogere concentraties leiden tot verschillende gezondheidsproblemen bij koeien (Fung *et al.*, 2008; Dierengezondheidszorg Vlaanderen, 2018). Een verhoogde sulfaatopname resulteert bij verschillende diersoorten, onder andere bij koeien, in cerebrocorticale necrose (CCN) (Fung *et al.*, 2008; Dierengezondheidszorg Vlaanderen, 2018). CCN is te wijten aan een vitamine B1 deficiëntie en wordt gekenmerkt door neurologische afwijkingen en acute sterfte (Vanneste *et al.*, 2011). Ook is zwavel een antagonist van koper. Daardoor wordt de opname van koper belemmerd wat resulteert in een kopergebrek (Dierengezondheidszorg Vlaanderen, 2018).

Een hoge sulfaatconcentratie, die in contact komt met een lage zuurstofconcentratie, leidt tot de productie van sulfide. De afbraak van sulfaat tot sulfide is het resultaat van anaerobe bacteriën. Vanwege de toxiciteit van sulfide is de richtwaarde 0 mg/l. De aanwezigheid van sulfide resulteert in een rotte geur (Dierengezondheidszorg Vlaanderen, 2018).

De detectie is mogelijk nadat sulfide wordt vrijgezet. De vrijzetting is mogelijk door de toevoeging van geconcentreerd zwavelzuur en de oplossing te laten doorborrelen met stikstof-

gas . Het opgevangen sulfide wordt toegevoegd aan een natriumhydroxideoplossing met als kleurreagens dimethyl-p-phenyleendiamine. Bepaling gebeurt met een spectrofotometer bij 660 nm (Emis, 2008b).

Stikstof – ammonium – nitraat – nitriet

Stikstof kan in water voorkomen in drie vormen namelijk ammonium, nitraat en nitriet. Ammonium is een van de belangrijkste verontreinigingen in oppervlakte- en grondwater. Menselijke activiteiten zorgen voor de verhoging van ammoniumconcentraties. De intensivering van veehouderijen, voornamelijk varkens- en pluimveebedrijven, en de ammoniumhoudende meststoffen zorgen voor een verhoogde concentratie (Vu *et al.*, 2017). De richtwaarde voor ammonium is ≤ 10 mg/l (Dierengezondheidszorg Vlaanderen, 2018).

Ammonium kan worden omgezet tot nitraat. Het tussenproduct van die nitrificatie is nitriet (Aydin *et al.*, 2005; Watertool, 2011). Nitriet wordt ook gevormd tijdens de biologische afbraak van meststoffen en stikstofhoudend afvalmateriaal in water. Bijkomend worden stikstofoxiden, aanwezig in zure regen, ook omgezet tot nitriet. Nitriet is een gevaar voor de gezondheid van zowel mens als dier. Het zorgt voor de vorming van methemoglobine in het bloed. Methemoglobine is een derivaat van hemoglobine. In tegenstelling tot hemoglobine kan methemoglobine geen zuurstof binden (Aydin *et al.*, 2005). De vorming van methemoglobine resulteert dus in een zuurstofgebrek en verstikkingsverschijnselen (Watertool, 2011). Door het gezondheidsrisico, dat verbonden is aan de opname van nitriet, is de richtwaarde kleiner dan of gelijk aan 1 mg/l (Dierengezondheidszorg Vlaanderen, 2018).

Oppervlakte- en grondwater kunnen hoge concentraties nitraat bevatten afkomstig van landbouwactiviteiten zoals bemesting (Meng *et al.*, 2014). Hoge concentraties aan nitraat zijn niet schadelijk en de richtlijn is kleiner dan of gelijk aan 200 mg/l (Dierengezondheidszorg Vlaanderen, 2018). Echter bestaat de kans dat nitraat zich omzet in nitriet. Die nitrietvorming moet worden vermeden door voldoende zuurstof in water te houden en denitrificerende bacteriën af te doden (Watertool, 2011).

De bepaling van ammonium, nitraat en nitriet wordt bepaald door spectrofotometrie. Ammonium wordt bepaald door de reactie met hypochloriet ter vorming van chlooramine. Salicylaat reageert met chlooramine tot een groenkleurig complex. De intensiteit wordt gemeten bij 640 tot 660 nm (Emis, 2005a). Om nitraat te bepalen, wordt het gereduceerd tot nitriet door middel van cadmium-koperreductor. Twee analyses zijn dus noodzakelijk. Een eerste analyse zorgt voor de bepaling van nitriet. Een tweede analyse zorgt voor de bepaling van nitraat en nitriet. Het verschil van beide resultaten geeft het gehalte aan nitraat. Een kleurreagentia zorgt ervoor dat nitriet een roze kleur krijgt. Een spectrofotometer bij 540 nm meet de intensiteit (Emis, 2005b).

Fluoride

Net zoals andere parameters komt fluoride in water terecht via natuurlijke en menselijke activiteiten. Van nature komt fluoride in het water terecht door verwerking en het oplossen van fluoride houdende rotsen en bodems. De aanwezigheid van fluoride is ook te wijten aan het afvalwater afkomstig van industriële fabrieken. Dat afvalwater heeft vaak een zure pH. De combinatie van die lage pH en fluoride resulteert in waterstoffluoride wat schadelijk is voor het milieu (Shen *et al.*, 2016). Hoge concentraties fluoride zorgen voor tand- en pootproblemen bij koeien. De richtwaarde is ≤ 2 mg/l (Dierengezondheidszorg Vlaanderen, 2018).

De detectie van fluoride is gebaseerd op spectrofotometrie. Aan het monster wordt een destillatiereagens, namelijk een zwavelzuuroplossing, toegevoegd. Na destillatie zorgt de toe-

voeging van een kleurreagens voor een blauwe kleur. Het gehalte wordt bepaald bij 620 nm (Emis, 2010).

1.1.2.3 Biologische kwaliteit

Het laatste criterium voor het beoordelen van kwaliteit is de biologische kwaliteit. Tot dat criterium behoren de pathogene micro-organismen. Deze parameters vereisen dus veel aandacht.

De toxiciteit van gisten en schimmels is afhankelijk van de soort. Gisten groeien oppervlakkig maar schimmels groeien zowel op als in het medium. Sommige schimmels produceren schadelijke toxines. Schimmels en gisten hebben een hogere resistentie en een grotere pH-tolerantie dan bacteriën. De richtwaarde voor schimmels en gisten is minder dan 10.000 kolonievormende eenheden (kve) per milliliter (Dierengezondheidszorg Vlaanderen, 2018).

Bacteriepopulaties in water bestaan overheersend uit heterotrofe bacteriën. Ze zijn dominant zowel aan het oppervlak als in de oplossing. De heterotrofe bacteriën halen energie uit de afbraak van organische koolstofverbindingen. Een hoge abundantie is ten koste van de autotrofe bacteriën. Daartussen ontstaat de competitie voor plaats en zuurstof maar ook wordt de nitrificatie beïnvloed. De omzetting van ammonium naar nitraat wordt veroorzaakt door autotrofe bacteriën (Rojas-Tirado *et al.*, 2018).

Het totaal aantal kiemen geeft de hoeveelheid bacteriën weer. Vaak wordt die parameter bepaald bij verschillende temperaturen (Watertool, 2011). De richtwaarde bedraagt minder 100.000 kve/ml. De bepaling gebeurt volgens ISO 6222, door middel van de gietplaatmethode. Het monster wordt geïnoculeerd in een specifiek groeimedium. Na incubatie bij verschillende temperaturen wordt het aantal kve bepaald (Emis, 2012).

Totale coliformen - *Escherichia coli*

Coliformen zijn een brede groep van bacteriën binnen de Enterobacteriaceae die voorkomen in de bodem, uitwerpselen en rottend materiaal (Ellis *et al.*, 2018). Ze zijn een indicator voor een recente besmetting met mest (Watertool, 2011)

Escherichia coli zijn gramnegatieve, staafvormige bacteriën en komen voor in uitwerpselen. De aanwezigheid van *E. coli* in water is dus het resultaat van een recente fecale waterbesmetting. Doordat niet alle stammen van *E. coli* pathogeen zijn, wijst de aanwezigheid niet altijd op een bedreiging (Ellis *et al.*, 2018). Het nadeel van die fecale besmetting is dat pathogene *E. coli* stammen hevige diarree kunnen veroorzaken (Batabyal *et al.*, 2013).

De richtwaarde voor zowel totale coliformen als voor *E. coli* is minder dan 100 kve/ml (Dierengezondheidszorg Vlaanderen, 2018). De methode voor de bepaling staat neergeschreven in ISO 9308-1. De eerste stap voor de bepaling is membraanfiltratie. Na de filtratie vindt cultivatie bij 36°C gedurende 21 uur op een ChromoCult® Coliform Agar met een E. coli/Coliform Selectief Supplement plaats. *E. coli* brengen β -D-galactosidase en β -D-glucuronidase tot expressie. Terwijl totale coliformen enkel β -D-galactosidase tot expressie brengen. Het aantal totale coliformen en *E. coli* wordt bekomen door het tellen van respectievelijk roze tot rode en blauwe tot paars gekleurde kolonies (Emis, 2017a).

Intestinale enterococcen

Enterococcen komen in het water terecht door fecale besmetting (Watertool, 2011, Dierengezondheidszorg Vlaanderen, 2018). Enterococcen zijn grampositief en de aanwezigheid kan afkomstig zijn van een recente of oudere fecale besmetting omdat Enterococcen langer aanwezig blijven in het water dan bijvoorbeeld *E.coli* (Watertool, 2011). De richtwaarde voor

die parameter is minder dan één kolonievormende eenheid per 100 milliliter (Dierengezondheidszorg Vlaanderen, 2018).

Enterococci worden volgens ISO 7899-2 bepaald. De eerste stap is membraanfiltratie. De tweede stap in de bepaling is incubatie gedurende 40-48 uur bij 36°C op een Slanetz & Bartley agar. Dat medium bevat natriumazide dat de enzymen catalase en cytochroom c oxydase inhibeert, wat leidt tot de onderbreking van de ademhaling. Enterococci zijn facultatief anaëroob en bevatten geen catalase en cytochroom c oxydase. Andere bacteriën worden op die manier onderdrukt. Eveneens bevat het medium 2,3,5-trifenylnitroimidazolium chloride (TTC). TTC is kleurloos maar wordt roos-rood door de aanwezigheid van enterococci. De kolonies worden geteld via een kolonietelapparaat (Emis, 2015).

Salmonella

Salmonella-bacteriën behoren tot de Enterobacteriaceae. *Salmonella* zijn gramnegatieve bacteriën die geen sporen vormen. Het infecteert zowel mens als dier en veroorzaakt darmklachten en voedselvergiftiging (Hsu *et al.*, 2011). De richtwaarde voor die parameter is afwezigheid. Elke aanwezigheid in kleine of grote concentraties bestempelt water als niet drinkbaar (Dierengezondheidszorg Vlaanderen, 2018).

De detectie is volgens ISO 19250. Membraanfiltratie wordt opgevolgd door twee stappen van aanrijking. De eerste stap is niet-selectieve vooraanrijking waardoor lage aantallen of verzwakte *Salmonella* groeien. Bij stap twee vindt aanrijking in een selectief medium plaats. *Salmonella* zal gaan toenemen in aantal terwijl achtergrondflora wordt onderdrukt. Daarna wordt het aangerijkte monster uitgeplaat en het aantal kolonievormende eenheden kunnen worden waargenomen (Emis, 2017b).

***Clostridium perfringens* – sulfietreducerende clostridia**

Sulfietreducerende clostridia zijn grampositieve, sporenvormende, anaerobe bacteriën die zorgen voor de reductie van sulfiet tot waterstofsulfide. De meest voorkomende sulfietreducerende clostridia is *Clostridium perfringens*. Sporen van *C. perfringens* komen zowel voor in water als in de bodem maar ook in uitwerpselen. De aanwezigheid kan dus ook een resultaat zijn van fecale besmetting maar wordt vaker gebruikt als een indicator voor lozing van afvalwater. Door zijn sporen is *C. perfringens* erg resistent tegen reiniging en desinfectie (Manafi *et al.*, 2013). De richtwaarde is minder dan 1 kve per 100 ml (Dierengezondheidszorg Vlaanderen, 2018). Indien de richtwaarde wordt overschreden, kan *C. perfringens* diarree, embryonale sterfte, abortus en verwerping van kalveren veroorzaken (Watertool, 2011). De richtwaarde voor sulfietreducerende clostridia is 1 kve per 20 ml (Dierengezondheidszorg Vlaanderen, 2018).

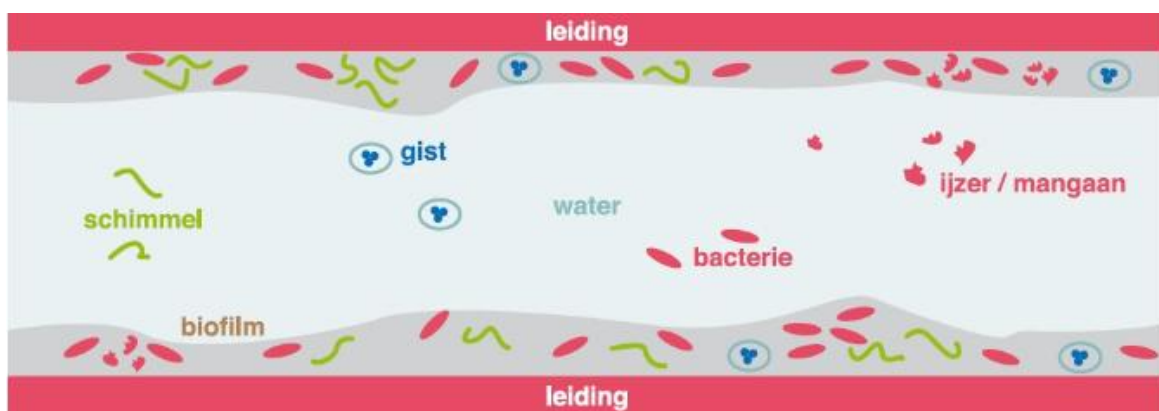
De methode voor de bepaling van *Clostridium perfringens* is afgeleid van ISO 7937. Het watermonster mag geen warmtebehandeling ondergaan omdat zowel de vegetatieve cellen als de sporen moeten worden bepaald. Membraanfiltratie wordt gevolgd door incubatie, 21 uur bij 36°C of 44°C, op een tryptose-sulfiet-cycloserine agar. Door de reductie van sulfiet tot sulfide kleuren de kolonies grijs tot geelbruin (Emis, 2013).

Biofilm

Een biofilm is een verzameling van microbiële cellen die onafscheidelijk geassocieerd zijn met een oppervlak en ingesloten zijn in een extracellulaire matrix die door hen zelf wordt afgescheiden. Die EPS ("extracellular polymeric substances") bestaat voornamelijk uit polysachariden (Donlan, 2002; Kim & Han, 2014). Biofilms vormen zich bij elk oppervlak dat in contact komt met water, zelfs bij zeer lage nutriëntenconcentraties. De ontwikkeling van biofilms gebeurt in vier fases. De eerste fase is de vasthechtingsfase waarbij vrij zwevende bac-

teriën zich naar het oppervlakte migreren en vasthechten met behulp van flagellen. Sommige bacteriesoorten hebben een grotere aanleg voor kolonisatie aan het oppervlak, door bijvoorbeeld een grotere mobiliteit, dan andere. De tweede fase is een tussenstadium waarbij een beperkt aantal dominante populaties met vergelijkbare kenmerken overheersen. De derde fase is het volwassenenstadium met complexe ruimtelijke structuur en een grote biodiversiteit. Bij de laatste fase, als de biofilm een bepaalde grootte/dikte heeft bereikt, zal de biofilm geheel of gedeelte loskomen van het oppervlak. De losgekomen biofilm zal cellen migreren naar een andere plaats om daar opnieuw te koloniseren of zal naar de bodem van de tank zinken (Kim & Han, 2014).

In waterdistributienetwerken hebben biofilms vooral nadelen omdat ze voor verstopping van leidingen en filters zorgen. Figuur 1-2 toont de biofilm in een waterleiding. Bovendien worden micro-organismen door de extracellulaire matrix beschermd tegen antimicrobiële stoffen en desinfecteermiddelen waardoor de biofilm slecht verwijderbaar is. In waterzuiveringsystemen of regenwateropslag tanks zijn biofilms nuttig omdat ze het organisch materiaal uit het water afbreken en het water zuiveren (Kim & Han, 2014; Chomiak *et al.*, 2015).



Figuur 1-2 Biofilm in een waterleiding (Cowshopping, 2019).

1.1.3 Bronnen van water

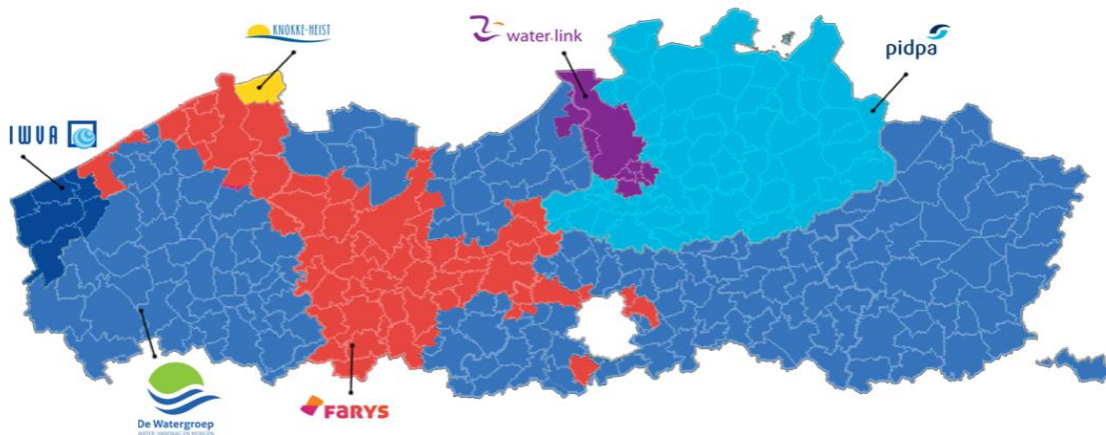
De meest voor de handliggende waterbron is leidingwater. Via aansluiting op het distributienetwerk komt water zomaar uit de kraan gelopen. Echter verschillende factoren zoals hoge kostprijs, verslechterde kwaliteit en tekort aan watervoorziening resulteren in een stijgende vraag naar alternatieve waterbronnen (Hurlimann, 2011). In dit hoofdstuk worden vier verschillende bronnen besproken.

1.1.3.1 Leidingwater

Leidingwater is de gemakkelijkste waterbron omdat geen vergunningen of andere inspanningen nodig zijn voor het gebruik. De enige voorwaarden zijn verbindingen tussen leidingwaternet, vermenging met andere soorten water vermijden en keuring van een nieuwe of gerenoveerde sanitaire installatie (Vlaamse Milieumaatschappij, 2018). Leidingwater is afkomstig van watermaatschappijen die zuiver drinkwater garanderen. Watermaatschappijen controleren de kwaliteit regelmatig en zijn dagelijks bezig met het verbeteren van de kwaliteit. In Vlaanderen voldoet de drinkwaterkwaliteit aan de opgelegde kwaliteitseisen (Vlaamse Milieumaatschappij, 2017b).

Het grote nadeel aan het gebruik van leidingwater is de hoge kostprijs. De integrale waterprijs per m³ is afhankelijk van de watermaatschappij. De Vlaamse watermaatschappijen zijn AGSO Knokke-Heist, De Watergroep, Farys, IWVA, Pidpa en Water-link (Figuur 1-3)

(Vlaamse Milieumaatschappij, 2017b; AquaFlandres, 2018). Bij de watermaatschappij Pidpa bedraagt het vlak tarief, één tarief voor het volledige verbruik, exclusief btw voor niet-huishoudelijke gebruikers 1,4604 euro per m³ (Pidpa, 2019). Ongeveer 30% van het Belgische leidingwater wordt geproduceerd uit oppervlaktewater (Ehsan *et al.*, 2015).



Figuur 1-3 Verdeling van de watermaatschappijen in Vlaanderen (AquaFlandres, 2018)

1.1.3.2 Grondwater

Grondwater wordt gedefinieerd als het water dat zich onder het bodemoppervlak in de verzadigde zone bevindt en rechtstreeks in het contact staat met de bodem of ondergrond (Vlaamse Milieumaatschappij, 2017a). Grondwater wordt opgedeeld in ondiep en diep grondwater en wordt van elkaar onderscheiden door een ondoorlaatbare laag. Het ondiep grondwater, ook wel freatisch grondwater genoemd, is afkomstig van de waterlagen die worden gevoed door insijpelend water. Diep grondwater is gelegen onder de ondoorlaatbare laag (Departement Landbouw & Visserij, 2014b).

Het oppompen van grondwater vereist een melding of vergunning en moet gecontroleerd gebeuren om de grondwaterschaarste te beperken en in te schatten. Daarvoor is het noodzakelijk om de Vlaamse Milieumaatschappij te informeren omtrent de in gebruikneming en stopzetting van eigen grondwaterwinning. Het plaatsen van goedgekeurde debietmeters zijn noodzakelijk om de hoeveel opgepompt grondwater te meten (Departement Landbouw & Visserij, 2018b). Het juridisch kader omtrent de bescherming en het beheer van grondwater in Vlaanderen wordt geschetst in het grondwaterdecreet van 24 januari 1984 (Vlaamse Milieumaatschappij, 2017a).

Op de winning van grondwater moet een heffing betaald worden. Een grondwaterverbruik kleiner dan 500 m³ is vrijgesteld van die heffing. De grondwaterheffing wordt berekend per kubieke meter opgepompt water (Vlaamse milieumaatschappij, 2019a).

$$\text{Heffing per m}^3 = 6 \text{ eurocent} * \text{index} * \text{laagfactor} * \text{gebiedsfactor} \quad (1-2)$$

De index bij formule 1-2 wordt jaarlijks bepaald en is dimensieloos. Voor 2019 is de index 1,3899. Het doel van de laag- en gebiedsfactor is het extra beschermen van gevoelige en uitgeputte grondwaterlagen. De laagfactoren en gebiedsfactoren staan vermeld in bijlage 1 (Vlaamse Milieumaatschappij, 2019c).

Grondwater kan plaatselijk hoge concentraties ijzer bevatten als gevolg van het regenwater dat filtreert doorheen grond, rotsen en mineralen. Tijdens het doorsijpelen naar het grondwa-

ter verzamelt dat regenwater ijzer uit die bronnen en zet het af in het grondwater (Chaturvedi & Dave, 2012).

1.1.3.3 Oppervlaktewater

Oppervlaktewater is het overkoepelende begrip van water uit sloten, grachten, kanalen en rivieren. Oppervlaktewater heeft te kampen met een wisselende watersamenstelling en – kwaliteit. Eveneens is de beschikbare hoeveelheid geen constant gegeven. Waterbeheerders kunnen bij een lage beschikbaarheid oppervlaktewaterverbruikers verplichten om het verbruik te reduceren en in extreme gevallen het verbruik te verbieden (Waterportaal, 2018).

Bij oppervlaktewater wordt een onderscheid gemaakt tussen onbevaarbare waterlopen en bevaarbare waterlopen, kanalen en havens. Watercaptatie uit onbevaarbare waterlopen vereist geen vergunning of melding met uitzondering van het poldergebied dat daarover een politiereglement bezit. De enige voorwaarde is gelijke rechten voor alle oevereigenaars. Watercaptatie uit bevaarbare waterlopen, kanalen en havens vereist een melding of vergunning afhankelijk van de hoeveelheid watergebruik. Bij een watercaptatie van minder dan 500 m³ per jaar volstaat een melding aan de waterwegbeheerder. Die melding moet jaarlijks herhaald worden. Indien de grens van 500 m³ per jaar overschreden wordt, is een vergunning vereist. Bovendien moet op dat watergebruik een heffing per m³ betaald worden (Tabel 1-2) (Departement Landbouw & Visserij, 2018a).

Tabel 1-2 Heffing exclusief 21% BTW (Departement Landbouw & Visserij, 2014a)

Waterafname (m ³ /jaar)	Heffing (€/ m ³)
< 1.000.000	0,063
1.000.000-9.999.999	0,037
10.000.000-99.999.999	0,019
> 99.999.999	0,0038

Vanaf de jaren tachtig wordt het Vlaamse oppervlaktewater geconfronteerd met toenemende pesticidenconcentratie. Om die concentraties aan pesticiden te doen dalen, oefent de overheid een druk uit op de landbouwers en producenten om zoveel mogelijk alternatieven voor pesticiden te zoeken. Ondanks de druk van de overheid zijn er nog steeds concentraties van pesticiden in het oppervlaktewater aanwezig (Verliefde *et al.*, 2016). Voorbeelden van vaak voorkomende stoffen zijn atrazine, bentazone en simazine. Die stoffen worden bij 50 tot 75% van de meetpunten aangetroffen. Bij 75 tot 95% van de meetpunten worden stoffen zoals diuron en linuron frequent aangetroffen (Vlaamse Milieumaatschappij, 2015b; Verliefde *et al.*, 2016).

Een bijkomend probleem bij oppervlaktewater is het wereldwijde fenomeen over invasieve soorten (Boets *et al.*, 2013). De introductie en verspreiding van die uitheemse soorten is te wijten aan veranderde milieumomstandigheden, verslechtering van het leefmilieu en de onderlinge verbinding van waterwegen die voorheen gescheiden waren (Bij de Vaate *et al.*, 2002; Boets *et al.*, 2013). De uitheemse soorten hebben een negatieve impact op de inheemse soorten en ecosystemen met gevolgen zoals soortverlies, veranderingen in nutriëntensamenstellingen en biotische homogenisering (Gurevitch & Padilla, 2004; Boets *et al.*, 2013). Naast de ecologische schade is er ook een economische schade. Bij een afnemende chemische waterkwaliteit stijgt de soortenrijkdom van de uitheemse soorten. Daardoor komt er minder oppervlaktewater in aanmerking voor drinkwater of zullen er extra zuiveringsmaatregelen getroffen moeten worden (Boets *et al.* 2013). Naast uitheemse soorten zijn algen vaak aanwezig in oppervlaktewater (Whitehead & Hornberger, 1984). Een fosfaatconcentratie van meer dan 0,1 mg/l stimuleert de groei van algen (Matula, 2011). Algen groei zorgt voor een

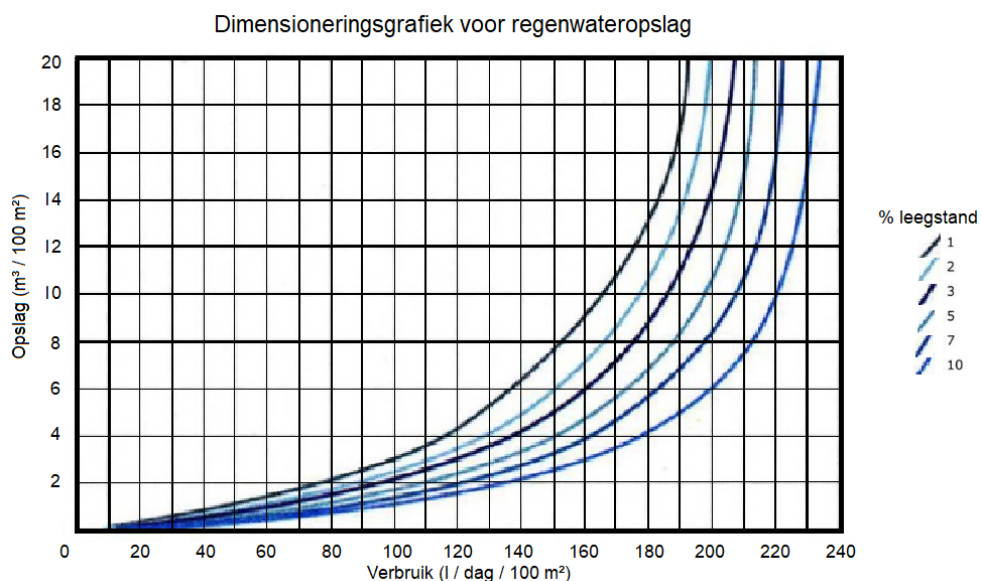
onaangename geur en geeft het water een groene kleur. Tijdens een waterbehandeling resulteert de aanwezigheid van algen in filtratieproblemen (Whitehead & Hornberger, 1984).

1.1.3.4 Regenwater

Een melkveebedrijf heeft een continue behoefte aan water terwijl de hoeveelheid regenval sterk kan variëren en geen dagelijks gegeven is. De enige oplossing om zo lang mogelijk aan de waterbehoefte te kunnen beantwoorden, is het opslagen van regenwater. Regenwater, of meer algemeen hemelwater, wordt het beste rechtstreeks verzameld van het dak. Elk contact met het stroomgebied van het regenwater is een mogelijke bron van verontreiniging (Nawaz *et al.*, 2012).

Het opgeslagen regenwater heeft te kampen met een variërende microbiële kwaliteit. De ongewenste micro-organismen zijn vaak afkomstig van uitwerpselen van vogels, zoogdieren en knaagdieren die toegang hebben tot stroomgebieden of wateropslagtanks. *Escherichia coli* is een voorbeeld van zo'n fecale besmetting (Nawaz *et al.*, 2012). Maar ook kadavers van vogels of knaagdieren in het stroomgebied of in de opslagtank vormen een gevaar. Die kadavers kunnen bijvoorbeeld besmet zijn met *Clostridium botulinum*. De toxines, geproduceerd door *C. botulinum*, veroorzaakt botulisme. De toxines worden onderverdeeld in zeven serotypes. Runderen zijn gevoelig voor drie types namelijk type B, die spijsverteringsstoornissen veroorzaakt, en type C en D met spierverlamming en plotse sterfte tot gevolg (FAVV, 2019). Bovendien zal het stilstaand water in de opslagtanks de ideale leefomgeving voor bacteriën zijn en veroorzaakt het de vorming van biofilms (Kim & Han, 2014; Oana *et al.*, 2015).

Een belangrijke component bij regenwaterwinning is het opslagreservoir (Andrade *et al.*, 2017). De aanleg van een wateropslagsysteem, zowel bovengronds als ondergronds, vereist een aanvraag van stedenbouwkundige vergunning (Departement Landbouw & Visserij, 2014a). De grootte van het opslagreservoir is afhankelijk van het gebruiksdebiet, dakoppervlakte en het gemiddelde percentage leegstand (Vlaamse Milieumaatschappij, 2012). Het percentage leegstand moet kleiner zijn dan 10%. Indien de leegstand groter is, moet het aantal toepassingen gereduceerd worden. Eveneens kan het percentage leegstand te groot zijn door een te kleine opslag. Figuur 1-4 geeft de dimensioneringsgrafiek voor regenwater weer. Op basis van de opslag per 100 m² dakoppervlakte en het gekozen percentage leegstand kan het beschikbare volume afgelezen worden (Vlaamse Milieumaatschappij, 2015a).



Figuur 1-4 Regenwaterdimensioneringsgrafiek (Vlaamse Milieumaatschappij, 2015a)

Bij eventuele natte periodes regent het meer dan het verbruik of de opslag toelaat. De opslagtank moet dus van een overloop voorzien worden. Bij eventuele droge periodes is het verbruik groter dan de hoeveelheid neerslag. De opslagtank moet dus ook uitgerust worden met een bijvuelsysteem of de mogelijkheid om over te overschakelen naar een andere waterbron (Vlaamse Milieumaatschappij, 2012).

Niet enkel de grootte van het dakoppervlak maar ook de helling en dakbedekking bepalen de hoeveelheid regenwater dat opgevangen kan worden. Hellende daken zijn georiënteerd naar een bepaalde richting. Een maximale hoeveelheid neerslag kan opgevangen worden bij een oriëntatie naar de hoofdwindrichting. Bij regenweer is in Vlaanderen de hoofdwindrichting West tot Zuid-West. Om rekening te houden met de helling en oriëntatie moet de dakoppervlakte vermenigvuldigd worden met een hellingcoëfficiënt. Tabel 1-3 geeft de verschillende hellingcoëfficiënten weer. Indien het dakoppervlak met tegengestelde oriëntatie niet gelijk is, moeten beide oppervlakten afzonderlijke gecorrigeerd worden. Bij gelijke oppervlakten is de coëfficiënt van beide zijden 1 (Waterportaal, 2018).

Tabel 1-3 Hellingcoëfficiënt, te vermenigvuldigen met dakoppervlakte, voor de correctie van regenwateropvang op schuine daken (Waterportaal, 2018)

Helling	Oriëntatie			
	Oost	Noord	West	Zuid
30°	0,87	1	1,13	1
35°	0,85	1	1,15	1
40°	0,83	1	1,17	1
45°	0,80	1	1,20	1
50°	0,78	1	1,22	1
55°	0,76	1	1,24	1

De dakbekleding heeft een invloed op de hoeveelheid water dat verloren gaat via verdamping. Eveneens moet daarvoor de dakoppervlakte worden vermenigvuldigd met een dakbedekkingcoëfficiënt. De coëfficiënten kunnen afgelezen worden in Tabel 1-4. Naast de bekleding is de verdamping bij schuine daken kleiner dan bij platte daken. De coëfficiënten bij platte daken zullen dus zorgen voor een grotere reductie (Waterportaal, 2018).

Tabel 1-4 Dakbedekkingcoëfficiënt voor de correctie van regenwateropvang (Waterportaal, 2018)

Bedekking	Daktype	
	Plat	Hellend
Grind	0,6	/
Bitumen	0,7 – 0,8	0,8 – 0,95
Leien	0,75 – 0,9	0,9 – 0,95
Pannen	0,75 – 0,9	0,9 – 0,95
Geglazuurde pannen	/	0,9 – 0,95

1.1.4 Recuperatie van regenwater

Over het algemeen is het watergebruik in Vlaanderen afhankelijk van oppervlakte- en grondwater (Departement Landbouw & Visserij, 2014c). De grondwatervoorraden in Vlaanderen zijn erg klein. Door het onzorgvuldig gebruik van het grondwater, waardoor op sommi-

ge plaatsen te veel grondwater wordt opgepompt, is het verbruik groter dan de aanvulling. Daardoor zullen sommige grondwaterlagen opdrogen. Vooral diep grondwater heeft te kampen met opdroging doordat de aanvulling door hemelwater verhinderd wordt door de ondoordringbare laag (Departement Landbouw & Visserij, 2014b).

De jaargemiddelde waterbeschikbaarheid geeft inzicht over de hoeveelheid water die beschikbaar is per inwoner. Formule 1-3 toont de berekening van de jaarlijkse waterbeschikbaarheid.

$$\text{Jaargemiddelde waterbeschikbaarheid} = \frac{(\text{neerslag} - \text{verdamping}) + \frac{\text{instroming van andere landen}}{2}}{\text{aantal inwoners}} \quad (1-3)$$

Om niet van waterschaarste te spreken, moet de jaargemiddelde waterbeschikbaarheid groter zijn dan 1.000 m³ per inwoner. Dit is niet het geval voor Vlaanderen en wordt daarom beschouwd als een regio met een ernstig watertekort (Departement Landbouw & Visserij, 2014b).

Regenwater wordt al sinds de oudheid gebruikt voor niet-drinkbare doeleinden zoals het doorspoelen van het toilet en het wassen van kleren. Vanwege de toenemende vraag naar drinkbaar water door de toenemende bevolking en het uitputten van waterbronnen, zal regenwater gerecupereerd moeten worden tot drinkbaar water (Nawaz *et al.*, 2012).

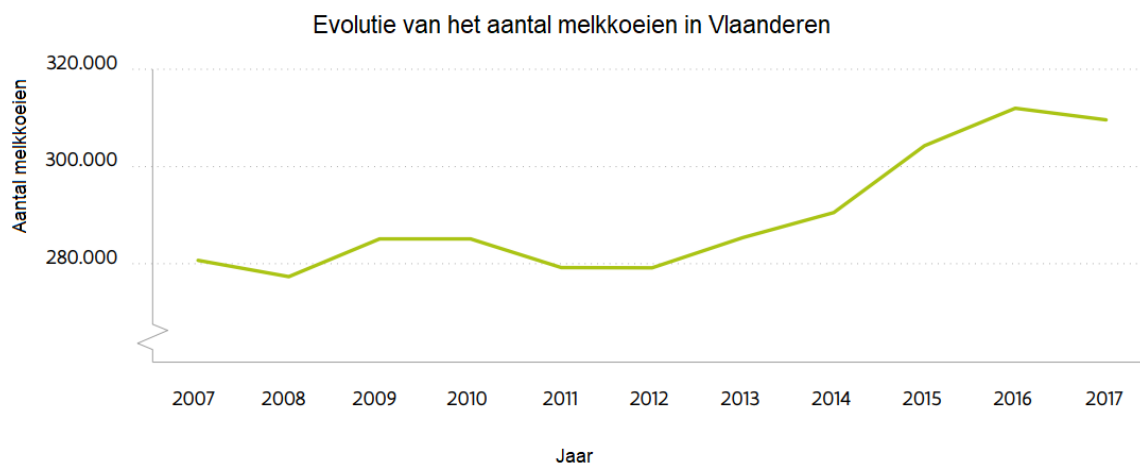
Regenwater is een uitstekende alternatieve drinkwaterbron. Na de juiste behandelingen kan regenwater worden gerecupereerd tot drinkwater van goede kwaliteit en kwantiteit. Regenwater heeft bijna een neutrale pH en geen hardheid. Als regenwater rechtstreeks van daken wordt opgevangen, zijn door de mens of dier veroorzaakte verontreinigingen nihil (Lee *et al.*, 2017).

1.2 Melkveehouderij in Vlaanderen

De melk- en voederprijzen bepalen sterk de winst van een melkveebedrijf. De productie van melk wordt extra aantrekkelijk door een stijgende melkprijs en dalende veevoederkosten (Wolf, 2012). De stijging in melkproductie werd gehandhaafd door het wegvallen van de melkquota in april 2015 (De Frahan *et al.*, 2011; BCZ, 2017). Op dit ogenblik is er nog steeds een toename van de wereldmelkproductie. De toename van 2017 ten opzichte van 2016 is ongeveer 1,5 %. Voor 2018 wordt een groei van 1,8% geschat (BCZ, 2018).

1.2.1 Melkkoeien

Vanaf 2012 steeg het aantal melkkoeien in België door de geplande afschaffing van het melkquotum. Maar sinds 2017 neemt het aantal Vlaamse melkkoeien weer af met ongeveer 0,8% ten opzichte van 2016 (BCZ, 2018; Danckaert *et al.*, 2019). Figuur 1-5 toont de evolutie van het aantal melkkoeien in Vlaanderen over de periode van 2007 tot 2017 (Danckaert *et al.*, 2019). Maar het aantal melkkoeien per melkveebedrijf stijgt (figuur 1-6) (BCZ, 2018; Danckaert *et al.*, 2019). Die stijging resulteert in een toenemende waterbehoefte per landbouwbedrijf (Laínez *et al.*, 2004).

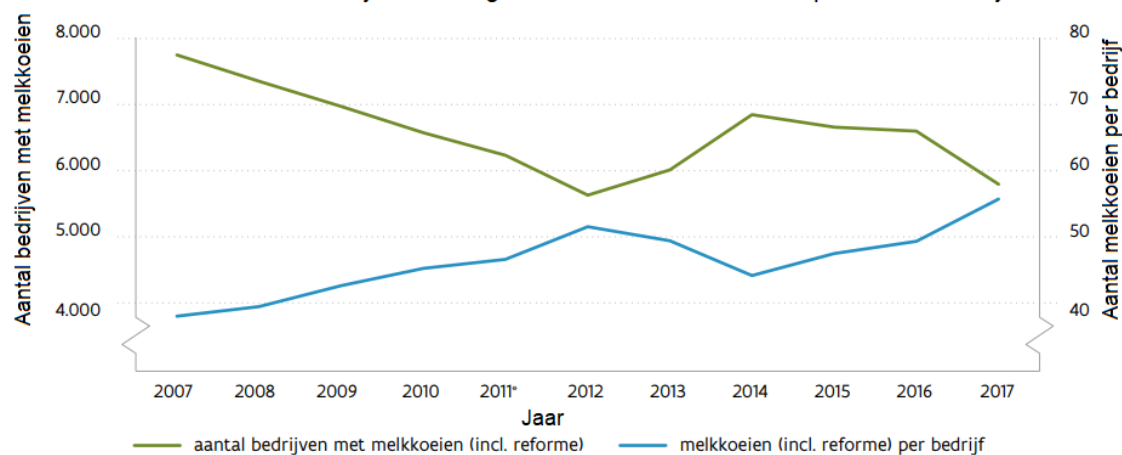


Figuur 1-5 Evolutie van het aantal melkkoeien in Vlaanderen van 2007 tot 2017 (Danckaert *et al.*, 2019)

1.2.2 Productie

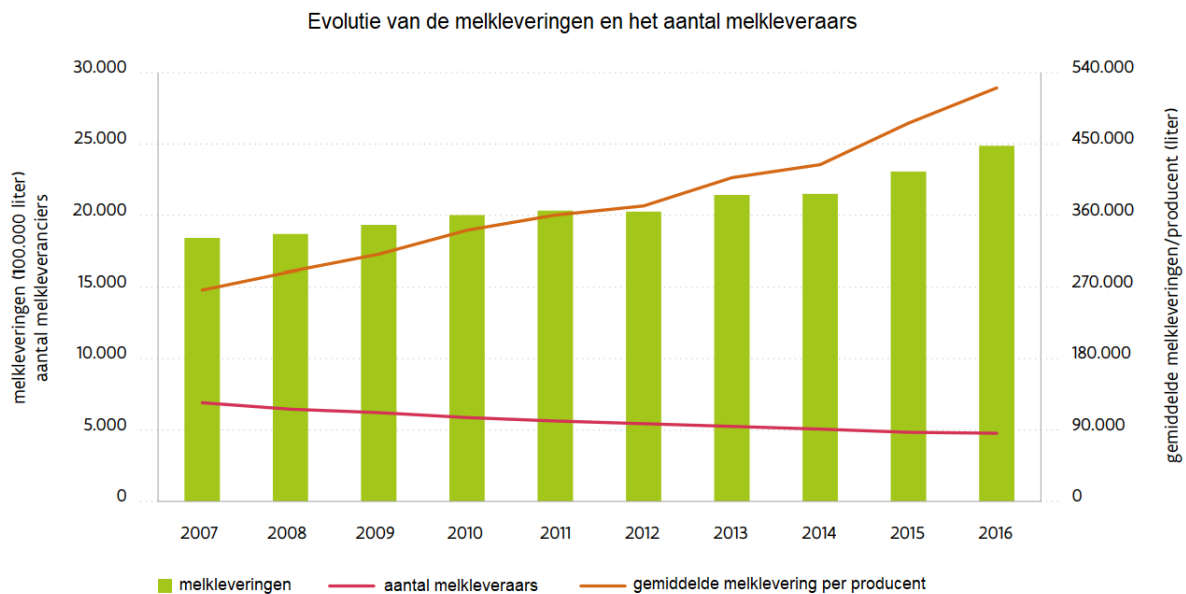
De voorgaande stijgingen van het aantal melkkoeien gaat niet gepaard met een stijging van het aantal melkveebedrijven. Integendeel, het aantal bedrijven met melkkoeien daalt (BCZ, 2018; Danckaert *et al.*, 2019). Die tendens doet zich ook voor in andere subsectoren van de landbouw (Van der Straeten *et al.*, 2012). Figuur 1-6 toont de evolutie van het aantal melkveebedrijven en het gemiddelde aantal melkkoeien per melkveebedrijf van 2007 tot 2017 (Danckaert *et al.*, 2019).

Evolutie van het aantal melkveebedrijven en het gemiddelde aantal melkkoeien per melkveebedrijf in Vlaanderen



Figuur 1-6 Evolutie van het aantal melkveebedrijven en het gemiddelde aantal melkkoeien per bedrijf in Vlaanderen van 2007 tot 2017 (Danckaert *et al.*, 2019)

De melkveebedrijven in Vlaanderen worden steeds grootschaliger (BCZ, 2018). Minder bedrijven zorgen voor eenzelfde of toegenomen productie (Van der Straeten *et al.*, 2012). In 2017 steeg het geleverde volume melk per melkveebedrijf met bijna 7% ten opzichte van 2016. Bovendien is de gemiddelde melklevering per bedrijf sinds 2017 groter dan 500.000 liter (BCZ, 2018). Figuur 1-7 geeft voor de periode van 2007 tot 2016 de evolutie van de melkleveringen en het aantal melkleverders weer (Danckaert *et al.*, 2019).



Figuur 1-7 Evolutie van de melkleveringen en het aantal melkveeraars in Vlaanderen van 2007 tot 2016 (Danckaert *et al.*, 2019)

Aan die tendens in de Vlaamse land- en tuinbouw zijn twee bekende begrippen verbonden namelijk schaalgrootte en schaalvergroting. Schaalgrootte verwijst naar de structuur en de huidige toestand van de sector terwijl schaalvergroting over de evolutie van de sector in de tijd gaat, met andere woorden de toename van bedrijfsomvang (Vuylsteke *et al.* 2014). Melkveebedrijven in Vlaanderen worden gekenmerkt door schaalvergroting dat gepaard gaat met een verhoogde specialisatie en intensivering (Ryckaert *et al.*, 2007; Vuylsteke *et al.*, 2014). Dat wil zeggen dat de landbouwbedrijven zich meer gaan specialiseren in één van de drie subsectoren (veeteelt, akkerbouw en tuinbouw) van de landbouw. Een verhoogde intensivering betekent een stijgende productie per eenheid grond, kapitaal of arbeid (Vuylsteke *et al.* 2014).

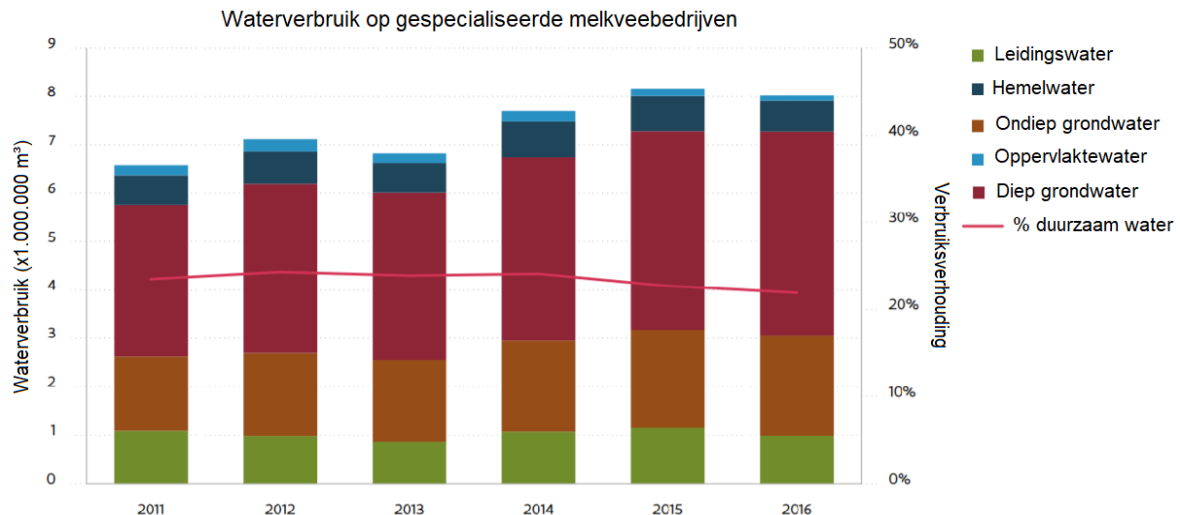
1.3 Belang van drinkbaar water in de melkveehouderij

Om de productiviteit van het melkvee te beoordelen, is het drinkgedrag een zeer belangrijke aanwijzing (Lainez & Hsia, 2004). Melk bestaat uit 87% uit water en is zo het hoofdbestanddeel van melk (Lainez & Hsia, 2004; González Pereyra *et al.*, 2010). De melkproductie verlaagt bij verschillende vormen van stress waaraan een koe kan worden blootgesteld. Een voorbeeld van die stress is een verminderde kwantiteit of kwaliteit van water. Het doel van de landbouwer is dus water aanbieden van voldoende kwaliteit en kwantiteit (Lainez & Hsia, 2004).

1.3.1 Verbruik van water in de Vlaamse melkveesector

Om het totale waterverbruik in de melkveehouderij in kaart te brengen, is het belangrijk om rekening te houden met alle aspecten. Die aspecten houden in: drinkwater, watergebruik voor zowel de productie (irrigatiewater) als verwerking van gewassen, watergebruik voor reiniging en ontsmetting maar ook koeling van melk en stal. Het water dat wordt verbruikt door de installaties en voor reiniging en ontsmetting wordt ook wel technisch water genoemd.

Dat technisch waterverbruik is verantwoordelijk voor minder dan vijf procent (Krauß *et al.*, 2016). De Vlaamse melkveesector gebruikt ongeveer 15 procent van het totale watergebruik in de Vlaamse land- en tuinbouw. Bovendien gebruikt de Vlaamse melkveesector hoofdzakelijk grondwater als waterbron, gevolgd door respectievelijk leiding-, hemel- en oppervlaktewater. Figuur 1-8 toont die gebruikstrend (Departement landbouw en visserij, 2016).



Figuur 1-8 Waterverbruik op gespecialiseerde melkveebedrijven uitgedrukt per waterbron in miljoen m³ (Danckaert *et al.*, 2018)

De meeste landbouwbedrijven zijn grootverbruikers en verbruiken dus meer dan 500 m³ water per jaar. Ze zijn verplicht om jaarlijks een wateraangifte in te dienen vóór 15 maart bij de Vlaamse Milieumaatschappij. De aangifte gebeurt digitaal en gaat over het voorgaande jaar (Vlaamse Milieumaatschappij, 2019d). Op basis daarvan worden twee heffingen berekend namelijk de heffing op de winning van grondwater (zie 1.1.3.2 Grondwater) en de heffing op waterverontreiniging (Vlaanderen, 2019).

Het gebruik van water gaat gepaard met het produceren van afvalwater. De heffing op waterverontreiniging is van kracht zodat de vervuiler betaalt. Formule 1-4 toont de berekening van de heffing voor grootverbruikers (Vlaamse Milieumaatschappij, 2019b).

$$\text{Heffing in euro} = \text{Vuilvracht (VE)} * \text{Eenheidstarief (€/VE)} \quad (1-4)$$

Voor het heffingsjaar 2019 bedragen de eenheidstarieven voor oppervlaktewaterlozers en niet-oppervlaktewaterlozers respectievelijk 36,27 euro/VE en 53,47 euro/VE (Vlaamse milieumaatschappij, 2019c). De berekening van de vuilvracht, met andere woorden het aantal vervuilingseenheden (VE), kent twee methodes. De eerste methode is op basis van meet- en bemonsteringsgegevens van het geloosde afvalwater. De heffing is dus afhankelijk van de kwaliteit en kwantiteit van het afvalwater. De tweede methode is een forfaitaire methode op basis van het waterverbruik en sectorspecifieke omzettingcoëfficiënten. De meeste landbouwbedrijven kiezen voor de forfaitaire methode (Vlaamse Milieumaatschappij, 2019b).

1.3.2 Drinkwaterverbruik

In de melkveehouderij wordt water beschouwd als de belangrijkste voedingsstof voor de gezondheid en prestaties van de koe. Het lichaamsvocht bedraagt 56 tot 81 procent van het lichaamsgewicht (National Research Council, 2001). Een watergebrek zal de gezondheid, de

prestaties van het dier en het welzijn doen dalen maar leidt ook tot gedragsveranderingen (Cardot *et al.*, 2008; Kume *et al.*, 2010). Onder de landbouwhuisdieren hebben lacterende koeien de grootste hoeveelheid water nodig in verhouding tot hun grootte, voornamelijk vanwege de hoeveelheid water die wordt afgescheiden in hun melk (Láinez *et al.*, 2004).

1.3.2.1 Watergebrek

Een watergebrek heeft een directe impact op het bloed. De concentraties van koper, natrium, eiwit en ureum nemen toe. De plasma-activiteiten van enzymen zoals creatine, kinase en glutamaatoxaalactetaat transaminase stijgen. Een verlaagde waterinname verhoogt het hematocriet met andere woorden het volume van het bloed ingenomen door de rode bloedcellen (Little *et al.*, 1980; Steiger Burgos *et al.*, 2001; Cardot *et al.*, 2008). Watergebrek zal eveneens resulteren in een verminderde ademhalingsfrequentie en penscontractie, verlaagd lichaamsgewicht en melkgift (Little *et al.*, 1980; Appuhamy *et al.*, 2016). Bovendien zullen koeien met een watergebrek zich agressiever gedragen en meer tijd doorbrengen in de buurt van de watervoorziening (Little *et al.*, 1980). Door de verminderde tijdsbesteding aan het eten en liggen leidt dat ook onrechtstreeks tot een verminderde melkproductie.

1.3.2.2 Drinkwaterbeschikbaarheid

In een moderne melkveestal moeten de drinkplaatsen de mogelijkheid geven om 15 tot 20% van de koeien tegelijkertijd te laten drinken en per koe moet minstens 6 tot 12 cm breedte aan de drinkbak voorzien zijn (Declerck *et al.*, 2012). Consumptiepieken stemmen overeen met voer- en melktijden. Tijdens de twee uren na het melken bezoeken 75% van de koeien de waterbak minstens één keer. Tijdens die periode wordt tot 25 % van de dagelijkse wateropname opgenomen (Cardot *et al.*, 2008). Bij een tekort aan drinkwatergelegenheid zullen dominante koeien de onderdanige koeien wegdrijven bij de drinkplaats (Miller & Woodgush, 1991; Pinheiro Macado Filho *et al.*, 2004).

Als een koe drinkt, bevindt haar snuit zich 3 tot 4 cm in het water en vormt ze met haar kop een hoek van ongeveer 60 graden met het wateroppervlak. In die houding kan een koe 10-20 liter water per minuut drinken (Ryckaert *et al.*, 2008; Wemmenhove *et al.*, 2009). Er wordt aangeraden om één reservoir per 20 tot 30 koeien te voorzien (Næss *et al.*, 2011; Declerck *et al.*, 2012). Al bedraagt de veestapel minder dan 30 stuks, wordt afgeraden om maar één waterbak te plaatsen (Wemmenhove *et al.*, 2009; Næss *et al.*, 2011).

Over de plaatsing van de waterbakken moet goed worden nagedacht. De belangrijkste vereiste is de toegankelijkheid van de waterbakken. In iedere verblijfsruimte moet water beschikbaar zijn. Bovendien moeten koeien ongestoord kunnen drinken. Daardoor mogen waterbakken niet in doorloopgangen geplaatst worden, tenzij er voldoende ruimte achter de koeien wordt voorzien. Watervervuiling met mest en urine wordt tegengegaan door een verhoogde trede onder de waterbak of een stang rondom de waterbak. Die methodes zorgen ervoor dat het achterstel van de koe op afstand gehouden wordt. Bij een goede plaatsing en bovenstaande methodes zal de waterbak weinig worden verontreinigd. De veehouder moet dagelijks de drinkgelegenheden controleren. Het ontwerp en onderhoud van de waterbakken beïnvloedt de waterkwaliteit (Wemmenhove *et al.*, 2009).

Voor waterputten in de weide zal het blootstellen aan zonnestraling de watertemperatuur verhogen en verslechtert de fysische en chemische kwaliteit door verdamping. Daardoor verlaagt de waterinname en neemt de melkproductie af (Challis *et al.*, 1987). Ook heeft de stroomsnelheid van een drinkenbak uitgerust met drinknippel een invloed. Een hoge stroomsnelheid resulteert in een verhoogde wateropname (Andersson *et al.*, 1984). Declerck *et al.* (2012) concluderen dat het debiet tussen de 10 tot 20 liter per minuut moet bedragen.

Eveneens heeft de grootte van de waterbak een invloed op de hoeveelheid wateropname. Koeien verlenen een voorkeur aan grote waterbakken (Pinheiro Machado Filho *et al.*, 2004).

1.3.2.3 Waterbehoefte

De aandacht voor voedingstoffen in de melkveehouderij neemt steeds toe waarbij de kwaliteit van water niet over het hoofd gezien mag worden. Echter wordt tot op heden de waterinname van melkkoeien nog steeds te weinig beschouwd als beperkende factor voor de melkproductie (Beede, 2005). Ongeveer 83 procent van de totale waterbehoefte wordt opgevuld door drinken (Meyer *et al.*, 2004).

Vanaf een leeftijd van ongeveer twee weken krijgen kalveren vers drinkwater ter beschikking gesteld. Eveneens geven de meeste Vlaamse melkveehouders de voorkeur aan kunstmelk in plaats van koemelk door de constante samenstelling. Voor het bereiden van kunstmelk is water noodzakelijk om het melkpoeder te laten oplossen (Ryckaert *et al.*, 2010; Huuskonen *et al.*, 2011). Naarmate het kalf ouder wordt, wordt de hoeveelheid (kunst)melk afgebouwd en stijgt de zuivere wateropname. De hoeveelheid vochtbehoefte voor jongvee tot één jaar bedraagt 5 tot 30 liter per dag. Jongvee met een leeftijd van één tot twee jaar heeft een behoefte van 30 tot 55 liter vocht per dag. Echter wordt de vochtbehoefte niet enkel vervuld door het drinken van water. De waterinname zal dus lager zijn dan de vochtbehoefte (Remmelink *et al.*, 2013). Looper & Waldner (2007) drukken de waterinname uit in functie van het gewicht: per 24 kg lichaamsgewicht bedraagt de waterinname 2 tot 3 liter.

De drinkactiviteit van droge koeien is lager dan lacterende koeien (Lainez & Hsia, 2004; Pinheiro Macado Filho *et al.*, 2004). Die verlaagde drinkactiviteit komt door geen of nauwelijks melkproductie, verminderde beweging en langere ligperiodes. In het onderzoek van Kume *et al.* (2010) werd een gemiddelde waterinname van 30,3 liter vastgesteld. De waterinname van droogstaande kan geschat worden op basis van het drogestof gehalte (Kume *et al.*, 2010). Formule 1-5 toont de link tussen de waterinname en het drogestof gehalte. Bij droogstaande koeien draagt het lichaamsgewicht niet bij tot de bepaling van de waterinname (Holter & Urban, 1992).

$$\text{Waterinname } \left(\frac{\text{kg}}{\text{dag}}\right) = -18,8 + 0,915 * \text{drogestof gehalte (\%)} \quad (1-5)$$

De transitieperiode wordt gedefinieerd als de periode van drie weken voor en drie weken na de kalving. In die periode moet voldoende energie worden opgenomen om het begin van de melkproductie te ondersteunen en is bepalend voor het verloop van de lactatiecyclus (Huzzey *et al.*, 2005). Tijdens de transitieperiode stijgt de waterinname van 57 liter water per dag een week voor de kalving naar 73 liter water per dag een week na de kalving (Osborne *et al.*, 2002). Die verhoogde waterbehoefte is het gevolg van een toenemende melkproductie (National Research Council, 2001). De lactatiepiek situeert zich tussen de 3^{de} en 7^{de} week na de kalving (Bossaert *et al.*, 2008).

Bij lacterende koeien wordt een onderscheid gemaakt op basis van productie. De waterbehoefte bij hoogproductieve koeien is hoger dan laagproductieve koeien. Dat kan worden verklaard door een hogere stofwisseling en dus een hogere warmteproductie wat leidt tot een hogere waterbehoefte bij hoogproductieve koeien (Lainez & Hsia, 2004; Kume *et al.*, 2010; Khelil-Arfa *et al.*, 2014).

De wateropname van een lacterende koe wordt beïnvloed door verschillende factoren zoals melkgift, lactatiestadium, lichaamsgewicht, drogestof inname, omgevingstemperatuur, watertemperatuur en natriuminname (Holter & Urban, 1992; Cardot *et al.*, 2008).

Zoals eerder aangehaald, bestaat melk zo'n 87% uit water (González Pereyra *et al.*, 2010). Daardoor kan het lineaire verband tussen de dagelijkse melkgift en dagelijkse waterinname worden verklaard (Holter & Urban, 1992). In de literatuur varieert de waterinname voor de productie van één kilogram melk tussen 0,60 kg en 2,53 kg (Castle & Thomas, 1975; Holter & Urban, 1992; Meyer *et al.*, 2004). Bij een daling van het vochtgehalte in het voer, stijgt de wateropname (Holter & Urban, 1992). Een toename van natriuminname en drogestofopname leidt eveneens tot een verhoogde wateropname (Pinheiro Machado Filho *et al.*, 2004).

Door middel van een THI-index ("temperature and humidity index") kan de combinatie van temperatuur (T) en vochtigheid (RV) worden berekend. Formule 1-6 toont de berekening van de THI-index.

$$\text{THI} = (1,8 T + 32) - (0,55 - 0,55 \text{ RV}/100) * (1,8 T - 26) \quad (1-6)$$

Als de index hoger is dan 78 zijn melkkoeien niet in staat om de normale lichaamstemperatuur te handhaven door de thermoregulerende mechanismen (González Pereyra *et al.*, 2010). Melkkoeien bevinden zich in de comfortzone bij omgevingstemperaturen tussen 5 en 25 graden Celsius. Eenmaal boven die temperatuur bereikt de koe een punt waarop ze zichzelf niet langer voldoende kan koelen. Dat is het moment waarop de voeropname begint te dalen met als resultaat een daling van de melkproductie (Roefeldt *et al.*, 1998). Dat is het gevolg van fysiologische mechanismen die beginnen te functioneren om die toestand te overwinnen. De consumptie van drogestof wordt verminderd met als gevolg een verminderde metabole warmteontwikkeling. Tijdens die hittestress zal de wateropname stijgen. Water heeft een hoge soortelijke warmte dat zorgt voor de warmteafvoer (González Pereyra *et al.*, 2010). Appuhamy *et al.* (2016) stelden vast dat binnen een bereik van 8 tot 32,5 °C een positief lineaire verband bestaat tussen omgevingstemperatuur en waterinname. Dat een hogere omgevingstemperatuur leidt tot een verhoogde waterinname werd ook vastgesteld door Kheilil-Arfa *et al.* (2014). De temperatuur van het water is het beste tussen 17 en 28 graden Celsius (Declerck *et al.*, 2012).

Verschillende onderzoekers probeerden de waterinname van lacterende koeien te schatten uit verschillende parameters. Die schatting gebeurde op basis van een lineaire regressie (Murphy *et al.*, 1983; Cardot *et al.*, 2008). Murphy *et al.* (1983) namen de parameters drogestof inname, melkgift, natriuminname en minimumtemperatuur op in het lineaire model. Formule 1-7 toont de schatting van de waterinname voor een lacterende koe met een lichaamsgewicht van 680 kg volgens Murphy *et al.* (1983).

$$\begin{aligned} \text{Waterinname} \left(\frac{\text{kg}}{\text{dag}} \right) &= 15,99 + 1,58 * \text{drogestof inname} \left(\frac{\text{kg}}{\text{dag}} \right) + 0,90 * \\ \text{melkgift} \left(\frac{\text{kg}}{\text{dag}} \right) &+ 0,05 * \text{natriuminname} \left(\frac{\text{g}}{\text{dag}} \right) + 1,20 * \text{minimumtemperatuur} \left(^\circ\text{C} \right) \end{aligned} \quad (1-7)$$

Cardot *et al.* (2008) maakten eveneens een schatting van de waterinname. Formule 1-8 toont het lineaire model volgens Cardot *et al.* (2008). De parameters, opgenomen in het model, waren drogestof inname, melkgift, drogestof gehalte, minimumtemperatuur en hoeveelheid neerslag (Cardot *et al.*, 2008).

$$\begin{aligned} \text{Waterinname} \left(\frac{\text{kg}}{\text{dag}} \right) = & -25,65 + 1,54 * \text{drogestof inname} \left(\frac{\text{kg}}{\text{dag}} \right) + 1,33 * \\ & \text{melkgift} \left(\frac{\text{kg}}{\text{dag}} \right) + 0,89 * \text{drogestof gehalte} (\%) + 0,58 * \\ & \text{minimumtemperatuur} (^\circ\text{C}) - 0,30 * \text{neerslag} \left(\frac{\text{mm}}{\text{dag}} \right) \end{aligned} \quad (1-8)$$

Stockdale & King (1983) deden ook een poging in het voorspellen van de waterinname op basis van lineaire regressie. In het model werden drie parameters, namelijk drogestof inname, drogestof verhouding en gemiddelde temperatuur, gebruikt (Stockdale & King, 1983). Opmerkelijk is dat Stockdale & King (1983) gebruik maakten van de gemiddelde temperatuur in plaats van minimumtemperatuur. Formule 1-9 geeft het lineaire model, opgesteld door Stockdale & King (1983), weer.

$$\begin{aligned} \text{Waterinname} \left(\frac{\text{kg}}{\text{dag}} \right) = & 11,34 + 4,63 * \text{drogestof inname} \left(\frac{\text{kg}}{\text{dag}} \right) - 0,036 * \\ & \text{drogestof verhouding} \left(\frac{\text{g}}{\text{kg}} \right) + 0,84 * \text{gemiddelde temperatuur} (^\circ\text{C}) \end{aligned} \quad (1-9)$$

1.4 Technieken voor het zuiveren en ontsmetten van water

De vereiste waterkwaliteit wordt bepaald door zijn toepassing en wordt bekomen door verschillende reinigings- en ontsmettingsmethoden. Echter één installatie die zowel organoleptische, chemische als biologische waterkwaliteit op punt stelt, is niet mogelijk. Elke installatie heeft zijn eigen toepassing, effectiviteit en specifieke (na)werking (Jacobsen, 2004).

Alvorens een reinigings- en/of ontsmettingsinstallatie aan te kopen, wordt aangeraden het water te analyseren. Afhankelijk van de parameters die ongewenst zijn of waarbij de norm wordt overschreden, moet de keuze van reiniging- en/of ontsmettingsinstallatie worden gemaakt. Het behouden en bereiken van een zo hoog mogelijke waterkwaliteit vergt een continue inspanning en moet regelmatig worden beoordeeld via wateranalyses (van Leeuwen, 2000).

Een combinatie van verschillende reinigings- en ontsmettingsinstallaties zijn nagenoeg altijd noodzakelijk. Sommige apparaten of installaties dienen als voorbereidende stap op een volgende reiniging of ontsmetting. Zonder die stap wordt de effectiviteit en de levensduur van de installatie gereduceerd. In dit hoofdstuk worden verschillende reinigings- en ontsmettingsmethoden met hun toepassing toegelicht (Jacobsen, 2004).

1.4.1 Verwijderen van zwevende deeltjes

Methodes voor het verwijderen van zwevende deeltjes zijn niet instaat om drinkbaar water te bekomen. Die methodes zijn vaak een voorfiltratie. Ze doen het eerste werk waardoor de werking van volgende technieken wordt vergemakkelijkt (Jacobsen, 2004).

1.4.1.1 Micro- en ultrafiltratie

Naast het verwijderen van zwevende deeltjes zijn de micro- en ultrafiltratie een doeltreffende techniek voor het verwijderen van pathogene micro-organismen zoals bacteriën en virussen. Het filtreren van eiwitten kan ook door ultrafiltratie. Micro- en ultrafiltratie behoren tot de groep van membraanfiltratie. De micro- en ultrafilter bestaan uit een semi-permeabel mem-

braan dat stoffen kan scheiden door uitoefening van een drijvende kracht over het membraan (Chaturvedi & Dave, 2012). Die drijvende kracht over de micro- en ultrafilter zijn hydrostatische drukkkrachten van respectievelijk 0,1 tot 3 bar en 2 tot 10 bar (Watertool, 2011). De ultrafilter houdt gesuspendeerde vaste deeltjes en opgeloste stoffen met een hoogmoleculaire massa tegen terwijl opgeloste stoffen met een laag moleculaire massa doorheen het membraan gaan. De microfilter houdt enkel de gesuspendeerde vaste deeltjes tegen (Chaturvedi & Dave, 2012). Door membraanfiltratie ontstaan twee stromen. De afvalstroom wordt de concentraatstroom genoemd en bevat alle componenten die worden tegengehouden door het membraan. De permeaatstroom bevat de componenten die doorheen het membraan stromen met andere woorden de gezuiverde waterstroom (Lu *et al.*, 2016b).

De grootste uitdaging bij membraanfiltratie is voorkomen van membraanvervuiling. Als het membraan vervuild wordt, zal de concentraatstroom toenemen en de permeaatstroom afnemen (Lu *et al.*, 2016b). Om deze vervuiling te verwijderen is terugspoeling noodzakelijk zodat de geblokkeerde en vervuilde poriën terug openen (Park *et al.*, 2015).

1.4.1.2 Zandfiltratie

Als voorbehandelingsprocedure om de tussentijdse waterkwaliteit te verbeteren wordt zandfiltratie gebruikt. De methode van zandfiltratie is eenvoudig en wordt opgesplitst in langzame en snelle zandfiltratie. De werking gebeurt door middel van zwaartekracht wat zorgt voor een laag energieverbruik en aankoopkosten (Bar-Zeev *et al.*, 2012).

Langzame zandfiltratie

Naast de verwijdering van zwevende deeltjes is de langzame zandfiltratie bruikbaar voor het verwijderen van pathogene bacteriën zoals *Escherichia coli* en *Enterococci*. In de bovenste laag van het zandbed bevindt zich een biofilmachtige laag, ook wel de schmutzdecke genoemd. Deze laag verwijdert meer dan 90 % van de pathogene bacteriën door biochemische afbraak en wordt zo bestempeld als het meest effectieve verwijdercomponent (Corral *et al.*, 2014; Pfannes *et al.*, 2015). Die laag ontstaat door de adsorptie van organische bestanddelen aan het zandoppervlak en vormt zo een voedingsrijke bodem met bijhorende microbiële groei (Pfannes *et al.*, 2015). De opbouw van de schmutzdecke duurt ongeveer drie weken (Watertool, 2011). De zwevende deeltjes worden uit het water gezeefd door de poriën van het zand die klein genoeg zijn. Het is dus belangrijk dat er aandacht wordt gehecht aan de verhouding van de grootte van de deeltjes en de poriën (Schijven *et al.*, 2009).

De langzame zandfilter bestaat uit verschillende onderdelen. Bovenaan bevindt zich een waterlaag van ongeveer 20 tot 150 cm. Onder deze waterlaag bevindt zich het filterbed en drainagesysteem dat bestaat uit respectievelijk een zandlaag en een grindlaag. De zandlaag, met minstens een dikte van 80 cm, moet fijn en uniform zijn. Om dichtslibben van de zandfilter te voorkomen, mag het zand niet te fijn zijn. Het drainagesysteem bestaat uit drie verschillende grindlagen waarbij korreldiameter toeneemt van boven naar onder. De grindlagen zorgen ervoor dat het water vlot uit het zand loopt en voorkomt dat het zand terechtkomt in het drainagesysteem (Watertool, 2011). Via terugspoeling kan de biofilm en alle onzuiverheden uit de filter verwijderd worden maar dat is niet noodzakelijk (Watertool, 2011; Chuang *et al.*, 2011). Pas na drie weken zal de langzame zandfilter terug optimaal werken (Watertool, 2011). Het debiet per vierkante meter varieert tussen 0,1 en 0,2 m³/uur (Bar-Zeev *et al.*, 2012).

Snelle zandfiltratie

De snelle zandfiltratie, effectief voor het verwijderen van zwevende deeltjes, vraagt bij aankoop een rijpingsproces van ongeveer drie maanden voordat het water efficiënt kan worden

gefilterd (Bar-Zeev *et al.*, 2012). Snelle zandfiltratie kan ook worden gebruikt als een behandeling op zichzelf (Watertool, 2011). Het debiet van een snelle zandfiltratie is maximaal 300 keer groter dan langzame zandfiltratie en bedraagt dus ongeveer 21 m³ per uur per m² (Watertool, 2011; Bar-Zeev *et al.*, 2012).

Tijdens het filtratieproces stroomt het vervuilde water doorheen het filtermateriaal waardoor de zwevende deeltjes uit het water worden gezeefd. De snelle zandfilter bestaat uit 3 lagen los gestapeld filtermateriaal. De bovenste laag houdt het grootste deel van de zwevende deeltjes tegen. Onder de bovenste laag ligt een laag dat zorgt voor de filtratie van de resterende zwevende deeltjes. De onderste laag geeft een ondersteunende werking naar de bovenliggende lagen toe (Watertool, 2011). In tegenstelling tot langzame zandfiltratie is een regeneratieproces noodzakelijk. Water wordt in de omgekeerde richting door de filter gestuurd en verwijdert de verontreinigingen uit de filter (Bar-Zeev *et al.*, 2012; Park *et al.*, 2015). Na dat regeneratieproces kan een spoeling in de juiste richting het omgewoelde filtermateriaal terug in oorspronkelijke toestand brengen (Watertool, 2011).

1.4.2 Ontijzeren

Het verwijderen van ijzer is een esthetische kwestie omdat een overmaat aan ijzer voornamelijk de organoleptische waterkwaliteit zoals kleur en smaak beïnvloedt (Chaturvedi & Dave, 2012). Er bestaan verschillende methodes om het ijzer te verwijderen.

1.4.2.1 Elektrocoagulatie

De methode van elektrocoagulatie is een veelbelovende techniek door zijn grote scala aan toepassingen zoals het ontijzeren van water, verwijderen van zwevende, opgeloste stoffen en nutriënten. Twee elektrodes, namelijk een kathode en anode, worden ondergedompeld in het water. De keuze van elektrodemateriaal hangt af van de prijs, inertie en het oxidatiepotentiaal (Chaturvedi & Dave, 2012). Elektroden van ijzer en aluminium zijn zeer effectief voor het verwijderen van verontreinigingen (Chaturvedi & Dave, 2012; Delaire *et al.*, 2017).

Het coagulant komt vrij door het elektrolytisch oplossen van de anode en aan de kathode ontwikkelt zich waterstof en zuurstof. Het doel van deze techniek is aggregatie, neerslagvorming van gesuspendeerde deeltjes en adsorptie van opgeloste verontreinigingen. De kleine bellen van waterstof en zuurstof botsen met de luchtbellen en verdrijven de verontreinigde deeltjes. De reacties aan de elektrodes worden weergegeven in formule 1-10 en 1-11 (Chaturvedi & Dave, 2012).



De gecoaguleerde aggregaten reageren met de bubbels en drijven naar het oppervlak (flottatie) of bezinken naar de bodem (sedimentatie). Bij een hoge concentratie treedt er meer flottatie op dan sedimentatie. De gegenereerde producten van de elektrodereactie reageren met elkaar (formule 1-12) (Chaturvedi & Dave, 2012).



Het gevormde aluminiumhydroxide zal opgeloste anorganische verbindingen aan het actieve oppervlakte adsorberen en colloïdale deeltjes vangen. Het aluminiumhydroxide kan worden verwijderd via sedimentatie of flotatie (Chaturvedi & Dave, 2012).

Ijzer in oplossing komt voor onder de vorm van Fe^{2+} in afwezigheid van zuurstof en bij een pH lager dan 6,5. Bij elektrocoagulatie komt er zuurstof vrij waardoor ijzer zal oxideren tot Fe^{3+} . De reactie wordt weergegeven in formule 1-13 (Chaturvedi & Dave, 2012).



Bij een hogere pH wordt de verwijdering van ijzer hoofdzakelijk bereikt door adsorptie van ijzerhydroxide aan de actieve oppervlakte van de coagulanten (Chaturvedi & Dave, 2012).

Elektrocoagulatie is een veelbelovende techniek door zijn voordelen zoals grote verwerkingscapaciteit en het niet toevoegen van chemicaliën en ontsmettingsmiddelen. De efficiëntie van de elektrocoagulatie is 95 tot 99 procent (Chaturvedi & Dave, 2012).

1.4.2.2 Oxidatie-filtratie

Een tweede methode voor het verwijderen van ijzer en mangaan is oxidatie-filtratie. Zoals de naam het zegt, bestaat die methode uit twee stappen namelijk oxidatie en filtratie. Aan het te ontijzeren water wordt een oxidant toegevoegd waardoor het ijzer zal oxideren. Daarbij ontstaat een onoplosbare verbinding die zal neerslagen. Typische oxidanten voor waterbehandeling zijn chloor, chlooroxide, kaliumpermanganaat en ozon. De dosering van het oxidant moet nauwkeurig gebeuren door geschikte apparatuur. Bij een tekort aan oxidant zal niet al het ijzer worden geoxideerd. Een overmaat van oxidant zal een economisch nadeel met zich meebrengen en geeft bijvoorbeeld in het geval van kaliumpermanganaat een roze kleur aan het water. Eveneens zullen bacteriën, die gedijen in een verhoogde ijzerconcentratie, en andere ziekteverwekkende bacteriën afsterven. De volgende stap is filtratie zodat de neerslag wordt verwijderd (Chaturvedi & Dave, 2012).

Oxidatie-filtratie is erg eenvoudig en heeft een efficiëntie van 80-90%. De pH moet gelegen zijn tussen 7,5 en 8,5. Eenmalig zal de kost voor geschikte doseerapparatuur moeten worden gemaakt. De overige kosten voor oxidatie-filtratie is de aankoop van het oxidant. Een bijkomstig nadeel van die techniek is de moeilijkheid van veilig transport en opslag van het oxidant (Chaturvedi & Dave, 2012).

Een hoog waterverbruik is gerelateerd aan een hoog oxidantverbruik en dus een hoge kost. Om deze kost te vermijden, is het gebruik van zuurstof als oxidant een goedkopere methode. Daarbij wordt het water door poreuze bladen gestuurd zodat het in contact komt met zuurstof uit de lucht. Zuurstof is geen sterke oxidant waardoor het water geen grote organische moleculen en humus mag bevatten. Zo worden sterke complexen met ijzer vermeden (Chaturvedi & Dave, 2012).

Een toepassing van die methode is groenzand. Het bestaat uit bolvormige korrels van het zeoliet glauconiet gecoat met mangaanoxide. Het opgeloste ijzer en mangaan worden geoxideerd door de coating van mangaanoxide en slaan neer. Geleidelijk neemt de oxidatiecapaciteit af en moet dus worden hersteld. De herstelling gebeurt door de regeneratie met kaliumpermanganaat (Chaturvedi & Dave, 2012). Voor het verwijderen van de neerslag en vervuilde deeltjes in de zeolietfilter is terugspoeling noodzakelijk (Watertool, 2011; Chaturvedi & Dave, 2012). Zeolietfiltratie vereist een pH van minstens 7. Bij een pH lager dan 7 moeten chemicaliën worden toegevoegd om de pH te verhogen (Chaturvedi & Dave, 2012).

1.4.2.3 Actieve koolfiltratie

Een actieve koolfilter verwijdert niet alleen ijzer en mangaan maar ook resterende ontsmettingsmiddelen en organische bestanddelen. Dat zorgt voor een verbetering van de smaak, geur en kleur. Actieve koolfiltratie heeft als groot voordeel dat het toevoegen van chemische

of andere reinigingsproducten overbodig is. Korrelvormige actieve kool is het effectiefst door zijn grote oppervlakte-volume verhouding (Jacobsen, 2004; Chaturvedi & Dave, 2012).

Actieve kool is een poreus materiaal en bestaat uit een cluster van koolstofatomen. De koolstof wordt geactiveerd door oxiderende gassen bij extreem hoge temperaturen door het materiaal te voeren. Daardoor wordt het materiaal een adsorptiemiddel (Chaturvedi & Dave, 2012).

Het adsorptieproces is afhankelijk van verschillende factoren zoals fysische eigenschappen van de actieve kool, chemische aard van de koolstofbron, verontreiniging, temperatuur, stroomsnelheid en pH van het water. De fysische eigenschappen houden de hoeveelheid en verdeling van poriën in. De beste filtratie vindt plaats bij poriën die net groot genoeg zijn voor de verontreinigde moleculen. Het activeringsproces bepaalt de chemische aard van het oppervlak van de koolstofbron (Chaturvedi & Dave, 2012).

1.4.2.4 Ionenuitwisseling

Ionenuitwisseling kan enkel worden gebruikt voor het verwijderen van kleine hoeveelheden ijzer en mangaan (Chaturvedi & Dave, 2012). Bovendien zullen calcium en magnesium, die verantwoordelijk zijn voor de hardheid van het water, maar ook nitriet en nitraat worden verwijderd. Ionenuitwisseling is gebaseerd op het gebruik van synthetische harsen of zeoliet die verzadigd zijn met natrium (Watertool, 2011; Chaturvedi & Dave, 2012). Aan het oppervlak wordt natrium uitgewisseld met ijzer-, mangaan-, calcium-, magnesium-, nitriet- en nitraationen. Tijdens dat proces mag er zeker geen oxidatie optreden. Oxidatieproducten bedekken en vervuilen de hars waardoor de harscapaciteit vermindert. Het reinigen van de hars met zuur of natriumwaterstofsulfaat verwijdert de ongewenstheden (Chaturvedi & Dave, 2012).

Op een bepaald moment is het harsbed of het zeoliet volledig verzadigd met ijzer-, mangaan-, calcium-, magnesium-, nitriet- en nitraationen. Doordat er geen natriumionen beschikbaar meer zijn, is regeneratie noodzakelijk. Het hars wordt ondergedompeld in een zoutpekelplossing en wordt nadien samen met de ionen weggespoeld naar een aparte tank (Chaturvedi & Dave, 2012).

De effectiviteit van ionenuitwisseling is 90%. De methode heeft geen specifiek pH-gebied. Het natriumgehalte in het water zal sterk toenemen wat ongewenst kan zijn. Een alternatief voor natrium is kalium met als nadeel dat kalium duurder is dan natrium (Chaturvedi & Dave, 2012).

1.4.2.5 Bioremediatie

Een methode van toenemend belang is bioremediatie waarbij gebruik wordt gemaakt van het metabolisme van micro-organismen en werkt het beste in anaerobe omstandigheden. Bioremediatie kan spontaan plaatsvinden (intrinsieke bioremediatie) of kan aangemoedigd worden door toevoeging van meststoffen om de biologische beschikbaarheid te verhogen (biostimulatie). Als de verontreinigingen niet geabsorbeerd of gevangen kunnen worden door de micro-organismen, wat het geval is bij zware metalen zoals cadmium en lood, is bioremediatie geen goede behandeling (Chaturvedi & Dave, 2012).

Bioremediatie wordt voornamelijk gebruikt om elektrondonoren uit waterbronnen te verwijderen. Het resultaat is biologisch stabiel drinkwater met uitsluiting van microbiële hergroei tijdens volgende behandelingen of distributie. Voorbeelden van elektrondonoren, die verwijderd worden door bioremediatie met effectiviteit van 70%, zijn opgelost ijzer en mangaan (Chaturvedi & Dave, 2012).

1.4.3 Elektrische geleidbaarheid (EC)

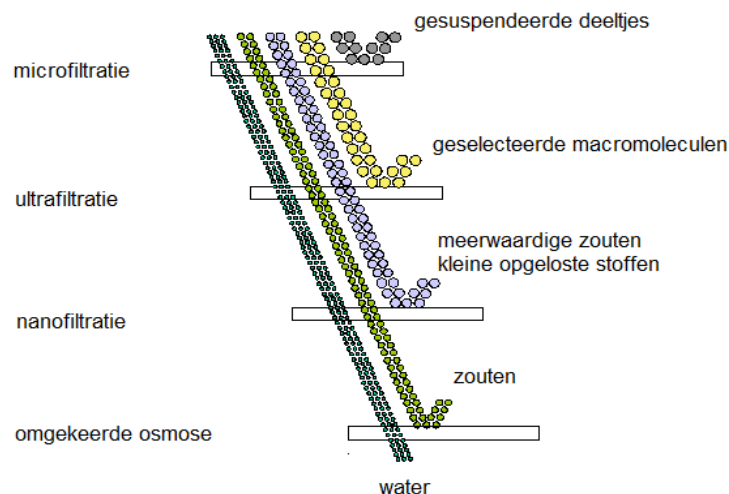
Een hoge elektrische geleidbaarheid is gerelateerd aan een hoog zoutgehalte. Om zouten uit het water te verwijderen zijn nanofiltratie en omgekeerde osmose een doeltreffende behandeling (Corral *et al.*, 2014).

1.4.3.1 Nanofiltratie

Naast het verlagen van de elektrische geleidbaarheid is nanofiltratie een doeltreffende methode voor het verwijderen van meerwaardige zouten, kleine opgeloste stoffen en natuurlijk organisch materiaal, beter gekend als NOM (Watertool, 2011; Shan *et al.*, 2016). Nanofiltratie behoort tot membraanfiltratie. De hydrostatische drukkracht, die het water doorheen het semi-permeabel membraan perst, is 5 tot 30 bar. Nanofiltratie heeft een laag energieverbruik en een hoge efficiëntie maar krijgt te kampen met membraanvervuiling (Shan *et al.*, 2016).

1.4.3.2 Omgekeerde osmose

Omgekeerde osmose is de koploper voor het verlagen van de elektrische geleidbaarheid. Het is een zeer efficiënte methode voor ontzilting. Ontzilten betekent het bereiden van zoetwater uit zout- of brakwater. Omgekeerde osmose behoort net zoals nanofiltratie tot membraanfiltratie. Omgekeerde osmose garandeert water van superieure en stabiele kwaliteit (Istirokhatun *et al.*, 2018). Figuur 1-9 toont de werking van de verschillende membraanfiltraties (Watertool, 2011).



Figuur 1-9 Werking micro-, ultra-, nanofiltratie en omgekeerde osmose (Watertool, 2011)

1.4.4 Desinfectie

Waterontsmettingstechnieken beschermen mensen en dieren tegen wateroverdraagbare ziekteverwekkers (Wang *et al.*, 2014). Desinfectie kan zowel door fysische als chemische behandeling (Boczek *et al.* 2010).

1.4.4.1 UV-behandeling

UV-behandeling is een fysische behandeling voor het ontsmetten van water (Christensen & Linden, 2003; Boczek *et al.*, 2010). Die behandeling gebruikt UV-C, ultraviolet met een golflengte tussen de 100 en 280 nm, om micro-organismen te inactiveren. De celwand van micro-organismen is doorlaatbaar voor UV-C en die straling wordt geabsorbeerd door de eiwitten en nucleotiden. De structuur van het DNA of RNA van de micro-organismen wordt verstoord waardoor functioneren en reproductie niet meer mogelijk is (Li *et al.*, 2017). Echter

moet het desinfectieapparaat een letale dosis garanderen (Christensen & Linden, 2003). Een UV-dosis is de hoeveelheid UV-energie per oppervlakte-eenheid die op een oppervlakte valt (Li *et al.*, 2017).

Het UV-desinfectiesysteem bestaat uit één of meer UV-lampen en een leiding waardoor het water stroomt. De vloeistofstroom doorheen die leiding is zeer turbulent waardoor micro-organismen complexe en onverwachte trajecten afleggen. (Li *et al.*, 2017).

UV-straling wordt beïnvloed door gesuspenderde stoffen (troebelheid), ijzerconcentratie en hardheid (Wisbeck *et al.*, 2011). Een voorbehandeling zoals filtratie is daardoor noodzakelijk. Gesuspenderde stoffen in ongefilterd water zorgen voor absorptie en verstrooiing van het UV-licht wat leidt tot verminderde effectiviteit (Christensen & Linden, 2003). De prestatie van UV-C is afhankelijk van de soort en de hoeveelheid micro-organismen (Li *et al.*, 2017).

1.4.4.2 Chloorhoudende desinfectiemiddelen

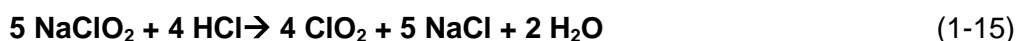
Chloorhoudende desinfectiemiddelen zorgen voor een chemische behandeling van het water (Boczek *et al.*, 2010; Ghernaout & Ghemaout, 2010). Traditioneel is chlorering de meest voorkomende methode van desinfectie (Ghernaout & Ghemaout, 2010). Ondanks de verschillende nadelen zijn er meerdere chloorhoudende infectiemiddelen op de markt gebracht (Boczek *et al.*, 2010).

Chloor

Chloor is een chemisch desinfectiemiddel en wordt op grote schaal gebruikt voor de behandeling van drinkwater. Het toevoegen van chloor is relatief goedkoop en werkt effectief. Het gebruik van chloor brengt ook nadelen met zich mee zoals de vorming van ongewenste bijproducten (Wang *et al.*, 2014). Chloor is een niet-selectief oxidatiemiddel en reageert met natuurlijk organisch materiaal ter vorming van kankerverwekkende en mutagene producten (Boczek *et al.*, 2010; Simon *et al.*, 2014; Wang *et al.*, 2014). Die gevormde producten bevatten trihalomethanen en halogeenazijnzuren (Wang *et al.*, 2014). Chloor in drinkwater zorgt voor een ongunstige smaak en geur (Kerwick *et al.*, 2005).

Chloordioxide

Chloordioxide, met brutoformule ClO_2 , biedt meer voordelen dan chloor (Wang *et al.*, 2014). Het geelgroene gas heeft een prikkelende geur. Door de moeilijke transporteerbaarheid van chloordioxide wordt het ter plaatse zorgvuldig gemaakt (Watertool, 2011; Lenntech, 2018). Om chloordioxide te bekomen, worden zoutzuur of chloor samengevoegd met natriumchloriet (formule 1-14 en 1-15) (Lenntech, 2018).



Het wordt het beste bewaard als vloeistof bij een temperatuur van 4°C. Echter is langdurige bewaring geen optie omdat het langzaam uiteenvalt in chloor en zuurstof (Lenntech, 2018). Chloordioxide is een succesvolle methode voor de beheersing van microbiële groei en verwijdering van biofilms (Ayyildiz *et al.*, 2011; Simon *et al.*, 2014). De anorganische verbinding heeft een sterker bacteriedodend effect bij een pH van 7 tot 8. Bovendien produceert chloordioxide minder ongewenste bijproducten en is het een selectief oxidatiemiddel (Simon *et al.*, 2014; Wang *et al.*, 2014).

De werking van chloordioxide is afhankelijk van de pH, watertemperatuur, dosering, contacttijd, gesuspenderde deeltjes en de organische belasting. Binnen het pH-bereik van 3-9 kan chloordioxide effectief micro-organismen inactiveren. Een verhoogde watertemperatuur, do-

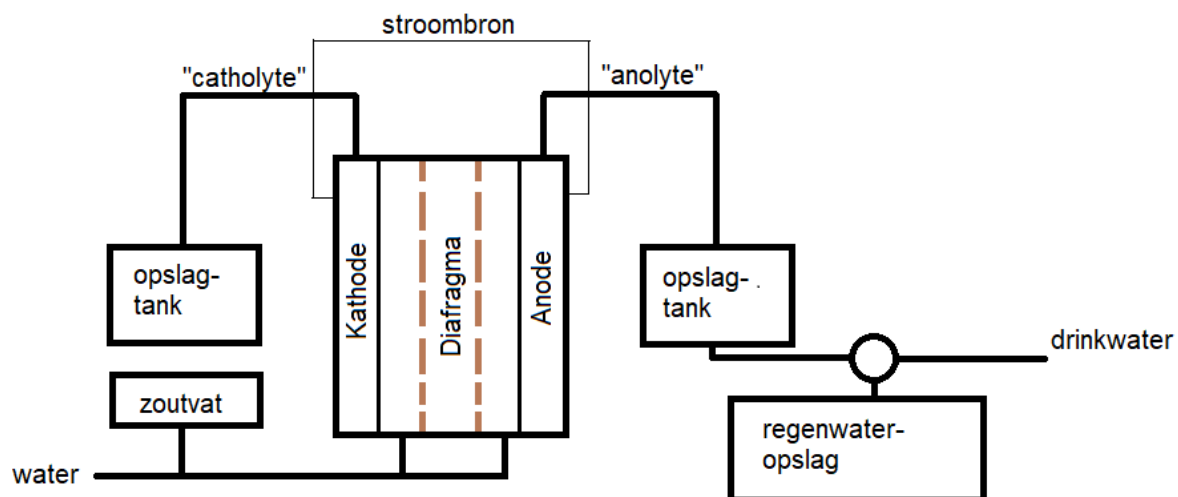
sering en contacttijd begunstigt het ontsmettend effect. Door de aanwezigheid van gesuspendeerde deeltjes en oxidatie van ClO_2 door organische verbindingen neemt de biocide werking sterk af. Het is belangrijk om het aantal verontreinigingen op voorhand goed in te schatten om de dosering zo goed mogelijk af te stellen. Dosis in overmaat leidt tot een economisch verlies (Ayyildiz *et al.*, 2011). De nadelen van ClO_2 zijn de lage stabiliteit en de productie van chloriet en chloraat (Simon *et al.*, 2014).

Natriumhypochloriet

Natriumhypochloriet heeft als brutoformule NaClO . Het transport en opslag van natriumhypochloriet is veiliger en gemakkelijker dan chloor (Wang *et al.*, 2014). Tijdens opslag kan de chloorconcentratie worden verminderd (Bouland *et al.*, 2005).

1.4.4.3 Elektrochemische activering

ECA staat voor elektrochemische activering. De methode inactieveert pathogene micro-organismen en zorgt voor de verwijdering van biofilms zonder risico voor mens, dier of plant (Kerwick *et al.*, 2005; Salathe *et al.*, 2009; Annolytech, 2019). De ECA-methode wordt schematisch weergegeven in figuur 1-10.



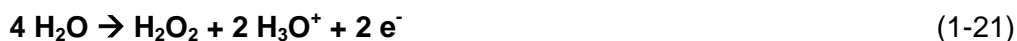
Figuur 1-10 Schematisch overzicht van de werking van een ECA-toestel

De eerste stap van dat proces is het verkrijgen van een elektrochemisch geactiveerde vloeistof. Aan water wordt natuurlijk zout, meestal onder de vorm van natriumchloride of kaliumchloride, toegevoegd tot een verzadigde zoutoplossing. Het zout is afkomstig van een zoutvat (Salathe *et al.*, 2009). Kaliumchloride kent zijn toepassing in de tuinbouw (hydrocultuur) doordat het zout onschadelijk is voor plantenwortels. Natriumchloride wordt gebruikt in de landbouw en industrie (Activwater, 2019). De activatie van de zoutoplossing gebeurt in de elektrolytische reactor of diafragma cellen. De reactor bestaat uit twee compartimenten of kamers namelijk een kathodekamer met één of meer kathoden (negatieve elektroden) en een anodekamer met één of meer anoden (positieven elektroden). De twee compartimenten zijn van elkaar onderscheiden door een diafragma of een keramisch membraan dat ondoordringbaar is voor ongeladen deeltjes. Over de elektroden wordt een spanning aangelegd met elektrolyse tot gevolg. In de anode- en kathodekamer vinden respectievelijk oxidatie en reductie plaats (Salathe *et al.*, 2009).

Aan de anode ontstaat voornamelijk zuurstof en chloorgas (Salathe *et al.*, 2009). De reacties worden weergegeven in formule 1-16 en 1-17.



Aan de kant van de anode ontstaan secundaire reacties, weergegeven in formule 1-18 tot en met 1-21. In de vloeistof lost het chloorgas op en vormt het chloor- en hypochlorietionen. Die ionen reageren met protonen of H_3O^+ -ionen ter vorming van zoutzuur en waterstofhypochloriet. Chloride-ionen in combinatie met hydroxide leidt tot chloordioxide. Zuurstof reageert met water ter vorming van ozon. Waterstofperoxide wordt gevormd uit water (Salathe *et al.*, 2009).



Door de vorming van H_3O^+ wordt de oplossing in het compartiment van de anode zuur (Salathe *et al.*, 2009).

Aan de kant van de kathode ontstaan waterstofgas en hydroxide-ionen die met natrium of kalium kunnen binden tot respectievelijk natriumhydroxide of kaliumhydroxide. Die reactie wordt weergegeven in formule 1-22. Door de vorming van hydroxide-ionen wordt de oplossing aan de zijde van de kathode alkalisch (Salathe *et al.*, 2009).



Aan de anode wordt de geconcentreerde zoutoplossing gebruikt voor de productie van een mengsel van sterke oxidanten zoals ozon, chloorproducten, waterstofperoxide en radicalen. Dat mengsel wordt "anolyte" genoemd. Aan de kathode ontstaat er "catholyte" (Kerwick *et al.*, 2005). "Anolyte" heeft een desinfecterende en steriliserende werking terwijl "catholyte" een antioxiderende en ontvettende werking heeft (Watertool, 2011). "Anolyte" wordt in kleine concentraties toegevoegd aan het te desinfecteren water (Ghernaout & Ghemaout, 2010; Cossali *et al.*, 2016).

Elektrochemische ontsmetting is een milieuvriendelijke, goedkope methode (Cossali *et al.*, 2016). Het gevaar, dat komt kijken bij het omgaan en opslagen van chemische producten, wordt vermeden (Kerwick *et al.*, 2007). De installatie is gemakkelijk te bedienen en te onderhouden (Cossali *et al.*, 2016). De werking is krachtiger dan natriumhypochloriet en zeer effectief in het afdoden van bacteriën, virussen, schimmels, gisten, sporen en algen (Activwater, 2019; Anolytech, 2019). De capaciteit van een elektrochemische activering, afhankelijk van de dimensionering, bedraagt 20 tot 1200 liter "anolyte" per uur. Dat betekent dus dat er maximaal 1200 liter "anolyte" per uur gedoseerd kan worden (Envirolyte, 2019).

De efficiëntie van ECA is afhankelijk van stroomsnelheid, stroomdichtheid, elektrodemateriaal, samenstelling van "anolyte" en water (Kerwick *et al.*, 2007; Ghernaout & Ghemaout, 2010). De aanwezigheid van chloorionen verhoogt de efficiëntie van inactivatie. Echter overmatige generatie van chloorionen leidt tot dezelfde nadelen als chlorering. De elektroden zorgen voor de uitwisseling van de elektronen maar ook voor het plaatsvinden van secundaire reacties. Het elektrodemateriaal beïnvloedt dus rechtstreeks de snelheid van de vorming van oxidanten (Ghernaout & Ghemaout, 2010). De meest gebruikte elektrodematerialen zijn titanium, ruthenium en platina maar ECA is een succesvollere techniek bij het gebruik van

borium gedoteerde diamantelektrode. Bij diamantelektroden worden andere sterke oxidanten zoals persulfaat en percarbonaat gevormd wat leidt tot een chloorvrije desinfectie (Polcaro *et al.*, 2007).

Het gevormde “anolyte” wordt opgeslagen in een opslagtank. Het teveel aan “anolyte” kan ook gebruikt worden voor andere toepassingen zoals ontsmetting van stalomgeving en klauwspray. “Anolyte” is een metastabiele oplossing dus de gevormde verbindingen kunnen terug uit elkaar vallen (Envirolyte, 2019). Het gebruik van “anolyte” is toegestaan in de biologische landbouw (Anolytech, 2019). “Catholyte” kan gebruikt worden als reinigingsproduct bijvoorbeeld voor het oplossen van vetten en proteïnen (Activwater, 2019).

1.4.4.4 Ozon

Het proces van ozonisatie vereist verschillende stappen namelijk ozonvorming, ozonoverdracht, contacttijd en eventueel ozonvernietiging. Ozon wordt gegenereerd in het toevoergas met behulp van elektrische puntontlading. Dat toevoergas bestaat uit verrijkt zuurstofgas of lucht. Lucht wordt niet vaak gebruikt omdat die ozonproductie twee tot drie keer meer energie kost in vergelijking met verrijkt zuurstofgas. Bovendien is de ozonproductie in verrijkt zuurstofgas dubbel zo groot dan in lucht. De concentratie ozon dat wordt gegenereerd in lucht is 4-6% en in verrijkt zuurstofgas 10-14%. Voor de productie van 1,0 kg ozon vereist de elektrische puntontlading bij verrijkt zuurstofgas ongeveer 10 kWh elektriciteit. De ozon, dat wordt gegenereerd in het toevoergas, moet worden overgebracht naar het te desinfecteren water. Die stap wordt ozonoverdracht genoemd. De productie van ozon is een hoge economische kost waardoor de overdracht van ozon zo effectief mogelijk moet zijn. Als die overdracht niet 100% is, bevat het afvoergas een bepaalde concentratie ozon. Ozon is een giftig gas waardoor het afvoergas noodzakelijk moet behandeld worden om de resterende ozon te vernietigen. Na vernietiging mag het afvoergas wel worden geloosd. De snelheid van ozonoverdracht is afhankelijk van het contactsysteem en de ozonafbraak. De reactiesnelheid van de ozonafbraak is afhankelijk van de watertemperatuur en samenstelling van de waterbestanddelen. De aanwezigheid van oxideerbaar anorganisch en organisch materiaal resulteert in een snelle reactie. Die snelle reactie is een drijvende kracht voor de ozonoverdracht. Echter moet die reactiesnelheid goed worden gecontroleerd. Een te snelle reactie zorgt ervoor dat het ozon niet in het water terecht komt maar wordt afgebroken aan het gasoppervlak. Dat is nadelig voor de effectiviteit van desinfectie (Summerfelt, 2003).

De effectiviteit van desinfectie kan worden berekend door de vermenigvuldiging van de contacttijd met de resterende ozonconcentratie. De contacttijd is de tijd die nodig is om de ozon te laten reageren met de micro-organismen. Om de gewenste ozondosis te bepalen, moet er rekening gehouden worden met de ozon die verloren gaat door de reacties met anorganische en organische stoffen. De halfwaardetijd van ozon in zuiverwater bij 20 graden Celsius is 165 minuten. Door de aanwezigheid van anorganische en organische stoffen wordt de halfwaardetijd verkort. Indien de dosis voldoende hoog gekozen is, resteert in het water een ozonconcentratie. Alvorens het water bruikbaar is als drinkwater, moet die ozonconcentratie worden verwijderd. De opgeloste ozon kan worden verwijderd door een biofilter of actieve koolfilter, UV-straling of reactie met waterstofperoxide. Echter is de keuze van golflengte bij UV-licht een belangrijk aspect. De golflengten voor het verwijderen van ozon varieert tussen 250-260 nm. Indien de golflengte foutief gekozen is, zoals een golflengte van 185 nm, kan dat leiden tot een ozonproductie (Summerfelt, 2003). De drempelwaarde voor ozon is 10 g/m³ (Emis, 2003).

Ozon is een krachtig werkend oxidatiemiddel. Het heeft een hoge reactiesnelheid waardoor ozon wordt bestempeld als het snelst werkende oxidatiemiddel (Summerfelt, 2003; Silva *et*

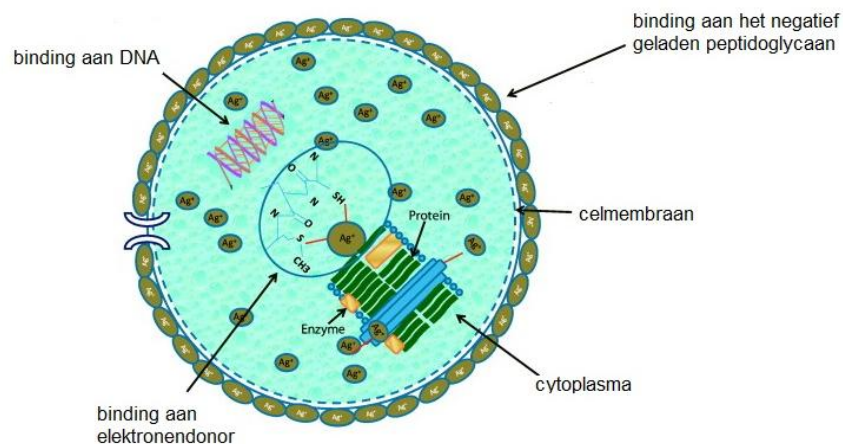
al., 2010). Ozonisatie is door zijn vele voordelen een succesvol alternatief voor chlorering. Ozon, net zoals andere desinfectie methoden, inactieveert micro-organismen. Het scala aan micro-organismen dat wordt geïnactiveerd door ozon is breder dan chloor. Ozonisatie heeft een relatief hoge efficiëntie en verhoogt de zuurstofconcentratie van het uitgaande water. Chloor zorgt voor ongewenste geur terwijl ozonisatie ongewenste geur en kleur verwijdert (Silva *et al.*, 2010). Ondanks deze voordelen wordt ozonisatie nog maar beperkt toegepast in de recuperatie van regenwater tot drinkwater (Watertool, 2011; Silva *et al.*, 2010).

Ozon heeft net zoals chloor ongewenste bijproducten. De vorming van ongewenste bijproducten is echter beperkter dan bij chloor. De oxidatie van organisch materiaal resulteert in de vorming van aldehyden. De belangrijkste gevormde aldehyden zijn formaldehyde (CH_2O), acetaldehyde ($\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$), glyoxal ($\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_2$) en methylglyoxal ($\text{C}_3\text{H}_4\text{O}_2$). Ze zijn potentieel carcinogeen en mutageen (Silva *et al.*, 2010). Een bijkomstig nadeel is dat ozon bepaalde sporenvormende micro-organismen moeilijk kan inactiveren (Summerfelt, 2003).

1.4.4.5 Zilver

Zilververbindingen, op enkele uitzonderingen na, hebben antimicrobiële eigenschappen. Zilvernitraat is een goedgekeurd ontsmettingsmiddel. Het heeft de hoogste microbicide werking van de zware metalen. De concentraties van zilver die nodig zijn voor microbicide werking hebben geen invloed op de smaak, geur en kleur van het water (Nawaz *et al.*, 2012).

Het zilver heeft verschillende werkingsmechanismen. Figuur 1-11 toont die verschillende werkingsmechanismen. Bij gramnegatieve bacteriën bindt het zilver aan het negatief geladen peptidoglycaan in de celwand. Daardoor wordt de energieoverdracht geblokkeerd wat leidt tot een verstoorde celademhaling. Uiteindelijk leidt die verstoorde celademhaling tot de dood. Zilver kan ook binden aan het DNA van het micro-organismen en verhindert de waterstofbinding tussen naburige stikstoffen van pyrimidine en purine. Daardoor wordt de DNA-helix gestabiliseerd en de replicatie en celdeling voorkomen. Zilver heeft het vermogen om te binden aan elektronendonoren die stikstof, zuurstof en zwavel bevatten. Voorbeelden van die elektronendonoren zijn thiolen, aminen, hydroxylen en fosfaten. Door de binding wordt de waterstofoverdracht verhinderd wat leidt tot inactivatie (Nawaz *et al.*, 2012).



Figuur 1-11 Verschillende werkingmethode van Zilver (Nawaz *et al.*, 2012)

De dosis van de zilvertodiening is echter moeilijk te bepalen. Het is afhankelijk van de hoeveelheid te desinfecteren water en de mate van microbiële verontreiniging. Een te lage concentratie aan zilver leidt tot een verminderde effectiviteit. Bovendien kan hergroei plaatsvinden doordat het reproductieproces kortstondig geblokkeerd wordt zonder blijvende schade

toe te richten. Een overmaat aan zilver leidt tot een effectiviteit van 100 %. Echter vanuit economisch oogpunt wordt een overmaat het liefst vermeden (Nawaz *et al.*, 2012).

1.4.4.6 Zonne- desinfectie

Bij zonne-desinfectie, ook gekend als “solar water disinfection” of SODIS, wordt zonne-energie gebruikt voor het verbeteren van de waterkwaliteit. De antimicrobiële werking wordt niet zoals bij UV-behandeling veroorzaakt door UV-C. Die straling wordt door de atmosfeer tegengehouden en bereikt het aardoppervlak dus niet. De straling die wel verantwoordelijk is voor de antimicrobiële activiteit bij zonne-desinfectie is UV-A met een golflengte tussen 315 en 400 nm en in mindere mate zichtbaar violet en blauw licht met een golflengte van 400 tot 490 nm. (Amin *et al.*, 2014).

De efficiëntie van SODIS wordt bepaald door verschillende factoren. Het belangrijkste gegeven voor zonne-desinfectie is zonnestraling. Het proces is enkel in werking bij aanwezigheid van zonnestraling. Een hogere temperatuur van het water heeft een synergetisch effect en zal dus zorgen voor een hogere efficiëntie. Andere belangrijke factoren zijn de troebelheid en pH. Zoals hierboven reeds vermeld, absorberen en verstrooien gesuspendeerde deeltjes de straling waardoor de efficiëntie daalt. Bij een daling van de pH van 10 tot 3 stijgt de efficiëntie met 15 % (Amin *et al.*, 2014).

Niet enkel fysische parameters hebben een invloed op de efficiëntie maar ook de geografische ligging en het seizoen. Zonne-desinfectie is een effectieve methode voor landen met lage breedtegraad dat wil dus zeggen tropisch en subtropische gebieden. De zomermaanden zijn het efficiëntst doordat de zomer wordt gekenmerkt door een hoge zonne-intensiteit en veel uren van zonnestraling (Kohn *et al.*, 2016).

2 PROBLEEMSTELLING, ONDERZOEKSVRAGEN EN DOELEN

Door de toenemende watertekorten en de groeiende landbouwbedrijven wordt het steeds interessanter om alternatieve waterbronnen te gebruiken. Op de meeste landbouwbedrijven kent regenwater een toepassing als reinigingswater. Zelden wordt het water ter beschikking gesteld als drinkwater voor het vee. De recuperatie van regenwater met als doel drinkwater te verkrijgen, vraagt naar meer onderzoek en vormt de basis van deze thesis. De hoofdvraag luidt dus als volgt: "Kan regenwater gebruikt worden als drinkwater voor melkvee?"

Om een antwoord te vinden op die hoofdvraag is het noodzakelijk om de waterkwaliteit en de economische rendabiliteit te onderzoeken. Vanuit de literatuur wordt aangegeven dat de biologische kwaliteit van het regenwater vaak niet voldoet aan de normen en richtwaarden voor drinkwater. Indien de biologische waterkwaliteit niet voldoet, is het landbouwbedrijf genoodzaakt om ontsmettingsmiddelen toe te voegen of een ontsmettingsinstallatie aan te kopen. Bovendien komen de kosten voor ontsmetting en de bijhorende onderhoudskosten bovenop de kosten van regenwateropslag. Om de economische rendabiliteit na te gaan, wordt een berekeningstool ontworpen.

Om die simulatietool voor verschillende melkveebedrijven te kunnen toepassen, zijn nauwkeurige modellen nodig voor de predictie van de drinkwateropname. Daarvoor wordt het vee op het bedrijf opgesplitst in volgende groepen: lacterende koeien, droogstaande koeien en jongvee. De bijhorende onderzoeksvragen worden hieronder opgelijst.

Waterkwaliteit

- Voldoet de biologische kwaliteit van regenwater aan de normen en richtwaarden voor drinkwater?
- Zorgt de ontsmettingsinstallatie (ECA) voor een verbeterde biologische kwaliteit?
- Voldoet de biologische kwaliteit na ontsmetting aan de normen en richtwaarden voor drinkwater?

Waterinname van lacterende koeien, droogstaande koeien en jongvee

- Hoeveel bedraagt de waterinname van lacterende koeien, droogstaande koeien en jongvee?
- Kan de waterinname geschat worden door middel van een lineair model?
 - o Welke parameters hebben een significante invloed op de waterinname?

Tijdens de observaties worden verschillende parameters geregistreerd. De parameters die zowel voor het jongvee, de lacterende als de droogstaande koeien worden onderzocht zijn: temperatuur, luchtvochtigheid, drogestof opname, drogestofgehalte en de werking van ECA-toestel. Voor de temperatuur wordt zowel de binnen- als buitentemperatuur gemeten. Uit die temperatuursmetingen worden de gemiddelde en de minimum temperatuur berekend. De luchtvochtigheid wordt eveneens binnen en buiten geregistreerd.

Ook worden specifieke parameters gedurende de proef verzameld. Voor de lacterende koeien zijn deze: melkgift, pariteit, dagen in lactatie en krachtvoer opname. Bij de droogstaande koeien worden de parameters dagen dracht en pariteit extra verzameld. Het gewicht en de leeftijd zijn de belangrijkste parameters voor het schatten van de waterinname bij jongvee.

3 MATERIAAL EN METHODE

3.1 Onderzoek

3.1.1 Bedrijfsinformatie

Het onderzoek werd uitgevoerd op de Hooibeekhoeve, Hooibeeksedijk 1 te Geel. De Hooibeekhoeve is een praktijk – en voorlichtingscentrum voor melkveehouderij, voedergewassen en plattelandsontwikkeling met onderzoeksthema's zoals jongveeopfok, antibioticagebruik, koecomfort, gewasbescherming enzovoort (Provincie Antwerpen, 2018).

Voor de meeste voedercomponenten is het bedrijf zelfvoorzienend. Het melkveerantsoen bestaat uit kuilmais, graskuil, bietenperspulp, protigold, aminolac en voederkrijt. De droogstaande koeien krijgen een rantsoen van kuilmais, graskuil, gerstestro en sojaschroot. De close-up droogstaande koeien krijgen het rantsoen van de far-off droogstaande koeien met 8 kilogram van het melkveerantsoen erbij per close-up koe. Het jongvee wordt opgesplitst in jongvee jonger dan één jaar en jongvee ouder dan één jaar. Het rantsoen voor jongvee jonger dan één jaar bestaat uit kuilmais met graskuil. Het jongvee ouder dan één jaar krijgt graskuil met hooi gevoederd.

De melkinstallatie is een automatisch melksysteem. De melkveestal is opgedeeld in twee groepen waarbij elke groep voorzien is van een melkrobot. Het aantal melkkoeien per groep bedraagt momenteel gemiddeld 40 waardoor de maximale capaciteit van de robots niet wordt bereikt. Bovendien gebeuren de afkalvingen verspreid over het hele jaar waardoor de bezetting van de robot constant blijft. Het bedrijf heeft een gedwongen koeverkeer namelijk "Feed First". Door het gedwongen koeverkeer zal de robot geen koeien moeten weigeren, wat ervoor zorgt dat capaciteit niet beïnvloed wordt. Krachtvoerverstrekking gebeurt tijdens het melken en in de extra krachtvoerautomaten.

3.1.2 Stalindeling

3.1.2.1 Melkveestal

De melkveestal is ingedeeld in twee groepen. Groep 1 wordt gedefinieerd als het nieuwe stalgedeelte. Het bevat 44 boxen met een separatieruimte van 8 ligboxen. Groep 2 is het bestaande stalgedeelte en beschikt over 48 ligplaatsen. De twee melkveegroepen verschillen voornamelijk van elkaar op basis van stalafmetingen en stalindeling. Figuur 3-1 geeft de stalindeling van de melkveestal weer. Beide groepen hebben een aparte waterkring. Door de verschillen in hoogte, breedte en lengte is het noodzakelijk om temperatuur en luchtvochtigheid te registreren voor beide stalgedeelten afzonderlijk.

3.1.2.2 Jongvee

De jongveestal is opgesplitst in verschillende groepen om een goede uniformiteit te bekomen. Figuur 3-2 geeft een overzicht van de jongveestal (grondplan) weer.

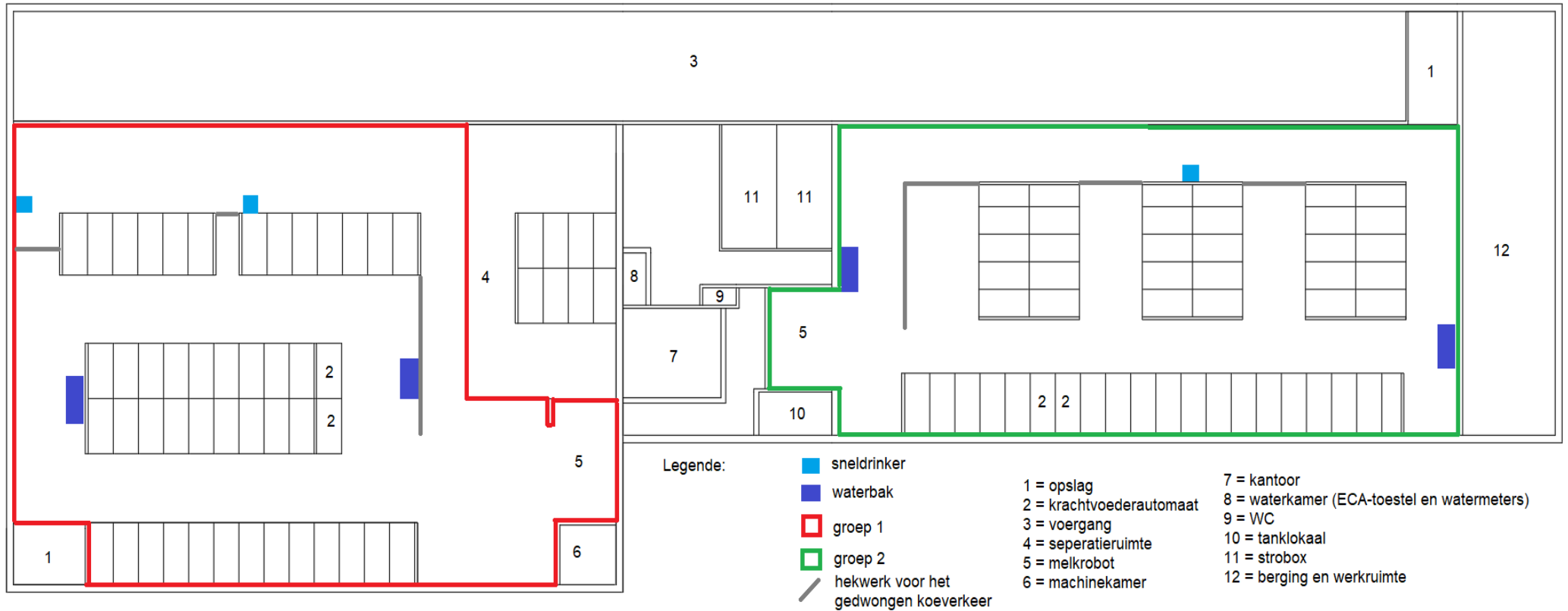
De kalveren komen van de gesloten kalverafdeling, na 14 dagen, in een groephuisvesting met melkautomaat en toegang tot vers water en vast voeder (krachtvoer + stro). Op een leeftijd van 9 weken worden de kalveren gespeend en blijven de kalveren nog op stro staan tot een leeftijd van 3 à 4 maanden. In totaal zijn er vier strohokken aanwezig, waarvan twee met

toegang tot de melkautomaat. Ze worden op het grondplan aangegeven met: kalveren op stro. Ze beschikken over een aparte waterkring namelijk kring 1.

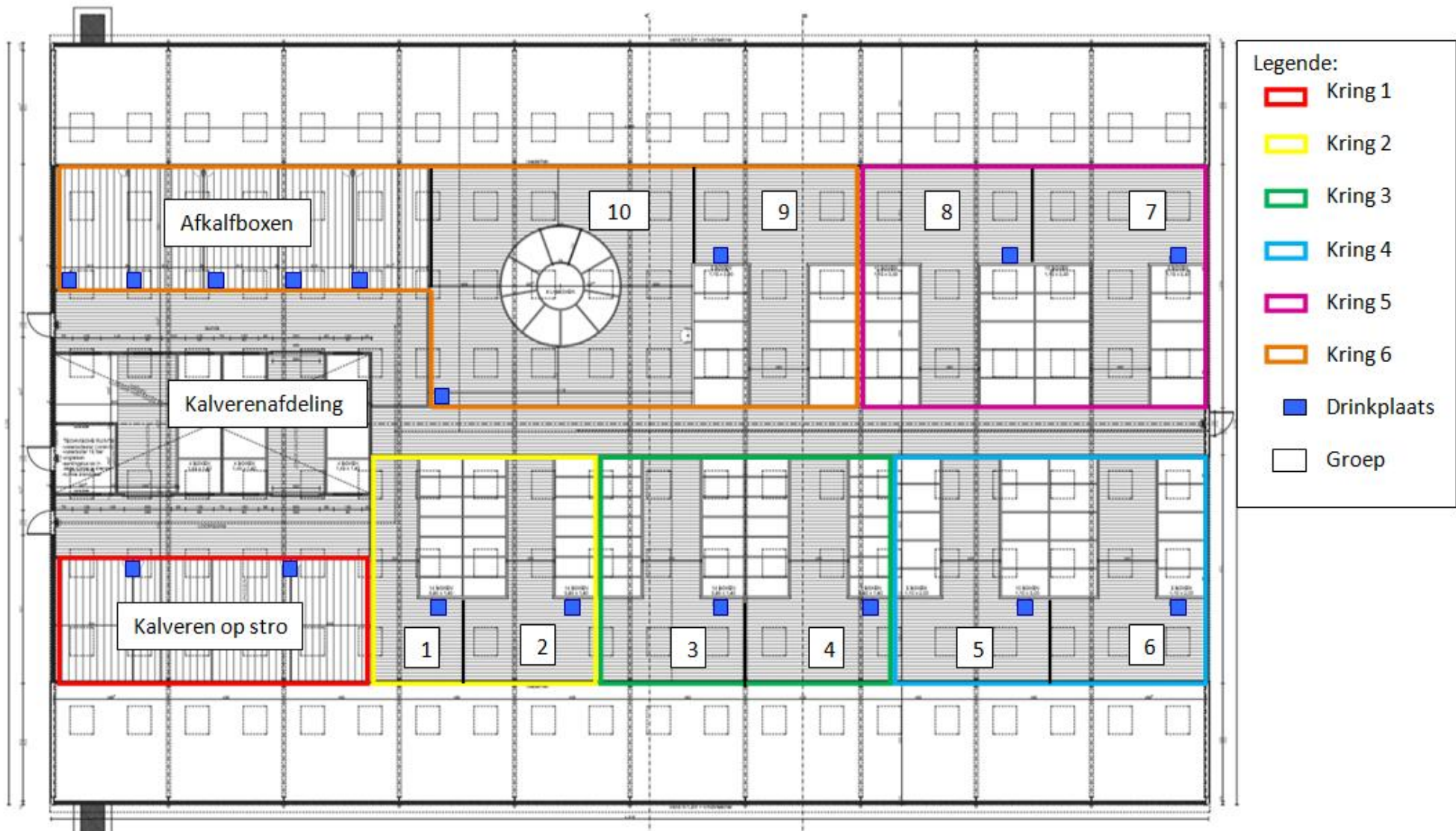
De kalveren van de strohokken worden doorschoven naar de roostervloeren. Op de roosters kunnen maximaal 8 groepen jongvee opgedeeld worden. Op het grondplan (figuur 3-2) zijn ze aangegeven met nummer 1 tot en met 8.

Groep 1 en 2 behoren tot dezelfde waterkring (kring 2). De eerste groep bevat 7 boxen en de tweede groep bevat 14 ligboxen. Groep 3 en 4 behoren tot waterkring 3. Beide groepen hebben 14 ligboxen ter beschikking. Groep 5 en 6 hebben beide 10 ligplaatsen. De waterkring voor die groepen is kring 4. In groep 5 en 6 staan de vaarzen die het gewicht en leeftijd van eerste inseminatie bereikt hebben. Groep 7 en 8, die behoren tot waterkring 5, zijn de drachtige vaarzen. Elke groep bevat 10 boxen. Drie weken voor de verwachte afkalfdatum worden de vaarzen verzet naar de melkveestal. Daar zullen ze wennen aan de werking van de robot, de krachtvoerboxen en kennismaken met de andere koeien. De laatste week voor de verwachte afkalfdatum worden de vaarzen in de strobox in de melkveestal gezet.

De droogstaande koeien zijn eveneens gevestigd in de jongveestal. Ze worden opgedeeld op basis van het aantal dagen dracht. De far-off droogstaande koeien staan in groep op roostervloeren (groep 9). Ze hebben 10 zwevende boxen. De close-up droogstaande koeien staan individueel in stroboxen vanaf 10 dagen voor de uitgerekenende afkalfdatum. In totaal zijn er vijf stroboxen aanwezig. De droogstaande koeien hebben een aparte waterkring (kring 6). Gedurende de proef zijn geen dieren gehuisvest in groep 10.



Figuur 3-1 Indeling van de melkveestal, Hooibeekehoeve



Figuur 3-2 Indeling van de jongveestal, Hooibeekhoeve

3.1.3 Drinkwaterbeschikbaarheid

3.1.3.1 Melkveestal

De sneldrinkers zijn ter beschikking bij de ruimte aan het voederhek. De drinkbakken staan bij de ligboxen. De drinkgelegenheden zijn ook aangeduid op Figuur 3-1. Het bestaande stalgedeelte telt één sneldrinker en twee waterbakken. Tabel 3-1 toont de drinkwatergelegenheden van het bestaande stalgedeelte.

Tabel 3-1 Drinkwatergelegenheden bestaande stalgedeelte, melkveestal Hooibeekhoeve

Type	Hoogte (cm)	Breedte (cm)	Diepte (cm)
Sneldrinker	95	31	22
Drinkbak	84 (tot water)	127	16
Drinkbak	83 (tot water)	131	34

Het nieuwe stalgedeelte heeft twee sneldrinkers en twee waterbakken. De drinkwatergelegenheden van het nieuwe stalgedeelte staat in Tabel 3-2.

Tabel 3-2 Drinkwatergelegenheden nieuwe stalgedeelte, melkveestal Hooibeekhoeve

Type	Hoogte (cm)	Breedte (cm)	Diepte (cm)
Sneldrinker	98	31	22
Sneldrinker	101	31	22
Drinkbak	80 (tot water)	120	34
Drinkbak	85 (tot water)	127	34

3.1.3.2 Jongveestal

De kalveren en de close-up droogstaande koeien hebben een drinkbak met nippel. De verschillende groepen jongvee en de far-off droogstaande koeien hebben telkens één sneldrinker ter beschikking. Tabel 3-3 toont de drinkwatergelegenheden in de jongveestal. De drinkgelegenheden zijn ook aangeduid op Figuur 3-2.

Tabel 3-3 Drinkwatergelegenheden jongveestal, Hooibeekhoeve

Groep	Hoogte (cm)	Breedte (cm)	Diepte (cm)
Kalveren op stro	68	21	19
1	60	31	22
2	60	31	22
3	71	31	22
4	71	31	22
5	80	31	22
6	80	31	22
7	100	31	22
8	100	31	22
9 (far-off)	100	31	22
10	85	31	22
Stroboxen (close-up)	94	24	24

3.1.4 Parameters

De parameters in de melkveestal werden voor de twee groepen apart verzameld. De data-verzameling liep van 9 december 2018 tot en met 24 maart 2019. In de jongveestal werden de gegevens verzameld per waterkring, met uitzondering van de drogestof opname en drogestof gehalte. De observaties werden uitgevoerd van 3 mei 2018 tot en met 25 maart 2019.

3.1.4.1 Waterinname per dier per dag

De registratie van het waterverbruik in de melkveestal gebeurde door middel van camera's. Die camera's werden geïnstalleerd boven de watermeters en trokken om de twee uur een foto. Om het dagelijks waterverbruik te bekomen, werd de stand van de watermeters genomen om middernacht. Het verbruik werd tot op één deciliter nauwkeurig afgelezen. Het aantal melkkoeien werd afgeleid uit het bedrijfsmanagementprogramma "DelProTM" van Delaval.

De watermeters van de jongveestal werden wekelijks afgelezen tot op één deciliter nauwkeurig. Eveneens werd wekelijks het aantal dieren per kring/strobox in de jongveestal geteld. Het aantal droogstaande koeien werd afgeleid uit het managementpakket "CRV Veemanager".

De waterinname per dier per dag wordt berekend door formule 3-1. Het aantal dagen voor de lacterende koeien is gelijk aan één.

$$\text{Waterinname per dier per dag} = \frac{\text{watermeterstand} - \text{watermeterstand (vorige meting)}}{\text{aantal dagen} * \text{aantal dieren}}$$

(3-1)

3.1.4.2 Buitentemperatuur en –luchtvochtigheid

De buitentemperatuur en –luchtvochtigheid worden dagelijks geregistreerd door het weerstation in Retie. Dat weerstation bevindt zich naast de Hooibeekhoeve. Doordat in de literatuur zowel modellen te vinden zijn met de gemiddelde temperatuur als met de minimum temperatuur, worden beide geregistreerd. Zo kan later geconcludeerd worden welke temperatuur (gemiddelde of minimum) het meest geschikt is in het model. Uit de gegevens van het weerstation wordt voor de jongveestal de gemiddelde en minimum temperatuur en luchtvochtigheid berekend voor de periode tussen twee metingen.

3.1.4.3 Binnentemperatuur en –luchtvochtigheid

Voor de registratie van binnentemperatuur en –luchtvochtigheid werden loggers opgehangen. De loggers registreerden om het uur de temperatuur en luchtvochtigheid. Daaruit wordt de gemiddelde temperatuur en luchtvochtigheid voor de melkveestal per dag en voor de jongveestal over het aantal dagen tussen twee metingen berekend. Eveneens gebeurt daarbij de registratie van de minimum temperatuur.

In de jongveestal werd één logger opgehangen van het merk "Easylog". Het type logger is EL-USB-2-LCD+. Het bereik voor temperatuur is -35°C tot +80°C met een nauwkeurigheid van 0,5°C. Het bereik voor relatieve vochtigheid bedraagt 0% tot 100% met een nauwkeurigheid van 0,5%. De geregistreeerde data werd uitgelezen naar het Easylog software (Lascar, 2019).

In de melkveestal werd een logger opgehangen in het nieuwe en het bestaande stalgedeelte. Beide loggers zijn van het merk "Tinytag". De Tinytag Plus 2 (TGP-4500) registreert de parameters door middel van ingebouwde sensoren. Het temperatuurbereik is -25°C tot +85°C tot op 0,001 °C nauwkeurig. Het bereik voor de relatieve luchtvochtigheid is 0% tot 100% met een nauwkeurigheid van 0,1%. De gegevens werden uitlezen naar het Tinytag Explorer software (Tinytag, 2018).

3.1.4.4 Drogestof opname en –gehalte

De voedermengwagen is uitgerust met een elektrisch weegstelsel van “Digi-star”. Het registreert het geladen gewicht van de verschillende voedercomponenten van het rantsoen met een nauwkeurigheid van 5 kilogram. Doordat de chemische analyseresultaten van de verschillende voedercomponenten in het programma van “Digi-star” werden ingegeven, is het programma in staat om het drooggewicht te berekenen. De voedermengwagen registreert ook het geleverd gewicht, met andere woorden het totaal gevoederd gewicht. De voergegevens werden uitgelezen naar een softwareprogramma van Digi-star.

Om de drogestof opname per dier te kennen, wordt aangenomen dat er geen restvoeder overblijft. Voor de jongveestal wordt een aanname gemaakt dat er steeds gevoederd wordt om 12 uur 's middags. Bij de lacterende koeien wordt er gevoederd om 8 uur 's morgens. Het drogestofgehalte van het ruwvoer wordt berekend door de verhouding van drooggewicht op het geleverd gewicht.

3.1.4.5 ECA

Het effect van de werking van het ECA-toestel wordt opgenomen in de parameter “ECA”. Die parameter is een binaire variabele. Als het ECA-toestel in werking is, met andere woorden er is ontsmetting, is de parameter 1. Tijdens de periodes waarin het ECA toestel defect is, dus geen ontsmetting, krijgt de variabele de waarde 0.

3.1.4.6 Pariteit, dagen in lactatie, melkgift en krachtvoeropname

De pariteit, aantal dagen in lactatie, melkgift en krachtvoeropname werden overgenomen uit het bedrijfsmanagementprogramma “DelProTM” van Delaval. Per groep wordt het gemiddelde van die parameters per dag berekend.

Bij de pariteit wordt gewerkt met een lineaire schaal, namelijk pariteit één, twee, drie enzovoort.

Voor de melkgift wordt aangenomen dat de melkproductie tussen twee melkbeurten volgens een constant niveau verloopt. Om de dagelijkse melkgift te kennen, worden de verschillende melkgiften per dag gesommeerd. Echter wordt bij de eerste melking van de dag steeds rekening gehouden met de hoeveelheid melk dat nog de vorige dag geproduceerd is. Die hoeveelheid wordt opgeteld bij de melkgift van de vorige dag.

De krachtvoeropname wordt opgesplitst in drie soorten. Krachtvoer 1 is het evenwichtig krachtvoer. Krachtvoer 2 is een eiwitkern en krachtvoer 3 is een antioxidantmix met β -caroteen, biotine, vitamine E, selenium, methionine en etherische oliën. Krachtvoer 3 kan enkel worden gevoederd in het bestaande stalgedeelte.

3.1.4.7 Aantal dagen dracht

Het aantal dagen dracht is een parameter die enkel wordt meegenomen bij de droogstaande koeien. Door middel van het managementpakket “CRV Veemanager” werden de verschillende inseminatie-, droogzet- en afkalldata opgezocht. Op basis van die data wordt het gemiddeld aantal dagen dracht berekend.

3.1.4.8 Gewicht en leeftijd

Voor het jongvee werden de parameters gewicht en leeftijd geregistreerd. Het jongvee werd 1 à 2 keer per maand gewogen met behulp van een veeweger. Uiteindelijk wordt het gemiddelde gewicht per kring over de periode berekend. Door middel van het managementpakket “CRV Veemanager” werden de verschillende geboortedata opgezocht. Daaruit wordt de gemiddelde leeftijd per kring over de periode berekend.

3.1.5 Regenwaterrecuperatie

Het regenwater wordt opgevangen via het dakoppervlak van de melkvee- en jongveestal. Tabel 3-4 toont de afmetingen van de daken van de jongvee- en melkveestal.

Tabel 3-4 Berekening dakoppervlakte van de jongvee- en melkveestal, Hooibeekhoeve

Dak	Breedte dak (m)	Lengte dak (m)	Oppervlakte dak (m ²)
Nieuwe melkveestal links	18,96	29,45	558,37
Nieuwe melkveestal rechts	9,98	29,45	293,91
Bestaande stal rechts	8,54	45,00	384,30
Bestaande stal links	13,91	45,00	625,95
Jongveestal links	20,13	49,15	989,39
Jongveestal rechts	20,13	49,15	989,39

De regenwateropslag is voorzien onder de voergang van het nieuwe gedeelte van de melkveestal. De put heeft volgende afmetingen: 23,6 meter lang, 4,5 meter breed en 2,5 meter diep. De maximale inhoud van de put is dus 265,5 m³. Aan de put is een overloop naar de dichtstbijzijnde gracht voorzien. Bij een tekort aan regenwater wordt overgeschakeld op leidingwater (PIDPA).

Aan de hand van de weergegevens van het weerstation naast de Hooibeekhoeve kan een schatting worden gemaakt van de hoeveelheid neerslag per jaar. Om een goede schatting te maken, worden de neerslaggegevens vanaf 2011 in rekening gebracht.

3.1.6 Regenwaterbehandeling

Het regenwater wordt behandeld op basis van elektrochemische activering. Na enkele jaren werking werd het toestel op non-actief gezet omwille van enkele storingen en de verbouwwerkzaamheden aan de melkveestal. Sinds december 2018 is het toestel weer in werking. Echter verliep de opstart met enkele storingen. De uiteindelijke werkingsperiodes gedurende de proef zijn 13 december tot en met 17 december, 15 januari tot en met 26 januari en 14 februari tot en met 25 maart. De dosering staat gedurende de proef op 10% anolyte.

Om de waterkwaliteit voor en na de ontsmetting te kennen, werden wateranalyses uitgevoerd door het Provinciaal Instituut voor Hygiëne. De stalen werden genomen in de regenwaterput door een touw met emmer en aan een kraan in de jongvee- en melkveestal. De analyses geven informatie over organoleptische, chemische en biologische waterkwaliteit. Vijf stalen werden verspreid ingepland tijdens de werking van het ECA-toestel. Echter door de korte werkingsperiode werden maar drie stalen genomen. Drie gepaarde metingen hebben weinig statistische kracht waardoor het gebruik van analyseresultaten van voor de proefperiode zich opdrongen. Die gepaarde resultaten dateren van 2012, 2014 en 2015. Voor de verwerking worden dus zowel recente als historische data gebruikt.

3.1.7 Totstandkoming simulatietool

Het gebruik van regenwater als drinkwater op melkveebedrijven is tot op heden enorm beperkt. De ontwikkeling van deze simulatietool heeft als doel de economische rendabiliteit weer te geven en dus de landbouw(st)er te stimuleren om regenwater te recuperen.

Een belangrijk aspect is drinkwater op een melkveebedrijf. Door middel van lineaire modellen wordt de drinkwaterbehoefte voor jongvee, lacterende en droogstaande koeien voorspeld op basis van parameters. In de tool zijn aan de parameters standaardwaarden toegewezen. Die standaardwaarden zijn berekend op basis van de observatieperiode op het bedrijf 'de Hooibeekhoeve'. Door die parameters in te vullen met bedrijfseigen kengetallen, krijgt de landbouw(st)er een scenario voor zijn/haar bedrijf.

Eerst wordt de kostprijsbesparing berekend zonder rekening te houden met kosten zoals onderhoud, installatie en dergelijke. De gemiddelde hoeveelheid opgevangen neerslag per jaar wordt berekend door de gemiddelde hoeveelheid jaarlijkse neerslag te vermenigvuldigen met de dakoppervlakte. Om de tool gebruiksvriendelijk te houden, wordt aangenomen dat de dakoppervlaktes aan beide zijden van de noklijn gelijk zijn. Daardoor bedraagt de hellingcoëfficiënt 1. Een waarde van 0,95 voor de dakbedekkingcoëfficiënt wordt eveneens aangenomen.

Daarna wordt, afhankelijk van de ontsmettingsmethode en de aanwezigheid van regenwateropslag, de kostprijsbesparing berekend met eveneens de periode waarover de investeringskosten worden terugverdiend.

De prijzen van verschillende ontsmettingsmethoden werden opgevraagd bij verschillende bedrijven via e-mail. Slechts één bedrijf heeft de prijs van zijn installatie (ECA-toestel) gegeven. In de tool is ruimte ontwikkeld voor de verschillende ontsmettingsmethoden maar het aanduiden van de ontsmettingsmethode is niet mogelijk. De prijzen kunnen in de toekomst nog aangevuld worden.

De handleiding voor de simulatietool wordt weergegeven in bijlage B.

3.2 Statistische analyses

De statistische analyses worden uitgevoerd met het softwarepakket "SPSS". Conclusies worden genomen op een significantieniveau van 10%.

3.2.1 Waterkwaliteit

De bekomen data zijn gepaarde metingen. Om de normaliteit van de gegevens na te gaan, wordt het verschil berekend tussen de twee variabelen, met andere woorden het verschil tussen voor en na de behandeling. De beoordeling van normaliteit gebeurt met de "Kolmogorov-Smirnov" test. Eveneens wordt de symmetrie van de gegevens nagegaan op basis van een "boxplot". Bij afwezigheid van symmetrie en normale verdeling wordt een niet-parametrische test gebruikt, namelijk de "Sign test".

3.2.2 Lacterende koeien

De normaliteit van de parameters wordt per groep gecontroleerd door gebruik te maken van de "Kolmogorov-Smirnov" test. Bij normaliteit worden de verwachtingswaarden vergeleken met een "Independent samples T-test". Indien de normaliteit afwezig is, wordt gebruikt gemaakt van een niet-parametrische test. De "Mann-Whitney U Test" komt daarvoor in aanmerking. Indien de verwachtingswaarden van groep 1 en 2 significant verschillen, wordt voor beide groepen de "root mean squared error" (RMSE) berekend door formule 3-2. Tussen de

determinatiecoëfficiënt (R^2) en de RMSE bestaat een verband op basis van de standaardafwijking (SD). Het verband wordt weergegeven in formule 3-3

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\text{SSE}}{n}} \quad \text{met } \text{SS}_E = \text{“sum of squared errors”} \quad (3-2)$$

$$\text{RMSE} = \sqrt{1 - R^2} * \text{SD} \quad (3-3)$$

Bij de lacterende koeien wordt gewerkt met één dataset. De dataset bestaat uit volgende parameters: lactatiestadium, pariteit, melkgift, drogestof opname, drogestof gehalte, krachtvoer 1, krachtvoer 2, krachtvoer 3, binnentemperatuur, binnenluchtvochtigheid, buitentemperatuur, buitenluchtvochtigheid en ECA. De dataset bestaat in totaal uit 116 metingen (58 per groep).

Op basis van lineaire regressie wordt het waterverbruik geschat uit de verschillende parameters. Eerst wordt het volledige model samengesteld. Het model bevat alle onafhankelijke variabelen, dus ook diegene die geen significante bijdrage leveren in het schatten van de afhankelijke variabele. Daarna wordt steeds de variabele met de hoogste p-waarde uit het model verwijderd totdat alle p-waardes kleiner zijn dan 0,100.

3.2.3 Droogstaande koeien

Doordat bij de droogstaande koeien een extra kraan voor niet-drinkwater doeleinden is aangesloten op de waterkring, is het noodzakelijk om te controleren op uitschieters. Die controle gebeurt door het maken van een “boxplot”. SPSS definieert een waarde als outlier indien de waarde groter is dan het derde kwartiel plus anderhalve keer de interkwartielafstand. De interkwartielafstand is het verschil tussen het derde en het eerste kwartiel. Extreme outliers zijn waardes groter dan het derde kwartiel plus tweemaal anderhalve keer de interkwartielafstand. Na het verwijderen van de uitschieters wordt lineaire regressie toegepast.

Bij de droogstaande koeien wordt gewerkt met drie datasets omwille van ontbrekende waarden. De eerste dataset, met drachtstadium, pariteit, buitentemperatuur, buitenluchtvochtigheid en ECA, bestaat uit 36 metingen. Indien bij dataset 1 de drogestof opname en drogestof gehalte wordt toegevoegd, wordt dataset 2 bekomen. Door ontbrekende waarden bevat dataset 2 slechts 26 metingen in plaats van 36 metingen. Bij de laatste dataset worden de parameters drachtstadium, pariteit, drogestof opname, drogestofgehalte, ECA en voor zowel binnen als buiten de temperatuur en luchtvochtigheid opgenomen. Dataset 3 bevat 12 metingen.

Zoals bij de lacterende koeien wordt de waterinname geschat door lineaire regressie.

3.2.4 Jongvee

Om de onderlinge gelijkheid van meer dan twee verwachtingswaarden te vergelijken, wordt een ANOVA-test (“One-way ANOVA”) gebruikt. Alvorens de test toe te passen, wordt de normaliteit gecontroleerd met de “Kolmogorov-Smirnov” test. Om na te gaan welke verwachtingswaarden verschillen, wordt een “Tukey’s HSD”-test gebruikt.

Zoals bij de droogstaande koeien, wordt er gewerkt met drie datasets wegens ontbrekende waarden. De datasets zullen steeds in omvang afnemen. Dataset 1 bestaat uit vijf parameters, namelijk gewicht, leeftijd, buitentemperatuur, buitenluchtvochtigheid en ECA. Het aantal objecten per kring bedraagt 43 waardoor dataset 1 in totaal uit 215 objecten bestaat. Dataset

2 heeft een omvang van 120 objecten. De parameters zijn gewicht, leeftijd, buitentemperatuur, buitenluchtvochtigheid, ECA, drogestof opname en drogestof gehalte. Kring 1 wordt buitenbeschouwing gehouden omdat de drogestof opname en drogestof gehalte voor kring 1 niet gekend zijn. De laatste dataset bevat gewicht, leeftijd, buitentemperatuur, buitenluchtvochtigheid, ECA, drogestof opname, drogestof gehalte, binnentemperatuur en binnenluchtvochtigheid als parameters. Dataset 3 heeft 52 objecten. Eveneens wordt kring 1 buiten beschouwing gehouden.

Eveneens wordt lineaire regressie toegepast voor het predictie van de waterinname.

4 RESULTATEN

4.1 Waterkwaliteit

De resultaten van de recente en historische wateranalyses zijn bijgevoegd in de bijlage (bijlage C). De resultaten die niet voldoen aan de kwaliteitseisen zijn aangeduid in het rood. Aangezien elektrochemische activering zorgt voor ontsmetting, worden de biologische parameters voor en na vergeleken door middel van statistische testen. De resultaten van de statistische analyses over de bacteriologische waterkwaliteit wordt weergegeven in Tabel 4-1. Voor Salmonella wordt geen statistische analyse uitgevoerd omdat in elk watermonster Salmonella afwezig was. Er wordt dus steeds voldaan aan de richtwaarde voor Salmonella.

Tabel 4-1 Resultaten van de bacteriologische waterkwaliteit na statistische analyse

Bacteriële verontreiniging	Aantal metingen	Ontsmetting		p-waarde	Richtwaarde	% voldoet aan kwaliteit	
		Voor	Na			Voor	Na
Aantal kiemen (48-37) (kve/ml)	25	2.883 ±6.436	414 ± 988	0,000	< 100.000 kve/ml	100	100
Aantal kiemen (77-22) (kve/ml)	25	4.823 ± 7.693	361 ± 832	0,000	< 100.000 kve/ml	100	100
Coliformen (kve/ml)	25	0,30 ± 0,67	0,10 ± 0,19	0,000	< 100 kve/ml	100	100
<i>Escherichia coli</i> (kve/ml)	22	0,80 ± 1,22	0,07 ± 0,21	0,000	< 100 kve/ml	100	100
Enterococcen (kve/100 ml)	25	117 ± 138	9 ± 27	0,000	< 1 kve/100ml	12	72
<i>Clostridium perfringens</i> (kve/100ml)	24	20 ± 61	9 ± 36	0,1445	< 1kve/100ml	67	71
Sulfietreducerende clostridia (kve/20ml)	23	23 ± 42	10 ± 20	0,0945	< 1 kve/20ml	22	35

Voor het aantal kiemen, totale coliformen, *E. coli* en enterococcen leidt de ontsmetting van het regenwater door elektrochemische activering tot een significante reductie ($p=0,000$). Voor sulfietreducerende clostridia zorgt het ECA-toestel voor een zwak significante verbetering ($p=0,0945$). Echter voor *Clostridium perfringens* vindt geen verbetering plaats ($p=0,1445$).

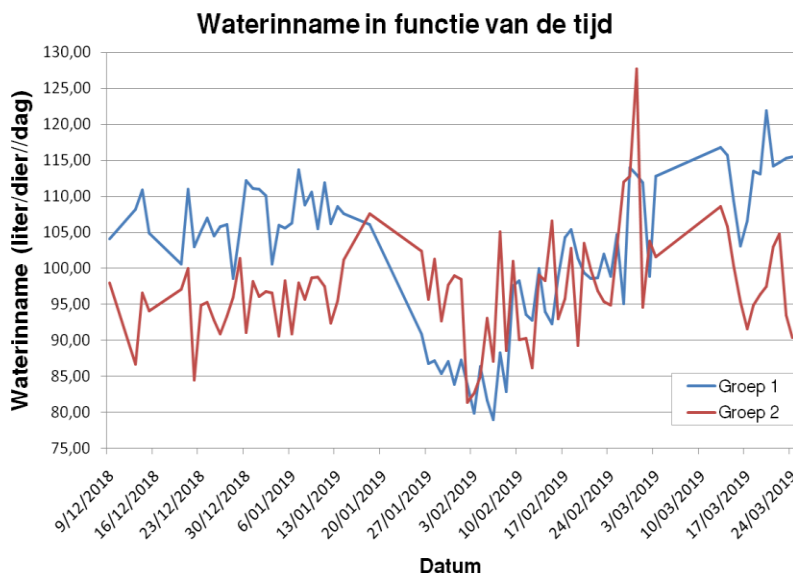
De kwaliteit van het regenwater in de opslagtank vormt voor wat betreft het aantal kiemen, coliformen en *E. coli* geen probleem. Bij alle resultaten voldoet het water, zowel voor als na ontsmetting, aan de richtwaarde voor drinkbaar water. Echter voldoet het regenwater voor ontsmetting niet aan de richtwaarden voor enterococcen, *Clostridium perfringens* en sulfietreducerende clostridia. Bij slecht 3 van de 25 metingen (12 %) voldoet het regenwater zonder ontsmetting aan de richtwaarde voor enterococcen. Na de ontsmetting is de kwaliteit van het water significant verbeterd ($p=0,000$). Maar dat impliceert niet dat de kwaliteit na ontsmetting voldoet aan de richtwaarde. In 18 van de 25 metingen (72%) is de verontreiniging kleiner dan de richtwaarde. De zwak significante verbetering van de waterkwaliteit bij sulfiet-

reducerende clostridia zorgt voor een verhoogd percentage dat voldoet aan de kwaliteitseisen, namelijk van 5 metingen (22%) naar 8 metingen (35%). Bij *Clostridia perfringens* voldoen 16 resultaten (67%) aan de kwaliteitseisen. Het ECA-toestel zorgt echter niet voor een significante verbetering maar leidt toch tot één extra resultaat (71%) dat voldoet aan de richtwaarde.

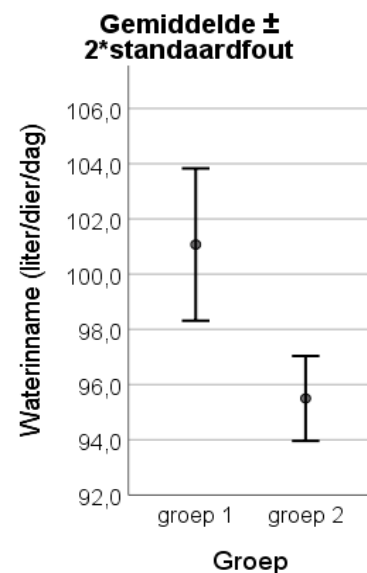
4.2 Waterinname

4.2.1 Lacterende koeien

Gedurende de registratie van het waterverbruik is het gemiddeld aantal melkkoeien in groep 1 en groep 2 respectievelijk 39 en 38. De waterinname per melkkoel van groep 1 en groep 2 kan visueel voorgesteld worden door middel van een grafiek met op de y-as de waterinname en op de x-as de datum. Figuur 4-1 toont die waterinname in functie van de tijd.



Figuur 4-1 Waterinname in functie van de tijd



Figuur 4 – 2 Gemiddelde ± twee keer de standaardfout

De waterinname van de groepen wordt apart getest op normaliteit. Integenstelling tot groep 2 ($p=0,200$) is de waterinname van groep 1 ($p=0,000$) niet-normaal verdeeld. De “Mann-Whitney U Test” geeft als resultaat een verschil tussen de waterinnames ($p=0,000$). De gemiddelde waterinname van groep 1 en groep 2 bedraagt respectievelijk 101,1 liter en 95,5 liter. De standaardfout bedraagt voor groep 1 en groep 2 respectievelijk 1,3 en 0,8. Figuur 4-2 toont de gemiddelde waterinname \pm twee keer de standaardfout (95% betrouwbaarheidsinterval). De standaardafwijking (SD) van de waterinname bij groep 1 is 10,5. Terwijl de standaardafwijking bij groep 2 5,9 bedraagt. Om te achterhalen waarom het verschil optreedt, wordt gekeken naar verschillen in pariteit, lactatiestadium, melkgift, binnentemperatuur, binnenluchtvochtigheid, drogestof opname, drogestof gehalte en opname van de krachtvoerders. Het onderzoek naar verschil gebeurt met de “Mann-Whitney U Test” of de “Independent samples T-test” afhankelijk van de normaliteit. De resultaten van de testen geven aan dat er een verschil in pariteit, lactatiestadium, melkgift, drogestof opname en opname van krachtvoer 1 aanwezig is. Maar ook is er een verschil in krachtvoer 3 want dat wordt enkel gevoerd aan groep 2.

Tabel 4-2 toont een overzicht van de resultaten en de gebruikte statistische test voor het onderzoek naar de verschillen in parameters. Na het toepassen van lineaire regressie wordt teruggekomen op het verklaren van de verschillen in gemiddelde waterinname.

Tabel 4-2 Onderzoek naar de verschillen in parameters in de melkveestal

Parameter	Normaliteit		Onderzoek naar verschil	
	Kring 1	Kring 2	Test	p-waarde
Pariteit	Nee (p=0,000)	Ja (p=0,164)	Mann-Whitney U	0,000
Lactatiestadium	Nee (p=0,000)	Nee (p=0,034)	Mann-Whitney U	0,000
Melkgift	Ja (p=0,200)	Nee (p=0,000)	Mann-Whitney U	0,000
Gemiddelde binnentemperatuur	Ja (p=0,200)	Ja (p=0,200)	T-test	0,922
Minimum binnentemperatuur	Ja (p=0,200)	Ja (p=0,200)	T-test	0,712
Binnenluchtvochtigheid	Ja (p=0,200)	Ja (p=0,170)	T-test	0,667
Drogestof opname	Nee (p=0,032)	Ja (p=0,093)	Mann-Whitney U	0,000
Drogestof gehalte	Nee (p=0,000)	Nee (p=0,000)	Mann-Whitney U	0,757
Krachtvoer 1	Nee (p=0,002)	Nee (p=0,000)	Mann-Whitney U	0,000
Krachtvoer 2	Nee (p=0,016)	Ja (p=0,159)	Mann-Whitney U	0,277

Lineaire regressie wordt toegepast zowel op de dataset met de gemiddelde temperatuur als op de dataset met de minimum temperatuur. Eerst wordt de dataset met de gemiddelde temperatuur besproken. Het volledig model verklaart 39,1 % van de variantie. De kleinste kwadraatschatting van de regressievergelijking is:

$$Y = 49,478 - 0,277 \cdot \text{lactatiestadium} + 32,310 \cdot \text{pariteit} + 2,091 \cdot \text{melkgift} + 0,522 \cdot \text{drogestof opname} - 1,301 \cdot \text{drogestof gehalte} - 7,181 \cdot \text{krachtvoer1} + 6,590 \cdot \text{krachtvoer2} + 61,678 \cdot \text{krachtvoer3} - 0,562 \cdot \text{binnentemperatuur} - 0,261 \cdot \text{binnenluchtvochtigheid} + 1,109 \cdot \text{buitentemperatuur} + 0,279 \cdot \text{buitenluchtvochtigheid} + 5,328 \cdot \text{ECA} \quad (4-1)$$

Daarbij hebben niet alle variabelen een significante invloed op de waterinname. Door minder variabelen in het model op te nemen, daalt de determinatiecoëfficiënt van 0,391 naar 0,372. Dat model wordt ook visueel weergegeven in figuur 4-3. De kleinste kwadraatschatting van de regressievergelijking bedraagt:

$$Y = 5,901 - 0,188 \cdot \text{lactatiestadium} + 29,866 \cdot \text{pariteit} + 2,462 \cdot \text{melkgift} - 6,397 \cdot \text{krachtvoer1} + 65,536 \cdot \text{krachtvoer3} + 0,524 \cdot \text{buitentemperatuur} + 6,718 \cdot \text{ECA} \quad (4-2)$$

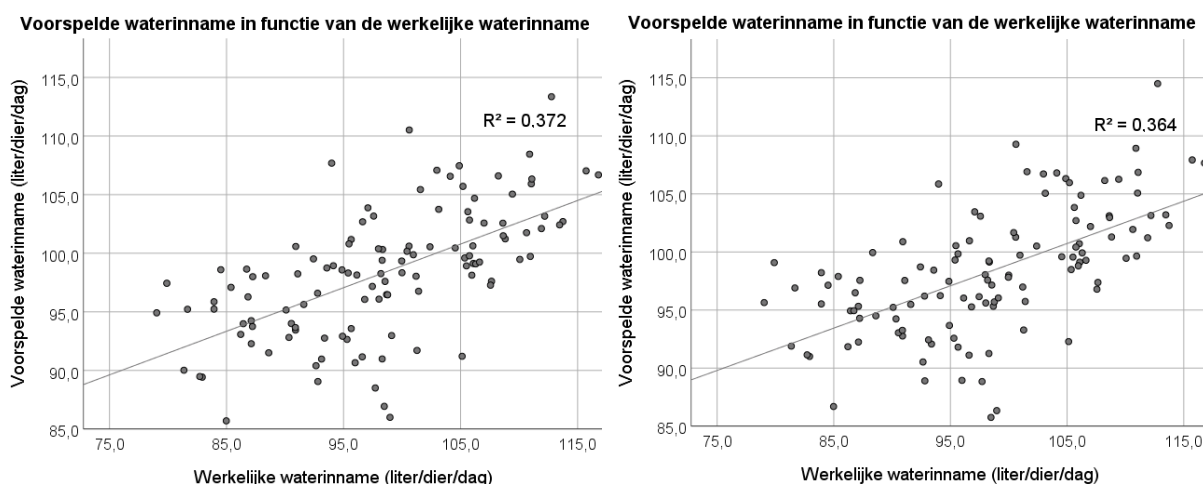
Indien in het model de gemiddelde temperatuur door de minimum temperatuur wordt vervangen, bedraagt de determinatiecoëfficiënt 0,396. De kleinste kwadraatschatting van de regressievergelijking van het volledige model wordt hieronder voorgesteld.

$$Y = 55,904 - 0,215 \cdot \text{lactatiestadium} + 32,562 \cdot \text{pariteit} + 1,837 \cdot \text{melkgift} + 0,663 \cdot \text{drogestof opname} - 1,500 \cdot \text{drogestof gehalte} - 6,435 \cdot \text{krachtvoer1} + 6,768 \cdot \text{krachtvoer2} + 46,326 \cdot \text{krachtvoer3} + 1,078 \cdot \text{minimum binnentemperatuur} - 0,188 \cdot \text{binnenluchtvochtigheid} - 0,076 \cdot \text{minimum buitentemperatuur} + 0,181 \cdot \text{buitenluchtvochtigheid} + 5,388 \cdot \text{ECA} \quad (4-3)$$

Eveneens hebben niet alle variabelen van het volledige model een significante invloed. De kleinste kwadratschatting van de regressievergelijking van de variabelen met een significante invloed op de waterinname wordt hieronder weergegeven. Het model verklaart 36,4 % van de variantie.

$$Y = - 15,211 - 0,107*\text{lactatiestadium} + 33,155*\text{pariteit} + 2,439*\text{melkgift} - 6,161*\text{krachtvoer1} + 0,786*\text{minimum binnentemperatuur} + 6,309*\text{ECA} \quad (4-4)$$

Vergelijking 4-4 wordt ook visueel voorgesteld. Figuur 4-3 en figuur 4-4 geven de voorspelde waterinname weer in functie van de werkelijke waterinname. Figuur 4-3 wordt opgemaakt met het model met de gemiddelde temperatuur. Figuur 4-4 toont de voorspelde waterinname in functie van de werkelijke waterinname van het model met de minimum temperatuur.



Figuur 4-3 Voorspelde waterinname in functie van de werkelijke waterinname; model met de gemiddelde temperatuur

Figuur 4-4 Voorspelde waterinname in functie van de werkelijke waterinname; model met de minimum temperatuur

Door de verzamelde data van beide groepen samen te nemen, wordt ongeveer 40 % van de variantie verklaard. Lineaire regressie kan ook toegepast worden op de groepen apart. Voor groep 1 wordt een determinatiecoëfficiënt van 0,629 bekomen. De RMSE heeft een waarde van 8,2. Voor groep 2 bedragen de determinatiecoëfficiënt en RMSE respectievelijk 0,204 en 5,7.

Tabel 4-3 Het volledige model van lineaire regressie voor beide groepen in de melkveestal

Model	Groep 1		Groep 2		Volledige model	
	Coëfficiënt	Significantie	Coëfficiënt	Significantie	Coëfficiënt	Significantie
Constante	221,572	0,040	48,650	0,552	55,904	0,364
Lactatiestadium	- 0,687	0,000	- 0,049	0,671	- 0,215	0,014
Pariteit	- 5,664	0,768	13,623	0,558	32,562	0,011
Melkgift	1,454	0,370	1,592	0,125	1,837	0,043
Drogestof opname	2,746	0,019	0,354	0,698	0,663	0,337
Drogestof gehalte	- 2,695	0,055	- 0,558	0,643	-1,500	0,105
Krachtvoer 1	- 4,592	0,282	- 6,440	0,210	- 6,435	0,054

Krachtvoer 2	7,744	0,447	5,009	0,617	6,768	0,327
Krachtvoer 3	/	/	- 16,151	0,837	46,326	0,269
Min. binnen-temperatuur	1,877	0,084	0,221	0,780	1,078	0,113
Binnen-luchtvochtigheid	- 0,337	0,587	0,132	0,803	- 0,188	0,668
Min. buiten-temperatuur	- 0,075	0,924	- 0,153	0,780	- 0,076	0,873
Buiten-luchtvochtigheid	0,334	0,558	- 0,087	0,848	0,181	0,642
ECA	7,772	0,036	3,670	0,164	5,388	0,019

Het model met de parameters die een significante invloed hebben op de waterinname van groep 1 bestaat uit lactatiestadium, melkgift, minimum binnentemperatuur, drogestof opname, drogestof gehalte en ECA. Voor groep 2 zijn de parameters met een significante invloed melkgift, krachtvoer 1 en ECA.

Voor een kritische reflectie bij de resultaten van lineaire regressie kan het nodig zijn om te kijken naar de bivariate correlaties tussen de variabelen. De dataset levert zowel significante als sterk significante correlaties op van zowel negatieve als positieve correlaties. Om de correlatiecoëfficiënten op een overzichtelijke manier weer te geven, worden de parameters opgesplitst in koegebonden en omgevingsparameters. Tabel 4-4 toont de correlatiecoëfficiënten tussen de koegebonden parameters met aanduiding van het significantieniveau. Er zijn veel correlaties aanwezig tussen de koegebonden parameters. Het drogestof gehalte is sterk significant positief gecorreleerd met de drogestof opname en krachtvoer 2. De drogestof opname is gecorreleerd met alle opgenomen koegebonden parameters. De parameter melkgift is sterk significant gecorreleerd met drogestof opname, pariteit, lactatiestadium en krachtvoer 1 en 3. Daarvan zijn alle correlaties negatief, met uitzondering van krachtvoer 1. Het lactatiestadium (DIM) is sterk significant gecorreleerd met drogestof opname, melkgift, pariteit en de krachtvoerders. Overigens is de pariteit ook gecorreleerd met krachtvoer 1 en 3. Krachtvoer 1 en 3 zijn sterk significant gecorreleerd met elkaar.

Tabel 4-4 De correlatiecoëfficiënten tussen koegebonden parameters met aanduiding van het significantieniveau

		Drogestof					Krachtvoer		
		Gehalte	Opname	Melkgift	Pariteit	DIM	1	2	3
Krachtvoer	3	0,076	0,655**	-0,805**	0,629**	0,956**	-0,848**	0,160	1
	2	0,275**	0,211*	0,049	-0,084	0,251**	-0,043	1	
	1	-0,104	-0,656**	0,895**	-0,551**	-0,903**	1		
	DIM	0,141	0,674**	-0,854**	0,614**	1			
	Pariteit	-0,024	0,286*	-0,688**	1				
	Melkgift	-0,085	-0,545**	1					
Drogestof	Opname	0,281**	1						
	Gehalte	1							

Met * = significant, ** = sterk significant

Tabel 4-5 geeft de correlatiecoëfficiënten tussen de omgevingsparameters weer. Een hogere temperatuur gaat typisch gepaard met een lagere luchtvochtigheid. Dat is ook zichtbaar aan het negatieve teken bij de correlatiecoëfficiënt tussen temperatuur en vochtigheid. De buitentemperatuur (gemiddelde en minimum) is eveneens sterk positief gecorreleerd met de binnentemperatuur (gemiddelde en minimum).

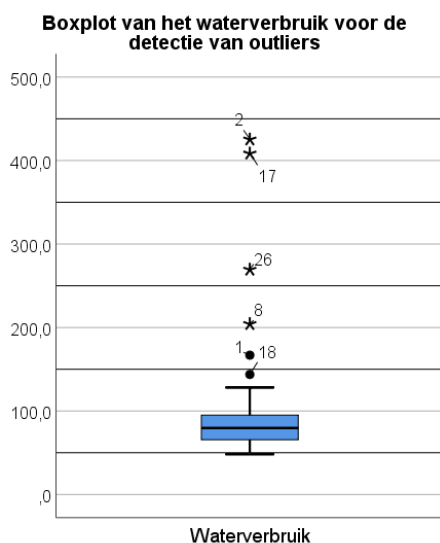
Tabel 4-5 Correlatiecoëfficiënten tussen omgevingsparameters met aanduiding van het significantieniveau

		Buitentemperatuur			Binnentemperatuur		
		Gemiddelde	Minimum	RV buiten	Gemiddelde	Minimum	RV binnen
Binnen temp.	RV binnen	-0,062	-0,041	0,902**	-0,112	0,028	1
	Minimum	0,943**	0,887**	-0,243**	0,909**	1	
	Gemiddelde	0,928**	0,836**	-0,304**	1		
Buiten temp.	RV buiten	-0,344**	-0,344**	1			
	Minimum	0,910**	1				
	Gemiddelde	1					

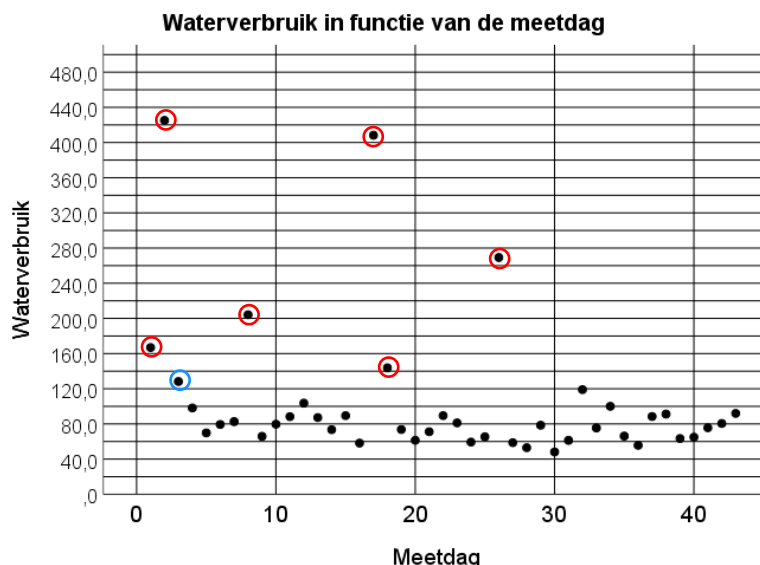
Met * = significant, **= sterk significant

4.2.2 Droogstaande koeien

Door het maken van een “boxplot” worden verschillende outliers gedetecteerd. Het derde kwartiel heeft als waarde 98,1 en de interkwartielafstand bedraagt 32,8. In de dataset worden gewone en extreme outliers opgemerkt. De “boxplot” wordt getoond in figuur 4-5. De extreme outliers zijn aangeduid met een sterretje. Na het verwijderen van de outliers wordt opnieuw een “boxplot” opgemaakt en er wordt opnieuw een outlier vastgesteld. Het derde kwartiel heeft dan een waarde van 88,9 en de interkwartielafstand bedraagt dan 24,8. Eveneens wordt die outlier verwijderd. De uitschieters kunnen ook visueel vastgesteld worden door een grafiek van het waterverbruik in functie van de meetdag. Figuur 4-6 toont het waterverbruik in functie van de tijd. De outliers bij het tekenen van de eerste boxplot zijn omcirkeld in het rood. De outlier bij het maken van de tweede boxplot is omcirkeld in het blauw.



Figuur 4-5 Boxplot van het waterverbruik voor het opsporen van outliers



Figuur 4-6 Waterverbruik in functie van de meetdag

Het gemiddeld aantal droogstaande koeien in de periode van 3 mei 2018 tot 25 maart 2019 is 7.

Net zoals bij de lacterende koeien wordt de waterinname bij de droogstaande koeien geschat met behulp van lineaire regressie. Eerst wordt het model voor dataset 1 met de gemiddelde buitentemperatuur opgesteld. De kleinste kwadraatschatting van de regressievergelijking:

$$Y = 88,541 - 7,763*\text{pariteit} + 0,019*\text{drachtstadium} + 0,799*\text{buitentemperatuur} - 0,045*\text{buitenluchtvochtigheid} + 5,107*\text{ECA} \quad (4-5)$$

Echter bedraagt de determinatiecoëfficiënt slechts 0,127. Indien het model wordt opgesteld met de parameters die een significante invloed hebben, wordt een determinatiecoëfficiënt van 0,104 bekomen. De enige variabele met een zwak significante invloed ($p=0,055$) op de waterinname is de gemiddelde buitentemperatuur. De vergelijking wordt hieronder weergegeven.

$$Y = 67,383 + 0,770*\text{buitentemperatuur} \quad (4-6)$$

Bij de dataset kan ook de minimum buitentemperatuur gebruikt worden in plaats van de gemiddelde buitentemperatuur. Het volledige model verklaart 14,4% van de variantie. Enkel de minimum buitentemperatuur heeft een significante invloed op de waterinname ($p=0,041$). De determinatiecoëfficiënt van het model met de minimum buitentemperatuur bedraagt 0,118. Dat model wordt visueel weergegeven in figuur 4-7. Het volledige model en het model met de minimum buitentemperatuur worden hieronder weergegeven.

$$Y = 105,383 - 7,982*\text{pariteit} - 0,004*\text{drachtstadium} + 0,982*\text{minimum buitentemperatuur} - 0,151*\text{buitenluchtvochtigheid} + 5,555*\text{ECA} \quad (4-7)$$

$$Y = 68,362 + 1,069*\text{minimum buitentemperatuur} \quad (4-8)$$

Aangezien de minimum buitentemperatuur zorgt voor een model dat meer variantie verklaart, wordt voor dataset 2 en 3 de minimum buitentemperatuur gebruikt. Bij dataset 2 worden de parameters drogestof opname en drogestof gehalte toegevoegd. Het complete model levert volgende kleinste kwadraatschatting van de regressievergelijking op:

$$Y = 272,041 - 14,083*\text{pariteit} - 0,810*\text{drachtstadium} + 1,251*\text{minimum buitentemperatuur} - 0,090*\text{buitenluchtvochtigheid} + 0,239*\text{drogestof opname} + 0,715*\text{drogestof gehalte} + 17,644*\text{ECA} \quad (4-9)$$

De bijhorende determinatiecoëfficiënt heeft als waarde 0,172. Echter heeft geen enkele parameter een significante invloed op de waterinname.

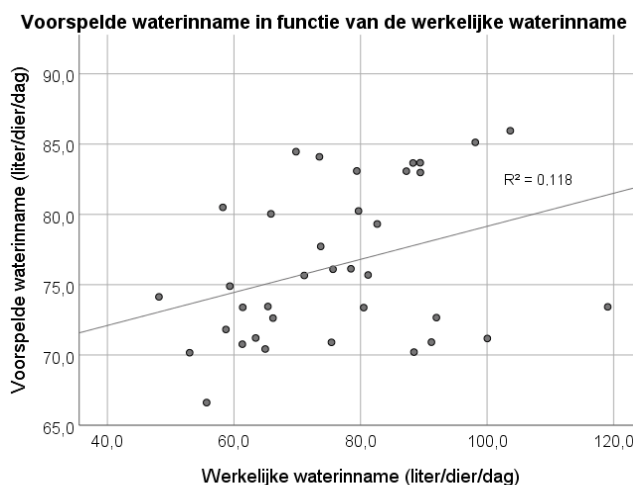
Ondanks de beperkte omvang van dataset 3 wordt toch lineaire regressie toegepast. Indien de gemiddelde binnentemperatuur als variabele wordt opgenomen, wordt 91,9 % van de variantie verklaard. In geval van de minimum binnentemperatuur is dat 87,5 % van de variantie. De kleinste kwadraatschatting van de regressievergelijking met gemiddelde binnentemperatuur:

$$Y = 199,486 + 70,135*\text{pariteit} - 3,311*\text{drachtstadium} + 24,731*\text{minimum buitentemperatuur} - 0,486*\text{buitenluchtvochtigheid} - 2,582*\text{drogestof opname} + 4,977*\text{drogestof gehalte} - 14,703*\text{binnentemperatuur} + 3,996*\text{binnenluchtvochtigheid} \quad (4-10)$$

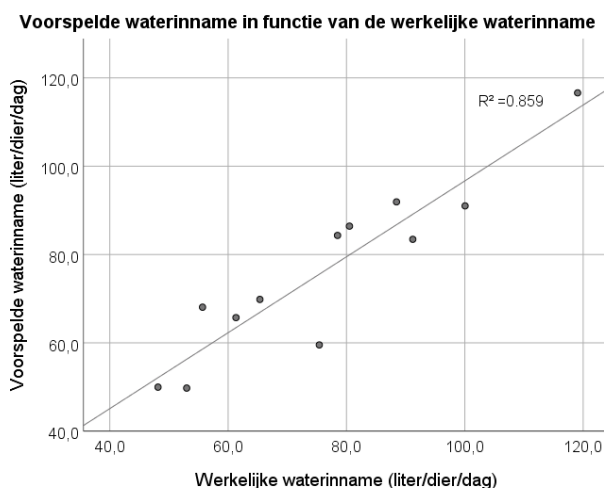
Weliswaar hebben niet alle variabelen een invloed op de waterinname. Bij het elimineren van parameters die geen significante invloed hebben, blijft een model over met een determinatiecoëfficiënt van 0,859. De regressievergelijking bevat pariteit ($p=0,025$), drachtstadium ($p=0,002$), minimum buitentemperatuur ($p=0,003$), drogestof gehalte ($p=0,098$) en gemiddelde binnentemperatuur ($p=0,007$).

$$Y = 610,953 + 42,592 \cdot \text{pariteit} - 3,682 \cdot \text{drachtstadium} + 29,219 \cdot \text{minimum buitentemperatuur} + 5,632 \cdot \text{drogestof gehalte} - 20,740 \cdot \text{binnentemperatuur} \quad (4-11)$$

Van dat laatste model wordt ook een grafiek gemaakt (figuur 4-8). Figuur 4-7 en figuur 4-8 tonen de voorspelde waterinname in functie van de werkelijke waterinname respectievelijk voor dataset 1 (minimum buitentemperatuur) en dataset 3.



Figuur 4-7 Voorspelde waterinname in functie van de werkelijke waterinname; model van dataset 1 met de minimum buitentemperatuur



Figuur 4-8 Voorspelde waterinname in functie van de werkelijke waterinname; model van dataset 3

4.2.3 Jongvee

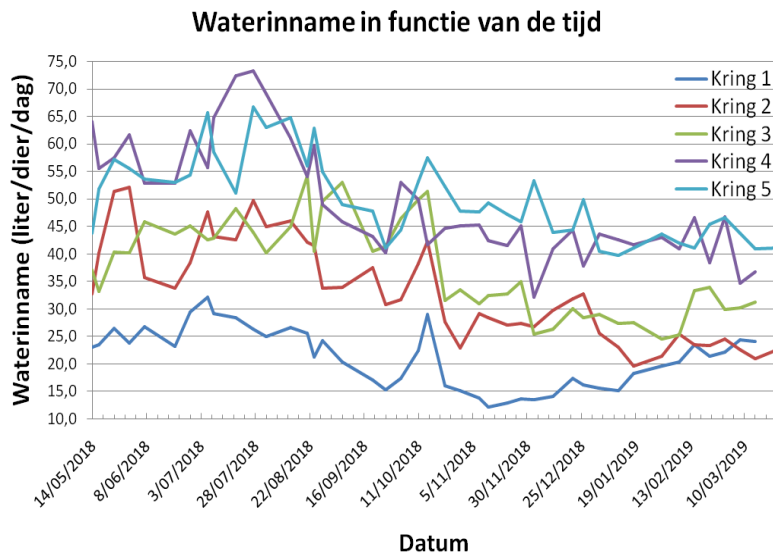
Tabel 4-6 geeft het gemiddelde gewicht, leeftijd en waterinname per waterkring tijdens de observaties weer. De waterinname per waterkring gedurende de proef wordt weergegeven in figuur 4-9.

Tabel 4-6 Gemiddelde gewicht, leeftijd en waterinname per kring in de periode van 3/5/18 tot 25/3/19

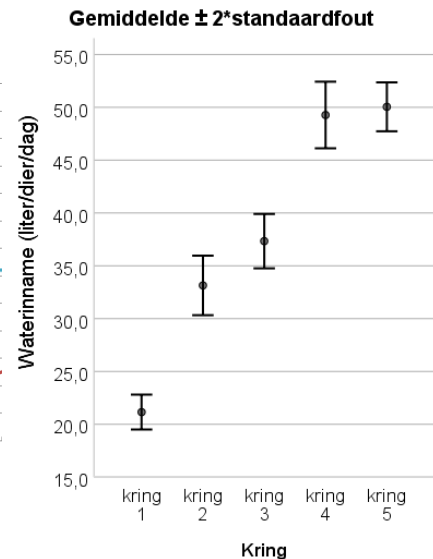
Waterkring	Gem. aantal dieren	Waterinname (liter)	Gewicht (kg)	Leeftijd (dagen)
1	11	21,2 ± 5,4	105,28 ± 13,78	76,21 ± 11,08
2	10	33,1 ± 9,2	216,55 ± 14,30	170,64 ± 14,87
3	14	37,3 ± 8,4	356,78 ± 12,88	289,90 ± 13,11
4	13	49,3 ± 10,2	482,56 ± 18,23	433,07 ± 26,83
5	17	50,0 ± 7,5	612,48 ± 17,06	592,76 ± 17,17

Weergave: gemiddelde ± standaardafwijking

De “one-way ANOVA”-test geeft een zeer sterke significante aanduiding ($p=0,000$) voor verschillen in de gemiddelde waterinname. De “Tukey’s HSD”-test geeft als resultaat dat waterkring 1 zich onderscheidt van de andere waterkringen ($p=0,000$). Tussen waterkring 2 en 3 is geen significant verschil aanwezig ($p=0,136$). Eveneens verschillen waterkring 4 en 5 van elkaar ($p=0,993$). Op basis van gemiddelde waterinname \pm twee keer de standaardfout (95% betrouwbaarheidsinterval) kunnen die resultaten weergegeven worden. Figuur 4-10 toont het gemiddelde \pm 2 keer de standaardfout. Een overlap betekent dat er geen significant verschil aanwezig is.

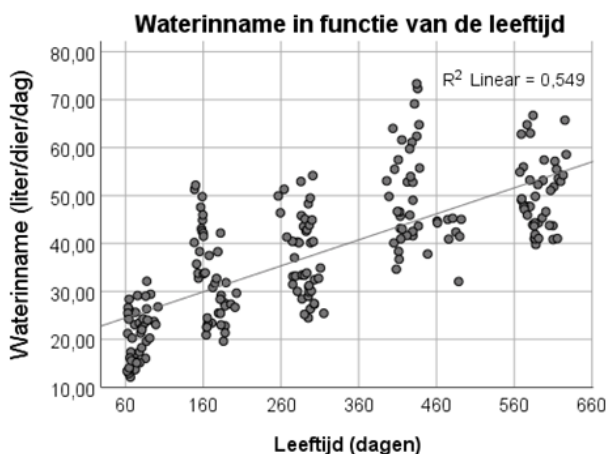


Figuur 4-9 Waterinname in functie van de tijd

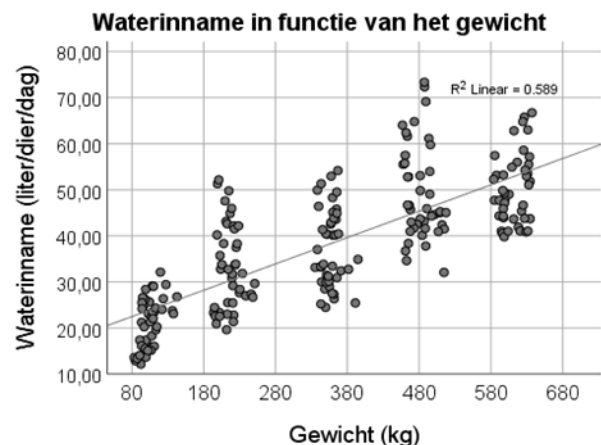


Figuur 4-10 Gemiddelde \pm 2 keer de standaardfout

Aan de basis voor het toepassen van het lineaire model liggen lineaire verbanden tussen de waterinname en afzonderlijke parameters. Het lineaire verband tussen leeftijd en waterinname verklaart 54,9 % van de variantie ($R^2 = 0,549$). Figuur 4-11 geeft de waterinname in functie van de leeftijd weer. Eveneens kan ook een lineair verband worden weergegeven tussen gewicht en waterverbruik (figuur 4-12). Dat model heeft een determinatiecoëfficiënt van 0,589.



Figuur 4-11 Waterinname in functie van de leeftijd

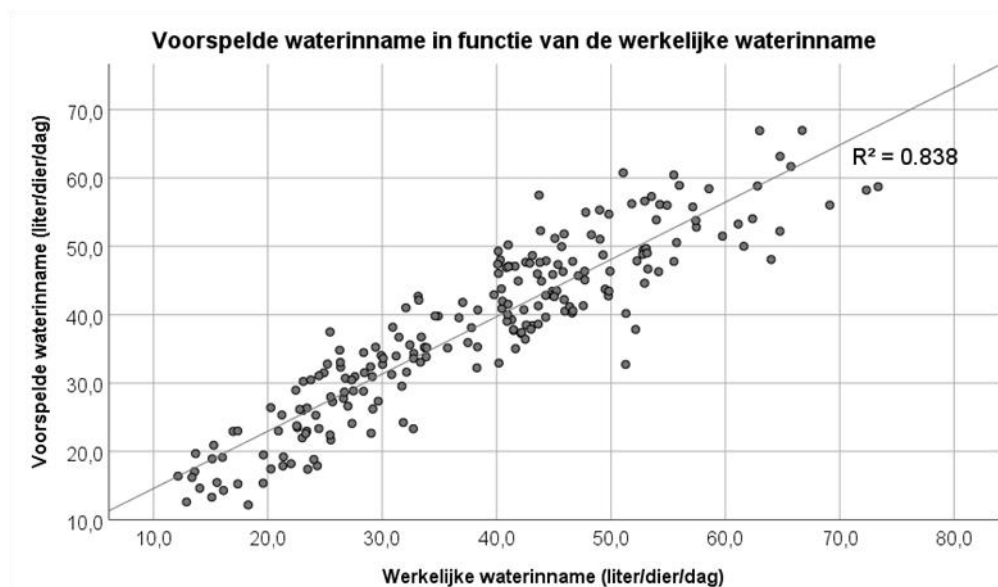


Figuur 4-12 Waterinname in functie van het gewicht

Bij het toepassen van lineaire regressie op de dataset met vijf parameters (dataset 1) is zowel bij gemiddelde buitentemperatuur als bij de minimum buitentemperatuur een zeer sterk significante ($p=0,000$) aanduiding voor de aanwezigheid van een lineair verband. Het model met de gemiddelde temperatuur verklaart 83,8% van de variantie terwijl de minimum temperatuur 83,4% verklaart. Aangezien de gemiddelde buitentemperatuur meer verklaart dan het minimum, wordt in volgende modellen enkel rekening gehouden met de gemiddelde buitentemperatuur. In het model hebben de parameters leeftijd, gewicht en buitentemperatuur een sterk significante invloed op de waterinname ($p=0,000$). De buitenluchtvochtigheid ($p=0,058$) en de werking van het ECA-toestel ($p=0,084$) hebben een zwak significante invloed. De waterinname wordt geschat uit de parameters volgens de vergelijking:

$$Y = 17,621 - 0,072*\text{leeftijd} + 0,130*\text{gewicht} + 0,748*\text{buitentemperatuur} - 0,152*\text{buitenluchtvochtigheid} - 2,072*\text{ECA} \quad (4-12)$$

De plot van de voorspelde waterinname in functie van de werkelijke waterinname wordt weergegeven in figuur 4-13.



Figuur 4-13 Voorspelde waterinname in functie van de werkelijke waterinname; model van dataset 1 met de gemiddelde buitentemperatuur

Bij dataset 2 wordt waterkring 1 niet opgenomen in het model doordat geen voergegevens van die kring beschikbaar zijn. Het volledige model levert een lineair model op dat 83,6% van de variantie verklaart. De kleinste kwadraatschatting van de regressievergelijking is:

$$Y = -6,490 - 0,035*\text{leeftijd} + 0,061*\text{gewicht} + 1,137*\text{buitentemperatuur} - 0,072*\text{buitenluchtvochtigheid} + 0,078*\text{drogestof opname} + 0,467*\text{drogestof gehalte} - 3,909*\text{ECA} \quad (4-13)$$

De parameters met een significante invloed zijn gewicht ($p=0,000$), buitentemperatuur ($p=0,000$), drogestof gehalte ($p=0,000$) en het ECA-toestel ($p=0,040$). De determinatiecoëfficiënt bedraagt 0,833. De bijhorende kleinste kwadraatschatting van de regressievergelijking wordt hieronder weergegeven.

$$Y = -10,789 + 0,025*\text{gewicht} + 1,260*\text{buitentemperatuur} + 0,462*\text{drogestof gehalte} - 3,852*\text{ECA} \quad (4-14)$$

Door de temperatuur en luchtvochtigheid van binnenin de stal toe te voegen aan dataset 2, blijven slechts 14 metingen per waterkring over. Waterkring 1 wordt dus weer niet opgenomen in het model. Het model met alle variabelen verklaart 88,8% van de variantie. Indien enkel de variabelen met een significante invloed op de waterinname worden opgenomen, wordt er nog 88,0% verklaard. De determinatiecoëfficiënten zijn bij het model met de minimum temperatuur hetzelfde, namelijk voor het volledige model 0,888 en het model met de significante variabelen 0,880. De regressievergelijkingen met de gemiddelde binnentemperatuur zijn:

$$Y = -42,945 - 0,033*\text{leeftijd} + 0,058*\text{gewicht} + 1,245*\text{buitentemperatuur} - 0,852*\text{buitenluchtvochtigheid} - 0,882*\text{drogestof opname} + 1,104*\text{drogestof gehalte} - 3,516*\text{ECA} - 0,509*\text{binnentemperatuur} - 0,880*\text{binnenluchtvochtigheid} \quad (4-15)$$

$$Y = -27,453 + 0,026*\text{gewicht} + 0,766*\text{buitentemperatuur} - 0,915*\text{buitenluchtvochtigheid} + 0,654*\text{drogestof gehalte} - 3,631*\text{ECA} - 0,880*\text{binnenluchtvochtigheid} \quad (4-16)$$

Voor een kritische reflectie van de resultaten bij jongvee, is het noodzakelijk om te kijken naar de bivariate correlaties tussen de verschillende variabelen. De correlatiecoëfficiënten worden weergegeven in Tabel 4-7. Leeftijd en gewicht zijn sterk significant positief gecorreleerd met elkaar. Een toenemende leeftijd en gewicht gaan gepaard met een toenemende drogestof opname (sterk significante positieve correlaties). De binnentemperatuur en buitentemperatuur zijn sterk significant gecorreleerd. Een hogere temperatuur gaat typisch gepaard met een lagere luchtvochtigheid (sterk significante negatieve correlatie). Aangezien de droogstaande koeien zijn gevestigd in de jongveestal, gelden de resultaten voor de temperatuur en luchtvochtigheid dus ook voor de droogstaande koeien.

Tabel 4-7 De correlatiecoëfficiënten met aanduiding van het significantieniveau

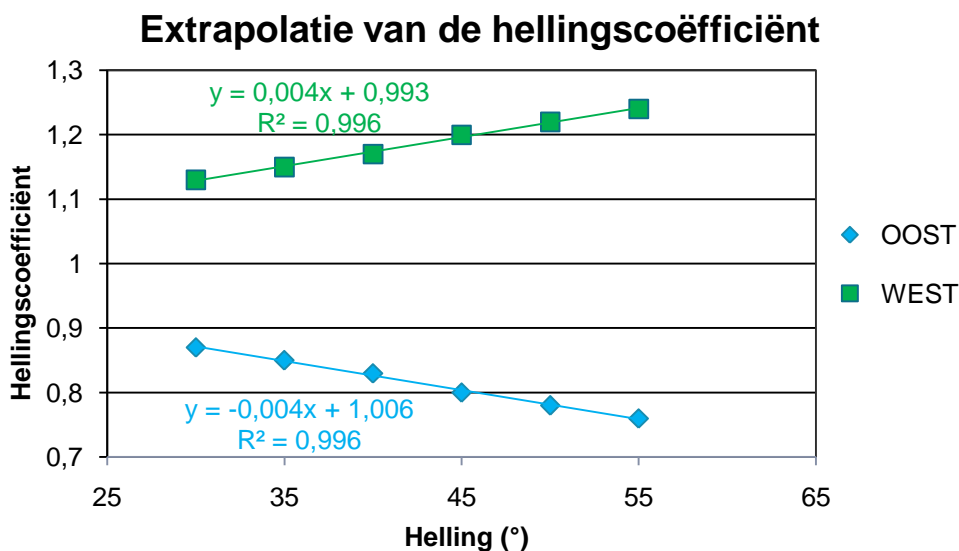
				Drogestof		Binnen		Buiten	
		Leeftijd	Gewicht	Opname	Gehalte	Temp- eratuur	Vochtig- heid	Temp- eratuur	Vochtig- heid
Buiten	Vochtig- heid	0,016	0,965	- 0,081	0,027	0,986**	0,915**	-0,435**	1
	Temp- eratuur	- 0,002	0,922	- 0,013	- 0,057	- 0,381**	-0,343*	1	
Binnen	Vochtig- heid	0,032	0,961	- 0,043	0,058	- 0,319**	1		
	Temp- eratuur	-0,015	- 0,007	- 0,035	- 0,072	1			
Drogestof	Gehalte	0,902**	0,885**	0,958**	1				
	Opname	0,862**	0,852**	1					
	Gewicht	0,994**	1						
	Leeftijd	1							

Met * = significant, **= sterk significant

4.3 Regenwaterrecuperatie

De dakbedekking van zowel de melkveestal als de jongveestal zijn golfplaten. Een dakbedekkingcoëfficiënt van 0,95 wordt aangenomen.

De jongveestal heeft een dakhelling van 20°. Maar beide dakoppervlakken ten opzichte van de noklijn zijn gelijk. Dat wil zeggen dat geen rekening moet worden gehouden met hellingcoëfficiënten. De melkveestal daarentegen heeft verschillende dakoppervlakken. Het linker-gedeelte van het dak is georiënteerd naar het westen en het rechter dakgedeelte heeft dus een oriëntatie naar het oosten. De dakhellingen van het linker- en rechtergedeelte van het dak zijn respectievelijk 19,92° en 25,89°. Door middel van extrapoleren wordt de hellingcoëfficiënt berekend. Figuur 4-14 geeft de extrapolatiegrafiek weer.



Figuur 4-14 Extrapolatie voor het bekomen van de hellingcoëfficiënt van de windrichting Oost en Zuid

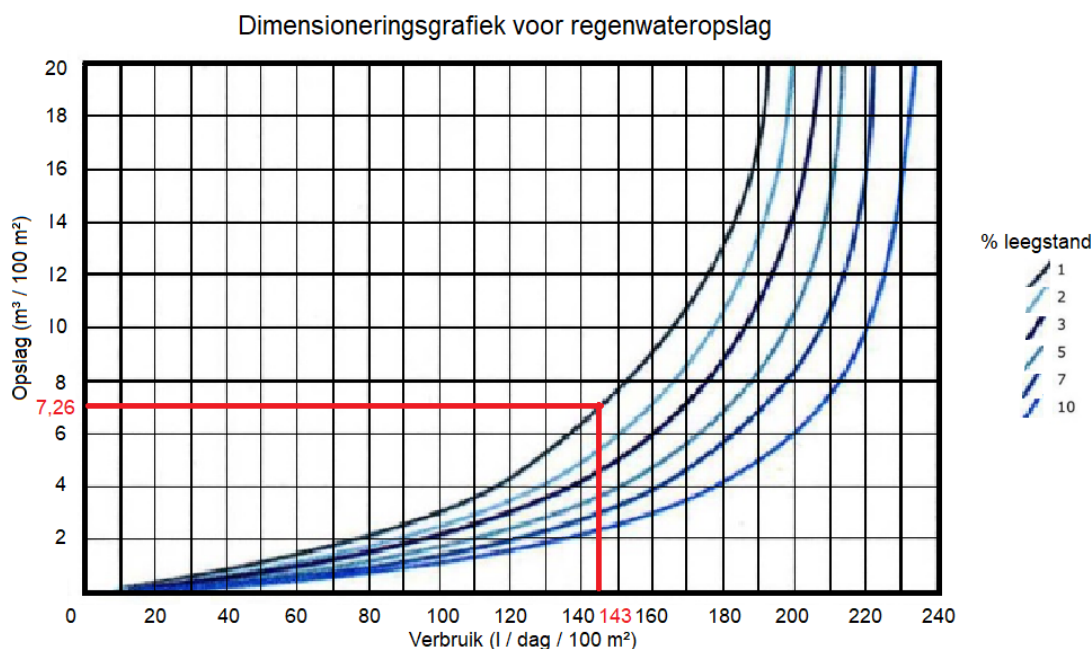
Het gecorrigeerde dakoppervlak wordt bekomen door de dakoppervlakte te vermenigvuldigen met de hellings- en bedekkingcoëfficiënt. Tabel 4-8 geeft de bijhorende coëfficiënten en oppervlaktes weer. De totale dakoppervlakte voor het opvangen van regenwater, rekening houdend met de dakhelling, oriëntatie en bedekking, bedraagt 3 657,13 m².

Tabel 4-8 Berekening van de totale dakoppervlakte rekening houdend met dakbedekking- en hellingcoëfficiënt

Dak	Oppervlakte dak (m ²)	Dakbedekking-coëfficiënt	Helling-coëfficiënt	Gecorrigeerde dakoppervlakte (m ²)
Nieuwe melkveestal links	558,37	0,95	1,07	567,58
Nieuwe melkveestal rechts	293,91	0,95	0,89	248,50
Bestaande stal links	625,95	0,95	1,07	636,28
Bestaande stal rechts	384,30	0,95	0,89	324,93
Jongveestal links	989,39	0,95	1,00	939,92
Jongveestal rechts	989,39	0,95	1,00	939,92
Totaal:				3 657,13

De regenwateropslagput heeft een maximale inhoud van 265,5 m³. Door gebruik te maken van de inhoud van de opslagput en de dakoppervlakte kan uit figuur 1-4 het beschikbare

volume afgelezen worden (Vlaamse milieumaatschappij, 2015a). De hoeveelheid opslag in kubieke meter per 100 vierkante meter dakoppervlakte bedraagt 7,26 (265,5 m³/ 36,57 m²). Op figuur 4-15 worden de resultaten bij een opslag van 7,26 m³/ 100 m² aangeduid. Bij een leegstand van 1% zal een dagelijks volume regenwater van 143 liter per 100 m² dakoppervlakte beschikbaar zijn. Bij een dakoppervlakte van 3.657 m² komt dat overeen met 5.529,5 liter per dag.



Figuur 4-15 Dimensioneringsgrafiek voor regenwateropslag met toepassing op de Hooibeekhoeve

De gemiddelde hoeveelheid jaarlijkse neerslag, gemeten in het weerstation naast de Hooibeekhoeve, in de periode van 2011 tot en met 2018 bedraagt 724,1 mm per jaar. Het droogste jaar was 2011 met een neerslag van 611,11 mm per jaar. Het natste jaar met een jaarlijkse neerslag van 954,7 mm was 2016. Een jaarlijkse neerslag van 724,1 mm per jaar stemt overeen met 724,1 liter per vierkante meter. Dat betekent dat op jaarbasis 2.648 m³ (724,1 l/m² * 3.657 m²) regenwater opgevangen wordt.

De dagelijkse drinkwaterbehoefte op de Hooibeekhoeve kan eveneens berekend worden door het gemiddeld aantal dieren per kring te vermenigvuldigen met de gemiddelde waterinname. De dagelijkse drinkwaterbehoefte voor kring 1 bedraagt 233,2 liter. Kring 2 heeft een behoefte van 331,0 liter per dag. De dagelijkse waterbehoefte van kring 3 is 522,2 liter. Kring 4 en 5 hebben een dagelijkse waterbehoefte van respectievelijk 640,9 liter en 850,0 liter. De waterbehoefte van de droogstaande koeien bedraagt 534,8 liter per dag. Voor de waterbehoefte van de lacterende koeien worden beide groepen samen genomen. Dat resulteert in een gemiddelde dagelijkse waterbehoefte van 7.569,1 liter. Tabel 4-9 geeft de berekening weer. De totale drinkwaterbehoefte per dag op de Hooibeekhoeve bedraagt 10,7 m³.

Tabel 4-9 Dagelijkse drinkwaterbehoefte op de Hooibeekhoeve

	Gem. aantal dieren	Gem. waterinname (liter/dag)	Totaal (liter/dag)
Jongvee- kring 1	11	21,2	233,2
Jongvee – kring 2	10	33,1	331,0
Jongvee – kring 3	14	37,3	522,2
Jongvee – kring 4	13	49,3	640,9
Jongvee – kring 5	17	50,0	850,0
Droogstaande koeien	7	76,4	534,8
Lacterende koeien	77	98,3	7 569,1
			10 681,2

4.4 Simulatietool

De simulatietool wordt getest op het bedrijf 'de Hooibeekhoeve'. Daarbij zijn vier scenario's mogelijk. Het eerste scenario is dat de Hooibeekhoeve beschikt over een regenwateropslagput en ontsmettingsinstallatie. In het tweede scenario beschikt het bedrijf enkel over een opslagput. In het derde scenario beschikt het bedrijf over een ontsmettingsinstallatie (ECA-toestel) maar geen opslagput. Bij het vierde en laatste scenario is de aanleg van een opslagput en de aankoop van een installatie noodzakelijk.

In de tool wordt de veestapel opgesplitst in kalveren, jongvee tot 1 jaar, jongvee tot 2 jaar, droogstaande koeien en lacterende koeien. Om het aantal van jongvee tot 1 jaar te bekomen, worden kring 2 en 3 samengenomen. Kring 4 en 5 worden ook samengenomen om het aantal van jongvee tot 2 jaar te verkrijgen.

De standaardwaarden van de tool worden niet aangepast. De standaardwaarden staan vermeld in de handleiding van de tool (bijlage B). De tool geeft een jaarlijkse drinkwaterbehoefte van 4.005,2 m³ weer. De jaarlijkse hoeveelheid opgevangen regenwater bedraagt 2.642,2 m³. Dat betekent een jaarlijks tekort van 1.363 m³. Doordat 2.642,2 m³ drinkwater vervangen kan worden door regenwater, stemt dat overeen met een besparing van 3.858,7 euro.

Regenwateropslag en ontsmettingsinstallatie aanwezig

Doordat het bedrijf over een regenwateropslag en ontsmettingsinstallatie beschikt, zijn er geen investeringskosten. Indien rekening wordt gehouden met de jaarlijkse kosten voor onderhoud en gebruik (750 euro) stemt dat overeen met 3.108,7 euro besparingen per jaar.

Regenwateropslag aanwezig

Doordat de opslag aanwezig is, zijn de investeringskosten gelijk aan de aankoopkosten van installatie. De aankoopprijs ECA-toestel bedraagt 19.900 euro. De investering wordt op 6,4 jaar terugverdiend. Als de installatie een levensduur heeft van 20 jaar, bedraagt de jaarlijkse winst 2.113,7 euro.

Ontsmettingsinstallatie aanwezig

Bij de investeringskost wordt enkel rekening gehouden met de opslagkosten. De opslagkost is de som van de kosten van graafwerken (€ 597,34), opslagput (€ 10.523,36), pomp (€800) en de voorfilters (€1.100) en bedraagt in totaal 13.020,70 euro. De investering wordt na 4,2

jaar terugverdiend. Bij een afschrijving van 20 jaar bedraagt de jaarlijkse besparing 2.457,67 euro.

Regenwateropslag en ontsmettingsinstallatie afwezig

De investeringskosten is de som van de opslagkosten en de aankoopkosten. De investeringskost komt neer op 32.920,70 euro. De terugverdientijd bedraagt 10,6 jaar. Bij een afschrijving van 20 jaar, komt dat neer op een jaarlijkse besparing van 1.462,67 euro.

5 DISCUSSIE

Net zoals bij resultaten wordt de discussie opgesplitst in vier onderdelen: waterkwaliteit, waterinname (lacterende koeien, droogstaande koeien, jongvee), regenwaterrecuperatie en simulatietool.

5.1 Waterkwaliteit

Om conclusies te kunnen trekken betreffende de kwaliteit van regenwater en de effectiviteit van elektrochemische activering is het noodzakelijk om de historische analyseresultaten te gebruiken. Doordat het ECA-toestel, de dosering “anolyte” en de afvoer van het regenwater naar de opslagput niet is veranderend ten opzichte van de voorgaande werkingsperiode is het betrouwbaar om die data samen te voegen met de recente analyseresultaten. De analyseresultaten van het PIH zijn in bijlage toegevoegd.

Uit de resultaten van de wateranalyses van het proefbedrijf (bijlage C) blijkt dat het probleem zich stelt bij de biologische kwaliteit. Dat stemt overeen met de literatuur waarbij steeds gesproken wordt over de biologische kwaliteit van regenwater. De organoleptische en chemische kwaliteit van regenwater vormen zelden een probleem als deze rechtstreeks wordt verzameld van het dak (Nawaz *et al.*, 2012).

Naast het feit dat de biologische waterkwaliteit voor verschillende parameters niet voldoet aan de richtwaarden voor drinkbaar water, schommelen de resultaten van de wateranalyses ook sterk. De microbiële waterkwaliteit is dus enorm variabel. Die variatie kan te verklaren zijn door fecale besmettingen of besmette kadavers (Nawaz *et al.*, 2012; FAVV, 2019). Bovendien kent het regenwater in de opslagput weinig beweging waardoor het een ideale leefomgeving voor bacteriën vormt (Kim & Han, 2014; Oana *et al.*, 2015).

Door de resultaten van de melkvee- en jongveestal te vergelijken met de resultaten van de regenwaterput, worden weinig vermeerderingen vast gesteld. Er kan geconcludeerd worden dat het ECA-toestel zorgt voor de reductie van de bacteriologische besmetting. De methode inactieveert dus pathogene micro-organismen, wat overeenstemt met de beschrijving van elektrochemische activering (Kerwick *et al.*, 2005; Salathe *et al.*, 2009; Annolytech, 2019).

Echter na de statistische analyses, kunnen uitspraken gedaan worden over de effectiviteit van het ECA-toestel. Voor de parameters: aantal kiemen, totale coliformen, *E. coli* en enterococci leidt de ontsmetting tot een significante reductie van de besmetting. Voor *Clostridium perfringens* is het resultaat van de “Sign-test” een niet-significante verbetering. Dat is in tegenspraak met het resultaat bekomen uit het onderzoek van Ghernaout & Ghemaout (2010). Als de wateranalyses in bijlage bekeken worden, is het resultaat mogelijks te verklaren. Slechts bij 5 van de 15 meetdagen is het regenwater besmet met *C. perfringens*. Die 15 meetdagen leiden tot 24 bruikbare paren. Bij 16 paren is het aantal kolinievormende eenheden per 100 millimeter zowel voor als na de ontsmetting hetzelfde. Bovendien zijn bij twee paren de verontreiniging na ontsmetting groter dan voor ontsmetting. Er blijven dus slechts 6 paren over waarvan de verontreiniging na ontsmetting kleiner is dan voor de ontsmetting. Dat alles samen leidt tot een grotere p-waarde. Bij sulfietreducerende clostridia zorgt elektrochemische activering voor een zwak significante verbetering van de biologische waterkwaliteit.

Om nog een betere inactivatie van de micro-organismen te verkrijgen, kan de dosering van “anolyte” verhoogd worden. Echter kan een te hoge dosering leiden tot ongewenste geur en smaak. Het effect van de toepassing van regenwater met een dosering van “anolyte” van 10% wordt besproken bij het melk- en jongvee.

5.2 Waterinname

De waterinname van de lacterende koeien, droogstaande koeien en jongvee wordt geschat met behulp van lineair modellen. Echter zijn er achterliggende redenen waarom lineaire regressie wordt toegepast. De waterinname is logischerwijs afhankelijk van verschillende parameters. In de literatuurstudie zijn positieve verbanden aangehaald die aan de basis liggen voor de toepassing van een lineair model. Het onderzoek van Pinheiro Machado Filho *et al.* (2004) leidde tot de conclusie: een toename in drogestof opname leidt tot een toename in waterinname. Holter & Urban (1992) hebben een positief verband tussen het drogestof gehalte en de waterinname ondervonden. Voor de lacterende koeien ondervonden Holter & Urban (1992) een lineair verband tussen melkgift en waterinname. Maar ook het positieve verband tussen omgevingstemperatuur en waterinname bepaalt mede de keuze voor lineaire regressie (Khelil-Arfa *et al.*, 2014; Apphamy *et al.*, 2016). Die lineaire verbanden vormen een goede basis voor het toepassen van lineaire regressie.

5.2.1 Lacterende koeien

Tussen de twee groepen in de melkveestal is een significant verschil aanwezig tussen de gemiddelde waterinname. Belangrijk is dat voor het verschil verklaringen worden gezocht op basis van zoötechnische kengetallen zoals melkproductie, pariteit enzovoort. Indien geen duidelijke verklaringen te vinden zijn, kan het verschil ook worden toegewezen aan de drinkwaterbeschikbaarheid. Echter voldoet de drinkwaterbeschikbaarheid voor beide groepen aan de aanbevelingen.

Bij de ligboxenruimte zijn bij beide groepen twee drinkbakken voorzien. Het gemiddeld aantal melkkoeien bij groep 1 en 2 bedragen respectievelijk 39 en 38. Dat betekent dat er per 20 koeien een waterbak is voorzien. Volgens de aanbeveling van Næss *et al.* (2011) en Declerck *et al.* (2012) moet er één reservoir per 20 tot 30 koeien voorzien worden. Dat stemt dus overeen met de beschikbaarheid in groep 1 en groep 2. Bovendien is er bij de ruimte aan het voederhek eveneens drinkwatervoorziening. Bij groep 1 zijn daar twee sneldrinkers ter beschikking. Bij groep 2 is daar slechts één sneldrinker geplaatst. Volgens Wemmenhove *et al.* (2009) moet bij iedere verblijfsruimte water beschikbaar zijn. Dat is op de Hooibeekhoeve ook van toepassing.

De consumptiepieken stemmen typisch overeen met voer- en melktijden (Declerck *et al.*, 2012). Volgens Cardot *et al.* (2008) drinken driekwart van het aantal melkkoeien minstens eenmaal binnen de twee uur na het melken. Bij een conventioneel melksysteem kan dat dus leiden tot piekmomenten en een tekort aan de drinkwatergelegenheden. Op die momenten zullen onderdanige koeien worden weggedreven door dominante koeien, wat de hoeveelheid waterinname van de onderdanige koeien nadelig beïnvloedt (Pinheiro Macado Filho *et al.*, 2004). De Hooibeekhoeve beschikt over een automatisch melksysteem, wat ervoor zorgt dat piekmomenten aan de watergelegenheden worden vermeden.

Het onderzoek naar verschillen in zoötechnische parameters geeft verschillen in pariteit, lactatiestadium, melkgift, drogestof opname en de opname van krachtvoer 1 en 3. Lineaire regressie, toegepast op beide groepen samen, leidt tot een determinatiecoëfficiënt van 0,396 (vergelijking 4-3). Indien de groepen opgesplitst worden, zal de determinatiecoëfficiënt van beide groepen verschillen. Groep 1 heeft een hogere determinatiecoëfficiënt dan beide groepen samen, namelijk 0,629. De determinatiecoëfficiënt bij groep 2 is lager en bedraagt 0,204. De RMSE van groep 1 (8,2) is groter dan groep 2 (5,7). Aangezien de RMSE een maatstaf is voor de spreiding van residuen, betekent een lagere RMSE een betere fit. De standaardafwijking levert ook een bijdrage in verschil in determinatiecoëfficiënten. De standaardafwijking bij groep 1 (SD=10,5) is groter dan bij groep 2 (SD= 5,9). Het model van groep 1 heeft 6 parameters die de waterinname significant beïnvloeden, namelijk lactatiestadium, melkgift, minimum binnentemperatuur, drogestof opname, drogestof gehalte en ECA. Voor groep 2 hebben slechts drie parameter (melkgift, krachtvoer 1 en ECA) met een significante invloed.

In Tabel 4-3 kunnen de coëfficiënten van lineaire regressie voor de groep 1 en groep 2 afgelezen worden. Aangezien er een significant verschil aanwezig is in lactatiestadium, pariteit, melkgift, drogestof opname en de opname van krachtvoer 1 en 3 wordt in de tabel gekeken naar die coëfficiënten. De coëfficiënt bij lactatiestadium is voor beide groepen negatief. Het lactatiestadium heeft bij groep 1 een significante invloed. Opmerkelijk is het teken bij de pariteit. Bij groep 1 heeft de pariteit een negatief teken. Dat betekent dat een stijgende pariteit leidt tot een verminderde waterinname. Integenstelling tot groep 1, wordt bij groep 2 een positief teken bekomen. Daarbij zal een toenemende pariteit zorgen voor een verhoogde waterinname. De pariteit heeft bij beide groepen echter geen significante invloed op de waterinname dus het teken zal geen bijdrage leveren in de verklaring voor het verschil. De drogestof opname heeft bij groep 1 een invloed. Aan de coëfficiënten bij melkgift is niets aan te merken want het teken bij beide coëfficiënten is vanzelfsprekend positief. Krachtvoer 1 heeft wel een significante invloed bij groep 2. Krachtvoer 3 heeft geen significante invloed.

Het volledige model van beide groepen (vergelijking 4-1) verklaart 39,1 % van de variantie als de gemiddelde temperaturen van binnen en buiten genomen worden. Als de minimum temperatuur wordt toegepast, stijgt de determinatiecoëfficiënt beperkt. De minimumtemperatuur verklaart 39,6 procent van de variantie (vergelijking 4-3). Voor de lacterende koeien is de minimum temperatuur dus geschikter dan de gemiddelde temperatuur. De onderzoekers Murphy *et al.* (1983) en Cardot *et al.* (2008) gebruikten eveneens de minimum temperatuur. Stockdale & King (1983) opteerde voor een gemiddelde temperatuur. De determinatiecoëfficiënten zijn laag door het nemen van het gemiddelde over de waterinname en de verschillende parameters. Daardoor wordt de variatie in de dataset gereduceerd en wordt het moeilijker om verbanden te zoeken. Indien alle parameters op koeniveau beschikbaar zouden zijn, kunnen nauwkeurigere modellen bekomen worden.

Het lactatiestadium heeft zowel in vergelijking 4-2 ($p=0,003$) als in vergelijking 4-4 ($p=0,008$) een significante invloed op de waterinname. Het teken van de coëfficiënt is negatief. Mits het aantal dagen in lactatie toeneemt, zal de koe minder water consumeren. Osborne *et al.* (2002) spreekt echter over een toenemende waterinname na de kalving. Die verhoogde waterinname is het gevolg van een stijgende melkproductie (National Research Council, 2001). De lactatiepiek wordt bereikt tussen de 3^{de} en 7^{de} week na kalving (Bossaert *et al.*, 2008). Uit het standpunt van National Research Council (2001) zal de waterinname dus stijgen tot de lactatiepiek bereikt is. Doordat het lactatiestadium wordt berekend door het gemiddelde te nemen van het aantal dagen in lactatie van alle lacterende koeien, is het aantal dagen in lactatie voorbij de lactatiepiek. Het negatieve teken is dus niet excentriek. Ondanks dat het lactatiestadium een sterk significante invloed heeft op de waterinname, is de variabele niet

aanwezig in de modellen van Murphy *et al.* (1983), Stockdale & King (1983) en Cardot *et al.* (2008).

Als beide groepen samen in een model worden opgenomen (vergelijking 4-2 en 4-4), heeft de pariteit een significante invloed ($p < 0,05$) op de waterinname. De invloed is bovendien positief. Een hogere pariteit leidt tot een hogere waterinname. De pariteit is opgenomen als een lineaire parameter namelijk pariteit één, twee, drie enzovoort. Dat kan echter in vraag getrokken worden. Enkel de eerste pariteit is beduidend verschillend. Een onderscheid tussen primipare en multipare koeien zou daardoor beter kunnen zijn. Ondanks de sterk significante invloed van pariteit op de waterinname, is de parameter niet opgenomen in de modellen van Murphy *et al.* (1983), Stockdale & King (1983) en Cardot *et al.* (2008).

Net zoals het lactatiestadium en de pariteit heeft de melkgift een sterk significante invloed ($p = 0,003$). Doordat melk voor ongeveer 87% uit water bestaat, heeft de melkgift een positieve invloed op de waterinname (Lainez & Hsia, 2004; González Pereyra *et al.*, 2010). In vergelijking 4-2 (beperkt model met de gemiddelde temperatuur) bedraagt de coëfficiënt 2,462. Dat wil zeggen dat voor één kilogram melk de waterinname 2,462 liter bedraagt. In vergelijking 4-4 (beperkt model met de minimum temperatuur) bedraagt de coëfficiënt 2,439. De coëfficiënten zijn gelegen tussen de waarden gevonden in de literatuur (Castle & Thomas, 1975; Holter & Urban, 1992; Meyer *et al.*, 2004). Om de waterinname van de lacterende koeien in te schatten, is de melkgift een parameter die vaak wordt opgenomen zoals onder andere in het model van Murphy *et al.* (1983) en Cardot *et al.* (2008). De coëfficiënten van deze proef zijn hoger dan de coëfficiënten in het onderzoek van Murphy *et al.* (1983) en Cardot *et al.* (2008).

Opmerkelijk is dat de drogestof opname, in tegenstelling tot Murphy *et al.* (1983), Cardot *et al.* (2008) en Stockdale & King (1983), in deze studie geen significante invloed heeft op de waterinname. In de modellen van Murphy *et al.* (1983), Cardot *et al.* (2008) en Stockdale & King (1983) heeft het drogestof gehalte een invloed op de waterinname. Dat is tegenstrijdig met het resultaat uit deze proef. Tussen het drogestof gehalte van het ruwvoer en de waterinname is geen significant verband vastgesteld.

Krachtvoer 1 heeft zowel bij het model met de gemiddelde temperatuur (vergelijking 4-2) als bij het model met de minimum temperatuur (vergelijking 4-4) een significante invloed op de waterinname. Het krachtvoer heeft een negatieve invloed en resulteert dus in een lagere waterinname. Krachtvoer 3 heeft enkel een invloed op de waterinname bij het model met de gemiddelde temperatuur (vergelijking 4-2). Krachtvoer 2 heeft geen significante invloed. Aangezien krachtvoer een hoge drogestof gehalte heeft en krachtvoer 1 het evenwichtig krachtvoer is, is het negatieve teken opmerkelijk. Een kritische reflectie daarover is noodzakelijk. Krachtvoer 1 zorgt mede ervoor dat koeien een hoge melkgift kunnen bereiken en die zo lang mogelijk kunnen behouden. Er is een sterk significante positieve correlatie aanwezig tussen melkgift en krachtvoer 1. Doordat de invloed van de melkgift sterk significant is, wordt de waterinname voornamelijk geschat op basis van de melkgift in plaats van krachtvoer 1. Krachtvoer 1 zal zorgen voor een correctie van de waterinname.

De gemiddelde binnentemperatuur heeft, in tegenstelling tot de gemiddelde buitentemperatuur, een negatieve invloed op de waterinname (vergelijking 4-1). De gemiddelde buitentemperatuur heeft een significante positieve invloed op de waterinname. In het model met de minimum temperaturen (vergelijking 4-3) heeft de minimum buitentemperatuur, in tegenstelling tot de minimum binnentemperatuur, een negatieve invloed. Die hoedanigheden zijn te verklaren door de sterke correlatie tussen de binnen- en buitentemperatuur. In het model met de gemiddelde temperatuur (vergelijking 4-1) wordt de waterinname voornamelijk verklaard

door de gemiddelde buitentemperatuur. De gemiddelde binnentemperatuur zal in dat model zorgen voor een negatieve correctie. In het model met de minimum temperatuur (vergelijking 4-3) wordt de waterinname grotendeels verklaard door de minimum binnentemperatuur, waarbij de minimum buitentemperatuur zorgt voor een negatieve correctie. De luchtvochtigheid, zowel binnen als buiten, heeft geen significante invloed op de waterinname. De parameter wordt ook niet opgenomen in de modellen van Murphy *et al.* (1983), Stockdale & King (1983) en Cardot *et al.* (2008).

De parameter "ECA" heeft een sterk significante invloed ($p=0,001$) bij zowel de gemiddelde als bij de minimum temperatuur (vergelijking 4-2 en 4-4). Het teken bij de coëfficiënt is positief. De koeien drinken dus meer regenwater in vergelijking met leidingwater. Die hogere consumptie kan te wijten zijn aan een aangename smaak. Echter is de uitspraak hierover niet helemaal correct. Bij een te kort aan regenwater zal het ECA-toestel automatisch overschakelen op leidingwater. Het ECA-toestel blijft met andere woorden continue actief en doet dus ook bij het leidingwater. Bij regenval gaat het automatisch terug overschakelen op regenwater.

Ookal bedraagt de determinatiecoëfficiënt van het model met de significante parameters bij de gemiddelde temperatuur (vergelijking 4-2) 0,6 % meer, wordt in de berekeningstool het model met de minimum temperatuur (vergelijking 4-4) gebruikt. De reden voor die keuze is de aanwezigheid van krachtvoer 3 in het model met de gemiddelde temperatuur (vergelijking 4-2). Dat krachtvoer is een speciale toediening voor een andere lopende proef op de Hooibeekhoeve en komt dus niet op een doorsnee melkveebedrijf voor. Om de tool bruikbaar te maken voor zoveel mogelijk melkveehouders, wordt daarom voor het significante model van de minimum temperatuur (vergelijking 4-4) geopteerd.

5.2.2 Droogstaande koeien

Het model van dataset 1 (vergelijking 4-6) verklaart slechts 10,4 % van de variantie. Indien de parameter minimum buitentemperatuur wordt opgenomen (vergelijking 4-8), wordt 11,8 % van de variantie verklaard. Bovendien heeft de parameter gemiddelde buitentemperatuur maar een zwak significante invloed op de waterinname. De minimum buitentemperatuur heeft daarentegen een significante invloed. Het teken bij de gemiddelde of minimum buitentemperatuur is positief. Zoals reeds vastgesteld bij Khelil-Arfa *et al.* (2014) leidt een hogere temperatuur tot een hogere waterinname. De pariteit blijkt geen invloed te hebben op de waterinname. Een koe is pas volgroeid bij de derde lactatie. Daarom wordt de parameter pariteit geregistreerd bij de droogstaande koeien. Een toenemende pariteit, met als gevolg een toenemend lichaamsgewicht, heeft geen significante invloed op de waterinname. Dat stemt overeen met de bevindingen van Holter & Urban (1992). De parameter drachtstadium blijkt eveneens geen bijdrage te leveren aan de waterinname. Dat is tegenstrijdig met de resultaten van Osborne *et al.* (2002). Wanneer de kalving nadert, zou door het opgang komen van de melkproductie de waterinname stijgen (National Research Council, 2001). De werking van het ECA-toestel heeft ook geen invloed op de waterinname.

Bij het model van dataset 2 (vergelijking 4-9) heeft geen enkele parameter een significante invloed op de waterinname. Het drogestof gehalte en de drogestof opname hebben dus geen significante invloed in deze proef. Dat resultaat is tegenstrijdig met het model gevonden door Kume *et al.* (2010).

De lage determinatiecoëfficiënten bij dataset 1 en 2 zijn waarschijnlijk het gevolg van niet-ideale praktijkomstandigheden. De gemiddelde waterinname per droogstaande koe per dag

is bekomen door het totale waterverbruik te delen door het aantal aanwezige droogstaande koeien en door het aantal dagen (formule 3-1). Het aantal droogstaande koeien per dag wordt berekend op basis van droogzet- en afkalldata. Er wordt aangenomen dat de koeien worden drooggezet of verhuisd naar de melkveestal om 12 uur 's middags. Dat wordt via het aantal in rekening gebracht. Bovendien wordt de aanname gemaakt dat far-off droogstaande koeien evenveel water drinken als close-up droogstaande koeien. Doordat de observaties één maal per week worden uitgevoerd, moet het gemiddeld aantal droogstaande koeien over de periode tussen twee metingen genomen worden. Door de gemiddelde waterinname te berekenen uit het gemiddeld aantal dieren zal de variatie enorm gereduceerd worden. Als gevolg van die reductie in variatie, wordt het moeilijker om verbanden te kunnen aantonen. Dagelijkse observaties zouden leiden tot nauwkeurigere modellen. Maar de nauwkeurigste modellen worden bekomen door het registreren van de verschillende parameters op koeniveau.

Om de waterinname van de droogstaande koeien nauwkeuriger in te schatten is het eerst en vooral noodzakelijk om ervoor te zorgen dat er geen kranen of andere aftappunten aanwezig zijn op de waterkring. Zo wordt het waterverbruik voor andere doeleinden uitgesloten. Daardoor is het toepassen van "boxplots" om outliers te detecteren overbodig. In de verkregen dataset bij deze proef zullen hoogstwaarschijnlijk nog afwijkende waterverbruiken aanwezig zijn. Die foutieve waterverbruiken zullen zorgen voor een hoge waarde voor de waterinname per koe per dag. De gemiddelde waterinname per dag tijdens deze proef bedraagt tussen de 76,4 liter. Dat is meer dan het dubbele van de onderschatte waterinname door Kume *et al.* (2010).

Eveneens is het interessanter om de waterinname van de far-off en close-up droogstaande koeien apart te onderzoeken en te vergelijken met elkaar. Door de waterinname van de far-off en close-up droogstaande koeien samen te nemen, kunnen slechts weinig betrouwbare conclusies getrokken worden omtrent de stijging van waterbehoefte in de transitieperiode. Osborne *et al.* (2002) beweert dat tijdens de week voor het kalven tot de week na het kalven, door het opgang komen van de melkproductie, de waterbehoefte stijgt van 57 tot 73 liter water per dag. Of koeien die hoeveelheid water aan het einde van de dracht ook werkelijk gaan opnemen, kunnen we uit deze proef niet besluiten.

Eveneens is de parameter 'drogestof opname' inaccuraat. De close-up droogstaande koeien krijgen het rantsoen van de droogstaande koeien gevoederd gecombineerd met dagelijks het restvoeder van de lacterende koeien. Er wordt aangenomen dat dit restvoer 8 kilogram per close-up koe, zoals geadviseerd in de rantsoenberekening, bedraagt.

Dataset 3 levert een model op meerdere variabelen (vergelijking 4-11) en een hoge determinatiecoëfficiënt. De hoge determinatiecoëfficiënt kan verklaard worden door twee redenen. Enerzijds is de hoge waarde te verklaren door het aantal metingen. Door ontbrekende waarden is dataset 3 enorm gekrompen ten opzichte van dataset 1 (12 metingen t.o.v. 36 metingen). Een kleinere dataset leidt tot minder betrouwbare resultaten. Anderzijds is het aantal variabelen bepalend. Hoe meer variabelen er opgenomen worden, hoe meer van de totale variantie verklaard kan worden. In het verkregen model zijn eigenaardigheden te bespeuren. Tegenstrijdig met Holter & Urban (1992) blijkt de pariteit, dus onrechtstreeks het lichaamsgewicht, wel een significante positieve invloed te hebben op de hoeveelheid waterinname. Het teken bij het drachtstadium is negatief. De waterinname zal dus dalen bij een toenemend aantal dagen in dracht. Dat kan mogelijks verklaard worden door het kalf dat steeds meer plaats in de buikholte zal innemen waardoor de ruwvoer opname, en bijkomstig de waterinname, dalen. Osborne *et al.* (2002) stelde echter een toenemende waterinname vast. Net zoals in het model van Kume *et al.* (2010) is het drogestof gehalte gebruikelijk voor het schatten van de waterinname. Bovendien is de invloed positief want door een verhoogd dro-

gestof gehalte stijgt de waterbehoefte (Holter & Urban, 1992). Het teken van de gemiddelde binnentemperatuur is negatief. Als de binnentemperatuur met één graden Celsius toeneemt, daalt de waterinname dus met 20,7 liter. Volgens Khelil-Arfa *et al.* (2014) en Appuhamy *et al.* (2016) zou een positief verband aanwezig moeten zijn. De buiten- en binnentemperatuur zijn sterk significant met elkaar gecorreleerd. Doordat de buitentemperatuur een lagere p-waarde heeft, wordt het model meer verklaard door de buiten- als door de binnentemperatuur. De binnentemperatuur zal dus zorgen voor een aanpassing van de waterinname.

Door de lagere betrouwbaarheid van het laatste model (vergelijking 4-11), wordt het model van dataset 1 met minimum buitentemperatuur (vergelijking 4-8) gebruikt in de tool. Door de lage determinatiecoëfficiënt ($R^2 = 0,118$) zal de schatting van de waterinname bij de droogstaande koeien niet heel nauwkeurig zijn.

5.2.3 Jongvee

De verschillende waterkringen in de jongveestal geven de mogelijkheid om het waterverbruik te linken aan gewicht en leeftijd, zoals Looper & Waldner (2007) en Rummelink *et al.* (2007) dat beschreven in hun werk.

In Tabel 4-6 kan het gemiddeld gewicht per kring afgelezen worden. Looper & Waldner (2007) beweren dat per 24 kilogram lichaamsgewicht de waterinname 2 tot 3 liter bedraagt. Voor kring 1 betekent dat een waterinname tussen 8,8 en 13,16 liter. De geregistreerde waterinname bij kring 1 is inclusief het waterverbruik van de melkautomaat. Daardoor wordt een hogere waterinname dan Looper & Waldner (2007) bekomen. De waterinname bij kring 2 ligt eveneens hoger dan de voorspelling van Looper & Waldner (2007). De onderzoekers Looper & Waldner (2007) voorspellen voor kring 3 een waterinname tussen 29,7 en 44,6 liter. Dat stemt overeen met de gemiddelde waterinname van kring 3. Voor een gewicht van 482,7 kg wordt een waterinname tussen 40,2 en 60,3 liter geschat. De gemiddelde waterinname van kring 4 voldoet dus aan de resultaten van Looper & Waldner (2007). Voor waterkring 5 ligt de waterinname net iets lager dan de verwachte waterinname volgens Looper & Waldner (2007). De resultaten van Looper & Waldner (2007) stemmen dus niet altijd overeen. Voor kring 1 en 2 is de waterinname van Looper & Waldner (2007) onderschat. Voor kring 5 is de waterinname van Looper & Waldner (2007) weliswaar overschat.

Volgens Rummelink *et al.* (2013) bedraagt de vochtbehoefte voor jongvee tot één jaar tussen de 5 tot 30 liter per dag. Jongvee met een leeftijd van één tot twee jaar heeft een behoefte van 30 tot 55 liter vocht per dag (Rummelink *et al.*, 2013). De vochtbehoefte is echter hoger dan de waterinname (Meyer *et al.*, 2004; Rummelink *et al.*, 2013). Volgens Meyer *et al.* (2004) wordt 83 procent van de totale waterbehoefte opgevuld door drinken. Het vee van waterkring 1,2 en 3 heeft een leeftijd jonger dan één jaar. De gemiddelde waterinname voor die kringen is hoger dan de vochtbehoefte volgens Rummelink *et al.* (2013). Indien gekeken wordt naar de waterinname van kring 4 en 5, met andere woorden jongvee ouder dan één jaar en jonger dan twee jaar, is de gemiddelde waterinname ongeveer 50 liter per dag. Volgens de beweringen van Meyer *et al.* (2004) en Rummelink *et al.* (2013) bedraagt de waterinname maximum 46 liter per dag (83 % van 55 liter). De waterinname op basis van leeftijd door Rummelink *et al.* (2013) is dus onderschat.

Tijdens de beschrijving van de vochtbehoefte splitsen Rummelink *et al.* (2013) het jongvee op in twee groepen namelijk jongvee (ouder dan 5 maanden) tot één jaar en jongvee tussen één en twee jaar. In het onderzoek naar significante verschillen in de waterinname onderscheidt kring 1 zich van de overige waterkringen. Tussen kring 2 en 3, maar ook tussen kring

4 en 5, is geen significant verschil aanwezig. De resultaten van de gemiddelde waterinname zorgen dus voor een opsplitsing in drie groepen. Groep 1 is de groep van de kalveren (jonger dan 5 maanden). Groep 2 is jongvee tot een leeftijd van één jaar. De laatste groep is het jongvee tussen één en twee jaar. De resultaten bevestigen de gekozen indeling van Rummelink *et al.* (2013).

Naast de lineaire verbanden uit de literatuur liggen ook de lineaire verbanden met leeftijd en gewicht aan de basis voor het toepassen van lineaire regressie. Tussen leeftijd en waterinname is een lineair verband aanwezig dat ongeveer 55 procent van de variantie verklaart. Globaal gezien betekent dat: naarmate het dier ouder wordt, neemt de waterinname toe. Eveneens is zo een positief lineair verband aanwezig tussen het gewicht en de waterinname. Dat verklaart ongeveer 59 procent van de variantie.

In het model van dataset 1 (vergelijking 4-12) heeft het gewicht, de leeftijd en de buitentemperatuur een zeer sterk significante invloed op de waterinname. Het gewicht heeft een positieve invloed, zoals gevonden door Looper & Waldner (2007). Eveneens zorgt een hoge buitentemperatuur voor een hogere waterinname. Dat bekrachtigt de bevindingen van Khelil-Arfa *et al.* (2014) en Appahamy *et al.* (2016). Echter het negatieve teken bij de coëfficiënt van de leeftijd is tegenstrijdig met Rummelink *et al.* (2013). Eveneens heeft de leeftijd een positief verband met waterinname bij de afwezigheid van andere parameters. Die eigenaardigheid is mogelijks te verklaren door de sterk significante positieve correlatie tussen leeftijd en gewicht. De hoeveelheid waterinname dat door het gewicht te veel wordt bekomen, zal worden gecorrigeerd door de leeftijd. De buitenluchtvochtigheid heeft een zwak significante negatieve invloed op de waterinname. Een hogere luchtvochtigheid leidt tot een lagere waterinname. Het effect van het ECA-toestel wordt verder in dit hoofdstuk besproken.

Bij het model van dataset 2 (vergelijking 4-14) heeft drogestof opname in deze proef geen significante invloed op de waterinname. Kring 1 telt niet bij de dataset door de onbekende voeropname van de kalveren op stro. De drogestof opname van de overige kringen is inaccuraat. Naast de aannames dat er gevoederd wordt om 8 uur 's morgens en dat er geen restvoer overblijft, is een derde aanname noodzakelijk. Kring 2 en 3 krijgen hetzelfde rantsoen gevoederd. De voedermengwagen wordt voor beide groepen tegelijkertijd geladen. Het droog- en geleverd gewicht zijn één waarde voor beide kringen. De kringen 2 en 3 hebben dus in deze proef dezelfde hoeveelheid drogestof opname. Hetzelfde probleem doet zich ook voor bij kring 4 en 5. Het drogestof gehalte heeft daarentegen wel een significante invloed op de waterinname. Een hoger percentage drogestof leidt tot een verhoogde waterinname, zoals de bewering van Holter & Urban (1992).

In het model van dataset 3 (vergelijking 4-16) heeft de binnenluchtvochtigheid een significante invloed op de waterinname. Het teken is negatief. Bijgevolg resulteert een drogere luchtvochtigheid in een verhoogde waterinname. De coëfficiënt bij de parameter binnentemperatuur in het algemene model is ook negatief. Als de temperatuur in de stal toeneemt, daalt de waterinname. Dat spreekt Khelil-Arfa *et al.* (2014) en Appahamy *et al.* (2016) tegen. Luchtvochtigheid en temperatuur zijn sterk significant gecorreleerd. De correlatiecoëfficiënt is negatief: bij een hogere temperatuur is de luchtvochtigheid typisch lager. Die correlatie kan zorgen voor correctie in de waterinname door de binnentemperatuur.

Bij alle drie de datasets (vergelijking 4-12, 4-14 en 4-16) heeft de werking van "ECA" een significante invloed op de waterinname. Het teken van de waterinname is integenstelling tot de lacterende koeien negatief. Tijdens de werking van het "ECA"-toestel is de waterinname van het jongvee lager. Jongvee heeft met andere woorden een voorkeur voor leidingwater. Het resultaat moet echter met een korrel zout genomen worden. De korte werkingsperiode

ten opzichte van de observatieperiode is niet-representatief. De gevonden resultaten kunnen het gevolg zijn van toevalligheden.

Net zoals bij de droogstaande koeien wordt de gemiddelde waterinname per dier per dag berekend door de formule 3-1. Het aantal dieren in de noemer van de breuk (formule 3-1) is het gemiddeld aantal dieren over de periode tussen twee metingen. De gemiddelde waterinname per dier wordt dus berekend uit het gemiddeld aantal dieren. Om de waterinname per dier per dag te bekomen, wordt waterinname per dier gedeeld door de tijd (aantal dagen). Door te delen door het gemiddelde en door de tijd, wordt de variatie in de dataset gereduceerd. Daardoor wordt het moeilijker om nauwkeurige verbanden te kunnen aantonen.

Door de onnauwkeurigheid van de drogestof opname zal het model van dataset 1 (vergelijking 4-12) gebruikt worden in de tool. Daardoor wordt de tool dus bruikbaar voor zowel kalveren als jongvee.

5.3 Regenwaterrecuperatie

In Tabel 1-4 staan de verschillende dakbedekkingcoëfficiënten neergeschreven. Echter staat de dakbedekking golfplaten niet beschreven. Voor de meeste dakbedekkingen, bij schuine daken, bedraagt de dakbedekking tussen de 0,9 en 0,95 (Waterportaal, 2018). Daardoor wordt een dakbedekking van 0,95 aangenomen. In Tabel 1-3 worden de verschillende hellingcoëfficiënten, volgens Waterportaal (2018), weergegeven. Doordat de juiste helling niet vermeld staat, wordt door middel van extrapolatie de hellingcoëfficiënten bekomen.

De gemiddelde jaarlijkse hoeveelheid regenwater dat opgevangen wordt door de daken van de melkveestal en de jongveestal bedraagt 2.648 m³. De behoefte aan drinkwater op jaarbasis is 3.905,5 m³ (10,7 m³/dag * 365 dagen/jaar). De behoefte aan drinkwater is dus groter dan de hoeveelheid opgevangen regenwater. Het tekort bedraagt 1.257,5 m³ (3905,5 m³ - 2.648 m³). Dat tekort aan opgevangen regenwater kan ook afgeleid worden uit Figuur 4-15. Een laag percentage leegstand is voordeliger (Vlaamse Milieumaatschappij, 2015a). Daarom wordt gekozen voor een leegstandspercentage van 1 procent. De combinatie van grootte van de opslagput, dakoppervlakte en leegstandspercentage leidt tot een dagelijkse beschikbaarheid van 5,5 m³. Echter bedraagt de waterbehoefte per dag 10,7 m³. Het tekort aan regenwater moet worden opgevangen door een andere waterbron (Vlaamse Milieumaatschappij, 2012). Bij de Hooibeekhoeve zal een overschakeling gemaakt worden naar leidingwater (PIDPA).

5.4 Simulatietool

Bij de berekeningstool bedraagt de hoeveelheid jaarlijks opgevangen regenwater 2.642 m³. Daarbij wordt geen rekening gehouden met de dakbedekking door de aanname van een dakbedekkingcoëfficiënt van 0,95. Als er ook rekening wordt gehouden met de helling en oriëntatie van het dak bedraagt de hoeveelheid jaarlijks opgevangen regenwater 2.648 m³. Dat scheelt slechts 6 m³. Bijgevolg kan besloten worden dat de vereenvoudiging, om de tool gebruiksvriendelijk te houden, een goede benadering is van de hoeveelheid opgevangen regenwater per jaar.

Bij alle vier de scenario's blijft de jaarlijkse besparing bij een afschrijving van 20 jaar positief. Dat wil dus zeggen dat de recuperatie van regenwater tot drinkwater economisch rendabel is op voorwaarde dat de levensduur voldoende lang is.

In het eerste scenario is de jaarlijkse besparing logischerwijs het hoogst doordat er geen investeringskosten gemaakt worden.

Het tweede scenario geldt voor bedrijven die reeds beschikken over een regenwateropslag. De meeste bedrijven die regenwater verzamelen, gebruiken het water voor niet-drinkwater doeleinden. Alvorens regenwater te gebruiken als drinkwater wordt een ontsmetting aangeraden. De aankoopkosten van de installatie worden terugverdiend na 6,4 jaar.

In het derde scenario worden de opslagkosten bij de Hooibeekhoeve terugverdiend na 4,2 jaar. Bij de opslagkosten zijn de keldervloer, de muren en afdekking (dichte vloer) de duurste component. Indien het bedrijf regenwater wil recupereren voor bijvoorbeeld het reinigen van landbouwmachines kan het derde scenario gebruikt worden. Het bedrijf moet daarbij enkel een opslagput met pomp en filters voorzien. Echter zal het waterverbruik voor reiniging lager zijn dan de drinkwaterbehoefte. Bovendien wordt mogelijk niet dagelijks gereinigd. Daardoor kan de regenwateropslagput, berekend op basis van 25 liter per vierkante meter, regelmatig overlopen.

In het laatste scenario recupereert het bedrijf tot op heden nog geen regenwater. De investeringskosten zijn daardoor het hoogst. Zowel de kosten van opslag als de kosten van installatie worden in rekening gebracht. In het geval van de Hooibeekhoeve is het ECA-toestel de duurste component van de investeringskost. De terugverdientijd bedraagt 10,6 jaar.

CONCLUSIE

In Vlaanderen, is de noodzaak naar alternatieve waterbronnen en een zuinig waterverbruik onontkoombaar. Bijgevolg is de recuperatie van regenwater, of meer algemeen hemelwater, steeds meer aan de orde.

Afhankelijk van het gebruiksdoel van het water worden kwaliteitseisen opgelegd. Regenwater heeft te kampen met een variërende microbiële kwaliteit, die vaak niet voldoet aan de richtwaarden voor drinkbaar water. Mits een zorgvuldige verzameling en opslag van het regenwater vormen de organoleptische en chemische kwaliteit geen probleem. Regenwater kan dus gebruikt worden als drinkbaar water voor melkvee. Een ontsmettingsmethode voor het verbeteren van de biologische kwaliteit wordt sterk aangeraden want een overschrijding van richtwaarden kan gezondheidsproblemen of andere ongewenste neveneffecten met zich meebrengen. Die kosten van ontsmetting (aankoop installatie, onderhoud en verbruik) komen bovenop de kosten van regenwateropslag.

Bovendien is de beschikbaarheid van regenwater geen garantie. In België is regenval geen dagelijks gegeven en schommelt de hoeveelheid regenval sterk. De gemiddelde jaarlijkse neerslag, gebaseerd op de laatste acht jaar, bedraagt 724,1 liter per vierkante meter. Afhankelijk van de dakoppervlakte, grootte van de opslagtank en het percentage leegstand is een dagelijks volume beschikbaar. Om de hoeveelheid opgevangen regenwater af te toetsen met de drinkwaterbehoefte, zijn modellen noodzakelijk om die behoefte te kunnen berekenen.

De gemiddelde waterinname van lacterende koeien in deze proef bedraagt 98,3 liter per dag. Het lineaire model voor het schatten van de waterinname verklaart 36,4 procent van de variantie. De parameters met een significante invloed op de waterinname, gerangschikt in stijgende p-waarde, zijn: werking van ECA-toestel (ontsmetting), melkgift, pariteit, lactatiestadium, minimum binnentemperatuur en het evenwichtig krachtvoer. Het gebruik van regenwater resulteert in een verhoogde waterinname ten opzichte van leidingwater. Doordat melk voor 87 procent uit water bestaat, is de invloed van melk logischerwijs positief. De productie van één kilogram melk vergt een waterinname van 2,439 liter. Een toenemend lactatiestadium resulteert in een verminderde waterinname. De pariteit heeft een positieve invloed op de waterinname en het evenwichtig krachtvoer heeft een negatieve invloed op de waterinname. Door de sterke significante positieve correlatie ($p=0,000$) tussen melkgift en het evenwichtig krachtvoer, zal het krachtvoer zorgen voor een kleine correctie.

De gemiddelde dagelijkse waterinname van droogstaande koeien op het proefbedrijf bedraagt 76,4 liter. De lagere waterbehoefte ten opzichten van de lacterende koeien komt door geen of nauwelijks melkproductie, verminderde beweging en langere liegperiodes. De waterinname is afhankelijk van de minimum buitentemperatuur. Het model verklaart 11,8 procent van de variantie. De minimum buitentemperatuur heeft een positieve invloed op de waterinname.

De waterinname van kalveren (tot een leeftijd van 5 maanden) is lager dan de waterinname van jongvee. De gemiddelde waterinname van kalveren (vanaf 14 dagen tot volwaardige herkauwer), inclusief het water nodig voor de aanmaak van kunstmelk, bedraagt in deze proef 21,2 liter per dag. Op basis van de waterinname kan jongvee opgesplitst worden. Jongvee tot één jaar heeft een dagelijkse drinkwaterbehoefte van gemiddeld 35,2 liter. De gemiddelde waterinname van jongvee van één tot twee jaar is 49,6 liter per dag. De waterinname van de kalveren en jongvee is afhankelijk van het gewicht, de leeftijd, de gemiddelde

buitentemperatuur, de buitenluchtvochtigheid en de werking van het ECA-toestel. Daarbij hebben gewicht, leeftijd en de gemiddelde buitentemperatuur een significante invloed op waterinname. De buitenluchtvochtigheid en de werking van het ECA-toestel hebben een zwak significante invloed. De determinatiecoëfficiënt van dat model bedraagt 0,838. Het lichaamsgewicht heeft een positieve invloed op de dagelijkse waterinname. Daarentegen heeft de leeftijd een negatieve invloed in het model. Door de sterke correlatie tussen gewicht en leeftijd zorgt de negatieve coëfficiënt bij leeftijd voor een kleine correctie in de hoeveelheid waterinname. Voor de buitentemperatuur geldt: een hogere temperatuur leidt tot een hogere waterinname. Een stijgende luchtvochtigheid zorgt voor een verminderd waterverbruik. De negatieve invloed bij het gebruik van regenwater is door de korte werkingsperiode niet-representatief en wordt daardoor beschouwd als een toeval.

Volgens de simulatietool bedraagt de jaarlijkse drinkwaterbehoefte van de Hooibeekhoeve 4.005,2 m³. Daarvan kan 2.642 m³ vervangen worden door behandeld regenwater. De besparing, zonder rekening te houden met enige onkosten, die daarmee gepaard gaat, bedraagt 3.858,7 euro. Door de hoge drinkwaterbehoefte zal de jaarlijkse drinkwaterbehoefte op een doorsnee melkveebedrijf groter zijn dan de hoeveelheid regenwater dat jaarlijks opgevangen kan worden. Het melkveebedrijf wordt dus afhankelijk van meerdere waterbronnen.

In tegenstelling tot leidingwater, heeft (onbehandeld) regenwater een variërende waterkwaliteit. Regelmatige controle en wateranalyses worden aangeraden om te controleren of de kwaliteit nog steeds voldoet aan de opgelegde eisen. De controle en wateranalyses, die niet in rekening zijn gebracht bij de simulatietool, brengen een extra kost met zich mee.

Door de verschillende scenario's biedt de tool veel mogelijkheden. In alle scenario's wordt een onderhoud- en verbruikskost van 750 euro aangenomen. Een bedrijf dat reeds beschikt over een opslag en ontsmettingsmethode kan zijn/haar jaarlijkse besparing nagaan. Een bedrijf, dat beschikt over een ontsmettingsinstallatie, kan de totale opslagkosten en bijhorende jaarlijkse besparingen berekenen. Indien het bedrijf enkel over opslag beschikt, kan de jaarlijkse besparing en de terugverdientijd van het ECA-toestel nagegaan worden. Maar ook is de tool bruikbaar voor melkveebedrijven zonder regenwateropslag en ontsmettingsinstallatie.

Logischerwijs is de jaarlijkse besparing het hoogst bij het scenario met de laagste investeringskosten. In geval van de Hooibeekhoeve bedraagt de jaarlijkse besparing bij aanwezigheid van een opslag en ECA-toestel 3.108,7 euro. Indien de Hooibeekhoeve niet over een opslag en ECA-toestel zou beschikken, bedraagt de jaarlijkse besparing (bij een levensduur van 20 jaar) 1.462,67 euro. De besparingen zijn niet negatief, met andere woorden is de recuperatie van regenwater economisch rendabel. Elke landbouwer zou gestimuleerd moeten worden om regenwater te gebruiken voor al dan niet drinkwaterdoeleinden.

Referenties

- Activwater (2019). *Technieken*. [7/02/2019, Activwater: <http://www.activwater.nl/technieken.html>].
- Adams, R.S. & Sharpe, W.E. (2014). *Water intake and quality for dairy cattle*. [12/04/2018, Collega of Agricultural Science: <http://www.dairyweb.ca/Resources/USWebDocs/Wa ter.pdf>].
- Amin, M.T., Nawaz, M.N. & Han, M. (2014). Solar disinfection of *Pseudomonas aeruginosa* in harveste drainwater: a step towards potability of rainwater. *PLoSOne*, 9(3), 1-10.
- Andersson, M., Schaar, J. & Wiktorsson, H. (1984). Effects of drinking water flow rates and social rank on performance and drinking behaviour of tied-up dairy cows. *Livestock Production Science*, 11(6), 599-610.
- Andrade, M., Lisboa, M.B. & Lisboa, H.D. (2017). Slate tank for rainwater storage systems. *Engenharia Sanitaria E Ambiental*, 22(3), 563-570.
- Anolytech (2019). *Anolytech Agro*. [7/02/2019, Anolytech: <https://www.anolytech.se/start-mjolkproduktion/>].
- Appuhamy, J.A.D.R.N., Judy, J.V., Kebreab, E. & Kononoff, P.J. (2016). Prediction of drinking water intake by dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 99(9), 7191-7205.
- AquaFlandres (2017). *Mijn waterhardheid*. [5/04/2018, AquaFlanders: <https://www.aquaflanders.be/mijn-waterhardheid.aspx>].
- AquaFlandres (2018). *Wie is mijn drinkwaterbedrijf?*. [5/04/2018, AquaFlanders: <https://www.aquaflanders.be/wie-is-mijn-drinkwaterbedrijf.aspx>].
- Aydin, A., Ercan, Ö. & Taşcioğlu, S. (2005). A novel method for the spectrophotometric determination of nitrite in water. *Talanta*, 66(5), 1.181-1.186.
- Ayyildiz, O., Sanik, S. & Ileri, B. (2011). Effect of ultrasonic pretreatment on chlorine dioxide disinfection efficiency. *Ultrasonics-Sonochemistry*, 18(2), 683-688.
- Bar-Zeev, E., Belkin, N., Liberman, B., Berman, T. & Berman-Frank, I. (2012). Rapid sand filtration pretraetment for SWRO: Microbial maturation dynamics and filtration efficiency of organic matter. *Desalination*, 286, 120-130.
- Batabyal, P., Mookerjee, S., Sur, D. & Palit, A. (2013). Diarrheogenic *Escherechia coli* in potable water sources of West Bengal, India. *Acta Tropica*, 127(3), 153-157.
- BCZ (2017). *Jaarverslag 2017, werkingsjaar 2016*. [19/03/2018, Belgische Confederatie van de Zuivel-industrie: <http://www.bcz-cbl.be/nl/zuivel-in-cijfers/>].
- BCZ (2018). *Jaarverslag 2018, werkingsjaar 2017*. [22/10/2018, Belgische Confederatie van de Zuivel-industrie: <http://www.bcz-cbl.be/nl/zuivel-in-cijfers/bcz-jaarverslag-2018/>].
- Beede, D.K. (2005). The most essential nutrient: water. *Nutrient requirements of dairy cattle*, 7, 178-183.
- Beede, D.K. (2008). *Evaluation of water quality and nutrition for dairy cattle*. [12/04/2018, Michigan State University: <http://puroxi.com/wp-content/uploads/2012/03/WaterQuality-and-Nutrition-for-Dairy-Cattle.pdf>].

- Behnood, A., Van Tittelboom, K & De Belie, N. (2016). Methodes for measuring pH in concrete: a review, *Construction and Building Materials*, 105, 176-188.
- Bij de Vaate, A., Jazdzewski, K., Ketelaars, H.A.M., Gollasch, S. & Van der Velde, G. (2002). Geographical patterns in range extension of Ponto-Caspian macroinvertebrate species in Europe. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 59(7), 1159-1174.
- Boczek, L., Johnson, C. & Meckes, M. (2010). Chlorine disinfection of blended municipal wastewater effluents. *Water Environment Research*, 82(12), 2373-2379.
- Boets, P., Lock, K. & Goethals, P.L.M. (2013). Modelling habitat preference, abundance and species richness of alien macrocrustaceans in surface waters in Flanders (Belgium) using decision trees. *Ecological Informatics*, 17(1), 73.
- Bossaert, P., Leroy, J., Cools, S., Van Loo, H., de Kruif, A. & Opsomer, G. (2008). De metabole adaptatiemechanismen bij hoogproductieve melkkoeien. *Vlaams Diergeneeskundig Tijdschrift*, 77(1), 207-215.
- Bouland, S., Duguet, J.-P. & Montiel, A. Evaluation of bromate ions level introduced by sodium hypochlorite during post-disinfection of drinking water. *Environmental Technology*, 26(2), 121-126.
- Cardot, V., Le Roux, Y. & Jurjanz, S. (2008). Drinking Behaviour of Lactating Dairy Cows and Prediction of Their Water Intake. *Journal of Dairy Science*, 91(6), 2257-2264.
- Castle, M.E. & Thomas, T.P. (1975). The water intake of British Frisian cows on rations containing various forages. *Animal Production*, 20(1), 181-189.
- Challis, D.J, Zeinstra J.S. & Anderson, M.J. (1987). Some effects of water quality on the performance of high yielding cows in an arid climate. *The veterinary record*, 120(1), 12-15.
- Chaturvedi, S. & Dave, P.N. (2012). Removal of iron for safe drinking water. *Desalination*, 303, 1-11.
- Chomiak, A., Traber, J., Morgenroth, E. & Derlon, N. (2015). Biofilm increases permeate quality by organic carbon degradation in low pressure ultrafiltration. *Water Research*, 85, 512-520.
- Christensen, J. & Linden, K. (2003). How particles affect UV light in the UV disinfection of unfiltered drinking water. *American Water Works Association*, 95(4), 179.
- Chuang, Y., Wang, G. & Tung, H. (2011). Chlorine residuals and haloacetic acid reduction in rapid sand filtration. *Chemosphere*, 85(7), 1146-1153.
- Corral, A.F., Yenal, U., Strickle, R., Yan, D., Holler, E., Hill, C., Ela, W.P. & Arnold, R.G. (2014). Comparison of slow sand filtration and microfiltration as pretreatments for inland desalination via reverse osmosis. *Desalination*, 334(1), 1-9.
- Cossali, G., Routledge, E.J., Ratcliffe, M.S., Blakes, H., Fielder, J.E. & Karayiannis, T.G. (2016). Inactivation of E. coli, Legionella and Pseudomonas in tap water using electrochemical disinfection. *Journal of Environmental Engineering*, 142(12), 1-11.
- Cowshopping (2019). *Maxwater- duurzame desinfectie*. [19/03/2019, Cowshopping: <https://cowshopping.nl/product/maxwater-duurzame-desinfectie/>].
- Danckaert, S., Demuyck, E., De Regt, E., De Samber, J., Lambrechts, G., Lenders, S., Vanhee, M., Vervloet, D., Vermeyen, V. & Vrints, G. (2019). *Uitdagingen voor de*

Vlaamse land- en tuinbouw – melkvee. [9/04/2018, LARA: https://lv.vlaanderen.be/sites/default/files/attachments/gr_201807_lara2018_hst9.pdf].

- De Frahan, H.B.; Baudry, A., De Blander, R., Polomé, P. & Howitt, R. (2011). Dairy farms without quotas in Belgium: estimation and simulation with a flexible cost function. *European Review of Agricultural Economics*, 38(4), 469-495.
- Declerck, I., Van Gansbeke, S., Opsomer, G., De Vlieghe, S., de Kruif, A. & Maes, D. (2012). Enkele kritische punten bij de huisvesting van melkvee. *Vlaams diergeneeskundig tijdschrift*, 81, 149-156.
- Delaire, C., Amrose, S., Zhang, M., Hake, J. & Gadgil, A. (2017). How do operating conditions affect As(III) removal by iron electrocoagulation?. *Water Research*, 112, 185-194.
- Departement Landbouw & Visserij (2014a). *Stedenbouwkundige verplichtingen*. [5/04/2018, Departement Landbouw en Visserij: <https://lv.vlaanderen.be/nl/voorlichtinginfo/publicaties/praktijkguiden/water/duurzaam-watergebruik-algemeen/wettelijke-3>].
- Departement Landbouw & Visserij (2014b). *Vlaamse grondwaterproblematiek*. [5/04/2018, Departement: <https://lv.vlaanderen.be/nl/voorlichtinginfo/publicaties/praktijkguiden/water/duurzaamwatergebruik-algemeen/belang-van-2>].
- Departement Landbouw & Visserij (2014c). *Waterbeschikbaarheid in Vlaanderen*. [5/04/2018, Departement Landbouw & Visserij: <https://lv.vlaanderen.be/nl/voorlichtinginfo/publicaties/praktijkguiden/water/duurzaam-watergebruik-algemeen/belang-van-1>].
- Departement Landbouw & Visserij (2016). *Landbouwcijfers: Vlaamse landbouw en visserij in cijfers*. [11/04/2018, Departement Landbouw & Visserij: <https://lv.vlaanderen.be/nl/voorlichting-info/feiten-cijfers/landbouwcijfers>].
- Departement Landbouw & Visserij (2018a). *Vergunning en heffingen voor de captatie van oppervlaktewater*. [5/04/2018, Departement Landbouw & Visserij: <https://lv.vlaanderen.be/nl/voorlichtinginfo/publicaties/praktijkguiden/water/duurzaam-watergebruik-algemeen/wettelijke-2>].
- Departement Landbouw & Visserij (2018b). *Vergunning voor de winning van grondwater*. [5/04/2018, Departement Landbouw & Visserij: <https://lv.vlaanderen.be/nl/voorlichting-info/publicaties/praktijkguiden/water/duurzaam-watergebruik-algemeen/wettelijke-0>].
- Dierengezondheidszorg Vlaanderen (2018). *Interpretatie van drinkwaterresultaten*. [5/04/2018, DGZ: <https://www.dgz.be/interpretatie-van-drinkwaterresultaten>].
- Dietrich, A.M. & Burlingame, G.A. (2015). Critical review and rethinking of USEPA secondary standards for maintaining organoleptic quality of drinking water. *Environmental science & technology*, 49(2), 708-720.
- Dirmeyer, P., Yu, L., Amini, S., Crowell, A., Elders, A. & Wu, J. (2016). Projections of the shifting envelope of water cycle variability. *Climatic Change*, 136(3-4), 587-600.
- Donlan, R.M. (2002). Biofilms: microbial life on surfaces. *Emerging infectious diseases*, 8(9), 881-890.
- Ehsan, A., Geurden, T., Casaert, S., Paulussen, J., De Coster, L., Schoemaker, T., Chalmers, R., Grit, G., Vercruyse J. & Claerebout, E. (2015). Occurrence and potential

- risk of *Cryptosporidium* and *Giardia* in different water catchments in Belgium. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187(2), 1-12.
- Ellis, K., Gowdy, C., Jakomis, N., Ryan, B., Thom, C., Biggs, C. & Speight, V. (2018). Understanding the costs of investigating coliform and *E.coli* detections during routine drinking water monitoring. *Urban Water Journal*, 15(2), 101-108.
- Emis (2003). Besluit van de Vlaamse regering houdende reglementering inzake de kwaliteit en levering van water, bestemd voor menselijke consumptie. [10/04/2018, Emis: https://emis.vito.be/nl/actuele_wetgeving/13-december-2002-besluit-van-de-vlaamse-regering-houdende-reglementering-inzake-de].
- Emis (2005a). *Spectrofotometrische bepaling van ammonium stikstof met een doorstroomanalysestelsel*. [5/11/2018, Emis: https://esites.vito.be/sites/reflabos/2012/Online%20documenten/CMA_2_I_B.4.2.pdf].
- Emis (2005b). *Spectrofotometrische bepaling van totaal geoxideerde stikstof met een doorstroomanalysestelsel*. [5/11/2018, Emis: https://esites.vito.be/sites/reflabos/2012/Online%20documenten/CMA_2_I_C.6.pdf].
- Emis (2006). *Metalen met inductief gekoppeld plasma atoomemissiespectrometrie*. [12/11/2018, Emis: https://esites.vito.be/sites/reflabos/2011/Online%20documenten/CMA_2_I_B.1.pdf].
- Emis (2008). *Bepaling van het gehalte aan orthofosfaat met behulp van doorstroomanalyse*. [5/11/2018, Emis: https://esites.vito.be/sites/reflabos/2012/Online%20documenten/WAC_III_C_010.pdf].
- Emis (2008b). *Spectrofotometrische bepaling van sulfide*. [5/11/2018, Emis: https://esites.vito.be/sites/reflabos/2009/Online%20documenten/WAC_III_C_041.pdf].
- Emis (2010). *Fotometrische bepaling van fluoride mbv een doorstroomanalysestelsel*. [5/11/2018, Emis: https://esites.vito.be/sites/reflabos/2012/Online%20documenten/CMA_2_I_C.1.2.pdf].
- Emis (2011). *Bepaling van totale hardheid*. [12/11/2018, Emis: https://esites.vito.be/sites/reflabos/2012/Online%20documenten/WAC_III_A_009.pdf].
- Emis (2012). *Bepaling van totaal kiemgetal*. [5/11/2018, Emis: https://esites.vito.be/sites/reflabos/2013/Online%20documenten/WAC_V_A_001.pdf].
- Emis (2013). *Bepaling van *Clostridium perfringens**. [5/11/2018, Emis: https://esites.vito.be/sites/reflabos/2014/Online%20documenten/WAC_V_A_007.pdf].
- Emis (2015). *Bepaling van enterokokken*. [5/11/2018, Emis: https://esites.vito.be/sites/reflabos/2017/Online%20documenten/WAC_V_A_003.pdf].
- Emis (2017a). *Bepaling van totale coliformen en *E.coli**. [5/11/2018, Emis: https://esites.vito.be/sites/reflabos/2018/Online%20documenten/WAC_V_A_002.pdf].
- Emis (2017b). *Bepaling van *Salmonella* spp.* [5/11/2018, Emis: https://esites.vito.be/sites/reflabos/2018/Online%20documenten/WAC_V_A_004.pdf].
- Envirolyte (2019). *Dairy farm*. [7/02/2019, Envirolyte: <http://www.envirolyte.com/dairy-farming.html>].
- FAVV (2019). *Botulisme*. [23/04/2019, Afsca: <http://www.afsca.be/dierengezondheid/botulisme/>].

- Feng, H., Zou, B. & Luo, J. (2017). Coverage-dependent amplifiers of vegetation change on global water cycle dynamics. *Journal of Hydrology*, 550, 220-229.
- Fung, Y.S., Wong, C.C., Choy, J.T.S. & Sze, K.L. (2008). Determination of sulphate in water by flow-injection analysis with electrode-separated piezoelectric quartzcrystal sensor. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 130(1), 551-560.
- Ghernaout, D. & Ghemaout, B. (2010). From chemical disinfection to electrodisinfection: the obligatory itinerary?. *Desalination and water treatment*, 16(1-3), 156-175.
- González Pereyra, A.V., May, V.M., Guillermo Catracchia, C., Herrero, M.A., Flores, M.C. & Mazzini, M. (2010). Influence of water temperature and heat stress on drinking water intake in dairy cows. *Chilean journal of Agricultural research*, 70(2), 328-336.
- Gurevitch, J. & Padilla, D.K. (2004). Are invasive species a major cause of extinctions?. *Trends in Ecology and Evolution*, 19(9), 470-474.
- Holter, J.B. & Urban, W.E. (1992). Water partitioning and intake prediction in dry and lactating holstein cows. *Journal of Dairy Science*, 75(6), 1472-1479.
- Hsu, B.M., Huang, K.H., Huang, S.W., Tseng, K.C., Su, M.J., Lin, W.C., Ji, D.D., Shih, F.C., Chen, J.L. & Kao, P.M. (2011). Evaluation of different analysis and identification methods for *Salmonella* detection in surface drinking water sources. *Science of the Total Environment*, 409(20), 4.435-4.441.
- Hurlimann, A. (2011). Household use of and satisfaction with alternative water sources in Victoria Australia. *Journal of Environmental Management*, 92(10), 2.691-2.697.
- Huuskonen, A., Tuomisto, L. & Kauppinen, R. (2011). Effect of drinking water temperature on water intake and performance of dairy calves. *Journal of Dairy Science*, 94(5), 2.475-2.480.
- Huzzey, J.M., von Keyserlingk, M.A.G. & Weary, D.M. (2005). Changes in feeding, drinking, and standing behaviour of dairy cow during the transition period. *Journal of Dairy Science*, 88(7), 2454-2461.
- Istirokhatun, T., Dewi, M.N., Ilma, H.I & Susanto, H. (2018). Separation of antiscalants from reverse osmosis concentrates using nanofiltration. *Desalination*, 429, 105-110.
- Jacobsen, E.K. (2004). Water filtration. *Journal of Chemical Education*, 81(2), 224.
- Kerwick, M.I., Reddy, S.M., Chamberlain, A.H.L & Holt, D.M. (2005). Electrochemical disinfection, an environmentally acceptable method of drinking water disinfection. *Electrochimica Acta*, 50(25-26), 5270-5277.
- Khelil-Arfa, H., Faverdin, P. & Boudon, A. (2014). Effect of ambient temperature and sodium bicarbonate supplementation on water and electrolyte balances in dry and lactating Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, 97(4), 2.305-2.318.
- Kim, M. & Han, M. (2014). Characteristics of biofilm development in an operating rainwater storage tank. *Environmental Earth Sciences*, 72(5), 1633-1642.
- Kohn, T., Mattle, M.J., Minella, M. & Vione, D. (2016). A modeling approach to estimate the solar disinfection of viral indicator organisms in waste stabilization ponds and surface water. *Water Research*, 88, 912-922.
- Krauß, M., Drastig, K., Prochnow, A., Rose-Meierhöfer, S. & Kraatz, S. (2016) Drinking and Cleaning Water Use in a Dairy Barn. *Water*, 8(7), 302.

- Kume, S., Nonake, K., Oshita, T. & Kozakai, T. (2010). Evaluation of drinking water intake, feed water intake and total water intake in dry and lactating cows fed silages. *Livestock Science*, 128(1-3), 46-51.
- Lainez, M.M & Hsia, L.C. (2004). Effects of season, housing and physiological stage on drinking and other related behavior of dairy cows (*Bos taurus*). *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 17(10), 1417-1429.
- Lascar (2019). *Easylog. EL-USB-2-LCD+*. [16/03/2019, Lascar Electronics: <https://www.lascarelectronics.com/easylog-data-logger-el-usb-2-lcdplus/>].
- Lee, M., Kim, M., Kim, Y. & Han, M. (2017). Consideration of rainwater quality parameters for drinking purposes: A case study in rural Vietnam. *Journal of Environmental Management*, 200, 400-406.
- Lenntech (2018). *Desinfectiemiddelen Chloordioxide*. [10/04/2018, Lenntech BV: <https://www.lenntech.nl/processen/desinfectie/chemisch/desinfectiemiddelenchloordioxide.htm>].
- Lerga, T.M. & O'Sullivan, C.K. (2008). Rapid determination of total hardness in water using fluorescent molecular aptamer beacon. *Analytica Chimica Acta*, 610(1), 105-111.
- Li, H.Y., Osman, H., Kang, C.W. & Ba, T. (2017). Numerical and experimental investigation of UV disinfection for water treatment. *Applied Thermal Engineering*, 111, 280-291.
- Little, W., Collis, K.A., Gleed, P.T., Sansom, B.F., Allen, W.M. & Quick, A.J. (1980). Effect of reduced water intake by lactating dairy cows on behaviour, milkyield and blood composition. *Veterinary Record*, 106(26), 547-551.
- Looper, M.L. & Waldner, D.N. (2007). *Water for DairyCattle*. [11/04/2018, College of Agriculture and Home Economics: http://aces.nmsu.edu/pubs/_d/D107.pdf].
- Lu, M. & Compton, R.G. (2013). Voltammetric determination of Iron(III) in Water. *Electroanalysis*, 25(5), 1.123-1.129.
- Lu, R., Li, Q., Yin, Z., Xagorarakis, I., Tarabara, V.V. & Nguyen, T.H. (2016b). Effect of virus influent concentration on its removal by microfiltration: The case of human adenovirus 2. *Journal of Membrane Science*, 497, 120-127.
- Lu, S., Zhang, X., Bao, H. & Skitmore, M. (2016a) Review of social water cycle research in a changing environment. *Renewable and sustainable energy reviews*, 63, 132-140.
- Luo, W., Hai, F.I., Price, W.E., Guo W., Ngo, H.H., Yamamoto, K. & Nghiem, L.D. (2016). Phosphorus and water recovery by a novel osmotic membrane bioreactor- reverse osmosis system. *Bioresource Technology*, 200, 297-304.
- Mamchenko, A. & Chernova, N. (2013). Water purification of manganese compounds by a sorbent-catalyst at different pH and salt content. *Journal of water chemistry and technology*, 35(1), 30-35.
- Manafi, M., Waldherr, K. & Kundi, M. (2013). Evaluation of CP Chromo Select Agar for the enumeration of *Clostridium perfringens* from water. *International Journal of Food Microbiology*, 167(1), 92-95.
- Matula, J. (2011). Determination of dissolved reactive and dissolved total phosphorus in water extract of soils. *Plant Soil And Environment*, 57(1), 1-6.
- Medrano, M., Perez, A. & Soria-Hoyo, C. (2007). Design of a conductivity meter for highly insulating liquids. *Journal of Physical D-Applied Physics*, 40(5), 1.477-1.482.

- Meng, X., Vaccari, D.A., Zhang, J. & Fiume, A. (2014). Bioregeneration of spent anion exchange resin for treatment of nitrate in water. *Environmental science & technology*, 48(3), 1.541-1.548.
- Meyer, U., Everinghoff, M., Gädeken, D. & Flachowsky, G. (2004). Investigations on the water intake of lactating dairy cows. *Livestock Production Science*, 90(2-3), 117-121.
- Miller K. & Woodgush D.G.M. (1991). Some effects of housing on the social behaviour of dairy cows. *Animal Production*, 53(1), 271–278.
- Murphy, M.R., Davis, C.L. & Mc Coy, G.C. (1983). Factors affecting water consumption by holstein cows in early lactation. *Journal of Dairy Science*, 66(1), 35-38.
- Næss, G., Bøe, K.E. & Østerås, O. (2011). Layouts for small freestall dairy barns: Effect on milkyield for cows in different parities. *Journal of Dairy Science*, 94(3), 1256-1264.
- National Research Council. (2001). Nutrient requirements of dairy cattle. *National Academy Press*, 25, 178-183.
- Nawaz, M., Han, M.Y., Tschung, I., Manzoor, U. & Amin, M.T. (2012). Silver disinfection of *Pseudomonas aeruginosa* and *E. coli* in rooftop harvested drainwater for potable purposes. *Science of The Environment*, 431, 20-25.
- Oana, K., Kobayashi, M., Yamaki, D., Sakurade, T., Nagano, N. & Kawaki, Y. (2015). Applicability assessment of ceramic microbeads coated with hydroxyapatite-binding silver/titanium dioxide ceramic composite earthplus™ to the eradication of *Legionella* in rainwater storage tanks for household use. *International Journal of Nanomedicine*, 10, 4971.
- Osborne, V.R., Leslie, K.E. & McBride, B.W. Effect of supplementing glucose in drinking water on the energy and nitrogen status of the transition dairy cow. *Canadian Journal of Animal Science*, 82(3), 427-433.
- Park, N.S., Kang, M.S., Jeong, W. & Kim, J.O. (2015). Experimental determination of the characteristics of physico-chemical particles in air-scouring-membrane (microfiltration) backwash water produced during drinking water treatment. *Chemical Engineering Research and Design*, 94, 714-720.
- Pfannes, K., Langenbach, K., Pilloni, G., Stührmann, T., Euringer, K., Lueders, T., Neu, T., Müller, J., Kästner, M. & Meckenstock, R. (2015). Selective elimination of bacterial-faecal indicators in the Schmutzdecke of slow sandfiltration columns. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 99(23), 10.323-10.332.
- Pidpa (2019). *Tarieven en drinkwatersamenstelling voor je gemeente*. [5/04/2018, Pidpa: <https://www.pidpa.be/gemeente>].
- Pinheiro Machado Filho, L.C., Teixeira, D.L., Weary, D.M., von Keyserlingk, M.A.G. & Hötzel, M.J. (2004). Designing better water troughs: dairy cows prefer and drink more from larger troughs. *Applied Animal Behaviour Science*, 89(3-4), 185-193.
- Polcaro, A.M., Vacca, A., Mascia, M., Palmas, S., Pompei, R. & Laconi, S. (2007). Characterization of a stirred tank electrochemical cell for water disinfection processes. *Electrochimica Acta*, 52(7), 2595-2602.
- Provincie Antwerpen (2019a). *Hooibeekhoeve*. [14/03/2019, Provincie Antwerpen: <https://www.provincieantwerpen.be/aanbod/dese/hooibeekhoeve/hooibeekhoeve.html>].

- Provincie Antwerpen (2019b). *Onderzoek van drinkwater en putwater*. [14/03/2019, Provincie Antwerpen: <https://www.provincieantwerpen.be/aanbod/dlm/pih/onderzoek/water/drinkwater.html>].
- Rommelink, G., van Dooren, H.J., van Middelkoop, J., Ouweltjes, W. & Wemmelhove, H. (2013). *Veevoeding*. [11/04/2018, Livestock Research Wageningen: <http://edepot.wur.nl/7626>].
- Roefeldt, S. (1998). You can't afford to ignore heat stress. *Dairy Herd Management*, 35(5), 6.
- Rojas-Tirado, P., Pedersen, P.B., Vadstein, O. & Pedersen, L.F. (2018). Changes in microbial water quality in RAS follow ingaltered feed loading. *Aquacultural Engineering*, 81, 80-88.
- Ryckaert, I. & Anthonissen, A. (2012). *Preventie en ziekten bij opfok van jongvee voor de melkveehouderij*. [23/03/2018, Departement Landbouw en Visserij: <https://lv.vlaanderen.be/sites/default/files/attachments/52-preventie-ziekten-opfok-jongvee-melkveehouderij.pdf>].
- Ryckaert, I., Anthonissen, A. & Winsters, J. (2007). *Vruchtbaarheid bij melkvee*. [24/03/2018, Departement Landbouw en Visserij: <http://www2.vlaanderen.be/landbouw/downloads/dier/12.pdf>].
- Ryckaert, I., Anthonissen, A. & Winters, J. (2008). *Water op het landbouwbedrijf*. [2/04/2018, Departement Landbouw en Visserij: <https://www.vlaanderen.be/nl/publicaties/detail/water-op-het-landbouw-bedrijf>].
- Ryckaert, I., Anthonissen, A., Winters, J., Hubrecht, L. & Van Gansebek, S. (2010). *Succesvolle opfok van jongvee op het melkveebedrijf*. [Departement Landbouw en Visserij: <http://www2.vlaanderen.be/landbouw/downloads/dier/26.pdf>].
- Salathe, P., Fischer, C., Jost, B., Gross, S. & Schmidt, V. (2009). German inventors develop process for the production of a disinfectant through the elektrochemical activation (ECA) of water, a disinfectant produced in this way and the use there of. *Indian News*.
- Schijven, J.F., Colin, M., Dullemon, Y., Hijnen, W.A.M., Magic-Knezev, A., Oorthuizen, W., Wubbels, G., Bruins, J., Rutjes, S.A. & de Roda Husman, A.M. (2009). *Effect filtratiesnelheid, temperatuur en korrelgrootte op de verwijdering van micro-organismen door langzame zandfiltratie*. [12/04/2018, RIVM: <http://rivm.openrepository.com/rivm/bitstream/10029/259792/3/330204002.pdf>].
- Shan, L., Fan, H., Guo, H., Ji, S. & Zhang, G. (2016). Natural organic matter fouling behaviors on superwettingnanofiltrationmembranes. *Water Research*, 93, 121-132.
- Shen, J., Gagliardi, S., Mc Coustra, M.R.S. & Arrighi, V. (2016). Effect of humic substances aggregation the determination of fluoride in water using an ion selective electrode. *Chemosphere*, 159, 66-71.
- Silva, G.H.R., Daniel, L.A., Bruning, H. & Rulkens, W.H. (2010). Anaerobic effluent disinfection using ozone: byproducts formation. *Bioresourcetechology*, 101(18), 6.981-6.986.
- Simon, F., Berdalet, E., Gracia, F., España, F. & Llorens, J. (2014). Seawater disinfection by chlorine dioxide and sodium hypochlorite. A comparison of biofilm formation. *Water, Air & Soil Pollution*, 225(4), 1-11.

- Stockdale, C.R. & King, K.R. (1983). A note on some of the factors that affect the water consumption of lactating dairy cows at pasture. *Animal Science*, 36(2), 303-306.
- Summerfelt, S.T. (2003). Ozonation and UV-radiation –an introduction and examples of current applications. *Aquacultural Engineering*, 28(1-2), 21-36.
- Tinytag (2018). *Tinytag Plus 2 (TGP-4500)*. [19/11/2018, Tinytag: <https://www.geminidata-loggers.com/data-loggers/tinytag-plus-2/tgp-4500>].
- Van der Straeten, B., Deunick, J. & Van Gijsegem, D. (2012). *De melkproductie in Vlaanderen na 2015*. [19/03/18, Department Landbouw en Visserij: <https://lv.vlaanderen.be/sites/default/files/attachments/Rapport%20Melkproductie.pdf>].
- Van Drecht, G., Bouwman, A.F., Knoop, J.M., Beusen, A.H.W. & Meinardi, C.R. (2003). Global modeling of the fate of nitrogen from point and nonpoint sources in soils, groundwater and surface water. *Global Biogeochemical Cycles*, 17(4), 1-20.
- van Leeuwen, F.X.R. (2000). Safe drinking water: the toxicologist's approach. *Food and chemical toxicology*, 38(1), 51-58.
- Vanneste, E., Weyens, P., Pardon, B. & Chiers, K. (2011). Acute sterfte bij het rund: autopsieprotocol en retrospectieve studie. *Vlaams Diergeneeskundig Tijdschrift*, 80, 387-394.
- Veríssimo, M.I.S., Oliveira J.A.B.P. & Gomes, M.T.S.R. (2007). Determination of the total hardness in tap water using a coustic wave sensors. *Sensors and Actuators B: chemical*, 127(20), 102-106.
- Verliefde A., Cornelissen E., Amy, G. Van der Bruggen, B. & van Dijk H. (2007). Priority organic micropollutants in water sources in Flanders and the Netherland and assessment of removal possibilities with nanofiltration. *Envirnmental Pollution*, 146(1), 281-289.
- Vlaamse Milieumaatschappij (2012). *Waterwegwijzer bouwen en verbouwen*. [11/04/2018, VMM: <https://www.vmm.be/publicaties/waterwegwijzer-bouwen-en-verbouwen>].
- Vlaamse Milieumaatschappij (2015a). *Berekenen van de benodigde opslagcapaciteit voor de opvang van hemelwater*. [25/02/2019, VMM: <https://lv.vlaanderen.be/nl/voorlichting-info/publicaties/praktijkguidsen/water/duurzaam-watergebruik-de-vleesvee-en-4>].
- Vlaamse Milieumaatschappij (2015b). *Pesticiden in oppervlaktewater en RWZI's in 2014*. [14/03/2018, VMM: <https://www.vmm.be/publicaties/pesticiden-in-oppervlaktewater-en-rwzi-2014>].
- Vlaamse Milieumaatschappij (2017a). *Grondwaterdecreet*. [5/04/2018, VMM: <https://www.vmm.be/wetgeving/grondwaterdecreet>].
- Vlaamse Milieumaatschappij (2017b). *Kwaliteit van het drinkwater- 2016*. [5/04/2018, VMM: <https://www.vmm.be/publicaties/kwaliteit-van-het-drinkwater-2016>].
- Vlaamse Milieumaatschappij (2018). *Kwaliteit van je leidingwater*. [5/04/2018, VMM: <https://www.vmm.be/water/drinkwater/kwaliteit>].
- Vlaamse Milieumaatschappij (2019a). *Berekening van de heffing op grondwaterwinning*. [24/02/2019, VMM: <https://www.vmm.be/water/heffingen/bereken-je-heffing/berekening-van-de-heffing-op-grondwaterwinning>].

- Vlaamse Milieumaatschappij (2019b). *Berekening voor bedrijven en instellingen*. [25/02/2019, VMM: <https://www.vmm.be/water/heffingen/bereken-je-heffing/berekening-voor-bedrijven-en-instellingen>].
- Vlaamse Milieumaatschappij (2019c). *Geïndexeerde heffingstarieven*. [25/02/2019, VMM: <https://www.vmm.be/water/heffingen/bereken-je-heffing/geindexeerde-heffingstarieven>].
- Vlaamse Milieumaatschappij (2019d). *Procedure aangifte heffing*. [24/02/2019, VMM: <https://www.vmm.be/water/heffingen/procedure-aangifte>].
- Vlaanderen (2019). *Heffing op de waterverontreiniging*. [25/02/2019, Vlaanderen: <https://www.vlaanderen.be/nl/bouwen-wonen-en-energie/water/heffing-op-de-waterverontreiniging>].
- Vu, T.M., Trinh, V.T., Doan, D.P., Van, H.T., Nguyen, T.V., Vigneswaran, S. & Ngo, H.H. (2017). Removing ammonium from water using modified corncobiochar. *Science of The Total Environment*, 579, 612-619.
- Vuylsteke, A., Bergen, D. & Demuyne, E. (2014). *Schaalgrootte en schaalvergroting in de Vlaamse land- en tuinbouw*. [19/03/2018, Department Landbouw en Visserij: <https://lv.vlaanderen.be/sites/default/files/attachments/Schaalgrootte%20en%20schaalvergroting%20in%20de%20Vlaamse%20land-%20en%20tuinbouw.pdf>].
- Wang, Y., Jia, A., Wu, Y., Wu, C. & Chen, L. (2014). Disinfection of bore well water with chlorine dioxide/sodiumhypochlorite and hydrodynamic cavitation. *Environmental Technology*, 36(4), 1-8.
- Waterportaal (2018). *Oppervlaktewater*. [5/04/2018, Waterportaal: <http://www.waterportaal.be/WATERBRONNEN/Soortenalternatievewaterbronnen/Oppervlaktewater.aspx>].
- Watertool (2011). *Kenniscentrum water*. [5/04/2018, Inagro: <http://www.watertool.be/interface/index.aspx>].
- Wemmelhove, H., Biewenga, G., Ouweltjes, W. & Verstappen, J. (2009). Moderne huisvesting melkvee. *Animal Sciences Group*, 7, 1-56.
- Whitehead, P.G. & Hornberger, G.M. (1984). Modeling algal behaviour in the river thames. *Water Research*, 18(8), 945-953.
- Wisbeck, E., Sandri, E.K., Soares, A.L.M. & Medeiros, S.H.W. (2011). Desinfecção de água de chuva por radiação ultravioleta. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 16(4), 337-342.
- Wockenfus, A.M., Koch, C.D., Conlon, P.M., Sorensen, L.D., Cambern, K.L., Chihak, A.K., Zmolek, J.A., Petersen, A.E., Burns, B.E., Lieske, J.C. & Karon, B.S. (2013). Discordance between urine pH measured by dipstick and pH meter: implications formethotrexate administration protocols. *Clinical Biochemistry*, 46(1-2), 152-154.
- Wolf, C.A. (2012). Dairy farmer use of pricerisk management tools. *Journal of DairyScience*, 95(7), 4176-4183.
- Zhang, S., Fan, W., Yi, Y., Zhao, Y. & Liu, J. (2017). Evaluation method for regional water cycle health base don nature-society water cycle theory. *Journal of Hydrology*, 511, 352-364.

Bijlagen

Bijlage A Laag- en gebiedsfactoren

Bijlage B Handleiding simulatietool

Bijlage C Resultaten wateranalyses PIH

Bijlage A LAAG- EN GEBIEDSFACTOREN

I. Laagfactor

Code	Hydrogeologische hoofdeenheden	laagfactor
0100	Quartaire aquifersystemen	1
0200	Kempens aquifersysteem	1
0300	Boom aquitard	1
0400	Oligoceen aquifersysteem	1
0500	Bartoon aquitardsysteem	1
0600	Ledo-Paniseliaan Brusseliaan aquifersysteem	1
0700	Paniseliaan aquitard	1
0800	Ieperiaan aquifer	1
0900	Ieperiaan aquitardsysteem	1
1000	Paleoceen aquifersysteem	1
1100	Krijt aquifersysteem	1
1200	Jura Trias Perm	1
1300	Sokkel	1

II. Gebiedsfactor

Code gebied	Hydrogeologische hoofdeenheden	Zone	Gebiedsfactor heffingsjaar 2018	Jaarlijkse toename van de factor tot en met heffingsjaar 2023
0100_niet-afgesloten	0100	Quartaire aquifersystemen	1,28	0,03125
0200_niet-afgesloten	0200	Kempens aquifersysteem	1,28	0,03125
0400_niet-afgesloten	0400	Niet afgesloten deel van het Oligoceen aquifersysteem	1,28	0,03125
0400_ afgesloten	0400	Afgesloten deel van het Oligoceen aquifersysteem buiten het actiegebied	1,81	0,0625
0400_actiegebied	0400	Actiegebied in het afgesloten deel van het Oligoceen aquifersysteem	3,72	0,21875
0600_nietafgesloten	0600	Niet afgesloten deel van het Ledo-Paniseliaan Brusseliaan aquifersysteem	1,28	0,03125
0600_ afgesloten	0600	Afgesloten deel van het Ledo-Paniseliaan Brusseliaan aquifersysteem	1,81	0,0625
0600_actiegebied	0600	Actiegebied in het afgesloten deel van het Ledo-Paniseliaan Brusseliaan aquifersysteem	2,63	0,125
0800_niet afgesloten	0800	Niet afgesloten deel van de Ieperiaan aquifer	1,28	0,03125
0800_ afgesloten	0800	Afgesloten deel van de Ieperiaan aquifer	1,81	0,0625
0800_actiegebied	0800	Actiegebied in de Ieperiaan Aquifer	2,63	0,125

1000_niet-afgesloten	1000	Niet afgesloten deel van het Paleoceen Aquifersysteem	1,28	0,03125
1000_afgesloten	1000	Afgesloten deel van het Paleoceen Aquifersysteem	1,81	0,0625
1000_actiegebied_4	1000	Actiegebied 4 in het Paleoceen Aquifersysteem binnen het Sokkelsysteem	1,81	0,0625
1000_actiegebied_3	1000	Actiegebied 3 in het Paleoceen Aquifersysteem binnen het Sokkelsysteem	2,63	0,125
1000_actiegebied_2	1000	Actiegebied 2 in het Paleoceen Aquifersysteem binnen het Sokkelsysteem	5,38	0,375
1000_actiegebied_1	1000	Actiegebied 1 in het Paleoceen Aquifersysteem binnen het Sokkelsysteem	5,38	0,375
1100_nietafgesloten	1100+1300	Niet afgesloten deel van het Krijt Aquifersysteem en de Sokkel	1,28	0,03125
1100_afgesloten	1100+1300	Afgesloten deel van het Krijt Aquifersysteem en de Sokkel	1,81	0,0625
1300_actiegebied_4	1100+1300	Actiegebied 4 in het Krijt Aquifersysteem en de Sokkel binnen het Sokkelsysteem	1,81	0,0625
1300_actiegebied_3	1100+1300	Actiegebied 3 in het Krijt Aquifersysteem en de Sokkel binnen het Sokkelsysteem	2,63	0,125
1300_actiegebied_2	1100+1300	Actiegebied 2 in het Krijt Aquifersysteem en de Sokkel binnen het Sokkelsysteem	5,38	0,375
1300_actiegebied_1	1100+1300	Actiegebied 1 in het Krijt Aquifersysteem en de Sokkel binnen het Sokkelsysteem	5,38	0,375

De gebiedsfactor is in de overige zones gelijk aan de gebiedsfactor van het gebied met code 0100_niet-afgesloten.

De Vlaamse Regering legt deze gebieden op kaart vast.

Gezien om gevoegd te worden bij het decreet van 24 januari 1984 houdende maatregelen inzake het grondwaterbeheer.

⁽¹⁾gewijzigd bij decreet van 30.06.2017 houdende diverse bepalingen inzake omgeving, natuur en landbouw – B.S. dd. 07.07.2017, treedt in werking op 1 januari 2018

Bijlage B HANDLEIDING SIMULATIETOOL

De startpagina van de simulatietool ziet er als volgt uit:



Door op 'start' te drukken, komt u op volgende pagina terecht:



Op dat scherm heeft u twee opties.

De eerste optie is het verkrijgen van meer informatie over de waterkwaliteit. Als u op die knop klikt, krijgt u volgend scherm:

Waterkwaliteit

De beoordeling van de waterkwaliteit gebeurt op basis van drie criteria.

Eerste criterium: organoleptische waterkwaliteit
Onder het criterium organoleptische waterkwaliteit vallen de uiterlijke kenmerken zoals geur, kleur, smaak en helderheid. Elke gebruiker maakt, door middel van de zintuigen, hierop een snelle beoordeling. De organoleptische kwaliteit van regenwater vormt geen probleem.

Tweede criterium: scheikundige waterkwaliteit
De scheikundige of chemische kwaliteit van water houden de gehalten van chemische stoffen in. Eveneens wordt de aanwezigheid van toxische stoffen zoals zware metalen en pesticiden tot dat criterium beoordeeld. De chemische kwaliteit van regenwater voldoet aan de grenswaarden.

Derde criterium: biologische waterkwaliteit
Het laatste criterium voor het beoordelen van kwaliteit is de biologische kwaliteit. Tot dat criterium behoren de pathogene micro-organismen. Deze parameters vereisen dus veel aandacht. Ongewenste micro-organismen komen in het water terecht door uitwerpselen of kadavers van vogels, knaagdieren en kleine zoogdieren. De biologische waterkwaliteit overschrijdt vaak de grenswaarden en is enorm variabel. Een ontsmettingsmethode wordt daardoor aangeraden!

Na de uitleg over de waterkwaliteit heeft u de mogelijkheid om de grenswaarden te bekijken.

Het scherm van de grenswaarden ziet er als volgt uit:

Grenswaarden

Organoleptische waterkwaliteit		Biologische waterkwaliteit	
Geur	Geurloos	Gist	10 000 kve/ml
Kleur	Kleurloos	Schimmel	10 000 kve/ml
Smaak	Smaakloos	Aantal kiemen	100 000 kve/ml
Helderheid	Helder	Totale coliformen	100 kve/ml
		<i>Escherichia coli</i>	100 kve/ml
		Enterococci	1 kve/100 ml
		Salmonella	afwezig
		<i>Clostridium perfringens</i>	1 kve/100 ml
		sulfietreducerende clostridia	1 kve/20 ml

Chemische waterkwaliteit	
pH	5,5 tot 8,5
Calcium	270 mg/l
Magnesium	50 mg/l
Natrium	400 mg/l
Chloride	250 mg/l
Ijzer	2,6 mg/l
Mangaan	1 mg/l
Fosfaat	2 mg/l
Sulfaat	250 mg/l
Ammonium	10 mg/l
Nitraat	200 mg/l
Nitriet	1 mg/l
Fluoride	2 mg/l

De vermelding van de grenswaarden gebeurt eveneens op basis van de drie kwaliteitscriteria. Door op de knop 'terug' te drukken, komt u terug op het scherm met de informatie over de waterkwaliteit.

Door op de terug-knop te klikken op het scherm 'waterkwaliteit' keert u terug naar de pagina met de twee opties. Indien u op de optie 'start berekening' klikt, krijgt u volgende weergave:

Berekening economische rendabiliteit

Om de simulatietool te kunnen toepassen op uw bedrijf, is het correct invullen van volgende gegevens noodzakelijk. In de kaders zijn standaardwaarden ingegeven. Als u de kaders aanpast naar uw bedrijfsgegevens, is de simulatie voor uw bedrijf nauwkeuriger.

Aantal kalveren tot 5 maanden:

Aantal jongvee tot 1 jaar:

Aantal jongvee tot 2 jaar:

Aantal droogstaande koeien:

Aantal lacterende koeien:

Wat is de totale dakoppervlakte voor het opvangen van regenwater? m²

Beschikt uw bedrijf over een regenwateropslag? Ja Nee

Beschikt uw bedrijf over een ontsmettingsinstallatie? Ja Nee

Welke ontsmettingsmethode wilt u in de toekomst gebruiken?

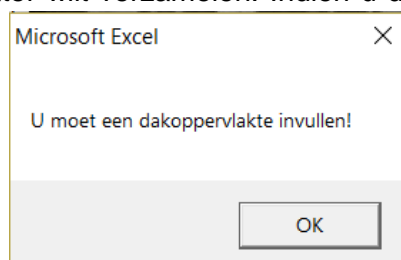
- Elektrochemische activering
- Chloorhoudende middelen
- UV-behandeling
- Ozon
- Zilvernitraat

[meer info over de ontsmettingsmethoden](#)

Wat is de kostprijs van uw water? euro / m³, standaardwaarde is kostprijs van leidingwater (PIDPA)

<p>Kalveren van 0 tot 5 maanden:</p> <p>Gemiddelde leeftijd: <input type="text" value="75"/> dagen</p> <p>Gemiddelde gewicht: <input type="text" value="123"/> kilogram</p> <p>Jongvee van 5 maanden tot 1 jaar:</p> <p>Gemiddelde leeftijd: <input type="text" value="255"/> dagen</p> <p>Gemiddelde gewicht: <input type="text" value="299"/> kilogram</p> <p>Jongvee van 1 tot 2 jaar:</p> <p>Gemiddelde leeftijd: <input type="text" value="540"/> dagen</p> <p>Gemiddelde gewicht: <input type="text" value="577"/> kilogram</p>	<p>Lacterende koeien:</p> <p>Gemiddelde pariteit: <input type="text" value="2,3"/></p> <p>Gemiddelde lactatiestadium: <input type="text" value="197"/> dagen</p> <p>Gemiddelde dagelijkse melkgift: <input type="text" value="34,4"/> liter / koe</p> <p>Gemiddelde hoeveelheid evenwichtig krachtvoer: <input type="text" value="4,9"/> kilogram / koe</p> <p>Omgevingsparameters:</p> <p>Minimum temperatuur in de stal: <input type="text" value="5,5"/> °C</p> <p>Gemiddelde temperatuur in de stal: <input type="text" value="10,0"/> °C</p> <p>Minimum temperatuur buiten: <input type="text" value="7,1"/> °C</p> <p>Gemiddelde temperatuur buiten: <input type="text" value="11,1"/> °C</p> <p>Relatieve luchtvochtigheid buiten: <input type="text" value="84,4"/> procent</p>
--	---

De tekstvakken achter de aantallen krijgen automatisch een waarde nul. Gelieve het juiste aantal in de tekstvakken te typen. Voor de totale dakoppervlakte neemt u de som van alle daken waarvan u het regenwater wilt verzamelen. Indien u de standaardwaarde niet verandert, krijgt u volgende melding:



Indien uw bedrijf beschikt over een ontsmettingsinstallatie, wordt gevraagd naar methode van ontsmetting. Dat wordt hieronder weergegeven.



Beschikt uw bedrijf over een ontsmettingsinstallatie? Ja Nee

Is de ontsmetting op basis van elektrochemische activering? Ja Nee

Indien uw bedrijf nog geen ontsmettingsinstallatie heeft, kan u een ontsmettingsmethode kiezen. Doordat de prijzen van de andere installaties niet beschikbaar zijn, is de enige optie 'elektrochemische activering'.



Beschikt uw bedrijf over een ontsmettingsinstallatie? Ja Nee

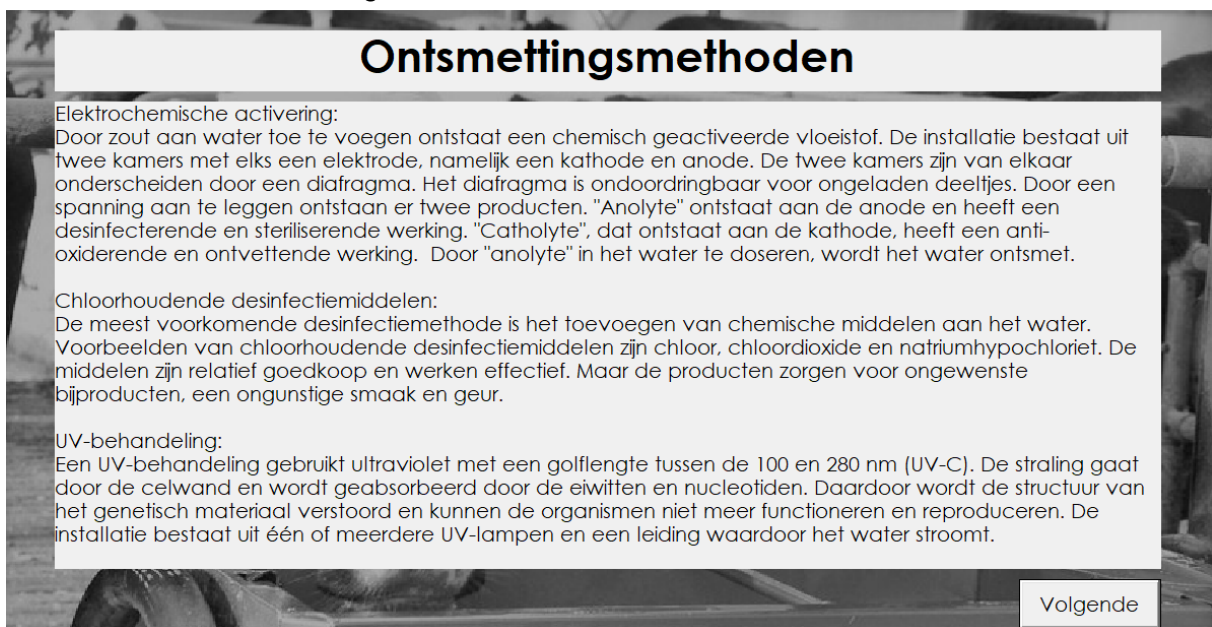
Welke ontsmettingsmethode wilt u in de toekomst gebruiken?

- Elektrochemische activering
- Chloorhoudende middelen
- UV-behandeling
- Ozon
- Zilvernitraat

Voorlopig is enkel de optie elektrochemische activering mogelijk. Excuses voor het ongemak!

meer info over de ontsmettingsmethoden

De knop 'meer info over de ontsmettingsmethoden' wordt beschikbaar. Door op de knop te klikken, krijgt u meer informatie over elektrochemische activering, chloorhoudende desinfectiemiddelen, UV-behandeling.



Ontsmettingsmethoden

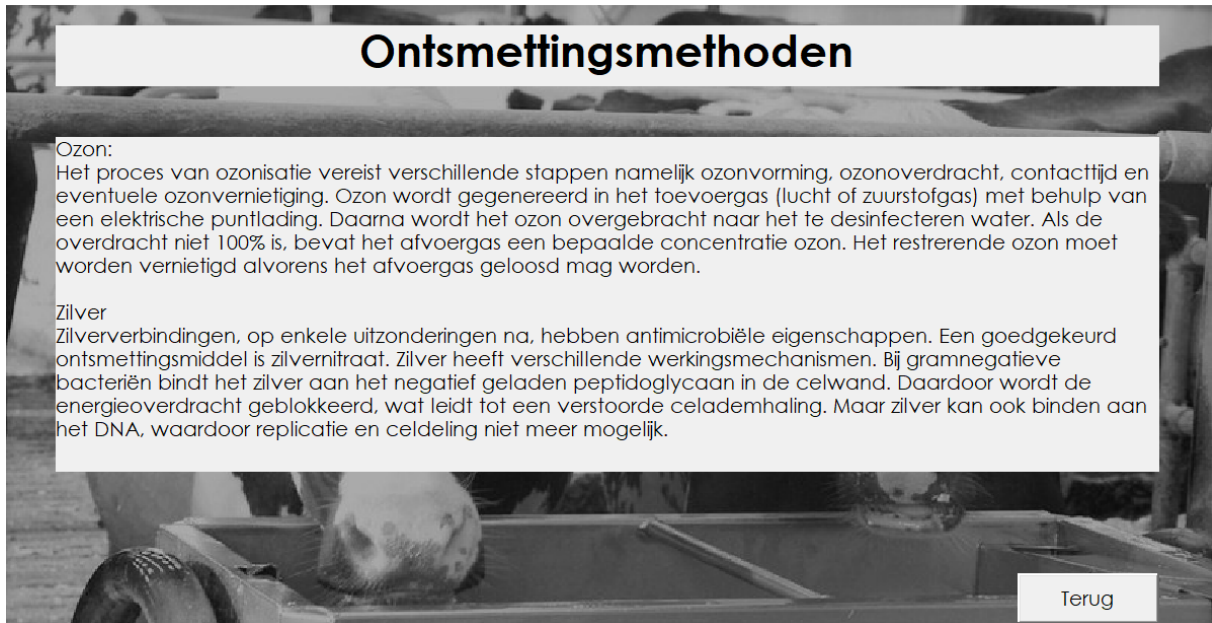
Elektrochemische activering:
Door zout aan water toe te voegen ontstaat een chemisch geactiveerde vloeistof. De installatie bestaat uit twee kamers met elks een elektrode, namelijk een kathode en anode. De twee kamers zijn van elkaar onderscheiden door een diafragma. Het diafragma is ondoordringbaar voor ongeladen deeltjes. Door een spanning aan te leggen ontstaan er twee producten. "Anolyte" ontstaat aan de anode en heeft een desinfecterende en steriliserende werking. "Catholyte", dat ontstaat aan de kathode, heeft een anti-oxiderende en ontvettende werking. Door "anolyte" in het water te doseren, wordt het water ontsmet.

Chloorhoudende desinfectiemiddelen:
De meest voorkomende desinfectiemethode is het toevoegen van chemische middelen aan het water. Voorbeelden van chloorhoudende desinfectiemiddelen zijn chloor, chloordioxide en natriumhypochloriet. De middelen zijn relatief goedkoop en werken effectief. Maar de producten zorgen voor ongewenste bijproducten, een ongunstige smaak en geur.

UV-behandeling:
Een UV-behandeling gebruikt ultraviolet met een golflengte tussen de 100 en 280 nm (UV-C). De straling gaat door de celwand en wordt geabsorbeerd door de eiwitten en nucleotiden. Daardoor wordt de structuur van het genetisch materiaal verstoord en kunnen de organismen niet meer functioneren en reproduceren. De installatie bestaat uit één of meerdere UV-lampen en een leiding waardoor het water stroomt.

Volgende

Indien u op de knop 'volgende' klikt, krijg u de informatie over desinfectie met ozon en zilver.



Ontsmettingsmethoden

Ozon:
Het proces van ozonisatie vereist verschillende stappen namelijk ozonvorming, ozonoverdracht, contacttijd en eventuele ozonvernietiging. Ozon wordt gegenereerd in het toevoergas (lucht of zuurstofgas) met behulp van een elektrische puntlading. Daarna wordt het ozon overgebracht naar het te desinfecteren water. Als de overdracht niet 100% is, bevat het afvoergas een bepaalde concentratie ozon. Het resterende ozon moet worden vernietigd alvorens het afvoergas geloosd mag worden.

Zilver
Zilververbindingen, op enkele uitzonderingen na, hebben antimicrobiële eigenschappen. Een goedgekeurd ontsmettingsmiddel is zilvernitraat. Zilver heeft verschillende werkingsmechanismen. Bij gramnegatieve bacteriën bindt het zilver aan het negatief geladen peptidoglycaan in de celwand. Daardoor wordt de energieoverdracht geblokkeerd, wat leidt tot een verstoorde celademhaling. Maar zilver kan ook binden aan het DNA, waardoor replicatie en celdeling niet meer mogelijk.

Terug

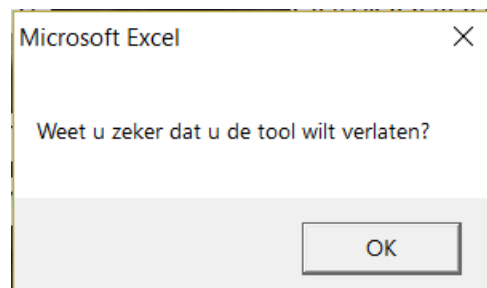
Door de terug-knop te drukken, keert u terug naar het scherm 'berekening economische rendabiliteit'.

Bij de watermaatschappij Pidpa bedraagt het vlak tarief, één tarief voor het volledige verbruik, exclusief btw voor niet-huishoudelijke gebruikers 1,4604 euro per m³. U heeft de mogelijkheid om het tarief aan te passen naar de kostprijs van uw watermaatschappij of de kostprijs van andere waterbronnen.

De overige tekstvakken zijn noodzakelijk voor het schatten van de waterinname aan de hand van een lineair model. U heeft eveneens de mogelijkheid om de standaardwaarden aan te passen naar de parameters van uw bedrijf. Als de standaardwaarden aangepast worden, wordt de simulatie voor uw bedrijfsituatie nauwkeuriger. De standaardwaarden zijn gebaseerd op de Hooibeekhoeve in Geel.

Door op de knop 'Terug naar standaardwaarden' te drukken, krijgen alle tekstvakken opnieuw de standaardwaarden.

Door op de knop 'Tool afsluiten' te klikken, kan u de tool vroegtijdig afsluiten. Daarbij krijgt u volgende melding:



Voordat u op de knop 'Berekenen' klikt, wordt aangeraden om de ingevulde gegevens te controleren.

Als u op de knop 'Berekenen' klikt, krijgt u volgend scherm:

Resultaat van economische rendabiliteit

Dagelijkse waterbehoefte:

Kalveren tot 5 maanden:	<input type="text"/>	liter / dier	X	<input type="text"/>	dieren	=	<input type="text"/>	liter
Jongvee tot 1 jaar:	<input type="text"/>	liter / dier	X	<input type="text"/>	dieren	=	<input type="text"/>	liter
Jongvee tot 2 jaar:	<input type="text"/>	liter / dier	X	<input type="text"/>	dieren	=	<input type="text"/>	liter
Droogstaande koeien:	<input type="text"/>	liter / dier	X	<input type="text"/>	dieren	=	<input type="text"/>	liter
Lacterende koeien:	<input type="text"/>	liter / dier	X	<input type="text"/>	dieren	=	<input type="text"/>	liter

Totale dagelijkse waterinname van uw bedrijf: liter
= m³

Jaarlijkse waterbehoefte:

Totale jaarlijkse waterinname van uw bedrijf: liter
= m³

Jaarlijkse hoeveelheid opgevangen regenwater:

In België regent het jaarlijks 724,1 mm of 724,1 liter per vierkante meter.
De hoeveelheid regenwater dat jaarlijks door uw dakoppervlakte kan opgevangen worden bedraagt:
 liter = m³

Tekort/teveel aan regenwater om de waterbehoefte te vervullen:
 liter = m³

Besparing van regenwater, zonder rekening te houden met opslag en ontsmetting bedraagt: euro/jaar

Opslag:

De berekening voor de regenwateropslag wordt hieronder weergegeven:

Opslaggrootte: m³, deze grootte is berekend op basis van een regenbui van 25 mm/dag

Kosten graafwerken: euro, berekend op basis van 5 euro/m³ en 10 m³ extra

Kosten opslagput: euro, berekend op basis van een put (diepte = 2m), keldervloer (€ 29/m²), keldermuren (€ 77/m²), afdekking (€40/m²)

Kosten pomp: euro

Kosten voorfilteren: euro

Totale opslagkosten: euro

Ontsmetting:

Aankoopkosten: euro

Onderhoud- en verbruikkosten: euro/jaar

Totale kosten investeringskosten: euro opslagkosten + aankoopkosten installatie

Jaarlijkse kosten voor onderhoud en verbruik: euro

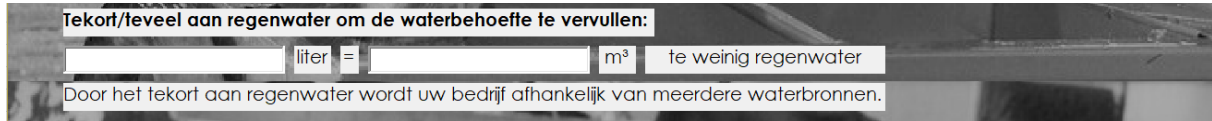
Jaarlijkse besparing, rekening houdend met jaarlijkse kosten voor onderhoud en verbruik maar zonder opslag- en aankoopkosten: euro

De terugverdientijd van de investering: jaar investeringskosten / jaarlijkse besparing

Jaarlijkse besparing bij een levensduur van 20 jaar: euro jaarlijkse besparing - investeringskosten/20

Als eerste wordt de dagelijkse drinkwaterbehoefte weergegeven. Op basis van de dagelijkse behoefte kan de jaarlijkse drinkwaterbehoefte (365 dagen) berekend worden.

Daarna volgt de informatie omtrent de hoeveelheid regenwater dat jaarlijks door uw dakoppervlakte kan opgevangen worden. Indien de jaarlijkse drinkwaterbehoefte groter is dan de jaarlijks hoeveelheid opgevangen regenwater, krijgt u volgende aanvulling:



Tekort/teveel aan regenwater om de waterbehoefte te vervullen:

liter = m³ te weinig regenwater

Door het tekort aan regenwater wordt uw bedrijf afhankelijk van meerdere waterbronnen.

Als de jaarlijkse drinkwaterbehoefte groter is de jaarlijkse hoeveelheid opgevangen regenwater is de aanvulling:



Tekort/teveel aan regenwater om de waterbehoefte te vervullen:

liter = m³ te veel regenwater

De geldbesparing door uw drinkwater (deels) te vervangen door regenwater, zonder rekening te houden met opslag- en ontsmettings- en onderhoudskosten, wordt weergegeven.

Indien u niet beschikt over een regenwateropslag worden de kosten daarvoor berekend. De dimensionering van de regenwateropslag gebeurt op basis van 25 liter per vierkante meter dakoppervlakte.

Voor de graafwerken wordt gerekend met een kostprijs van 5 euro per m³. Voor de zekerheid wordt 10 m³ extra in rekening gebracht. De regenwateropslagput krijgt een diepte van 2 meter. Voor de vloer wordt een prijs van 29 euro per m² aangerekend. De keldermuren kosten €77 per m². De kelder wordt afgedekt met een dichte vloer en kost 40 euro per m². Het water moet uit de opslagput omhoog gepompt worden. Daarvoor wordt een pomp voorzien met een kostprijs van 800 euro. Om geen opstoppingen in de leidingen te verkrijgen, wordt het water gefilterd. Voor de voorfilters wordt een bedrag van €1.100 euro aangerekend.

De kostprijs van een installatie dat werkt op basis van elektrochemische activering bedraagt 19.900 euro.

De onderhoud- en verbruikskosten worden geschat op 750 euro per jaar. De kost zou het elektriciteitsverbruik, vervanging van kleine onderdelen, zoutverbruik enzovoort moeten dekken.

De totale investeringskosten worden berekend door de totale opslagkosten en de aankoopkosten van de installatie op te tellen. De jaarlijkse onderhoud- en verbruikkosten worden opnieuw weergegeven. De jaarlijkse besparing, die enkel rekening houdt met de onderhoud- en verbruikkosten, wordt bekomen door de onderhoud- en verbruikkosten af te trekken van de jaarlijkse geldbesparing.

De terugverdientijd van de investering wordt berekend door de totale kosten van de investering te delen door de jaarlijkse besparing die rekening houdt met de onderhoud- en verbruikkosten. Eveneens kan de jaarlijkse besparing berekend worden over een termijn van 20 jaar.

Indien het bedrijf al beschikt over een regenwateropslag worden de opslagkosten niet in rekening genomen. Echter heeft u de mogelijkheid om daarvoor een kost in rekening te brengen.



Opslag:
U bedrijf beschikt over een regenwateropslagput.

U kan bij totale opslagkosten eventueel een schatting maken van de gemaakte kosten omtrent de opslag. Indien u geen waarde opgeeft, wordt er gerekend zonder opslagkosten.

Totale opslagkosten: euro

Bereken opnieuw met opslagkosten

Door op de knop 'Bereken opnieuw met opslagkosten' te drukken, wordt het economische rendement opnieuw berekend.

Eveneens kan het bedrijf al over een ontsmettingsinstallatie beschikken. De kosten worden dan niet in rekening genomen. Maar de kost die u hiervoor in het verleden heeft gemaakt, kan in rekening worden gebracht.



Ontsmetting:

Aankoopkosten: euro

U kan eventueel een schatting maken van de gemaakte kosten omtrent de aankoop van de installatie in het verleden. Indien u geen waarde opgeeft, wordt er gerekend zonder de aankoopkosten.

Onderhoud- en verbruikkosten: euro/jaar

Bereken opnieuw met ontsmettingskosten

Als u klikt op de knop 'Bereken opnieuw met ontsmettingskosten' worden de jaarlijkse besparing, terugverdiendtijd en dergelijke opnieuw berekend.

U kan terugkeren naar de vorige pagina door de knop 'Terug naar berekening'. De tool afsluiten kan door het rode kruisje in de rechterbovenhoek (niet zichtbaar op schermafdrukken).

Bijlage C

RESULTATEN WATERANALYSES PIH

Regenwaterput		21-feb-12	08-mrt-12	20-mrt-12	10-apr-12	24-apr-12	23-mei-12	20-jun-12	18-jul-12	22-aug-12	19-sep-12	18-nov-14	29-jan-15	10-jan-19	29-jan-19	27-feb-19	
Parameter	Eenheid																
BIOLOGISCH	# kiemen (48-37)	kve/ml	190	24000	90	>3000	335	2500	2000	160	480	2200	370	32	560	670	540
	# kiemen (72-22)	kve/ml	2800	4100	1400	>3000	4600	>30000	4600	1220	600	>3000	>3000	1300	440	>3000	2200
	# coliformen	kve/100ml	30	90	20	50	30	2500	150	190	90	400	10	24	>100	>100	>100
	# E. coli	kve/100ml	10	<10		20	9	160	85	130	4	420	20	32	2	20	1
	# Enterococcen	kve/100ml	1	23	0	>100	27	270	230	240	23	440	>100	4	19	>100	0
	Salmonella	per liter	afwezig	afwezig	afwezig	afwezig	afwezig	afwezig	afwezig	afwezig	afwezig	afwezig	afwezig	afwezig	afwezig	afwezig	afwezig
	# Clostridium perfringens	kve/100ml	0	0	0	220	10	0	10	0	0	0	1	0	0	0	1
# sulfiet-gereduceerde clostridia	kve/100ml	730	19	1	0	10	100	310	5	240	>50	6	93	28	30	1	
CHEMISCH	pH	-	6,64	7,42	7,45	7,33	7,1	6,93	6,77	6,85	7,01	7,21	7,58	6,09	6,87	7,09	7,7
	Geleidbaarheid	mS/cm	114	112	155	50	67	57		42	486	588	71	77	131	102	337
	Hardheid	°F	2	3	3	1	2	1	1	1	14	18	2	2	4	3	16
	Ammonium	mg/l	0,4	0,71	0,3	1,71	0,83	2,02	1	0,9	1,08	0,28	1,03	0,55	0,5	1	0,53
	Chloriden	mg/l	8	9	8	<5	<5	<5	<5	<5	26	36	<5	<5	6	6	<5
	Fluoriden	mg/l	<0,3	<0,2	<0,2	<0,2	<0,20	<0,2	<0,2	<0,2	<0,20	<0,20	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,20
	Nitriet	mg/l	0,09	0,09	0,07	0,15	0,11	0,11	0,09	0,12	0,5	0,99	0,23	0,06	0,1	0,21	0,03
	Nitraat	mg/l	6,2	7,3	10	3	6,5	6,1	4,4	4,1	91	120	9,1	8,4	15	13	12
	Orthofosfaten	mg/l	<0,2	<0,2	0,25	<0,2	<0,20	<0,2	<0,2	<0,2	8,84	10,7	<0,2	<0,2	<0,15	<0,15	0,15
	Sulfaten	mg/l	<5	<5	5	<5	<5	<5	<5	<5	11	15	<5	<5	<5	<5	5
	Natrium	mg/l	6,4	6,3	6,5	1,1	1,4	1,2	1,1	1,4	23,2	31,7	2,2	2,3			
	Calcium	mg/l	9,7	10,3	13,4	4,9	8,1	5,8	4,8	4,3	53,8	66	7,3	9	14,8	11	12,6
	Magnesium	mg/l	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	2,4	3,2	<1	<1	<1	<1	<1
	Mangaan	ug/l	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20			
	Ijzer	ug/l	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	103

Hooibeekhoeve - kraan jongveestal

Parameter	Eenheid	21-feb-12	08-mrt-12	20-mrt-12	10-apr-12	24-apr-12	23-mei-12	20-jun-12	18-jul-12	22-aug-12	19-sep-12	10-jan-19	29-jan-19	27-feb-19		
BIOLOGISCH	# kiemen (48-37)	kve/ml	130	3300	3	82	49	76	14	10	42	44	100	900	0	
	# kiemen (72-22)	kve/ml	65	24	0	38	11	32	18	12	350	370	0	>3000	54	
	# coliformen	kve/100ml	<10	<10	1	0	<10	<10	0	<10	2	2	13	>100	3	
	# E. coli	kve/100ml	<100	<10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	0	
	# Enterococcen	kve/100ml	1	0	0	0	0	0	0	0	0	18	2	>100	0	
	Salmonella	per liter	afwezig	afwezig	afwezig	afwezig	afwezig	afwezig	afwezig	afwezig	afwezig	afwezig	afwezig	afwezig	afwezig	afwezig
	# Clostridium perfringens	kve/100ml	12	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	# sulfietgereducerende clostridia	kve/100ml	12	3	0	0	4	10	3	21	>100	>80	7	47	0	
	CHEMISCH	pH	-	7,19	7,45	7,31	7,42	7,03	6,87	7,07	7,16	7,31	7,26	7,75	6,98	6,97
Geleidbaarheid		mS/cm	221	228	275	196	227	177	150	135	579	686	363	99	103	
Hardheid		°F	2	3	3	1	2	1	1	1	15	19	15	3	4	
Ammonium		mg/l	<0,1	0,4	<0,1	1,46	0,34	1,61	0,54	0,69	0,94	0,25	<0,10	0,95	<0,10	
Chloriden		mg/l	42	40	49	35	46	29	29	22	51	59	15	<5	14	
Fluoriden		mg/l	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,20	<0,2	<0,2	<0,2	<0,20	<0,20	<0,20	<0,2	<0,20	
Nitriet		mg/l	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,05	0,19	<0,02	0,25	<0,02	
Nitraat		mg/l	6,3	7,1	10	3,2	6,3	6,5	5	4,4	94	120	1,9	13	1,7	
Orthofosfaten		mg/l	<0,2	<0,2	0,26	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	9,16	11	<0,15	<0,15	<0,15	
Sulfaten		mg/l	<5	<5	5	<5	<5	<5	<5	<5	11	15	18	<5	8	
Natrium		mg/l	26,2	27	32,3	23,4	28,3	18,9	18,3	13,6	37,4	50,1				
Calcium		mg/l	9,1	10,2	13,1	5	7,6	5,2	5,2	4,3	54,2	68,6	47,8	10,9	49,5	
Magnesium		mg/l	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	2,4	3,4	8,3	<1	9,1	
Mangaan		µg/l	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20				
Ijzer		µg/l	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	

Hooibeekhoeve - kraan melkveestal			21-feb-12	08-mrt-12	20-mrt-12	10-apr-12	24-apr-12	23-mei-12	20-jun-12	18-jul-12	22-aug-12	19-sep-12	18-nov-14	29-jan-15	
Parameter		Eenheid													
BIOLOGISCH	# kiemen (48-37)	kve/ml	0	3800	13	150	48	97	23	23	18	56	170	6	
	# kiemen (72-22)	kve/ml	1090	46	34	110	21	53	17	15	45	620	>3000	11	
	# coliformen	kve/100ml	<10	<10	<10	0	<10	<10	0	<10	0	8	17	0	
	# E. coli	kve/100ml		<10	0	0	0	0	0	0	0	3	13	0	
	# Enterococcen	kve/100ml	1	0	0	0	0	0	0	0	0	14	>100	0	
	Salmonella	per liter	afwezig	afwezig	afwezig	afwezig	afwezig	afwezig	afwezig	afwezig	afwezig	afwezig	afwezig	afwezig	afwezig
	# Clostridium perfringens	kve/100ml	0	0	0	180	0	12	10	0	0	0	1		
	# sulfietgereducerende clostridia	kve/100ml	470	7	0	0	63	45		70	80	>80	13		
CHEMISCH	pH	-	6,83	7,38	7,48	7,2	7,15	6,8	6,89	6,89	7,1	7,31	7,3		
	Geleidbaarheid	mS/cm	223	213	244	174	193	154	138	99	589	703	248		
	Hardheid	°F	2	3	3	1	2	1	1	1	14	19	2		
	Ammonium	mg/l	0,33	0,21	<0,1	1,37	0,36	1,66	0,66	0,59	0,91	0,24	0,8		
	Chloriden	mg/l	40	51	43	33	48	18	17	29	53	66	<5		
	Fluoriden	mg/l	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,20	<0,2	<0,20	<0,2	<0,20	<0,20	<0,2		
	Nitriet	mg/l	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,07	0,22		
	Nitraat	mg/l	6,4	7,2	10	3,1	6	6,7	5,1	5,3	94	120	9,3		
	Orthofosfaten	mg/l	0,29	<0,2	0,25	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	0,22	9,14	11,4	<0,2		
	Sulfaten	mg/l	<5	<5	5	<5	<5	<5	<5	<5	11	15	<5		
	Natrium	mg/l	25,7	31,5	27,3	24,9	29,7	10,5	15,1	11,4	40,4	53,2	1,6		
	Calcium	mg/l	9,5	10,3	13,1	4,9	7,6	5,2	5,3	5,5	53,9	68,7	7,2		
	Magnesium	mg/l	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	2,4	3,4	<1		
	Mangaan	µg/l	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20		
Ijzer	µg/l	<50	<50	<50	63,4	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50			

FACULTEIT INDUSTRIËLE INGENIEURSWETENSCHAPPEN
CAMPUS GEEL
Kleinhoefstraat 4
2440 GEEL, België
tel. + 32 14 72 13 00
iiw.geel@kuleuven.be
www.iw.kuleuven.be

