



## Vom Labor in die Praxis

### Nährstoffbilanzierung, Filterleistung und Nährstoffmanagement

Matthias Frei

MSc. ZFH in Umweltingenieurwesen

# Ablauf Projektierung

Vorschlag in Normentwurf BAB

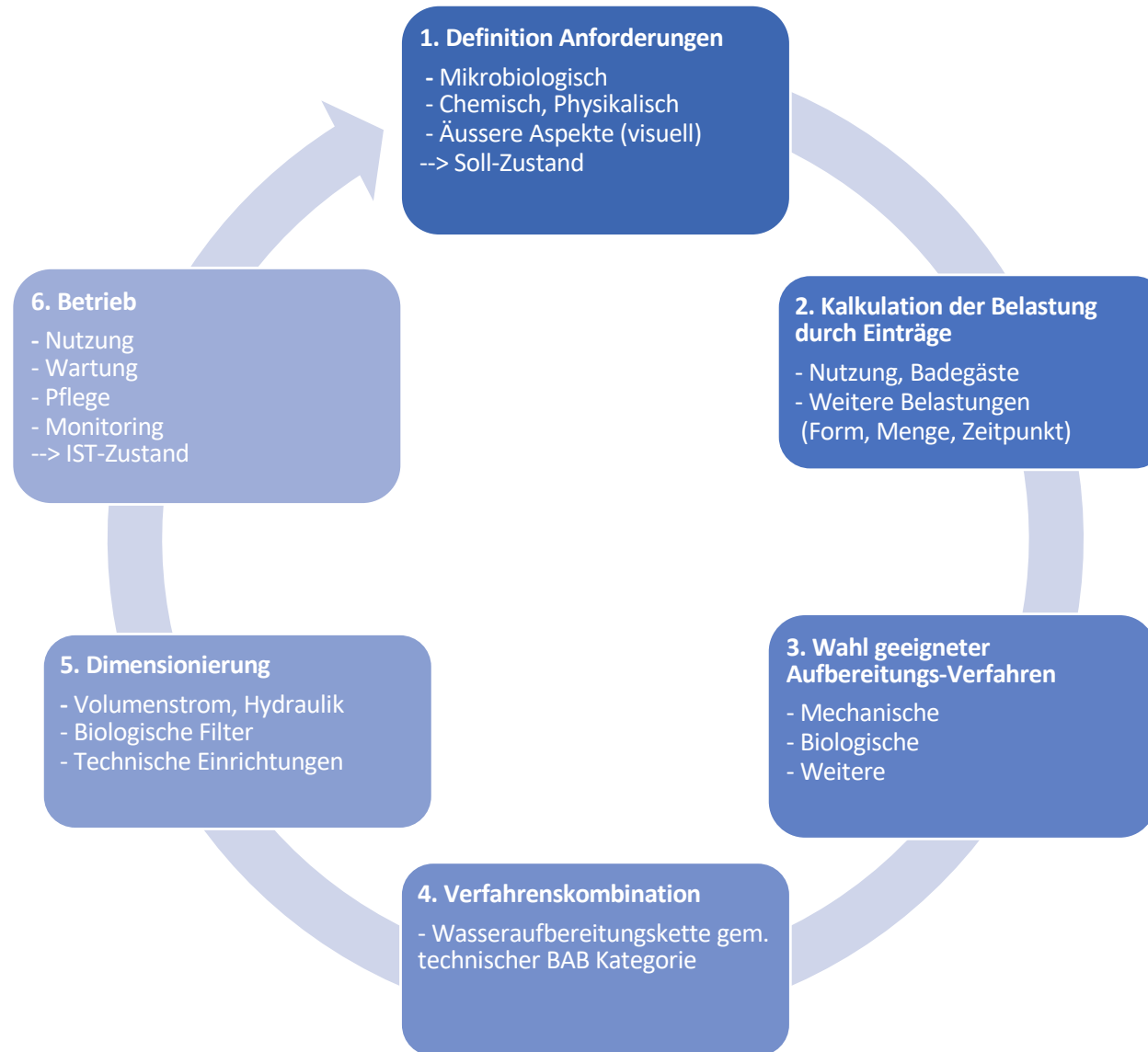


Abbildung: Projektierungsablauf für biologisch aufbereitete Badegewässer (Frei, 2023)

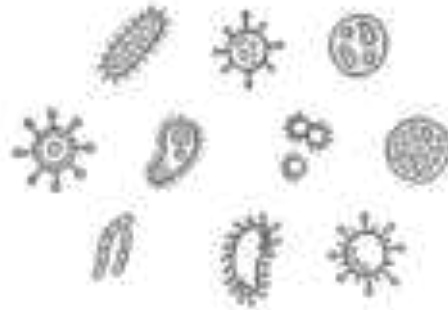
# Grundlegende Anforderungen

## Sicherheit



## Mikrobielle Wasserqualität <sup>☆</sup>

Bakterien, Virus, Protozen, Pilze



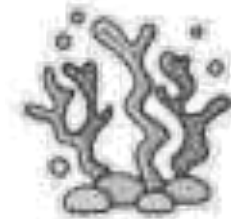
## Chemische Wasserqualität <sup>☆</sup>

Schadstoffe (Abbauprodukte),  
Nährstoffe



## (Visuelle Wasserqualität) <sup>☆</sup>

Algen, Beläge, Trübung



## (Unterhaltsaufwand) <sup>☆</sup>

Anlagenbetrieb, Beckenpflege



Nutzungsbereich

☆ Bewertet mit 1-5 über Richtwerte

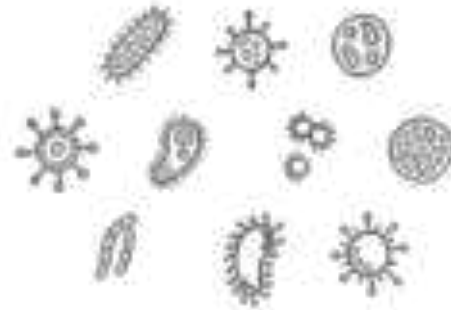
# Grundlegende Anforderungen

**Sicherheit**



**Mikrobielle Wasserqualität** ☆

Bakterien, Virus, Protozen, Pilze



**Chemische Wasserqualität** ☆

Schadstoffe (Abbauprodukte),  
Nährstoffe



**(Visuelle Wasserqualität)** ☆

Algen, Beläge, Trübung



**(Unterhaltsaufwand)** ☆

Anlagenbetrieb, Beckenpflege



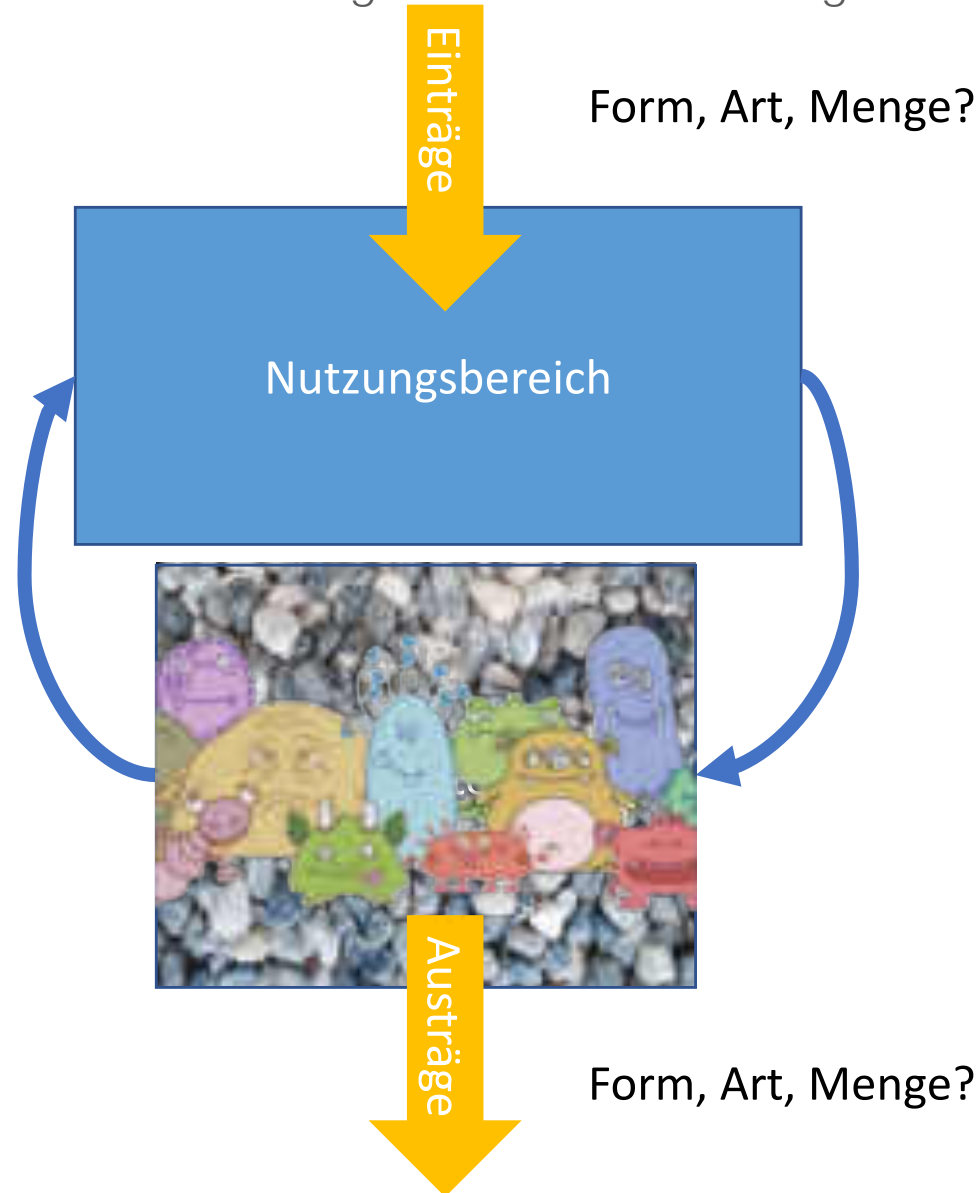
Nutzungsbereich

☆ Bewertet mit 1-5 über Richtwerte

# Einschub: Biologische Wasseraufbereitung

Chemische Wasserqualität, Nährstoffbilanz:

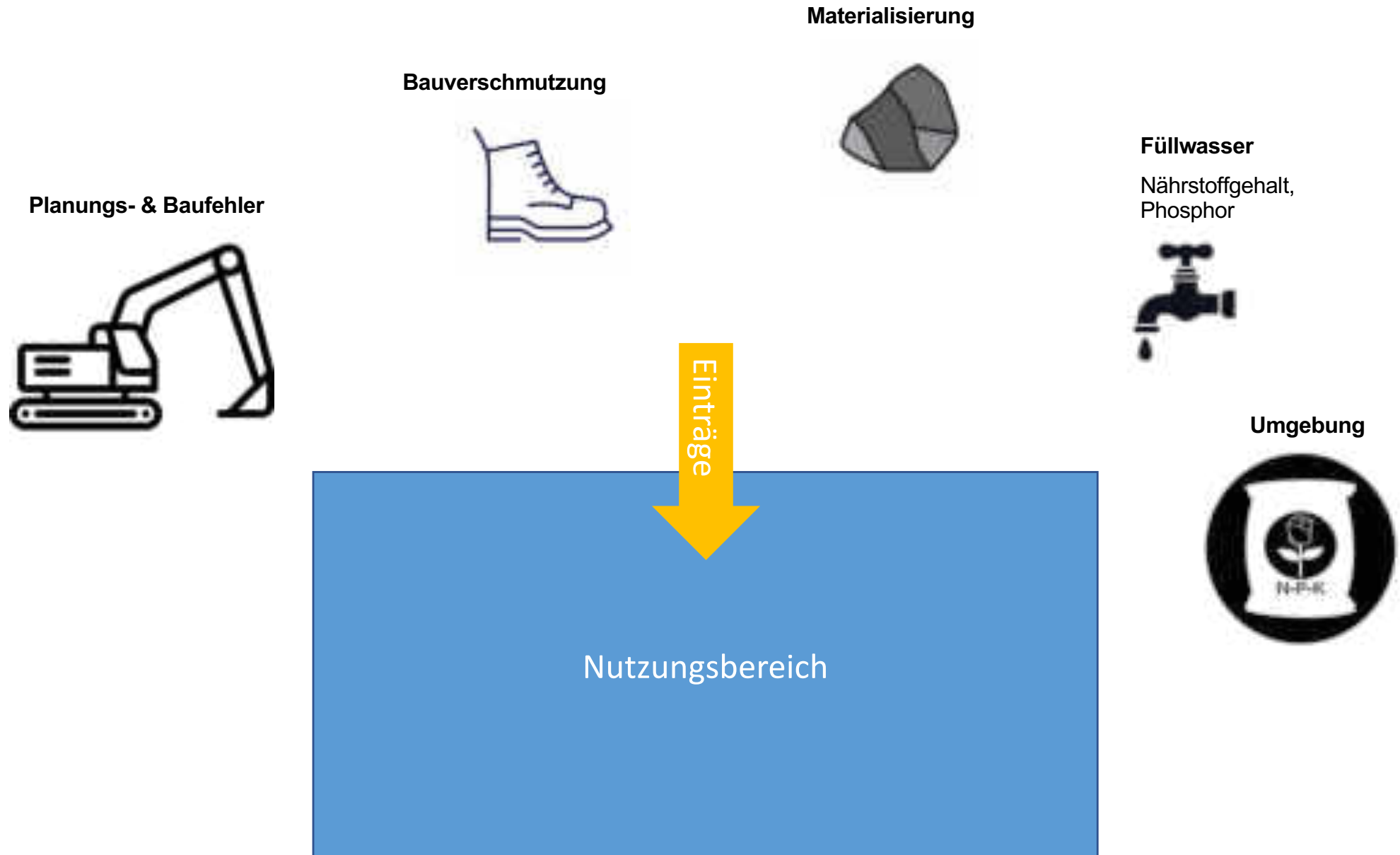
Grundidee der Wasseraufbereitung der technischen Kategorien 4&5



Eintrag-Austrag soll in Bilanz 0 ergeben

# Eintrag – Verursacher im Bau

Weitgehend vermeidbare Einträge – Eine saubere Baugrundlage ist entscheidend

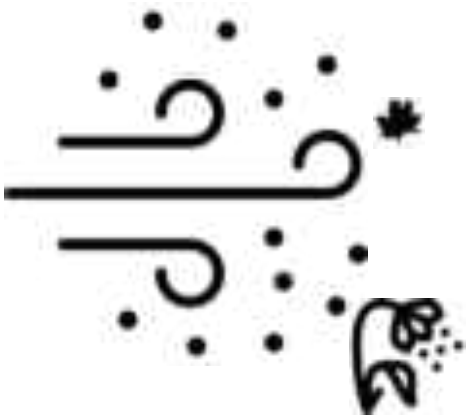


# Eintrag – Verursacher im Betrieb

Nicht vollständig vermeidbare Einträge

## Lufteintrag:

Gravitationsdeposition (trocken & nass),  
Gasdeposition, Interzeption  
(Schwebestaub, Nebel, Aerosole)



**Pflanzliche Biomasse**  
Laubfall, Blütenstaub



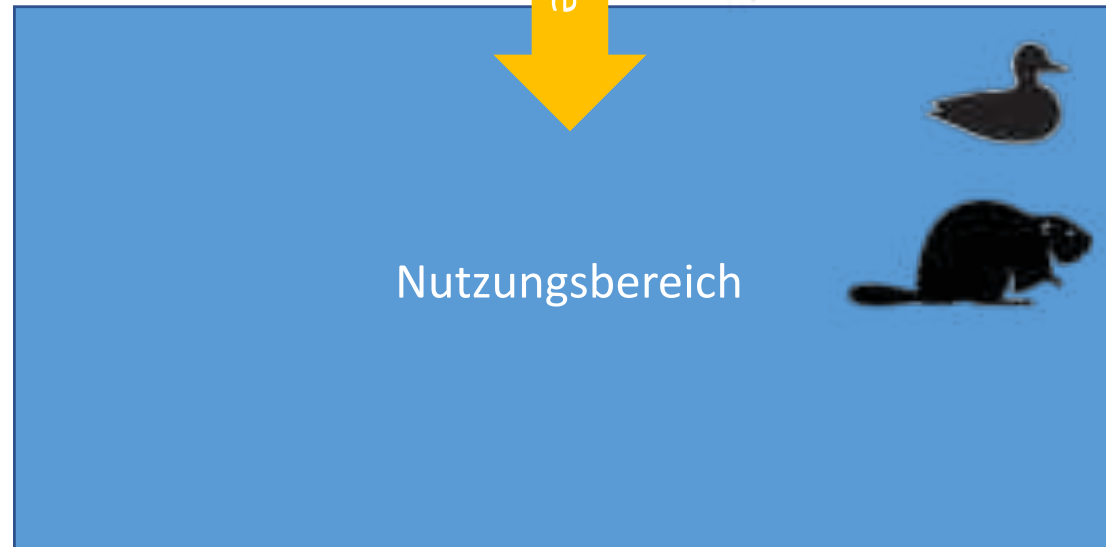
## Badegast:

Menschliche Ausscheidungen (Urin, Fäkal),  
Hauptschuppen, Hauttalg, Dreck  
Kosmetik (Seifenreste, Salben, Öle)



## Nachfüllwasser

Nährstoffgehalt,  
Phosphor



Nutzungsbereich

## Tiere

Nährstoffeintrag,  
Ausscheidungen,  
(mech. Beschädigung)



# Belastung durch Badegasteinträge

Dynamik Privatanlagen

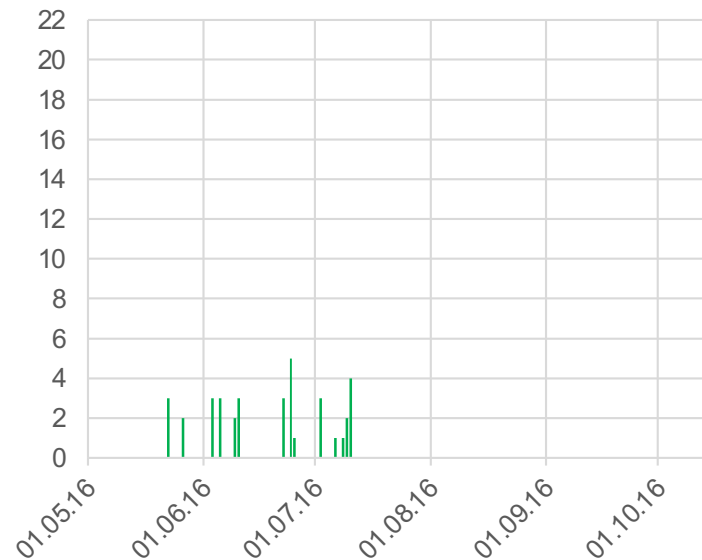
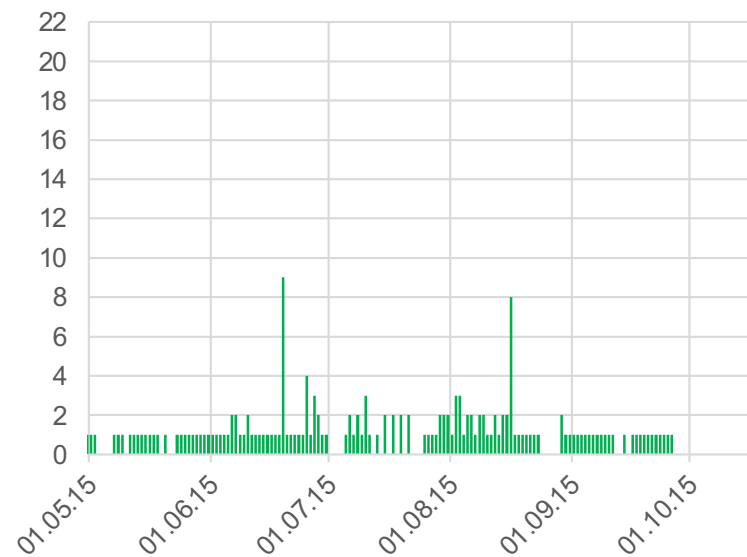
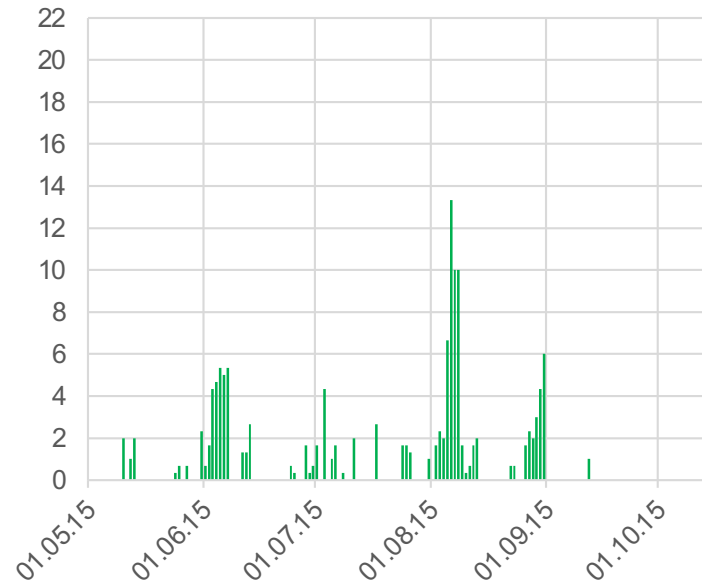
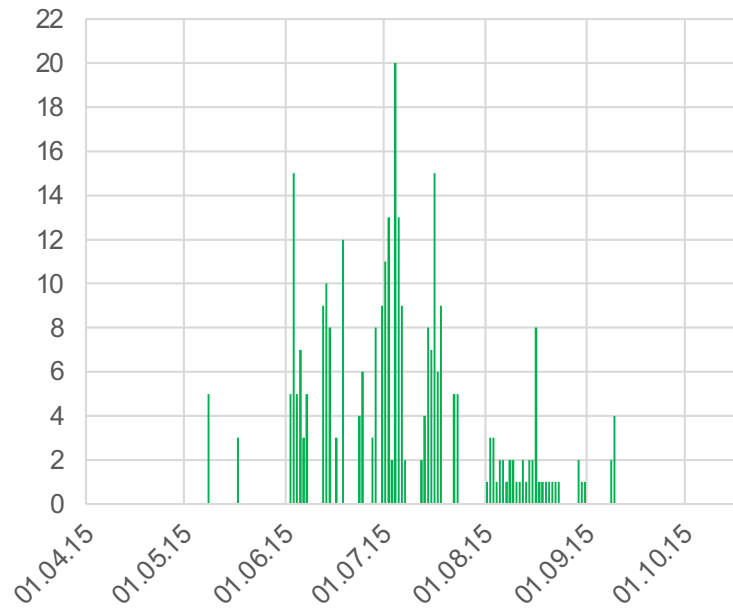
*Wie werden die Bäder eigentlich genutzt? Wie oft? Wann?*





# Belastung durch Badegasteinträge

## Dynamik Privatanlagen



*Abbildung : Aufnahmen der täglichen Badegastanzahl in einer privaten Anlage eines Wochenendvaters mit 6 Kindern (o.l.), einer vierköpfigen Familie (o.r.), eines sportlichen Grossvaters mit Enkelbesuchen (u.l.) und eines Warmwasserschwimmers ohne Kinder (u.r.), im Verlauf einer Badesaison (Frei, 2017).*

# Belastung durch Badegasteinträge

Dynamik öffentliche Anlagen (Konventionelle Anlagen)

Letzigraben



Auhof



Zwischen Hölzern



Heuried und weitere...





# Belastung durch Badegasteinträge

Dynamik öffentliche Anlagen (Seebäder)

Tiefenbrunnen



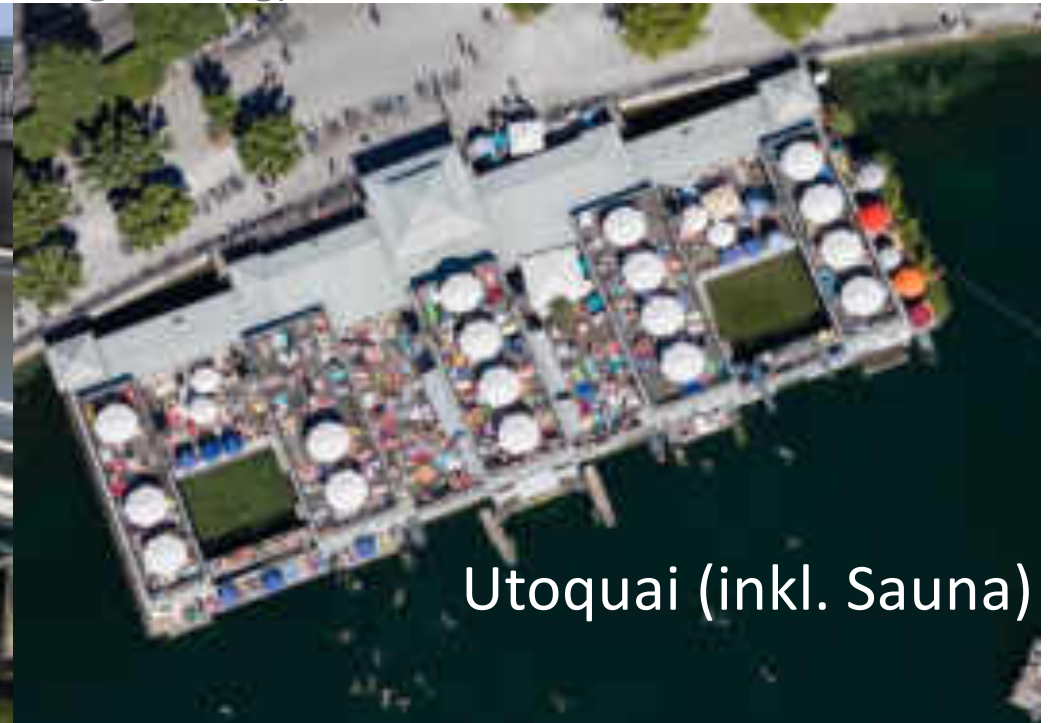
Mythenquai und weitere....





# Belastung durch Badegasteinträge

Dynamik öffentliche Anlagen (Seebäder mit Platzbegrenzung)



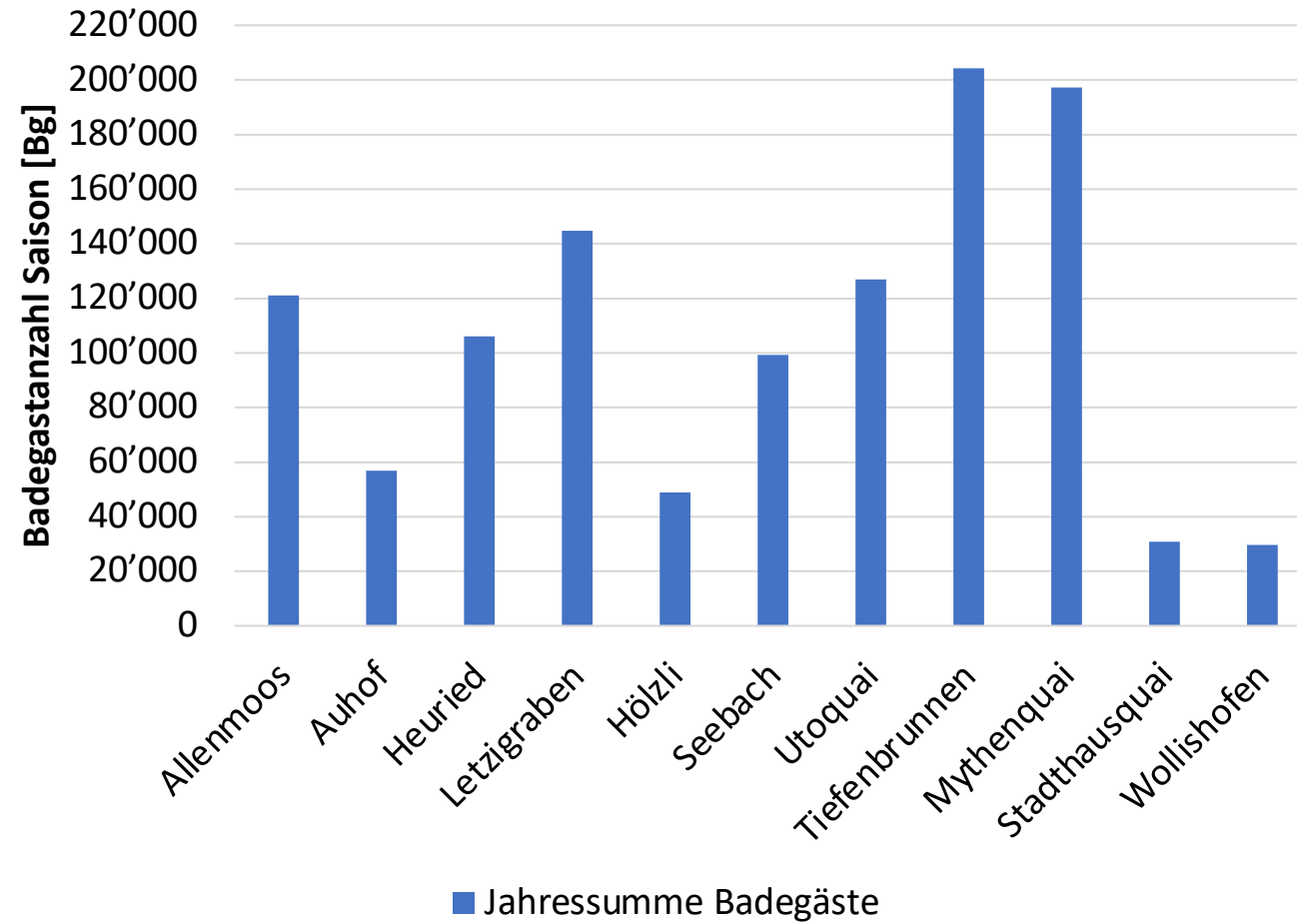
Utoquai (inkl. Sauna)



Stadthausquai

# Belastung durch Badegasteinträge

Saisonsummen Eintritte unterschiedlicher Bäder





# Belastung durch Badegasteinträge

Dynamik (Eintritte)

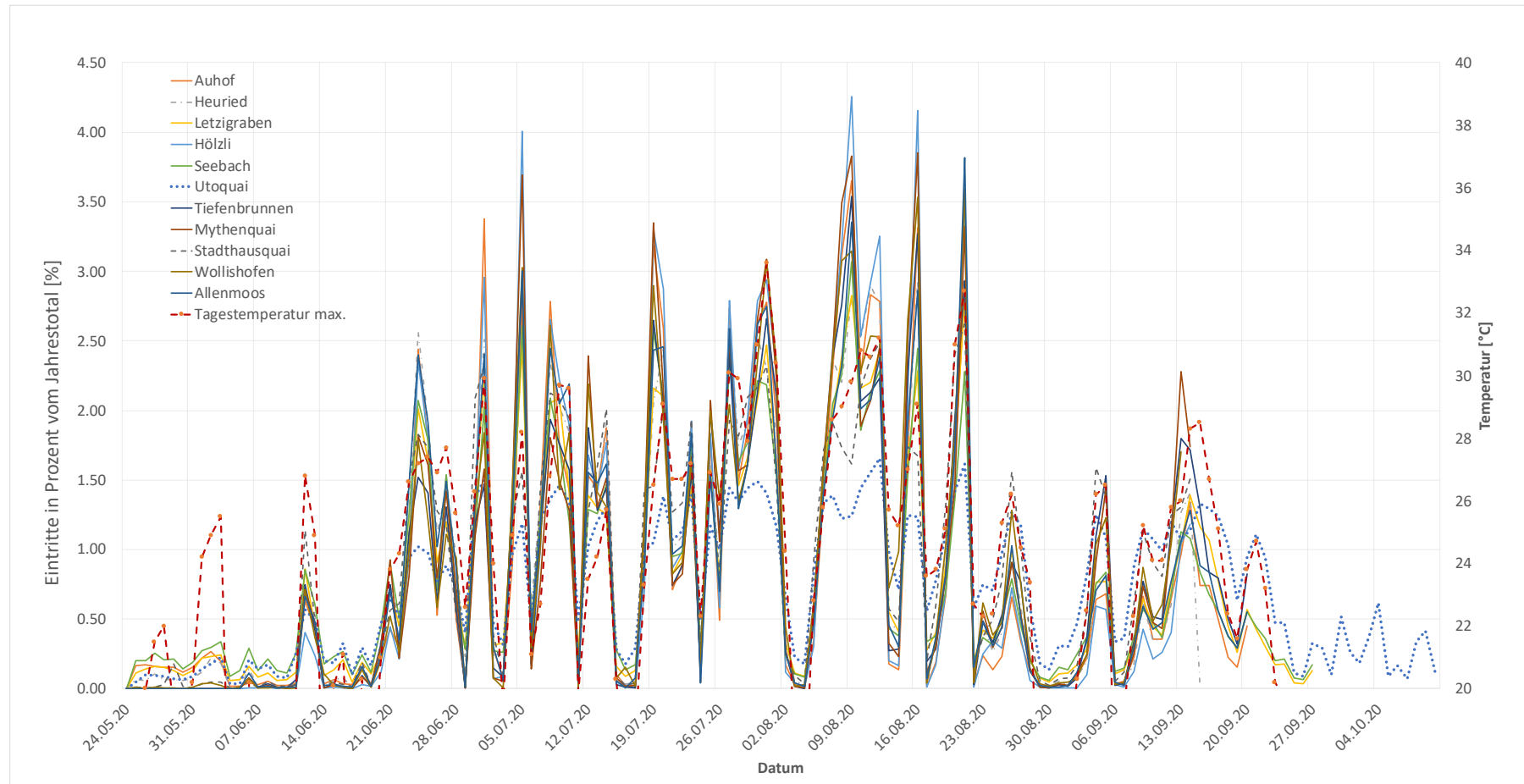
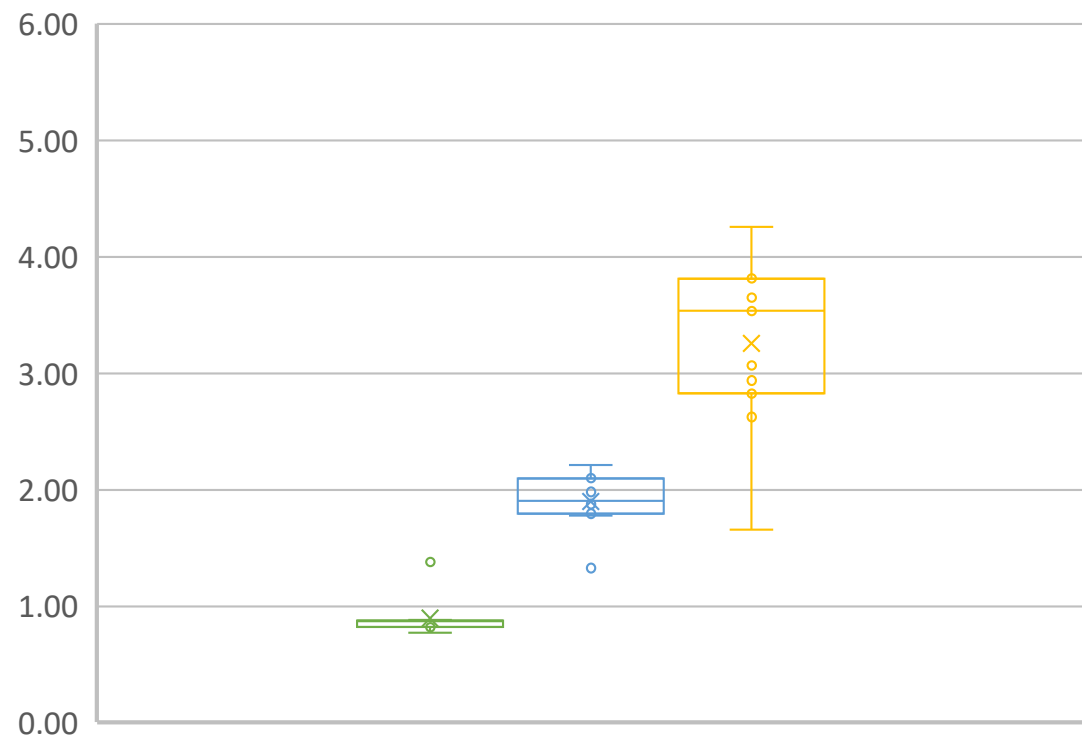


Abbildung: Verlauf der Anzahl Badegäste (in % der gesamten Badegastanzahl der Saison) verglichen mit der Tagedshöchsttemperatur.

# Belastung durch Badegasteinträge

Dynamik (Eintritte)



- Spitzenmonat, Tagesdurchschnitt Anteil Jahrestotal [%]
- Spitzenwoche, Tagesdurchschnitt Anteil Jahrestotal [%]
- Spitzentag, Tagesdurchschnitt Anteil Jahrestotal [%]

Abbildung: Badegäste in 11 öffentlichen Badeanlagen der Stadt Zürich, am Spitzentag und im Tagesdurchschnitt in der Spitzenwoche sowie Tagesdurchschnitt im Spitzenmonat, angegeben in % der gesamten Badegastanzahl der Saison.

# Merkblatt Badegast

## Definition eines Badegast

*Ein Badegast (Bg) wird als Person definiert, die während dem Aufenthalt im Schnitt 2.23 Badegänge durchführt.*



| Wert                                    | Standard Richtwerte         | Beispiel  |
|---|-----------------------------|-----------|
| Badegäste Summe Saison                  |                             | 10'000 Bg |
| Badegäste max. Spitzentag               | 4.25% der Jahressumme       | 425 Bg/d  |
| Badegäste Spitzenwoche<br>Tagesmittel Ø | 2.2% der Jahressumme        | 220 Bg/d  |
| Badegänge                               | 2.23 Badegänge pro Badegast |           |

# Eintrag – Verursacher im Betrieb

Vorgabe Norm SVS 2023

- Die Nennbelastung wird über die durchschnittlichen Badegasteintritte pro Tag kalkuliert, welche in den in der Spitzenwoche auftreten (Im Normalfall Juni oder Juli-Woche in der CH). Zur Abschätzung der zur erwartenden Nennbelastung sind in der Spitzenwoche als Richtwert täglich 2.25% der Badegast-Jahressumme zu berechnen. Spezielle lokale Gegebenheiten sind zu beachten.
- Die Wasseraufbereitungsanlage ist der Nennbelastung entsprechend über die Leistungsfähigkeit zur Entfernung von Belastungsstoffen (Partikel und Nährstoffe) zu dimensioniert.

# Szenarien diffuse Einträge über Luft

Quantitative Bestimmung der Belastungstoffe

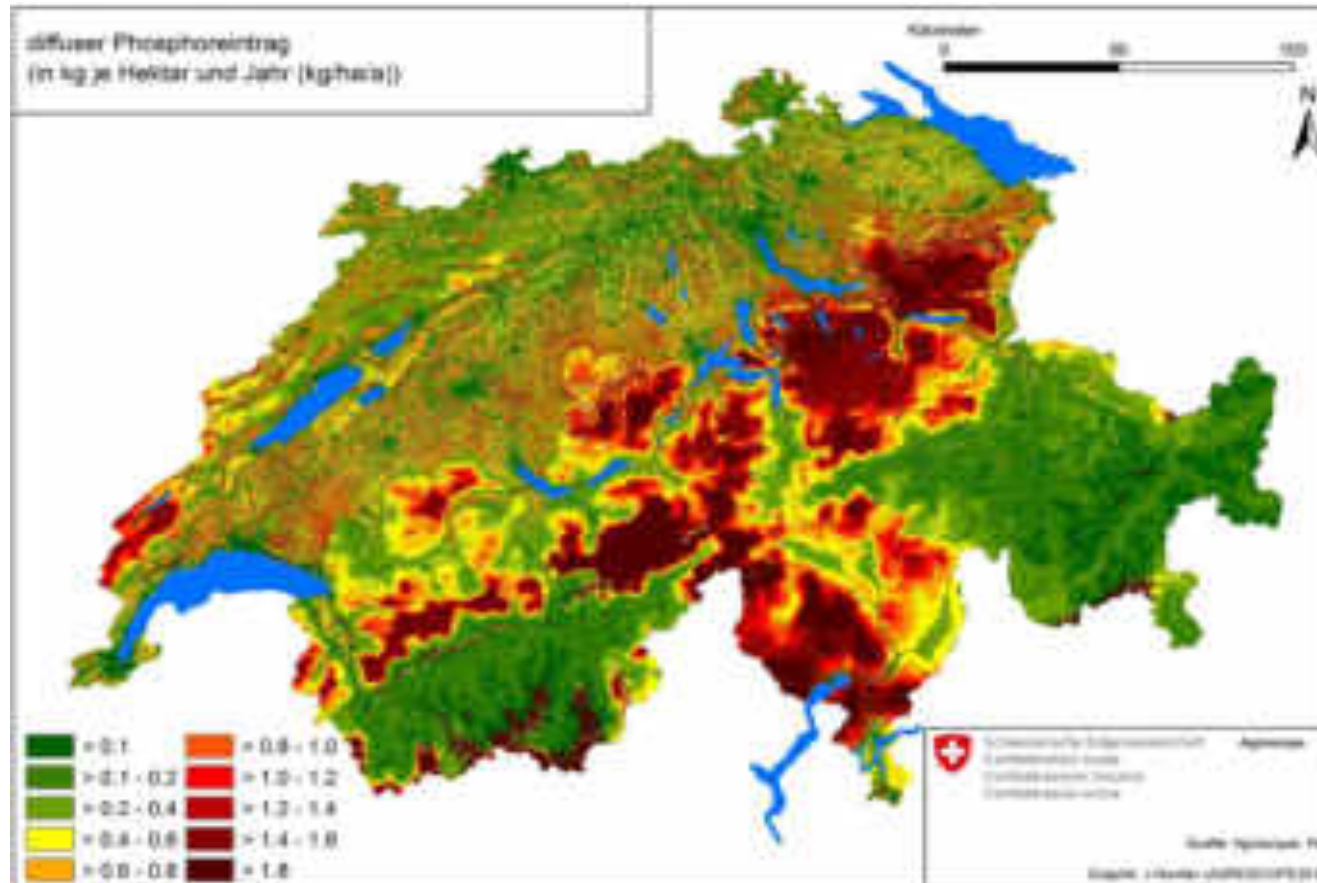


Abbildung:  
Abschätzung diffuser  
Phosphoreinträge in  
die Gewässer der  
Schweiz (Hürdler et  
al. 2015)

| Eintrag von: | Einheit                | Minimum | Maximum |
|--------------|------------------------|---------|---------|
| Phosphor     | [mg/m <sup>2</sup> /d] | 0.03    | 0.49    |
| Stickstoff   | [mg/m <sup>2</sup> /d] | 0.27    | 13.7    |

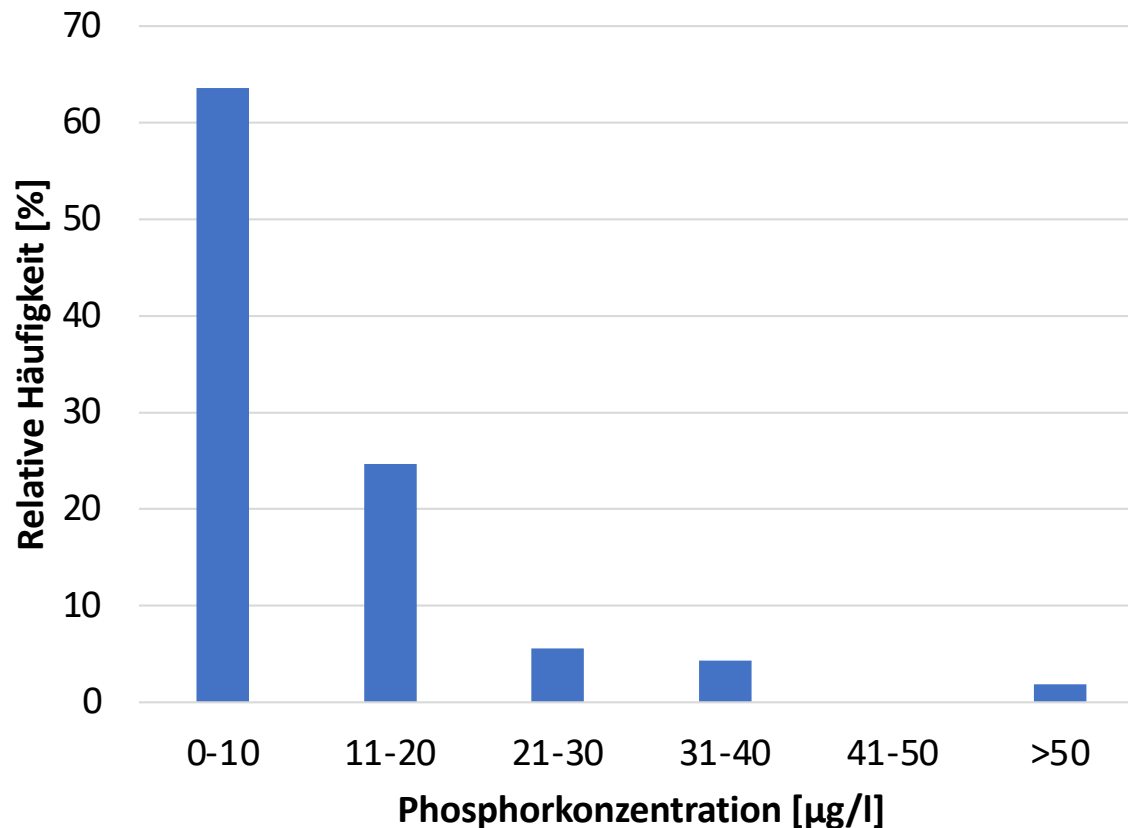
Tabelle: Tägliche  
Nährstoffeinträge (N, P) auf  
die Gewässeroberfläche über  
die diffuse Luftdeposition.  
Umgerechnet nach Hürdler et  
al. 2015; Seitler et al. 2014.



# Szenarien Nachfüllwasser - Phosphorgehalt

Quantitative Bestimmung der Belastungsstoffe

## Füllwasserqualität in der Schweiz



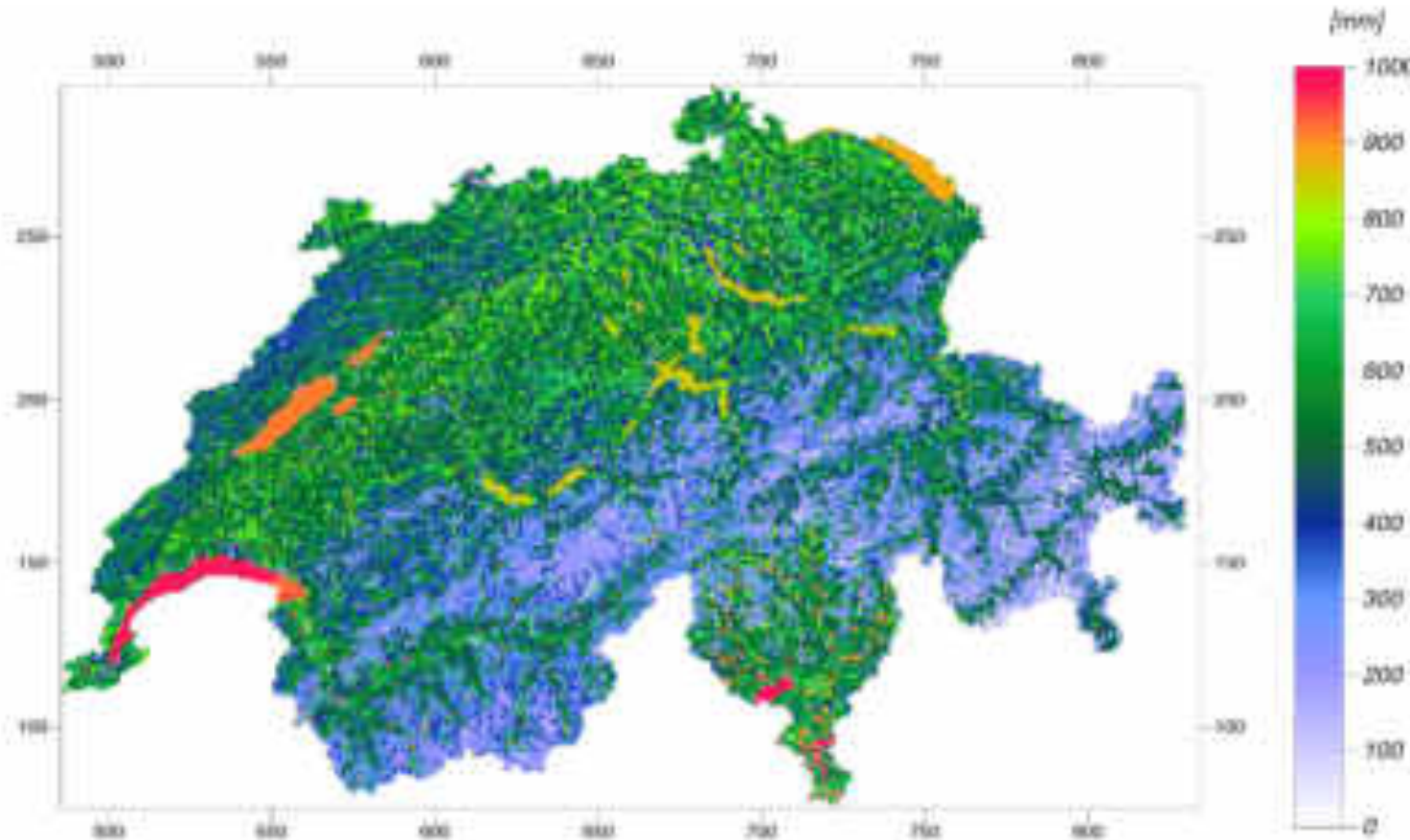
*Abbildung: Relative Häufigkeit des Phosphorgehalts in Füll- und Nachfüllwasser in der Schweiz (n=162). Auswertung von Resultaten von Kundenanalysen (mit Zustimmungserklärung und anonymisiert) aus der Labordatenbank des ASC SCHWEIZ*

12% der Proben überschritten den Toleranzwert, die meisten davon stammten von hauseigenen Quellfassungen oder Hydranten.

# Szenarien Nachfüllwasser - Verdunstungshöhen

Quantitative Bestimmung der Belastungsstoffe

Unterschiedlich starker Wasserverlust über die Verdunstung



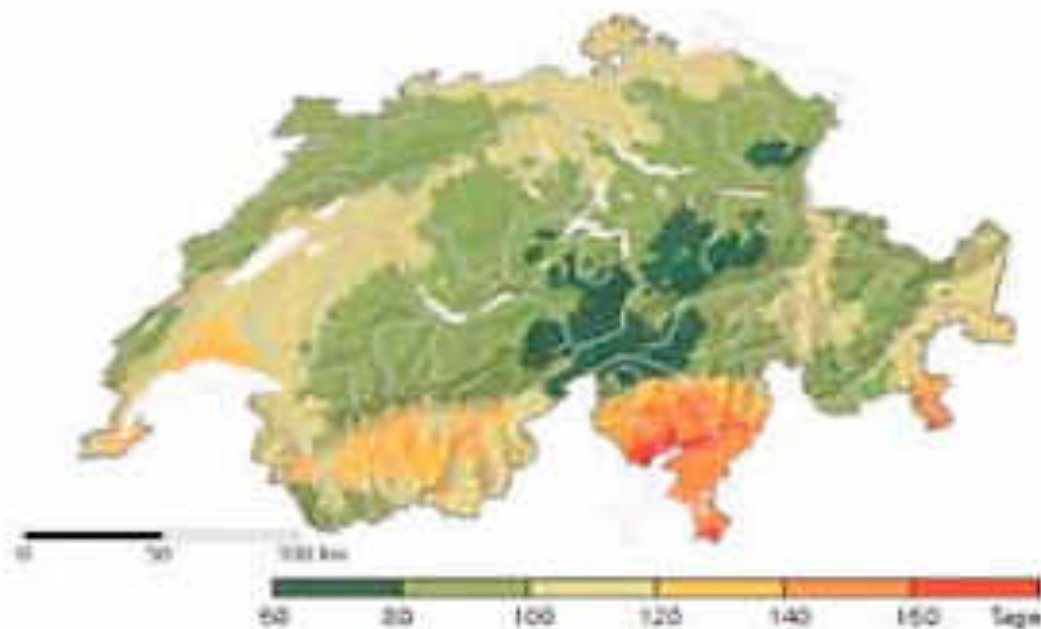
*Abbildung : Mittlere Jahresverdunstung des Zeitraumes 1973–1992 in der Schweiz (Pixel-darstellung). Die räumliche Auflösung beträgt einen Quadratkilometer. Die Achsenbeschriftung entspricht dem schweizerischen Koordinatensystem in Kilometern (Menzel, 1999).*

Die jährliche Verdunstungshöhe bei Gewässern beträgt in der Schweiz je nach Region und Höhenlage, bis **1000 mm/Jahr**. Zusätzlich kann die Verdunstungshöhe lokal (z.B. an Südhanglagen mit Thermik) erhöht sein (Menzel, 1999).

# Nachfüllwasser - Trockenperioden

Quantitative Bestimmung der Belastungstoffe

## Dauer von Trockenperioden



*Abbildung: Mittlere jährliche Gesamtdauer niederschlagsarmer Perioden zwischen 1961 und 1989 (Mühlethaler, 2004).*

Dauer der Trockenperioden unterscheiden sich in der Schweiz regional mit **60 bis über 160 Tage**.

# Szenarien Nachfüllwasser

Quantitative Bestimmung der Belastungsstoffe

Richtwerte für die Belastung durch Füllwasser  
(Analyse und effektive Berechnung erforderlich)



*Tabelle: Abschätzung der täglichen Phosphoreinträge in BAB über Badegäste, diffuse Luftdeposition und über das Nachfüllwasser zur Ausgleicheung der Verdunstungshöhe.*

| Eintragswege                     | Einheit                      | Richtwerte |      |        |
|----------------------------------|------------------------------|------------|------|--------|
|                                  |                              | Min        | Max  | Extrem |
| Nachfüllwasser Phosphorgehalt    | [ $\mu\text{g/L}$ ]          | 10         | 20   | 100    |
| Tägliche Verdunstungshöhe        | [mm]                         | 5          | 10   | 10     |
| Referenzfläche                   | [ $\text{m}^2$ ]             | 1          | 1    | 1      |
| Phosphorbelastung Nachfüllwasser | [ $\text{mg/m}^2/\text{d}$ ] | 0.05       | 0.20 | 1.0    |



# Abschätzung Einträge

## Zusammenfassung

*Tabelle: Abschätzung der täglichen Phosphoreinträge in BAB über Badegäste, diffuse Luftdeposition und über das Nachfüllwasser zur Ausgleichung der Verdunstungshöhe.*

| Eintragswege          | Einheit                | Phosphoreintrag   |                   |        |
|-----------------------|------------------------|-------------------|-------------------|--------|
|                       |                        | Min               | Max               | Mittel |
| Badegastgleichwert    | [mg/Bg/d]              | 20                | 100               | 60     |
| Luftdeposition diffus | [mg/m <sup>2</sup> /d] | 0.03              | 0.49              | 0.26   |
| Nachfüllwasser        | [mg/m <sup>2</sup> /d] | 0.05 <sup>1</sup> | 0.20 <sup>2</sup> | 0.15   |

<sup>1</sup> Minimal: 5 mm tägliche Verdunstungshöhe bei 10 µg/l Phosphorgehalt im Nachfüllwasser,

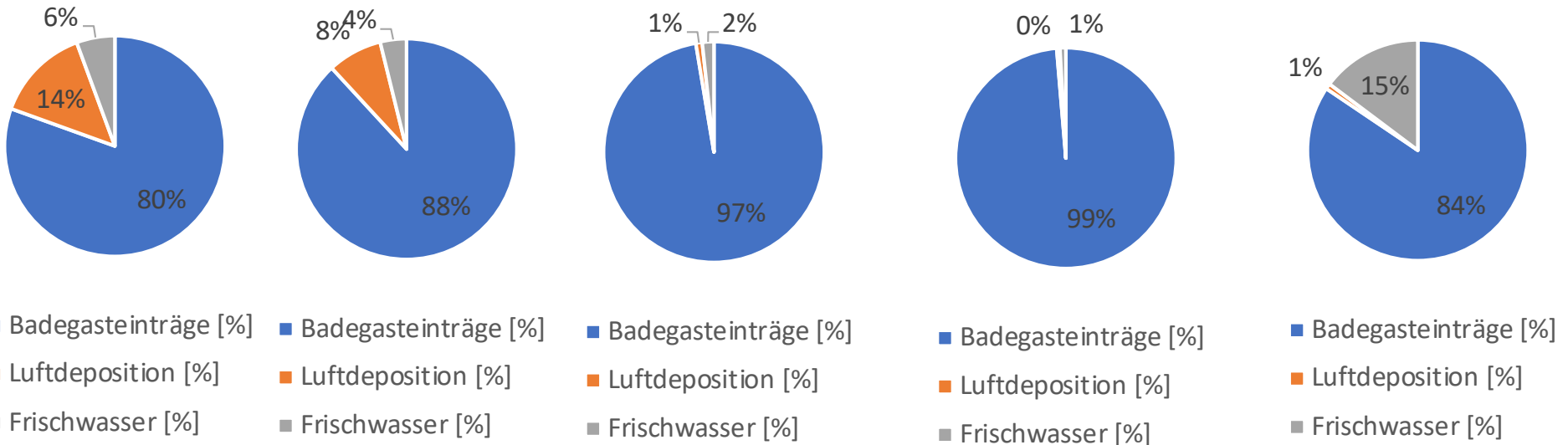
<sup>2</sup> Maximal: 10 mm tägliche Verdunstungshöhe bei 20 µg/l Phosphorgehalt im Nachfüllwasser.



# Relevanz verschiedener Einträge

Quantitative Bestimmung der Belastungsstoffe

Wie relevant sind die einzelnen Eintragswege?



| Parameter-Annahmen  |                      | Beispiel 1 | Beispiel 2 | Beispiel 3 | Beispiel 4 | Beispiel 5 |
|---------------------|----------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Trockentage         | [d]                  | 100        | 100        | 100        | 100        | 100        |
| Verdunstungshöhe    | [mm]                 | 10         | 10         | 10         | 10         | 10         |
| P im Nachfüllwasser | [µg/l]               | 20         | 15         | 10         | 10         | 50         |
| Nennbelastung       | [Bg/d]               | 4.5        | 4.5        | 4.5        | 9          | 4.5        |
| Badegastgleichwert  | [mg/Bg]              | 20         | 20         | 20         | 20         | 20         |
| Luftdeposition      | [mg/m <sup>2</sup> ] | 0.49       | 0.26       | 0.03       | 0.03       | 0.03       |

| Phosphoreinträge |     | Beispiel 1 | Beispiel 2 | Beispiel 3 | Beispiel 4 | Beispiel 5 |
|------------------|-----|------------|------------|------------|------------|------------|
| Badegäste        | [g] | 9.2        | 9.2        | 9.2        | 18.3       | 9.2        |
| Luftdeposition   | [g] | 1.6        | 0.8        | 0.1        | 0.1        | 0.1        |
| Nachfüllwasser   | [g] | 0.6        | 0.5        | 0.3        | 0.3        | 1.6        |
| Summe            | [g] | 11.4       | 10.5       | 9.6        | 18.7       | 10.8       |

# Belastung durch Einträge - Zusammenfassung

## Quantitative Bestimmung der Belastungsstoffe

### Zusammenfassend

#### Badegäste:

- Die Annahmen der Eintragsmenge pro Badegast variiert in den Theorien ca. um Faktor 5
- Die Dynamik der Badetätigkeiten und der entsprechenden Einträge ist täglich sehr unterschiedlich und dynamisch, im öffentlichen Bereich klar temperaturabhängig.
- Im Normalfall ist die Badegastanzahl der relevanteste Eintragsfaktor für Phosphor

#### Luftdeposition:

- Lokale kleinräumige Unterschiede, im Vergleich zu den Badegasteinträgen im Normalfall geringer Anteil.

#### Nachfüllwasser

- Abhängig von der Wasserqualität, Region, Höhenmeter und Lage können Verdunstung und Niederschläge mehr oder weniger relevante Faktoren für die Planung sein. Die Lokalen Gegebenheiten müssen beachtet, einbezogen und allfällige Massnahmen (Erhöhte Retention oder Voraufbereitung) getroffen werden.

#### Weitere Einträge

- Einträge von Blättern und grösseren Partikeln werden nicht in die Nährstoffbilanz miteinbezogen. Es wird davon ausgegangen, dass Feststoffe und Partikel über die mechanische Filtration (Siebe, Feinfilter, Roboter) entfernt werden können, bevor Nährstoffe in Lösung gehen.

# Eintrag – Verursacher im Betrieb

Nicht vollständig vermeidbare Einträge

## Lufteintrag:

Gravitationsdeposition (trocken & nass),  
Gasdeposition, Interzeption  
(Schwebestaub, Nebel, Aerosole)



**Pflanzliche Biomasse**  
Laubfall, Blütenstaub



## Badegast:

Menschliche Ausscheidungen (Urin, Fäkal),  
Hauptschuppen, Hauttalg, Dreck  
Kosmetik (Seifenreste, Salben, Öle)



## Nachfüllwasser

Nährstoffgehalt,  
Phosphor

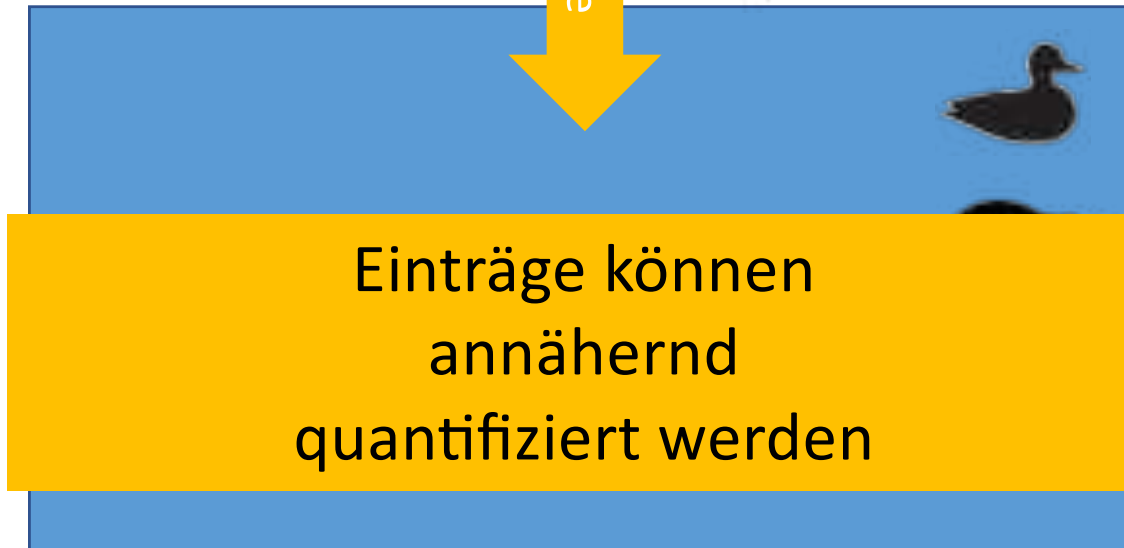


## Tiere

Nährstoffeintrag,  
Ausscheidungen,  
(mech. Beschädigung)



Einträge



Einträge können  
annähernd  
quantifiziert werden

# Eintrag – Verursacher im Betrieb

Vorgabe Norm SVS 2023

Eintrag = Summe der relevanten (nicht vermeidbaren)  
Einträge in mgP/d:

- Phosphoreintrag pro Badegast,
- Phosphoreintrag über Luftdeposition über die Wasseroberfläche,
- Phosphoreintrag über die Nachspeisung mit Frischwasser.

# Austrag – Ziel

## Lufteintrag:

Gravitationsdeposition (trocken & nass),  
Gasdeposition, Interzeption  
(Schwebestaub, Nebel, Aerosole)



**Pflanzliche Biomasse**  
Laubfall, Blütenstaub



## Badegast:

Menschliche Ausscheidungen (Urin, Fäkal),  
Hautschuppen, Hauttalg, Dreck  
Kosmetik (Seifenreste, Salben, Öle)



## Nachfüllwasser

Nährstoffgehalt,  
Phosphor



Einträge



## Tiere

Nährstoffeintrag,  
Ausscheidungen,  
(mech. Beschädigung)

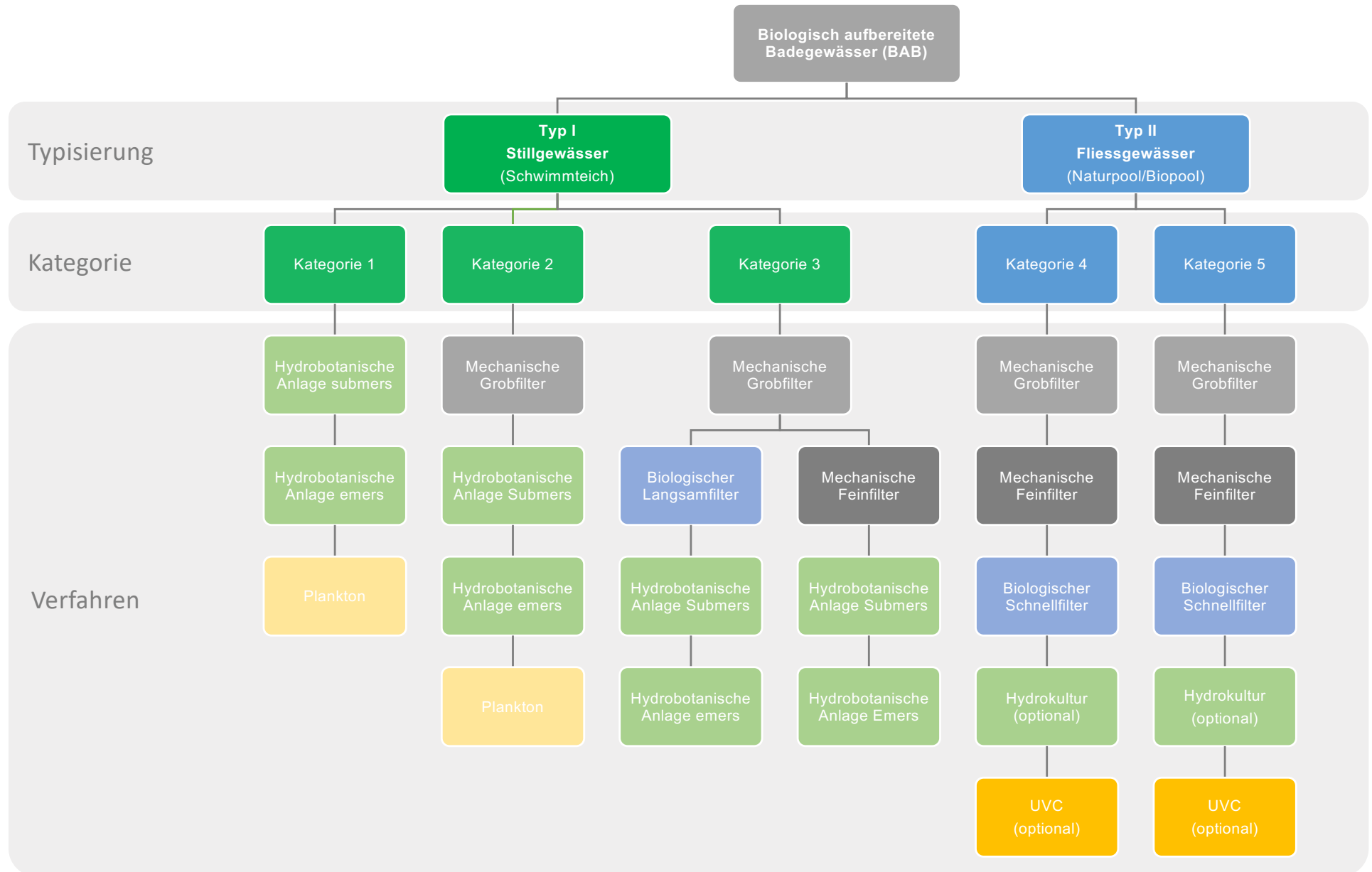


Ziel der biologischen Wasseraufbereitung: Alles was eingetragen wird, sollte in Summe auch wieder ausgetragen werden!



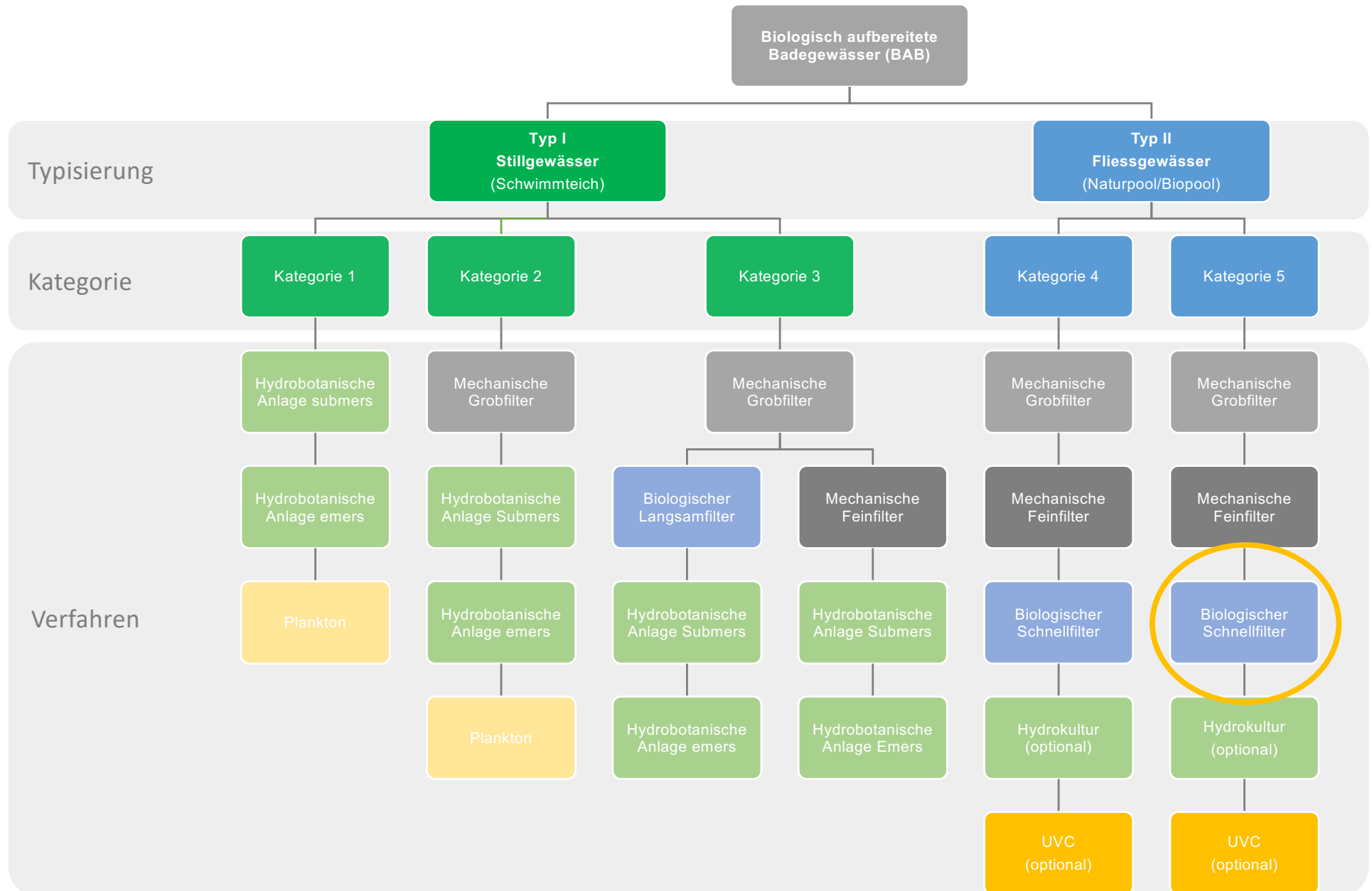
# Austrag

Anerkannte, kategoriespezifische Wasseraufbereitungsketten in  
Badanlagen mit biologischer Wasseraufbereitung (Frei 2021)



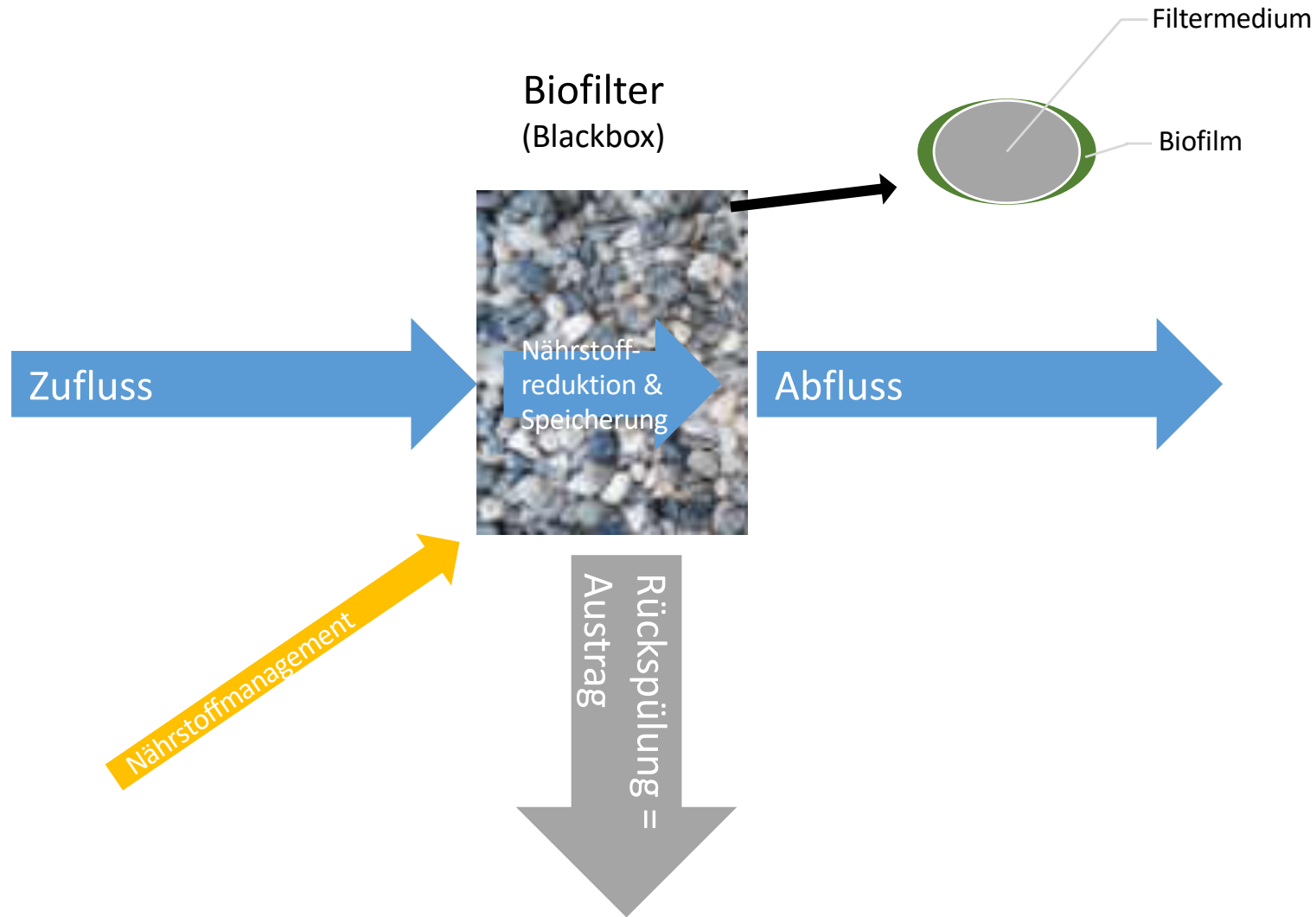
# Austrag – Fokus biologische Schnellfilter

Anerkannte, kategoriespezifische Wasseraufbereitungsketten in Badanlagen mit biologischer Wasseraufbereitung (Frei 2021)



# Biofilter

Grundfunktionsweise von biologischen Schnellfiltern



Quelle: Frei, M., Junge, R. und Antenen, N. (2021): Projekt Biofilter, Filterteststand als Basis für Produktsicherheit und Innovation im Bereich der biologischen Badewasseraufbereitung, Wädenswil: ZHAW.

# Einschub: Biologische Wasseraufbereitung

Anerkannte Verfahren zur Aufbereitung von Wasser in Bädern mit biologischer Wasseraufbereitung (Frei, 2020)

## Biol. Schnellfilter

Festbettfilter

### Hauptaufgabe:

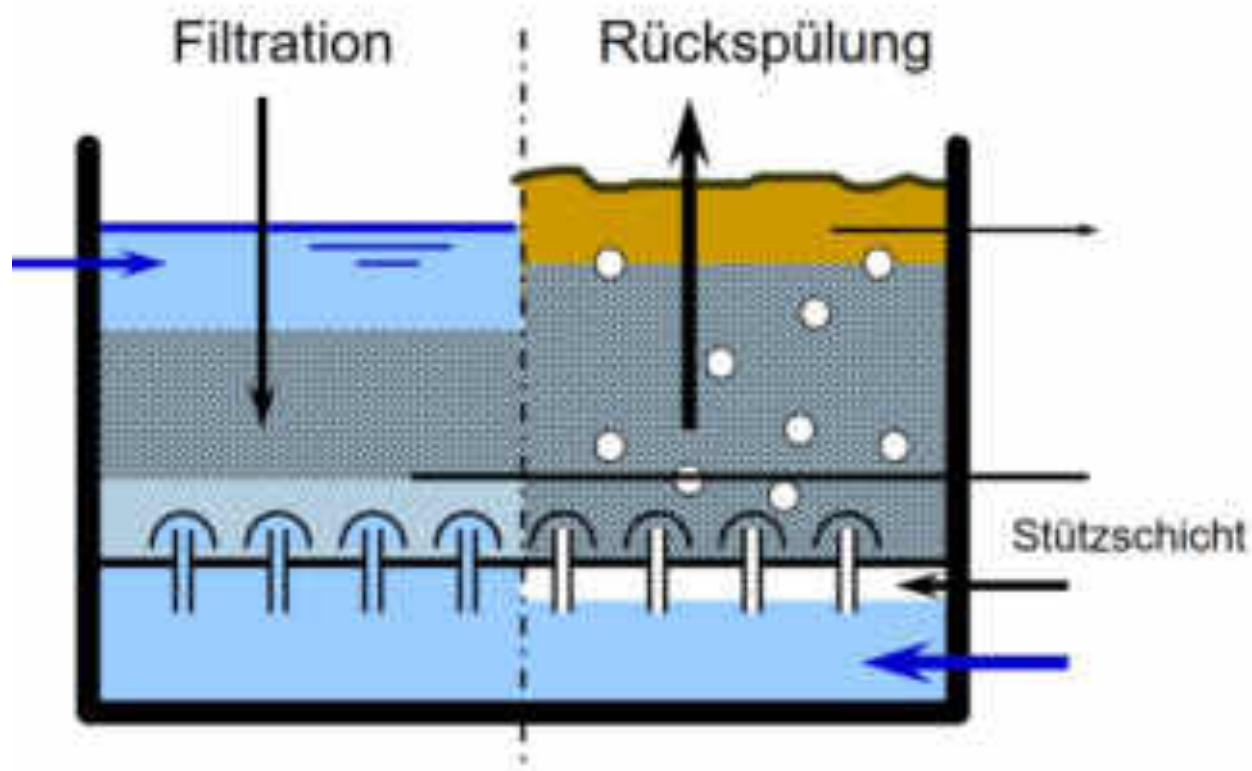
Bindung gelöster Nährstoffe,  
Biofilmbildung, Siebung,  
Sorptions partikulärer Stoffe

### Vorteile:

Unterflur möglich

### Nachteile:

Bautechnischer Aufwand





So bitte definitiv nicht!!!!



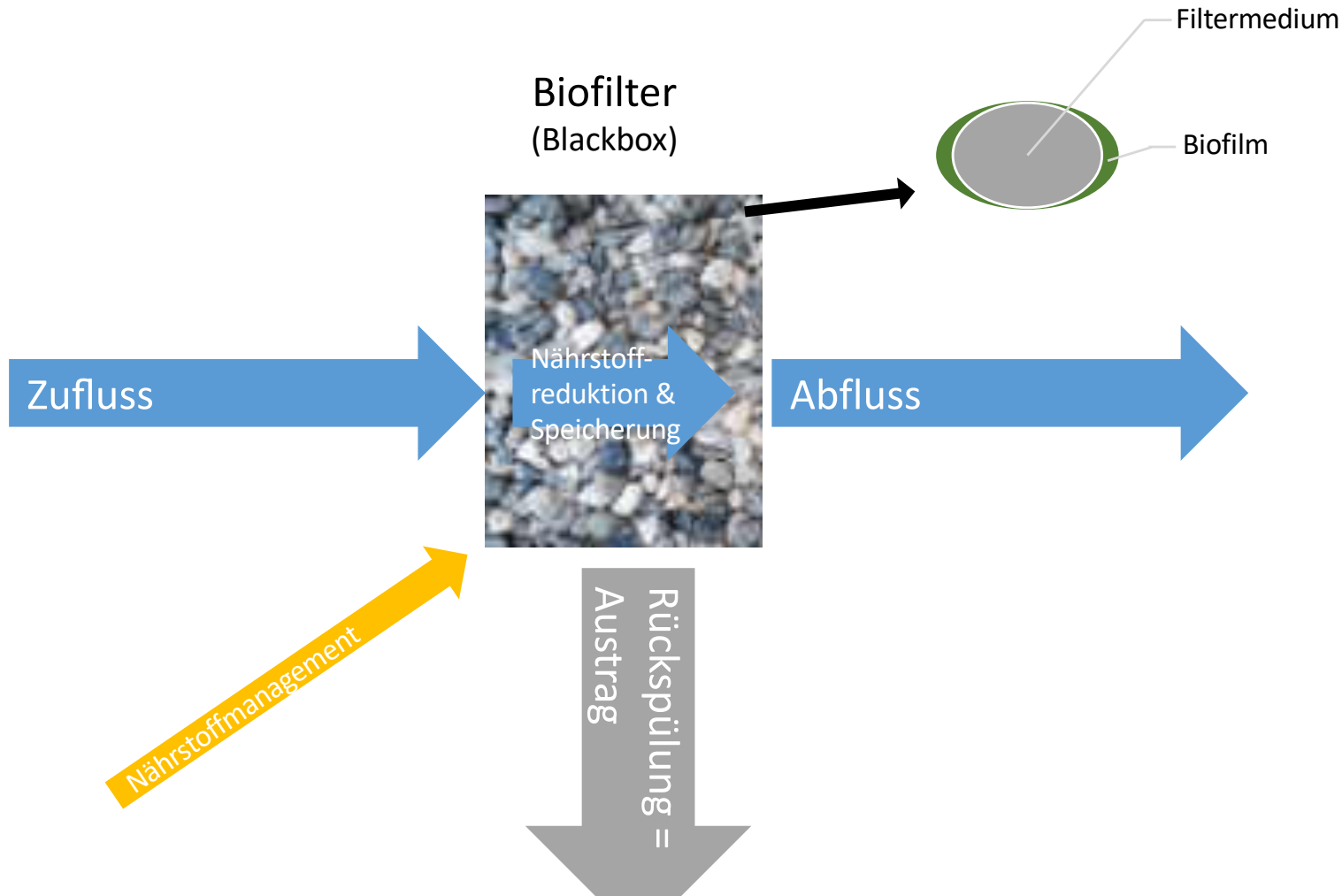




Rückspülbarkeit muss gewährleistet sein  
Sonst geht die Bilanz ganz sicher nie auf!

# Biofilter

Grundfunktionsweise von biologischen Schnellfiltern



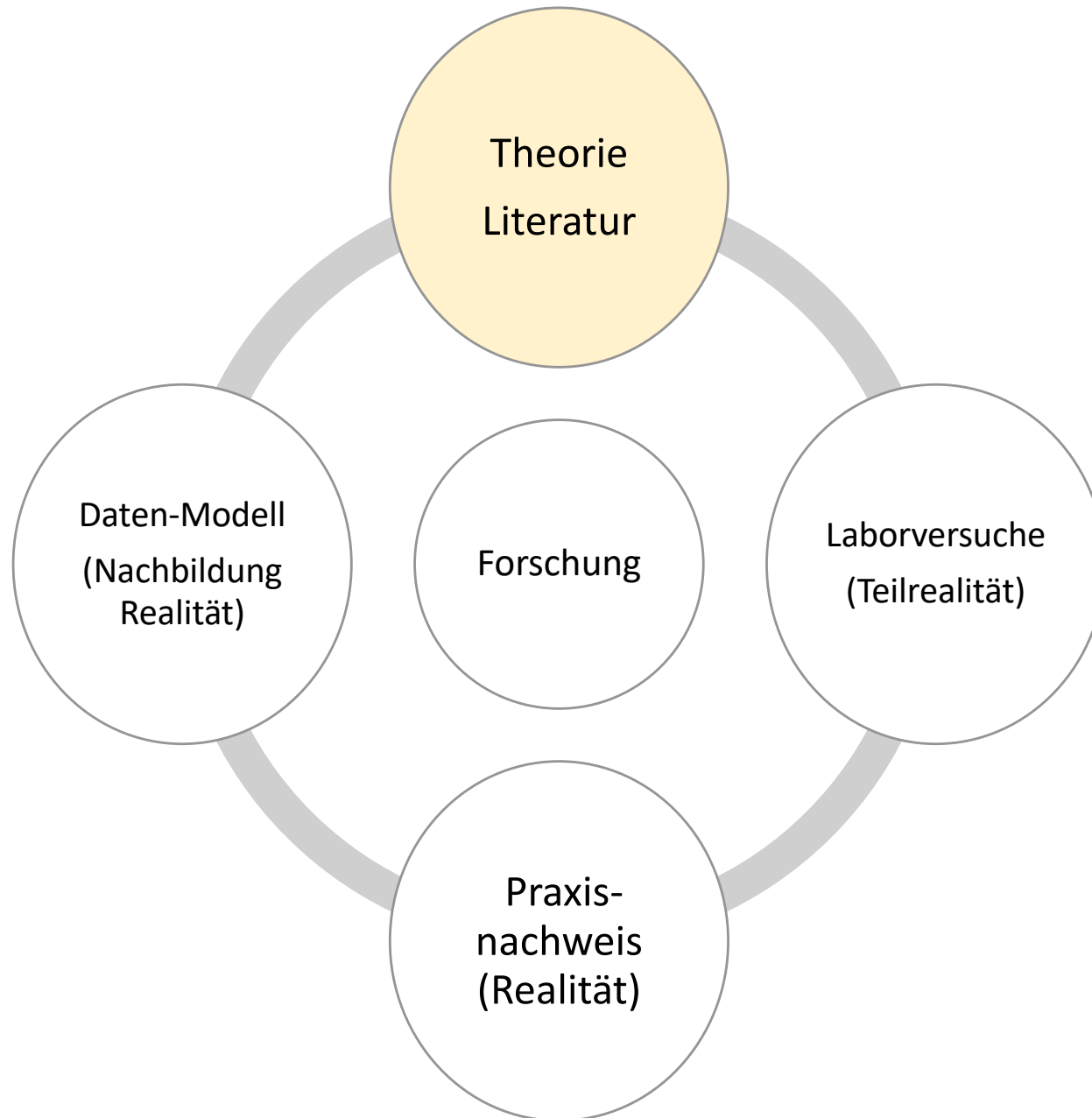
**Wie gross muss ein Biofilter sein und wie hoch ist die effektive Leistung?**

Quelle: Frei, M., Jung  
Bereich der biologisc

vation im

# Forschung Bausteine

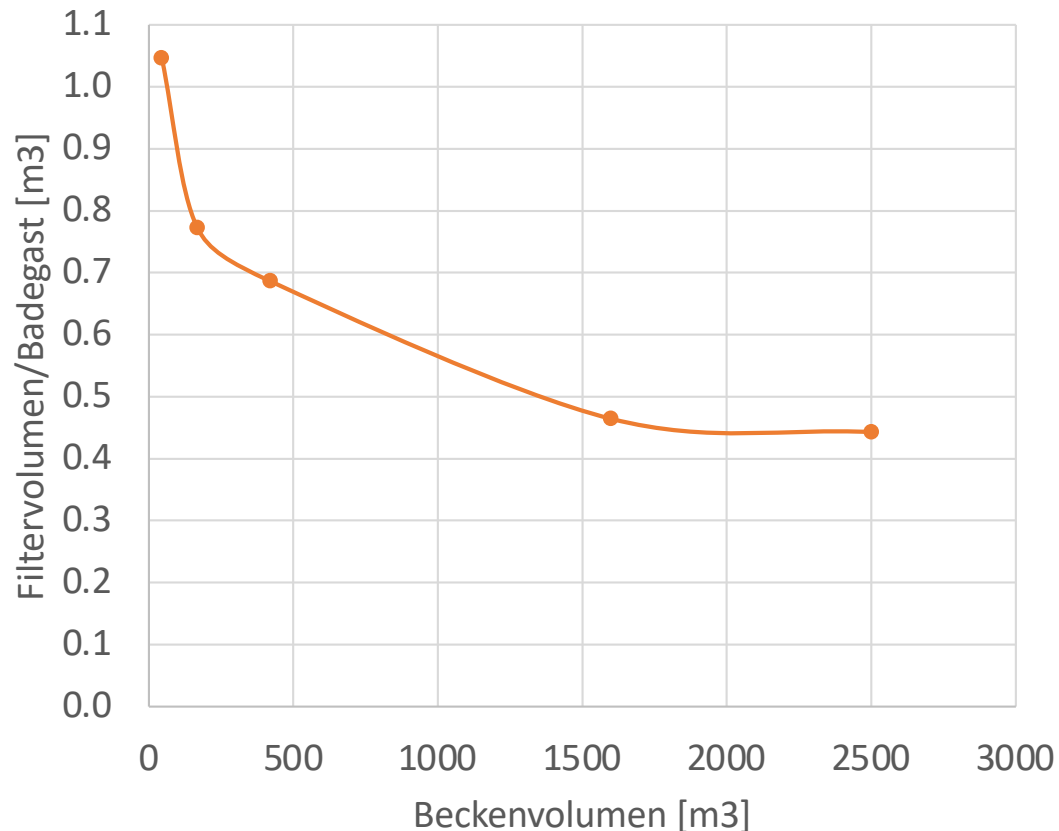
Unterschiedliche Herangehensweisen zur Plausibilisierung von Resultaten



# Biologische Schnellfilter

Resultat Dimensionierung Kategorie 4 bisher mit 1:50 Regel

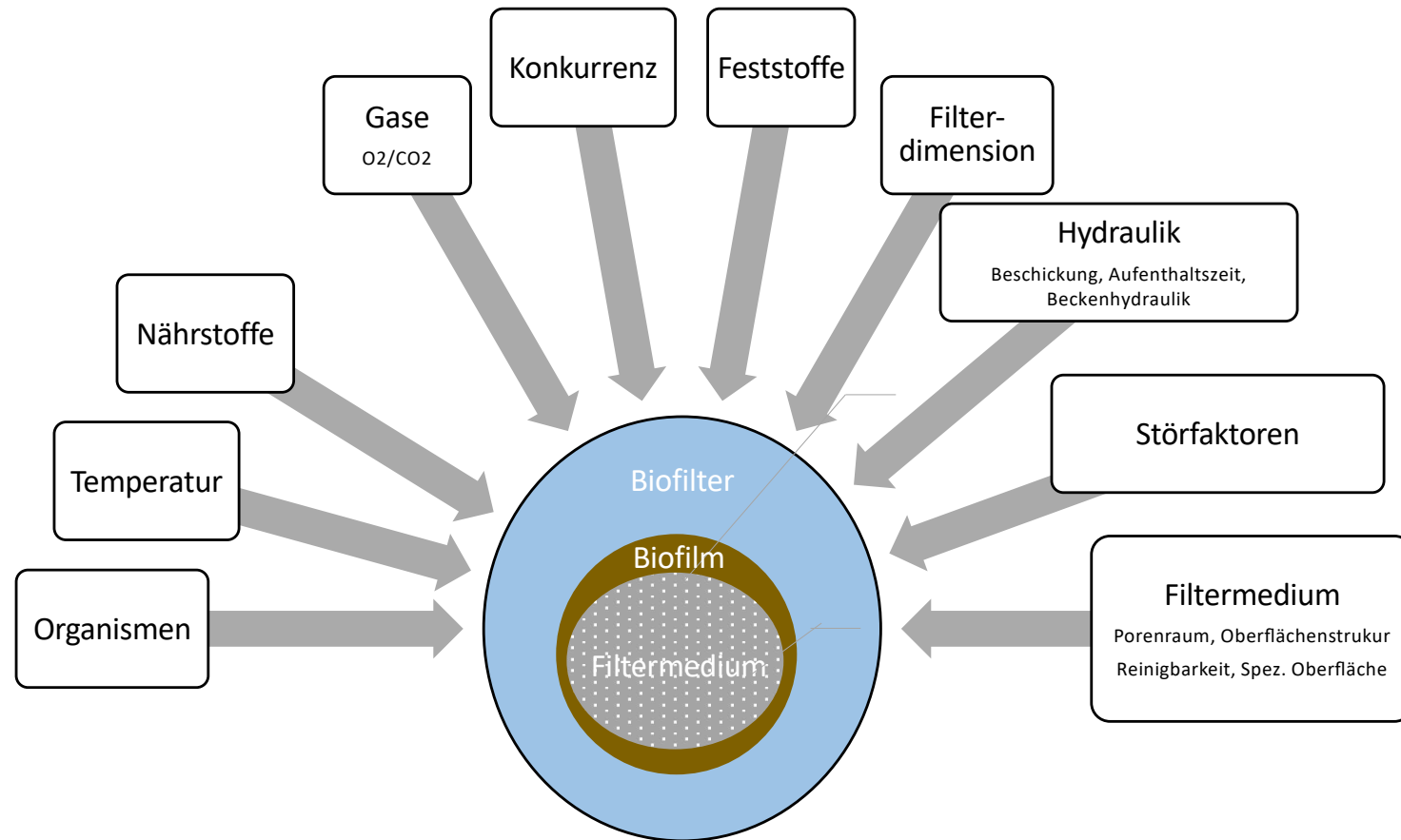
Wie wurde ein Biofilter bisher dimensioniert?



*Abbildung: Resultierende Filtervolumen pro Badegast bei maximal möglicher Nennbelastung, dimensioniert nach SVBP (2012), mit Filtermedium mit einer spezifischen Oberfläche von  $800 \text{ m}^2/\text{m}^3$ , bei unterschiedlichen Beckengrößen.*

Resultat: bei grösseren Anlagen nimmt die Menge an Filtermedium (Berechnet über Beckenoberfläche) im Verhältnis pro zugelassenen Badegast (über Volumen berechnet) ab. → Ein Biofilter bei einem grösseren Beckens müsste mehr leisten können...

# Faktoren mit Einfluss auf die Biofilterleistung





# Biofilter – Leistungsdefinition

Definition der Leistung von biologischen Schnellfiltern

**Vorgeschlagene Grundsatz-Formel für die Berechnung der Leistung von Biofiltern:**

$$\text{Filterleistung [mgP/m}^3\text{/d]} = \frac{\text{Reduktion Summe Phosphor [mgP]} / \text{Filtermaterial-Volumen [m}^3\text{]} / \text{Tage}}{\text{Versuchsdauer [d]}}$$

Kann die Leistung eines biologischen Filters überhaupt „normiert“ werden?

# Biologische Schnellfilter

Theoretische Herleitung der erforderlichen Leistung mit 1:50 Regel und Standardbelastung

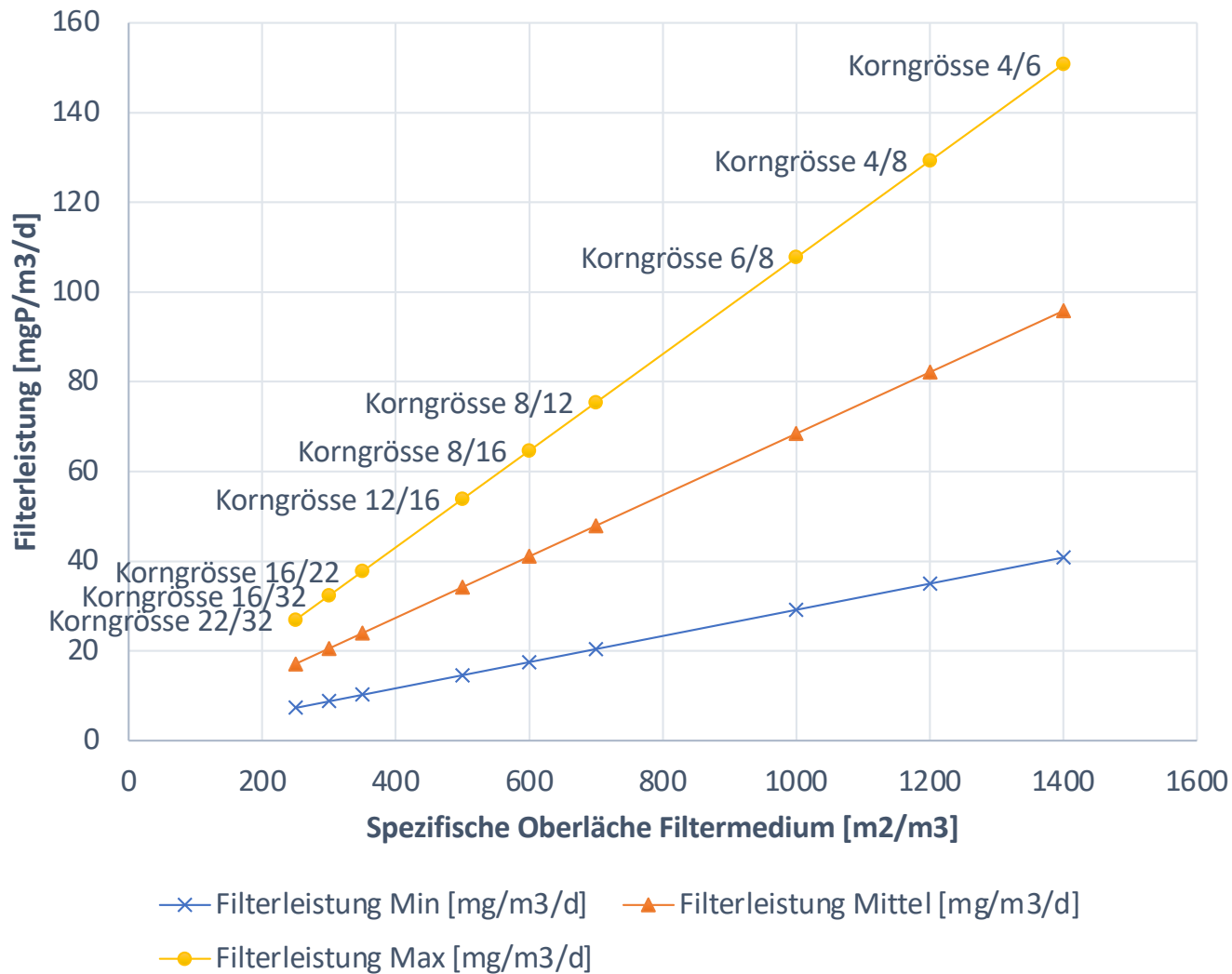


Abbildung: Abschätzung der Phosphorentzugsleistung von Biofilter mit Rundkies verschiedener Korngrößen, hergeleitet über die Dimensionierungsregeln des SVBP (2012) anhand eines Standardbeckens (8m x 4m x 1.4m) und den Eintragsabschätzungen.

## Beispiel Resultat:

Rundkorn 4/8, 1200 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>

Leistung Min: **35 mg/m<sup>3</sup>/d**

Leistung Max: **129 mg/m<sup>3</sup>/d**

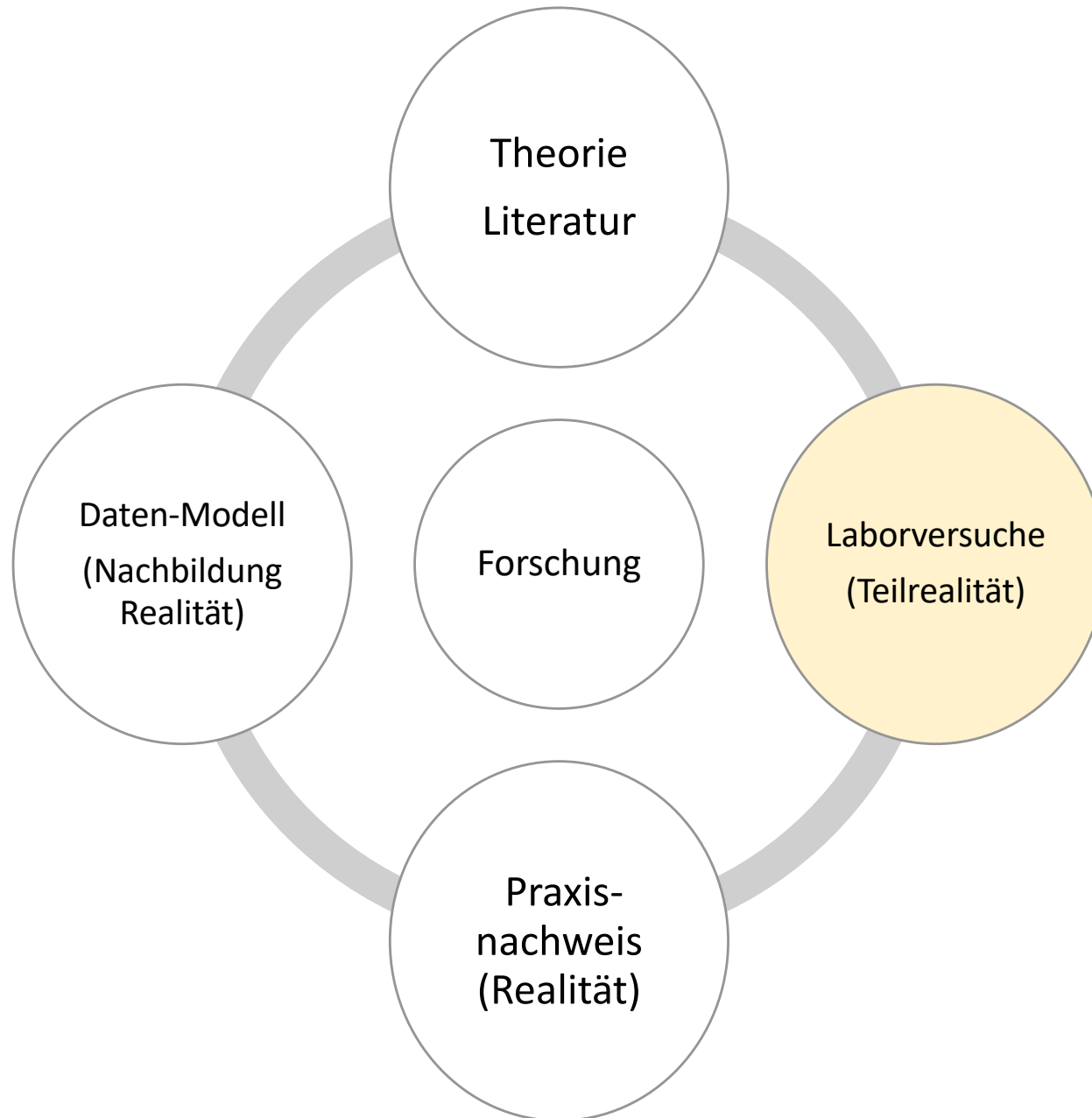
= Theoretisch erforderliche Biofilterleistung

Wird die Filterleistung unterschätzt oder überschätzt?



# Forschung Bausteine

Unterschiedliche Herangehensweisen zur Plausibilisierung von Resultaten



# Methoden zur Leistungsdefinition von Biofiltern

Vorgehen mit unterschiedlichen Projekten

*Tabelle: Verschiedene Ansätze zur Leistungsdefinition von Biofiltern und zur Plausibilisierung einzelner Resultate*

| System                | Biopools mit biologischen Schnellfiltern  |   |   |  |   |
|-----------------------|---|---|---|--|---|
| System Art            | System-Theorie  | Experimentelles Labor-System  | Datenmodell-System  | Reales System  | Reales System Element   |
| Vorgehen              | Literaturrecherche, mathematische Annäherung und Beschreibung   | Labor Teststand Experimente   | Daten-Model mit Einbezug der relevanten Faktoren (Annahme) und Daten aus in-situ Messungen      | Messungen Nutzungsbereich <i>in situ</i>                       | Messungen Biofilter <i>in situ</i>  |
| Bezeichnung           | Theorie   | Teststand Experimente   | Leistungstest Simulation  | in situ  | Batch in situ   |
| Output                | Annäherung Leistung über vorhandene theoretische Annahmen   | Leistung Biofilter im Teststand   | Simulation Phosphor-verlauf Nutzungs-bereich  | Phosphor-verlauf Nutzungs-bereich & Nennbesucherzahl<br>n      | Leistung Biofilter <i>in situ</i>   |
| Plausibilitätsprüfung | Vergleich mit allen anderen Daten   | Vergleich mit allen anderen Daten   | Überprüfung der Übereinstimmung von Modell und Realität   | Das ist die Realität, aber auch das Optimum?                   | Das ist die Realität, aber auch das Optimum?  |
| Weiteres vorgehen     | Anpassung der theoretischen Annahmen und Formulierung von Optimierungs- sowie Planungsgrundlagen                          | Optimierung Teststandverfahren, Test weitere Filter   | Optimierung Modell  | Optimierung des realen Systems und Monitoring der Auswirkungen | Optimierung des Biofilters und Monitoring der Auswirkungen                                      |
| Ziel                  | Norm mit Grundlagen für die Planung eines Systems, welches in der Realität die definieren Qualitätsanforderungen erfüllt. | Test verschiedener Biofilter unter klar definierten Bedingungen zur Leistungsdefinition (und mehr Verständnis zur Funktion der Black-Box) | System-Modell, welches die relevanten Faktoren einbezieht und die Realität ausreichend abbildet | Qualitätsanforderungen in situ werden erfüllt.                 | Test verschiedener Biofilter unter möglichst klar definierten Bedingungen zur Leistungs-prüfung |



# Projekt Biofilter

Haupt-Projektpartner



# Biofilter Laborversuche

## Methode

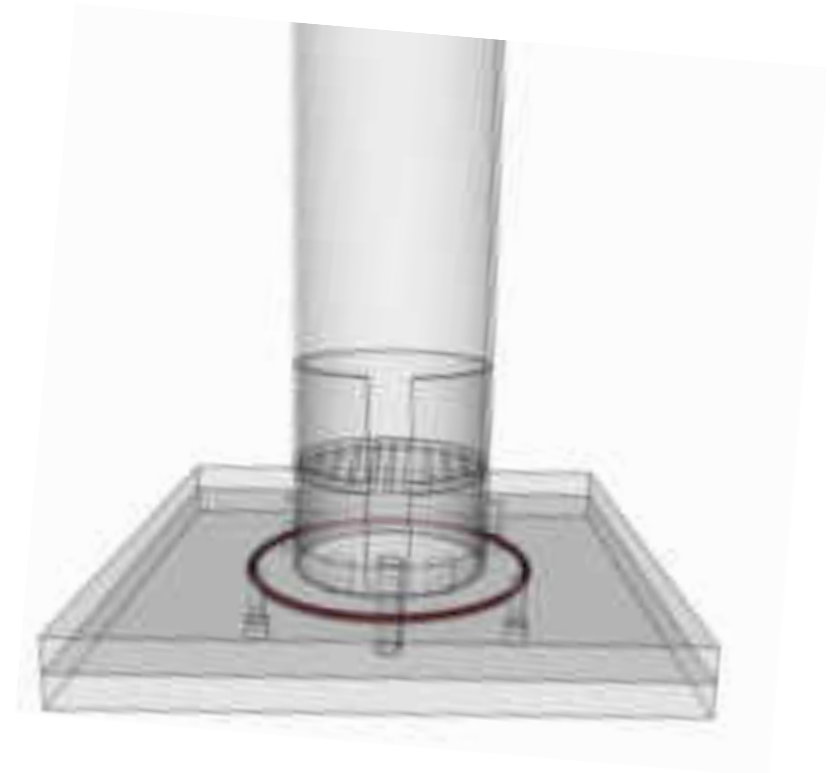
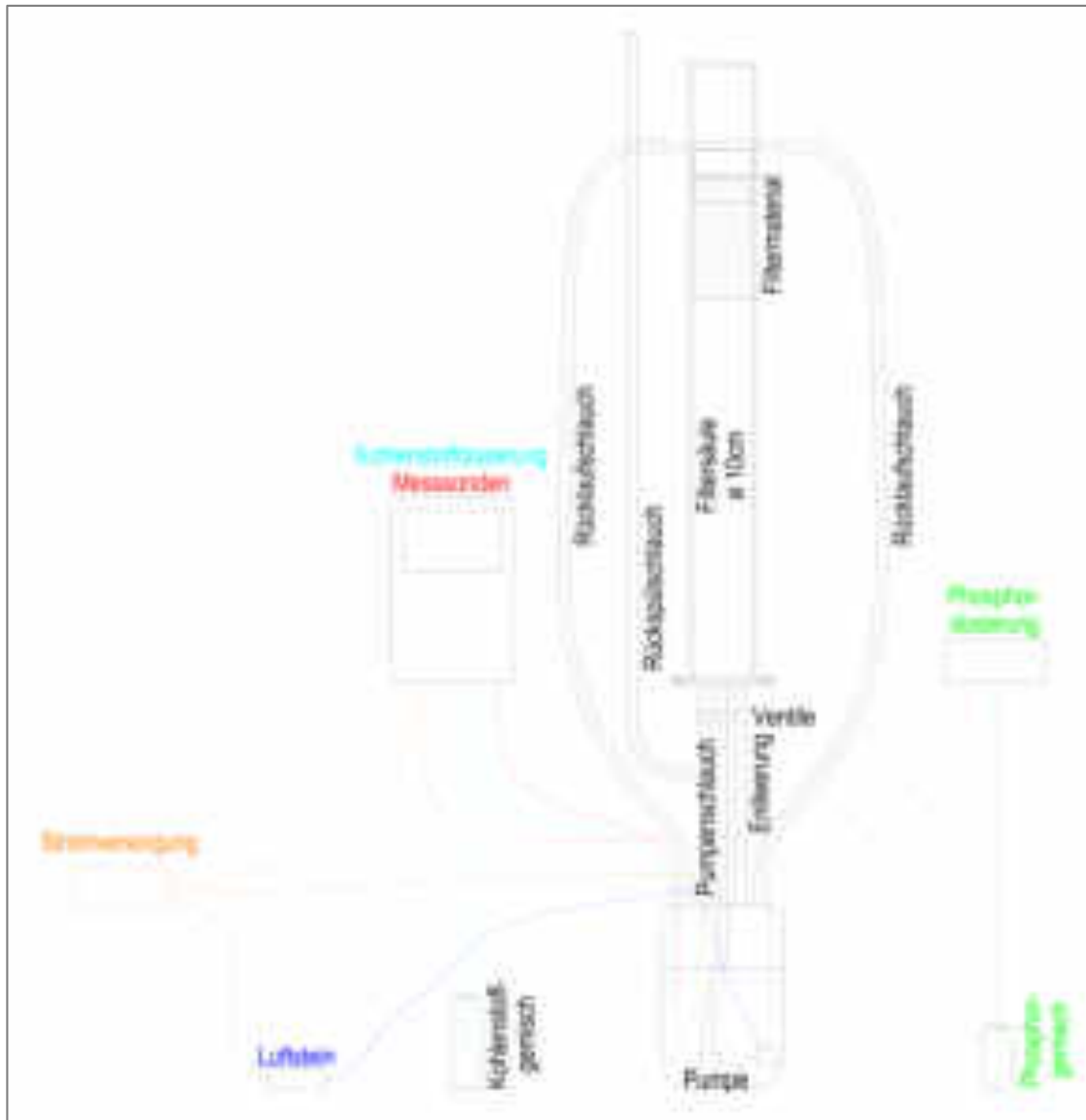


Abbildung: 3D-Ansicht des Säulenfußes mit Dichtring-Nut und Siebplatte zwischen den Klemmrings.

Abbildung: Schema eines Teststands mit den dazugehörigen technischen Einrichtungen

# Biofilter Laborversuche

## Vorteile & Nachteile



*Abbildung: Ansicht der Teststände (Dichtigkeitstest ohne Filtermedien)*

# Biofilter Laborversuche

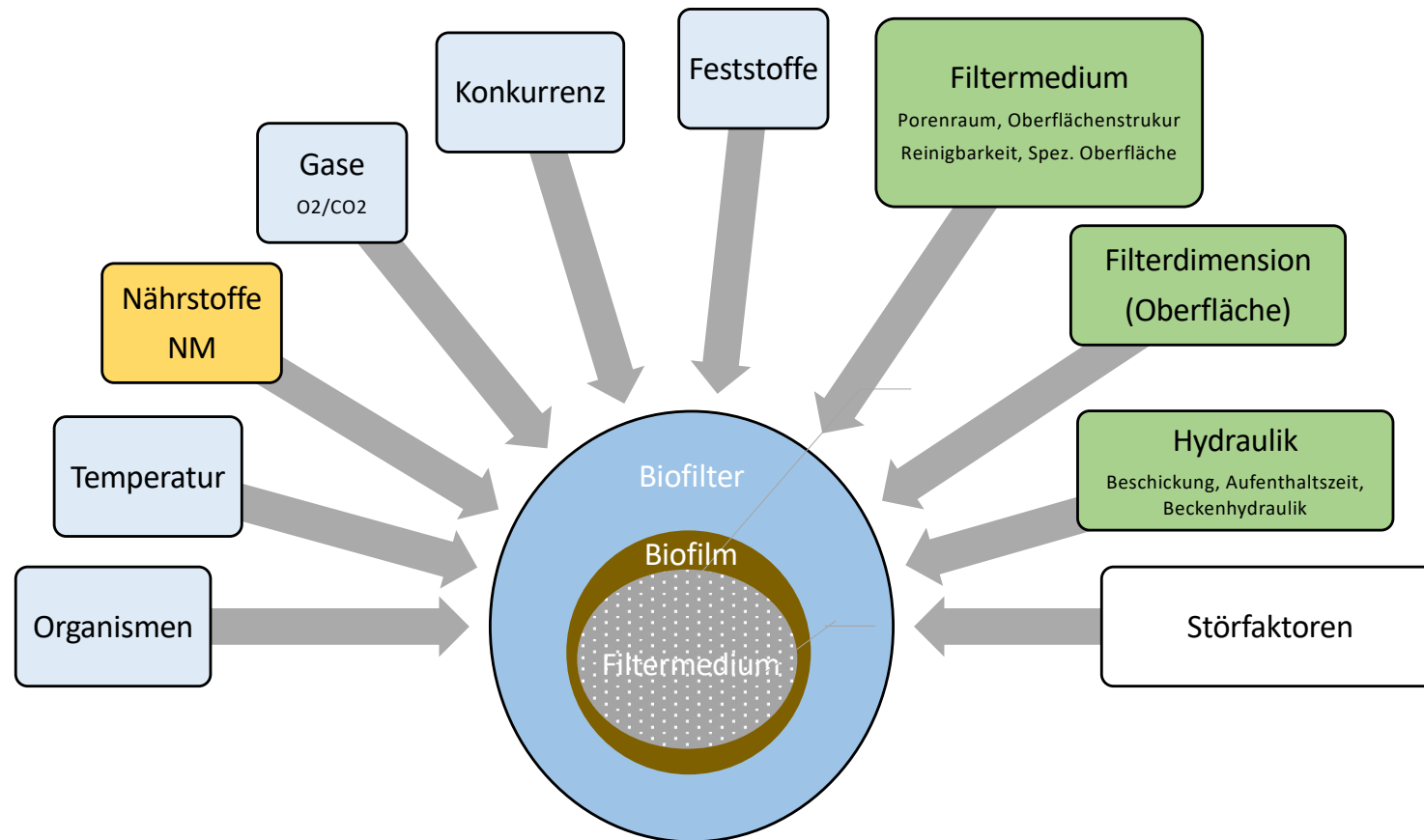
## Vorteile & Nachteile



Abbildung: Ansicht der Teststände (Dichtigkeitstest ohne Filtermedien)

# Faktoren mit Einfluss auf die Biofilterleistung

Eine grobe Zusammenfassung



Bedingt beeinflussbar, aber zu beachten

Beeinflussbar und grundlegend für die Funktionstüchtigkeit

Beeinflussbar und sehr relevant für die Höhe der Leistung



# Biofilter Laborversuche

Resultate – Auszug aus Hauptversuch 6 (HV6)

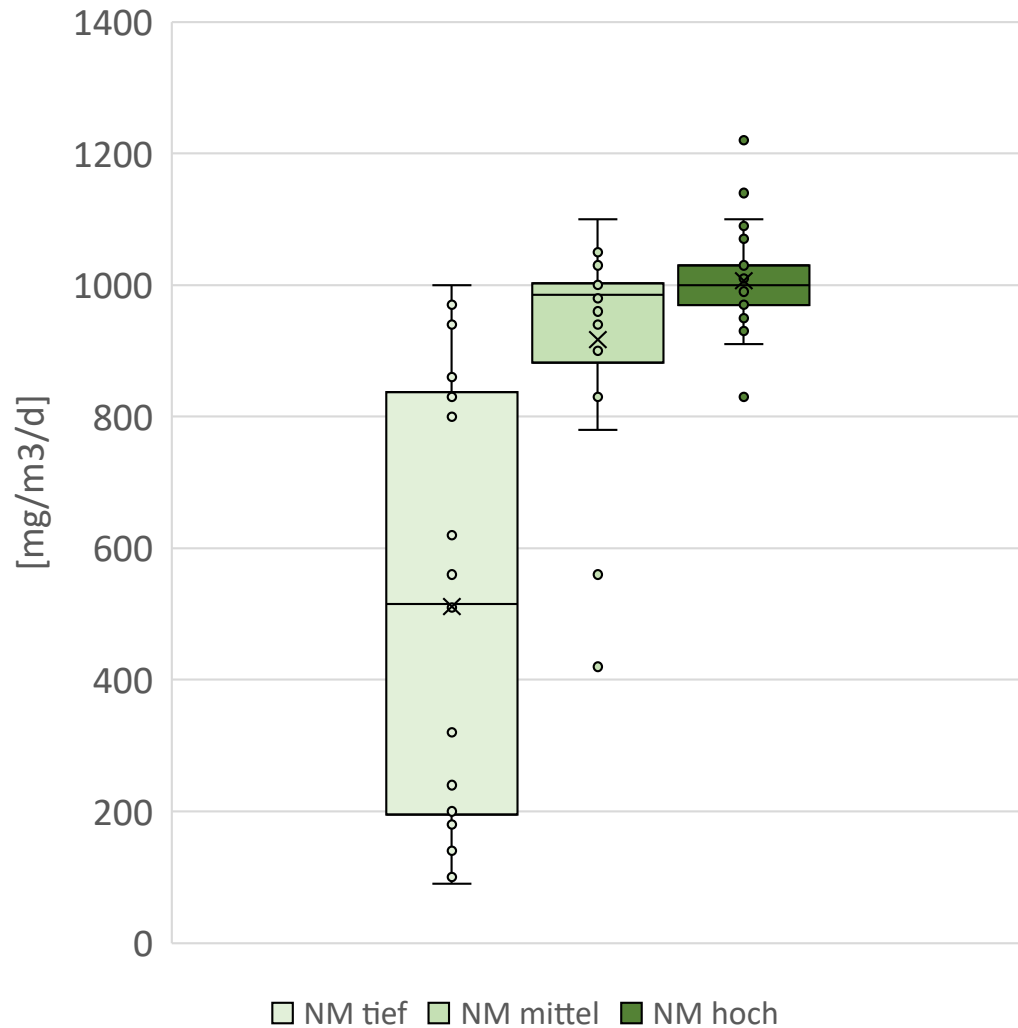
*Tabelle: Umrechnung der Resultate in die minimale, maximale und mittlere Leistung der Biofilter in [mg/m<sup>3</sup>/d] (Phosphorreduktion pro m<sup>3</sup> Filtermedium pro Tag).*

|  | Theorie<br>4/8 | Gruppe A<br>(S1-S3) | Gruppe B<br>(S4-S6) | Gruppe C<br>(S7-S9) | Gruppe D<br>(S10-S12) |
|--|----------------|---------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|
| Max. Filterleistung [mg/m <sup>3</sup> /d]     | 129            | 397.1               | 612.4               | 357.1               | 423.8                 |
| Min. Filterleistung [mg/m <sup>3</sup> /d]     | 35             | 49.5                | -1.9                | -1.9                | -9.5                  |
| Mittlere Filterleistung [mg/m <sup>3</sup> /d] | 82             | 246.2               | 227.8               | 174.0               | 194.8                 |

- Die Biofilterleistung der Teststände ist zumindest in der gleichen Grössenordnung wie die theoretisch berechneten Angaben angesiedelt.
- Die Leistung innert 70 Tagen ist aber sehr variabel!
- Die Leistung wird in den Tests sehr stark vom Nährstoffmanagement beeinflusst! Bei einer einseitigen Limitierung nehmen Leistungen ab oder Rücklösungen finden statt.

# Faktoren mit Einfluss auf die Biofilterleistung

Optimierung mit Nährstoffmanagement (Auszug)



Theorie Beispiel Resultat:

Rundkorn 4/8, 1200 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>

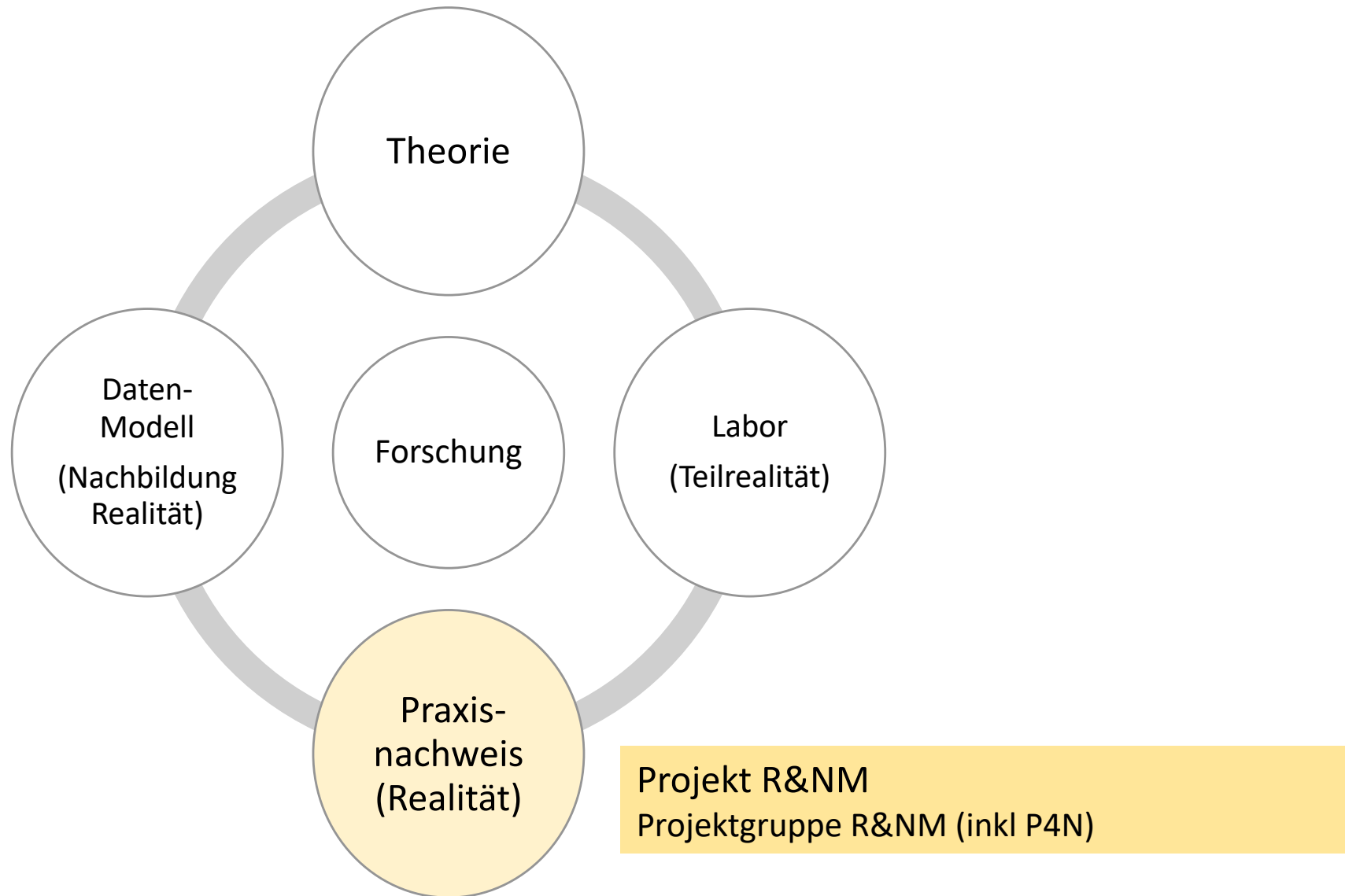
Leistung Min: **35 mg/m<sup>3</sup>/d**

Leistung Max: **129 mg/m<sup>3</sup>/d**

= Theoretisch erforderliche Biofilterleistung kann erhöht werden mit gutem Nährstoffmanagement, bewegen sich aber durchaus in einer plausiblen Grössenordnung

# Ermittlung der Biofilterleistung

Verschiedene Ansätze zur Leistungsdefinition von Biofiltern und zur Plausibilisierung einzelner Resultate (Frei et al., 2021)



# Projekt Referenzanlagen & Nährstoffmanagement (R&NM)

Haupt-Projektpartner



Und diverse einzelne Schweizer Unternehmen!

# Methoden zur Leistungsdefinition von Biofiltern

## Vorgehen im Projekt Biofilter

Tabelle: Verschiedene Ansätze zur Leistungsdefinition von Biofiltern und zur Plausibilisierung einzelner Resultate

| System                | Biopools mit biologischen Schnellfiltern  |   |   |  |   |
|-----------------------|---|---|---|--|---|
| System Art            | System-Theorie  | Experimentelles Labor-System  | Datenmodell-System  | Reales System  | Reales System Element   |
| Vorgehen              | Literaturrecherche, mathematische Annäherung und Beschreibung   | Labor Teststand Experimente   | Daten-Model mit Einbezug der relevanten Faktoren (Annahme) und Daten aus in-situ Messungen      | Messungen Nutzungsbereich <i>in situ</i>                       | Messungen Biofilter <i>in situ</i>  |
| Bezeichnung           | Theorie   | Teststand Experimente   | Leistungstest Simulation  | <i>in situ</i>   | Batch <i>in situ</i>  |
| Output                | Annäherung Leistung über vorhandene theoretische Annahmen   | Leistung Biofilter im Teststand   | Simulation Phosphor-verlauf Nutzungs-bereich  | Phosphor-verlauf Nutzungs-bereich & Nennbesucherzahl<br>n      | Leistung Biofilter <i>in situ</i>   |
| Plausibilitätsprüfung | Vergleich mit allen anderen Daten   | Vergleich mit allen anderen Daten   | Überprüfung der Übereinstimmung von Modell und Realität   | Das ist die Realität, aber auch das Optimum?                   | Das ist die Realität, aber auch das Optimum?  |
| Weiteres vorgehen     | Anpassung der theoretischen Annahmen und Formulierung von Optimierungs- sowie Planungsgrundlagen                          | Optimierung Teststandverfahren, Test weitere Filter   | Optimierung Modell  | Optimierung des realen Systems und Monitoring der Auswirkungen | Optimierung des Biofilters und Monitoring der Auswirkungen                                      |
| Ziel                  | Norm mit Grundlagen für die Planung eines Systems, welches in der Realität die definieren Qualitätsanforderungen erfüllt. | Test verschiedener Biofilter unter klar definierten Bedingungen zur Leistungsdefinition (und mehr Verständnis zur Funktion der Black-Box) | System-Modell, welches die relevanten Faktoren einbezieht und die Realität ausreichend abbildet | Qualitätsanforderungen <i>in situ</i> werden erfüllt.          | Test verschiedener Biofilter unter möglichst klar definierten Bedingungen zur Leistungs-prüfung |



# Praxisuntersuchungen – Monitoring privat (ab 2015)

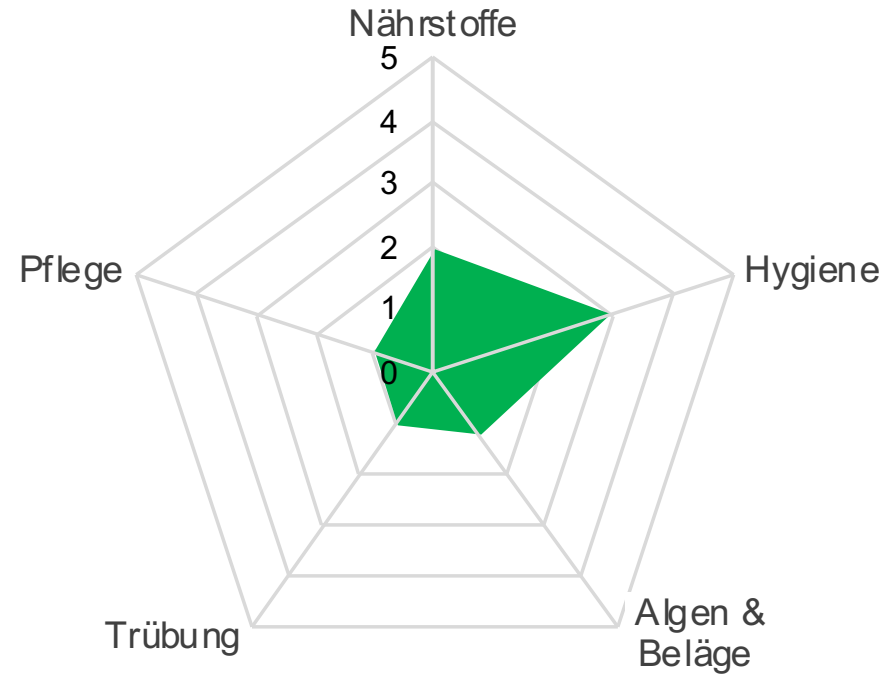


# Praxisuntersuchungen – Monitoring öffentlich

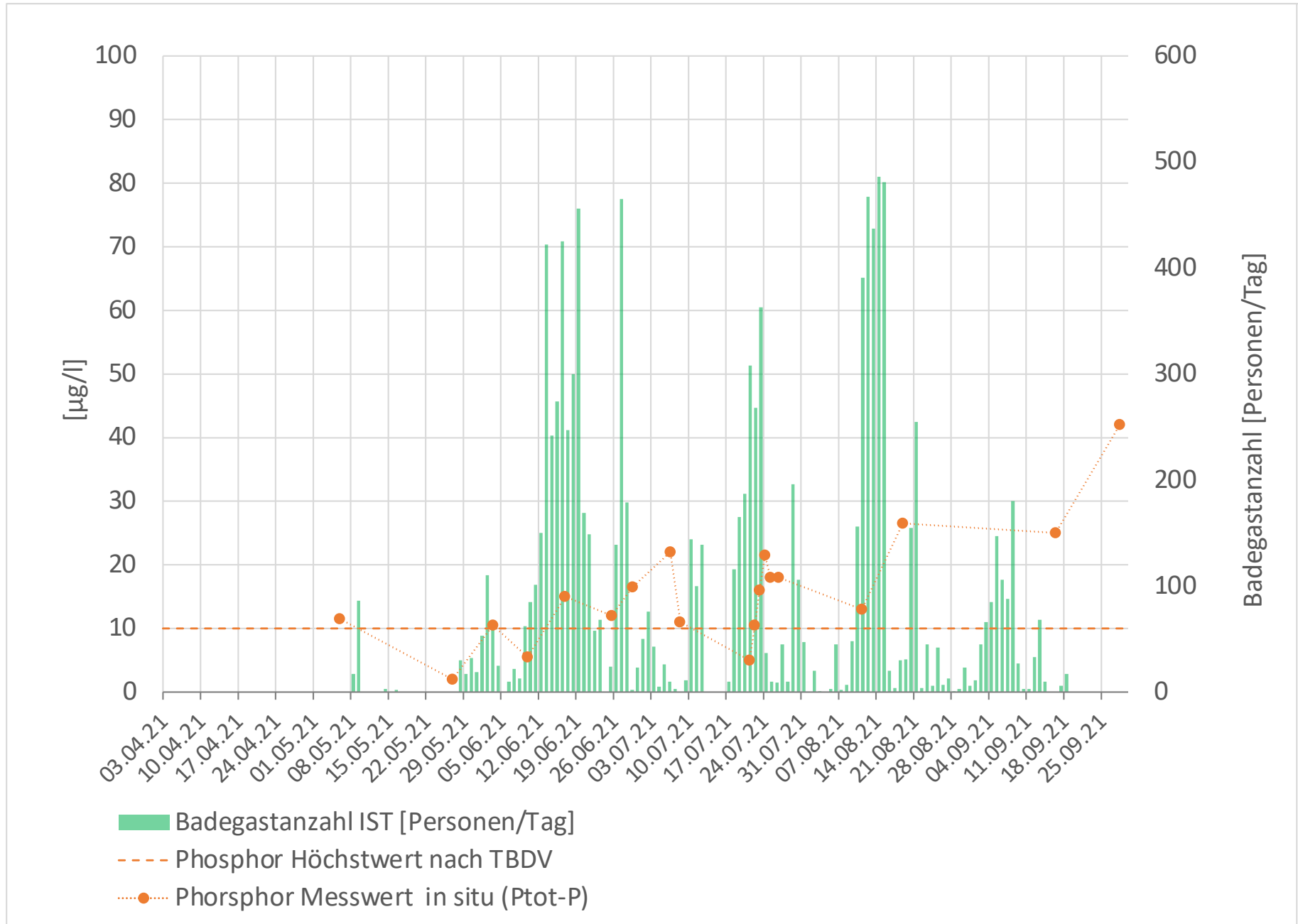


# Beispielbeurteilung der gesetzten Anforderungen

| <b>Bewertung chemische Wasserqualität</b> |          |
|---|----------|
| Gesamt-Phosphor                           | 2.0      |
| <b>Zwischenbeurteilung</b>                | gut      |
| <b>Bewertung Hygiene</b>                  |          |
| Escherichia coli                          | 1.0      |
| Enterokokken                              | 1.0      |
| Pseudomonas aeruginosa                    | 3.0      |
| <b>Zwischenbeurteilung</b>                | mässig   |
| <b>Bewertung Aspekt</b>                   |          |
| Algen (fädig)                             | 1.0      |
| Beläge (Biofilm, Kieselalgen)             | 1.5      |
| Trübung                                   | 1.0      |
| <b>Zwischenbeurteilung</b>                | sehr gut |
| <b>Bewertung Bewirtschaftungsaufwand</b>  |          |
| Zeitaufwand für Pflege und Wartung        |          |
| <b>Zwischenbeurteilung</b>                | n.b      |
| <b>Endbeurteilung</b>                     | gut      |



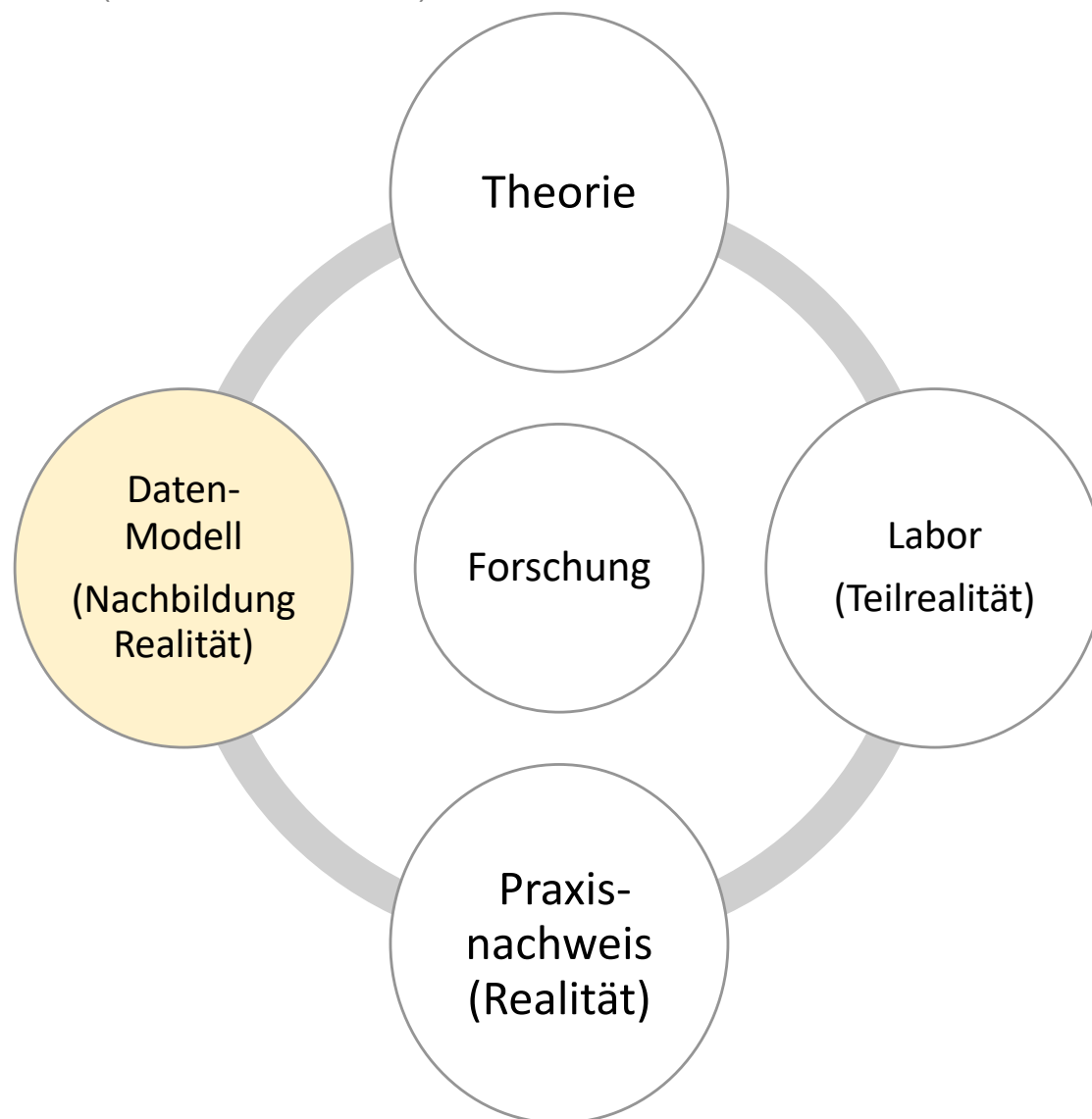
# Beispiel Hauptdiagramm Saison 2021





# Ermittlung der Biofilterleistung

Verschiedene Ansätze zur Leistungsdefinition von Biofiltern und zur Plausibilisierung einzelner Resultate (Frei et al., 2021)





# Methoden zur Leistungsdefinition von Biofiltern

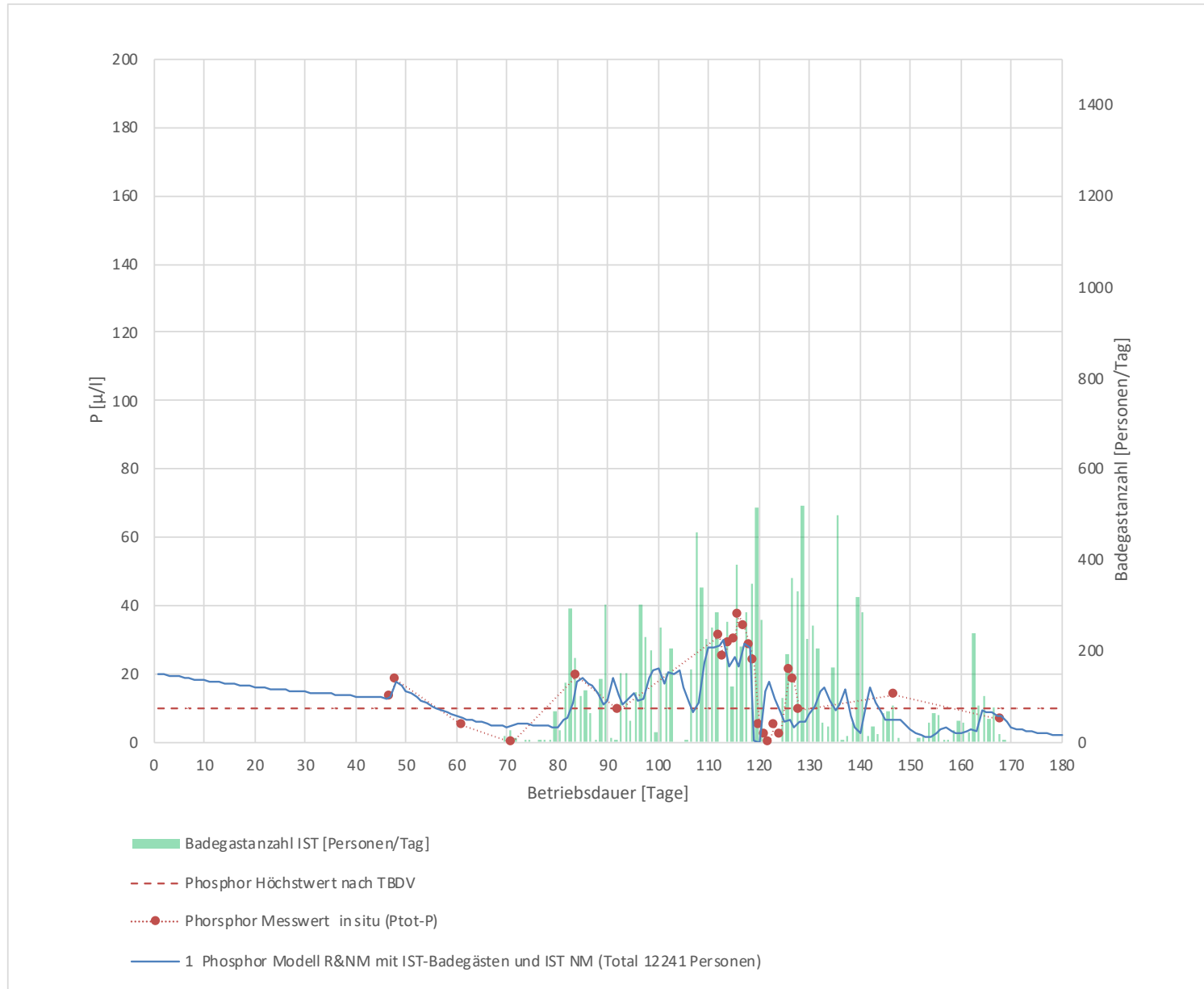
Vorgehen im Projekt Biofilter 2021

*Tabelle: Verschiedene Ansätze zur Leistungsdefinition von Biofiltern und zur Plausibilisierung einzelner Resultate*

| System                | Biopools mit biologischen Schnellfiltern   |   |   |  |   |
|-----------------------|--|---|---|--|---|
| System Art            | System-Theorie   | Experimentelles Labor-System  | Datenmodell-System  | Reales System  | Reales System Element   |
| Vorgehen              | Literaturrecherche, mathematische Annäherung und Beschreibung  | Labor Teststand Experimente   | Daten-Model mit Einbezug der relevanten Faktoren (Annahme) und Daten aus in-situ Messungen      | Messungen Nutzungsbereich <i>in situ</i>                       | Messungen Biofilter <i>in situ</i>  |
| Bezeichnung           | Theorie  | Teststand Experimente   | Leistungstest Simulation  | in situ  | Batch in situ   |
| Output                | Annäherung Leistung über vorhandene theoretische Annahmen  | Leistung Biofilter im Teststand   | Simulation Phosphorverlauf Nutzungsbereich  | Phosphorverlauf Nutzungsbereich & Nennbesucherszahlen          | Leistung Biofilter <i>in situ</i>   |
| Plausibilitätsprüfung | Vergleich mit allen anderen Daten  | Vergleich mit allen anderen Daten   | Überprüfung der Übereinstimmung von Modell und Realität   | Entspricht der aktuellen Realität, aber auch dem Optimum?      | Entspricht der aktuellen Realität, aber auch dem Optimum?   |
| Weiteres vorgehen     | Anpassung der theoretischen Annahmen und Formulierung von Optimierungs- sowie Planungsgrundlagen                           | Optimierung Teststandverfahren, Test weitere Filter   | Optimierung Modell  | Optimierung des realen Systems und Monitoring der Auswirkungen | Optimierung des Biofilters und Monitoring der Auswirkungen  |
| Ziel                  | Norm mit Grundlagen für die Planung eines Systems, welches in der Realität die definierten Qualitätsanforderungen erfüllt. | Test verschiedener Biofilter unter klar definierten Bedingungen zur Leistungsdefinition (und mehr Verständnis zur Funktion der Black- | System-Modell, welches die relevanten Faktoren einbezieht und die Realität ausreichend abbildet | Qualitätsanforderungen in situ werden erfüllt.                 | Test verschiedener Biofilter unter möglichst klar definierten Bedingungen zur Leistungsdefinition |

# Diskussion Plausibilisierung

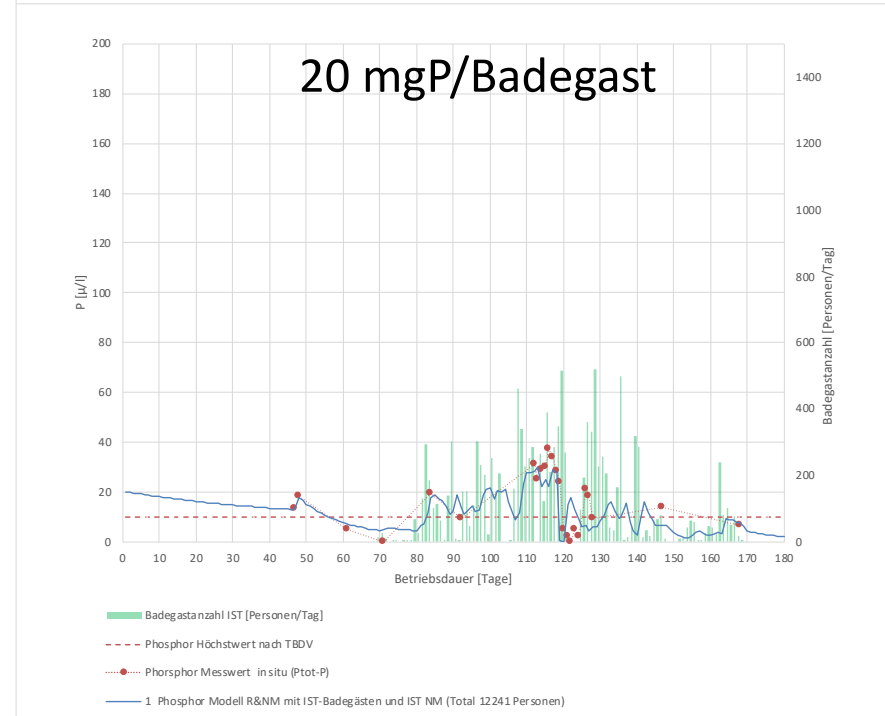
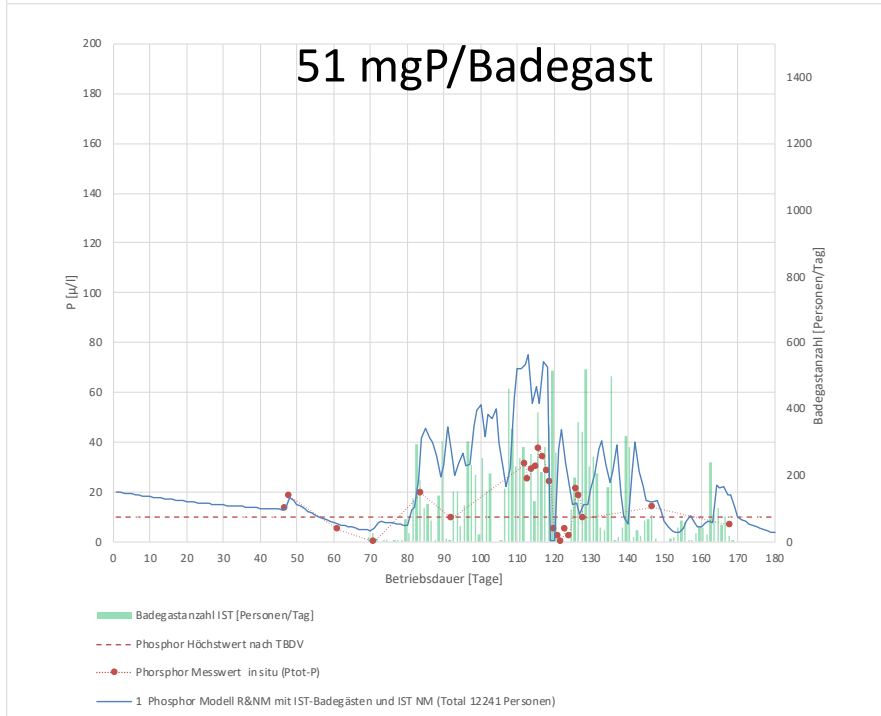
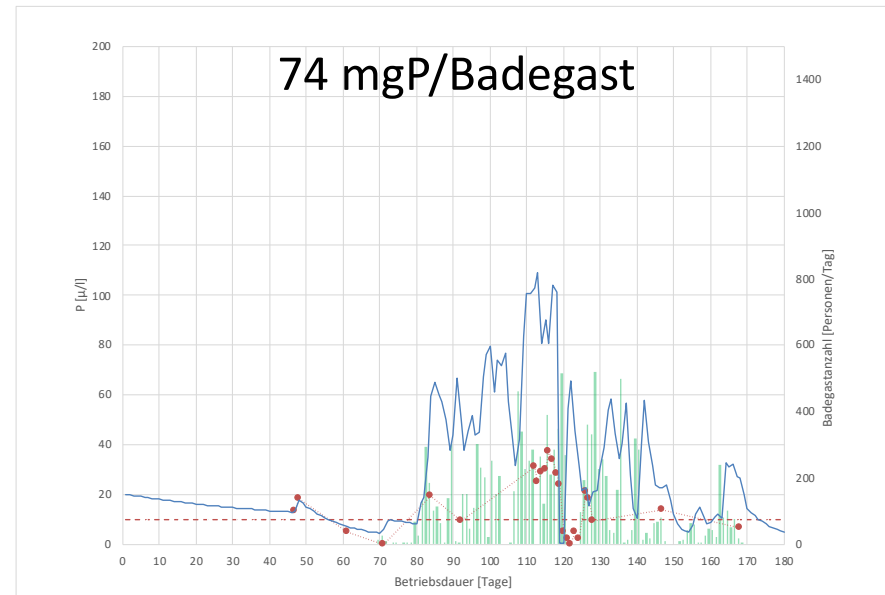
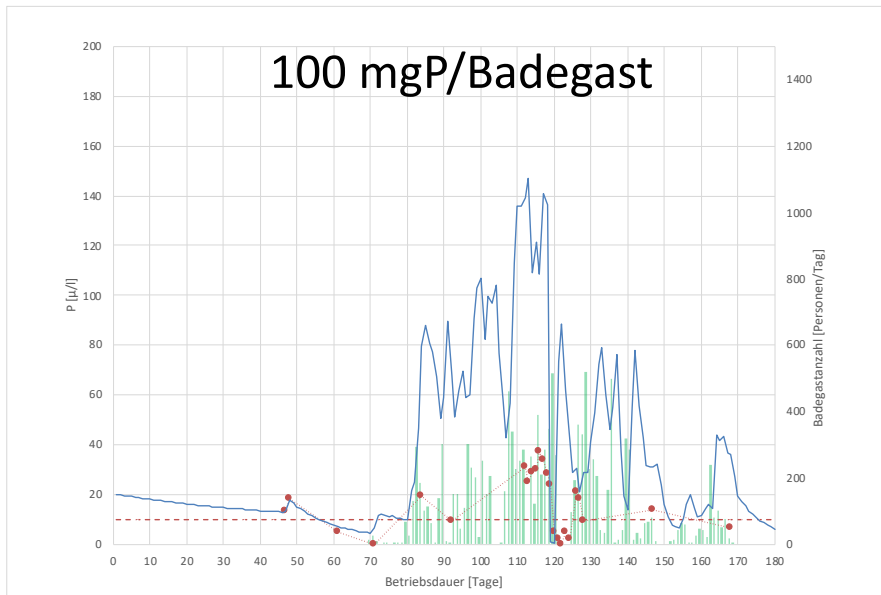
## Vergleich der Badegastbelastung im Modellbeispiel



Annahme:  
20 mgP/Badegast

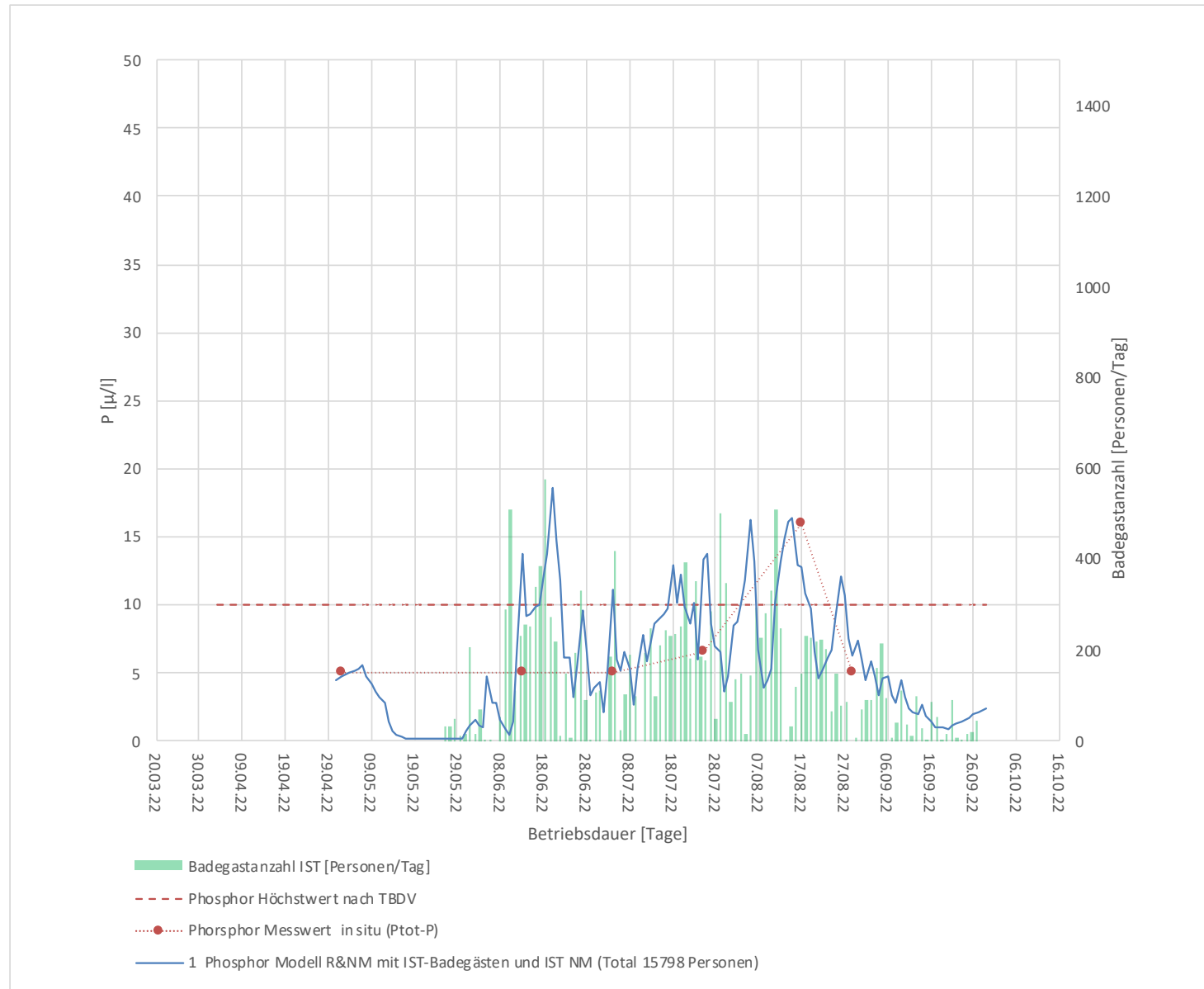
# Diskussion Plausibilisierung

## Vergleich der Badegastbelastung im Modellbeispiel



# Chance: Optimierung oder Planung am Modell

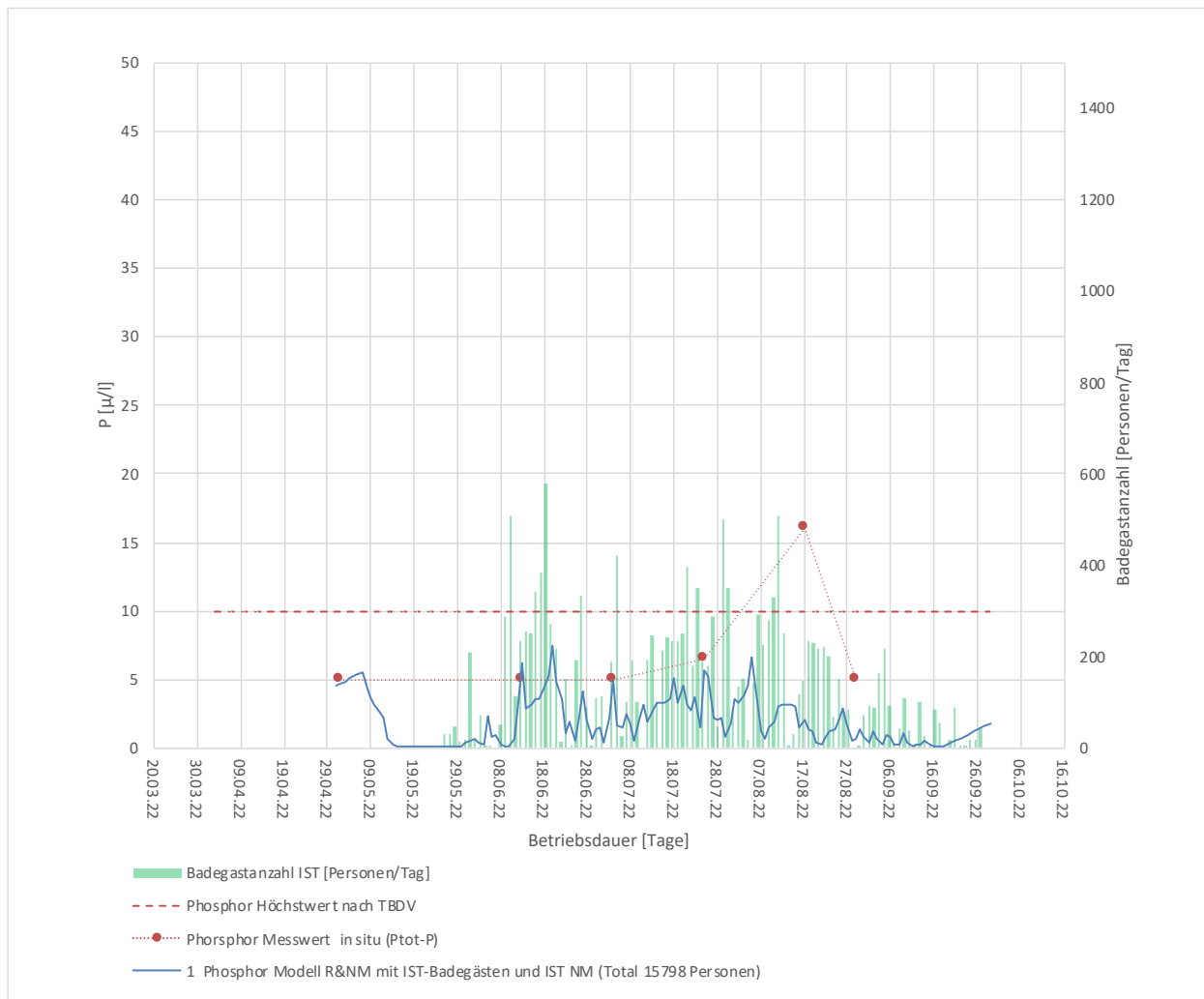
## IST Beispielbad



# Chance: Optimierung oder Planung am Modell

## Soll Beispielbad

Optimierungen an  
Hydraulik und  
Nährstoffmanagement  
im Modell und  
Umsetzung "im Feld"





# Entwicklung über mehrere Jahre nach Massnahmen am Modell und im Feld (Beispiel)

| Aufgenommene Parameter | 2017   | 2018   | 2019   | 2020  | 2021   | 2022   |
|------------------------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|
| Badegastanzahl         | 15272  | 17332  | 14206  | 12241 | 11'113 | 15'798 |
| Gesamt-P unfiltriert   |        |        |        |       |        |        |
| Algen                  |        |        |        |       |        |        |
| Beläge                 |        |        |        |       |        |        |
| Trübung                |        |        |        |       |        |        |
| Escherichia coli       |        |        |        |       |        |        |
| Enterokokken           |        |        |        |       |        |        |
| Pseudomonas aeruginosa |        |        |        |       |        |        |
| Endbewertung           | mässig | unbef. | mässig | gut   | gut    | gut    |

# Plausibilisierung - Unterschiedliche Filterleistungen

Vergleich der Biofilter Leistungen (Theorie, Teststand und *in situ*)

*Tabelle: Vergleich der Biofilter Leistung in [mg/m<sup>3</sup>/d], mit 4-8 Rundkies hergeleitet aus dem Stand der Technik und Eintragsabschätzungen, den erreichten Filterleistung im Teststand (V6), den erreichten Leistungen im Batchversuch *in situ*, den hergeleiteten Filterleistungen anhand Wasseranalysen im Nutzungsbereich *in situ* und Eintragsfrachtberechnungen über 100 Tage und einen Extrem-Tag, sowie über das Datenmodell berechnet.*

| Nr   | 1                      | 3         | 7              | 8              | 9              | 10             | 11           |
|--|------------------------|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|--------------|
| Bezeichnung                                    | Recherche              | Teststand | In situ        | In situ        | In situ        | In situ        | Modell       |
| Versuch  | Herleitung Kapitel 3.8 | HV6       | P Konz. Becken | P Konz. Becken | P Konz. Becken | P Konz. Becken | Biberstein   |
| Filter   | -                      | Gruppe B  | Gesamtanlage   | Gesamtanlage   | Gesamtanlage   | Gesamtanlage   | Gesamtanlage |
| Badegasteintrag Annahme [mg/Bg]                |                        |           | 20             | 74             | 74             | 20             |              |
| Max. Filterleistung [mg/m <sup>3</sup> /d]     | 129                    | 612.4     | 622.5          | 1482.8         | -              | -              | 589.6        |
| Min. Filterleistung [mg/m <sup>3</sup> /d]     | 35                     | -1.9      | -              | -              | -              | -              | 5.8          |
| Mittlere Filterleistung [mg/m <sup>3</sup> /d] | 82                     | 227.8     | -              | -              | 280.2          | 74.9           | 78.4         |

# Plausibilisierung - Unter Das passt sehr gut überein! Scheint bis dahin die beste Leistung zu sein... en

Vergleich der Biofilter Leistungen (Theorie, Teststand und *in situ*)

*Tabelle: Vergleich der Biofilter Leistung in [mg/m<sup>3</sup>/d], mit 4-8 Rundkies hergeleitet aus dem Stand der Technik und Eintragsabschätzungen, den erreichten Filterleistung im Teststand (V6), den erreichten Leistungen im Batchversuch *in situ*, den hergeleiteten Filterleistungen anhand Wasseranalysen im Nutzungsbereich *in situ* und Eintragsfrachtberechnungen über 100 Tage und einen Extrem-Tag, sowie über das Datenmodell berechnet.*

| Nr   | 1                      | 3         | 7              | 8              | 9              | 10             | 11           |
|--|------------------------|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|--------------|
| Bezeichnung                                    | Recherche              | Teststand | In situ        | In situ        | In situ        | In situ        | Modell       |
| Versuch  | Herleitung Kapitel 3.8 | HV6       | P Konz. Becken | P Konz. Becken | P Konz. Becken | P Konz. Becken | Biberstein   |
| Filter   | -                      | Gruppe B  | Gesamtanlage   | Gesamtanlage   | Gesamtanlage   | Gesamtanlage   | Gesamtanlage |
| Badegasteintrag Annahme [mg/Bg]                |                        |           | 20             | 74             | 74             | 20             |              |
| Max. Filterleistung [mg/m <sup>3</sup> /d]     | 129                    | 612.4     | 622.5          | 1482.8         | -              | -              | 589.6        |
| Min. Filterleistung [mg/m <sup>3</sup> /d]     | 35                     | -1.9      | -              | -              | -              | -              | 5.8          |
| Mittlere Filterleistung [mg/m <sup>3</sup> /d] | 82                     | 227.8     | -              | -              | 280.2          | 74.9           | 78.4         |

# Zwischenfazit

- Bei allen Herangehensweisen (Filtertests Labor/in situ, Modell) resultieren bei gleichem Filtermanagement ebenfalls Filterleistungen in vergleichbaren Grössen,
  - Grosse Schwankungen der Filterleistungen sind jedoch auch bei gleich aufgebauten Filtern ersichtlich,
  - Insbesondere die Optimierung des Nährstoffmanagements ist ein Kernpunkt für die Leistungserhaltung und -optimierung,
  - Alle anderen Faktoren sind zwar mehr oder weniger relevant, ohne ausgeglichene Nährstoffverhältnisse bringt aber alles nichts...
  - Die Resultate zeigen, dass die Leistungsoptimierung im Anlagenbetrieb im Feld noch viel Luft nach oben hat!
  - Jedoch muss die Anlage auch den baulichen und technischen Anforderungen entsprechen
- Vorsicht Kolmation, Trübe, Sauerstofflimitierung, ....

Die Praxis: Aus Fehlern soll man lernen sagt man...



....damit auch Andere den Gleichen nicht mehr machen!



Wichtige Hinweise!!!







# Konditionierung Neuanlage (2017)





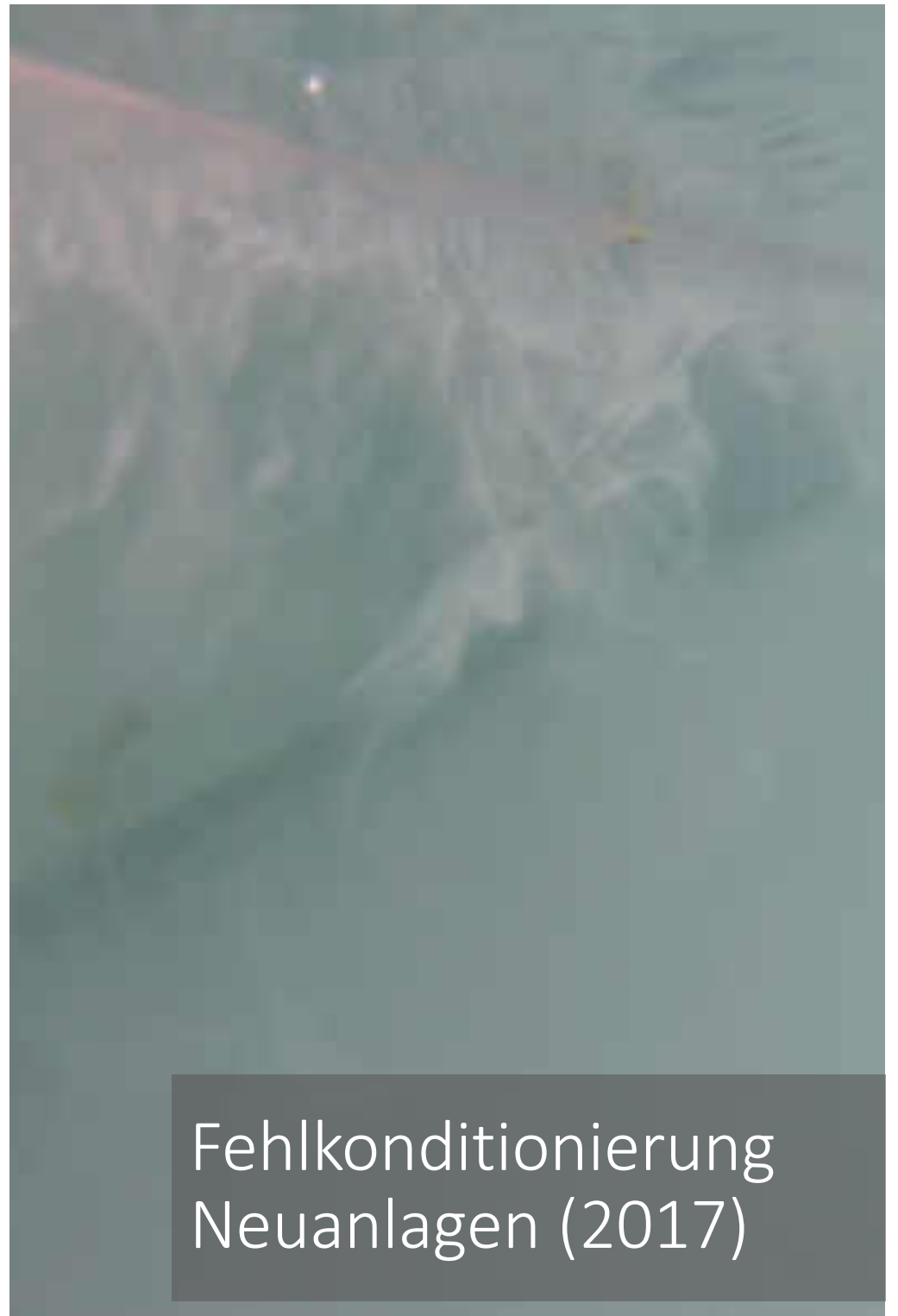




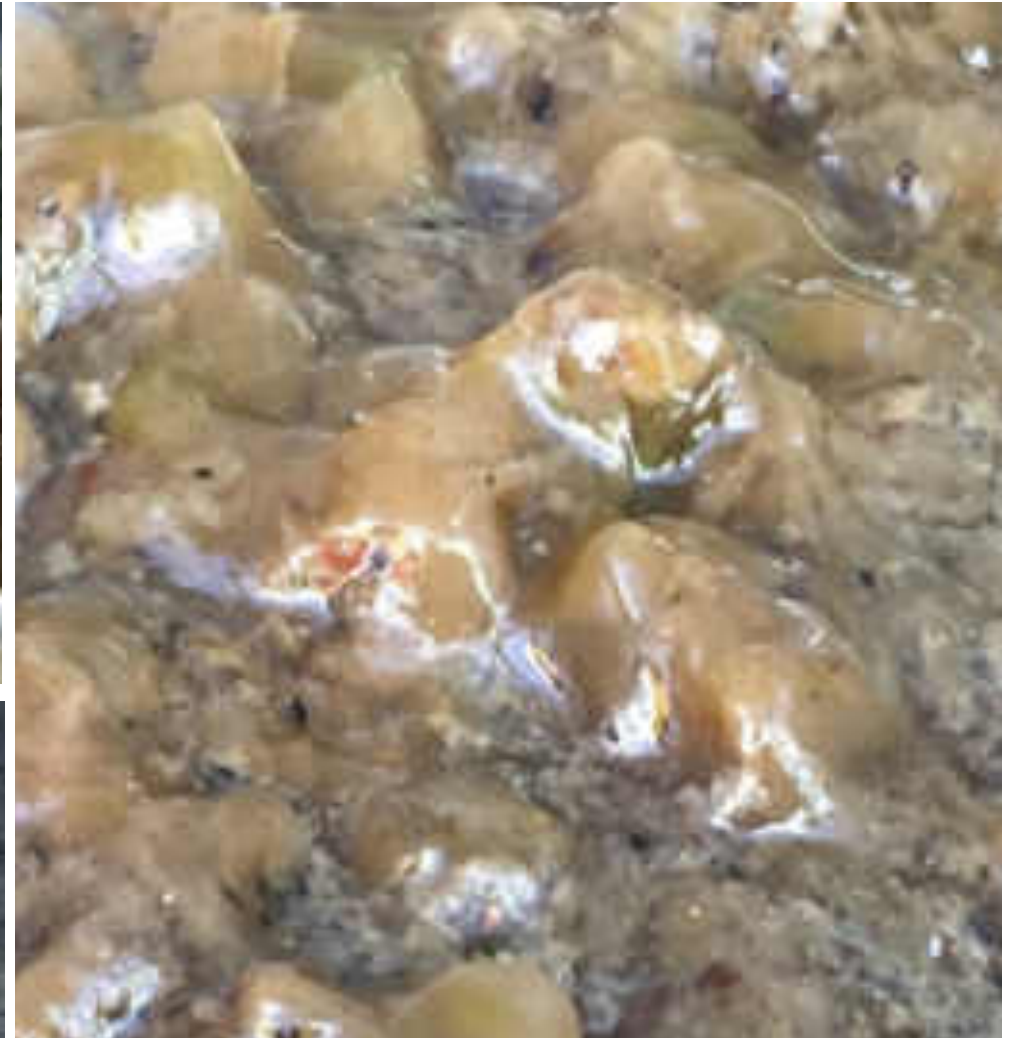
# Kolmatierende Filter (2017)







Fehlconditionierung  
Neuanlagen (2017)

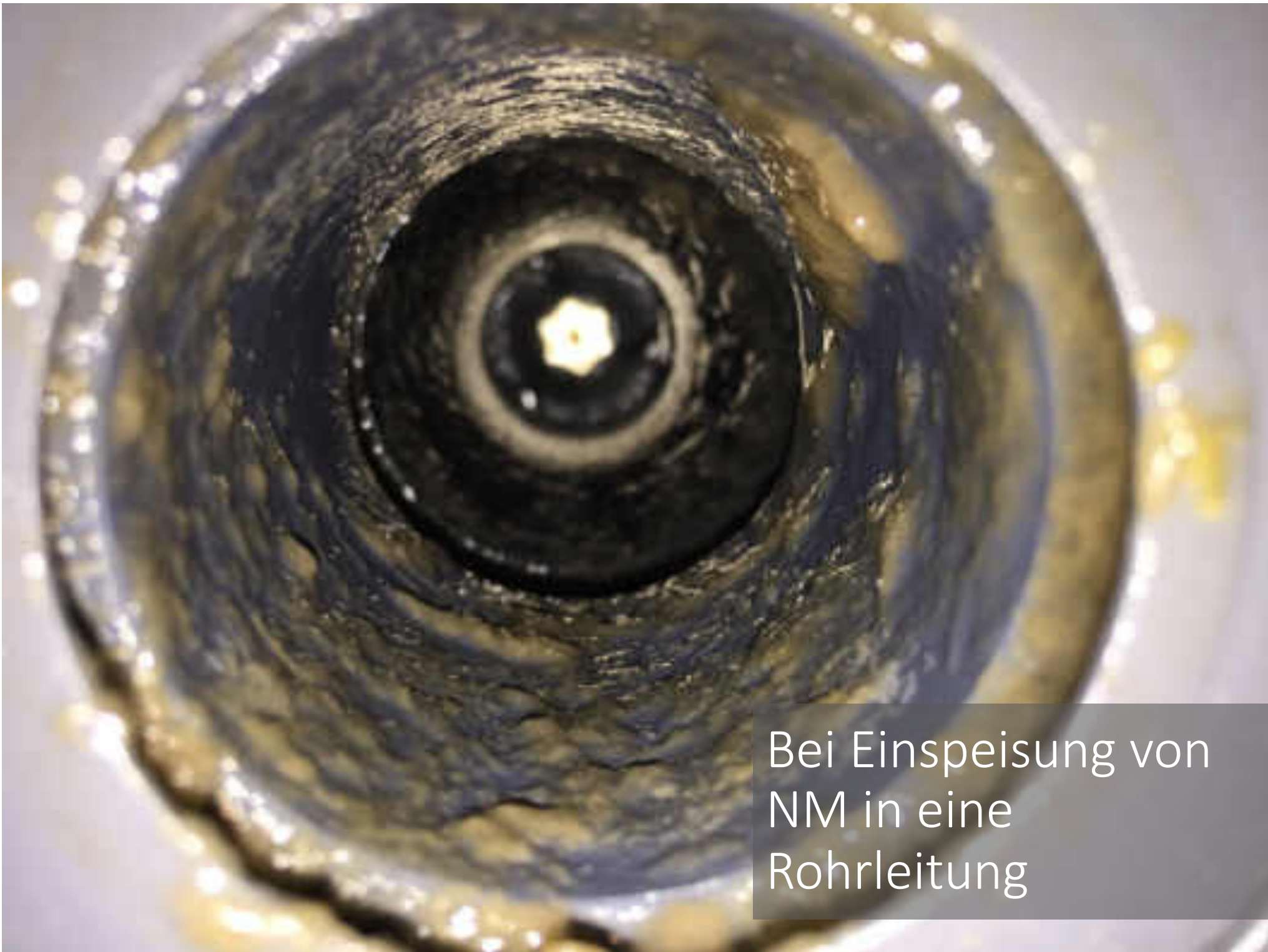


Massive Biofilmentwicklung  
bei Einspeisung von NM in  
ein Skimmer



Massive Biofilmentwicklung  
bei Einspeisung nahe  
Leitungen





Bei Einspeisung von NM in eine Rohrleitung

Filterrücklösung von  
Biofiltern ohne  
Rückspülung (im  
Winterbetrieb)





Und wenn die  
Planung  
perfekt war  
gibt es in der  
Praxis Sachen  
die glaubt man  
kaum...







„Food-Attacke“- 30. Juli 2020





Biberbesuch vom 09. Juli 2020

# Vom Labor in die Praxis

## Nährstoffbilanzierung, Filterleistung und Nährstoffmanagement

Matthias Frei

MSc. ZFH in Umweltingenieurwesen

ASC Schweiz | Neuburgstr. 75a | 8408 Winterthur

