



Schule-Forschungs-Kooperation



# TREIBHAUSGAS-BILANZEN VON GEWÄSSERN IN MÜNCHEN

Erhoben und präsentiert von

Süeda, Seyma, Nathalie, Tara, Eva, Jezebell, Swinda, Madeleine, Gundula

# SAMPLING

Videotutorial:

Süeda und Seyma

[https://www.youtube.com/watch?v=C3Vm-Nd4\\_bQ](https://www.youtube.com/watch?v=C3Vm-Nd4_bQ)

# GASCHROMATOGRAPHIE

Prinzip und Funktionsweise: Nathalie

<https://www.youtube.com/watch?v=GZqaOBmX2Eg>

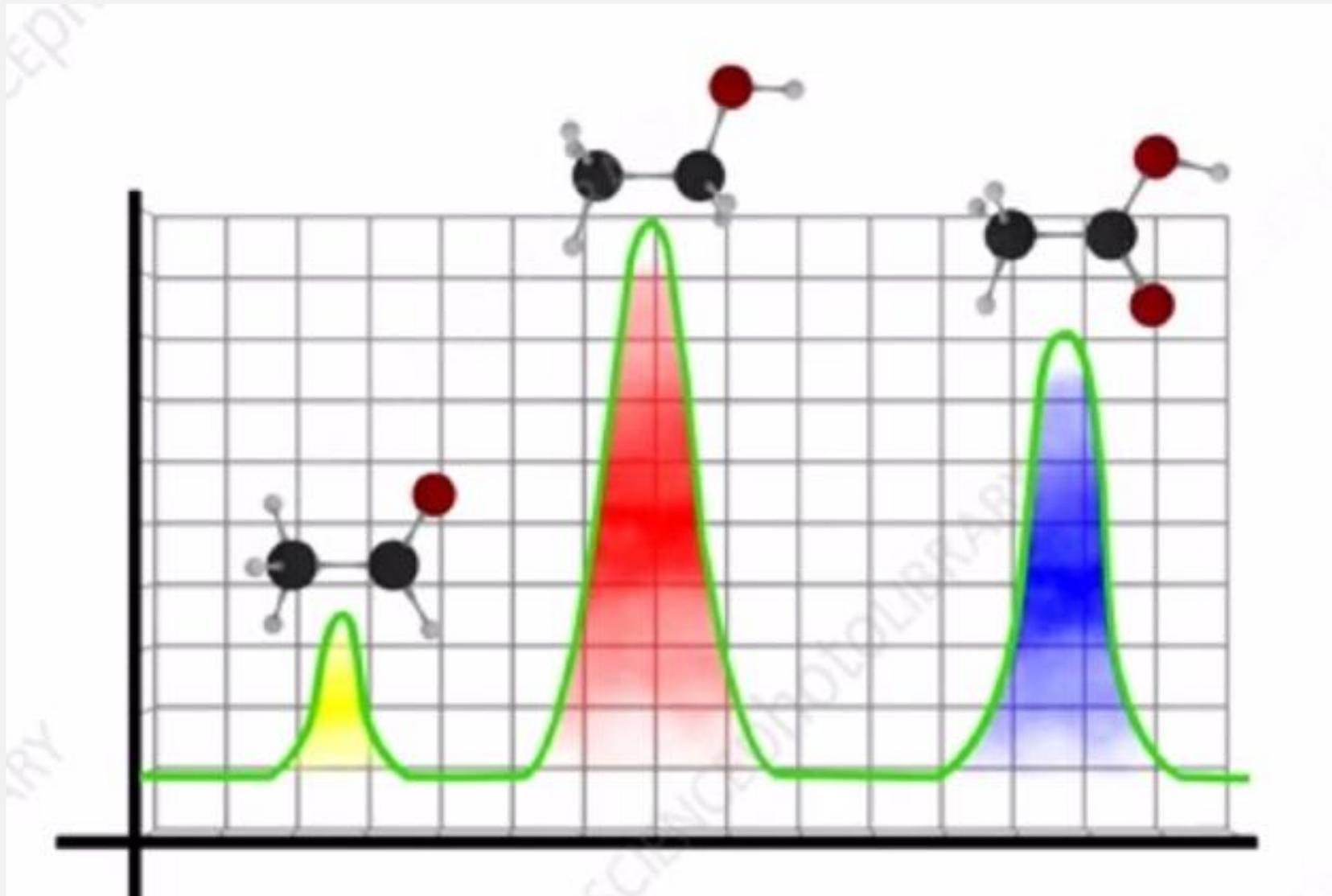
Auswertung der Rohdaten: Eva

## **Auswertung:**

1. Konzentration in ppm ausrechnen
2. Sättigung berechnen

# 1. Konzentrationen in ppm berechnen





Prinzip:

Die „Peak areas“ – also die Flächen unter den Kurven – der aufgetrennten Gase sind relative Maße für ihre Konzentrationen.

# STANDARD

- Der „Standard“ (STD) legt fest, welche „peak area“ eines Gases welcher Konzentration in ppm entspricht.

# BEISPIEL

- STD: „peak area“ 53 entspricht einer Konzentration von 4ppm für CH4

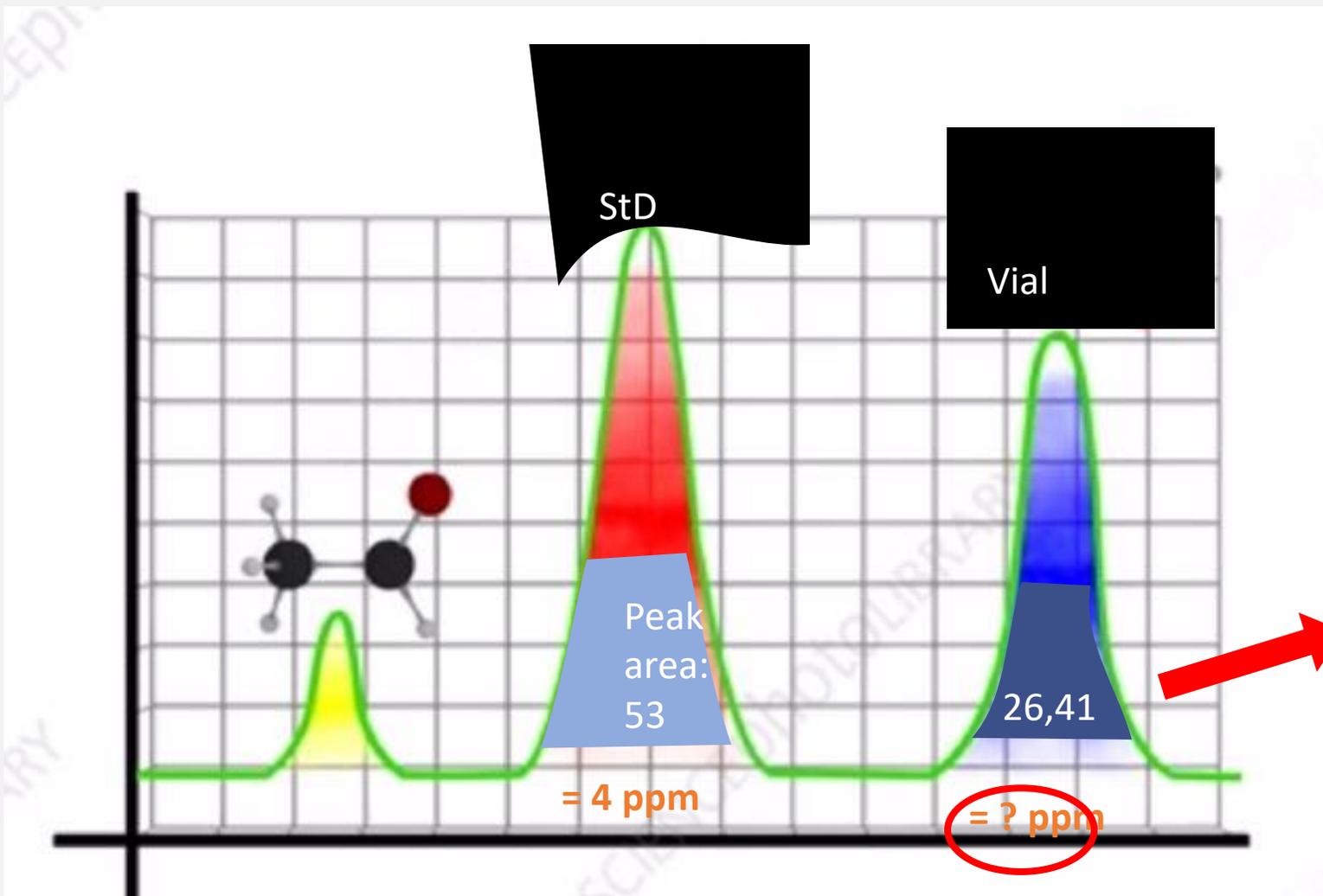
The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data:

ID	CH4_PEAKAREA	CO2_PEAKAREA	N2O_PEAKAREA	STD	PEAK AREA	CONCENTRATION
1						
2	50,75	2452,57	959,01	CH4	53	4 ppm
3	51,21	2478,08	950,22	CO2	2496	150 ppm
4	51,79	2499,54	955,75	N2O	949,06	0,4 ppm
5	52,44	2498,76	948,69			
6	52,40	2537,54	949,87			
7	53,36	2538,38	953,02			
8	52,84	2543,57	951,92			
9	52,77	2548,03	943,46			
10	53,21	2538,19	954,11			
11	53,26	2539,53	953,44			
12	52,97	2526,81	950,62			
13	53,08	2546,04	941,59			
14	53,36	2525,70	945,04			
15	52,45	2528,53	945,15			
16	52,70	2517,58	941,68			
17	52,78	2524,35	948,38			
18	52,76	2516,41	949,30			
19	52,94	2520,65	948,80			
20	53,39	2517,61	945,27			

The formula bar shows: `=MITTELWERT(B2:B77)`

The taskbar shows the following files: GC\_PEAK\_AREA, 2021-Sep-GC, 2021-Sep-GC-Auswertung, 2020.ppm.sat, 2021.Mai-Jul.ppm.sat ...

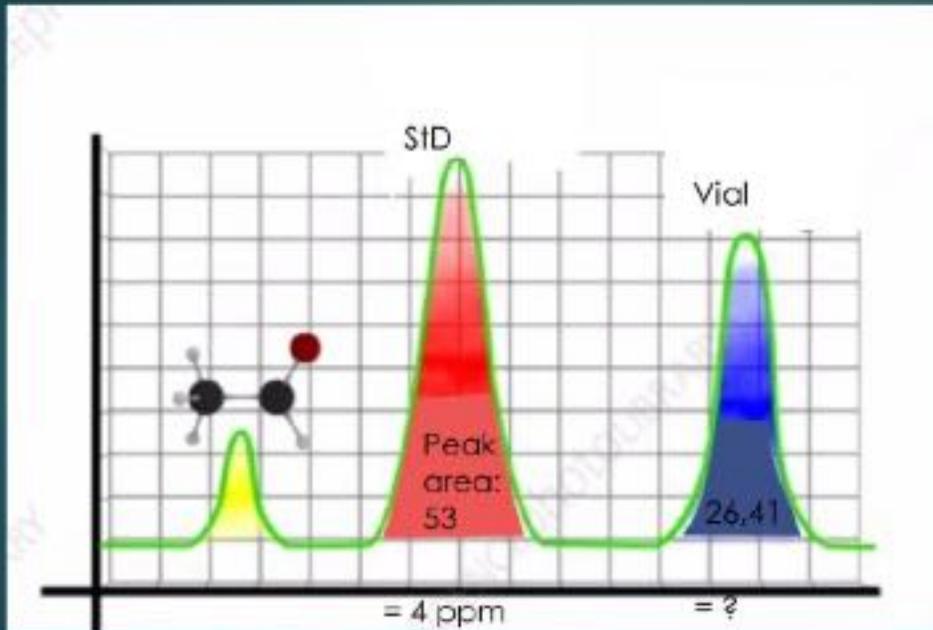
# BEISPIEL CH4



„Peak area“ einer  
„Beprobungs-Einheit“ bei I3

26,4 (ohne Einheit)

# Beispiel CH4



Verhältnisgleichung:

$\frac{\text{Rohergebnis (peak area) (CH4) aus Vial}}{\text{Rohergebnis (peak area) (CH4) aus STD}}$

=

$\frac{\text{Vial-Konzentration}}{\text{STD in ppm}}$

$$\frac{26,41}{53}$$

=

$\frac{\text{Vial-Konzentration}}{4 \text{ ppm}}$

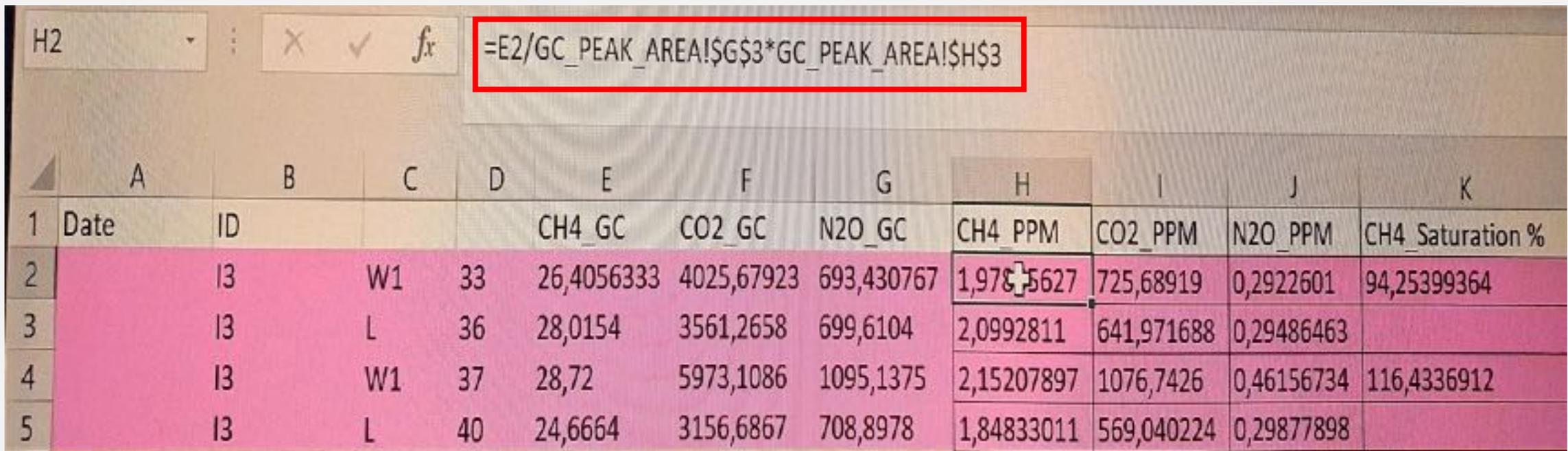
$$\text{Vial-Konzentration} = \frac{26,41}{53} * 4\text{ppm} = 1,9\text{ppm}$$

## EXCEL-ARBEIT:

Rohergebnis (peak area) (CH4) aus Vial  
Rohergebnis (peak area) (CH4) aus STD

=

Vial-Konzentration  
STD in ppm



The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data table:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Date	ID			CH4_GC	CO2_GC	N2O_GC	CH4_PPM	CO2_PPM	N2O_PPM	CH4_Saturation %
2		I3	W1	33	26,4056333	4025,67923	693,430767	1,9785627	725,68919	0,2922601	94,25399364
3		I3	L	36	28,0154	3561,2658	699,6104	2,0992811	641,971688	0,29486463	
4		I3	W1	37	28,72	5973,1086	1095,1375	2,15207897	1076,7426	0,46156734	116,4336912
5		I3	L	40	24,6664	3156,6867	708,8978	1,84833011	569,040224	0,29877898	

The formula bar at the top shows the formula: `=E2/GC_PEAK_AREA!$G$3*GC_PEAK_AREA!$H$3`

## 2. SÄTTIGUNG VON CH<sub>4</sub> BERECHNEN

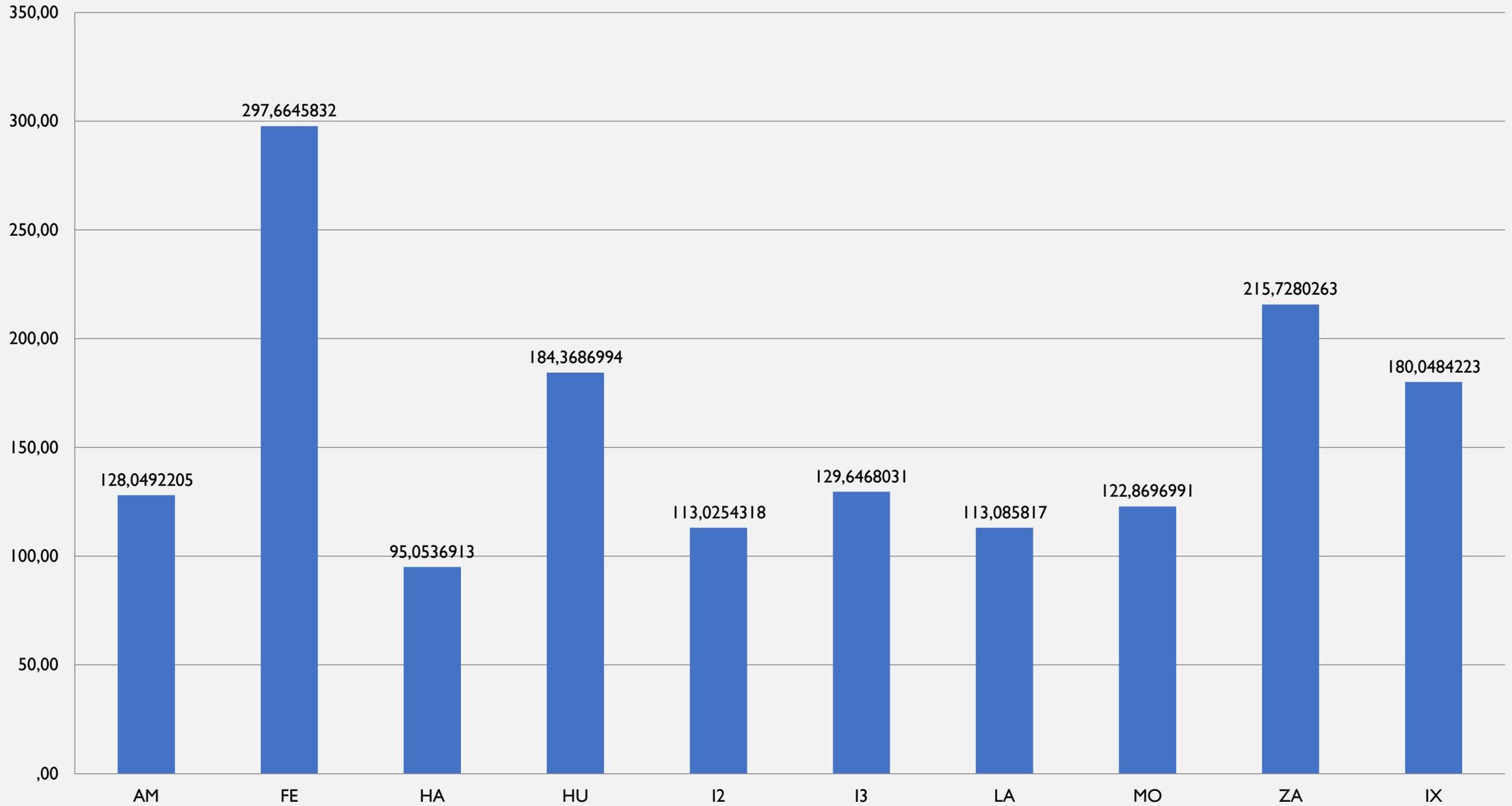
$$\frac{C \text{ (CH}_4 \text{ in ppm über Gewässer)}}{C \text{ (CH}_4 \text{ in ppm in Gewässerferne)}} \times 100\%$$

$$\frac{1,9}{2,09} \times 100\% = 90,9\%$$

# VERGLEICH DER MITTLEREN LACHGAS-SÄTTIGUNGEN

Jezebell

## N2O\_Saturation %



# WIE ENTSTEHT LACHGAS?

- Bodenmikroorganismen machen aus
  - Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) → Lachgas ( $\text{N}_2\text{O}$ )
    - Überschüssiges Nitrat stammt aus übertriebenem Einsatz von synthetischem Dünger

# GEWÄSSERARTEN

I. Fließgewässer  
(AM,HA,HU,I2,I3,LA,IX)



AM = Amper

LA = Langwieder Bach

I = Isar

HA / HU= Hachinger Bach / Hüllgraben



**Bei den Fließgewässern: Zunahme der Sättigungen von Süd nach Nord  
I2 -> I3->I3 und HA -> HU**

# GEWÄSSERARTEN

## II. Künstliche Seen



MO = Mollsee

ZA = Zamilapark

FE = Feringa See



Besonders hohe Werte bei ZA und FE

# MÖGLICHE EINFLUSSFAKTOREN

- Einflüsse durch die Stadt
- Kläranlagen und Abwässer
- Landwirtschaft
- Art des Gewässers
- Nutzung des Gewässers

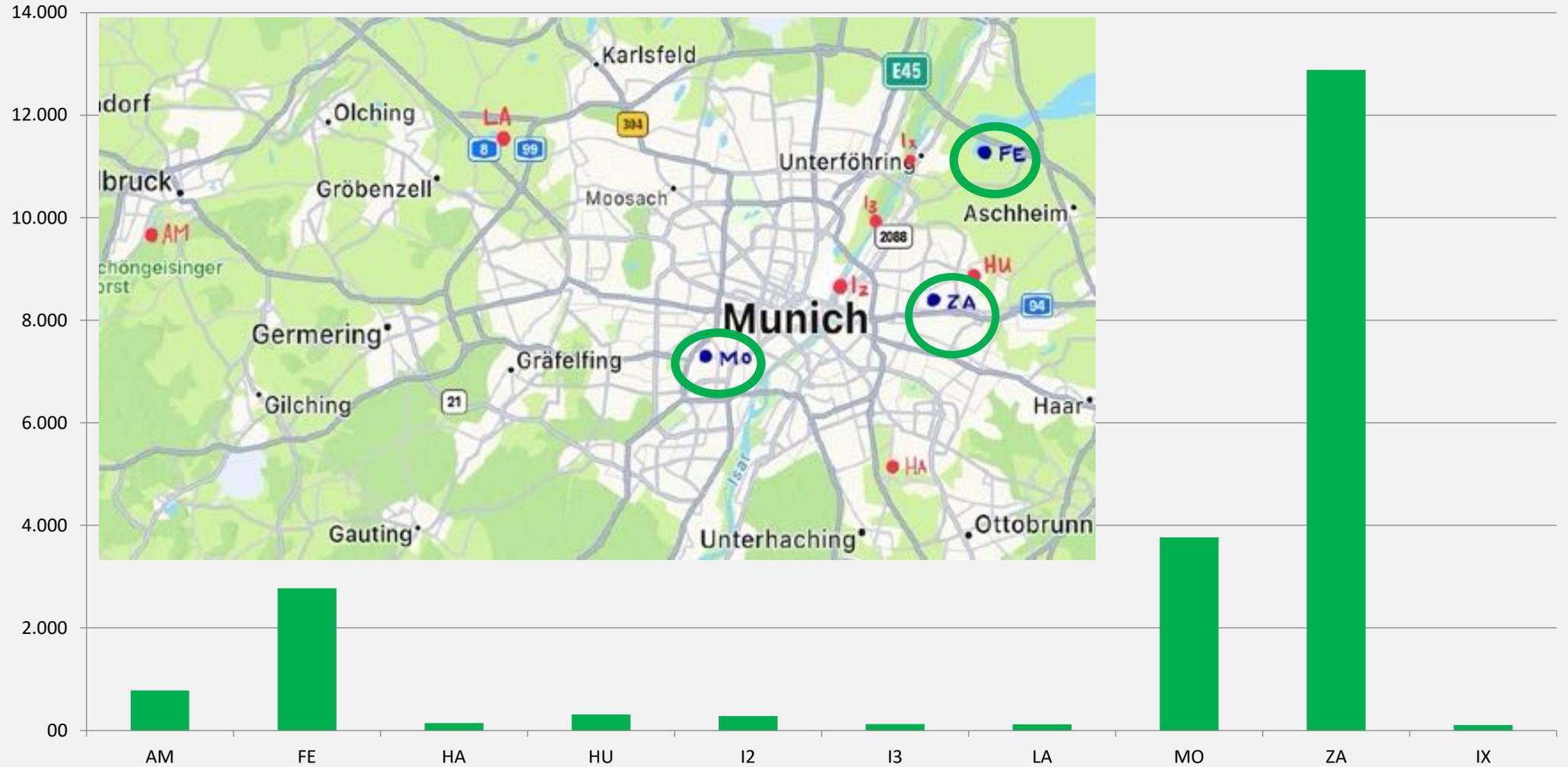
# QUELLEN

- [https://www.umweltfoerderung.at/fileadmin/user\\_upload/media/umweltfoerderung/Dokumente\\_Betriebe/Wasser\\_Betriebe/Studien\\_Wasserwirtschaft/I302015\\_ReLaKO\\_Endbericht.pdf](https://www.umweltfoerderung.at/fileadmin/user_upload/media/umweltfoerderung/Dokumente_Betriebe/Wasser_Betriebe/Studien_Wasserwirtschaft/I302015_ReLaKO_Endbericht.pdf)
- <https://www.umweltbundesamt.de/themen/boden-landwirtschaft/umweltbelastungen-der-landwirtschaft/lachgas-methan>
- <https://oeklo.at/blog/umwelt/lachgas-300x-so-schaedlich-wie-co2-in-klaanlagen>

# VERGLEICH DER MITTLEREN METHAN-SÄTTIGUNGEN

Swinda

## CH<sub>4</sub> Saturation %



Wieder: Besonders hohe Werte bei den künstlichen Seen **FE, MO und ZA**

# METHANMITTELWERTE

AM	780,1
FE	2773,5
ZA	12 883,9
MO	3768,9
I2	278,9
I3	124,8
LA	121,9
HU	313,8
HA	114,3
IX	106,2

**EINFLUSS  
DER  
FLIEßGESCHWINDIGKEIT?**

**VERMUTUNG:**

**NÄHRSTOFFE AUS  
UMLIEGENDER  
LANDSCHAFT WERDEN IN  
GEWÄSSER GESPÜLT**

## HINTERGRUND

- Methanentstehung in Gewässern: Abbau organischer Materialien im Sediment
- In kleinen Gasbläschen steigt es dann vom Grund bis an die Wasseroberfläche und gelangt so in die Atmosphäre
- Abhängig von Temperatur und von der Verfügbarkeit des organischen Materials
- niederländische Laborstudie unter Beteiligung des IGB zeigte
  - ein Anstieg von nur 1°C erhöht die Methanfreisetzung der Gewässer um 6 bis 20 Prozent
  - ein Anstieg von 4°C führte im Labor zu 51 Prozent mehr Methanemissionen

**JE HÖHER DIE  
WASSERTEMPERATUR,  
DESTO WENIGER  
SAUERSTOFF KANN IM  
WASSER GELÖST  
WERDEN**

## MODELL UND LABORWERTE

- Je höher die Temperatur der Flüssigkeit desto schneller bewegen sich die Wassermoleküle
- der Raum für Gasmoleküle nimmt ab → weniger Gas in der Flüssigkeit lösbar
- Abhängig von der Lösbarkeit: bei Normaldruck/0 °C: 49 ml/l Wasser; bei Normaldruck/20 °C: 31 ml/l Wasser

**VERMUTUNG:**

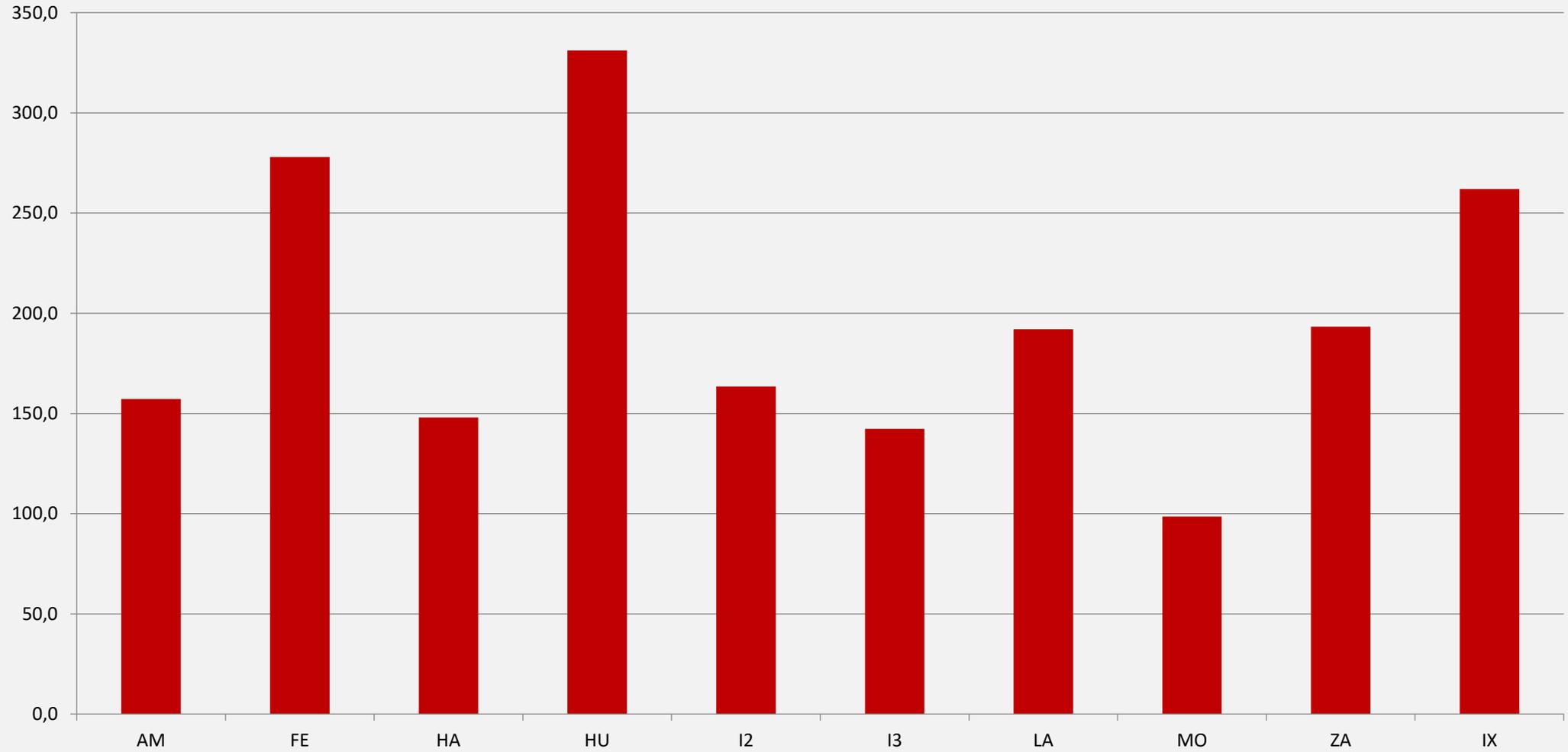
**JE SAUERSTOFFÄRMER  
EIN GEWÄSSER, DESTO  
HÖHER DIE  
METHANWERTE**

# QUELLEN

- [Klimawandel verstärkt Methanfreisetzung aus Gewässern | IGB \(igb-berlin.de\)](https://www.igb-berlin.de)
- [Klimagase aus Gewässern | IGB \(igb-berlin.de\)](https://www.igb-berlin.de)
- [Sauerstoffmangel in unseren Gewässern - Paderborner Angelverein 1886 e.V. \(paderborner-angelverein.de\)](https://www.paderborner-angelverein.de)
- [www.lernhelfer.de/schuelerlexikon/chemie/artikel/sauerstoff](https://www.lernhelfer.de/schuelerlexikon/chemie/artikel/sauerstoff)

# VERGLEICH DER MITTLEREN CO<sub>2</sub>-SÄTTIGUNGEN

### CO2\_Saturation %



Keine auffälligen Muster

# MÖGLICHE ABHÄNGIGKEITEN VON TREIBHAUSGAS- SÄTTIGUNGEN

Gundula

# GLIEDERUNG

1. Mögliche Einflüsse auf Methan-Emissionen
2. Mögliche Einflüsse auf Kohlenstoffdioxid-Emissionen
3. Mögliche Einflüsse auf Lachgas-Emissionen
4. Einflussfaktoren auf Treibhausgas Flussraten
5. Quellen



# 1. Mögliche Einflüsse auf Methan-Emissionen

## Mikrobielle Gemeinschaften

**Quelle: Kharitonov, S. et al. 2022**

[https://www.mdpi.com/2076-3298/8/2/16/html/methanenvironments-08-00016-v2 \(2\).pdf](https://www.mdpi.com/2076-3298/8/2/16/html/methanenvironments-08-00016-v2%20(2).pdf)

**(Metastudie)**

**Untersuchung von mikrobiellen Gemeinschaften und ihren Einfluss auf Methan-Emissionen in verschiedenen Gewässern: Salz-, Süß- und Mischgewässer**

**Untersuchung von Sedimenten und Organismen im Wasser  
-> möglicher Einfluss auf Methan-Emissionen von Gewässern**

**In Untersuchung um den Langwieder Bach NICHT berücksichtigt**

**→ mögliche Einflüsse mikrobieller Organismen auf  
Methan-Emissionen von Langwieder Bach**

# 2. Mögliche Einflüsse auf Kohlenstoffdioxid-Emissionen

## Licht/ Tageszeit/ Photosynthese/ Pflanzliches Material

**Quelle:** Gomez-Gener, L. et al. 2021  
<https://www.nature.com/articles/s41561-021-00722-3>

**(Metastudie global)**

**Stärkere CO<sub>2</sub>-Emissionen bei Nacht als bei Tag wegen Einfluss der Lichtverhältnisse auf pflanzliche Photosynthese → bei dunkler angelegten Bächen höhere Emissionen als bei hellen Gewässern am Tag**

**Licht/Tageszeit bei Untersuchungen des Langwieder Bachs NICHT berücksichtigt**  
→ Möglichkeit für höhere nächtliche Emissionen als untersuchte Emissionen bei Tag, Möglichkeit der Beeinflussung der Emissionen tagsüber durch pflanzliches Material im Langwieder Bach

## Chemische/ Mikrobielle Vielfalt

**Quelle:** Tanentzap, A. et al. [Hrsg.] 2019  
<https://www.pnas.org/content/pnas/116/49/24689.full.pdf>  
<https://www.pnas.org/content/116/49/24689>

**(Süßwasser Betrachtung von 2 Seen Ontario Kanada)**

**Chemische Vielfalt in Sedimenten und organischem Material fördert mikrobielle Vielfalt (Möglichkeiten zur Koexistenz);  
Chemische Vielfalt → Konzentration von Treibhausgasen in Süßgewässern → Einfluss auf Kohlenstoffkreislauf**

**Chemische/mikrobielle Vielfalt beim Langwieder Bach in aktueller Untersuchung NICHT berücksichtigt**  
→ Chemische/mikrobielle Vielfalt (z.B. durch erhöhte Menge an organischem/pflanzlichen Material) könnte den Kohlenstoffgehalt im Langwieder Bach beeinflussen

## Künstliches Licht

**Quelle:** IGB [Hrsg.] 2015

<https://www.igb-berlin.de/news/tatort-gewaesser>

**(Studie Gewässer Großraum Berlin)**

**Mögliche Auswirkungen künstlicher Beleuchtung auf Lebensgemeinschaften unter Wasser und damit zusammenhängende CO<sub>2</sub>-Emissionen des Gewässers -> Ergebnisse der Studie bisher unbekannt**

**Künstliches Licht bei Untersuchung des Langwieder Bachs NICHT berücksichtigt**

**→ unbekannt mögliche Auswirkungen auf CO<sub>2</sub>-Emissionen des Langwieder Bachs**

## Flüsse / Bäche als CO<sub>2</sub>-Transfer /Regulation Seen/ Ozean

**Quelle:** Witman, S. 2017

<https://eos.org/research-spotlights/why-is-there-so-much-carbon-dioxide-in-rivers>

**(Studie Gewässer in den USA)**

**Mehr CO<sub>2</sub>-Abgabe aus mit CO<sub>2</sub>-übersättigten Süßwasserflüssen und Bächen: wichtige Komponente im CO<sub>2</sub>-Transfer zu ozeanischen Systemen**

**→ Flüsse und Bäche Treibhausgasquellen, Ozeane und Seen Treibhausgasenken**

**In Untersuchung NICHT berücksichtigt**

**→ Flüsse/Bäche eventuell Funktion als CO<sub>2</sub>-Quelle**

**→ höhere CO<sub>2</sub>-Emissionen bei Flüssen/ Bächen als bei Seen/ ozeanischen Gewässern**

## Organisches Material/ Lage des Gewässers

Quelle: Ma, K. 2019

<https://www.stalberttoday.ca/local-news/rivers-as-carbon-sinks-1649380>

**Studie an Gletscher gespeisten Flüssen in Kanada**

**Gletscher gespeiste Flüsse und Seen sind CO<sub>2</sub>-Senken, u.a. wegen weniger organischem Material  
(Phänomen durch Klimawandel bedroht)**

**Organisches Material / Gestein bei aktueller Untersuchung  
des Langwieder Bachs NICHT gemessen**

→ möglicher Zusammenhang Lage des Gewässers / organisch enthaltenes Material könnte  
Auswirkungen auf Treibhausgase haben



Langwieder Bach Frühling 2020

# Fließgeschwindigkeit

Quelle: Podbregar, N. 2015

<https://www.wissenschaft.de/umwelt-natur/schnelle-fluesse-atmen-mehr/#:~:text=Wer%20sich%20dagegen%20intensiv%20bewegt,frei%2C%20sondern%20die%20schnell%20flieBenden.>

(Studie Gewässer Großbritanniens)

Auswirkungen der Fließgeschwindigkeit auf CO<sub>2</sub>-Emissionen des Gewässers

→ je schneller das Gewässer, desto höhere Kohlenstoff-Emissionen; größere Wasseroberfläche durch Verwirbelungen und Turbulenzen des Wassers → besserer Gasaustausch

Fließgeschwindigkeit in aktueller Untersuchung des Langwieder Bachs gemessen

→ möglicher Zusammenhang Fließgeschwindigkeit und CO<sub>2</sub>-Emissionen des Langwieder Bachs

Uhrzeit	Datum	Luft	Wassertemperatur	o <sub>2</sub> in mg/L	O <sub>2</sub> in %	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> in mg/L	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> in mg/L	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> in mg/L	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> in mg/L	pH	v in m/s	Luftdruck in hPa	LA: W1/W2/W3/L/WF
11:30	19.07.2020	11°C	11°C	/	/	25	0	/		6,5	c.25	/	/
19:23	09.08.2020	27°C	16°C	/	/	25	0	0	3	6	0,2	975.8hPa	01,02,03,/,0104
11:12	11.08.2020	23°C	15°C	/	/	25	0	0	3	5,5	0,3	956.7hPa	05,06,07,08,0508
19:00	13.08.2020	25°C	16°C	/	/	25	0	0	3	5,5	0,2	957.5hPa	/
(Regen)													
12:21	15.08.2020	23°C	14°C	/	/	10	0	0	0	5,5	0,2	956.2hPa	09,10,11,12,0912
(Regen)													
16:05	02.09.2020	21°C	15°C	/	/	10	0	0	0	5,5	0,2	956.6hPa	13,14,15,16,1316
10:28	02.11.2021	20°C	12°C	/	/	10	0	0	0	5,5	0,2	1016.5hPa	17,18,19,20,1720
12:00	02.01.2021	9°C	5°C	/	/	0	0	0	0	5,5	0,15	943,9hPa	21,22,23,24,2124
14:18	02.03.2021	13°C	10°C	/	/	0	0	0	0	5,5	0,2	970.0hPa	25,26,27,28,2528
10:30	30.03.2021	23°C	13°C	/	/	0	0	0	0	5,5	0,2	1028.0hPa	29,30,31,32,2932
15:19	10.04.2021	20°C	14°C	/	/	0	0	0	0	5,5	0,2	955.2hPa	33,34,35,36,3336
16:30	25.05.2021	14°C	12°C	/	/	0	0	0	0	5,5	0,2	956.6hPa	37,38,39,40,3740
	03.06.2021	28°C	14°C	/	/	0	0	0	0	6	0,2	960.4hPa	41,42,43,44,4144
	12.06.2021	23°C	15°C	/	/	0	0	0	0	5,5	0,15	960.4hPa	45,46,47,48,4546

# 3. Mögliche Einflüsse auf Lachgas-Emissionen

## Nitratgehalt

Quelle: National Science Foundation [Hrsg.] 2010

[https://www.scinexx.de/news/geowissen/fluesse-als-lachgas-schleudernentlarvt/#:~:text=Die%20FI%3BCsse%20der%20Erde%20geben,\(PNAS\)%20erschienenen%20Studie%20hervor.](https://www.scinexx.de/news/geowissen/fluesse-als-lachgas-schleudernentlarvt/#:~:text=Die%20FI%3BCsse%20der%20Erde%20geben,(PNAS)%20erschienenen%20Studie%20hervor.)

(Gewässer in den USA)

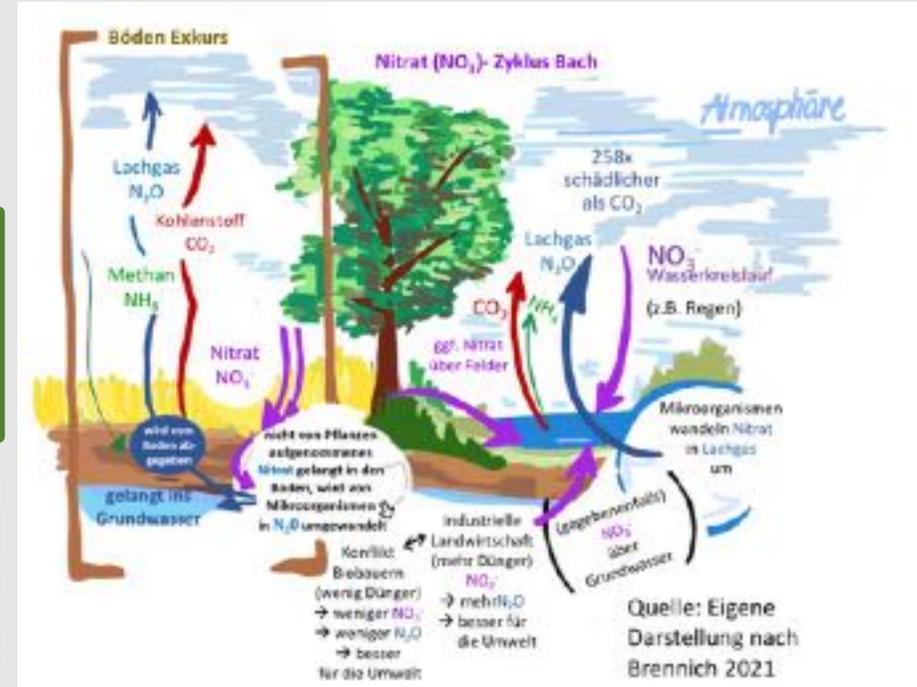
Düngung erhöht den Stickstoffwert in Gewässern und erhöht die Lachgasemissionen

→ Zusammenhang Lachgas-Emissionen und Nitratgehalt in Gewässern

### Nitratgehalt des Gewässers und Lachgas-Emissionen am Langwieder Bach untersucht

→ Möglicher Zusammenhang umliegende landwirtschaftliche Nutzung, Nitratgehalt und Lachgasemissionen am Langwieder Bach

Uhrzeit	Datum	Luft	Wassersvorklar	α in mg/L	ODH%	NO3 <sup>-</sup> in mg/L	NO2 <sup>-</sup> in mg/L	NH4 <sup>+</sup> in mg/L	PO4 <sup>3-</sup> in mg/L	pH	Temper	Luftdruck in Pa	Dr. NO/N2/NO2/LW
11:30	19.07.2020	11°C	11°C	/	/	25	0	/	3	6,3	0,25	/	/
15:23	29.08.2020	23°C	18°C	/	/	25	0	0	3	6	0,2	375,81Pa	01,02,03,1,0034
11:17	11.08.2020	23°C	15°C	/	/	25	0	0	3	5,5	0,3	356,71Pa	05,06,07,08,0938
15:00	13.08.2020	25°C	18°C	/	/	25	0	0	3	5,5	0,2	357,51Pa	/
(Folge)													
12:21	15.08.2020	23°C	14°C	/	/	10	0	0	0	5,5	0,2	356,71Pa	09,10,11,12,017
(Folge)													
16:05	22.09.2020	21°C	15°C	/	/	10	0	0	0	5,5	0,2	356,81Pa	13,14,15,16,1316
10:28	22.11.2021	20°C	12°C	/	/	10	0	0	0	5,5	0,2	1018,51Pa	17,18,19,20,1720
12:00	22.01.2021	9°C	5°C	/	/	0	0	0	0	5,5	0,15	343,51Pa	21,22,23,24,2124
14:18	22.03.2021	13°C	10°C	/	/	0	0	0	0	5,5	0,2	370,01Pa	25,26,27,28,2528
10:30	30.03.2021	23°C	13°C	/	/	0	0	0	0	5,5	0,2	1028,01Pa	29,30,31,32,2932
15:19	20.04.2021	20°C	14°C	/	/	0	0	0	0	5,5	0,2	355,21Pa	33,34,35,36,3336
16:30	25.05.2021	24°C	12°C	/	/	0	0	0	0	5,5	0,2	356,11Pa	37,38,39,40,3740
	27.06.2021	28°C	14°C	/	/	0	0	0	0	6	0,2	350,41Pa	41,42,43,44,4144
	12.06.2021	23°C	15°C	/	/	0	0	0	0	5,5	0,15	350,41Pa	45,46,47,48,4546



Stickstoffkreislauf-Zyklus eines Gewässers

# 4. Einflussfaktoren auf Treibhausgas-Flussraten



# 5. QUELLEN

**Podbregar, N. 2015**

<https://www.wissenschaft.de/umwelt-natur/schnelle-fluesse-atmen-mehr/#:~:text=Wer%20sich%20dagegen%20intensiv%20bewegt,frei%2C%20sondern%20die%20schnell%20flie%C3%9Fenden.>

**National Science Foundation [Hrsg.] 2010**

[https://www.scinexx.de/news/geowissen/fluesse-als-lachgas-schleudernlarvt/#:~:text=Die%20Fl%C3%BCsse%20der%20Erde%20geben,\(PNAS\)%20erschieneenen%20Studie%20hervor.](https://www.scinexx.de/news/geowissen/fluesse-als-lachgas-schleudernlarvt/#:~:text=Die%20Fl%C3%BCsse%20der%20Erde%20geben,(PNAS)%20erschieneenen%20Studie%20hervor.)

**Ma, K. 2019**

<https://www.stalberttoday.ca/local-news/rivers-as-carbon-sinks-1649380>

**Tanentzap, A. et al. [Hrsg.] 2019**

<https://www.pnas.org/content/pnas/116/49/24689.full.pdf>

<https://www.pnas.org/content/116/49/24689>

**Gomez-Gener, L. et al. 2021**

<https://www.nature.com/articles/s41561-021-00722-3>

**IGB [Hrsg.] 2015**

<https://www.igb-berlin.de/news/tatort-gewaesser>

**Witman, S. 2017**

<https://eos.org/research-spotlights/why-is-there-so-much-carbon-dioxide-in-rivers>

**Kharitonov, S. et al. 2022**

<https://www.mdpi.com/2076-3298/8/2/16/htm>

[methanenvironments-08-00016-v2 \(2\).pdf](methanenvironments-08-00016-v2 (2).pdf)

**Arneth, A. 2021:**

KIT-Expertin zu aktuellem Thema: Klimaschutz, Biodiversität und soziale Gerechtigkeit müssen zusammen gedacht werden, hrsg. v. Karlsruher Institut für Technologie KIT, Garmisch, <https://www.imk-ifu.kit.edu/775.php>, 2021, letzter Zugriff 03.09.2021.

**Bayerisches Landesamt für Umwelt [Hrsg.], o. J.:**

UmweltAtlas; Gewässerbewirtschaftung, <https://www.umweltatlas.bayern.de/>, letzter Zugriff 04.11.2021.

**Chinery, M. 1986:**

Pareys Buch der Insekten; Ein Feldführer der europäischen Insekten; Über 2300 Insekten in Farbe, Hamburg et al. 1986.

**Deutsche Umwelthilfe o.J.:**

Troublemaker, Berlin et al. o.J.,

[https://www.duh.de/fileadmin/user\\_upload/download/Projektinformation/Naturschutz/Stickstoff/Troublemaker\\_115x160mm\\_Leporello-hochkant\\_Ansicht-Einelseiten.pdf](https://www.duh.de/fileadmin/user_upload/download/Projektinformation/Naturschutz/Stickstoff/Troublemaker_115x160mm_Leporello-hochkant_Ansicht-Einelseiten.pdf), letzter Zugriff 17.01.2021.

**Zeichnungen und Grafiken: Gundula Goecke 2021.**



**Vielen Dank für eure und  
Ihre Aufmerksamkeit!**



Schule-Forschungs-Kooperation



VIELEN DANK AN  
ANJA SCHÄFLER-SCHMID  
RICKY MWANAKE  
DR. RALF KIESE