

■ Entfernung von Vanadium aus Trinkwasser
durch Adsorption an Eisenhydroxid:
Praxiserfahrungen aus Wasserwerken in der Vulkaneifel



Mögliche Aufbereitungsverfahren zur Vanadiumentfernung

Quelle: Riegel et al. (2017) „Literaturrecherche zur aufbereitungstechnischen Entfernung von Vanadium“
DVGW-Forschungsbericht TZW, W 201704

→ Analogie zur Arsenentfernung!

- Flockung mit Eisensalzen
- Adsorption an Metalloxid-Adsorbentien, insbesondere Eisenhydroxidgranulat
- Einsatz von Ionenaustauscher-Harzen
- Membranverfahren (NF / RO)



DVGW Arbeitsblatt W 249 in Überarbeitung
„Entfernung relevanter Schwermetalle
in der zentralen Trinkwasseraufbereitung“

Granuliertes Eisenhydroxid GEH®



■ GEH® ist ein synthetisches Eisenhydroxid (β -FeOOH u. $\text{Fe}(\text{OH})_3$)

■ Entwickelt in den 1990er an der TU Berlin zur Arsenentfernung aus Trinkwasser

■ Adsorptionsgranulat mit hoher Porosität und großer Oberfläche

■ Körnung	0,2 – 2 mm
BET-Oberfläche	ca. 300 m ² /g
Bettdichte	ca. 1.150 kg/m ³
Trockensubstanz	ca. 60 %

■ Qualität entspricht Europäischer Norm (DIN EN 15029)



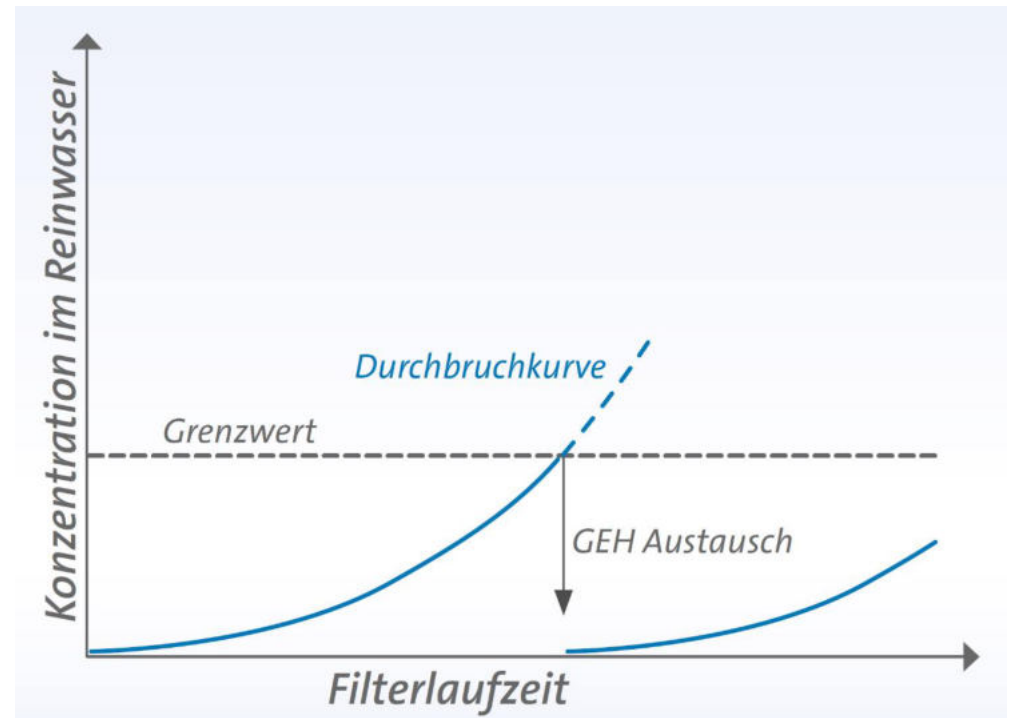
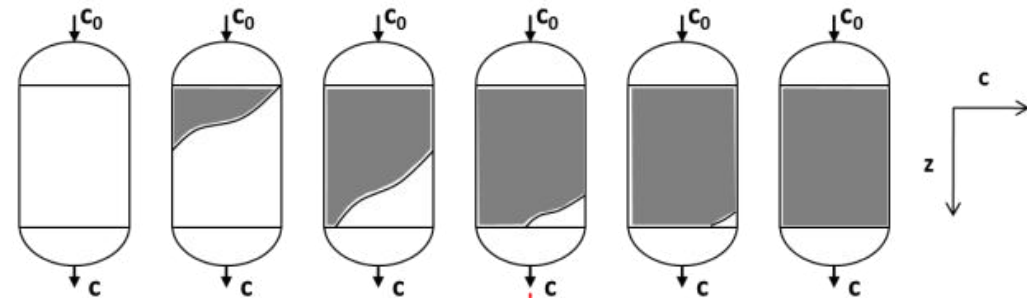
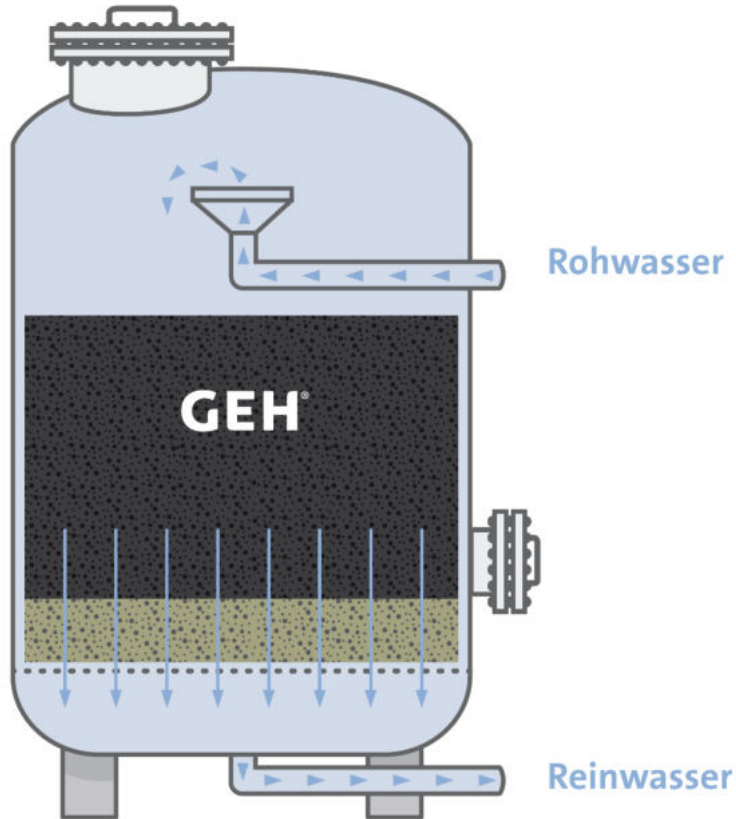
■ → Nach § 20-Liste TrinkwV für die Entfernung von **Arsen & Vanadium** zugelassen

■ Internationale Zulassungen, z.B. NSF/ANSI 61



■ GEH®-Produktion unterliegt einem nach ISO 9001:2015 zertifiziertem Qualitätsmanagementsystem

Funktionsweise von Festbettadsorptionsfilter



Vanadiumentfernung mit Eisenhydroxid (GEH)



Chronologie



Seit 2000 Generelle Erfahrungen bei der Arsenentfernung
→ Vanadium als wichtiges Konkurrenz-Anion

2015-2017 Diverse Laboruntersuchungen zur Vanadiumadsorption

2016 - 2019 Pilotversuche in mehreren Wasserwerken

2019 - 2022 Erweiterte Wirksamkeitsprüfung (EWP)
und Bewährungsphase

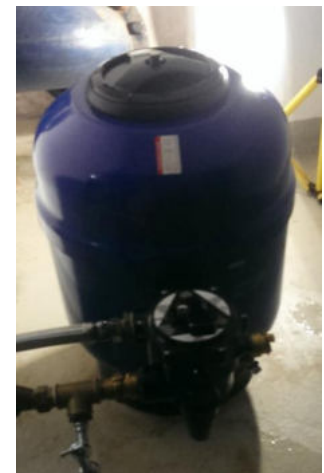
Ende 2021 Inbetriebnahme Wasserwerk Kirchweiler
→ Erstes Wasserwerk mit Vanadiumentfernung

Stand 2023 weitere Projekte in Planung

Pilotanlagen (2016-2019)

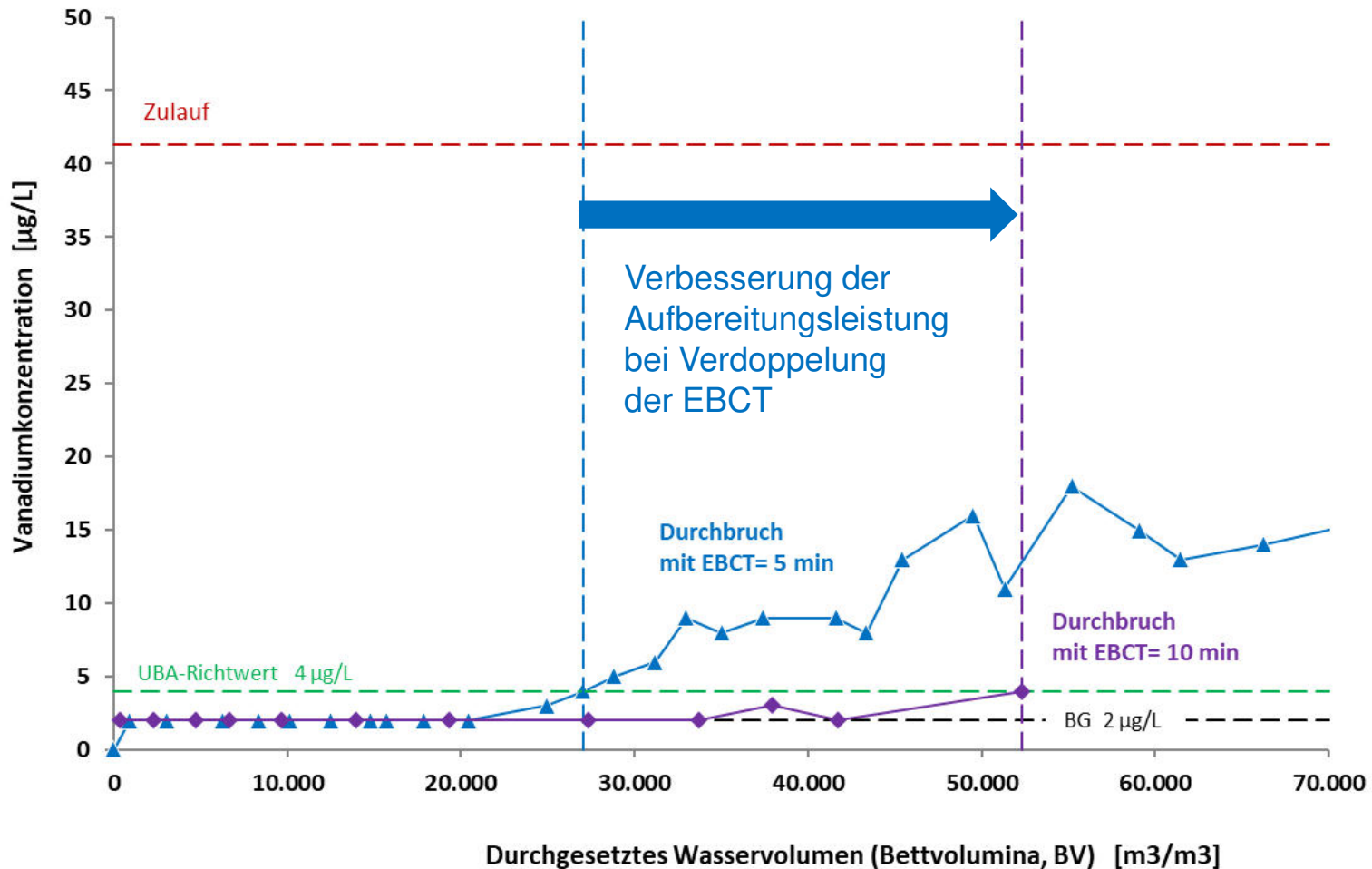
- Tests an 3 Standorten (Saarland und Rheinland-Pfalz)
- Kleine GEH-Filter mit 30-100 kg und $Q=0,5-2,0 \text{ m}^3/\text{h}$
- Rohwasser & Ergebnisse an den Standorten:

Parameter	Standort „P“	Standort „K“	Standort „W“
pH	7,6	7,4	7,5
Vanadium [$\mu\text{g}/\text{L}$]	19	48	43
Phosphat [$\text{mg}/\text{L PO}_4$]	0,2	0,7	0,6
Silikat [$\text{mg}/\text{L SiO}_2$]	18	37	40
Erzielte Aufbereitungskapazität ($<4 \mu\text{g}/\text{l V}$)	100.000 BV	45.000 BV	30.000 BV
Erzielte Vanadium-Beladung [g/kg GEH TS]	4,7	3,2	1,9



Pilotanlagen (2016-2019)

Abhängigkeit der Kapazität von Kontaktzeit (Pilotfilter Standort „W“)

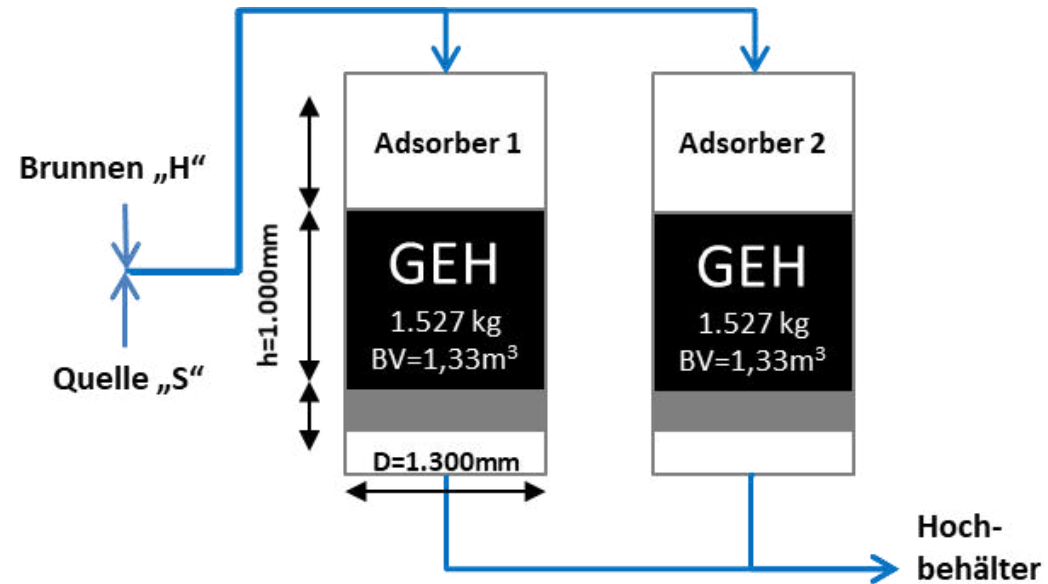


Erweiterte Wirksamkeitsprüfung (EWP) (2019)

- Zweck:**
 - Nachweis der Wirksamkeit für $< 4 \mu\text{g/L V}$
 - Aufnahme in die „§20-Liste TrinkwV“
- Standort:**
 - WW HB Ernstberg, Daun
 - versorgungswirksamer Betrieb mit $Q_{\text{max}} = 40 \text{ m}^3/\text{h}$, 16 h/d

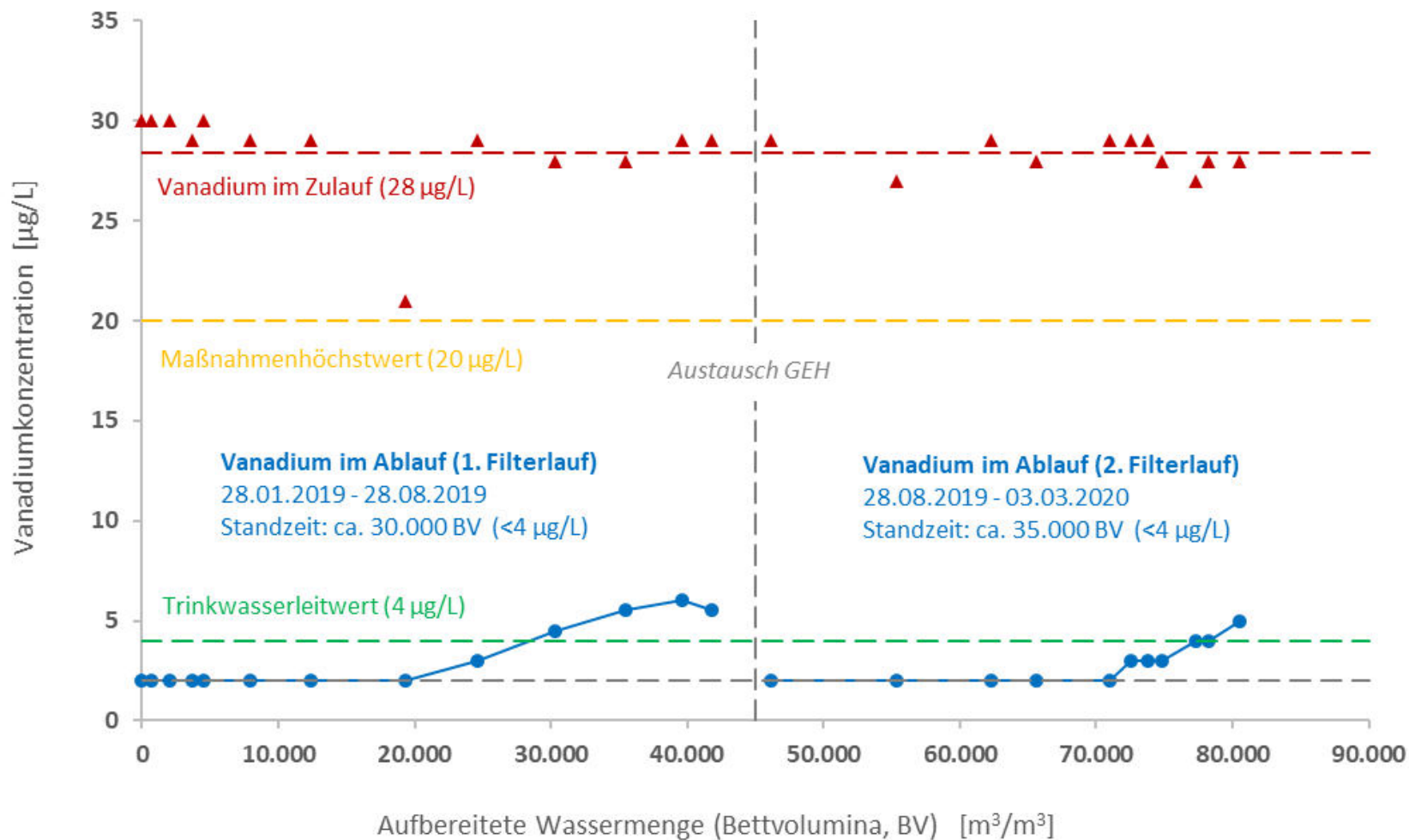


Parameter	Rohwasser
pH	7,4
L_f [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	300
Härte [mmol/L]	1,3
Vanadium [$\mu\text{g}/\text{L}$]	30
Arsen [$\mu\text{g}/\text{L}$]	< 1
Phosphat [$\text{mg}/\text{L PO}_4$]	0,5
Silikat [$\text{mg}/\text{L SiO}_2$]	33



Erweiterte Wirksamkeitsprüfung (EWP) (2019)

Durchbruchskurve für Vanadium



Das Wasserwerk Kirchweiler (Daun, Vulkaneifel)

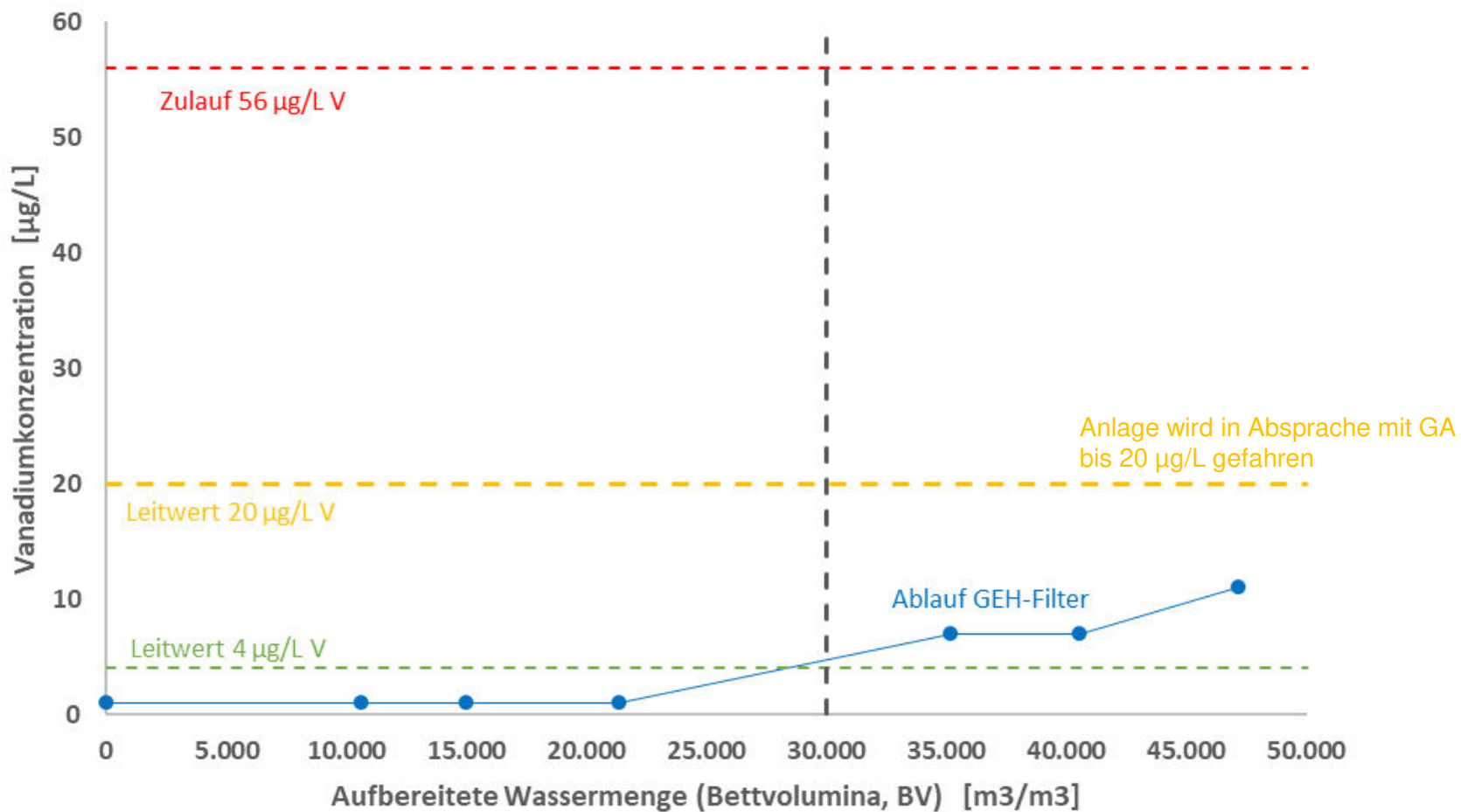
- Referenzanlage für Vanadiumentfernung
- 1. Schritt: Vanadiumentfernung mit GEH
2. Schritt: Entsäuerung mittels Akdolit®
- 2x GEH-Filter (parallel), D=2.400mm mit jeweils 8,3 t GEH
- 65 m³/h und ca. 1.000 m³/Tag
- Rohwasserzusammensetzung:

Parameter	Rohwasser
pH	6,7
Vanadium [µg/L]	47-56
Phosphat [mg/L PO ₄]	0,7
Silikat [mg/L SiO ₂]	39

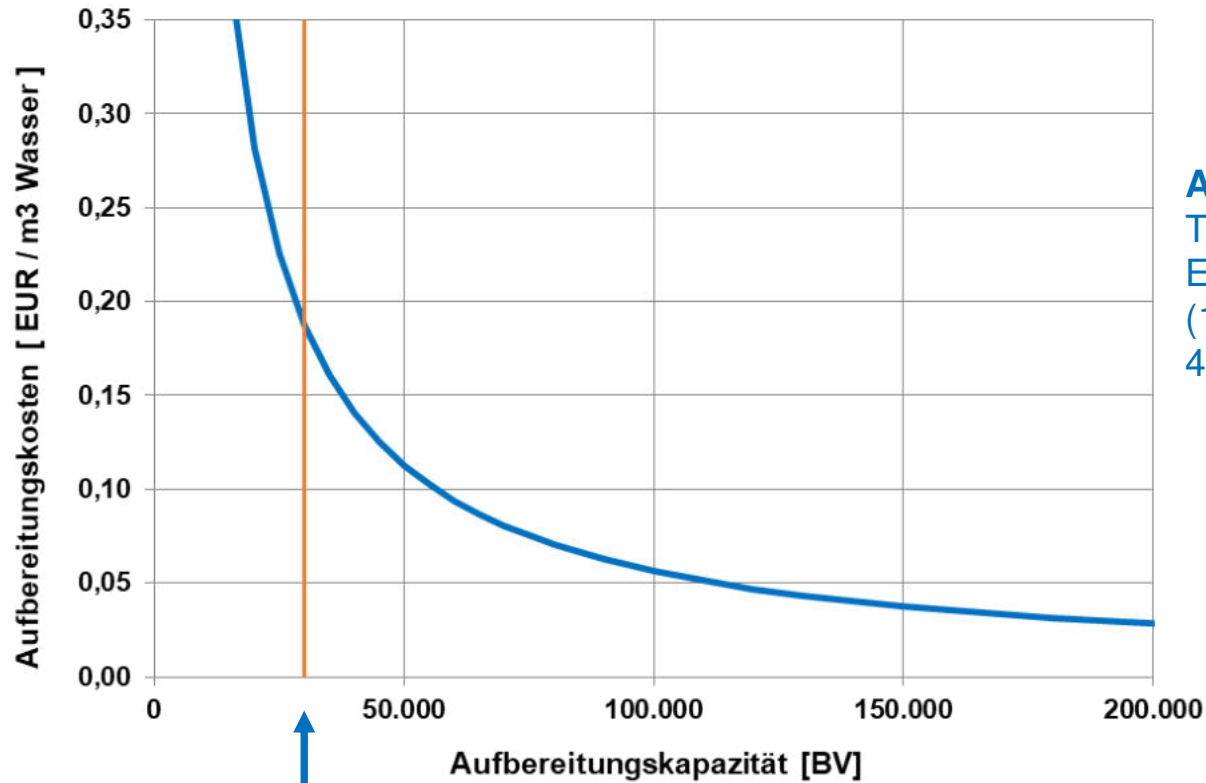


Das Wasserwerk Kirchweiler (Daun, Vulkaneifel)

Vanadium-Durchbruchskurve (Stand 06/2023)



Aufbereitungskosten



Annahme:
Typischer
Endkundenpreis
(10/2023)
4,90 EUR/kg GEH

Beispiel: WW Kirchweiler
ca. 30.000 BV → ca. 19 ct/m³

Entsorgung des beladenen Granulats



- Vanadium ist fest an GEH gebunden und wird unter pH-neutralen und oxidativen Bedingungen nicht eluiert (→ Leaching Test)
- Eine Desorption (z.B. mit NaOH) wäre teilweise möglich, ist aber wirtschaftlich nicht sinnvoll
→ Regeneration/ Wiederverwertung des erschöpften GEH ist nicht vorgesehen
- Entsorgungspfad am Beispiel WW HB Ernstberg:
 - **Vanadiumgehalt:** ca. 5 g/kg GEH (TS)
 - **Abfalleinstufung:**
 - Formal: ungefährlicher Abfall
 - Abfallschlüssel: 190205* (aus Nachhaltigkeitsgründen)
 - Remondis Sonderabfalldéponie Knapsack (DK III)
 - **Kosten:** ca. 130 EUR / Tonne (2020)
- Entsorgungspfad und Kosten können regional stark variieren (→ siehe GEH aus Arsenentfernungsanlagen)

Fazit

Bisherige Praxiserfahrung zeigt:

- ✓ Eine effektive Vanadiumentfernung ($< 4\mu\text{g/L}$) mit Eisenhydroxid-Granulat ist möglich.
- ✓ Die Adsorption mittels Festbettfilter ist ein betriebssicheres und wartungsarmes Verfahren.
- ✓ Die Aufbereitungskapazität und somit die Betriebskosten hängen von der Wasserzusammensetzung und der Betriebsweise ab.

... und dass es auch abseits der Vulkaneifel Fälle von Vanadium im Grundwasser gibt (→ WW Haltern)



... zum Schluss

■ Dank an...

- Wassermeister & Mitarbeiter der Gemeinde Daun
- AWA Institut (Analysen), Fr. Heidrun Vedder
- Gutachter Hr. Beforth

■ Publikationen

*Bahr, Vedder, Wirtz, Brandt, Beforth (2021) „Entfernung von Vanadium in der Trinkwasseraufbereitung mit granuliertem Eisenhydroxid“. **DVGW Energie Wasser-Praxis. 5/2021.***

*Bahr, Payer, Simon (2019) „Entfernung von Vanadium aus Trinkwasser mit granuliertem Eisenhydroxid: Ergebnisse eines Pilotversuchs im Saarland“. **GWF Wasser Abwasser. 160 (6), 79-88.***

■ Kontakt



GEH Wasserchemie GmbH & Co. KG

Dr.-Ing. Carsten Bahr

Tel.: 0541-122009

carsten.bahr@geh-Wasserchemie.com

www.geh-wasserchemie.com