

Die kontinuierliche Messung der Abwasserqualität mit Kameras

Erste Erfahrungen aus Pilotversuchen

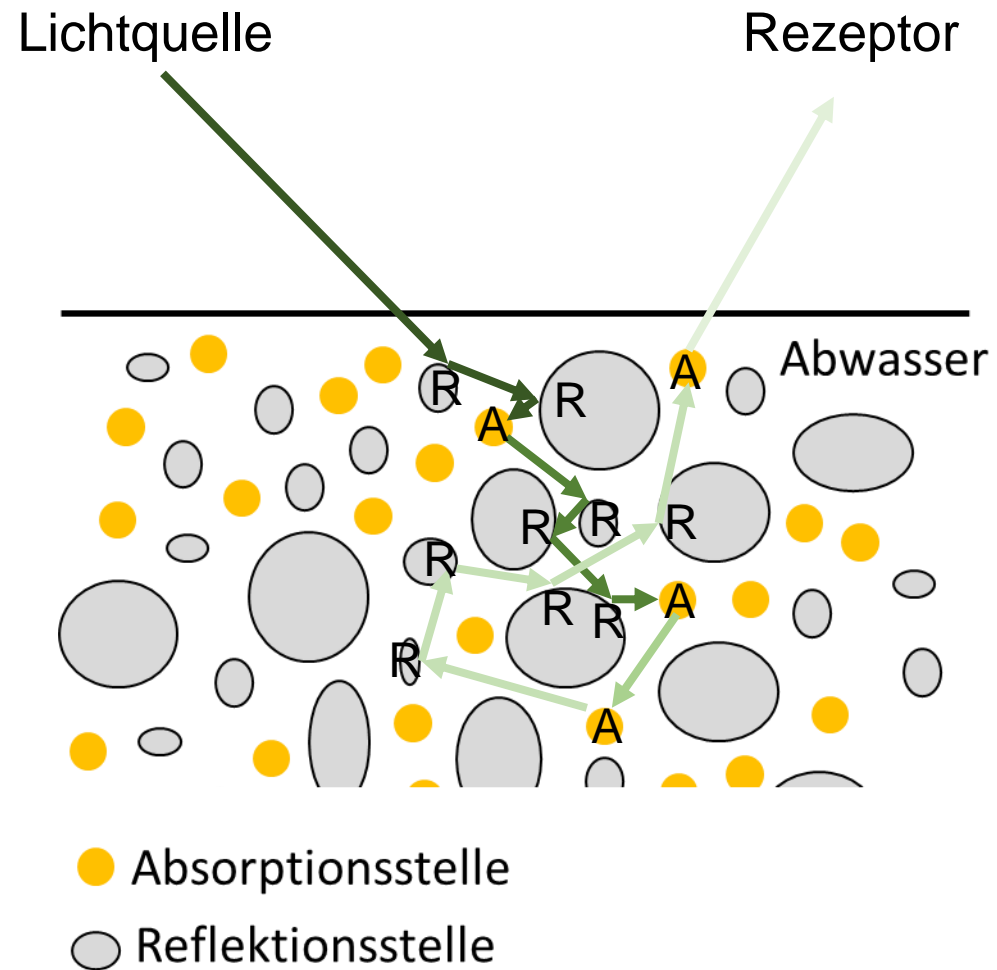
Pierre Lechevallier*, Nicolas Neuenhofer, Jörg Rieckermann

*pierre.lechevallier@eawag.ch

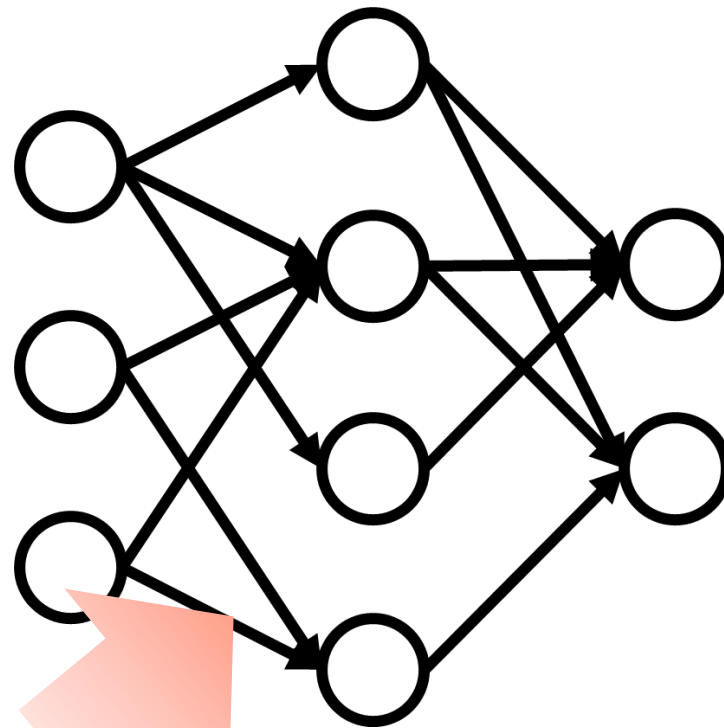
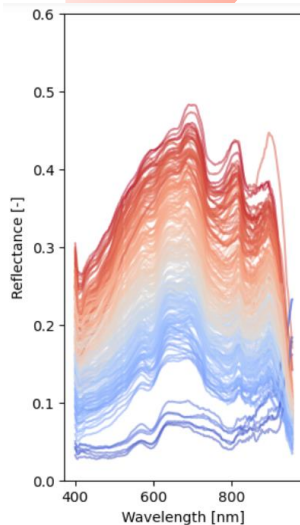
Qualitäts-Messungen im Rohabwasser sind anspruchsvoll!



Messprinzip: Licht-Reflektion?



Messprinzip: Wie funktioniert es im Praxis?



Verschmutzungs-
indicator
(CSB_äquivalent)

Gliederung

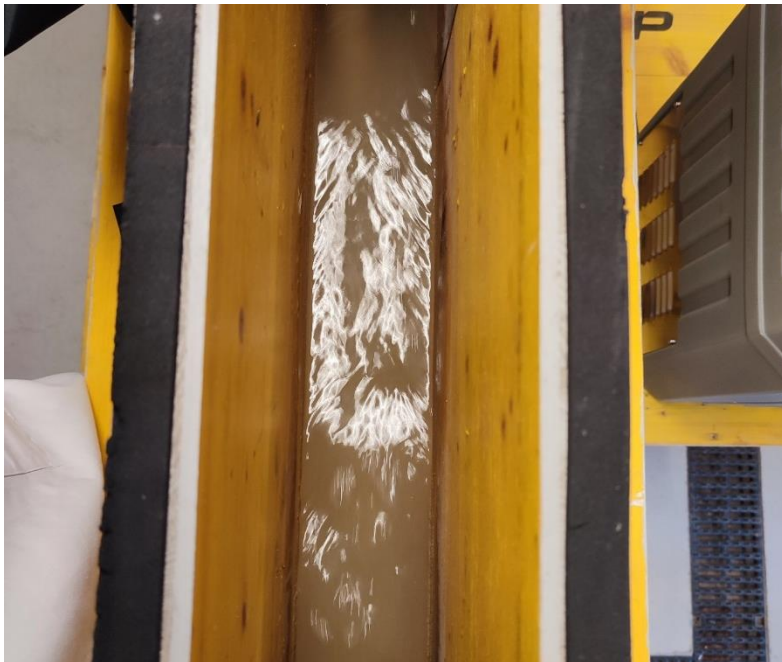
- Einleitung und Messprinzip
- Messkampagne 1 (Eawag): Beschreibung und Ergebnisse
- Messkampagne 2 (Monash): Beschreibung und Ergebnisse
- Diskussion: Limitierung, jetzige Forschungsprojekte und Forschungsbedarf
- Fazit

Gliederung

- Einleitung und Messprinzip
- **Messkampagne 1 (Eawag): Beschreibung und Ergebnisse**
- Messkampagne 2 (Monash): Beschreibung und Ergebnisse
- Diskussion: Limitierung, jetzige Forschungsprojekte und Forschungsbedarf
- Fazit

Datensatz 1: Eawag, Dübendorf (Schweiz)

Flume experiment



Kontinuierliche Messung (6 Monate)



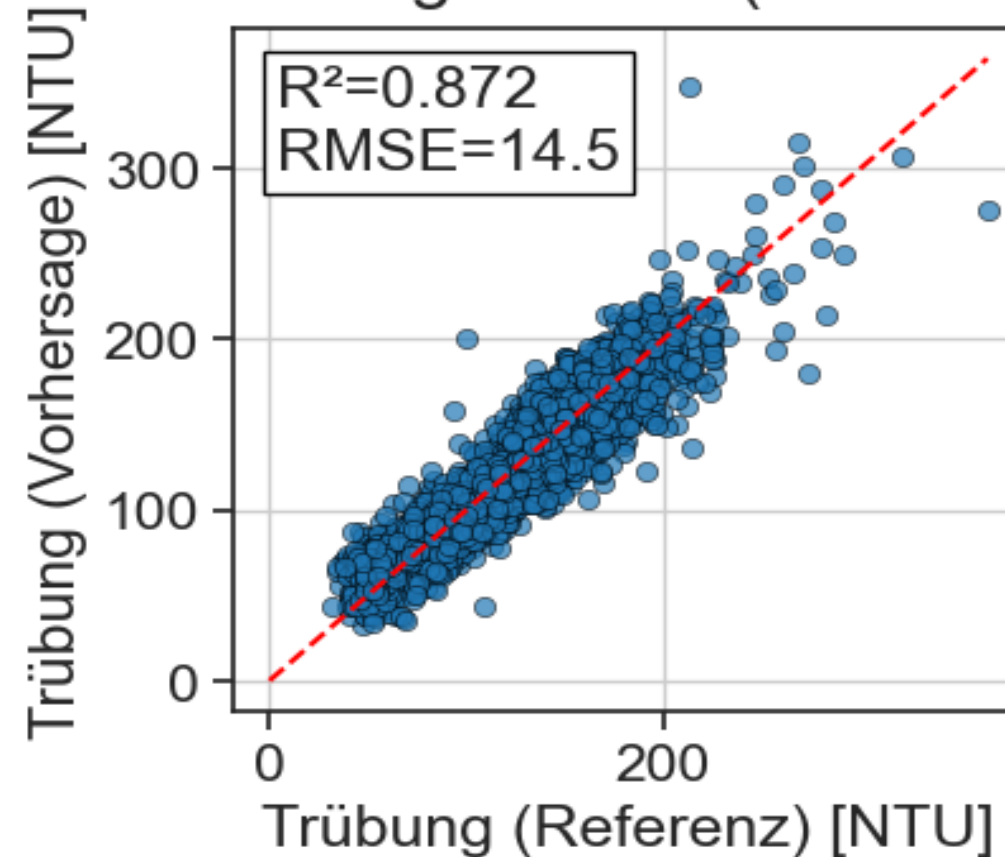
MVX hyperspektrale Kamera
400 – 1000 nm

Trübung, **NH₄-N**, PO₄-P, DOC, TSS, ...

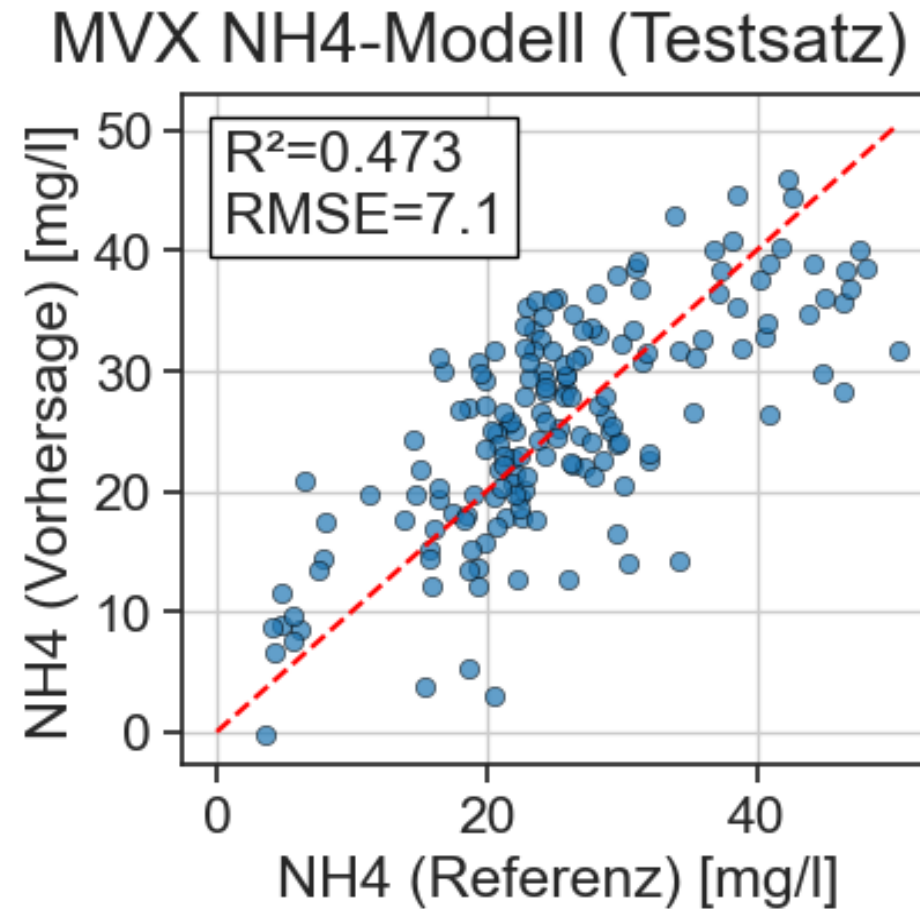
Lechevallier, P., Gruber, G., Bares, V., Neuenhofer, N., Waldner, L., Mahajan, A., et al. (2024). Dataset on wastewater quality monitoring with adsorption and reflectance spectroscopy in the UV/Vis range (Version 1.0) [Dataset]. Eric Open. <https://doi.org/10.25678/000D3C>

Ergebnisse: Trübung (Datensatz 1 - Eawag)

MVX Trübungsmodell (Testsatz)



Ergebnisse: Ammonium (Datensatz 1 - Eawag)



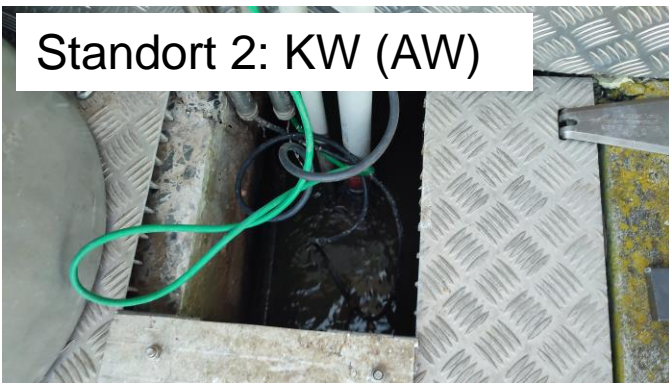
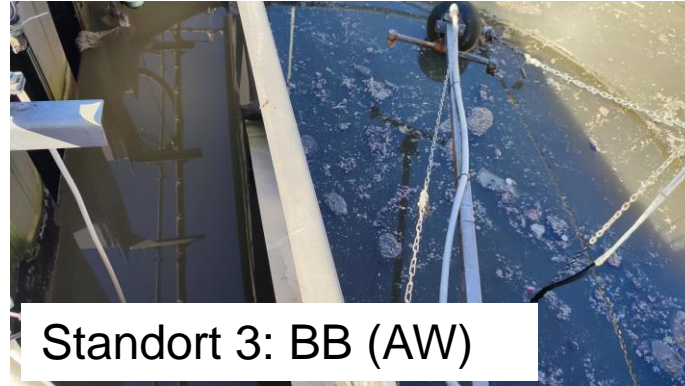
Ergebnisse: Zusammenfassung

Wasser- qualitäts- variable	Leistung (Modelltests)			
	Hyperspektrale Kamera		UV-vis Spektrophotometrie	
	R ²	RMSE	R ²	RMSE
Trübung [NTU]	0.87	14.9	0.92	11.7
NH4-N [mg/l]	0.47	7.1	0.83	4.3
DOC [mg/l]	0.34	39.3	0.32	41.8
PO4 [mg/l]	0.44	0.7	0.64	0.6

Gliederung

- Einleitung und Messprinzip
- Messkampagne 1 (Eawag): Beschreibung und Ergebnisse
- **Messkampagne 2 (Monash): Beschreibung und Ergebnisse**
- Diskussion: Limitierung, jetzige Forschungsprojekte und Forschungsbedarf
- Fazit

Datensatz 2: Monash (Australien)



MVX hyperspectral Kamera
400 – 1000 nm



AW: Abwasser
RW: Regenwasser

Trübung, NH₄-N, PO₄-P, DOC

Ergebnisse Datensatz 2

Wasser- qualitäts- variable	Leistung R2 (RMSE) (k-fold)				Referenz Dübendorf (Schweiz)
	1. PKH AW (n=50)	2. KW AW (n=38)	3. BB AW (n=50)	4. TC RW (n=50)	
Trübung [NTU]	0.9 (19.2)	0.95 (6.4)	0.72 (16.3)	0.97 (1.8)	0.87 (14.5)
NH4-N [mg/l]	0.59 (14.6)	0.45	-0.54	-0.88	0.47
DOC [mg/l]	0.02	0.45	-0.23	0.26	0.34
PO4 [mg/l]	0.2	0.36	-0.57	-1.29	0.44

AW: Abwasser, RW: Regenwasser, n: Anzahl Proben

Limitierung dieser Ergebnisse

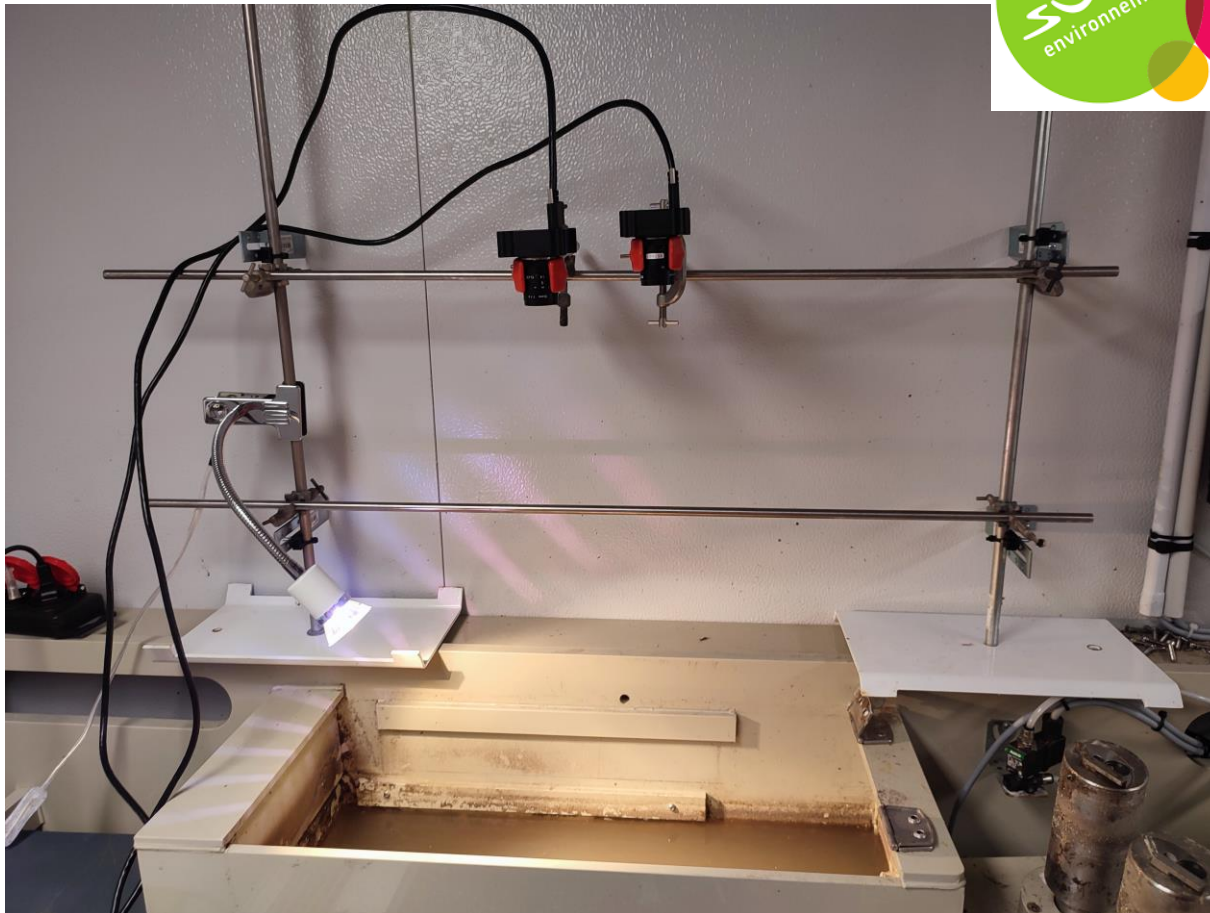
- **Ergebnisse robust bei Trübung aber standortspezifisch für andere Parameter**
 - **Hyperspektrale Technologie:**
 - Preis
 - Keine UV-Sensitivität
 - Räumlicher Bereich
- Jetzige Forschungsprojekte versuchen, diese Limitierung zu überwinden

Gliederung

- Einleitung und Messprinzip
- Messkampagne 1 (Eawag): Beschreibung und Ergebnisse
- Messkampagne 2 (Monash): Beschreibung und Ergebnisse
- **Diskussion: Limitierung, jetzige Forschungsprojekte und Forschungsbedarf**
- Fazit

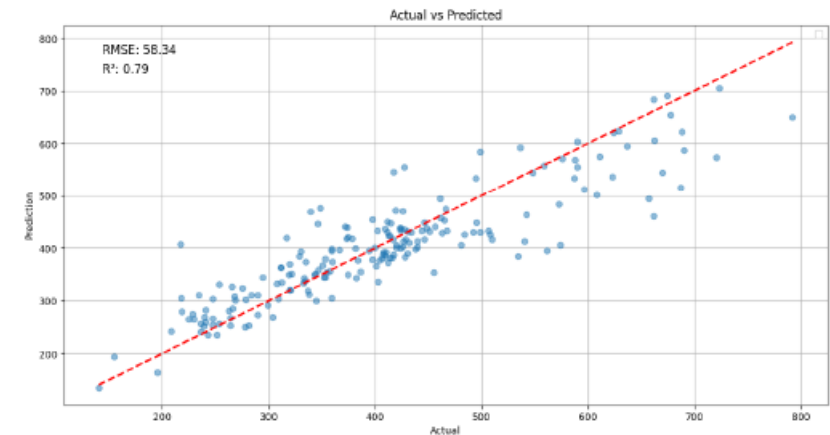
Diskussion: andere jetzige Forschungsprojekte

Silios multispektrale Kamera



430-700 und 650-930nm

<https://www.silios.com/multispectral-imaging>



Diskussion: andere jetzige Forschungsprojekte

Multispektralkamera mit aktiver Beleuchtung

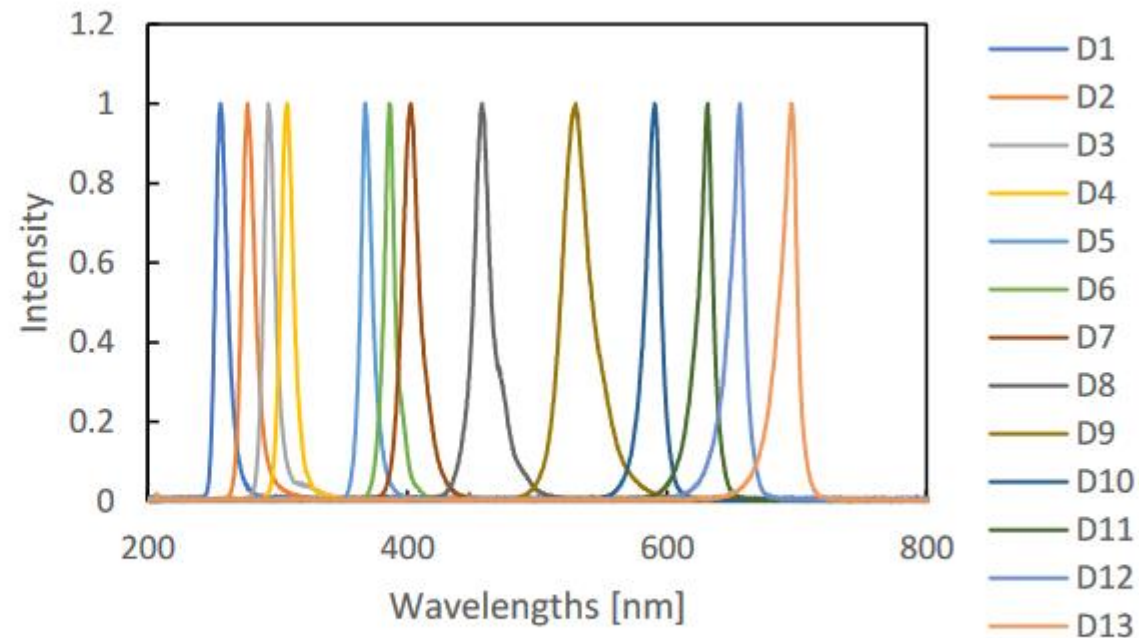
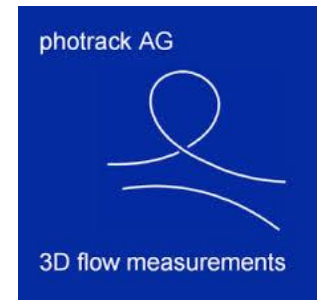


Figure 3. Illumination of the system. (left) Circular board of the LEDs. (right) Spectra of the LEDs, normalized to 1.

Preitner, K., Blanc, S., Honzátka, D., Kündig, C., Pad, P., Saeedi, S., Peña-Haro, S., Lechevallier, P., Rieckermann, J., & Dunbar, L. A. (2023, March 15). *Intelligent multispectral vision system for contactless water quality monitoring for wastewater*. <https://doi.org/10.1117/12.2649921>



Nicolas
Neuenhofer



Diskussion: andere jetzige Forschungsprojekte

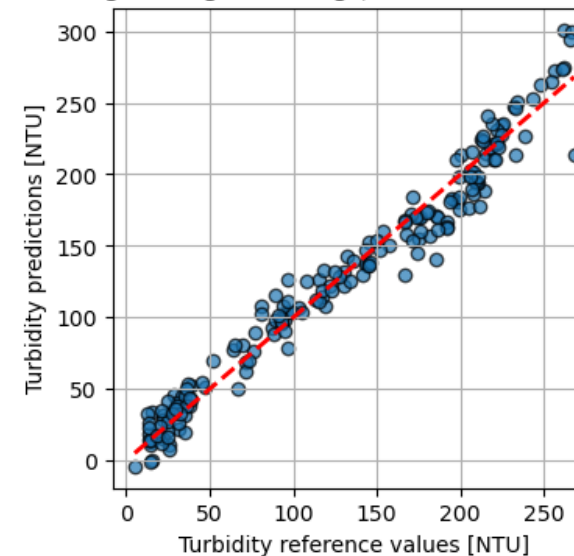
Lowcost Reflexionsspektrophotometer




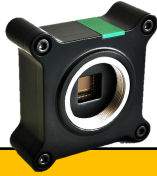


<https://www.bosl.com.au/wiki/Spectrophotometer>



Global using Average Reading ($R^2 = 0.97$, RMSE = 14.3 NTU)

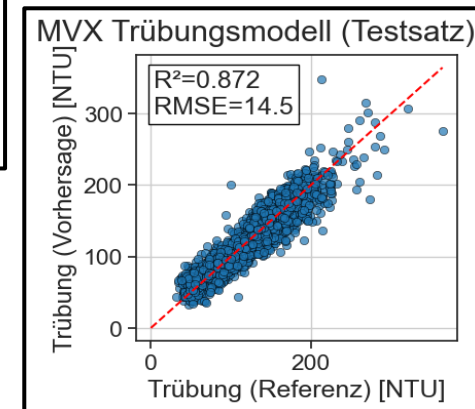
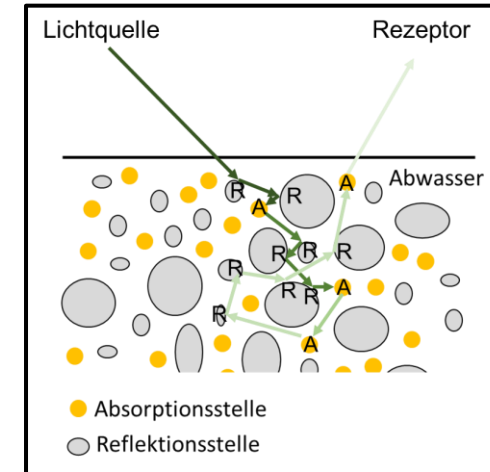


Diskussion: andere jetzige Forschungsprojekte

	MVX hyperspektrale Kamera 	Silios multi-spektrale Kamera 	Multispektralkamera mit aktiver Beleuchtung 	Lowcost Reflexions-spektrophotometer 
Preis	>10.000	1.000-5.000	?	<200
Räumlicher Bereich	1D	2D	2D	Point
Spektralbereich[nm]	400-1.000	430-700 / 650-930	250-700	410-940
TRL (Technologie-reife?)	Commercial	Commercial	Prototype	Prototype





Fazit

- Mehrere unabhängige Versuche zeigen dass Trübung/Partikelkonzentration gut mit Reflexionsintensität korrelieren -> berührungslose Messung der Trübung mit Kamera
- Andere Qualitätsparameter (NH4-N, DOC) zeigen potential, aber mehr Forschung ist nötig
- Wir testen in-house Anpassung der Technologien -> low-cost / UV-Sensitiv



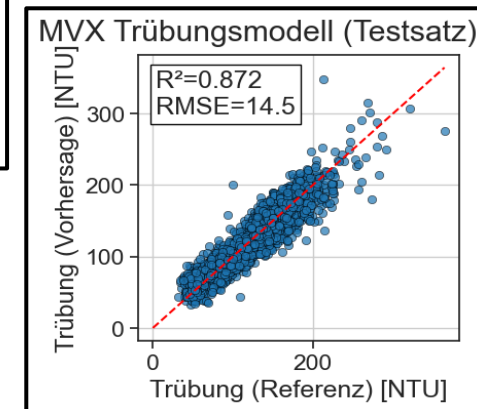
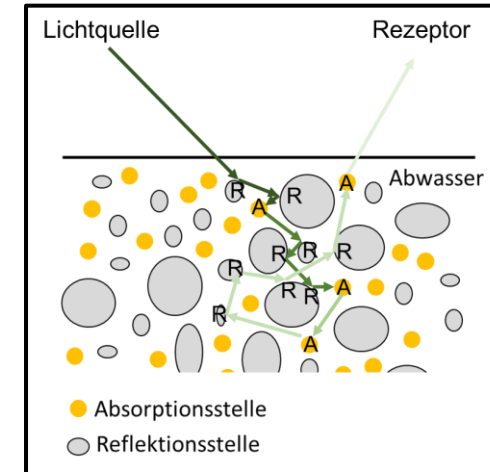
eawag
aquatic research ooo

Diskussion: andere jetzige Forschungsprojekte

	MVX Hypespectral camera 	Silios Multispectral camera 	Active illumination multispectral camera 	Low-cost spectro-photometer 
Price	>10.000	1.000-5.000	?	<200
Spatial resolution	1D	2D	2D	Point
Spectral resolution [nm]	400-1.000	430-700 / 650-930	250-700	410-940
Technological readiness	Commercial	Commercial	Prototype	Prototype

Danksagungen

- Eawag: Richard Fankhauser, Simon Bloem, Marco Kipf, Martin Breitenstein, Adriano Joss, Nicolas Derlon, Sylvia Richter, Aline Hobi, Lena Mutzner, Nicolas Neuenhofer and the SWW Department
- Studenten: Abhinit Mahajan, Laura Waldner, Ilyes Says, Karen Preitner and Zixin Hu
- CSEM und Photrack AG: Sebastien Blanc and Salvador Pena
- South East Water Melbourne: Rex Chan and Madeh Nadimi
- BoSL Team: Eric Zhu, Baiqan Shi, Dave McCarthy and Christelle Shang
- Gruber Günter, Bares Vojtech



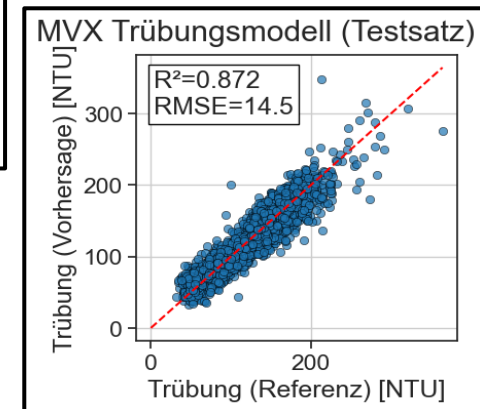
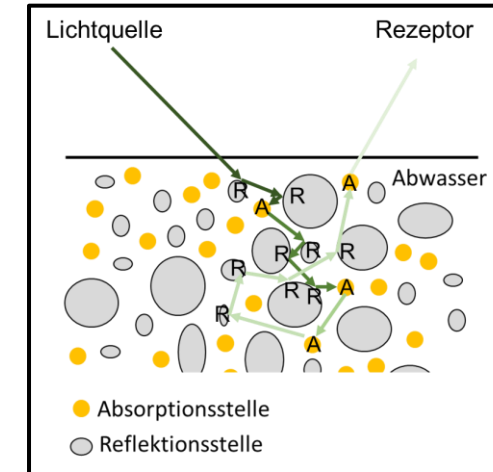
eawag
aquatic research ooo

Diskussion: andere jetzige Forschungsprojekte

	MVX Hyperspectral camera	Silios Multispectral camera	Active illumination multispectral camera	Low-cost spectrophotometer
Price	>10.000	1.000-5.000	?	<200
Spatial resolution	1D	2D	2D	Point
Spectral resolution [nm]	400-1.000	430-700 / 650-930	250-700	410-940
Technological readiness	Commercial	Commercial	Prototype	Prototype





Fazit

- Mehrere unabhängige Versuche zeigen dass Trübung/Partikelkonzentration gut mit Reflexionsintensität korrelieren -> berührungslose Messung der Trübung mit Kamera
- Andere Qualitätsparameter (NH₄-N, DOC) zeigen potential, aber mehr Forschung ist nötig
- Wir testen in-house Anpassung der Technologien -> low-cost / UV-Sensitiv



eawag
aquatic research ooo

Diskussion: andere jetzige Forschungsprojekte

	MVX Hypespectral camera 	Silios Multispectral camera 	Active illumination multispectral camera 	Low-cost spectro-photometer 
Price	>10.000	1.000-5.000	?	<200
Spatial resolution	1D	2D	2D	Point
Spectral resolution [nm]	400-1.000	430-700 / 650-930	250-700	410-940
Technological readiness	Commercial	Commercial	Prototype	Prototype