

Brochure: De kwaliteit van drinkwater van koeien en drijfmest met en zonder zuurstof.

Wim de Hoop, KCGG, 2024

Ervaringen van zuurstoftoediening aan drinkwater van koeien en aan drijfmest op diverse MDM-bedrijven in het hele land. Met dank aan deze bedrijven voor het uittesten.



Uitgevoerd in het project Management Duurzame Melkveehouderij (MDM):
Ammoniakverlaging door haalbare en betaalbare aanpassingen
in management en techniek.

Met medefinanciering van:



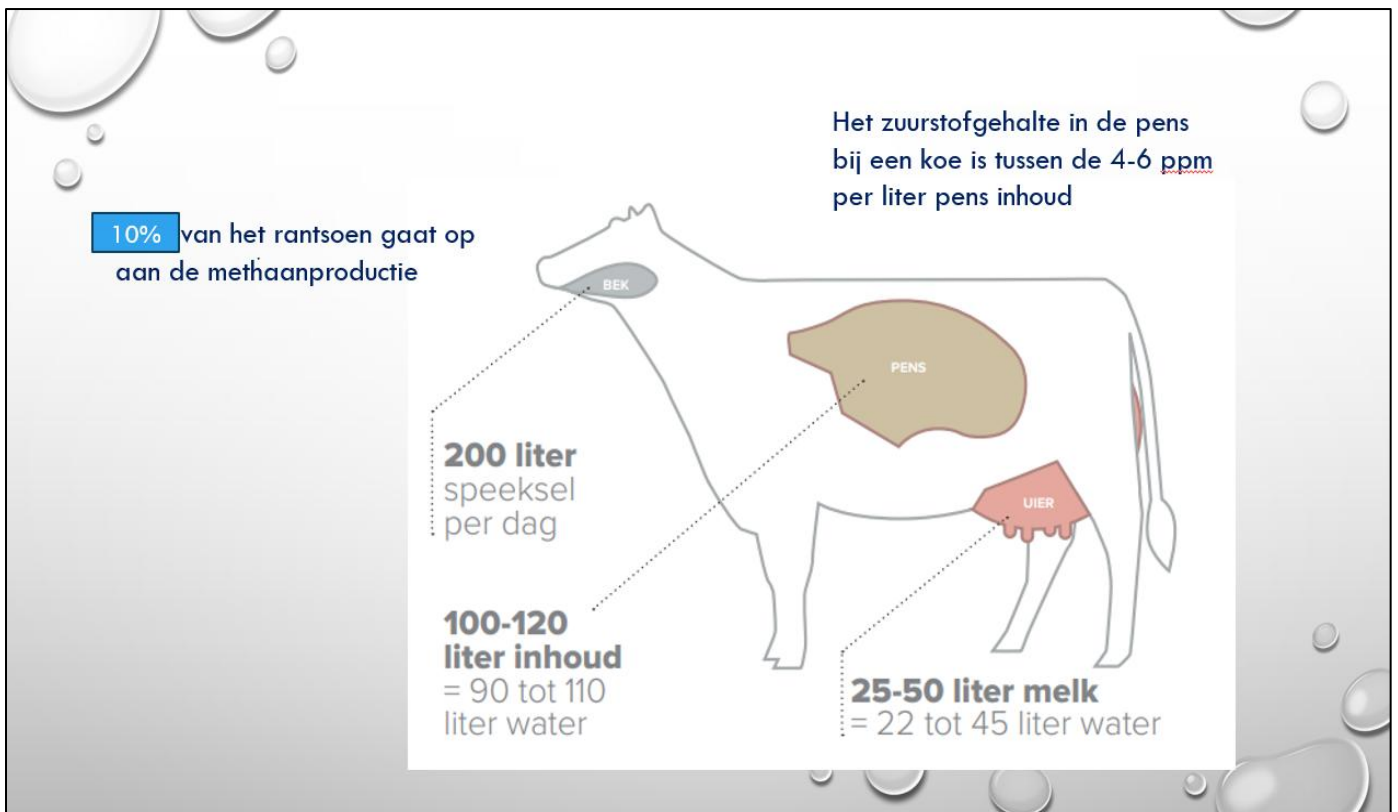
Rijksdienst voor Ondernemend
Nederland

Figuur 1. Zoeken naar het belang van zuurstof in de pens van de koe.

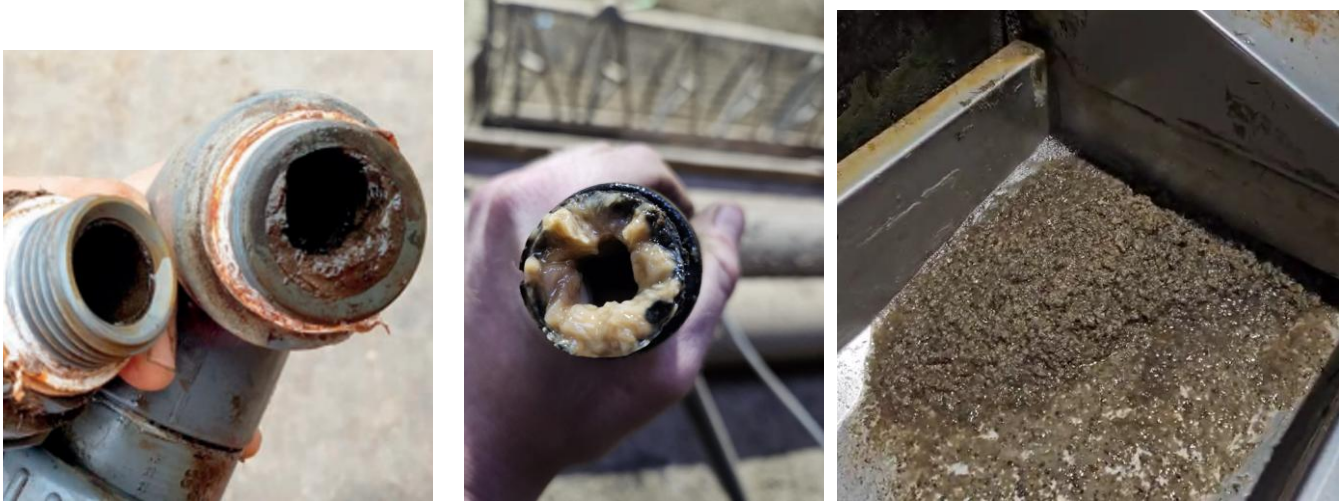


Een koe kan meer dan 100 liter water drinken per dag (figuur 2). Maar de kwaliteit van dit drinkwater en de gevolgen hiervan krijgen relatief weinig aandacht.

Figuur 2. De hoeveelheid water per koe per dag.



Figuur 3. Verontreiniging, biofilm, in een waterleiding. Foto 3 vervuiling die vrijkwam bij het reinigen van de leidingen.



Hoe is het gesteld met de kwaliteit van het drinkwater voor koeien? Biedt toevoeging van zuurstof verbetering?

Zoals figuur 3 laat zien kan er biofilm in leidingen zitten die de kwaliteit van het drinkwater verslechteren. Zo'n biofilm onttrekt zuurstof aan het water.

In het project MDM (Management Duurzame Melkveehouderij) zijn metingen gedaan van de waterkwaliteit van koeien in de drinkbakken van de koeien. Deze bleken vaak een zeer laag zuurstofgehalte te bevatten. Waarbij de laatste drinkbak, die het verst verwijderd stond van de bron, vaak de laagste waarde had.

Met een waterkwaliteitsmeter is deze kwaliteit bepaald. En wel op de volgende parameters:

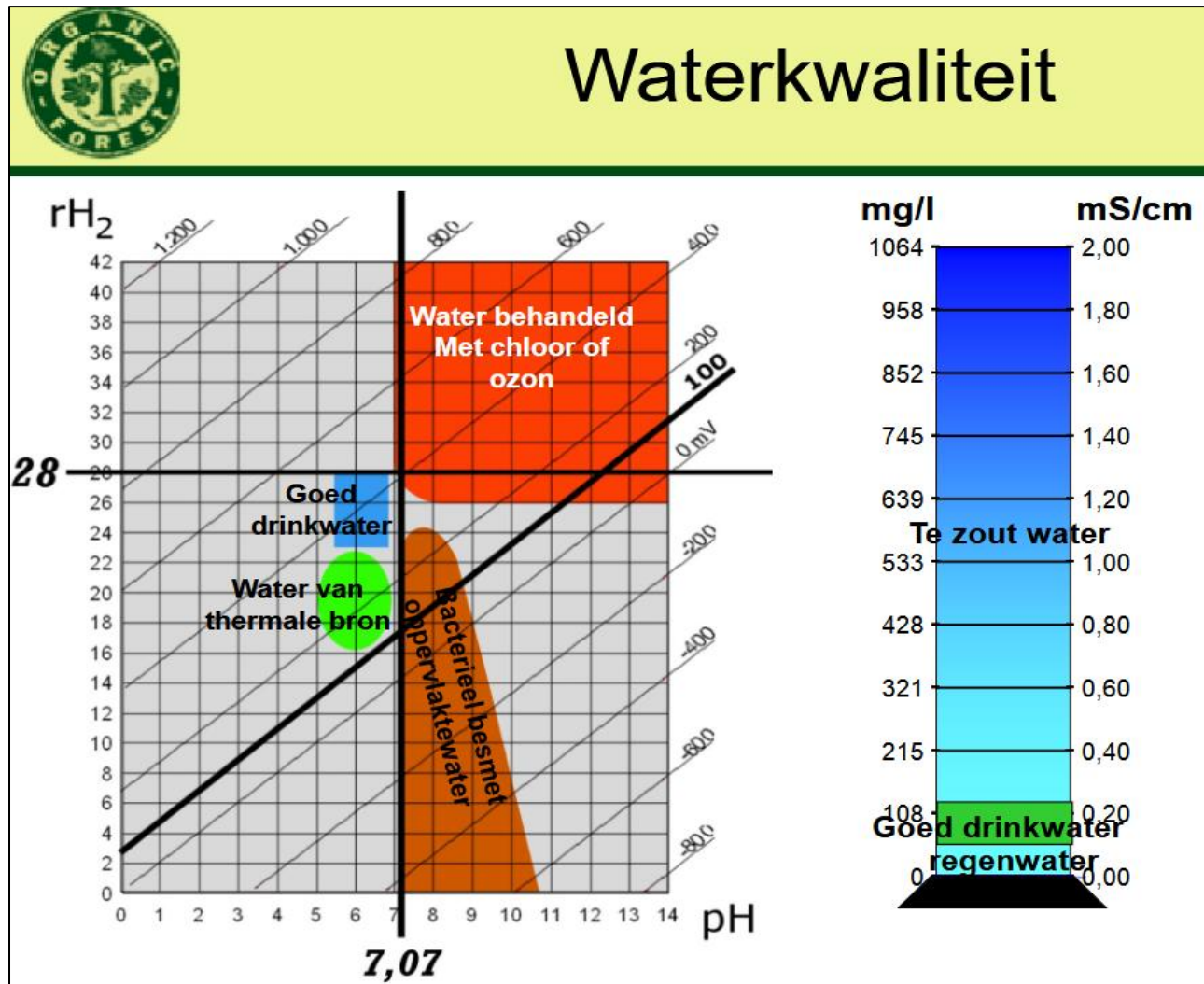
- Zuurtegraad: pH;
- Redoxpotentiaal in Eh en mV. Redoxpotentiaal is de neiging van een chemische stof om ofwel gereduceerd te worden door elektronen op te nemen, ofwel geoxideerd te worden door elektronen af te staan (Reddy et al., 2000)
- Oxidatiegraad in rH₂. De oxidatiegraad geeft het zuurstofgehalte aan;
- Elektrische weerstand in Ω/cm ; voor meting van het zoutgehalte met berekening TDS: TDS staat voor Total Dissolved Solids, wat in de praktijk betekent dat een TDS-meter alle negatieve (anionen) en positief geladen ionen (kationen) meet die in het water aanwezig zijn;
- Vermogen P; de werkingskracht uitgedrukt in uW.

De basis van deze metingen zijn van prof. Vincent. Een toelichting van deze parameters is gegeven in een presentatie van Michel Bardaud en Peter Vanhoof (zie enkele sheets uit die presentatie in Bijlage 1). Eén van die sheets is hierna weergegeven (figuur 4), waarin wordt aangegeven wat de hoogte van deze verschillende parameters moet zijn om kwalitatief goed drinkwater te krijgen. In het blauwe vlak is het goed drinkwater voor de koeien; dus bij een Oxidatiegraad tussen de 23 en 28. Een mV van rond de 200 tot 500 en een pH tussen 5,5 en 7.

Er zijn op veel bedrijven binnen de groep van 25 MDM-bedrijven metingen van de kwaliteit van het drinkwater gedaan. Daaruit bleek dat op veel bedrijven het zuurstofgehalte van het ingaande drinkwater al laag was en nog lager in de drinkbakken van de koeien. Dit duidde op vrij veel verontreiniging, biofilm, in de leidingen. Dit verschijnsel treedt niet alleen op melkveebedrijven maar

ook op glastuinbouwbedrijven. Daar wordt o.a. gebruikt gemaakt van het toevoegen van zuurstof via nanobubbels (zie bijlage 2 over een Fins onderzoek met nanobubbels).

Figuur 4. Wat bepaalt de kwaliteit van drinkwater? In het blauwe vlak is goed drinkwater voor koeien.



In een publicatie van H. Öztürk and G. Gur, 2021, “*Rumen physiology: microorganisms, fermentation and manipulation*”, Ankara Univ Vet Fak Derg, vol. 68, no. 4 wordt het belang van zuurstof aangegeven (zie overzicht hierna).

Volgens onderzoek van de Faculteit Veterinaire Geneeskunde, Afdeling Fysiologie, Universiteit van Ankara is:

- Het meeste water dat aan melkkoeien wordt gegeven is zuurstofarm.
- Dat betekent dat het drinkwater niet genoeg zuurstof bevat om de koe ten goede te komen, waardoor de pens niet optimaal werkt: *een aanzienlijk deel van de pensbacteriën bestaat uit obligate anaëroben die voornamelijk Gram-negatief zijn. Facultatieve anaëroben, die een klein deel van de bacteriepopulatie vertegenwoordigen, zijn essentieel om de pensomgeving absoluut anaëroob te houden door zuurstof te verbruiken die voortkomt uit de opname van voer en water. Die bacteriën hebben een kleine hoeveelheid zuurstof nodig om hun vitaliteit te behouden en de pens optimaal te laten functioneren. Onvoldoende zuurstof creëert een negatief milieu in de pens en maakt Gram-positieve pensbacteriën, methanogene archaea met een grotere methaanproductiecapaciteit mogelijk in vergelijking met de andere soorten, hyperammoniakproducerende bacteriën die ammoniak 20 keer sneller produceren dan de andere soorten, en melkzuurproducenten (12). Gram-positieve bacteriën produceren ook butyraat, acetaat, lactaat, formaat en waterstof, terwijl Gram-negatieve bacteriën propionaat en succinaat produceren, die veel geschikter zijn voor herkauwers!*

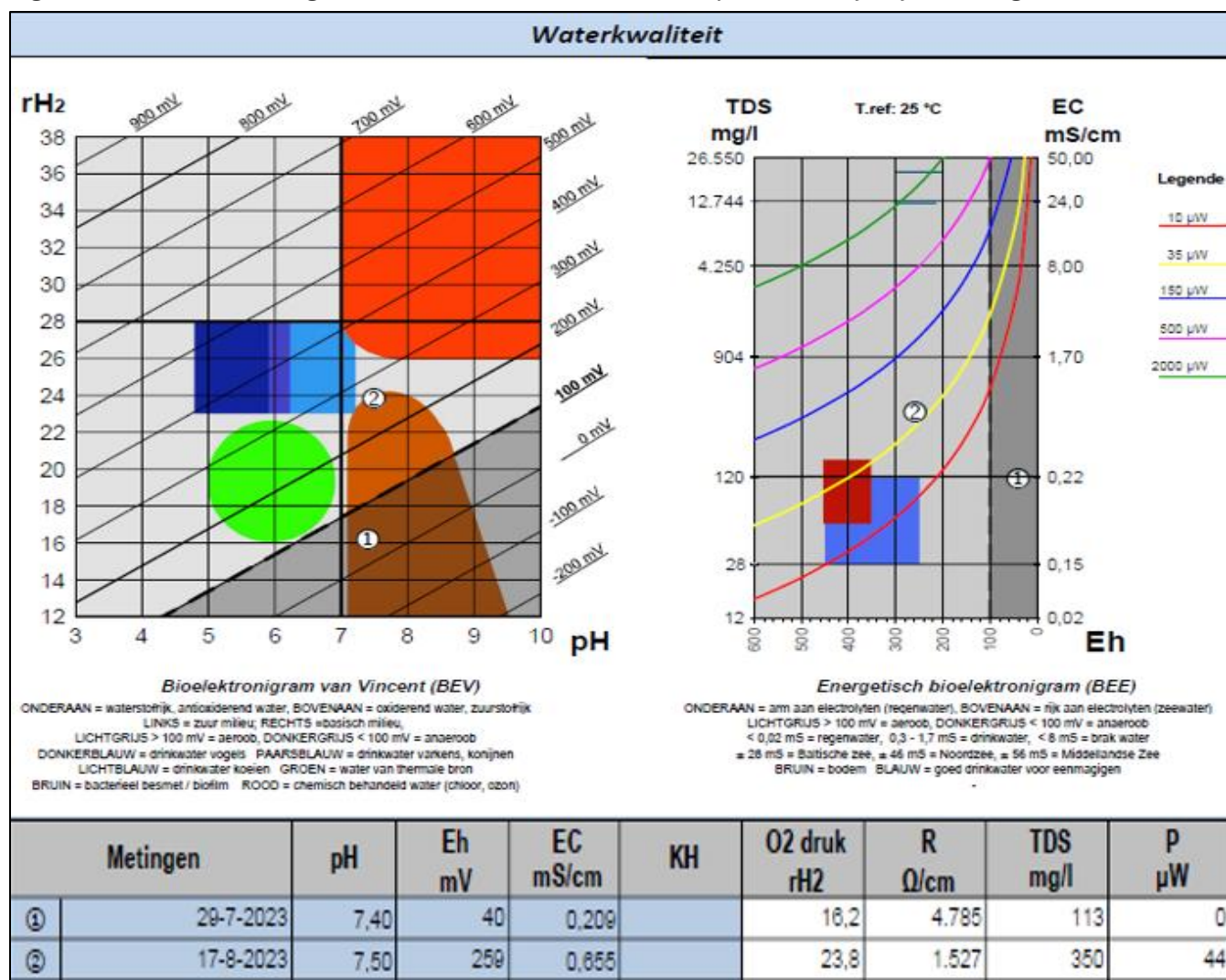
Figuur 5. Doseerinstallatie op waterleiding voor toevoeging zuurstof aan het water.



Omdat de kwaliteit op diverse MDM-bedrijven laag was is gestart met het testen van het toevoegen van kleine hoeveelheden zuurstof in de vorm van atomair gestabiliseerde zuurstof. M.b.v. een doseerinstallatie (zie figuur 5) konden deze kleine hoeveelheden goed worden gedoseerd in de drinkwaterleiding naar de koeien.

Kort na de toediening waren de zuurstofgehalten (rH₂) nog laag met ook lage mV-waarden (zie meting 1 in grafiek 5 bij metingen op een MDM-bedrijf in 2023). Het duurt een tijdje voor de leidingen en bakken schoon zijn en de kwaliteit verbetert. Bij meting 2 op dat bedrijf waren de waarden al aanzienlijk beter. En komt het dicht in de buurt van het blauwe vlak waar de kwaliteit goed is.

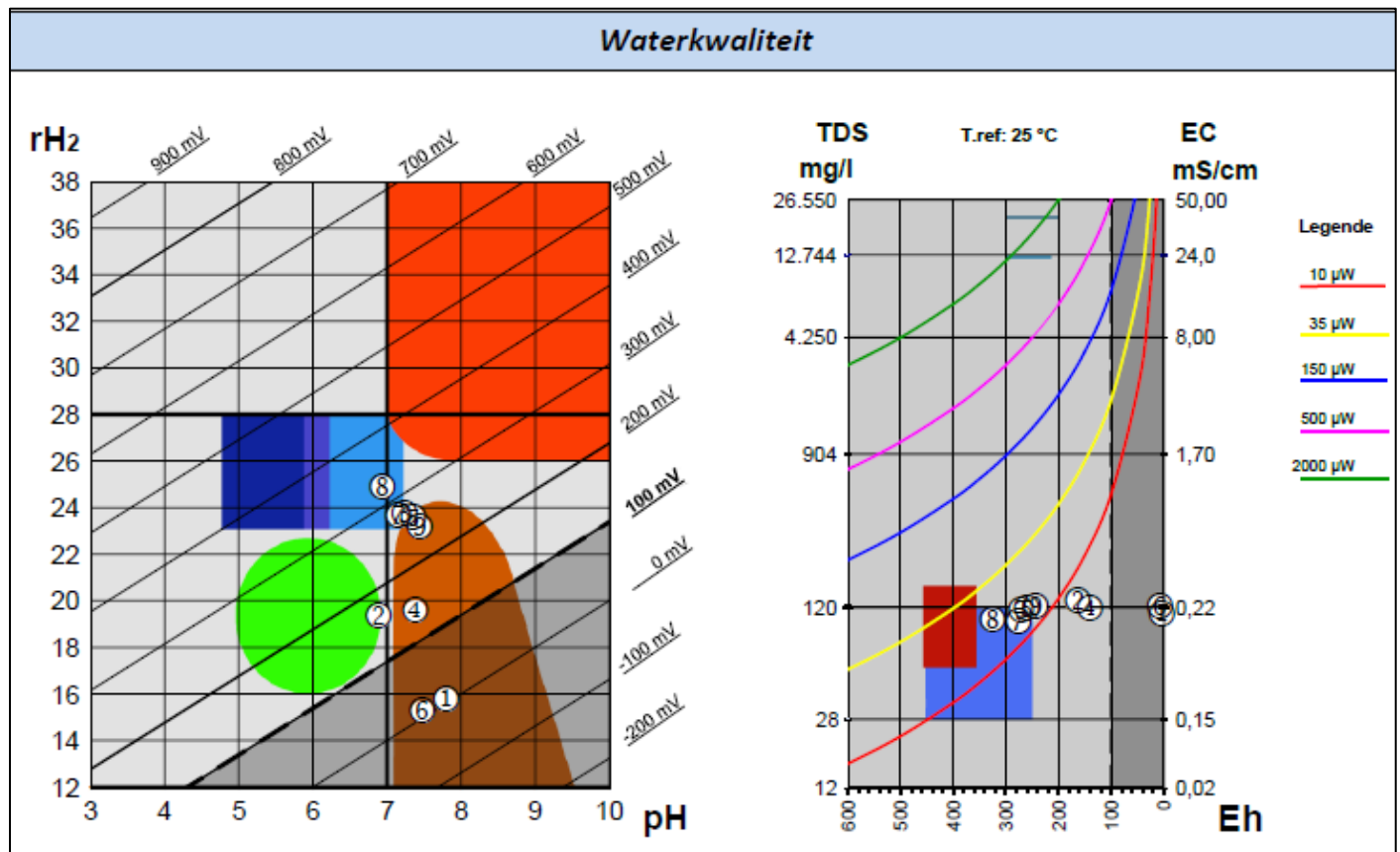
Figuur 5. Kwaliteitsweergave van drinkwater van koeien op een bedrijf bij 2 metingen.



Het is gebleken dat meerdere factoren bepalend zijn bij het verbeteren van de kwaliteit, zoals:

- de hoogte van de pH van het ingaande water bepaalt mede de kwaliteit en ook hoe snel de kwaliteit met toevoeging van zuurstof verbetert;
- na verloop van tijd kan zonder zuurstoftoevoeging de kwaliteit ook weer teruglopen, zoals blijkt uit meting 6 in Figuur 6. Er zijn dan ook testen uitgevoerd om bij hogere pH dan 7 van het ingaande water eerst aan te zuren met bijvoorbeeld citroenzuur;
- bij een aantal bedrijven buiten de MDM-groep zijn zelfs negatieve mV-waarden gemeten. Daar waren en zijn problemen met zwervestroom, die een zeer negatieve invloed hebben op de kwaliteit van het drinkwater en dat leidt zelfs tot te weinig wateropname door de koeien;
- Soms was kort na de zuurstoftoediening het celgetal heel hoog omdat de koe moest schonen en later zakt het keurig en zijn de koeien gezonder.

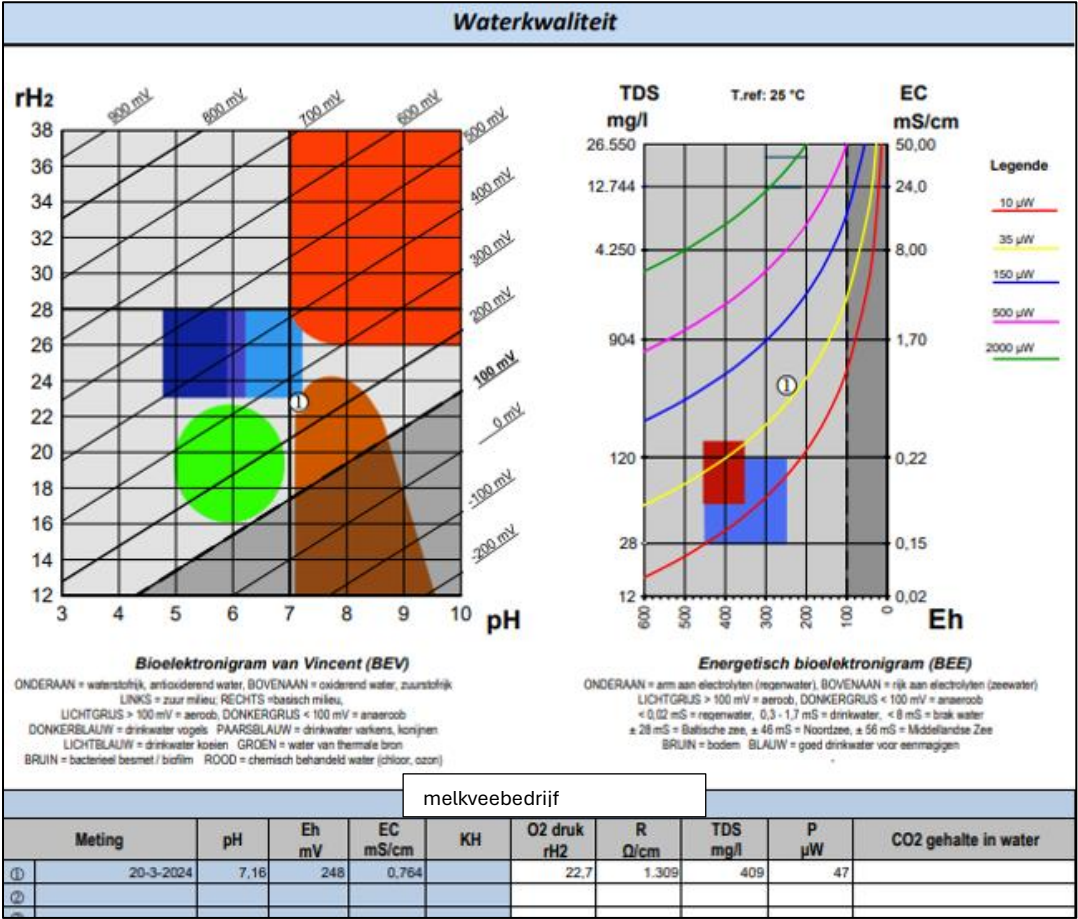
Figuur 6. Kwaliteitsweergave van drinkwater van koeien op een bedrijf bij 9 metingen.



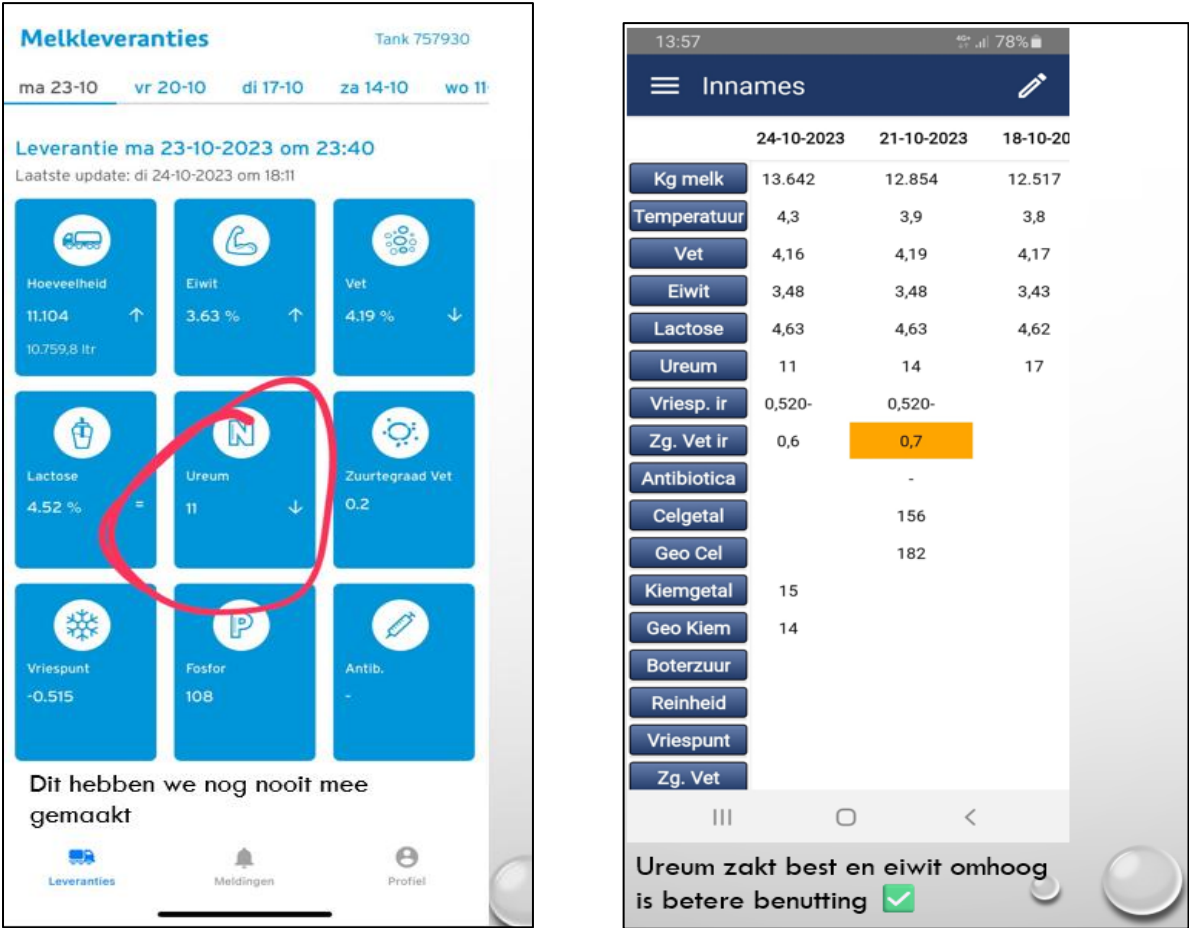
Het uittesten in het project had tot doel om meer inzicht te krijgen in de kwaliteit van het drinkwater van koeien te krijgen. En om te zien welke effecten zuurstoftoevoeging heeft op deze kwaliteit en op de voerefficiëntie en ureumgehalten van de melk om met minder emissies melk te kunnen produceren.

In de volgende figuur 7 zit een meting van de kwaliteit van water op een bedrijf op 20 maart 2023, die na toevoeging van zuurstof bijna in het gewenste blauwe vlak ligt. Hij kon toen ook melken met een laag ureumgehalte in de melk, namelijk 11. Uit figuur 8 en 9 van datzelfde bedrijf bleek het ureumgehalte flink gedaald te zijn met goed behoud van % vet en eiwit in de melk. Dat bedrijf realiseerde in 2023 een gemiddeld ureumgetal van 16,7 en in 2024 zelfs gemiddeld van 14,3.

Figuur 7. Kwaliteitsweergave van drinkwater van koeien na toevoeging zuurstof



Figuren 8 en 9. Verloop ureumgehalte, % vet- en eiwit in de melk van hetzelfde bedrijf van figuur 7.



Figuur 10. Ontwikkeling ureumgehalten in 2023 en 2024

☰ Totalen KG ☒ %				
Periode	Kg Melk	Vet	Eiwit	Ureum
2025	401.295	4,41	3,47	13,1
12-2024	138.519	4,40	3,50	13,4
11-2024	130.390	4,52	3,51	13,0
10-2024	150.082	4,30	3,44	13,9
09-2024	132.415	4,15	3,36	13,7
08-2024	129.316	4,09	3,29	14,4
07-2024	134.596	4,17	3,32	14,7
06-2024	136.391	4,16	3,35	16,3
05-2024	143.460	4,39	3,42	13,4
04-2024	131.034	4,61	3,48	13,6
03-2024	133.415	4,56	3,48	15,1
02-2024	125.970	4,54	3,47	14,7
01-2024	137.443	4,44	3,54	15,1
2024	1.623.031	4,36	3,43	14,3
12-2023	124.567	4,19	3,61	14,4
11-2023	129.546	4,13	3,57	13,8
10-2023	128.735	4,17	3,45	14,6
09-2023	127.376	3,83	3,36	14,8
08-2023	151.812	4,00	3,32	15,6
07-2023	130.500	4,00	3,35	15,9
06-2023	127.789	4,10	3,49	18,7
05-2023	128.873	4,21	3,59	18,5
04-2023	127.266	4,32	3,62	17,7
03-2023	137.602	4,37	3,67	19,4
02-2023	115.190	4,28	3,66	19,2
01-2023	132.281	4,25	3,70	17,8
2023	1.561.537	4,15	3,53	16,7

Figuur 11. Ureumgetal bij twee opvolgende melkafleveringen van een bedrijf met Jersey-koeien; rechts als eerste levering geen zuurstoftoevoeging, links tweede levering na zuurstoftoevoeging

Kg melk	4.640	4.647
Temperatuur	3,2	3,2
Vet	6,27	6,76
Eiwit	4,55	4,63
Lactose	4,44	4,38
Ureum	14	18
Vriesp. ir	0,519-	0,521-
Zg. Vet ir	0,6	0,4
Antibiotica	-	-
Celgetal	115	119

Zuurstoftoevoeging aan de mest.

De atomair gestabiliseerde zuurstof die aan de drijfmest wordt toegevoegd wordt hier GierO2 genoemd. Vaak worden er ook suikers in de vorm van melasse toegevoegd om het bacterieleven te stimuleren.

Figuur 12. Mest na toevoeging GierO2. Een filmpje is te zien op:

<https://www.smartfertilization.org/management-duurzame-melkveehouderij/>



Figuur 12 en 13. Toevoeging van zuurstof aan de drijfmest, in de kelder en in silo.



Er is op één bedrijf een proef geweest wat de effecten zijn van drijfmesttoevoeging zonder en met toevoeging van zuurstof; zie figuren 14 en 15. Het is maar een éénmalige proef; dus er kunnen nog weinig conclusies uit worden getrokken. Gezien de gunstige effecten in deze korte test is verder onderzoek nuttig.

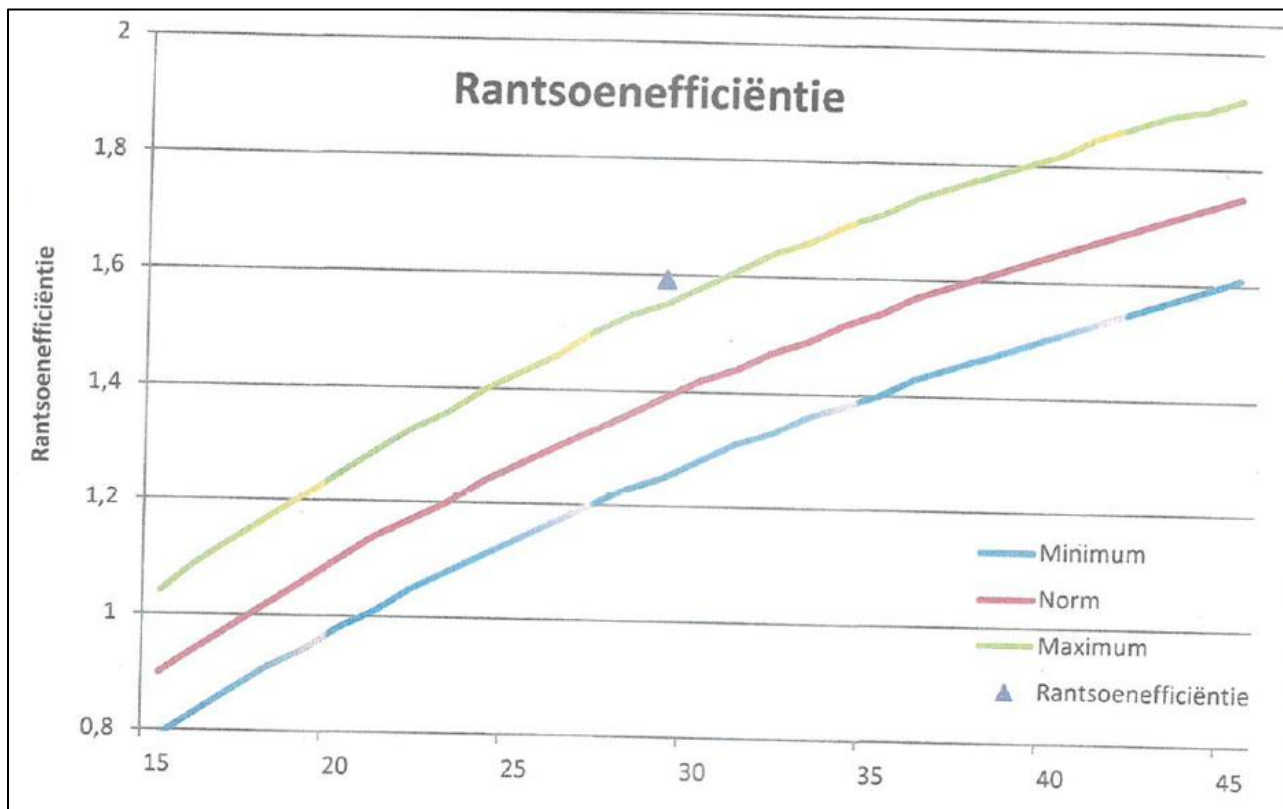
Figuur 14. Effecten op opbrengst en kwaliteit gras van drijfmesttoediening met en zonder zuurstof voor eerste snede

Opbrengsten en kwaliteit eerste snede gras op 22 april 2022 op twee percelen van een melkveebedrijf. Eén perceel bemest met zuurstoftoevoeging aan de drijfmest en één zonder zuurstoftoevoeging.										
	per ha					per kg drogestof				
	ds	kVEM	DVE	OEB	Suiker	Vem	Ruw Eiwit	DVE	OEB	Suiker
Drijfmest zonder zuurstof	4924	4958	448	162	896	1007	184	91	33	182
Drijfmest met zuurstof	5395	5239	453	119	1009	971	170	84	22	187

Figuur 15. Effecten op opbrengst en kwaliteit gras van drijfmesttoediening met en zonder zuurstof voor tweede snede

Opbrengsten en kwaliteit eerste snede gras op 22 april 2022 op twee percelen van een melkveebedrijf. Eén perceel bemest met zuurstoftoevoeging aan de drijfmest en één zonder zuurstoftoevoeging.										
	per ha					per kg drogestof				
	ds	kVEM	DVE	OEB	Suiker	Vem	Ruw Eiwit	DVE	OEB	Suiker
Drijfmest zonder zuurstof	4924	4958	448	162	896	1007	184	91	33	182
Drijfmest met zuurstof	5395	5239	453	119	1009	971	170	84	22	187

Figuur 16. Het bedrijf met de zuurstoftoevoeging aan de mest scoorde goed op de rantsoenefficiëntie (zie blauwe driehoek).



Meeuwen komen vaak naar percelen die bemest worden met drijfmest, omdat er wordt geïnjecteerd en ook nog met anaerobe mest, zodat de wormen naar boven komen. Een melkveehouder vond het opvallend dat op stukken grasland die met zuurstof behandelde mest kregen minder meeuwen zaten dan op de onbehandelde stukken (zie figuur 17).

Figuur 17. Stuk 1 bemest met GierO2; Stuk 2 GierO2 met een deel onbehandeld drijfmest . En deel 3 onbehandelde mest



Conclusies

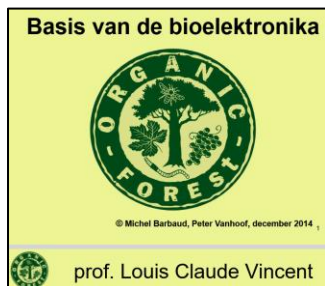
Is zuurstoftoevoeging aan drinkwater en/of aan drijfmest een goede aanpak? Die vraag kan na de eerste ervaringen niet éénduidig worden beantwoord. In het project is wel veel inzicht verkregen dat op veel bedrijven de waterkwaliteit aandacht behoeft. Ook is de mest vaak anaeroob, zodat er rotting kan optreden en ook zuurstofarme mest wordt toegediend, terwijl de bodem juist zuurstof nodig heeft om de mest te benutten. Toevoeging leidde tot een verbetering. Maar wat de precieze effecten zijn op voerefficiëntie, gezondheid van de dieren, ureumgehalten in de melk en daarmee op de emissies kon in zo'n praktijktest niet eenduidig worden vastgesteld. Er bleken vele factoren te zijn die de kwaliteit van drinkwater en mest kunnen bepalen. Daarmee zijn er ook meerdere factoren om die kwaliteit te verbeteren. Verder testen en onderzoeken is dan ook gewenst.

Figuur 18. Gaat het goed met zuurstof in drinkwater van de koeien en in de mest?

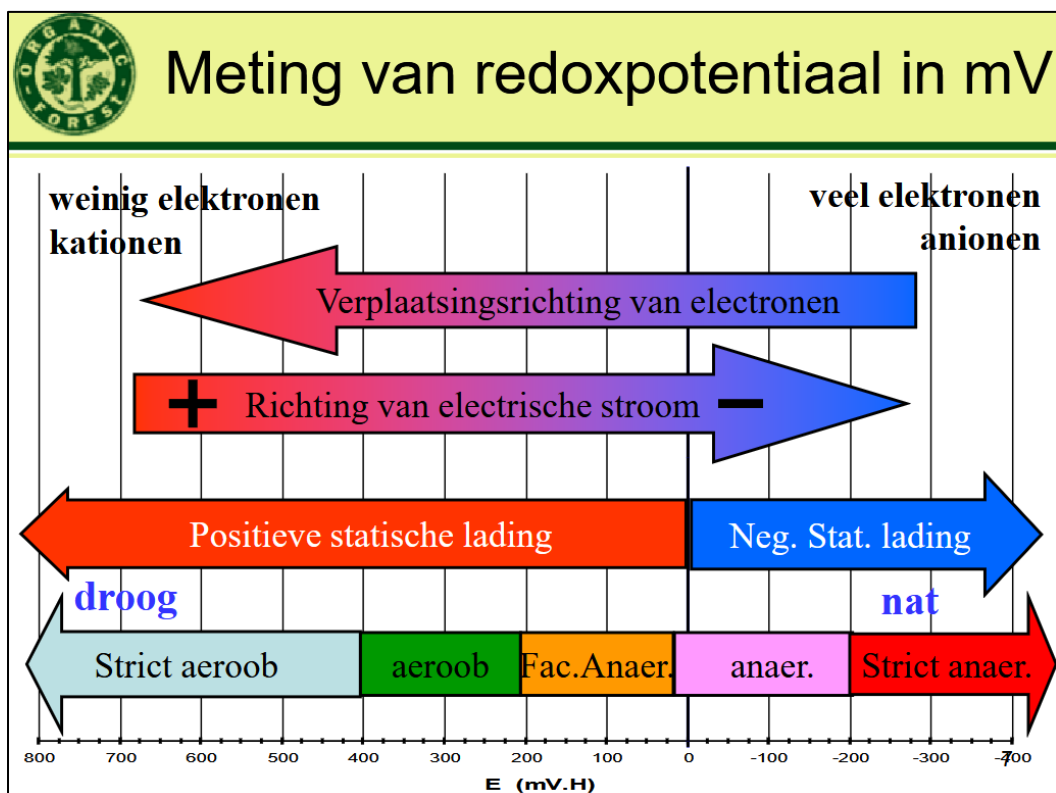
Gaat het goed met zuurstof ?

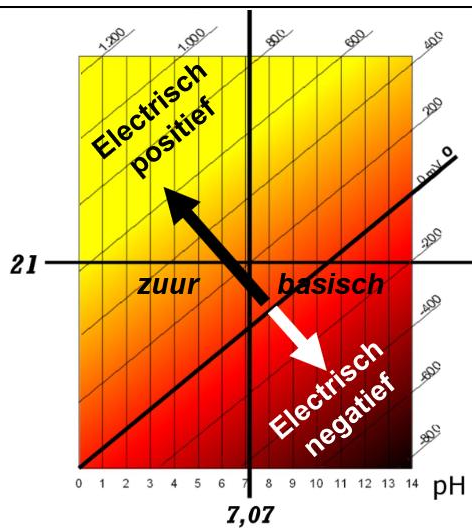
De resultaten worden door veel factoren beïnvloed. En vragen verder uittesten.





 Gemeten en berekende waarden			
waarde	eenheid	betekenis	concentratie
pH	0 – 7 – 14	zuurtegraad	protonen
redoxpotentiaal Eh	millivolt (mV)	zuurstofrijke aeroob - anaeroob droog - nat	zuurstof
oxidatiegraad rH ₂	0 – 28 - 42	warmte-energie oxidant - antioxidant	elektronen
electrische weerstand	Ω/cm	zoutgehalte	elektrolyten
vermogen P	μW	werkingskracht	4

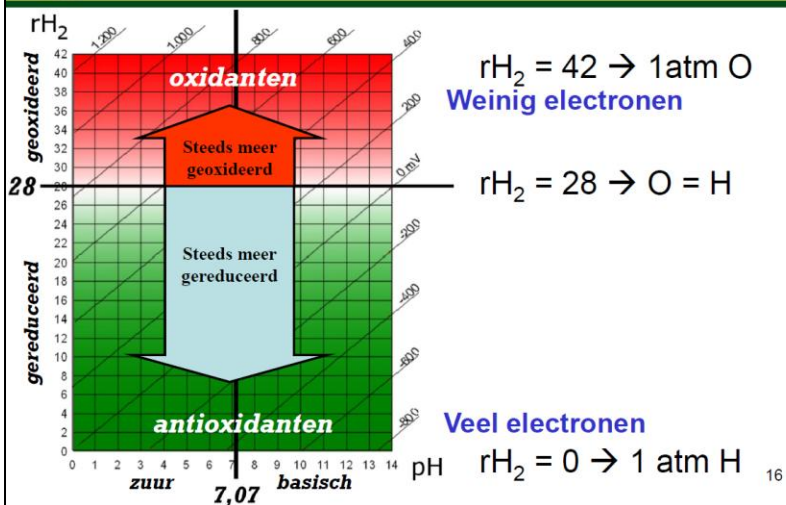




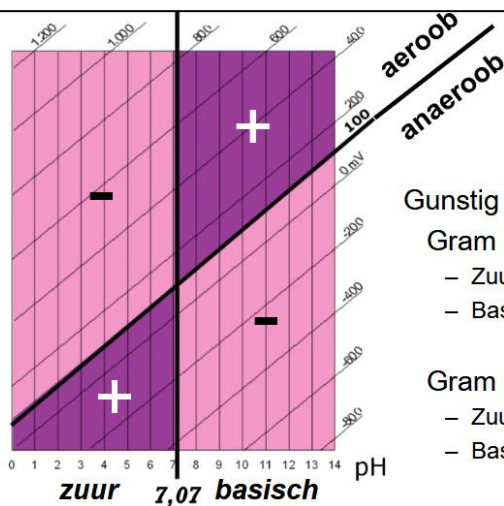
Redoxpotentiaal Eh



Berekening oxidatiegraad rH_2



16



Gunstig milieu voor

Gram negatieve bacteriën

- Zuur aerob
- Basisch anaerob

Gram positieve bacteriën

- Zuur anaerob
- Basisch aerob

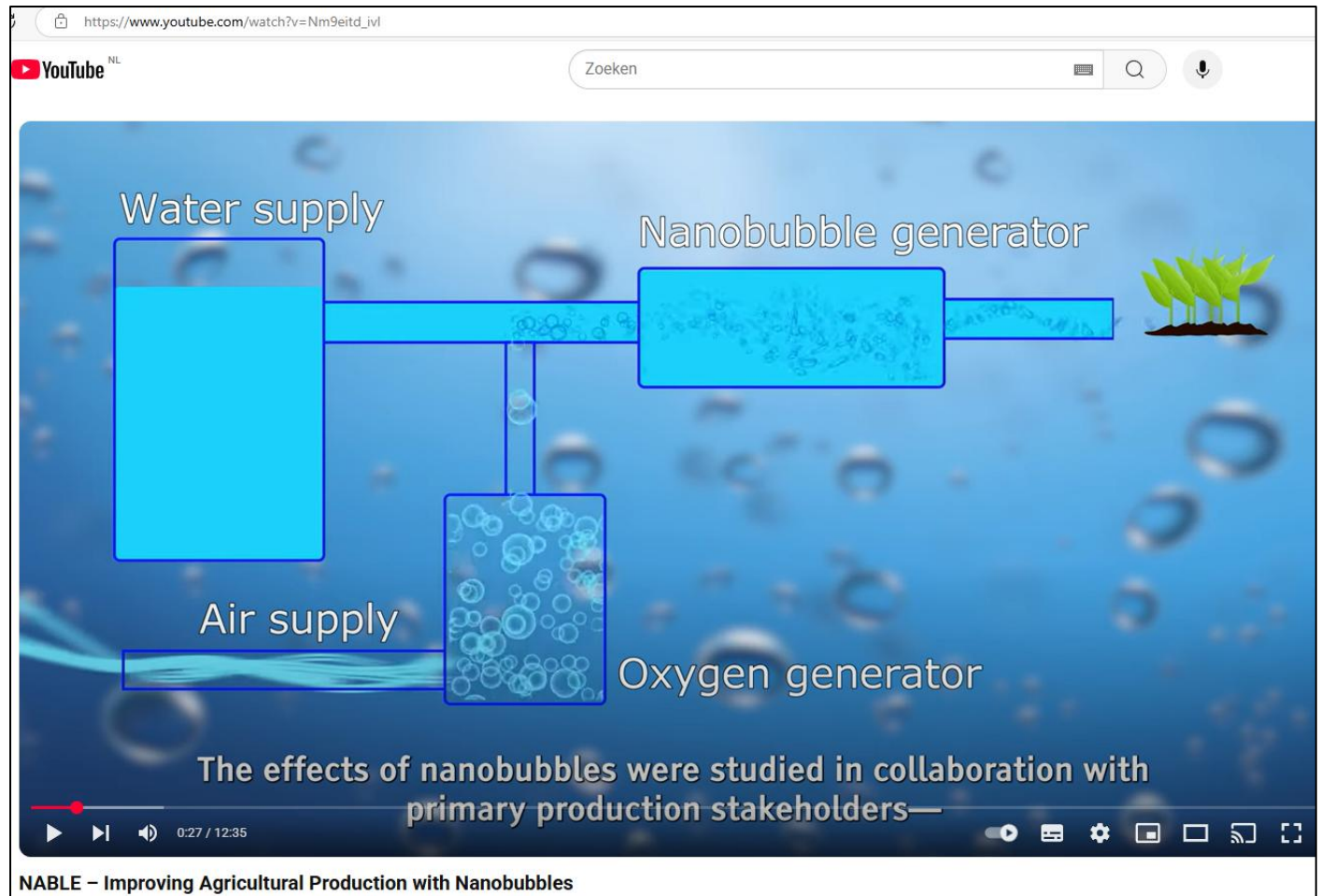
12



Gram + en gram - Bakteriën

Boosting agricultural productivity with nanobubbles

The Finnish OG NABLE (2022-2024) explored how oxygen nanobubbles in irrigation enhance productivity and sustainability. Findings show improved nutrient transfer, higher strawberry yields, better stress tolerance, and a healthier root microbiome. The project, winner of the **Agri-INNO prize in 2023**, shares its insights in this video (with English subtitles).



[NABLE – Improving Agricultural Production with Nanobubbles](https://www.youtube.com/watch?v=Nm9eitd_ivl)