

Regionalwettbewerb Mittelthüringen



Jugend forscht
Wettbewerbsjahr: 2026

Wasserfilter im Alltag – Wie effektiv sind sie wirklich?

Teilnehmende (mit Alter):	Josefine Schulz (16 Jahre)
Erarbeitungsort:	Erfurt
Projektbetreuende:	Dr. Rico Pusch
Thema des Projekts:	Wasserfilter
Fachgebiet:	Chemie
Wettbewerbssparte:	Jugend forscht
Bundesland:	Thüringen
Wettbewerbsjahr:	2026

Projektübersicht

Haben Sie sich jemals gefragt, wie sauber Ihr Wasser eigentlich ist? Obwohl es **die** wichtigste Ressource auf unserem Planeten ist und dafür sorgt, dass alles lebt und blüht? Trotz dieser wichtigen Bedeutung ist die Wasserqualität stark von Region und Land abhängig. In einigen Teilen der Welt ist das Trinkwasser durch verschiedene Schadstoffe wie Schwermetalle, chemische Rückstände und/oder Krankheitserreger vorbelastet, was nicht nur gesundheitliche Risiken mit sich bringt, sondern auch die Lebensqualität der betroffenen Menschen stark beeinträchtigen kann. Der UN-Weltwasserbericht 2024 zeigt, dass Wasserknappheit ein globales Problem ist. Rund 2,2 Milliarden Menschen ¹ sind davon betroffen. Was in etwa jeden vierten Menschen weltweit entspricht, der keinen Zugang zu sicher bewirtschaftetem Trinkwasser hat. Dies ist ein Aspekt, weshalb das Wasser in vielen Ländern unserer Region sehr streng aufbereitet wird. Häufig, oder besser gesagt fast immer, wird das aufbereitete Wasser mit einem geringen Anteil an Chlor versehen, um sicherzustellen, dass sich keine neuen Schadstoffe bilden können. Dies kann einer von vielen Gründen sein, warum sich Menschen Wasserfilter für zu Hause zulegen. Ein weiterer Aspekt wäre, dass viele Häuser noch Wasserleitungen aus der Nachkriegszeit besitzen, die sehr alt sind, was sich negativ auf die Wasserqualität auswirken könnten, da wir nicht genau wissen, wie gut das Wasser früher aufbereitet wurde oder ob die Leitungen Schadstoffe an das Wasser abgeben.

Angesichts dieser Problematik haben wir uns die Frage gestellt, ob Wasserfilter tatsächlich so nützlich sind, wie ein Teil der Gesellschaft glaubt, oder ob sie im Grunde genommen unsinnig sind. Um dies besser beurteilen zu können, wollten wir außerdem in Erfahrung bringen, wie Filter funktionieren und wo die Unterschiede zwischen den verschiedenen Filtertypen liegen.

Um diese Frage zu beantworten, haben wir uns zunächst die Funktionsweise der verschiedenen Filtertypen angesehen, um zu verstehen, wie diese im Grundsatz arbeiten. Damit wir uns nicht nur auf theoretisches Wissen beschränken müssen, besichtigten wir die Filteranlage der SWE Energie GmbH. Dort konnten wir lernen, wie mechanische Filter und Ionentauscherfilter funktionieren. Zusätzlich haben wir erfahren, wie sich Filter „selbst“ reinigen und wie diese in der Industrie technisch überwacht werden.

Um die Filter besser bewerten zu können, betrachteten wir insbesondere ihre physikalischen und chemischen Eigenschaften. Während unserer Recherche ist uns aufgefallen, dass sich die Filter in ihrer Funktionsweise je nach Hersteller leicht unterscheiden. Darauf werden wir jedoch nicht genauer eingehen.

Um die Fragestellung konkret beantworten zu können, kamen wir auf die Idee, selbst Wasserfilter zu testen. Um dies möglichst neutral durchzuführen, testeten wir ausschließlich die Bestandteile, aus denen die meisten Filter bestehen. Zur Bestimmung des Wirkungsgrades der Filter untersuchten wir das fertig gefilterte Wasser auf seine Wasserhärte. Diese Ergebnisse werteten wir anschließend aus und zogen daraus unsere Schlussfolgerungen.

Durch diesen Ablauf konnten wir uns einen Überblick über Wasserfilter verschaffen und herausfinden, ob diese in unserer Gesellschaft tatsächlich relevant sind.

Um die Fragestellung konkret beantworten zu können, kamen wir auf die Idee, selbst Wasserfilter zu testen. Um dies möglichst neutral durchzuführen, testeten wir ausschließlich die Bestandteile, aus denen die meisten Filter bestehen. Zur Bestimmung

¹UNESCO, Weltwasserbericht der Vereinten Nationen 2024, https://www.unesco.de/assets/dokumente/Deutsche_UNESCO-Kommission/02_Publikationen/Publikation_Weltwasserbericht_2024_Wasser_fuer_Wohlstand_und_Frieden.pdf [zuletzt abgerufen am 27.12.2025]

des Wirkungsgrades der Filter untersuchten wir das fertig gefilterte Wasser auf seine Wasserhärte. Diese Ergebnisse werteten wir anschließend aus und zogen daraus unsere Schlussfolgerungen.

Die Idee, diese Arbeit zu schreiben, entstand aus einer alltäglichen Beobachtung in unserem Internat: Leitungswasser darf dort nicht direkt getrunken werden, sondern nur Wasser, das zuvor durch einen Filter geleitet wurde, ist erlaubt. Diese Regel führte dazu, dass wir uns die Frage stellten, ob Wasserfilter tatsächlich notwendig sind und wie sie im Detail funktionieren. Ausgehend von dieser Neugier entschieden wir uns, diese Fragen im Rahmen unserer Seminarfacharbeit systematisch zu untersuchen. Ziel war es, herauszufinden, ob Wasserfilter im Alltag wirklich sinnvoll sind und welche Unterschiede zwischen den verschiedenen Filtertypen bestehen.

Diese Arbeit entstand in der 9. Klasse am Spezialschulteil für Mathematik/ Naturwissenschaften & Informatik des Albert-Schweitzer-Gymnasiums in Erfurt. In Zusammenarbeit mit Adrian Büchner. Da dieser nicht an „Jugend forscht“ teilnehmen möchte, erteilte er mir die Erlaubnis, mit dieser Arbeit allein an Jugend forscht teilzunehmen.

Inhaltsverzeichnis

1	Fachliche Kurzfassung	1
2	Motivation und Fragestellung	2
3	Hintergrund und theoretische Grundlagen	3
4	Vorgehensweise, Materialien und Methoden	4
4.1	Experimentelles Vorgehen	4
4.2	Materialien	4
4.3	Methoden	5
4.4	Beobachtete Schwierigkeiten	5
5	Auswertung des Experiments	6
5.1	Auswertung des Versuchs zur Färbung des Wassers	6
5.2	Auswertung des Versuchs zur Wasserhärte	7
5.3	Interpretation und besondere Beobachtungen	8
5.4	Fehlerbetrachtung	9
5.5	Zusammenfassung der Ergebnisse	9
6	Ergebnisdiskussion	10
6.1	Beurteilung der Experimente und Beobachtungen	10
6.2	Fehleranalyse und Verbesserungsvorschläge	10
6.3	Vergleich mit theoretischen Erwartungen	11
6.4	Neue Erkenntnisse und Weiterentwicklung	11
6.5	Bedeutung und gesellschaftliche Relevanz	11
7	Fazit und Ausblick	12
8	Quellen- und Literaturverzeichnis	13
8.1	Gedruckte Literatur	13
8.2	Internetliteratur	13
8.3	Literatur zum Anhang	13

1 Fachliche Kurzfassung

Im Rahmen unserer Arbeit haben wir die Wirksamkeit verschiedener Wasserfiltermaterialien untersucht. Getestet wurden ein Kiesfilter, ein Ionenaustauscherharz und Aktivkohle. Dafür führten wir jeweils einen Versuch mit Leitungswasser und einen Versuch mit destilliertem Wasser durch. Aktivkohle erwies sich dabei als besonders wirksam bei der Entfernung von Farbstoffen, während der Kiesfilter nur geringe Effekte zeigte. Das Ionenaustauscherharz beeinflusste die Färbung des Wassers nicht.

Für die Bestimmung der Wasserhärte wurde das destillierte Wasser mit Magnesium versehen, sodass es eine Anfangshärte von etwa 5,68°dH hatte. Der Ionenaustauscherharz reduzierte die Wasserhärte deutlich. Leitungswasser sank von 12,26°dH auf 3,74°dH, was einer Verringerung von 69% entspricht, und destilliertes Wasser wurde um 81% auf 1,04°dH weicher. Beim Aktivkohlefilter stieg die Härte hingegen unerwartet an. Um dies zu überprüfen, führten wir eine weitere Testfilterung durch, bei der wir Aktivkohle in reines destilliertes Wasser gaben. Dabei erhöhte sich die Wasserhärte von 0°dH auf 2,54°dH. Wir vermuten, dass die Aktivkohle unrein war, wodurch die Wasserhärte wahrscheinlich angestiegen ist.

Unsere Ergebnisse zeigen, dass Aktivkohle besonders zur Entfernung von Farbstoffen geeignet ist, während Ionenaustauscherharz die Wasserhärte effektiv reduziert. Gleichzeitig wird deutlich, dass die Qualität und Reinheit des Filtermaterials entscheidend für seine Funktion ist.

Probe	EDTA V_0 (ml)	EDTA V_1 (ml)	Differenz	Härte (°dH)
Leitungswasser	38,35	42,45	4,10	12,264
Aktivkohlefilter	42,45	47,80	5,35	16,003
Kiesfilter	24,60	28,80	4,20	12,5631
Ionenaustauscherharz	33,25	34,50	1,25	3,73902
destilliertes Wasser	34,50	36,40	1,90	5,68331
Aktivkohlefilter	36,40	47,30	10,90	32,6042
Kiesfilter	30,80	32,60	1,80	5,38418
Ionenaustauscherharz	30,30	30,65	0,35	1,04692
Test Aktivkohle	34,45	35,30	0,85	2,54253

Tabelle 1: Wasserhärte der Proben

2 Motivation und Fragestellung

Die Qualität von Trinkwasser spielt eine zentrale Rolle für Gesundheit und Wohlbefinden. In der Praxis wird Wasser häufig mit verschiedenen Verfahren gefiltert, um unerwünschte Partikel, organische Verunreinigungen oder Härtebildner wie Calcium- und Magnesiumionen zu entfernen. Dabei ist bekannt, dass kein einzelnes Filtermaterial alle Schadstoffarten gleichermaßen effektiv entfernen kann. Diese Beobachtung weckte unser Interesse und führte zur zentralen Forschungsfrage: Welche Filtermaterialien sind am besten geeignet, organische Verunreinigungen zu entfernen und die Wasserhärte zu reduzieren, und welche Faktoren beeinflussen ihre Effektivität? Diese Frage bildete die Grundlage für unser Experiment, in dem wir verschiedene Filtermaterialien gezielt getestet haben, um ihre Wirkung auf die Färbung des Wassers und die Wasserhärte zu vergleichen.

Auf das Thema kamen wir durch den praktischen Bezug zu Trinkwasserfiltern im Alltag. Im Unterricht und durch Recherchen zur Wasseraufbereitung stießen wir auf die drei grundlegenden Wirkmechanismen der Filtration: mechanische Filtration, Adsorption und ionischer Austausch. Daraus entstand die Idee, die Materialien, die diese Prozesse repräsentieren, gezielt zu testen, anstatt fertige Haushaltsfilter zu verwenden. So konnten die Wirkmechanismen besser nachvollzogen und wissenschaftlich überprüft werden. Auf Basis theoretischer Überlegungen formulierten wir Hypothesen, die wir mit unserer Arbeit überprüfen wollten. Wir vermuteten, dass Aktivkohle organische Moleküle durch physikalische Adsorption, insbesondere über Van-der-Waals-Kräfte, zuverlässig entfernt und daher das Wasser am effektivsten entfärben sollte. Ionenaustauscherharz sollte die Wasserhärte signifikant reduzieren, da es Calcium- und Magnesiumionen selektiv aufnimmt, jedoch keine Wirkung auf organische Farbstoffe zeigen. Mechanische Filter wie Kies sollten vor allem größere Partikel zurückhalten, während gelöste Stoffe weitgehend ungehindert passieren. Zusätzlich gingen wir davon aus, dass die Effektivität der Filter von Faktoren wie Durchflussgeschwindigkeit, Kontaktzeit, Packungsdichte und Reinheit des Materials abhängt. Mit diesen Hypothesen verfolgten wir das Ziel, die spezifische Wirkung der einzelnen Filtermaterialien zu quantifizieren und die theoretischen Grundlagen der Wasserfiltration praktisch zu überprüfen. Die Motivation hinter dieser Arbeit war also sowohl wissenschaftlicher Natur, um die Funktionsweise der Filtermaterialien besser zu verstehen, als auch praktisch, um Erkenntnisse zu gewinnen, die für die Verbesserung von Wasserfiltern im Alltag oder in Laboranwendungen relevant sein könnten. Durch die Kombination von Theorie, Hypothesenbildung und experimenteller Überprüfung schaffen wir eine solide Basis, auf der sowohl die Ergebnisse als auch die anschließende Diskussion fundiert aufbauen können.

3 Hintergrund und theoretische Grundlagen

Die Wasserfiltration beruht auf einer Vielzahl physikalischer und chemischer Prozesse, die gezielt zur Entfernung unterschiedlicher Klassen von Verunreinigungen eingesetzt werden. In der Trinkwasseraufbereitung ist bekannt, dass kein einzelnes Verfahren alle Schadstoffarten gleichermaßen effektiv entfernen kann, weshalb Filtertechnologien stets auf spezifische Wirkmechanismen abgestimmt sind[3]. Grundlegend lassen sich diese Mechanismen in mechanische Aufbereitung, physikalische Aufbereitung und chemische Aufbereitung unterteilen[3].

Mechanische Filtration stellt die einfachste Form der Wasseraufbereitung dar und basiert ausschließlich auf physikalischen Prinzipien. Die Abtrennung erfolgt über Siebwirkung, bei der Partikel, deren Durchmesser größer als die Poren des Filtermaterials ist, zurückgehalten werden. Die Effektivität mechanischer Filter hängt maßgeblich von der Porengröße, der Struktur des Filtermediums sowie der Fließgeschwindigkeit des Wassers ab. Während grobporige Materialien lediglich Sedimente und sichtbare Schwebstoffe entfernen, ermöglichen feinporige Keramik- oder Membranfilter eine Abtrennung von Partikeln im Submikrometerbereich. Gelöste Stoffe bleiben jedoch unbeeinflusst, da sie die Porenstruktur ungehindert passieren können.

Adsorptionsprozesse spielen insbesondere bei der Anwendung von Aktivkohlefiltern eine zentrale Rolle. Aktivkohle besitzt aufgrund ihrer stark porösen Struktur eine sehr große innere Oberfläche, an der sich gelöste Stoffe anlagern können. Diese Anlagerung erfolgt überwiegend durch physikalische Wechselwirkungen, insbesondere durch Van-der-Waals-Kräfte zwischen der Oberfläche der Aktivkohle und den Molekülen der Verunreinigungen[3]. Durch diese Form der physikalischen Adsorption können vor allem organische Verbindungen sowie Chlor effektiv aus dem Wasser entfernt werden. Die Adsorptionskapazität der Aktivkohle ist begrenzt, da die verfügbaren Bindungsstellen mit zunehmender Nutzung besetzt werden.

Ionische Austauschreaktionen bilden eine weitere wichtige Grundlage der Wasseraufbereitung. Ionenaustauscher bestehen aus festen Harzen, an deren Oberfläche bewegliche Ionen gebunden sind. Beim Kontakt mit Wasser werden diese Ionen gegen gelöste Ionen ausgetauscht. Besonders relevant ist dieser Prozess bei der Enthärtung von Wasser, da dabei Kalzium- und Magnesiumionen entfernt werden, die für die Bildung von Kalkablagerungen verantwortlich sind. Der Ionenaustausch beruht auf elektrostatischen Kräften und erfolgt selektiv in Abhängigkeit von der Ladung und Affinität der beteiligten Ionen[3].

Die vorliegende Arbeit knüpft an diese theoretischen Grundlagen an, indem sie die Wirkprinzipien der einzelnen Filterbestandteile (mechanische Filtermaterialien, Aktivkohle und Ionenaustauscherharz) gezielt untersucht. Im Gegensatz zu zentralen Wasseraufbereitungssystemen oder fertigen Haushaltsfiltern gibt es für die Effekte der einzelnen Komponenten auf Wasserparameter wie Härte oder Schadstoffgehalt nur begrenzte quantitative Daten. Die Arbeit erweitert daher das bestehende Wissen, indem sie die bekannten physikalischen und chemischen Mechanismen auf die einzelnen Filterbestandteile überträgt und ihre Leistungsfähigkeit sowie Grenzen im Hinblick auf die Wasserqualität bewertet.

4 Vorgehensweise, Materialien und Methoden

In diesem Kapitel wird das methodische Vorgehen der experimentellen Untersuchung beschrieben. Ziel war es, die Wirkung einzelner, in Wasserfiltern häufig verwendeter Bestandteile isoliert zu untersuchen. Dabei wurde bewusst auf die Analyse kompletter Haushaltswasserfilter verzichtet, um die grundlegenden chemischen und physikalischen Wirkmechanismen der einzelnen Materialien getrennt betrachten zu können. Im Fokus standen sowohl die Entfernung feiner Verunreinigungen als auch der Einfluss der Filtermaterialien auf die Wasserhärte, insbesondere auf den Magnesiumgehalt, da Magnesiumionen einen wesentlichen Beitrag zur Gesamthärte von Wasser leisten.

4.1 Experimentelles Vorgehen

Um vergleichbare Ergebnisse zu erzielen, wurde für alle Filtermaterialien derselbe grundlegende Versuchsaufbau gewählt. Die Filter unterschieden sich ausschließlich im verwendeten Material, während Aufbau, Wassermenge und Filtrationsbedingungen konstant gehalten wurden. Auf diese Weise konnten Unterschiede in den Messergebnissen direkt auf die Eigenschaften der jeweiligen Materialien zurückgeführt werden.

Als Untersuchungsmethode wurde eine Kombination aus Filtration und anschließender komplexometrischer Titration eingesetzt. Die Filtration diente dazu, das Wasser mit dem jeweiligen Filtermaterial in Kontakt zu bringen und mögliche Verunreinigungen zurückzuhalten. Die quantitative Bestimmung der Wasserhärte erfolgte mithilfe einer Titration mit EDTA, da diese Methode eine zuverlässige Bestimmung von zweiwertigen Metallionen wie Magnesium erlaubt. Der Endpunkt der Titration wurde mithilfe des Farbindikators Eriochromschwarz eindeutig angezeigt.

Um den Einfluss der Ausgangszusammensetzung des Wassers zu berücksichtigen, wurden zwei verschiedene Wasserarten untersucht. Zum einen wurde Leitungswasser verwendet, das bereits natürliche Mengen an Härtebildnern enthält. Zum anderen wurde destilliertes Wasser eingesetzt, dem gezielt Magnesium zugesetzt wurde, um definierte und reproduzierbare Ausgangsbedingungen zu schaffen. Das auf diese Weise hergestellte Wasser entsprach mit einer Wasserhärte von etwa 5,68 °dH einem mittelharten Wasser.

4.2 Materialien

Für die Durchführung der Experimente wurden folgende Materialien verwendet:

- Kaffeefilter
- Bechergläser 250 ml & 600 ml, Trichter
- Aktivkohle, Kiesfilter, Ionenaustauscherharz
- je 500ml Leitungswasser & destilliertes Wasser
- Magnesium
- EDTA-Lösung
- Eriochromschwarz (Indikator)
- Ammoniumchlorid-Ammoniak-Pufferlösung
- Bürette, Pipette, Erlenmeyerkolben

4.3 Methoden

Zunächst wurden die Testfilter hergestellt. Dazu wurde jeweils ein Trichter in ein Becherglas eingesetzt und mit einem Kaffeefilter ausgekleidet (siehe Abb.1 Grundlegender Aufbau vom Filter). Anschließend wurde der Kaffeefilter mit dem zu untersuchenden Filtermaterial befüllt. Für jedes Material wurden zwei identische Filter angefertigt, um sowohl Leitungswasser als auch destilliertes Wasser untersuchen zu können.

Nach der Herstellung der Filter wurde das destillierte Wasser mit 5 mg Magnesium versetzt. Zusätzlich wurde ein Farbstoff hinzugefügt, um die Entfernung feiner Verunreinigungen sichtbar zu machen. Das vorbereitete Wasser wurde anschließend langsam durch die jeweiligen Filter geleitet und in Bechergläsern aufgefangen. Dieser Vorgang wurde für alle Filtermaterialien wiederholt. Danach wurde derselbe Ablauf mit Leitungswasser durchgeführt.

Zur Bestimmung der Wasserhärte wurde von jeder gefilterten Probe wurden 75 ml entnommen und in einem Erlenmeyerkolben mit Eriochromschwarz versetzt (siehe Abb.2 Aufbau Testung der Wasserhärte). Nach Zugabe von 2 Tropfen der Pufferlösung erfolgte die Titration mit EDTA. Die EDTA-Lösung wurde tropfenweise zugegeben, bis ein deutlicher Farbumschlag von Magenta zu Blau beobachtet werden konnte. Der Verbrauch der EDTA-Lösung wurde aus der Differenz zwischen Anfangs- und Endstand der Bürette bestimmt und zur Berechnung der Wasserhärte herangezogen. Diese Vorgehensweise wurde für alle Proben identisch durchgeführt.

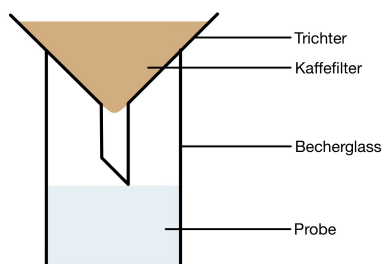


Abbildung 1: Grundlegender Aufbau vom Filter

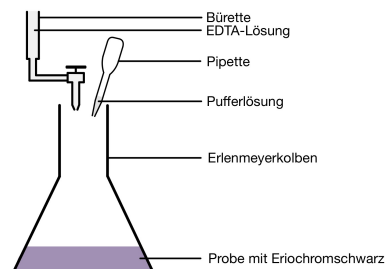


Abbildung 2: Aufbau Testung der Wasserhärte

4.4 Beobachtete Schwierigkeiten

Während der Durchführung der Experimente traten einzelne Schwierigkeiten auf, die bei der späteren Auswertung berücksichtigt werden mussten. Besonders auffällig war, dass bei der Filtration mit Aktivkohle eine Erhöhung der gemessenen Wasserhärte festgestellt wurde. Um diese Beobachtung zu überprüfen, wurde eine zusätzliche Testfiltration mit reinem destilliertem Wasser durchgeführt. Dabei zeigte sich ebenfalls ein Anstieg der Wasserhärte, was darauf hindeutet, dass die verwendete Aktivkohle selbst Ionen an das Wasser abgegeben haben könnte.

Eine weitere Herausforderung bestand in der genauen Bestimmung des Umschlagspunktes bei der Titration, insbesondere bei Proben mit geringer Wasserhärte. Durch langsame, tropfenweise Zugabe der EDTA-Lösung und wiederholte Messungen konnte diese Unsicherheit jedoch weitgehend reduziert werden.

Insgesamt erwies sich die gewählte Vorgehensweise als geeignet, um die Wirkung einzelner Filtermaterialien systematisch zu untersuchen und die experimentellen Ergebnisse im Kontext der theoretischen Grundlagen der Wasserfiltration zu interpretieren.

5 Auswertung des Experiments

5.1 Auswertung des Versuchs zur Färbung des Wassers

Die Experimente zur Färbung des Wassers mit den verschiedenen Filtermaterialien zeigten deutliche Unterschiede in der Filterleistung. Beim Einsatz des Kiesfilters wurde nur ein geringer Anteil der Farbstoffpartikel entfernt, sodass das Wasser nach der Filtration zwar etwas klarer, jedoch noch deutlich blau gefärbt war. Dies verdeutlicht, dass mechanische Filter wie Kies größere Partikel effektiv zurückhalten können, während gelöste organische Moleküle ungehindert passieren. Die Filtrationsleistung hängt stark von Körnung, Packungsdichte und Porengröße ab, wobei bereits kleine Unterschiede in der Packung zu sichtbaren Abweichungen im Filtrationsergebnis führten. Diese Beobachtungen machen deutlich, dass mechanische Filter empfindlich auf Aufbau und Handhabung reagieren und der physikalische Prozess der Siebwirkung zwar zuverlässig, jedoch nur für bestimmte Partikelgrößen wirkt. Der Ionenaustauscherharz zeigte keine Wirkung auf die Entfernung der Farbstoffe, was den theoretischen Erwartungen entspricht, da Ionenaustauscher ausschließlich auf gelöste Ionen wirken und organische Moleküle nicht adsorbieren. Diese Beobachtung bestätigt, dass unterschiedliche Schadstoffgruppen gezielt durch spezifische Filtermaterialien adressiert werden müssen, um eine optimale Wasseraufbereitung zu gewährleisten.

Die Aktivkohle entfernte den Farbstoff am effektivsten, sodass das Wasser nach der Filtration nahezu vollständig farblos war. Die Adsorption erfolgt hierbei hauptsächlich über physikalische Wechselwirkungen, insbesondere Van-der-Waals-Kräfte zwischen den Molekülen des Farbstoffs und der stark porösen Aktivkohle. Dabei zeigte sich, dass längere Kontaktzeiten zu einer höheren Farbstoffaufnahme führten, während kurze Durchflusszeiten die Effektivität der Filtration verringerten. Diese Ergebnisse verdeutlichen die große Bedeutung von Filterfüllung, Durchflussrate und Kontaktzeit für die Wirksamkeit der Adsorption. Kontrollversuche mit Kaffeefiltern ohne zusätzliches Filtermaterial bestätigten, dass die beobachteten Effekte tatsächlich auf die Filtermaterialien zurückzuführen sind. Des Weiteren zeigte sich, dass die Ausgangskonzentration des Farbstoffs die Effizienz der Filtration beeinflusste, da bei hoher Farbstoffkonzentration die prozentuale Entfärbung durch Aktivkohle geringer ausfiel, weil die verfügbaren Bindungsstellen teilweise besetzt waren. Dies unterstreicht die Notwendigkeit, Filtermaterial regelmäßig zu wechseln oder zu regenerieren, um eine gleichbleibend hohe Reinigungsleistung zu gewährleisten. Ergänzend wurde festgestellt, dass die Farbstoffentfernung bei Destillationswasser minimal effizienter war als bei Leitungswasser, vermutlich aufgrund der unterschiedlichen Ionen- und Mineralstoffgehalte, die die Adsorption beeinflussen. Diese Beobachtungen liefern wichtige Hinweise darauf, dass die Zusammensetzung des Wassers den Filtereffekt modulieren kann.

Auf Basis dieser Ergebnisse lassen sich erste Hypothesen formulieren. Es wurde vermutet, dass Aktivkohle durch ihre physikalische Adsorption, insbesondere mittels Van-der-Waals-Kräften, organische Moleküle zuverlässig zurückhält, während mechanische Filter wie Kies lediglich größere Partikel filtern. Gleichzeitig bestätigte der Versuch mit Ionenaustauscherharz, dass dieser Filtertyp primär zur Verringerung der Wasserhärte eingesetzt wird und organische Moleküle nicht entfernt. Die Messung der Wasserhärte durch Titration ergab weitere interessante Beobachtungen: Der Ionenaustauscherharz zeigte erwartungsgemäß die größte Verringerung der Wasserhärte, sowohl bei Leitungswasser als auch bei destilliertem Wasser, dem zuvor Magnesium zugesetzt worden war. Der Kiesfilter führte nur zu einer geringen Verringerung der Härte im destillierten Wasser und zeigte im Leitungswasser kaum Veränderungen. Überraschenderweise stieg die Wasserhärte nach dem Einsatz

von Aktivkohle in beiden Versuchen deutlich an. Ein Zusatzversuch mit reinem destillierten Wasser bestätigte diesen Effekt, wobei die Härte von 0°dH auf 2,54°dH anstieg. Dies deutet darauf hin, dass die Aktivkohle nicht vollständig rein war und eigene Ionen ins Wasser abgab, wodurch die Härte erhöht wurde.

Auf Grundlage dieser Beobachtungen lassen sich mehrere Hypothesen ableiten: Aktivkohle entfernt organische Verunreinigungen zuverlässig, wobei die Effektivität von Reinheit, Porengröße und Kontaktzeit abhängt; Ionenaustauscherharz reduziert die Wasserhärte signifikant, unabhängig davon, ob Leitungs- oder destilliertes Wasser verwendet wird; Kiesfilter wirken primär auf sichtbare Partikel, sodass die Reduktion der Wasserhärte nur gering ist; es könnten Kombinationseffekte auftreten, wenn verschiedene Filtermaterialien hintereinander eingesetzt werden; zudem ist die Adsorptionskapazität der Aktivkohle begrenzt, besonders bei hoher Konzentration organischer Moleküle.

Diese Hypothesen tragen dazu bei, die Funktionsweise der einzelnen Filtermaterialien einzuordnen und sowohl erwartete als auch unerwartete Ergebnisse zu erklären. Sie bilden die Grundlage für die anschließende Diskussion der Resultate und liefern wertvolle Hinweise für die praktische Anwendung in der Wasseraufbereitung, insbesondere hinsichtlich der Auswahl geeigneter Filtermaterialien und deren Einsatzbedingungen.

5.2 Auswertung des Versuchs zur Wasserhärte

Die Bestimmung der Wasserhärte erfolgte mithilfe der EDTA-Titration, wobei die Messergebnisse in Tabelle 2 zusammengefasst sind. Mit V_0 und V_1 ist der Stand der EDTA-Lösung in der Bürette vor und nach der Titration angegeben, jeweils in Millilitern. Die Daten verdeutlichen, wie die unterschiedlichen Filtermaterialien spezifisch auf die Wasserhärte wirken und erlauben Rückschlüsse auf die selektiven Prozesse hinter der Wasseraufbereitung.

Probe	EDTA V_0 (ml)	EDTA V_1 (ml)	Differenz	Härte (°dH)
Leitungswasser	38,35	42,45	4,10	12,264
Aktivkohlefilter	42,45	47,80	5,35	16,003
Kiesfilter	24,60	28,80	4,20	12,5631
Ionenaustauscherharz	33,25	34,50	1,25	3,73902
destilliertes Wasser	34,50	36,40	1,90	5,68331
Aktivkohlefilter	36,40	47,30	10,90	32,6042
Kiesfilter	30,80	32,60	1,80	5,38418
Ionenaustauscherharz	30,30	30,65	0,35	1,04692
Test Aktivkohle	34,45	35,30	0,85	2,54253

Tabelle 2: Wasserhärte der Proben

Die Auswertung zeigt, dass mechanische Filter wie der Kiesfilter nur minimale Veränderungen der Wasserhärte bewirken. Dies entspricht den theoretischen Erwartungen, da mechanische Filter keine gelösten Ionen aufnehmen können und ausschließlich Partikel zurückhalten. Die geringen Unterschiede zwischen einzelnen Wiederholungen lassen sich durch minimal unterschiedliche Packungsdichten, Fließgeschwindigkeiten oder geringe Schwankungen in der Ausgangsprobe erklären. Trotz dieser kleinen Abweichungen lässt sich klar erkennen, dass der Kiesfilter keine nennenswerte Härtereduktion bewirkt und primär für die Filtration sichtbarer Partikel geeignet ist.

Das Ionenaustauscherharz zeigte eine sehr deutliche und konsistente Reduktion der

Wasserhärte. Bei Leitungswasser sank die Härte von 12,26 auf 3,74,°dH, was einer Reduktion von 69,% entspricht. Beim destillierten Wasser, dem zuvor Magnesium zugesetzt wurde, betrug die Reduktion sogar 81,%. Diese Ergebnisse bestätigen die hohe Selektivität des Ionenaustauscherharzes für Calcium- und Magnesiumionen und illustrieren die Effektivität ionischer Austauschprozesse. Die Messergebnisse stimmen mit den theoretischen Erwartungen überein und zeigen, dass der Ionenaustauscher gezielt zur Wasserenthärtung eingesetzt werden kann. Zudem demonstriert dieser Versuch, dass die Ionenkonzentration des Ausgangswassers den Effekt der Filterung moduliert, wobei bereits kleine Mengen von Calcium- oder Magnesiumionen eine deutliche Reduktion der Härte bewirken.

Die Aktivkohle hingegen zeigte ein unerwartetes Verhalten. Bei Leitungswasser stieg die Härte von 12,26 auf 16,00,°dH, beim destillierten Wasser von 5,68 auf 32,60,°dH. In einem zusätzlichen Kontrollversuch mit reinem destillierten Wasser erhöhte sich die Härte sogar um 0,85,°dH. Diese Effekte lassen darauf schließen, dass die verwendete Aktivkohle nicht vollständig rein war und möglicherweise feine Mineralstoffe oder Staubpartikel enthielt, die ins Wasser übergingen. Besonders im destillierten Wasser, das nur eine sehr geringe Ausgangshärte aufwies, hatte bereits eine kleine Menge gelöster Ionen einen großen prozentualen Einfluss, was die extreme relative Härteerhöhung erklärt. Diese Ergebnisse machen deutlich, dass bei der Nutzung von Aktivkohle zur Entfernung organischer Moleküle auf die Reinheit des Materials geachtet werden muss, da sonst unbeabsichtigte Effekte auf die Wasserhärte auftreten können.

Die Ergebnisse des Versuchs erlauben es, weitere Hypothesen abzuleiten: Erstens wirkt Aktivkohle zuverlässig auf organische Verunreinigungen, die Effektivität hängt jedoch von Reinheit, Porengröße und Kontaktzeit ab. Zweitens reduziert Ionenaustauscherharz die Wasserhärte signifikant, unabhängig von der Ausgangsprobe. Drittens zeigen mechanische Filter wie Kies nur geringe Härteänderungen und sind auf sichtbare Partikel begrenzt. Viertens könnten Kombinationseffekte auftreten, wenn verschiedene Filtermaterialien hintereinander eingesetzt werden, da sich die Stärken der einzelnen Filter ergänzen könnten. Schließlich ist die Adsorptionskapazität der Aktivkohle begrenzt, besonders bei hoher Konzentration gelöster Substanzen, was die Notwendigkeit eines regelmäßigen Filterwechsels oder einer Regeneration unterstreicht.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Titrationsergebnisse die theoretischen Erwartungen für Ionenaustauscher und mechanische Filter bestätigen, während die Ergebnisse für Aktivkohle wichtige Hinweise auf die praktische Handhabung und Materialreinheit liefern. Die systematische Analyse der Wasserhärte zeigt damit sowohl die Selektivität der einzelnen Filtertypen als auch mögliche unerwartete Effekte, die bei der Anwendung in der Praxis berücksichtigt werden müssen.

5.3 Interpretation und besondere Beobachtungen

Die Ergebnisse zeigen, dass mechanische, adsorptive und ionische Prozesse unterschiedliche Schadstoffgruppen adressieren. Kiesfilter entfernen sichtbare Partikel, Aktivkohle adsorbiert organische Moleküle und Farbstoffe, und Ionenaustauscherharz reduziert Wasserhärte durch selektiven Ionenaustausch.

Die Aktivkohle demonstrierte durch die unerwartete Härtezunahme, wie entscheidend die Materialreinheit für die Wasseraufbereitung ist. Wiederholte Tests bestätigten diesen Effekt. Die Experimente zeigten auch, dass die Kontaktzeit zwischen Wasser und Aktivkohle die Adsorption deutlich beeinflusst. Längere Kontaktzeiten verbesserten die Farbstoffentfernung, während kürzere Durchlaufzeiten die Wirksamkeit reduzierten.

Die Versuche mit destilliertem Wasser, das zuvor mit Magnesiumionen versehen

wurde, verdeutlichen, dass die Ausgangswasserzusammensetzung die Filtration beeinflussen kann. Während Aktivkohle und Kiesfilter bei Leitungswasser und destilliertem Wasser ähnliche Effekte zeigten, war die relative Härtezunahme bei destilliertem Wasser deutlich höher. Diese Beobachtungen zeigen, dass die Wasserzusammensetzung, selbst bei geringen Ionenanteilen, die Filterwirkung modulieren kann.

Es wurde deutlich, dass kein Filtertyp allein alle Wasserqualitätsparameter optimal beeinflussen kann. Eine Kombination verschiedener Filtermaterialien wäre nötig, um sowohl Partikel, organische Verbindungen und Wasserhärte gleichzeitig zu kontrollieren. Die Experimente liefern damit praxisnahe Hinweise, wie Filtermaterialien gezielt kombiniert werden könnten, um Trinkwasser effizient aufzubereiten.

5.4 Fehlerbetrachtung

Systematische Fehler können entstehen durch ungenaue Chemikalienkonzentrationen, minimale Unterschiede in den Messgeräten oder Variationen in der Fließgeschwindigkeit. Zufällige Fehler resultieren aus ungenauem Ablesen der Bürette, kleinen Unterschieden bei der Wasserprobe oder Messungenauigkeiten beim Pipettieren. Durch Wiederholungsmessungen, Kontrollversuche und standardisierte Vorgehensweisen konnten diese Fehler größtenteils minimiert werden.

5.5 Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Versuche verdeutlichen die unterschiedlichen Wirkmechanismen der getesteten Filtermaterialien. Aktivkohle entfernt organische Stoffe und Farbstoffe am effektivsten, Ionenaustauscherharz reduziert die Wasserhärte signifikant, und Kiesfilter entfernen zuverlässig größere Partikel. Die unerwartete Härtezunahme durch Aktivkohle weist auf Materialverunreinigungen hin und unterstreicht die Notwendigkeit von Kontrollmessungen. Die Ergebnisse liefern eine fundierte Basis für die weitere Diskussion und Einordnung der Filterwirkung im theoretischen Kontext und zeigen, wie praktische Experimente zur Validierung chemischer und physikalischer Filtermechanismen beitragen.

6 Ergebnisdiskussion

6.1 Beurteilung der Experimente und Beobachtungen

Die durchgeführten Experimente zur Färbung des Wassers und zur Bestimmung der Wasserhärte haben gezeigt, dass die verschiedenen Filtermaterialien sehr unterschiedliche Wirkungen entfalten. Die mechanischen Kiesfilter zeigten erwartungsgemäß nur eine geringe Wirkung auf die Wasserhärte und entfernten Farbstoffpartikel nur teilweise. Dies entspricht den theoretischen Grundlagen der Wasserfiltration, wonach mechanische Filter durch Siebwirkung primär größere Partikel zurückhalten, während gelöste Moleküle ungehindert passieren. Damit konnte die Hypothese bestätigt werden, dass Kiesfilter primär auf sichtbare Partikel wirken und nur eine geringe Reduktion der Härte erzielen.

Der Ionenaustauscherharz konnte die Wasserhärte signifikant reduzieren, sowohl im Leitungs- als auch im destillierten Wasser, und bestätigte damit die erwarteten ionischen Austauschprozesse. Die Reduktionen von 69,% bzw. 81,% zeigen die hohe Selektivität dieses Materials für Calcium- und Magnesiumionen. Diese Ergebnisse stimmen gut mit dem theoretischen Wissen überein und verdeutlichen, dass ionische Austauschreaktionen ein zentrales Verfahren zur Enthärtung von Wasser darstellen. Somit wurde die Hypothese, dass Ionenaustauscherharz die Wasserhärte signifikant reduziert, eindeutig bestätigt.

Die Aktivkohle zeigte in Bezug auf die Färbung des Wassers die größte Wirksamkeit. Die Entfernung des Farbstoffs erfolgte nahezu vollständig und bestätigte die Bedeutung physikalischer Adsorptionsprozesse, insbesondere der Van-der-Waals-Wechselwirkungen zwischen den Molekülen des Farbstoffs und der porösen Oberfläche der Aktivkohle. Damit konnte die Hypothese, dass Aktivkohle organische Moleküle zuverlässig adsorbiert, weitgehend bestätigt werden. Interessanterweise zeigte die Aktivkohle bei der Bestimmung der Wasserhärte einen unerwarteten Effekt: Die Härte nahm sowohl bei Leitungs- als auch bei destilliertem Wasser deutlich zu. Kontrollversuche deuteten darauf hin, dass die Aktivkohle selbst Verunreinigungen oder Ionen enthält, die die gemessene Härte beeinflussen. Dieser unerwartete Effekt bestätigt die Hypothese, dass die Reinheit der Aktivkohle einen entscheidenden Einfluss auf die Filterleistung hat und dass die Adsorptionskapazität begrenzt ist, insbesondere bei hoher Konzentration von gelösten Stoffen.

Die Überprüfung der Hypothese, dass Kombinationseffekte auftreten könnten, wurde im Rahmen unserer Experimente nicht direkt getestet, da die Filtermaterialien einzeln untersucht wurden. Allerdings legen die Ergebnisse nahe, dass eine kaskadierende Verwendung von Aktivkohle und Ionenaustauscherharz sowohl die Entfernung von Farbstoffen als auch die Reduktion der Wasserhärte optimieren könnte. Ebenso zeigte sich, dass die Kontaktzeit, Durchflussgeschwindigkeit und Materialfüllung entscheidend für die Wirksamkeit der Adsorption sind, was die ursprünglichen Hypothesen zusätzlich stützt.

6.2 Fehleranalyse und Verbesserungsvorschläge

Trotz sorgfältiger Durchführung traten sowohl systematische als auch zufällige Fehler auf. Systematische Fehler könnten durch Ungenauigkeiten der Messgeräte, insbesondere der Burette und der Messbecher, entstanden sein. Auch die Konzentration der eingesetzten Chemikalien wie EDTA und Pufferlösung könnte leicht variiert haben, was die Messergebnisse beeinflusste. Zufällige Fehler traten durch unterschiedliche Fließgeschwindigkeiten, minimale Unterschiede in der Filterpackung und ungenaues Ablesen der Messwerte auf. Besonders die unerwartete Erhöhung der Wasserhärte bei Aktivkohle deutet darauf hin, dass Verunreinigungen oder nicht standardisierte Materialchargen die Ergebnisse beeinflussen können.

Um die Genauigkeit künftiger Experimente zu erhöhen, könnte die Fließgeschwindigkeit stärker standardisiert und die Filtermaterialien vor Gebrauch gereinigt oder vorbehandelt werden, um unerwartete Einflüsse wie bei der Aktivkohle zu vermeiden. Zudem könnte eine Wiederholung der Experimente mit zusätzlichen Kontrollversuchen und mehreren Konzentrationen des Farbstoffs und der Ionen helfen, die Zuverlässigkeit der Daten zu verbessern. Auch die Testung von Kombinationen verschiedener Filtermaterialien könnte neue Erkenntnisse über synergistische Effekte liefern.

6.3 Vergleich mit theoretischen Erwartungen

Die Experimente bestätigen größtenteils die theoretischen Grundlagen der Wasserfiltration: Mechanische Filter entfernen sichtbare Partikel, Aktivkohle adsorbiert organische Moleküle, und Ionenaustauscherharze reduzieren die Wasserhärte. Die unerwartete Härteerhöhung durch Aktivkohle zeigt jedoch, dass in der Praxis unerwartete Effekte auftreten können, wenn Filtermaterialien nicht rein oder vorbelastet sind. Dies liefert einen wichtigen Hinweis für die Forschung und die Praxis: Die Materialqualität spielt eine zentrale Rolle für die Effektivität der Filtration. Gleichzeitig bestätigen die Messergebnisse, dass die von uns aufgestellten Hypothesen größtenteils zutreffen und wertvolle Anhaltspunkte für die Filterauswahl und -kombination liefern.

6.4 Neue Erkenntnisse und Weiterentwicklung

Durch die Experimente wurden neue Ideen für die Weiterentwicklung des Projekts gewonnen. Beispielsweise könnte eine Kombination der Filtermaterialien in einer Kaskade untersucht werden, um sowohl Partikel als auch gelöste Stoffe effizient zu entfernen. Auch die Optimierung von Kontaktzeit, Durchflussrate und Materialmenge könnte die Filtereffizienz verbessern. Zukünftige Experimente könnten die Auswirkungen verschiedener Wasserzusammensetzungen auf die Filterleistung untersuchen, um praxisrelevantere Aussagen zu treffen. Zudem könnte die Reinheit der Aktivkohle standardisiert oder eine Vorbehandlung eingeführt werden, um unerwartete Erhöhungen der Wasserhärte zu vermeiden.

6.5 Bedeutung und gesellschaftliche Relevanz

Die Ergebnisse haben auch eine praktische und gesellschaftliche Relevanz. Die Untersuchung der Filterleistung einzelner Materialien liefert wertvolle Hinweise für die Trinkwasseraufbereitung, für Laboranwendungen und für die Entwicklung von Haushaltsfiltern. Insbesondere die Möglichkeit, Wasserhärte gezielt zu reduzieren oder organische Stoffe zu entfernen, ist für die Wasserqualität und den Verbraucherschutz wichtig. Darüber hinaus können die Erkenntnisse in der wissenschaftlichen Ausbildung genutzt werden, um das Verständnis physikalischer und chemischer Filterprozesse zu vertiefen.

Insgesamt zeigen die Experimente, dass selbst einfache Materialien wie Kies und Aktivkohle spezifische Wirkungen entfalten und dass die sorgfältige Auswahl und Handhabung von Filtermaterialien entscheidend für die Wasseraufbereitung ist. Unerwartete Ergebnisse, wie die Härteerhöhung durch Aktivkohle, unterstreichen die Notwendigkeit kritischer Überprüfung und Materialkontrolle, bevor Filter für praktische Anwendungen eingesetzt werden. Die Überprüfung der aufgestellten Hypothesen liefert zusätzlich eine fundierte Grundlage, um die Filterwirkung und die Effizienz der einzelnen Materialien einzuordnen und zukünftige Versuche zielgerichtet zu planen.

7 Fazit und Ausblick

Im Rahmen unseres Experiments haben wir untersucht, welche Filtermaterialien in der Lage sind, Farbstoffpartikel aus Wasser zu entfernen und die Wasserhärte zu beeinflussen. Die Forschungsfrage lautete, welche Materialien sich am besten für die Entfernung kleiner Verunreinigungen und für die Verringerung der Wasserhärte eignen. Unsere Experimente mit Kies, Aktivkohle und Ionenaustauscherharz zeigten, dass die Filtermaterialien unterschiedliche Wirkungen entfalten: Kies entfernt primär sichtbare Partikel, Aktivkohle adsorbiert organische Moleküle besonders effektiv, während Ionenaustauscherharz die Wasserhärte signifikant reduziert.

Die Ergebnisse bestätigen damit die theoretischen Grundlagen der Wasserfiltration und erlauben eine klare Zuordnung der Filtermaterialien zu spezifischen Reinigungsmechanismen. Die Aktivkohle zeigte die höchste Effizienz bei der Entfernung von Farbstoffen, wobei jedoch die Reinheit des Materials entscheidend ist, da Verunreinigungen zu unerwarteten Effekten bei der Wasserhärte führten. Ionenaustauscherharz konnte die Härte des Wassers zuverlässig verringern, während mechanische Filter wie Kies nur eine geringe Wirkung auf gelöste Ionen haben.

Insgesamt lässt sich sagen, dass wir das Ziel, die Funktionsweise der einzelnen Filtermaterialien und ihre spezifische Wirksamkeit zu untersuchen, erreicht haben. Unsere Hypothesen wurden weitgehend bestätigt, wobei unerwartete Beobachtungen, wie die Härteerhöhung durch Aktivkohle, wertvolle Hinweise auf praktische Aspekte der Filterqualität und Materialvorbereitung lieferten.

Für zukünftige Versuche bietet sich an, die Filtermaterialien in Kombination zu testen, um sowohl Partikel als auch gelöste Stoffe effizient zu entfernen. Außerdem könnten standardisierte Vorbehandlungen der Aktivkohle und weitere Variationen der Kontaktzeit, Durchflussrate und Konzentration der Schadstoffe die Filterleistung weiter optimieren. Die gewonnenen Erkenntnisse liefern damit nicht nur Antworten auf unsere Forschungsfrage, sondern auch Anhaltspunkte für die Weiterentwicklung von Wasserfiltern in Haushalt, Labor und Trinkwasseraufbereitung.

8 Quellen- und Literaturverzeichnis

8.1 Gedruckte Literatur

- [1] UNESCO: *Weltwasserbericht der Vereinten Nationen 2024 – Wasser für Wohlstand und Frieden (Zusammenfassung)*, Paris, UNESCO, 22. März 2024

8.2 Internetliteratur

Almawatech: *Kiesfilter*, <https://www.almawatech.com/abwasser/kiesfilter/> [Zugriff am 06.01.2026]

- [3] Chemie.de: *Wasseraufbereitung*, <https://www.chemie.de/lexikon/Wasseraufbereitung.html> [Zugriff am 06.01.2026]

Holc: *Wie funktioniert ein Naturpool? Die Filtertechnik*, <https://www.holc.at/wie-funktioniert-ein-naturpool-die-filtertechnik/> [Zugriff am 06.01.2026]

Hydrogroup: *Ionentauscher*, <https://www.hydrogroup.de/fileadmin/redakteur/pdf/Produkthandbuch/ionenaustauschverfahren-grundlagen-r2i1-de.pdf> [Zugriff am 06.01.2026]

Kadotec: *Was ist ein Kiesfilter / eine Kiesfiltration?*, <https://www.kadotec.de/blog/post/was-ist-ein-kiesfilter-eine-kiesfiltration.html> [Zugriff am 06.01.2026]

Kohlefiltermax: *Kohlefiltertipps*, <https://www.kohlefiltermax.de/kohlefilter-tip> [Zugriff am 06.01.2026]

Müller, Tobias: *Aktivkohlefilter für Wasser*, <https://alb-filter.com/blogs/ratgeber/aktivkohlefilter-fuer-wasser> [Zugriff am 06.01.2026]

Pai, Aditi: *8 Popular Water Filtration Media*, <https://www.aquasana.com/info/8-popular-water-filtration-medias-pd.html> [Zugriff am 06.01.2026]

primaklima: *Aktivkohlefilter – Herstellung und Funktionsweise*, <https://primaklima.com/de/blog/aktivkohle-active-carbon/> [Zugriff am 06.01.2026]

UG, Granny's World: *Die besten Aktivkohlefilter im Vergleich – umfassender Testbericht 2025*, <https://grannysweed.de/blogs/news/besten-aktivkohlefilter-test> [Zugriff am 06.01.2026]

Wikipedia: *Ionenaustauscher*, <https://de.wikipedia.org/wiki/Ionenaustauscher> [Zugriff am 25.04.2025]

Wikipedia: *Wasserfilter*, <https://de.wikipedia.org/wiki/Wasserfilter> [Zugriff am 06.01.2026]

Wissenschaft, Spektrum der: *Kiesfilter*, <https://www.spektrum.de/lexikon/geowissenschaften/kiesfilter/8331> [Zugriff am 06.01.2026]

Wolf, Günther: *Aktivkohle- und Geruchsfilter bei Lüftungsanlagen*, <https://www.luftbude.de/wissen/wohnraumlueftung/lueftungszubehoer/geruchsfilter> [Zugriff am 06.01.2026]

8.3 Literatur zum Anhang

Abb.1 & Abb.2 :
selbst erstellt