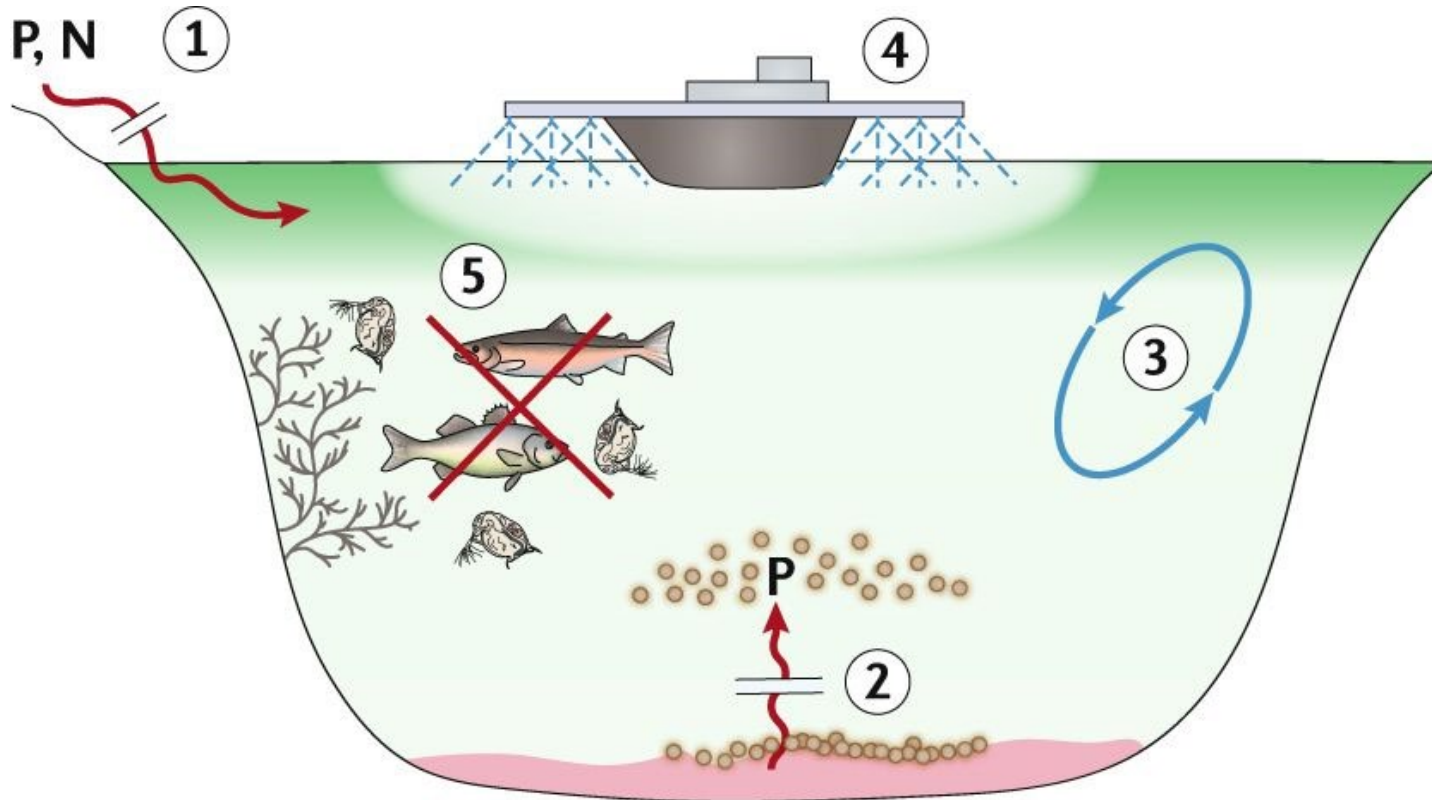


# Bestrijding van blauwalgen met waterstofperoxide



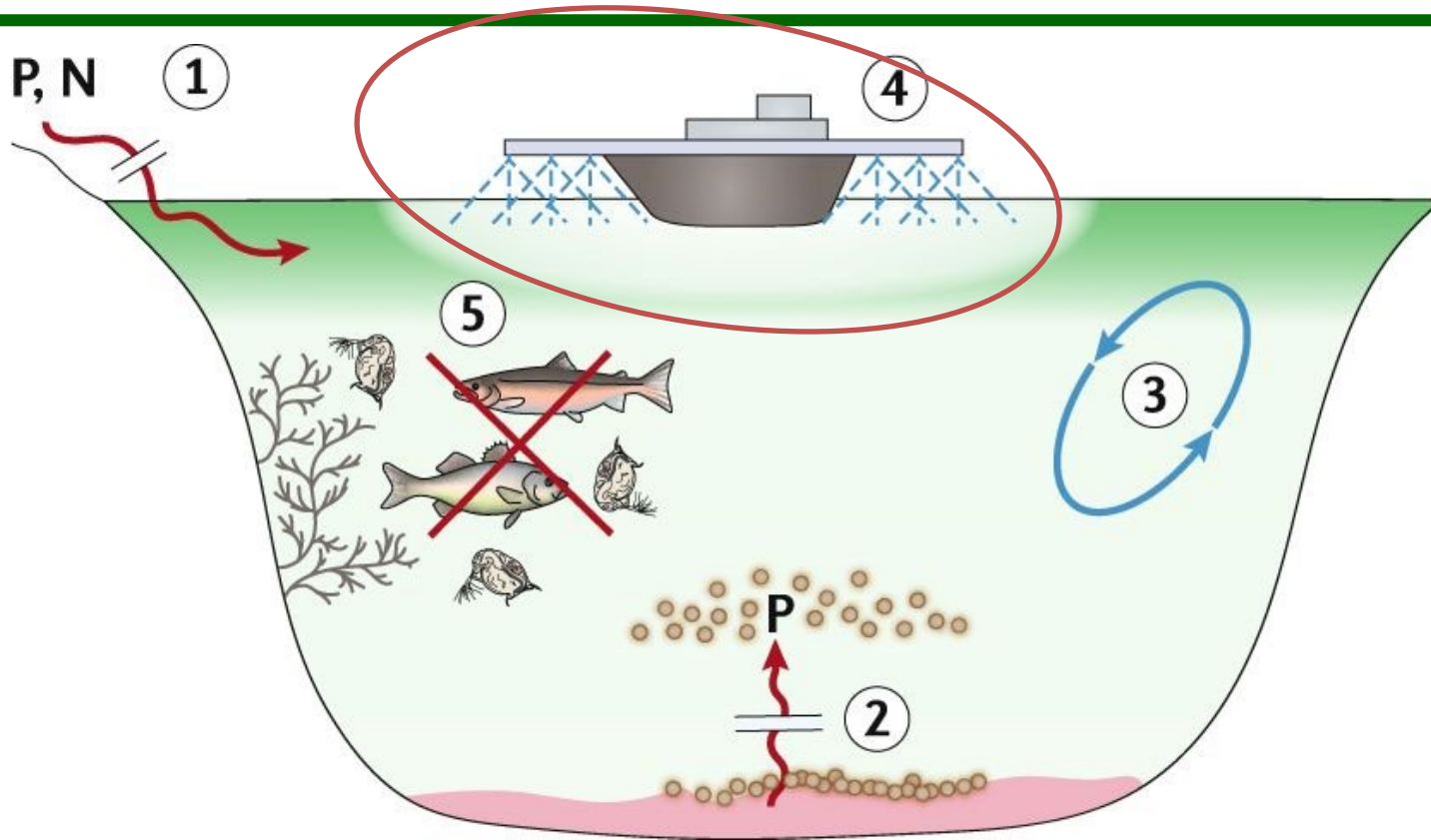
Petra M. Visser, Tim Piel, Erik Weenink, Maria van Herk, Mariël Leon-Grooters, Giovanni Sandrini, Pieter Slot, Merijn Schuurmans, Geert Wijn, Jasper Arntz, Hans C.P. Matthijs†, Jef Huisman

# Strategieën voor de preventie en bestrijding van blauwalgenbloeien



- (1) Nutriëntenmanagement
- (2) Toevoeging van fosfaatbindende klei en afdekken van sediment
- (3) Kunstmatige menging
- (4) Chemische controle
- (5) Voedselwebmanipulatie

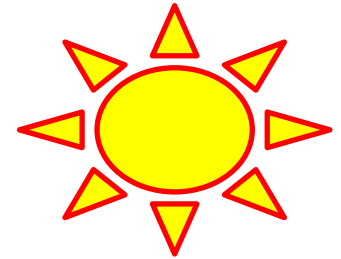
# Strategieën voor de preventie en bestrijding van blauwalgenbloeien



- (1) Nutriëntenmanagement
- (2) Toevoeging van fosfaatbindende klei en afdekken van sediment
- (3) Kunstmatige menging
- (4) Chemische controle
- (5) Voedselwebmanipulatie

# Waarom zijn blauwalgen gevoelig voor $H_2O_2$ ?

Als fotosynthese uit balans is (b.v. lichtstress):



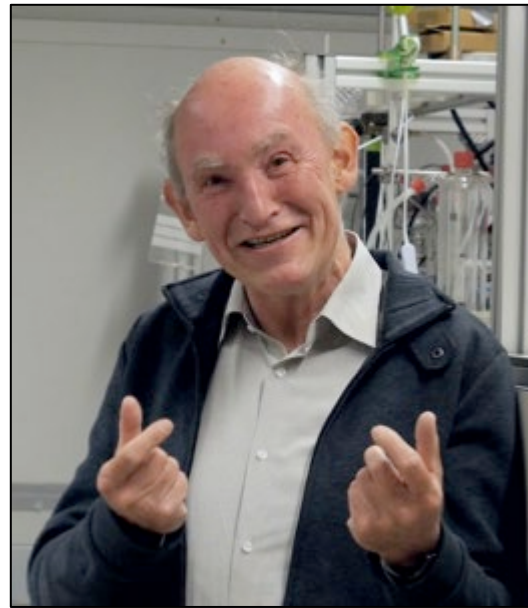
## **Eukaryote algen response:**

Mehler reactie:  $H_2O_2$  wordt geproduceerd en wordt vervolgens afgebroken tot water door enzymen (b.v. door peroxidase, catalase)

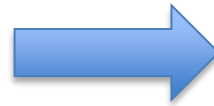
## **Blauwalgenresponse:**

Een Mehler-achtige reactie: water wordt gevormd direct via flavodiironproteins, er is geen  $H_2O_2$  productie.

Blauwalgen zijn minder beschermd door enzymen dan algen  
en dus gevoeliger voor  $H_2O_2$



Hans Matthijs  
(1951-2016)





# De uitdaging: van lab naar full scale!

## Een chemische stof in open water?

- WP breekt af in 1-2 dagen ( $2\text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$ )
- Toxines breken af in 1-2 dagen (!)
- Selectief doden – Blauwalgen lijken 5-10 maal gevoeliger voor  $\text{H}_2\text{O}_2$  dan groenalgen in labonderzoek.
- Effectief in zeer lage concentraties: gelijk aan een 3% oplossing (gebruikt om de mond te spoelen) 15.000x verdund
- Geen effect op vis en aquatische planten verwacht: behandeling met een 15 maal zo hoge concentratie is een algemene methode voor aquaria



**Snel, selectief en milieuvriendelijk!**



# Uitdagingen

- Vergunningen
- Monitoring
- Veiligheid
- Dosereren





# Vergunningen

- CTGB (ECHA) – Proefonthefing
  - Bestaand middel met nieuwe toepassing
  - Onderzoeksopzet
- Watervedunning
  - Aanvraag
  - Handhaving

ctgb

---

College voor de toelating van  
gewasbeschermingsmiddelen  
en biociden



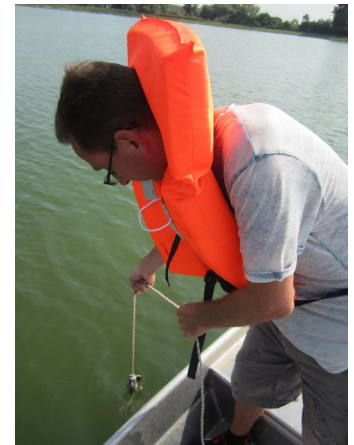
# Monitoring

## Zelf

- Visueel
- Concentraties waterstofperoxide
- Concentraties blauwalgen (UvA)
- Toxines

## Lab waterschap:

- Fysisch-chemisch (veld)
- Chemisch (lab)
- Fytoplankton
- Zoöplankton





# Veiligheid – Chemische stof

- Doseren – PBM
- Voorafgaand, tijdens en na behandeling:
  - Vervoer
  - Opslag

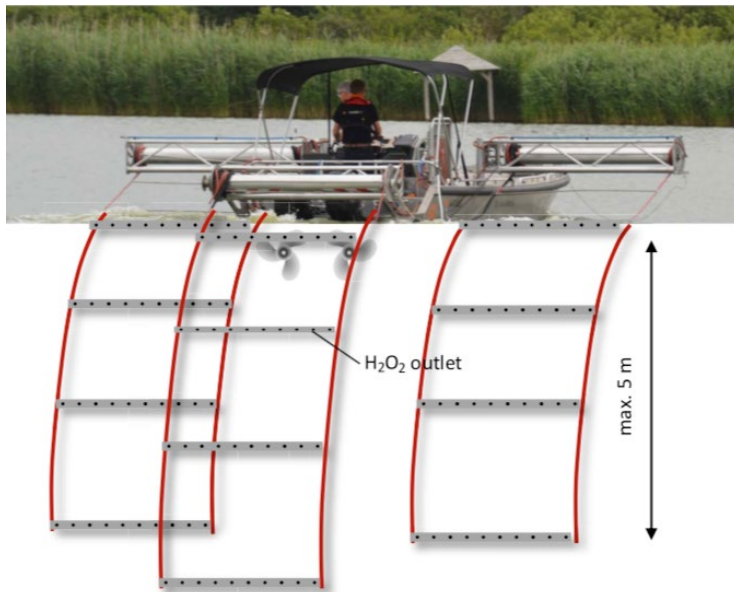




# Dosereren



# Doseersysteem

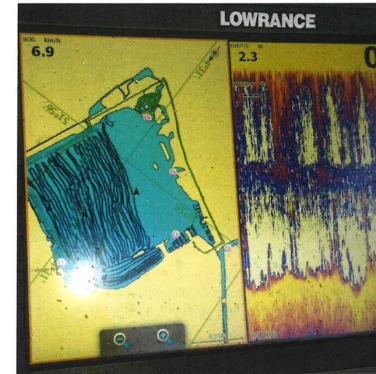
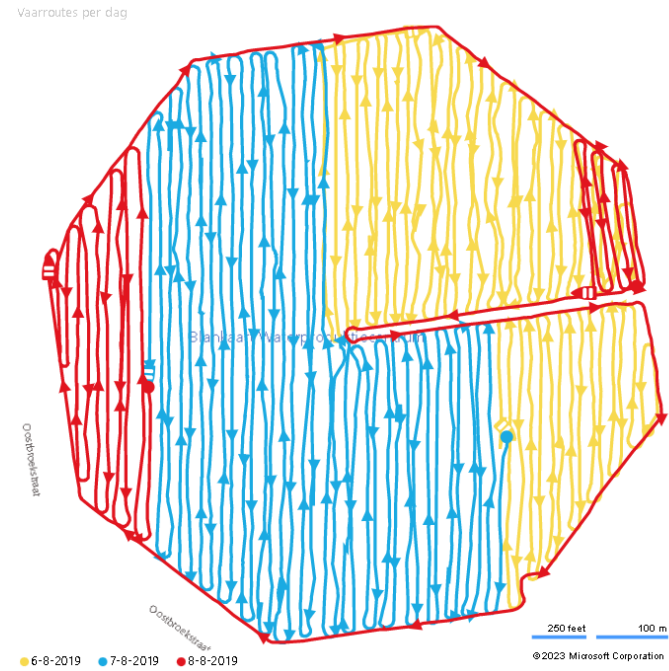
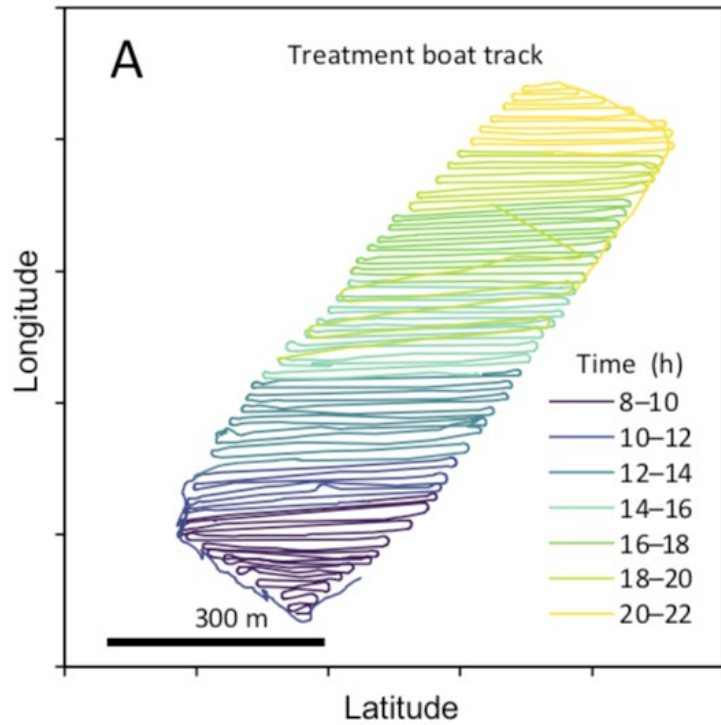




# Doseersnelheid

		DOSEERSNELHEID TOTAAL (LITERS/MIN) als functie van de diepte en vaarsnelheid																	
		Diepte van de plas (m)																	
		0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8
vaarsnelheid (kmh)	0,5	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7	0,8	0,8	0,9	0,9	1,0	1,1	1,1
	0,7	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6
	0,9	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
	1,1	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	1,0	1,2	1,3	1,4	1,6	1,7	1,8	1,9	2,1	2,2	2,3	2,5
	1,3	0,3	0,5	0,6	0,8	0,9	1,1	1,2	1,4	1,5	1,7	1,8	2,0	2,1	2,3	2,5	2,6	2,8	2,9
	1,5	0,4	0,5	0,7	0,9	1,1	1,2	1,4	1,6	1,8	1,9	2,1	2,3	2,5	2,7	2,8	3,0	3,2	3,4
	1,7	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8
	1,9	0,4	0,7	0,9	1,1	1,3	1,6	1,8	2,0	2,2	2,5	2,7	2,9	3,1	3,4	3,6	3,8	4,0	4,3
	2,1	0,5	0,7	1,0	1,2	1,5	1,7	2,0	2,2	2,5	2,7	3,0	3,2	3,5	3,7	4,0	4,2	4,5	4,7
	2,3	0,5	0,8	1,1	1,4	1,6	1,9	2,2	2,4	2,7	3,0	3,3	3,5	3,8	4,1	4,3	4,6	4,9	5,2
	2,5	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4	2,7	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	4,4	4,7	5,0	5,3	5,6
	2,7	0,6	1,0	1,3	1,6	1,9	2,2	2,5	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	4,5	4,8	5,1	5,4	5,7	6,0
	2,9	0,7	1,0	1,4	1,7	2,1	2,4	2,7	3,1	3,4	3,8	4,1	4,4	4,8	5,1	5,5	5,8	6,2	6,5
	3,1	0,7	1,1	1,5	1,8	2,2	2,6	2,9	3,3	3,7	4,0	4,4	4,8	5,1	5,5	5,8	6,2	6,6	6,9
	3,3	0,8	1,2	1,6	1,9	2,3	2,7	3,1	3,5	3,9	4,3	4,7	5,1	5,4	5,8	6,2	6,6	7,0	7,4
	3,5	0,8	1,2	1,7	2,1	2,5	2,9	3,3	3,7	4,1	4,5	5,0	5,4	5,8	6,2	6,6	7,0	7,4	7,8
	3,7	0,9	1,3	1,7	2,2	2,6	3,1	3,5	3,9	4,4	4,8	5,2	5,7	6,1	6,5	7,0	7,4	7,9	8,3
	3,9	0,9	1,4	1,8	2,3	2,8	3,2	3,7	4,1	4,6	5,1	5,5	6,0	6,4	6,9	7,4	7,8	8,3	8,7
	4,1	1,0	1,5	1,9	2,4	2,9	3,4	3,9	4,4	4,8	5,3	5,8	6,3	6,8	7,3	7,7	8,2	8,7	9,2
	4,3	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,1	4,6	5,1	5,6	6,1	6,6	7,1	7,6	8,1	8,6	9,1	9,6
4,5	1,1	1,6	2,1	2,7	3,2	3,7	4,2	4,8	5,3	5,8	6,4	6,9	7,4	8,0	8,5	9,0	9,5	10,1	
4,7	1,1	1,7	2,2	2,8	3,3	3,9	4,4	5,0	5,5	6,1	6,6	7,2	7,8	8,3	8,9	9,4	10,0	10,5	
4,9	1,2	1,7	2,3	2,9	3,5	4,0	4,6	5,2	5,8	6,4	6,9	7,5	8,1	8,7	9,2	9,8	10,4	11,0	
5,1	1,2	1,8	2,4	3,0	3,6	4,2	4,8	5,4	6,0	6,6	7,2	7,8	8,4	9,0	9,6	10,2	10,8	11,4	
5,3	1,2	1,9	2,5	3,1	3,7	4,4	5,0	5,6	6,2	6,9	7,5	8,1	8,7	9,4	10,0	10,6	11,2	11,9	
5,5	1,3	1,9	2,6	3,2	3,9	4,5	5,2	5,8	6,5	7,1	7,8	8,4	9,1	9,7	10,4	11,0	11,7	12,3	
5,7	1,3	2,0	2,7	3,4	4,0	4,7	5,4	6,0	6,7	7,4	8,1	8,7	9,4	10,1	10,8	11,4	12,1	12,8	
5,9	1,4	2,1	2,8	3,5	4,2	4,9	5,6	6,3	7,0	7,7	8,3	9,0	9,7	10,4	11,1	11,8	12,5	13,2	
6,1	1,4	2,2	2,9	3,6	4,3	5,0	5,8	6,5	7,2	7,9	8,6	9,3	10,1	10,8	11,5	12,2	12,9	13,7	
6,3	1,5	2,2	3,0	3,7	4,5	5,2	5,9	6,7	7,4	8,2	8,9	9,7	10,4	11,1	11,9	12,6	13,4	14,1	
6,5	1,5	2,3	3,1	3,8	4,6	5,4	6,1	6,9	7,7	8,4	9,2	10,0	10,7	11,5	12,3	13,0	13,8	14,6	
6,7	1,6	2,4	3,2	3,9	4,7	5,5	6,3	7,1	7,9	8,7	9,5	10,3	11,1	11,8	12,6	13,4	14,2	15,0	
6,9	1,6	2,4	3,3	4,1	4,9	5,7	6,5	7,3	8,1	8,9	9,8	10,6	11,4	12,2	13,0	13,8	14,6	15,5	
7,1	1,7	2,5	3,3	4,2	5,0	5,9	6,7	7,5	8,4	9,2	10,0	10,9	11,7	12,6	13,4	14,2	15,1	15,9	
7,3	1,7	2,6	3,4	4,3	5,2	6,0	6,9	7,7	8,6	9,5	10,3	11,2	12,0	12,9	13,8	14,6	15,5	16,4	
7,5	1,8	2,7	3,5	4,4	5,3	6,2	7,1	8,0	8,8	9,7	10,6	11,5	12,4	13,3	14,1	15,0	15,9	16,8	
7,7	1,8	2,7	3,6	4,5	5,4	6,4	7,3	8,2	9,1	10,0	10,9	11,8	12,7	13,6	14,5	15,4	16,3	17,2	
7,9	1,9	2,8	3,7	4,7	5,6	6,5	7,5	8,4	9,3	10,2	11,2	12,1	13,0	14,0	14,9	15,8	16,8	17,7	
8,1	1,9	2,9	3,8	4,8	5,7	6,7	7,6	8,6	9,5	10,5	11,5	12,4	13,4	14,3	15,3	16,2	17,2	18,1	
8,3	2,0	2,9	3,9	4,9	5,9	6,8	7,8	8,8	9,8	10,8	11,7	12,7	13,7	14,7	15,7	16,6	17,6	18,6	

# Vaarroutes



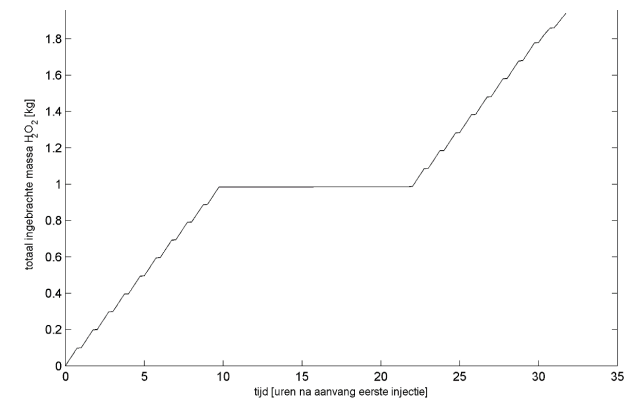
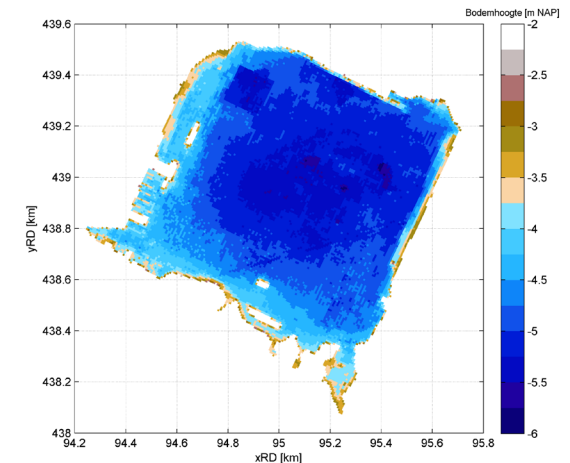
# Modelleren (1)

## 1. Hydrodynamisch model

- Delft3D-FLOW
- Rekenrooster:
  - Bathymetrie
  - Waterstroming

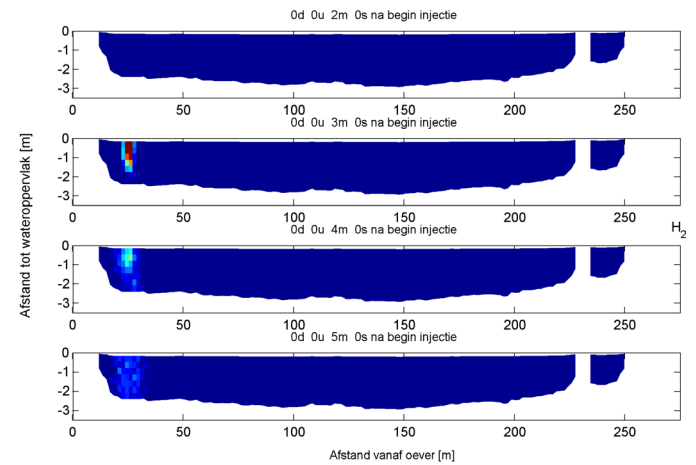
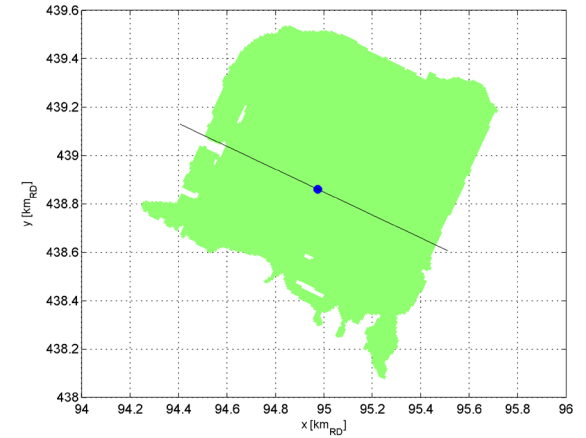
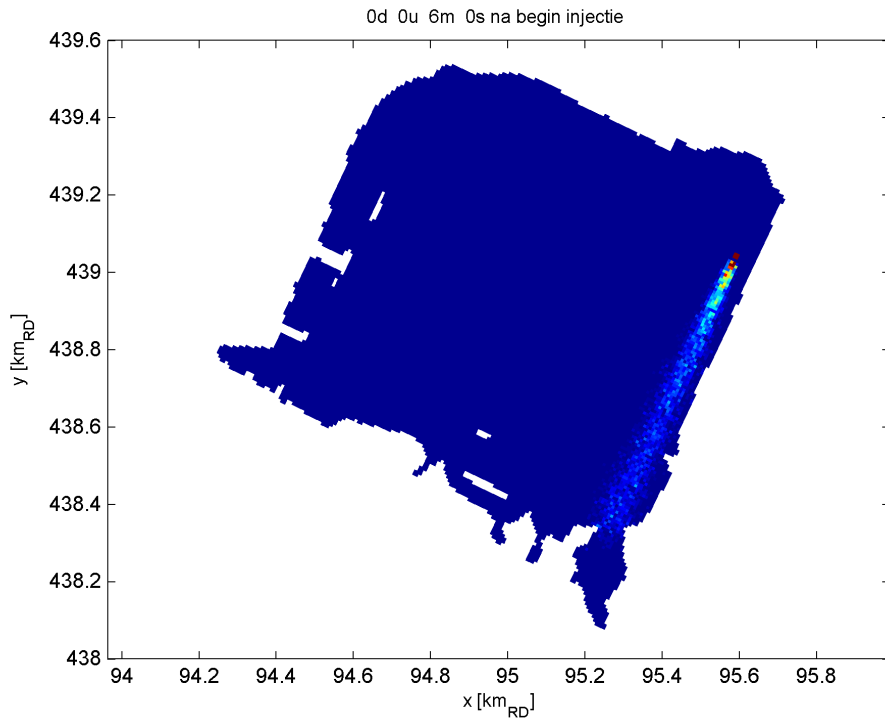
## 2. Verspreidingsmodel van WP o.b.v. particle tracking

- Particle Tracking Model – Dwq-part software (Deltares)
- Script geschreven:
  - Vaarroute en -snelheid
  - Injectie
  - Onderbrekingen:
    - Kort: refill (15 minuten)
    - Lang: nacht (12 uur)





# Modelleren (2): Resultaat



# Dashboard

## Oosterduinse Meer

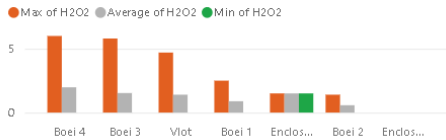
H2O2 metingen vaste punten, 1ste behandeling (19-06-2018)

Boei 1 Boei 2 Boei 3 Boei 4 Enclosure (inside) Enclosure (outside) Vlot

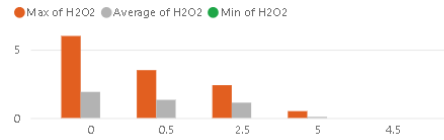
Diepte: All

Locatie	H2O2 (m in)	H2O2 (avg)	H2O2 (max)	Aantal
<b>Boei 1</b>	<b>0.00</b>	<b>0.89</b>	<b>2.50</b>	
6/19/2018 3:30:26 PM	0.00	1.55	2.50	
6/19/2018 5:16:52 PM	0.00	0.00	0.00	
<b>Boei 2</b>	<b>0.00</b>	<b>0.58</b>	<b>1.40</b>	
6/19/2018 5:25:56 PM	0.00	0.58	1.40	
<b>Boei 3</b>	<b>0.00</b>	<b>1.53</b>	<b>5.80</b>	
6/19/2018 5:36:18 PM	0.00	0.00	0.00	
6/19/2018 8:25:18 PM	5.80	5.80	5.80	
6/19/2018 8:33:18 PM	0.00	1.23	2.10	
<b>Boei 4</b>	<b>0.00</b>	<b>1.98</b>	<b>6.00</b>	
6/19/2018 8:03:19 PM	0.00	2.48	6.00	
6/19/2018 8:11:33 PM	0.00	0.00	0.00	
<b>Total</b>	<b>0.00</b>	<b>1.28</b>	<b>6.00</b>	<b>4</b>

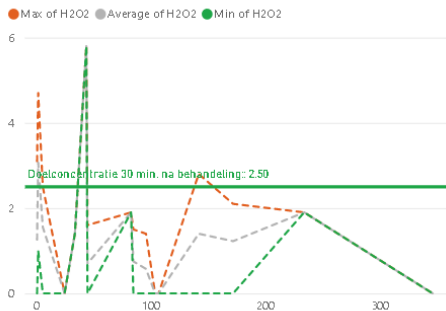
Max/Min/Avg van H2O2 per locatie



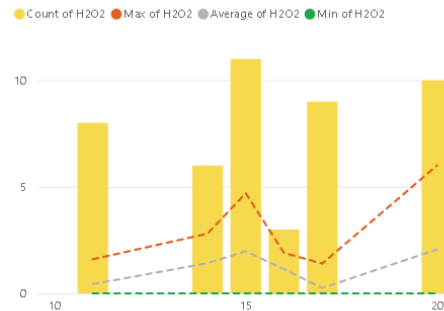
Max/Min/Avg van H2O2 per diepte



Max/Min/Avg van H2O2 per minuten na behandeling (afger. coörd.)



Aantal H2O2 metingen per daguur en diepte; Max/Min/Avg van H2O2 per ...



Measurement points



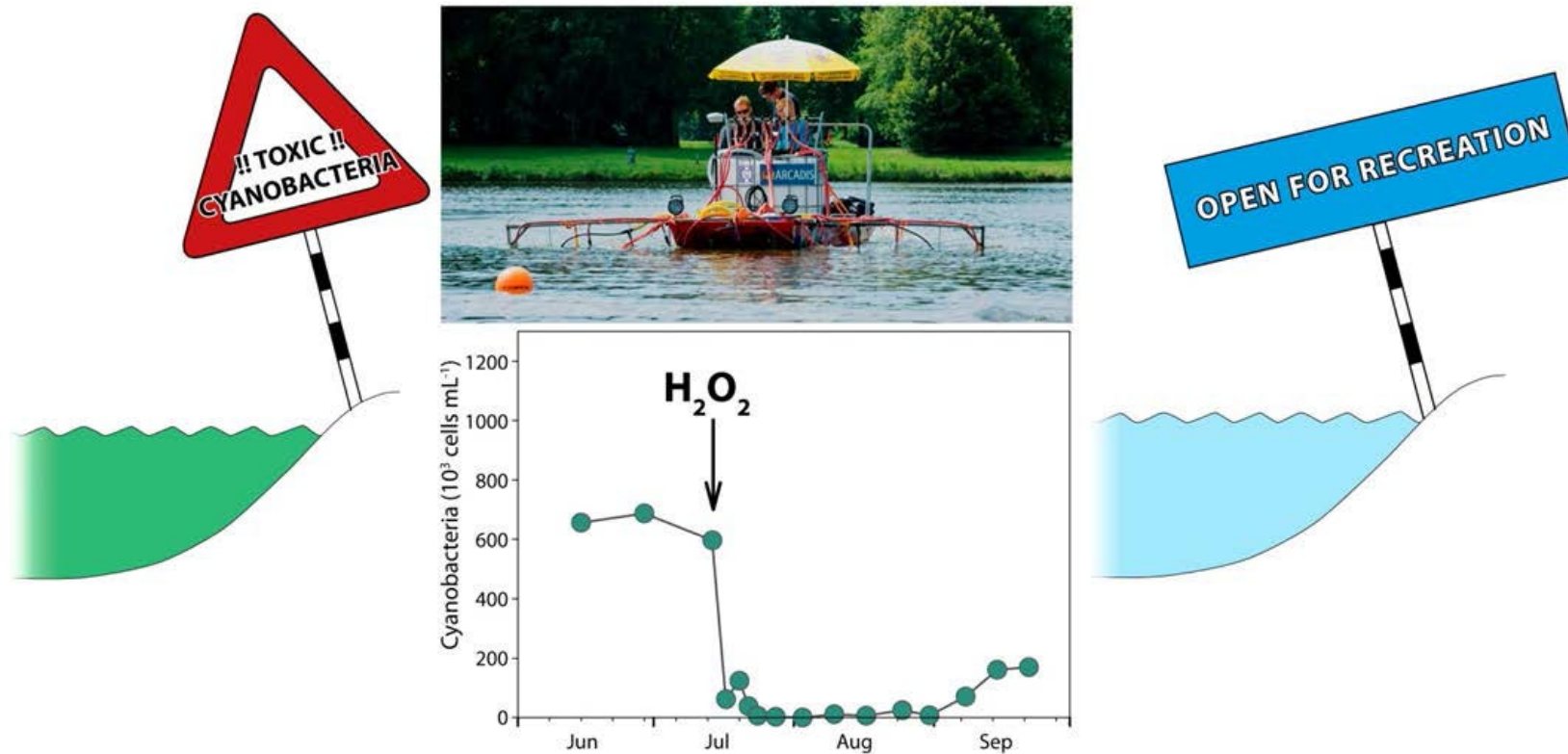
# Behandelingen NL

Locatie	Jaar	Opp. (ha)	volume (m3)	Functie	Cyanobacteriën
Koetshuismeer	2009 / 2010	12,0	240.000	recreatie	<i>Planktothrix, Woronichinia</i>
Born	2009	0,2	3.000	stadsvijver	<i>Microcystis</i>
Veer	2009	10,0	450.000	recreatie	<i>Planktothrix</i>
Kotermeerstal	2011	16,0	1.920.000	recreatie	<i>Aphanizomenon, Anabaena</i>
Ouwerkerk	2012	8,5	456.800	Kweek	dinoflagellate <i>Alexandrium ostenfeldii</i>
Troelstraweg	2015	0,6	12.850	stadsvijver	<i>Woronichinia</i>
Krabbeplas	2015 / 2016 / 2017	3,0	52.500	recreatie	<i>Aphanizomenon</i>
Delftse Hout	2015 / 2016 / 2018	23,5	705.000	recreatie	<i>Anabeana</i>
'De Grote Rug'	2015	60,0	3.300.000	drinkwater	<i>Microcystis</i>
Zoetermeerse plas	2018	-	-	recreatie	-
Kralingse plas	2016	104	2.600.000	recreatie	<i>Anabaena / Gloeotrichia</i>
Oosterduinse meer	2016 / 2018	36	-	recreatie	<i>Aphanizomenon / Dolichospermum / Planktothrix agardhii</i>
Klinkenberger plas	2016 / 2017	28	-	recreatie	<i>Dolichospermum / Planktothrix rubescens</i>
De Ijzeren Man	2018	3	-	recreatie	-
Haarlemmermeerse bosplas	2018	-	-	recreatie	-



# Behandelingen FR en BE

Locatie	Jaar	Opp. (ha)
La Roche Ballue (FR)	2016 / 2017	1
Ploërmel (FR)	2018	-
De Blankaart (BE)	2018 / 2020	65



# Onderzoeksprojecten over bestrijding van blauwalgen met H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

- **NWO:** New peroxide applications for prolonged reduction of cyanobacterial dominance in freshwater lakes (Erik Weenink, Mariël Léon-Grooters, Maria van Herk) 2016-2020
- **STW:** Rapid mitigation of cyanobacterial blooms in freshwater lakes (Tim Piel, Giovanni Sandrini) 2016-2020



# Onderzoeksvragen

- Wat is de invloed van omgevingscondities op de gevoeligheid van blauwalgen voor  $H_2O_2$ ? (lab studies)
- Wat zijn de effecten van  $H_2O_2$  op blauwalgen, algen, bacteriën, en zoöplankton? (laboratoriumstudies en veldstudies)
- Wat zijn de implicaties voor de behandeling van meren met  $H_2O_2$ ?



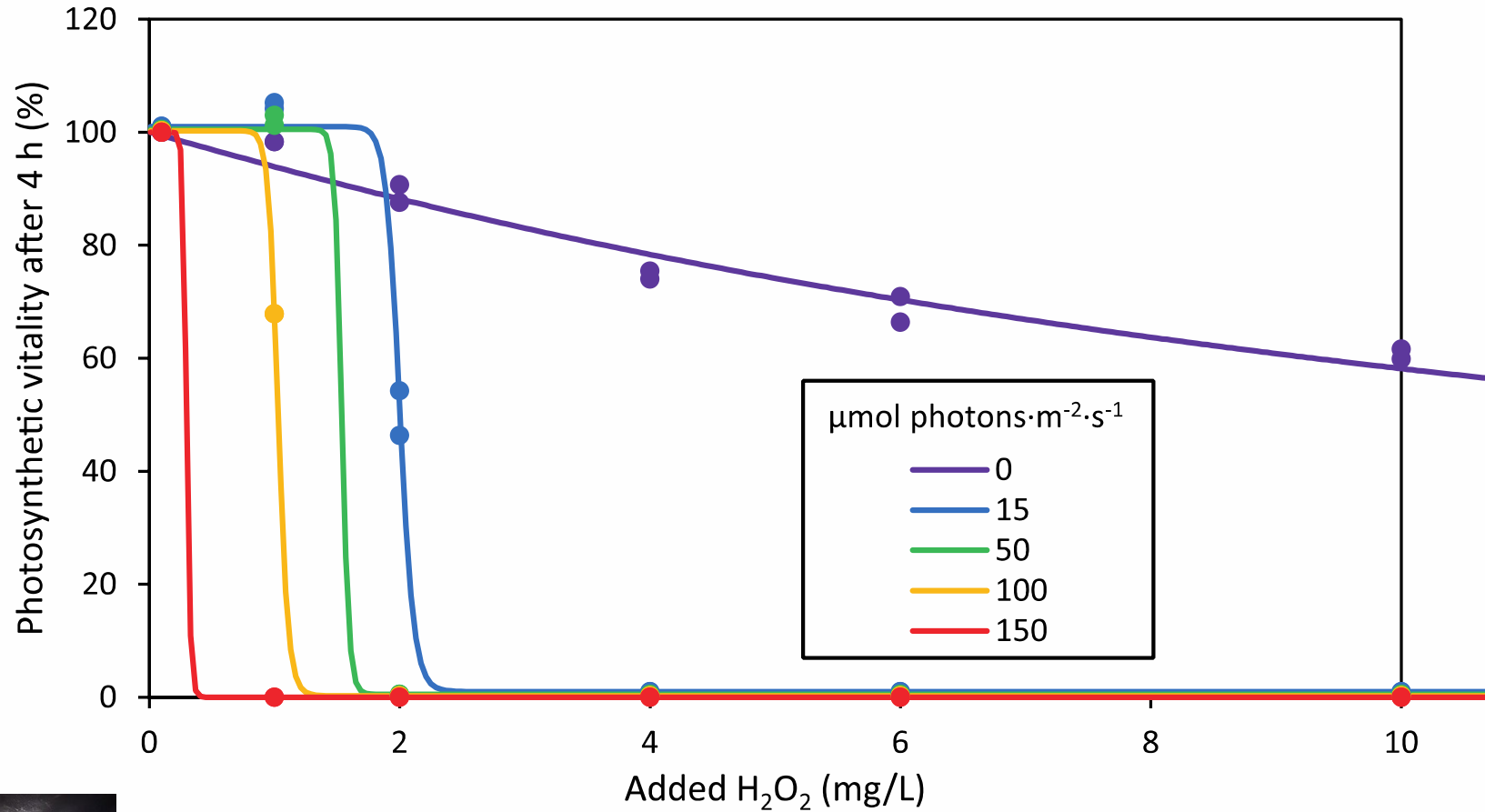
## Lab studies

- Wat is de invloed van omgevingscondities op de gevoeligheid van blauwalgen voor  $H_2O_2$ ? (labstudies)
- Effecten van lichtintensiteit op de onderdrukking van blauwalgen door  $H_2O_2$





# Onderdrukken van blauwalgen met H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> is effectiever bij hoog licht



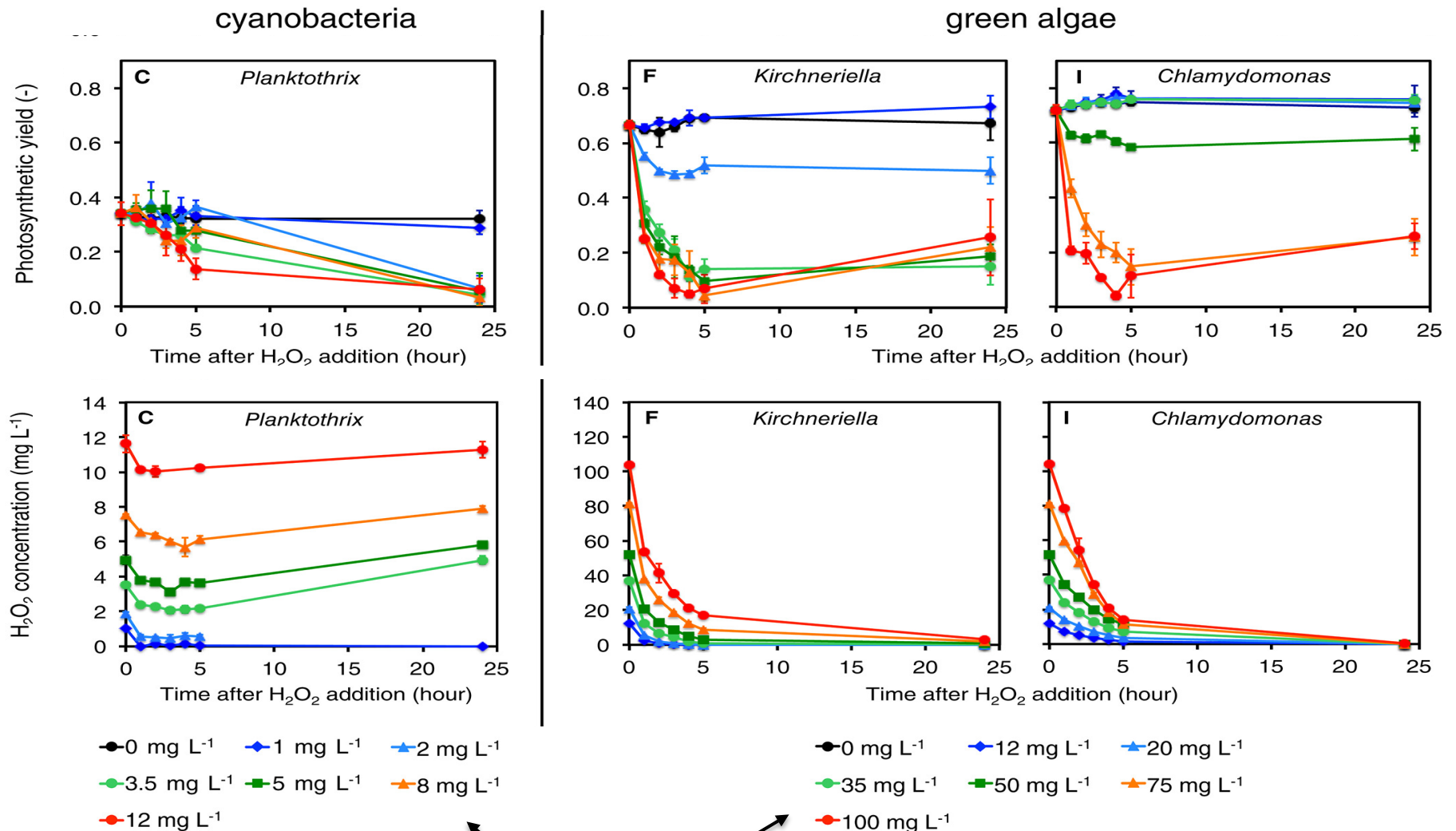
*Microcystis* PCC7806

## Effecten op organismen

- Wat zijn de effecten van  $H_2O_2$  op blauwalgen, algen, bacteriën, en zoöplankton? (laboratoriumstudies en veldstudies)

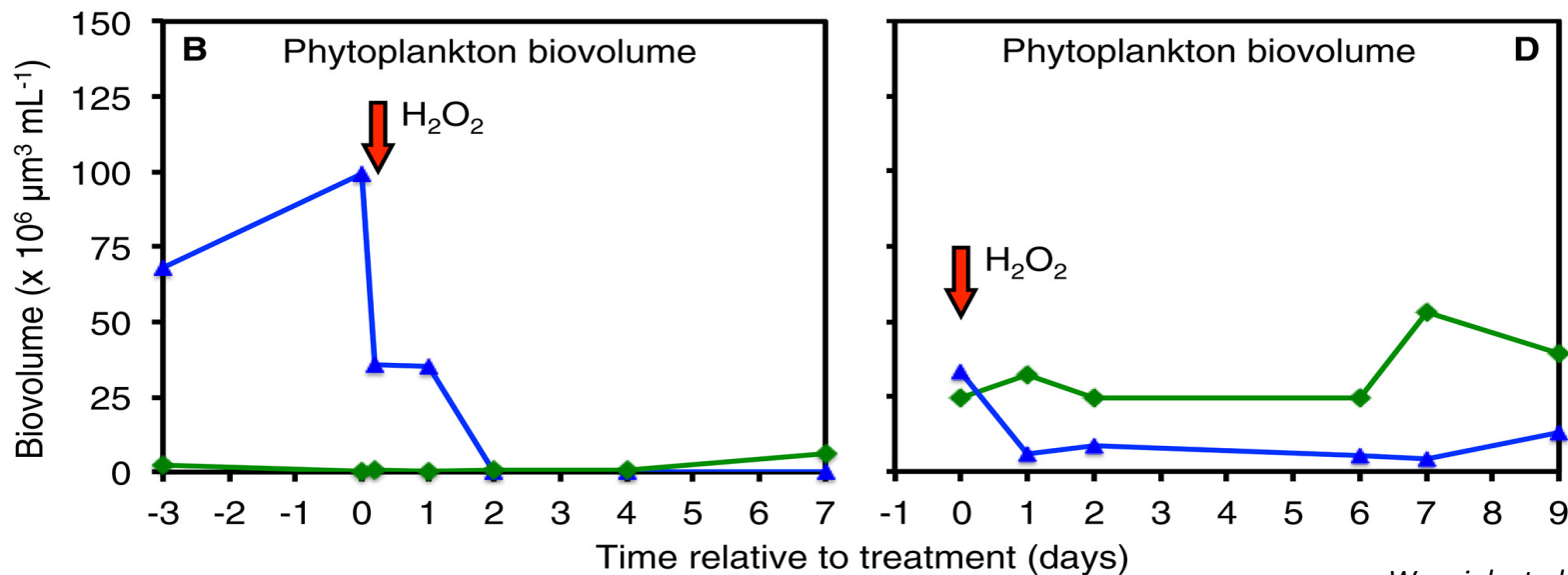
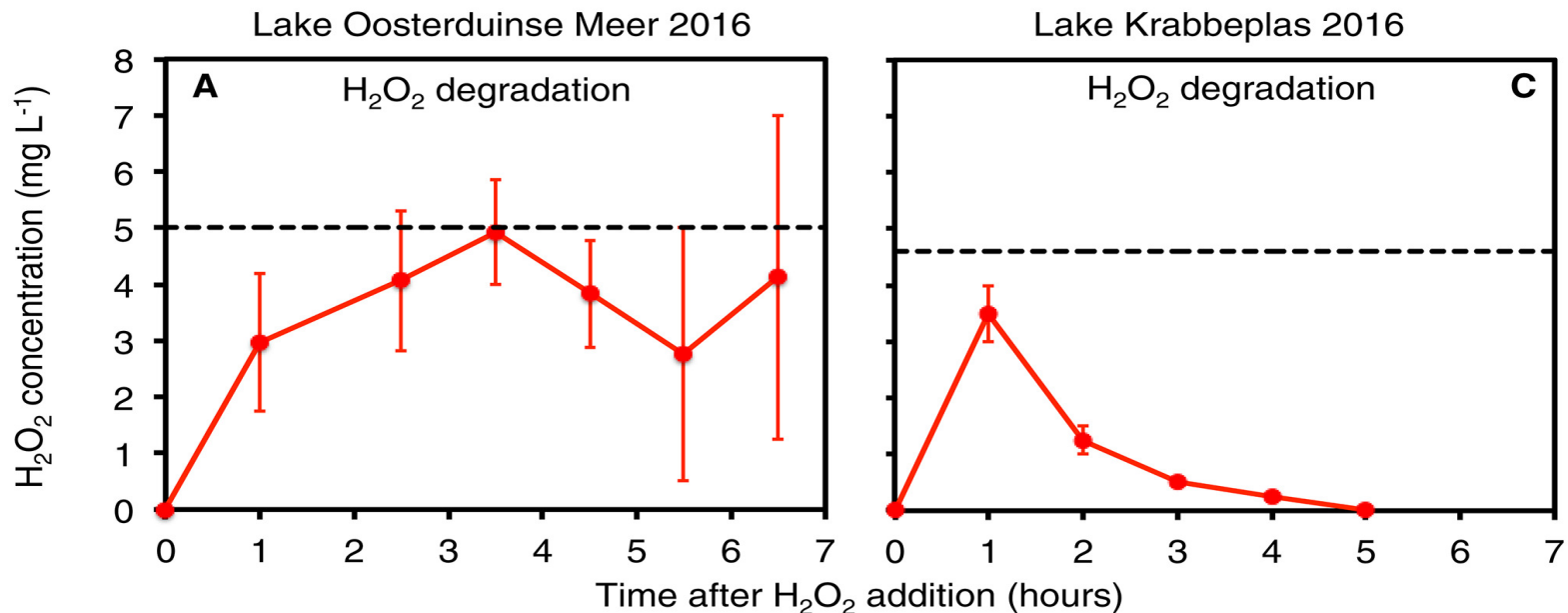


# Effecten op blauwalgen en groenalgen (culturen): Blauwalgen zijn gevoeliger voor H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en breken H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> langzamer af dan groenalgen



N.B. het verschil in concentratie!

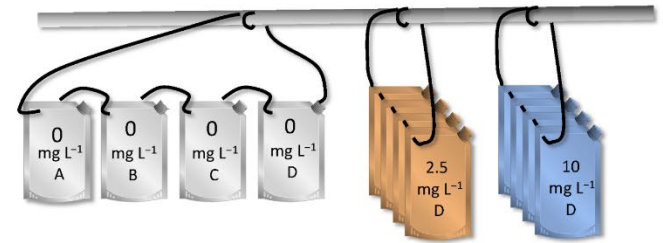
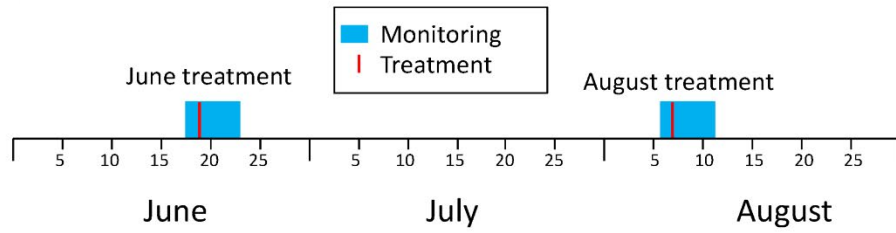
# Groenalgen kunnen blauwalgen beschermen tegen waterstofperoxide



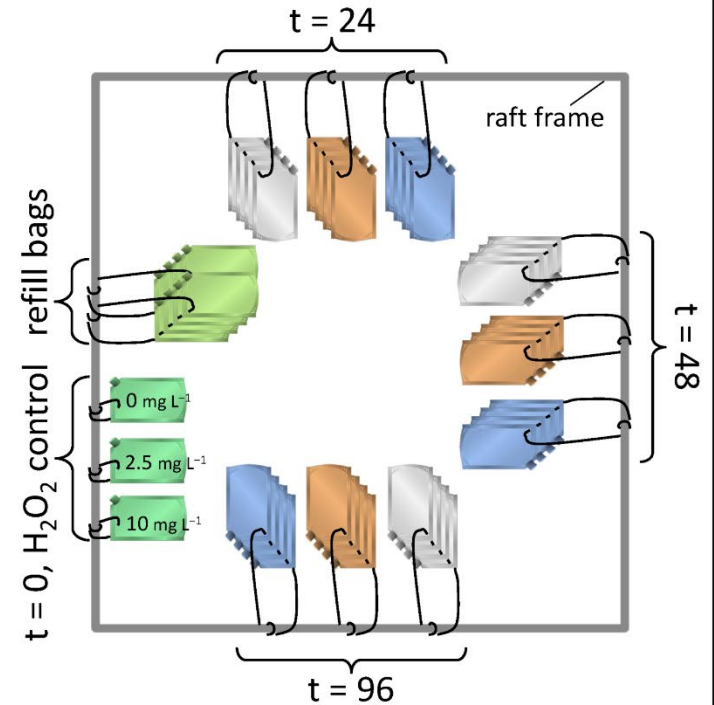
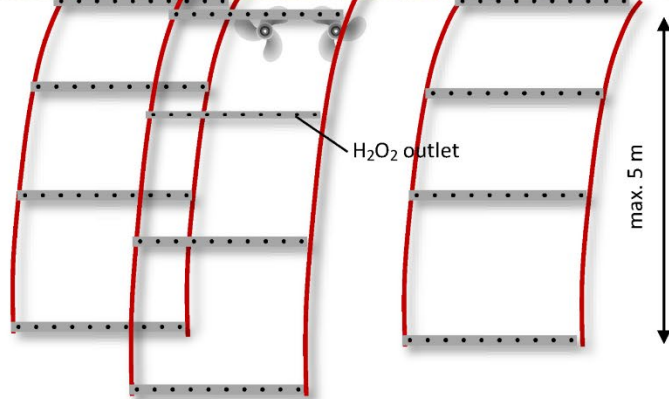
—▲— Cyanobacteria

—◆— Eukaryotic phytoplankton

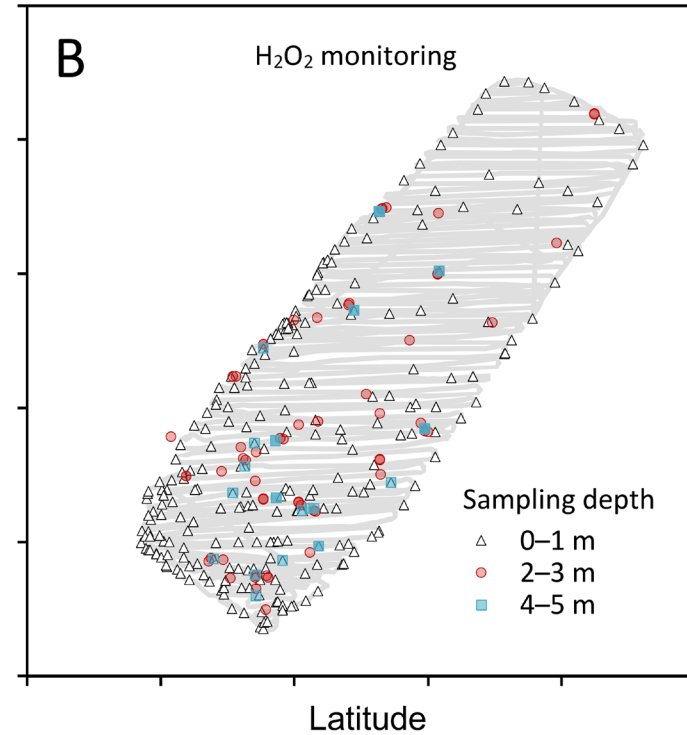
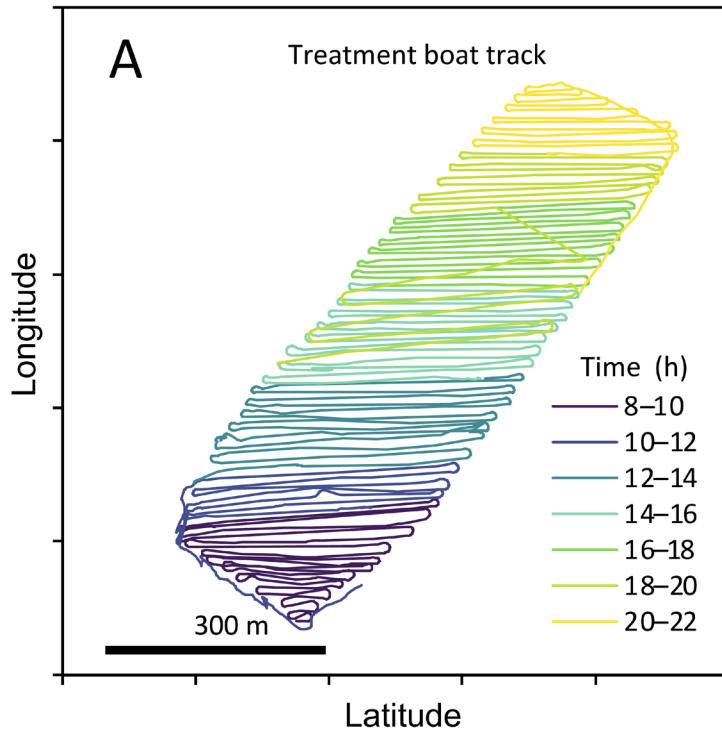
# Veldstudies: Experimentele opzet in het Oosterduinse Meer



C



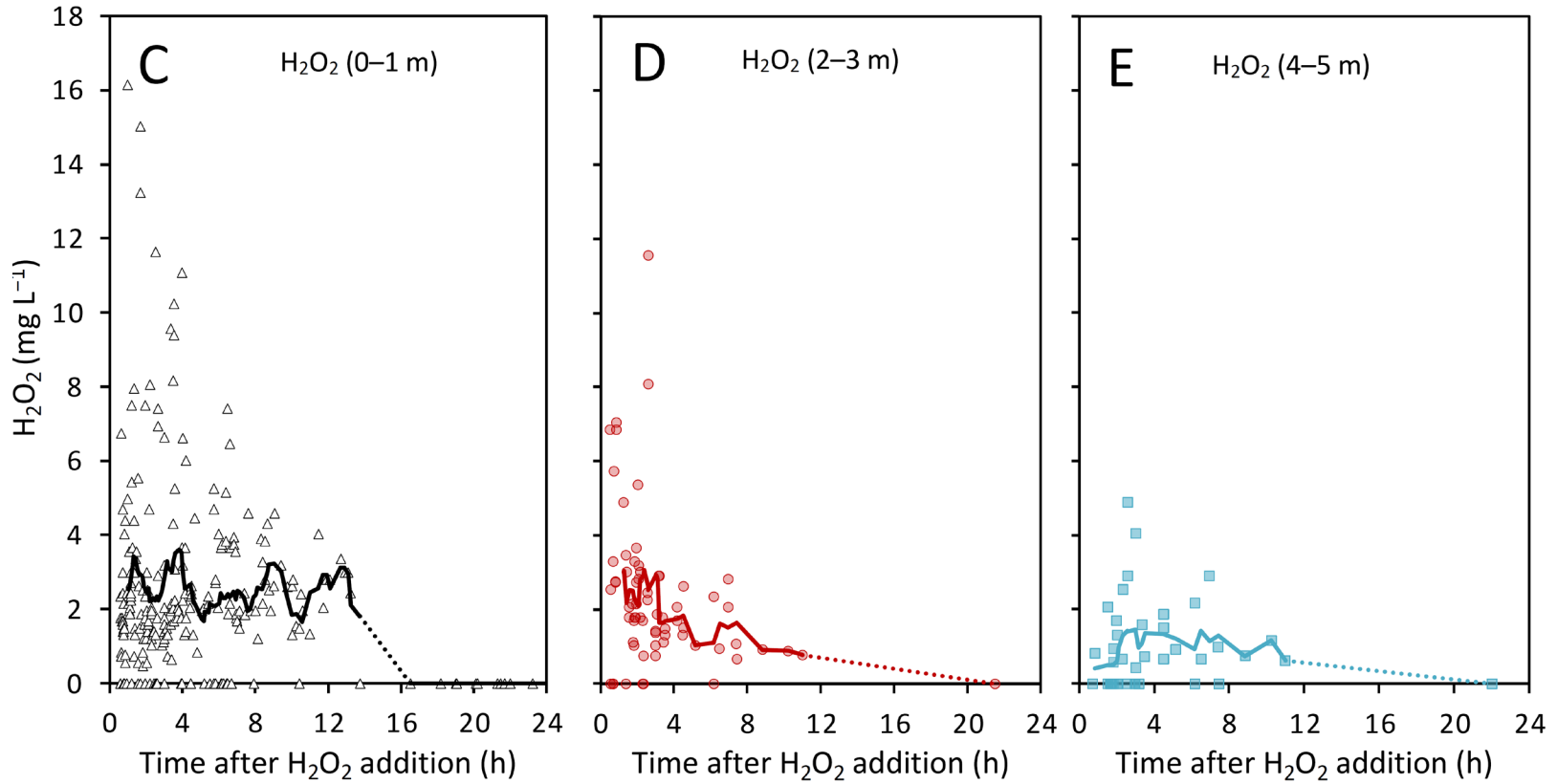
# Hydrogenperoxide: behandelboottrack en locaties van monitoring



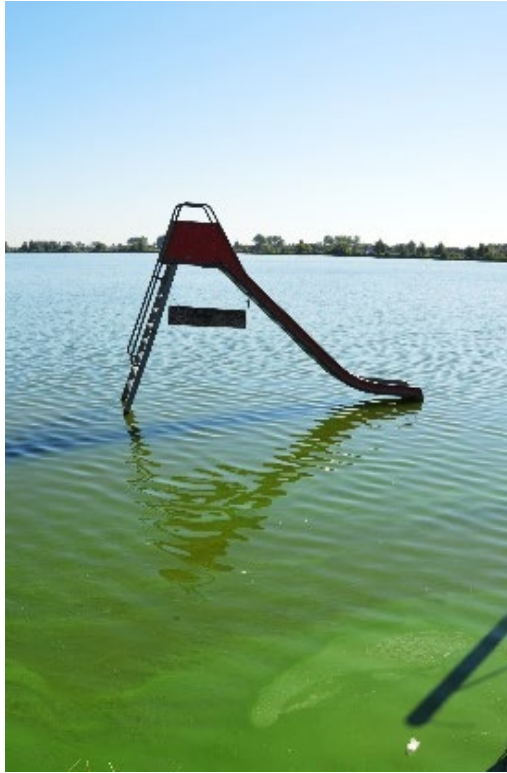
*Piel et al. 2021  
Microorganisms*



# Hydrogen peroxide: concentraties in het meer

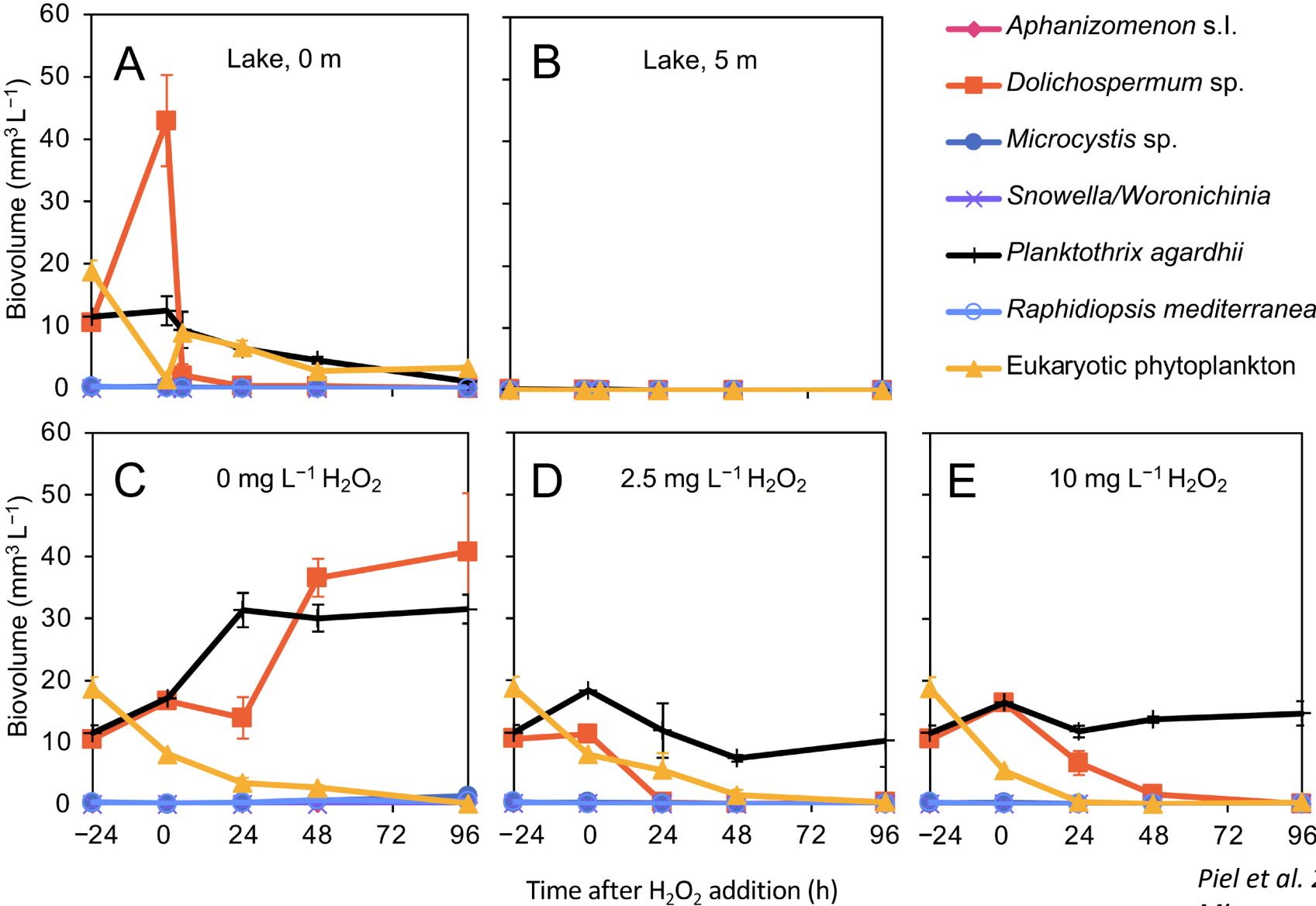


# Het Oosterduinse Meer voor en na de behandeling

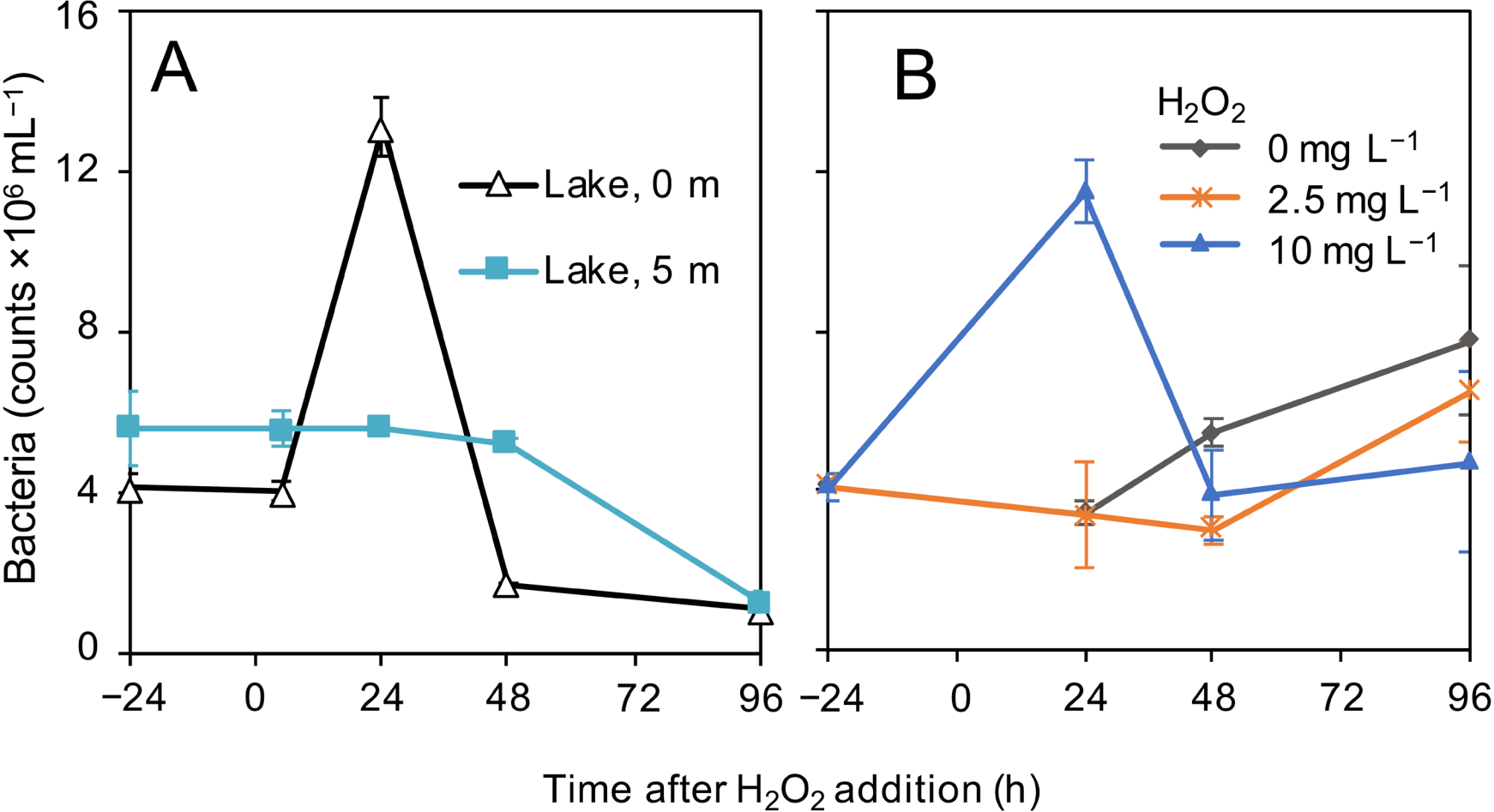




# Effecten op het fytoplankton in meer en mesocosms

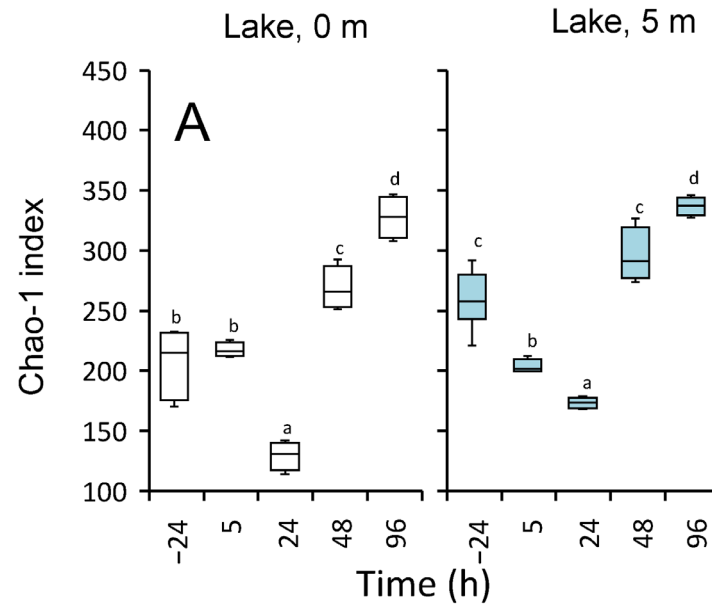


# Effecten op de bacteriën in meer en mesocosms

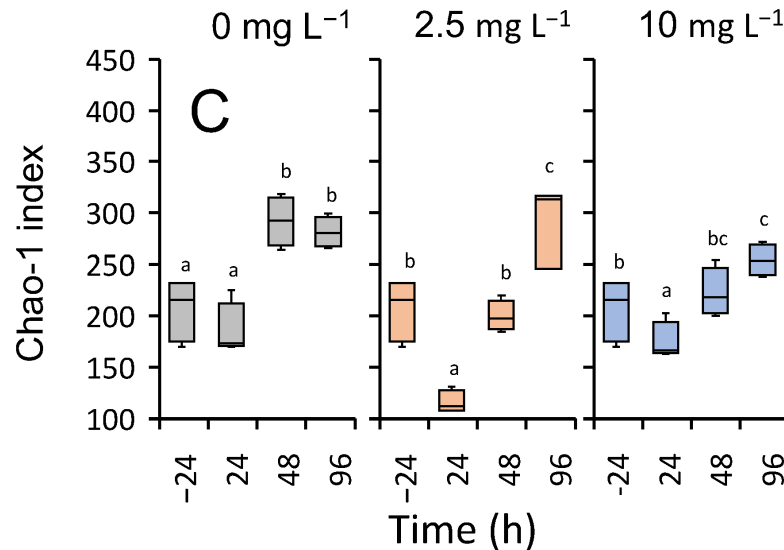


Effecten op bacteriën: een tijdelijke afname in  $\alpha$ -diversity, maar herstel binnen een aantal dagen, wat weerstand van de microbiële gemeenschap toont

### Lake treatment



### Experiments in bags



# Implicaties behandelingen van meren met H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

Behandelingen met 2 mg/l H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> onderdrukken blauwalgen, maar het succes hangt af van:

- 1) de gevoeligheid van de blauwalgen,
- 2) de omgevingscondities (meest effectief bij hoog licht),
- 3) de snelheid van H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> afbraak in het water.

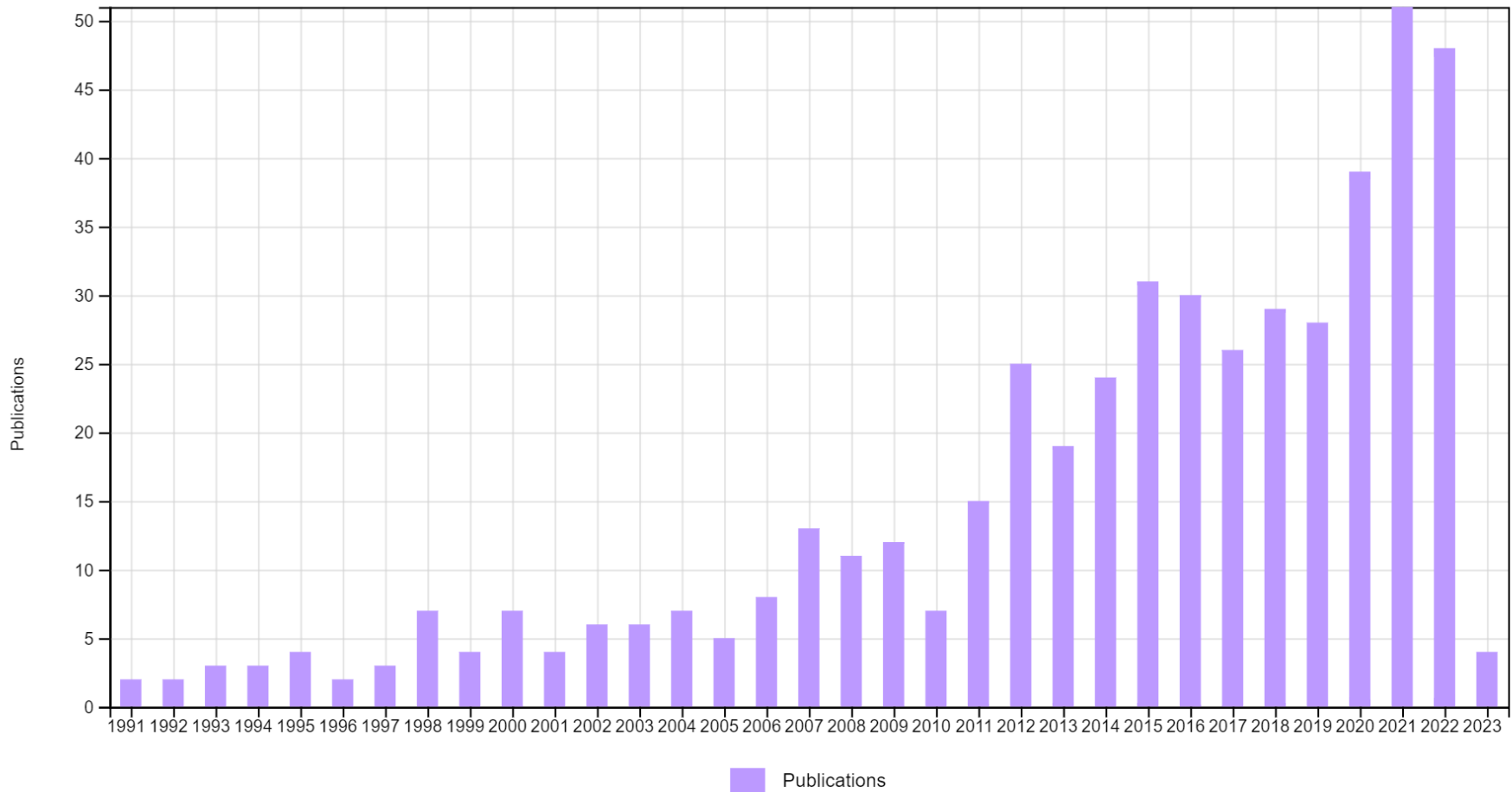
Bacterieaantallen namen eerst toe en dan geleidelijk af, terwijl de diversiteit eerst minder werd maar daarna toenam.



*Matthijs et al. 2012 Wat. Res.*  
*Weenink et al. 2015 Front. Microbiol.*  
*Matthijs et al. 2016 Aquat. Ecol.*  
*Sandrini et al. 2020 Harmful Algae*  
*Piel et al. 2020 Toxins*  
*Weenink et al. 2021 Env. Microbiol.*  
*Piel et al. 2021 Microorganisms*  
*Weenink et al. 2022 Water Research*

# Web of Science: zoekterm cyanobacteria and hydrogen peroxide

## Aantal publicaties sinds 1991



## Acknowledgements

Hongjie Qin, Nikoletta Tsiarta, Corné van  
Teulingen, Senna Kuijt, Pieter Slot, Emily White,  
Tianshuo Xu, Corina Brussaard, Gerard Muijzer,  
Merijn Schuurman, Johan Oosterbaan

Email address: [p.m.visser@uva.nl](mailto:p.m.visser@uva.nl)

Twitter: @PetraVisser10

