

Stoffflüsse in offenen marinen Aquakulturanlagen

Dr. Kai Ahrendt
Büro für Umwelt und Küste, Kiel

Dr. Peter Krost
CRM, Kiel

Dr. Wilhelm Windhorst
Institut für Natur und Ressourcenschutz, Kiel

B.Sc. Morgan Smits
Brest

Ausgangslage:

Aquakultur hat im internationalen Maßstab jährliche Wachstumsraten von 5 - 8%

Eiweißbedarf der Weltbevölkerung kann durch Ausweitung der herkömmlichen Fischerei nicht gedeckt werden

Deutschland importiert inzwischen rund 88% der hierzulande verzehrten Meeresfrüchte und Fische

Offene Aquakulturanlagen sind in der BRD praktisch nicht existent

Probleme:

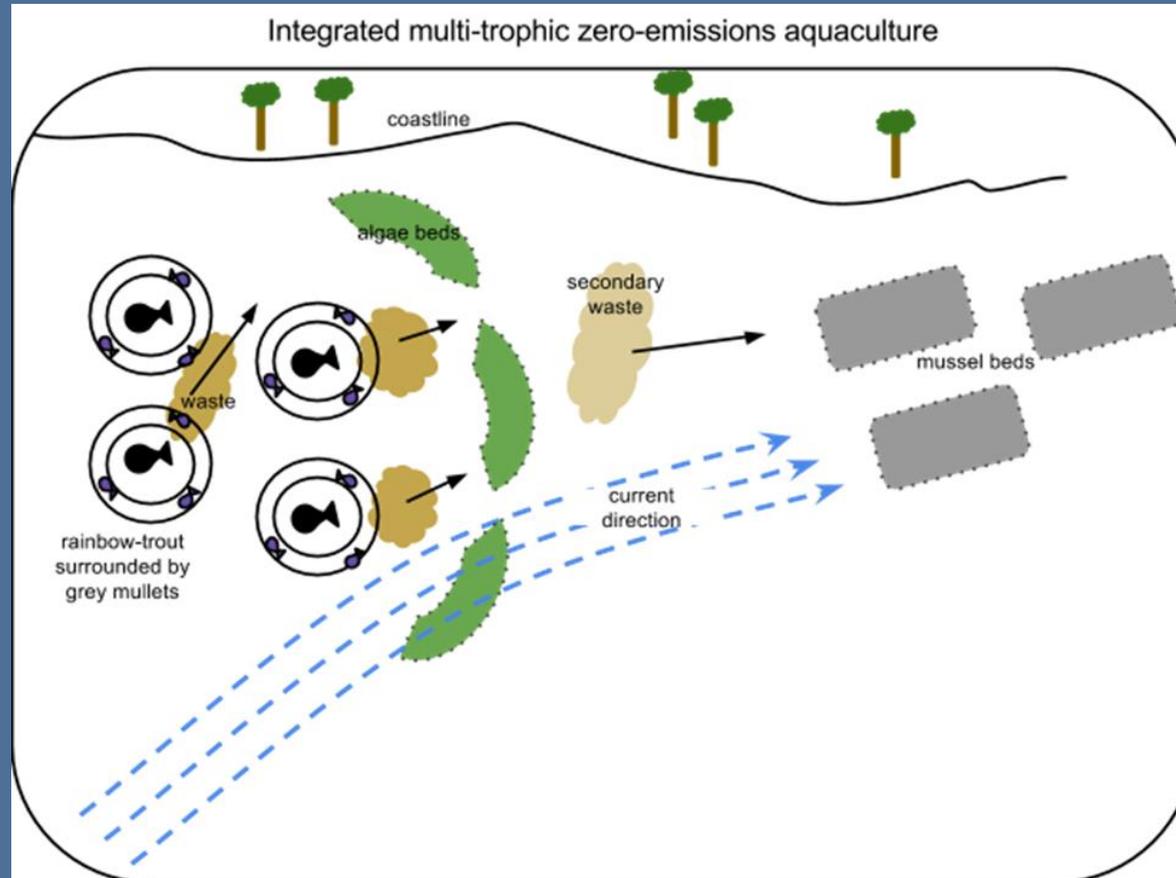
Futterreste, Exkrememente, Medikamente, (Anitfouling)

Nährstoffeinträge

WRRL: Verschlechterungsverbot

Umweltbelastungen in anderen Regionen

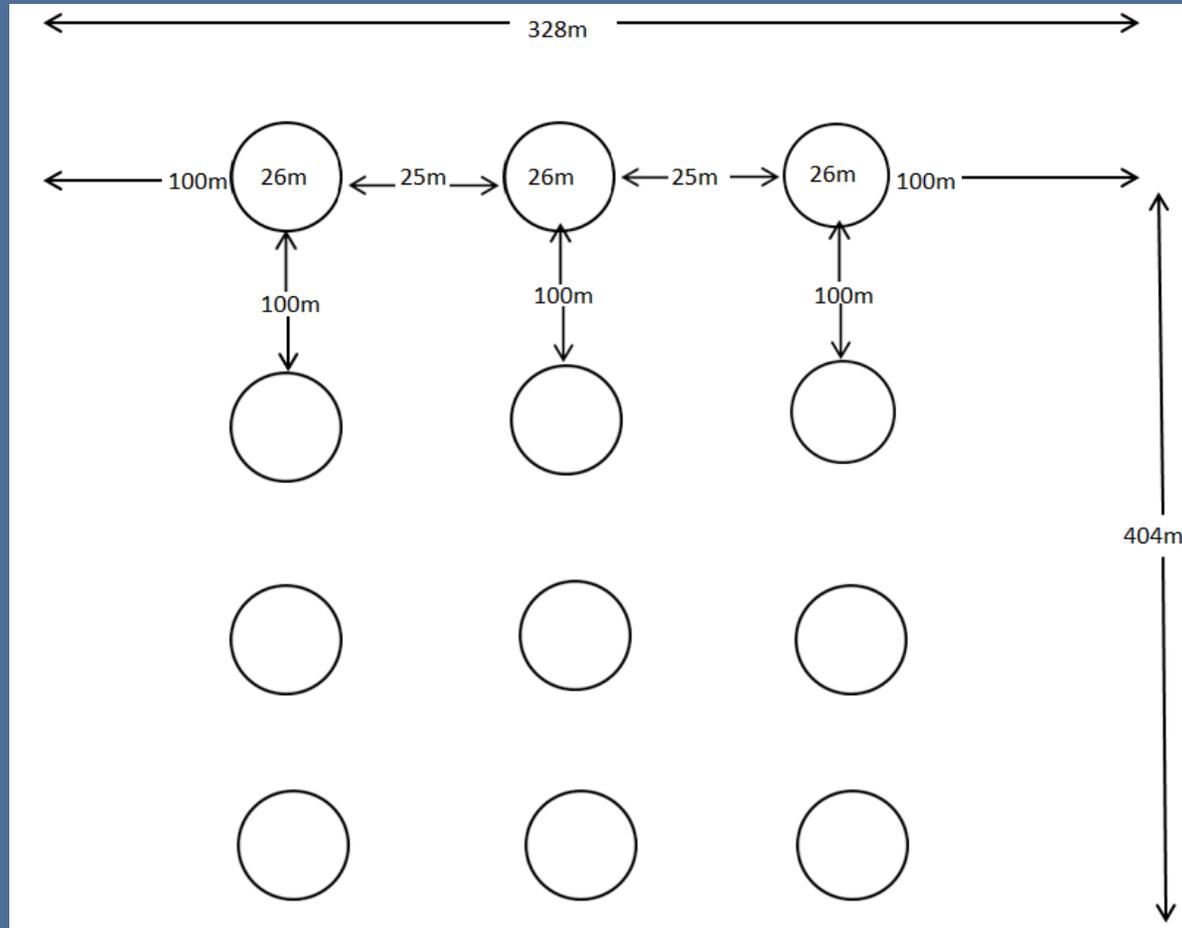
Integrierte Multitrophe Null-Emissions Aquakulturanlagen IMTA



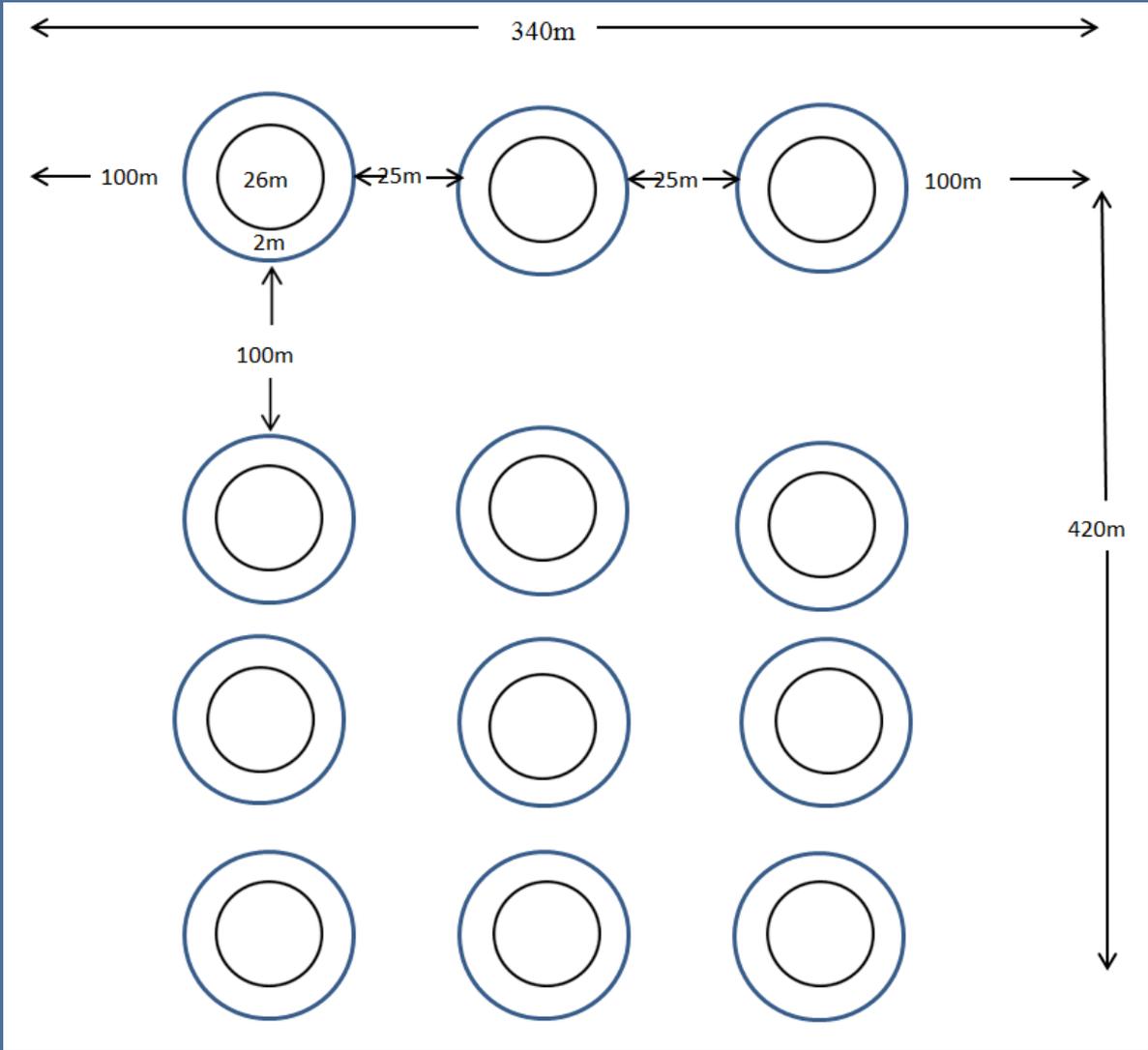
Massenbilanzen ohne räumliche Zuordnung

Hydronumerisches Modell

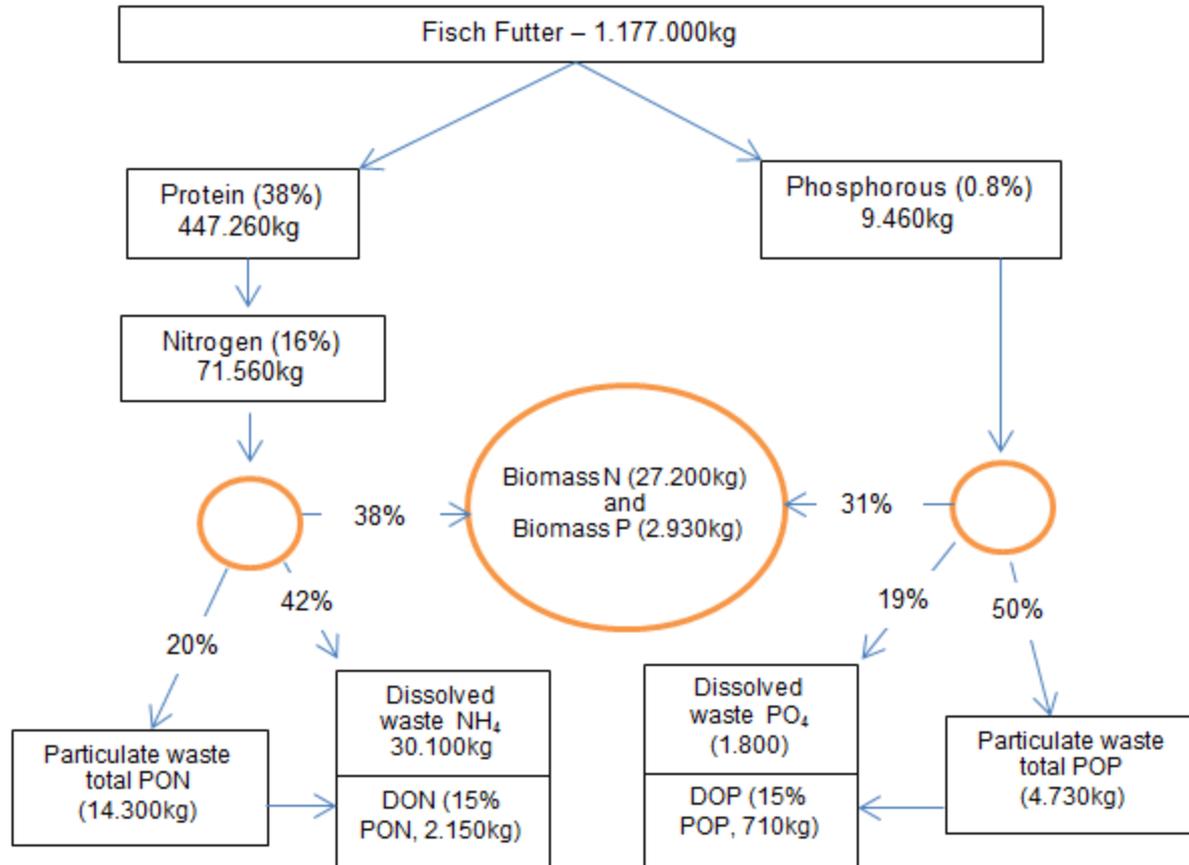
Ein Modul mit 1.250T Fischbesatz ohne multitrophe Einheit



Ein Modul mit 1.250T Fischbesatz und zweitem Netzgehege



Stickstoff und Phosphorkreislauf



1.250T Lachsforellen setzen ca. 44.400kg N und ca. 6.500kg P frei

Über eine komplette Faecesentnahme können ca. 4.000kg P und ca. 12.150kg N dem System entzogen werden

Gelöst müssen somit ca. 32.250kg N und ca. 2.500kg P entnommen werden

Kompensation der Nährstoffe über Muschelkulturen

In Miesmuscheln beträgt der Stickstoffgehalt ca. 16g/kg

Bei einer angenommenen Erntemenge von 100T/ha können somit 1.600kg/ha dem System entzogen werden

Für ca. 32.000kg werden somit 20ha für die Muschelkulturen benötigt

Der P-Gehalt in Muscheln beträgt ca. 0,7g/kg

Bei einer Erntemenge von 100T/ha von Muscheln können 70kg/ha entnommen werden

Hieraus ergibt sich ein Flächenbedarf von 35ha

Kompensation der Nährstoffe über Zuckertang

Im Zuckertang sind ca. 0,52% Stickstoff und 0,09% Phosphor im Nassgewicht vorhanden

Nach SKJERMO et al. (2014) können zwischen 170 - 220T *Saccharina latissima* (max. 300T/ha) pro Hektar geerntet werden

Unter der Annahme von 200T je Hektar Erntemenge und einem P-Gehalt von 0,09% können somit 0,18T P pro Hektar dem System entnommen werden, entspricht einer Fläche von ca. 14 Hektar

Für Stickstoff mit 0,5% im Nassgewicht ergeben sich 1T je Hektar, somit 32ha

Hydronumerische Modellierung

MIKE21HD, Grid, flexible Mesh

MIKE3HD, Grid, flexible Mesh

MIKE21PT

MIKE21AD

MIKE21ECOLAB

MIKE21HD

MIKE 21 Flow Model FM

- Domain
- Time
- Module Selection
- Hydrodynamic Module
 - Solution Technique
 - Depth
 - Flood and Dry
 - Density
 - Eddy Viscosity
 - Bed Resistance
 - Coriolis Forcing
 - Wind Forcing
 - Wind Friction
 - Ice Coverage
 - Tidal Potential
 - Precipitation - Evaporat...
 - Wave Radiation
- Sources
 - source 1
- Structures
 - Weirs
 - Culverts
 - Gates
 - Dikes
 - Piers
 - Turbines
- Initial Conditions
- Boundary Conditions
 - Code 2
 - Land boundary
- Temperature/Salinity Mo
 - Equation
 - Solution Techniq...
- Dispersion
 - Horizontal Dispe
- Heat Exchange
- Sources
 - source 1
- Initial Conditions
- Boundary Condi...
 - Code 2, Temper
 - Code 2, Sali...
- Decoupling
- Outputs
 - Output IFHDmesh1

Domain

Mesh and Bathymetry Domain specification Boundary names

Mesh file: ...

[m]

6030000
6029000
6028000
6027000
6026000
6025000
6024000
6023000
6022000
6021000

3574000 3576000 3578000 [m]

Zoom in Zoom out Recenter

MIKE21AD

The screenshot displays the MIKE21AD software interface. On the left is a tree view of the model configuration, and on the right is the configuration panel for the selected item, IFADmike21dispersion.

Left Panel (Tree View):

- MIKE 21 Flow Model FM
 - Domain
 - Time
 - Module Selection
 - Hydrodynamic Module
 - Solution Technique
 - Depth
 - Flood and Dry
 - Density
 - Eddy Viscosity
 - Bed Resistance
 - Coriolis Forcing
 - Wind Forcing
 - Ice Coverage
 - Tidal Potential
 - Precipitation - Evaporat..
 - Wave Radiation
 - Sources
 - Structures
 - Initial Conditions
 - Boundary Conditions
 - Temperature/Salinity Mo
 - Decoupling
 - Outputs
 - Transport Module
 - Component Specificat...
 - Solution technique
 - Dispersion
 - Horizontal Dispers...
 - stickstoff
 - Phosphor
 - Decay
 - stickstoff
 - Phosphor
 - Sources
 - source 1
 - stickstoff
 - Phosphor
 - Initial Conditions
 - stickstoff
 - Phosphor
 - Boundary Conditions
 - Code 2
 - stickstoff
 - Phosphor
 - Outputs
 - IFADmike21dispers..

IFADmike21dispersion

Geographic View Output specification Output items

Basic variables

- stickstoff
- Phosphor

Additional variables

- U velocity
- V velocity
- CFL number

MIKE21PT

The screenshot displays the MIKE21PT software interface. On the left is a tree view of the model configuration, and on the right is the 'Output items' configuration panel for the 'IFMIKE21FMdecoupled' model.

Left Panel (Tree View):

- MIKE 21 Flow Model FM
 - Domain
 - Time
 - Module Selection
 - Hydrodynamic Module
 - Solution Technique
 - Depth
 - Flood and Dry
 - Density
 - Eddy Viscosity
 - Bed Resistance
 - Coriolis Forcing
 - Wind Forcing
 - Ice Coverage
 - Tidal Potential
 - Precipitation - Evaporat...
 - Wave Radiation
 - Sources
 - Structures
 - Initial Conditions
 - Boundary Conditions
 - Temperature/Salinity Mo
 - Decoupling
 - Outputs
 - Particle Tracking Module
 - Classes
 - Faeces
 - Sources
 - Source 1
 - Faeces
 - Decay
 - Settling
 - Faeces
 - Dispersion
 - Horizontal Dispers...
 - Faeces
 - Vertical Dispersion
 - Faeces
 - Erosion
 - Drift profile
 - Outputs
 - IFMIKE21FMdecoupled

IFMIKE21FMdecoupled

Geographic View Output specification Output items

Basic variables

- Faeces - Total
- Faeces - Suspended
- Faeces - Sedimented
- Faeces - Specified Z range

Additional variables

- Surface elevation
- Still water depth
- Total water depth
- Depth averaged U-velocity
- Depth averaged V-velocity

Z-Range specification

Type

Datum/absolute

Include particles within

Upper Z-Range: 0 [m]

Lower Z-Range: -1 [m]

Layer start offset: 1 [m]

Layer thickness: 1 [m]

MIKE21ECOLAB

The screenshot displays the MIKE21ECOLAB software interface. On the left is a tree view of the model structure, and on the right is the 'Model Definition' panel.

Model Definition Panel:

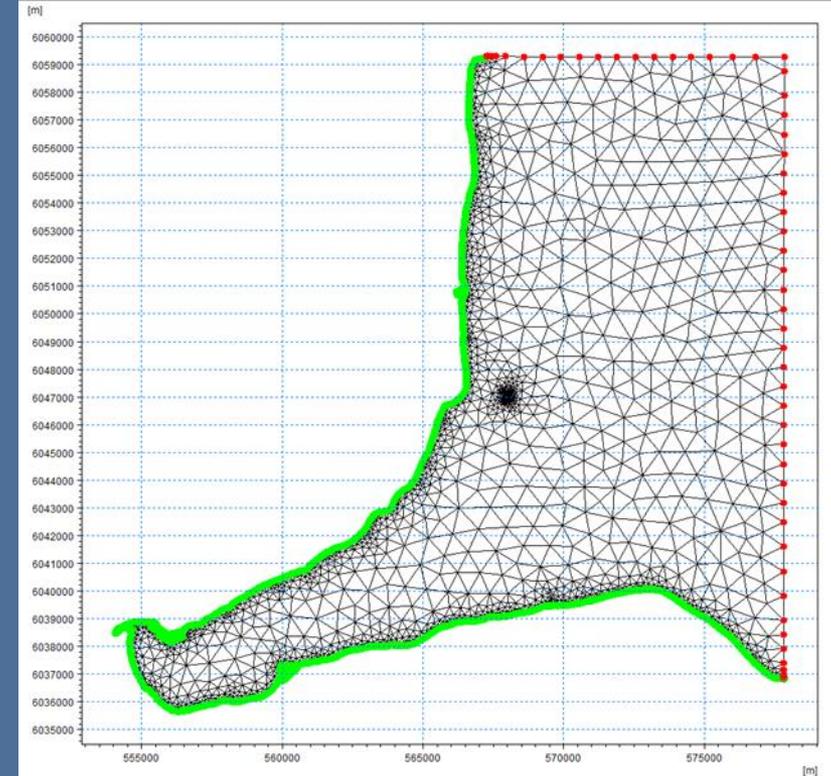
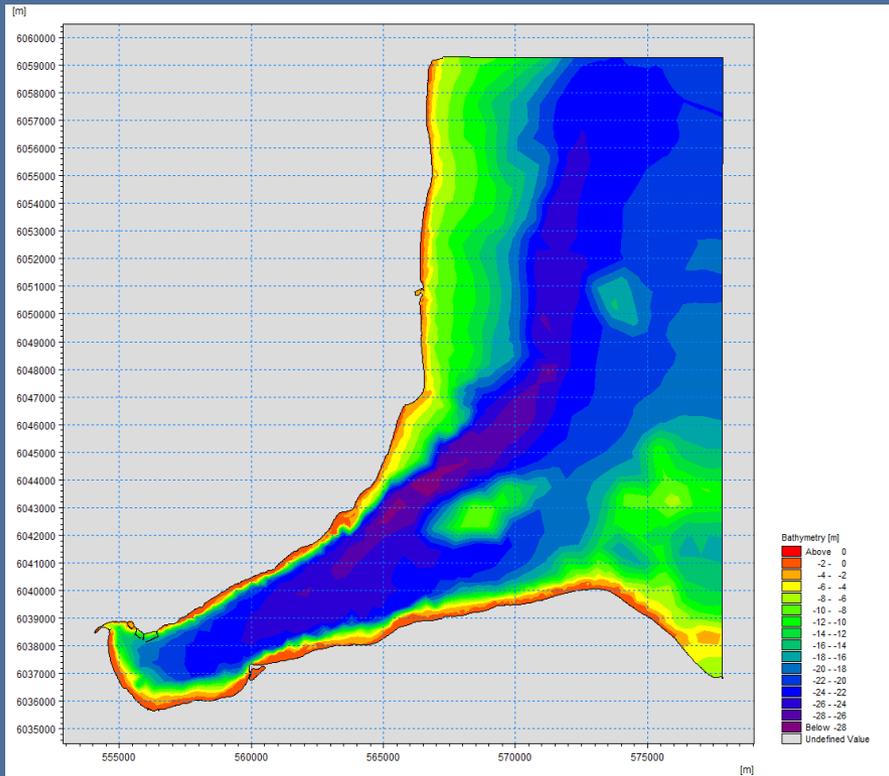
- Template Selection:** Eutrophication Model 1 incl. Sediment and Benthic Vegetation
- Path:** C:\Program Files (x86)\DHI\2014\MIKE Zero\Templates\ECOLab\EI...
- Summary:**

25	State Variables	79	Auxiliary
122	Constants	100	Processes
7	Forcings	4	Derived
0	Classes		
- Solution Parameters:**
 - Integration: Euler
 - Update Frequency: 1

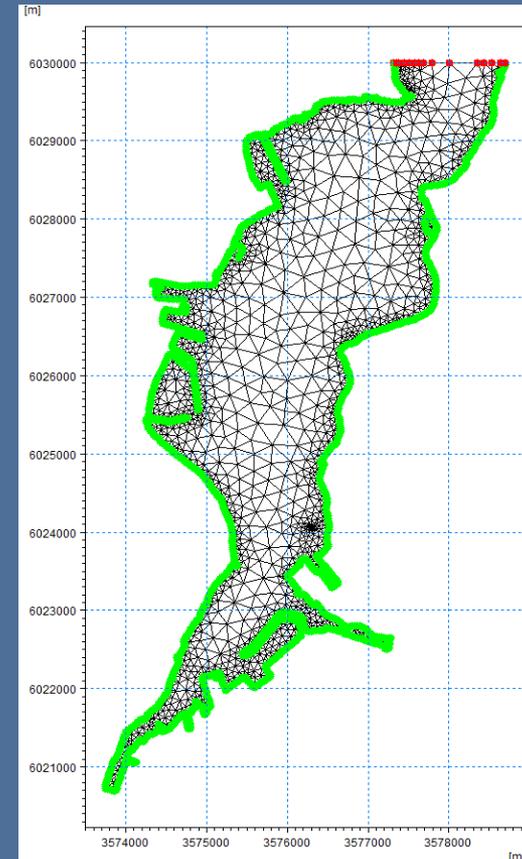
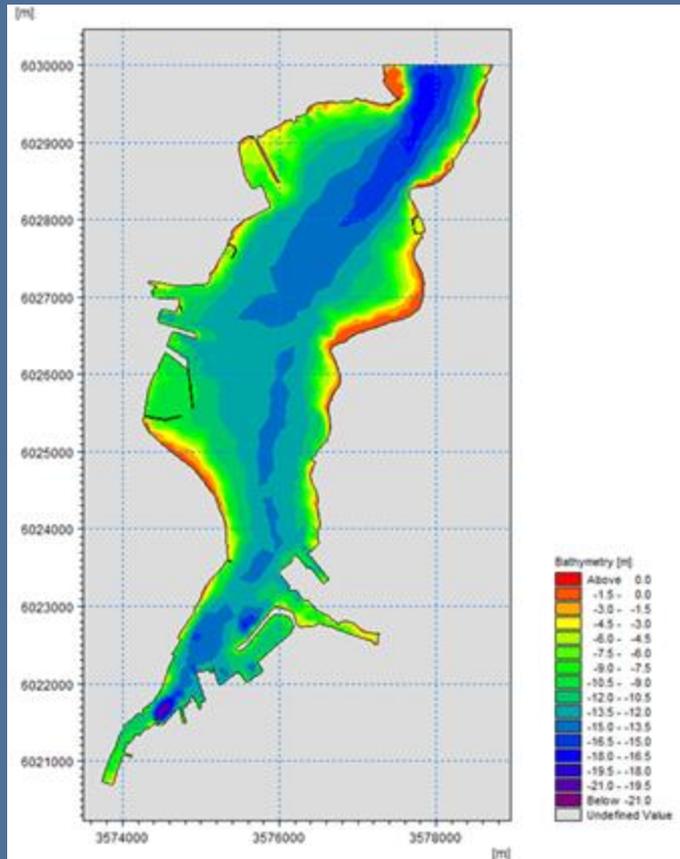
Tree View Structure:

- Hydrodynamic Module
- ECO Lab / Oilspill Module
 - Model Definition
 - State Variables
 - Solution technique
 - Constants
 - Forcings
 - Dispersion
 - Horizontal Dispersion
 - Sources
 - Source 1
 - PC
 - PN
 - PP
 - CH
 - ZC
 - DC
 - DN
 - DP
 - IN
 - IP
 - DO
 - Initial Conditions
 - PC, Phytoplankton C, g C/m3
 - PN, Phytoplankton N, g N/m3
 - PP, Phytoplankton P, g P/m3
 - CH, Chlorophyll-a, g Chl/m3
 - ZC, Zooplankton C, g C/m3
 - DC, Detritus C, g C/m3
 - DN, Detritus N, g N/m3
 - DP, Detritus P, g P/m3
 - IN, Inorganic nitrogen, g N/m3
 - IP, Inorganic phosphorous, g P/m3
 - DO, Dissolved oxygen, g DO/m3
 - BC, Macroalgea C, g C/m2
 - BN, Macroalgea N, g N/m2/d
 - BP, Macroalgea P, g P/m2/d
 - EC, Rooted vegetation, g C/m2
 - NNEC, Rooted vegetation, number of shoot
 - KDOX, depth of NO3 penetration in sediment
 - SOP, Sediment organic P, g P/m2
 - FESP, Sediment iron adsorped P, g P/m2
 - SIP, Sediment phosphate, g P/m2
 - SON, Sediment organic N, g N/m2
 - SNH, Sediment ammonia, g N/m2
 - SNO3, NO3-N in Surface sediment pore wat
 - SPIM, Sediment P, immobile fraction, g P/...
 - SNIM, Sediment N, immobile fraction, g N/...
 - Boundary Conditions
 - Code 2
 - Outputs
 - 2D N P vel and WD
 - 2D all
 - mass budget
 - discharge

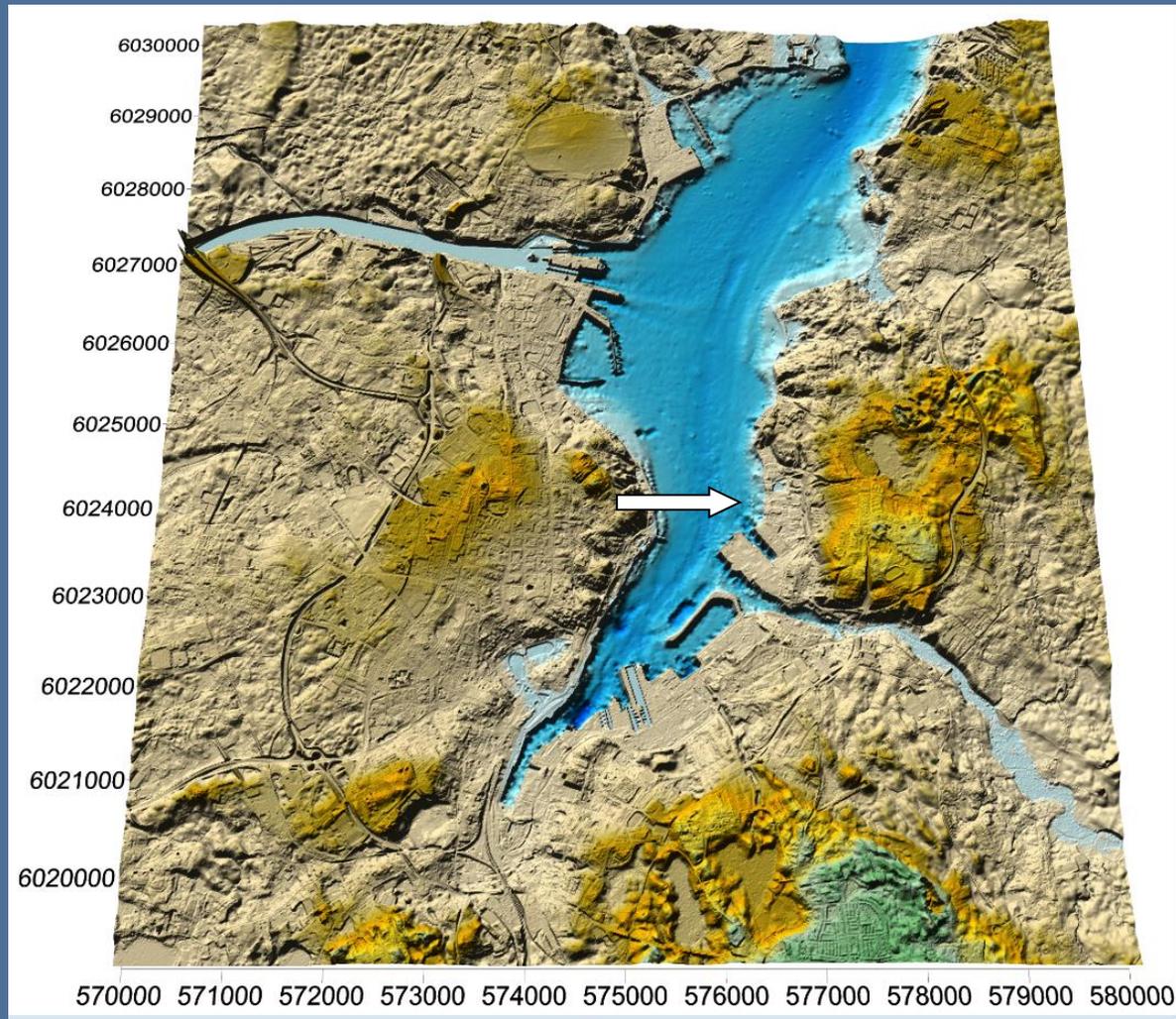
Untersuchungsgebiet Bookniseck



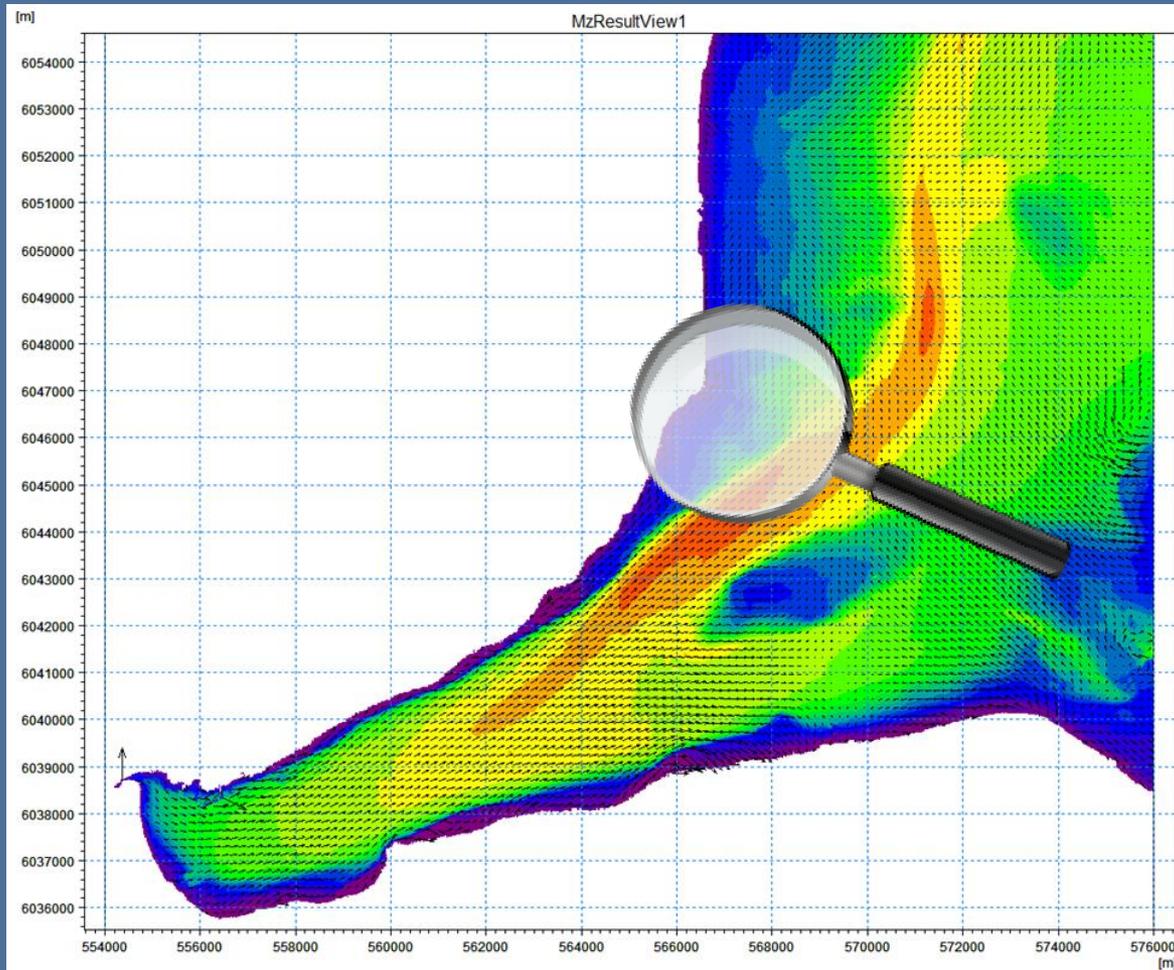
Untersuchungsgebiet Kieler Förde



Untersuchungsgebiet Kieler Förde

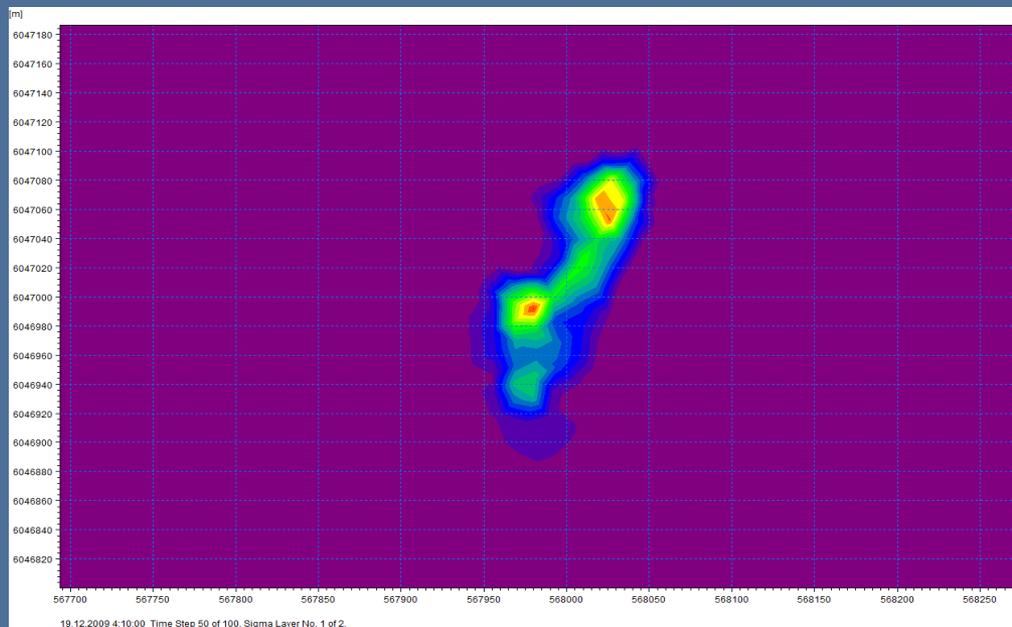
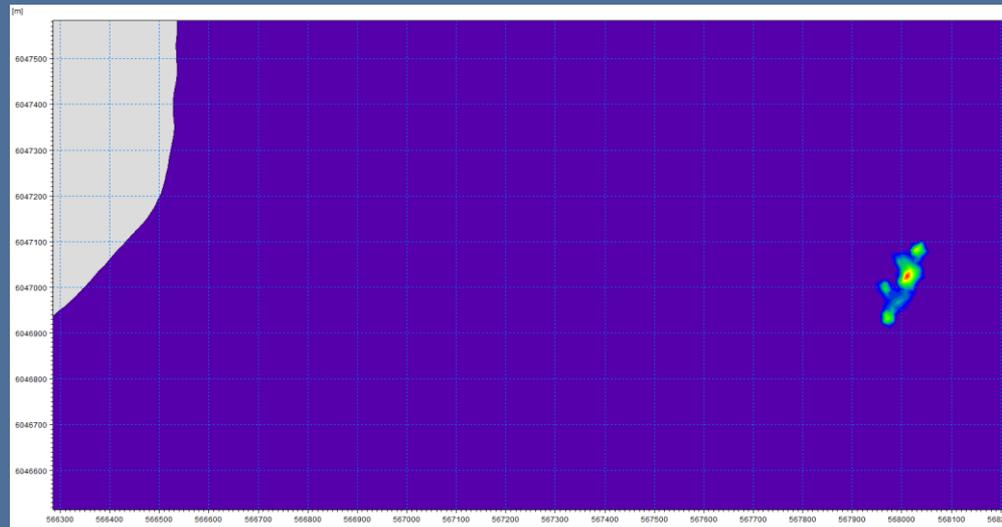


Strömungsbild Bookniseck



7 Tage, $\pm 20\text{cm}$ Meeresspiegelauslenkung

Verdriftung der Faeces



Verdriftung der Faeces

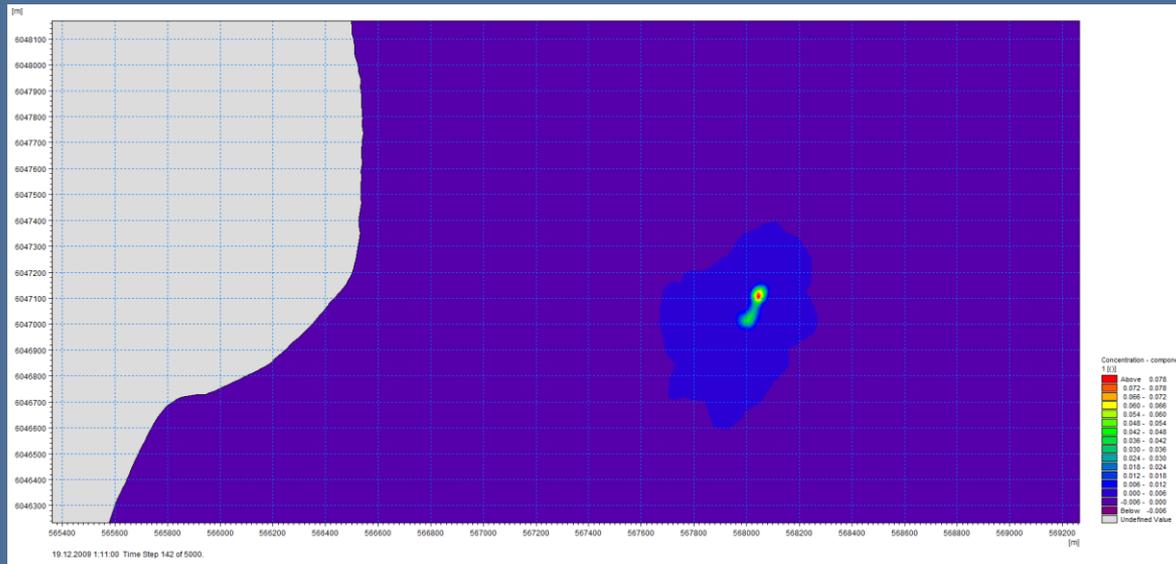
Faeces werden max. 200m verdriftet, d. h. 100m nach Norden und 100m nach Süden

Die Strömung verläuft während der Modellierungsphase überwiegend küstenparallel

Die West-Ost Verdriftung beträgt max. 50m

Zeitweilig kommt es während der Absinkphase strömungsbedingt auch zum Wechsel der Verdriftungsrichtung, also zu einem leichten Pendeln der Faeceswolke

Verdriftung von N und P



Verdriftung von N und P

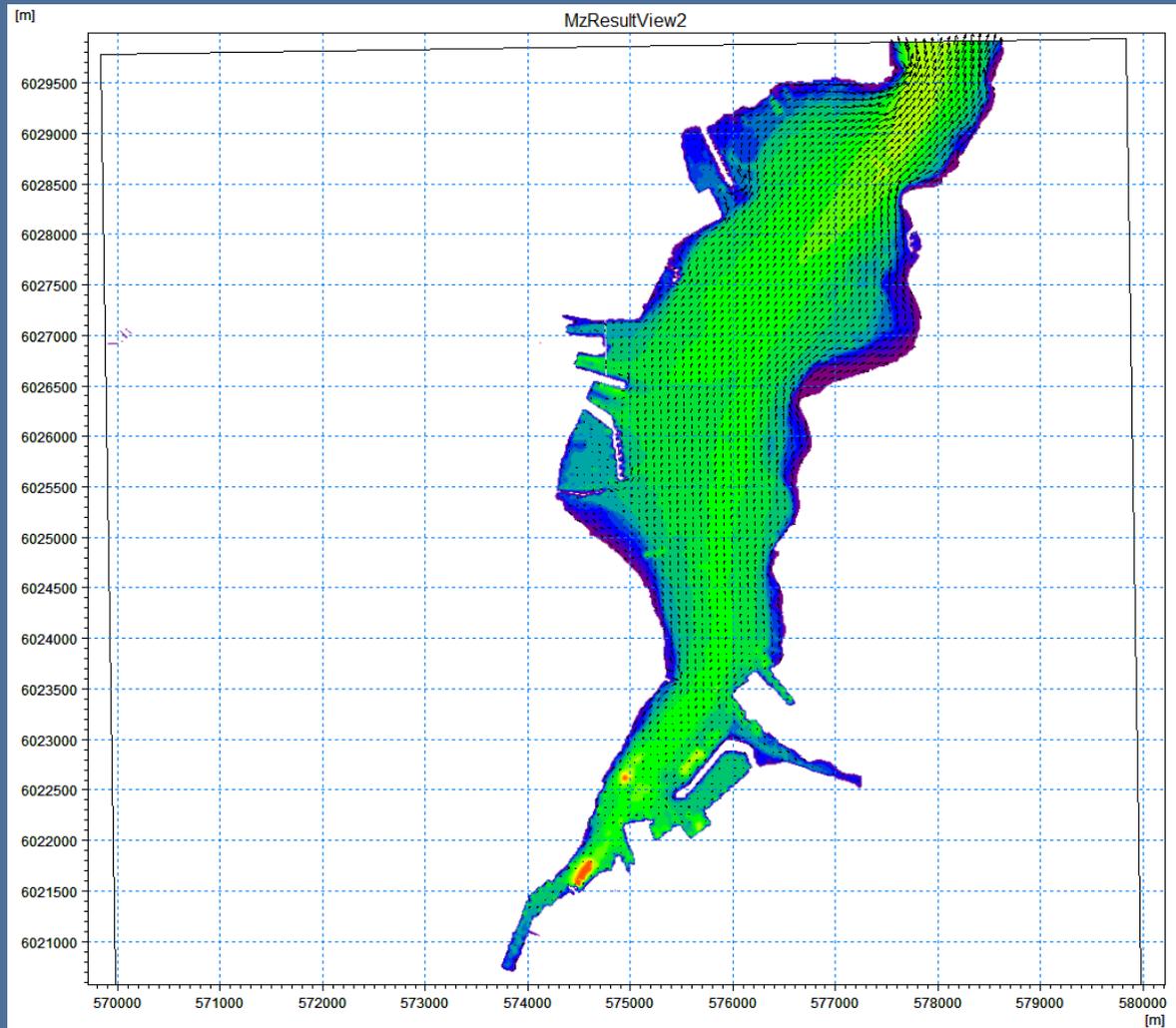
Die Verdünnung der gelösten Nährstoffe Stickstoff (1,5g/s) und Phosphor (0,12g/s) erfolgt relativ rasch

Für Stickstoff liegen die Werte in 10m Entfernung unter 0,05mg/l und in 150m Entfernung unter 0,0005mg/l

Die Werte für Phosphor sind entsprechend geringer und liegen in 100m Entfernung bei ca. 0,005mg/l

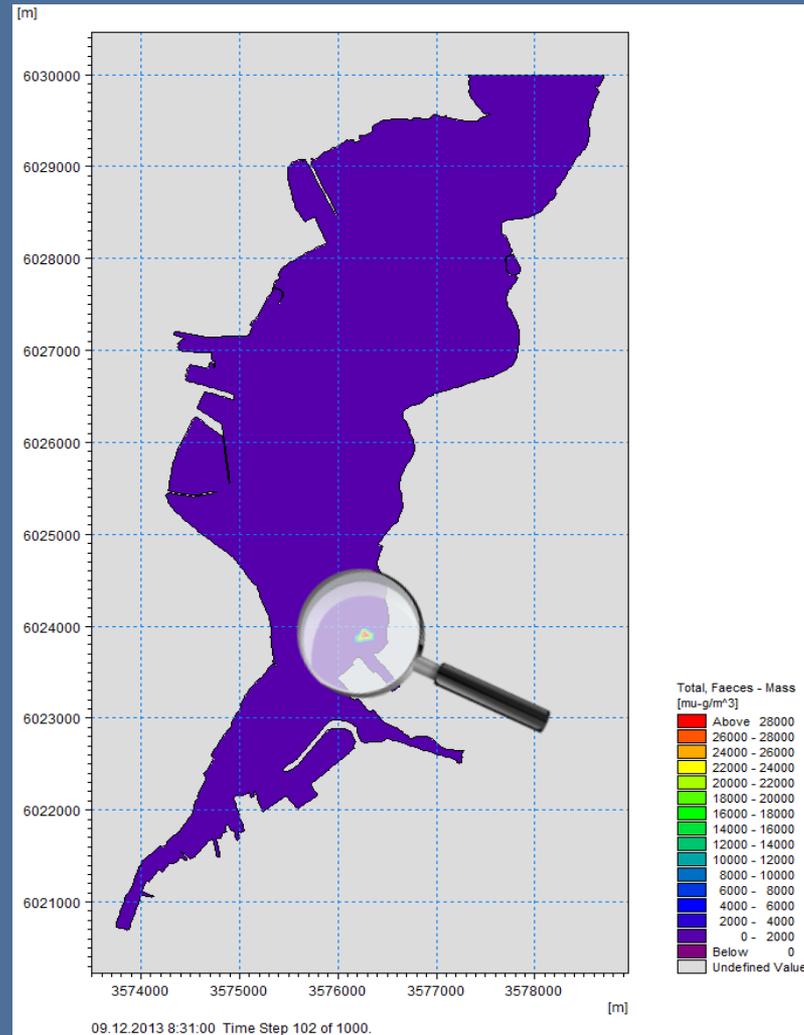
Diese Werte liegen weit unterhalb der natürlichen Hintergrundkonzentration

Strömungsbild Kieler Innenförde

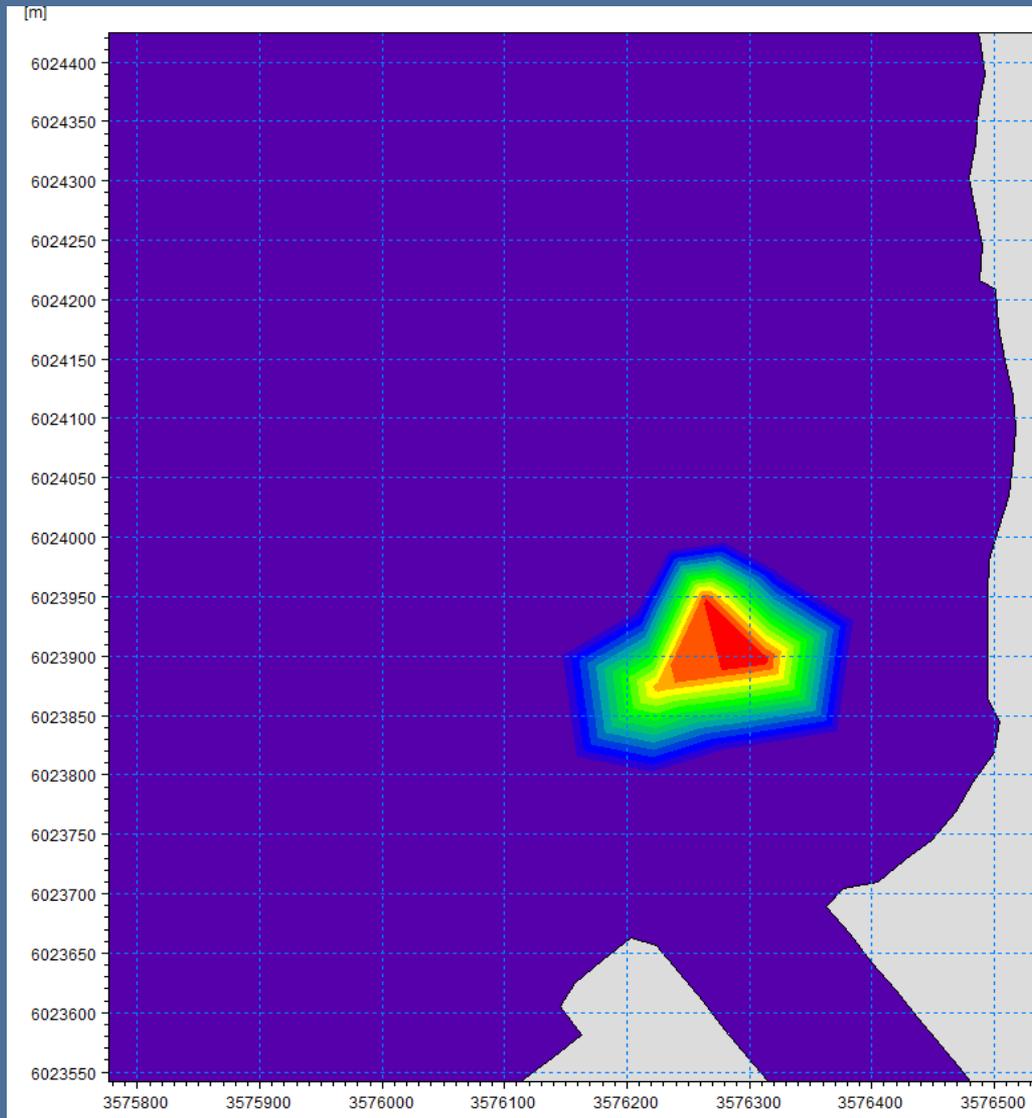


7 Tage, +70cm bis -40cm Meeresspiegelauslenkung

Verdriftung Faeces Kieler Innenförde



Verdriftung Faeces Kieler Innenförde



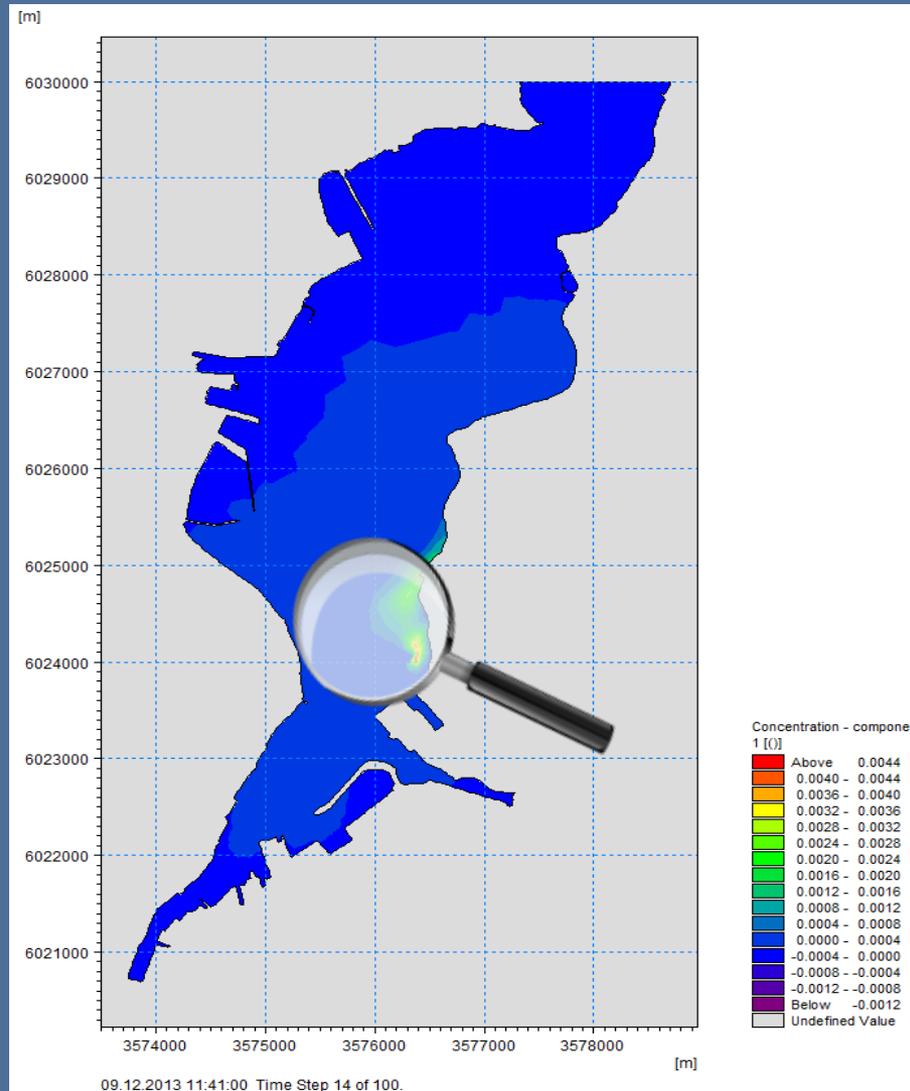
Verdriftung Faeces Kieler Innenförde

Trotz höherer Strömungsgeschwindigkeiten gegenüber Bookniseck werden die Faeces auch hier kaum verdriftet, da die Wassertiefe wesentlich geringer ist und damit auch die Absinkzeit

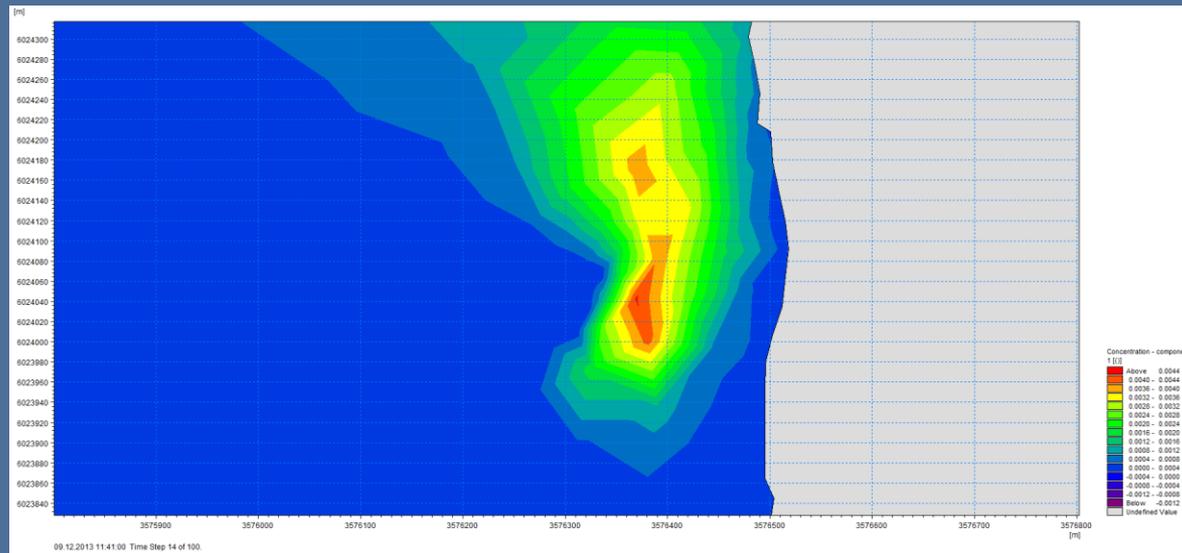
Maximal 75m um die Anlage herum können Faeces nachgewiesen werden

Ein Pendel der Faeceswolke ist nicht festzustellen

Verdriftung von N und P Kieler Innenförde



Verdriftung von N und P Kieler Innenförde



Verdriftung von N und P Kieler Innenförde

Die Verdünnung der gelösten Nährstoffe Stickstoff (0,15g/s) und Phosphor (0,012g/s) erfolgt relativ rasch

Für Stickstoff liegen die Werte in 100m Entfernung unter 0,004mg/l in 150m um 0,003mg/l

Die Phosphorwerte liegen in 100m Entfernung unter 0,0003mg/l und in 150m unter 0,00025mg/l

Es entsteht eine nach Norden gerichtete Fahne, da die Strömungsrichtung hier dominant ist

Schlussfolgerungen

Faeces verdriften aufgrund von Sinkgeschwindigkeit und Strömungsgeschwindigkeit kaum

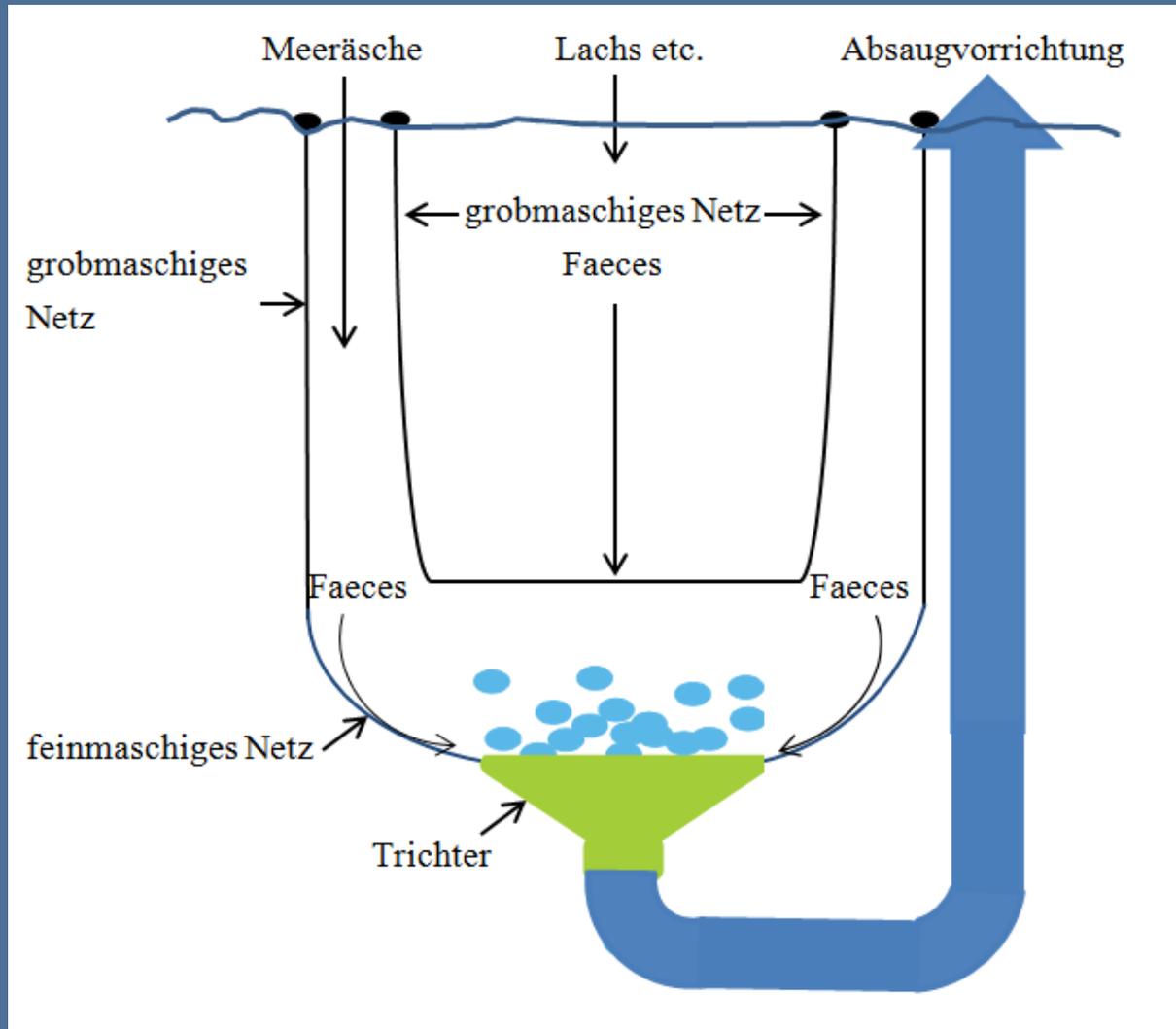
Sie sedimentieren überwiegend direkt unterhalb der Anlage oder in unmittelbarer Umgebung

Abbauprozesse mit möglichen negativen Auswirkungen sind somit sehr lokal begrenzt

Gelöste Nährstoffe können durch Faecesentnahme nicht gebunden und dem System entzogen werden

Algen binden jedoch die gelösten Nährstoffe direkt und Muscheln indirekt über die Aufnahme von Schwebstoffen aus der Wassersäule

Lösungsvorschläge



Lösungsvorschläge

Für Algenkulturen stehen ca. 84.000m² Fläche innerhalb der gesamten Anlage zur Verfügung

Für die Bindung von Stickstoff nur durch Algen werden 32ha benötigt

25% können somit in der Aquakultur Farm gebunden und entnommen werden

Es verbleiben ca. 75% (ca. 24.200kg) die die Anlage verlassen und durch Muscheln gebunden werden müssen

Hierfür werden ca. 15ha Muschelkultur benötigt

Für die Fixierung von Phosphor nur durch Algen werden 14ha benötigt

43% (1.075kg) verlassen die Aquakultur und müssen durch Muscheln aufgenommen werden

Hierfür werden ca. 15ha Muschelkultur benötigt

Die Ausgleichsfläche hätte somit eine Ausdehnung von 500m x 300m

Fazit

IMTA's sind technisch und ökologisch machbar

Umgehende Umsetzung in einer Pilotanlage

Ich danke für Ihre Aufmerksamkeit