

Filtersysteme und Filtermaterialien im Vergleich



Dr. Dirk P. Dygutsch

- ❖ Diplom-Chemiker,
- ❖ Qualitäts- und Umweltauditor, Gefahrgutbeauftragter Straße und See,
- ❖ Geschäftsführer Dr. Nüsken Chemie GmbH.
- ❖ DIN/DVGW-Ausschuss „Schwimmbeckenwasseraufbereitung“ (DIN19643) (Obmann)
 - ⇒ AK „Teil 2“, „Ozon-Brom-Verfahren“, „Belastbarkeitsfaktor“,
 - ⇒ Co-Autor des Kommentars zur DIN 19643
- ❖ DIN/DVGW-Ausschuss „Aufbereitungsstoffe und -anlagen“
 - ⇒ Produktnormen für Trinkwasser- und Badewasser
 - ⇒ AK „Springbrunnen“, „Filtration (DIN 19605)“, „Filtermaterial aus Glas“
 - ⇒ AK „Spülabwasseraufbereitung (DIN 19645)“
- ❖ Technischer Ausschuss DGfDB
- ❖ Arbeitskreis „Wasseraufbereitung“ der DGfDB
- ❖ Kuratorium Reinigung der DGfDB
 - ⇒ Liste RK und Liste RE
- ❖ diverse Arbeitsgruppen der DGfDB
 - ⇒ Flockung, Reinigung, Chemikalienlagerung
- ❖ DVGW-Arbeitskreis „Flockung“
- ❖ Figawa-Arbeitskreis „Filtermaterialien“
- ❖ seit Januar 2019: Mitglied der Schwimm- und Badebeckenwasserkommission beim Umweltbundesamt



Dr. Nüsken Chemie GmbH

- ❖ gegründet 1934 durch Josef Bittis und Dr. Fritz Nüsken
 - ⇒ Produkte für den Bergbau
- ❖ ca. 50 Mitarbeiter,
- ❖ seit 2016 Mitglied der CF-Group,
- ❖ Reinigungs-, Pflege- und Desinfektionsmittel, Wasseraufbereitungsprodukte, Wellness-Artikel für Schwimmbädern
 - ⇒ auch Nutzfahrzeugreinigung, Industriereinigung, Küchen und Lebensmittelbetriebe.
- ❖ eigene Entwicklung, Herstellung, Lagerung,
- ❖ flächendeckender Außendienst,
- ❖ Service, Beratung, Problemlösungen, Schulungen, Hygienekonzepte,
- ❖ Mitarbeit in vielen Gremien
 - ⇒ DIN, DVGW, DGfdB, EWA, BWK.

Grundlagen der Filtration



Bild: Wassertechnik Wertheim



Bild: W.E.T.

Filtration in Badewasseraufbereitung

- ❖ Reduzierung der **organischen Schmutzfracht**
- ❖ Beseitigung von **Trübstoffen** und **Kolloiden**
- ❖ Abscheidung **partikulärer Verunreinigungen** aus dem Wasserkreislauf
 - ⇒ insbesondere solche, an die sich Mikroorganismen anhaften können
- ❖ Beseitigung von **Mikroorganismen**
 - ⇒ insbesondere solche, die aggregiert vorkommen

- ❖ Entfernung von **Desinfektionsnebenprodukten** und deren Vorläufersubstanzen

- ❖ ggf. Zugabe von **Flockungsmitteln** zu Verbesserung von:
 - ⇒ Abtrennung von Kleinst-Partikeln und Kolloiden
 - ⇒ Fällung und Minimierung von Phosphaten
 - ⇒ Schutz von Membranen (Ultrafiltration) vor
 - ↳ Fouling und Biofouling

Input durch die Nutzer

❖ Partikel und Kolloide

- ⇒ ca. 1,5 Mrd. Partikel (2 - 50 μm) pro Nutzer in 30 min
 - Keuten et al., Water Res., 53 (2014) 259-270.

❖ Mikroorganismen

- ⇒ Viren, Bakterien, Protozoen
- ⇒ 100 - 1.000 Mio. KBE pro Nutzer
 - Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment (VROM), 1985.

❖ „Gelöste“ organische Substanzen

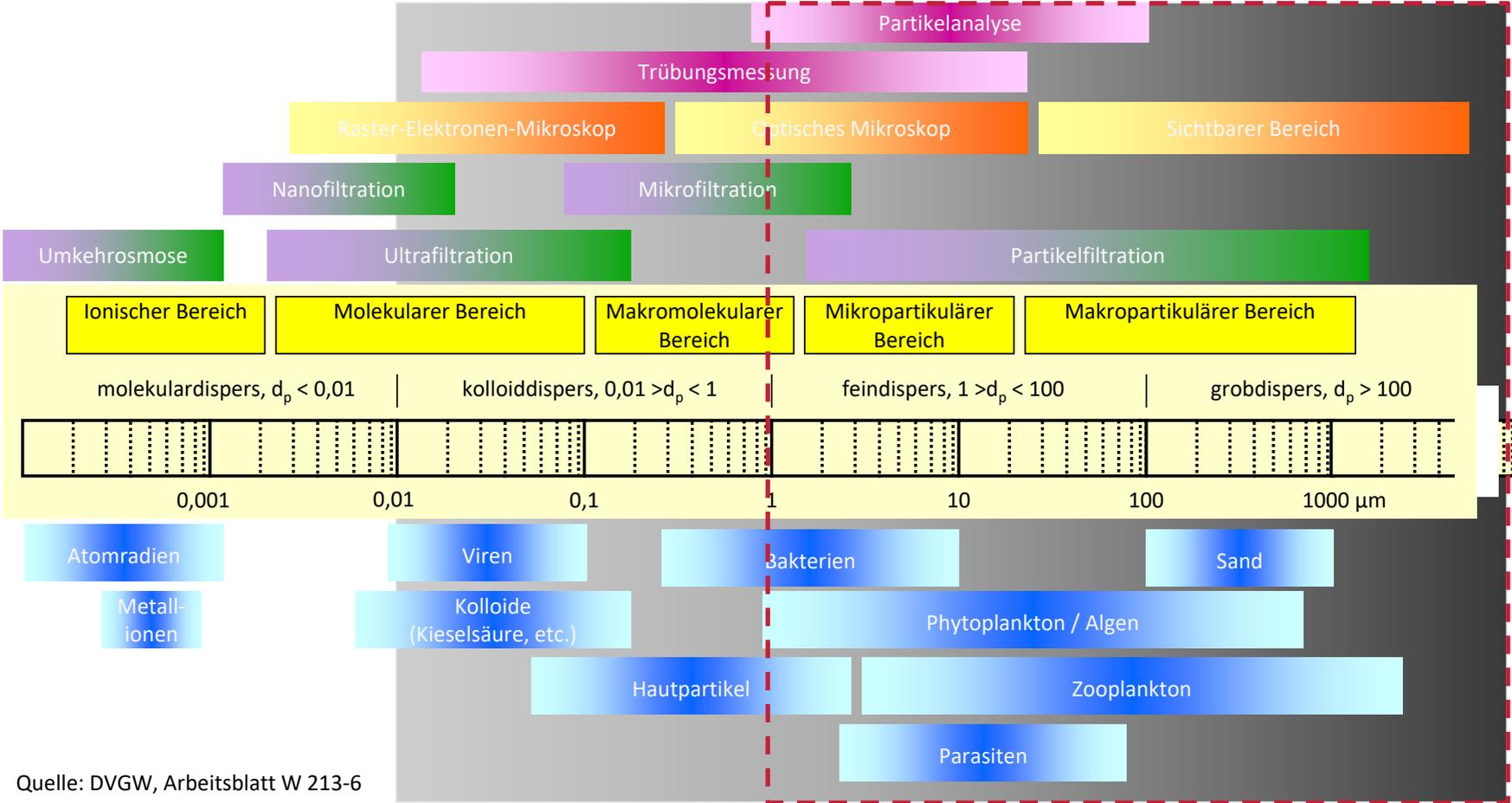
- ⇒ Schweiß: $\sim 1 \text{ l}/(\text{h}\cdot\text{Person}) \approx 1,5 \text{ g Harnstoff}$
- ⇒ Urin: $\sim 25 \text{ ml}/\text{Person} \approx 0,5 \text{ g Harnstoff}$
- ⇒ Haut: $\sim 0,2 \text{ g Harnstoff}$
- ⇒ Sputum, Schleim

❖ Sonnenschutz und Kosmetika

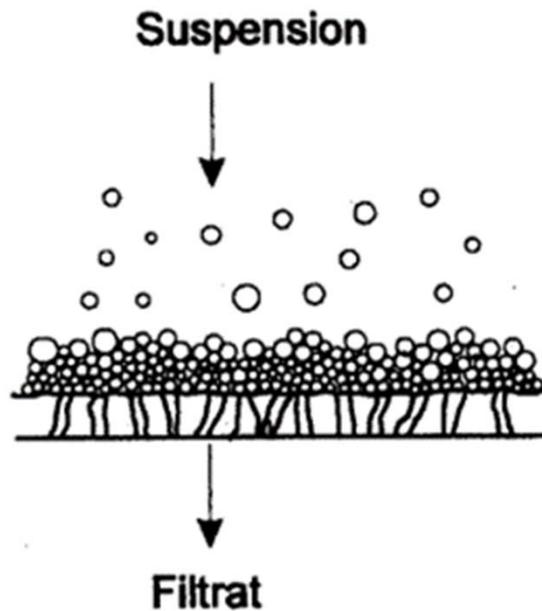
- ⇒ Sonnenschutz: TiO_2 , ZnO , PLGA (poly(lactic-co-glycolic acid)), Tinosorb M (methylene-bis-benzotriazolyl tetramethylbutylphenol)
- ⇒ Kosmetika: Urea, Hyaluronsäure, Fette, Öle, Konservierungsmittel



Abtrennung von Wasserinhaltsstoffen

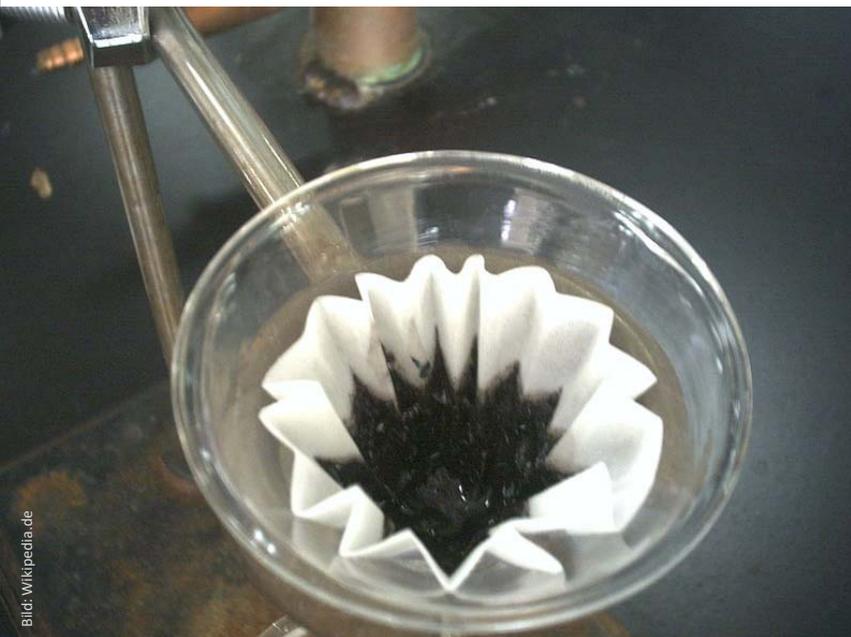


Quelle: DVGW, Arbeitsblatt W 213-6

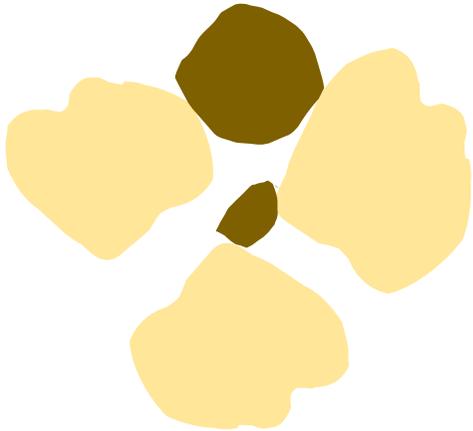


Flächenfiltration

- ❖ auch als „Kuchenfiltration“ bzw. „kuchenbildende Filtration“ bezeichnet
- ❖ Teilchenabtrennung erfolgt im Wesentlichen über **Selektion der Partikelgrößen** → „Siebeffekt“
- ❖ Flockungsmittelzugabe kann die Abtrennungsleistung verbessern
 - ⇒ Flockungsvorgang muss vor der Filterschicht abgeschlossen sein
 - Prinzip der FLOCKENFILTRATION
 - ↳ längere Reaktionszeiten notwendig (erst Flockung, dann Filtration)
- ❖ Beim Durchströmen des Filtermediums bzw. des Kuchens entsteht ein hoher Druckverlust
 - ⇒ hoher Energieaufwand
 - ⇒ häufigere Spülung
- ❖ Spülung erfolgt nach Differenzdruckanstieg oder periodischer Vorgabe



Mechanismen der Partikelentfernungen bei der Tiefenfiltration

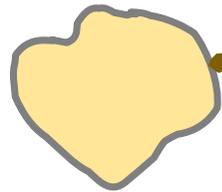


mechanischer Rückhalt in Form von Sperreffekten

- „Siegung“ = Selektion aufgrund von Größendifferenzen

Haftmechanismen (Adhäsion) durch chem.-phys. Wechselwirkungen

- ggf. mit Unterstützung **durch die Flockung**
 - zwischenmolekulare Kräfte
 - elektrochemische Kräfte
 - Adsorptionsvorgänge



Einlagerungen in Vertiefungen und Zerklüftungen
in Form von Makro- und Mikrostrukturen

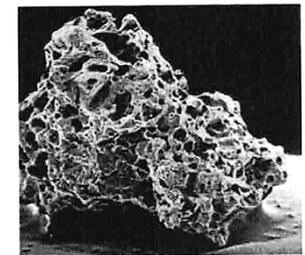
- Reduzierung der Scherkräfte durch das durchströmende Wasser

Quarzsand



400 μm

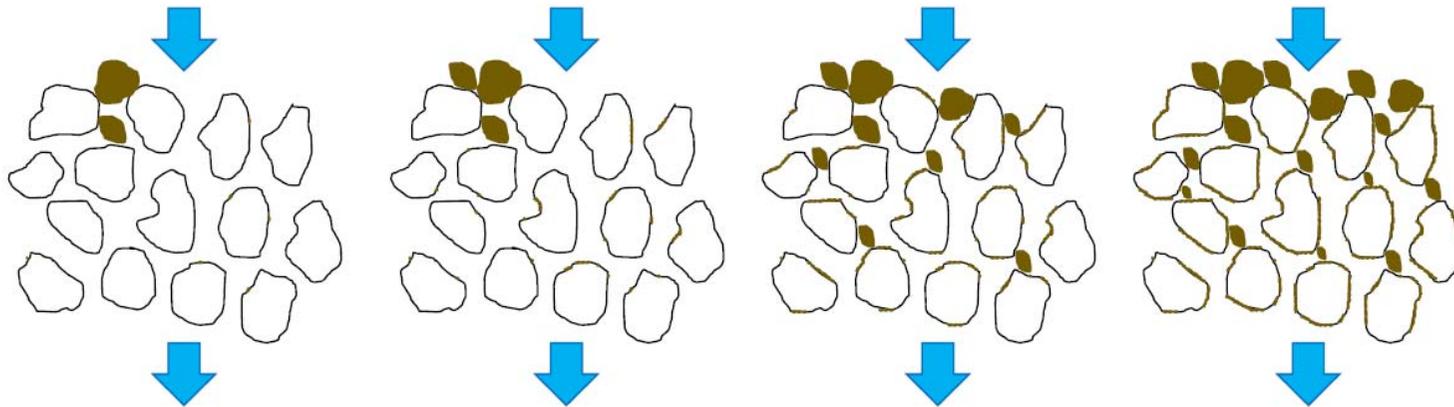
Filterkoks



800 μm

Quelle: A. Nahrstedt
(Jentsch-Seminar 2012-03-14)

Filterbettbeladung bei der Tiefenfiltration



Quelle: A. Reuß in:
Kommentar zur DIN 19643

- ❖ Als Folge des Austrags von Wasserinhaltsstoffen während des Filtrationsvorganges ergibt sich eine Beladung des Filters.
- ❖ Durch diese Beladung, die sich auf den Filterkörnern niederschlägt und wodurch deren Korndurchmesser wächst, **nimmt die Porosität des Filterbettes ab.**
- ❖ Als Folge davon nimmt die Fließgeschwindigkeit in den Kanälen des Filterbettes zu, **wodurch der Filterdifferenzdruck ansteigt.**
- ❖ Es kommt durch diese höheren Fließgeschwindigkeiten zu erhöhten Scherkräften auf die abgeschiedenen Partikel, was **vermehrt** zu deren **erneuten Ablösung vom Filtermaterial** führen kann. Eine Folge davon kann das „Durchbrechen“ des Filters sein.
- ❖ Spätestens bevor dieser Effekt eintritt, ist die Spülung durchzuführen.

Filtration in der Schwimm- und Badebeckenwasseraufbereitung



Bild: Wassertechnik Wertheim



Bild: W.E.T.

Filtration in der Badewasseraufbereitung

- ❖ Tiefenfiltration
 - ⇒ Partikelanlagerung („Adhäsion“) an Filtermaterial
 - ⇒ Sand- bzw. Mehrschichtfiltration
- ❖ Flächenfiltration
 - ⇒ Selektion durch Größenunterschiede
 - ⇒ „Kuchenbildung“
 - ⇒ Anschwemmfiltration
 - ⇒ Ultrafiltration (ca. 0,01 - 0,05 µm)
 - ↳ Virenrückhalt von 4 log-Stufen

Tabelle 2. Eliminierungsleistung bei optimierten Betriebsbedingungen in log-Stufen bzw. % (aus Literaturangaben).

| Verfahren | Bakterien | | Parasiten | | Viren | |
|-----------------------------------|------------|---------|------------|--------------|-----------|-----------|
| | log-Stufen | % | log-Stufen | % | lo-Stufen | % |
| Flockungs- bzw. Flockenfiltration | 1 – 2 | 90 – 99 | 3 – 4 | 99,9 – 99,99 | 1 – 3 | 90 – 99,9 |
| Mikrofiltration | > 4 | > 99,99 | > 4 | > 99,99 | 1 – 3 | 90 – 99,9 |
| Ultrafiltration | > 4 | > 99,99 | > 4 | > 99,99 | > 4 | > 99,99 |

Quelle: Burkhard Wricke, GWF Wasser Abwasser, 147 (2006)

Festbettfiltration



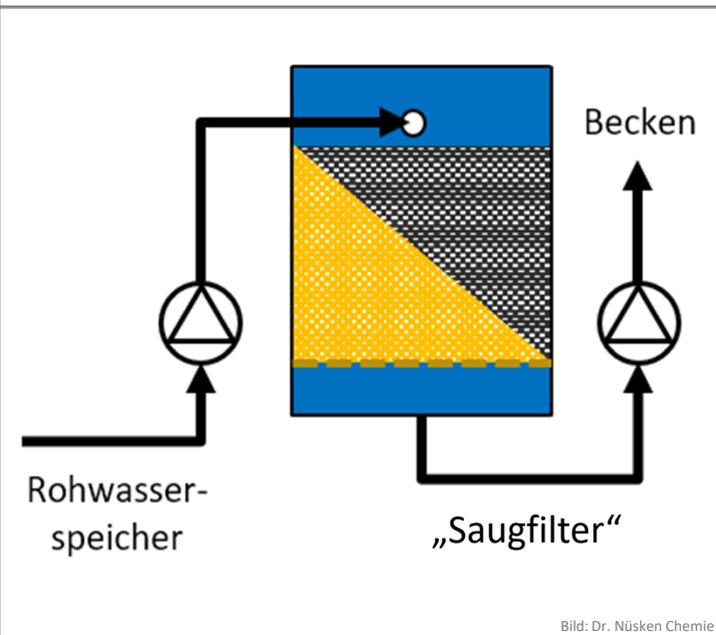
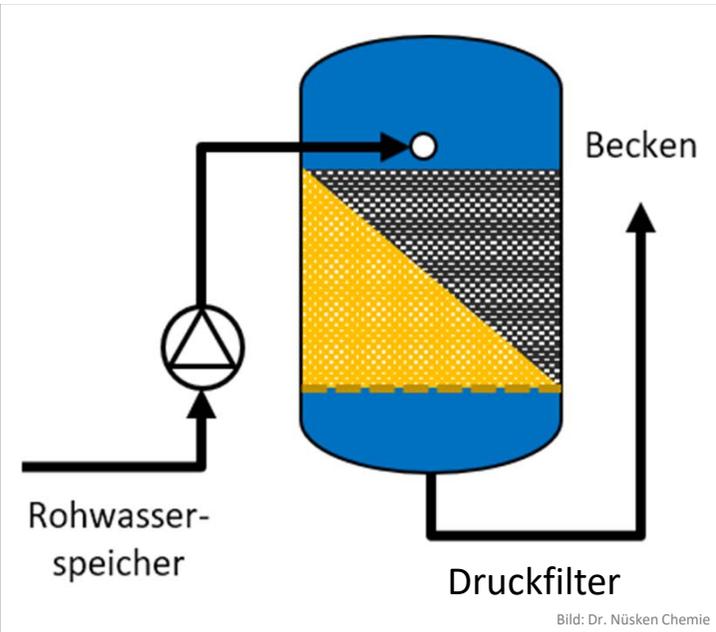
Bild: Wassertechnik Wertheim



Bild: Aquila Wasseraufbereitungstechnik

Festbettfilter

- ❖ offene „Langsamfilter“
 - ⇒ Schwerkraftfilter
 - ↳ Druckdifferenz durch die über dem Filterbett stehende Wassersäule → „Überstaufilter“
 - ⇒ i.d.R. Einschichtfilter
- ❖ offene „Saugfilter“
 - ⇒ Wasser wird mittels durch Pumpe erzeugtem Unterdruck durch Filterbett transportiert → „Unterdruckfilter“
 - ↳ meistens zweite Pumpe zur Förderung in den Filter erforderlich
 - ⇒ jeweils als Ein- und Mehrschichtfilter
 - ⇒ sollte abgedeckt sein → Vermeidung von Korrosionen, Schmutzeintrag
- ❖ geschlossene Druckfilter
 - ⇒ Wasser wird mittels durch Pumpe erzeugtem Überdruck durch Filterbett transportiert → „Überdruckfilter“
 - ⇒ jeweils als Ein- und Mehrschichtfilter



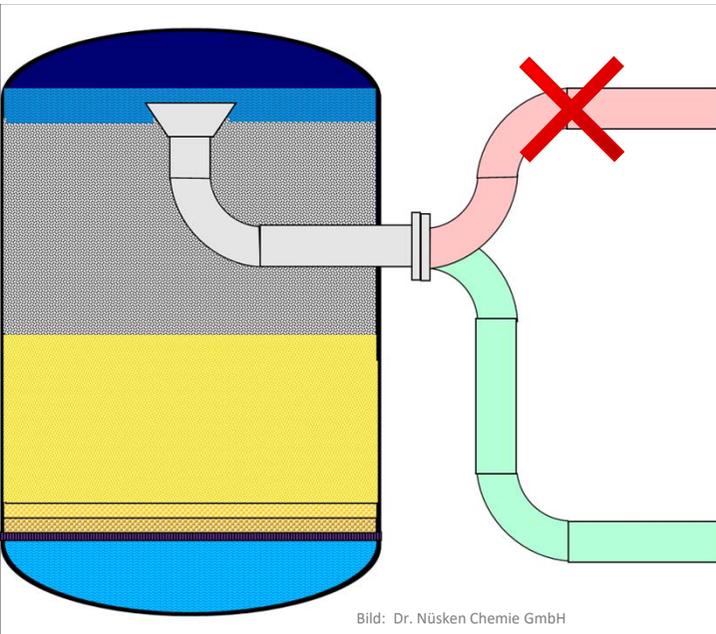
Schnellfilter

- ❖ Zur Filtration notwendige Druckdifferenz kann durch Überdruck oder Unterdruck erzeugt werden
 - ⇒ Druckfilter → mind. 1 Pumpe
 - ⇒ Unterdruckfilter („Saugfilter“) → mind. 2 Pumpe
 - ↳ zur Atmosphäre offen → Abdeckung (möglichst gasdicht)
- ❖ Filtrationsgeschw.: 30 m/h
 - ↳ SIA 385/9: 20 m/h bei Solewasser
- ❖ Filterschichthöhe: $\Sigma 1,2 \text{ m}$
 - ↳ in D: Reduzierung auf 0,8 m bei feinen Filtermaterialien
- ❖ Filterschichten:
 - ↳ Einschicht: Sand
 - ↳ Mehrschicht: obere Schicht (adsorptive) Kohle, untere Schicht Sand, Glaskorn, Glasgranulat
- ❖ Freibordhöhe: $0,25 \times \text{Filterschichthöhe} + 0,2 \text{ m}$
 - ⇒ zu niedrig: Austrag von Filtermaterial (→ MSF)
 - ⇒ zu hoch: unzureichender Austrag von Partikeln

Festbettfilter (Schnellfilter)

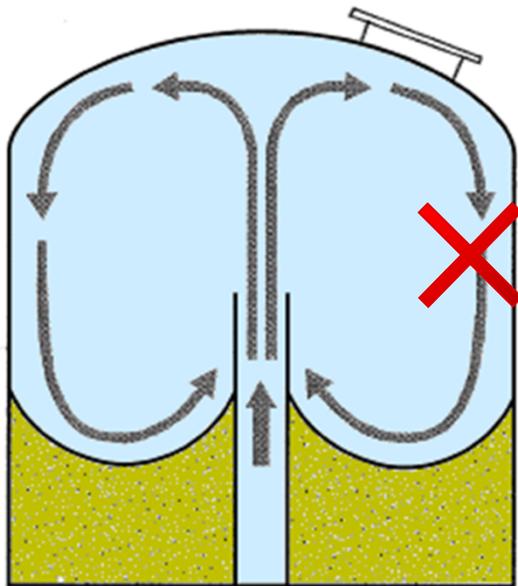
- ❖ Maßgebend für die **Konstruktion**, den Aufbau und die Ausbildung sind in Deutschland die Anforderungen nach **DIN 19605**.
- ❖ Filter sollten mit mindestens einem **Sichtfenster** ausgestattet sein, das die Beobachtung der Oberfläche bzw. Trennschicht jeden Filtermaterials bei der Filtration und der Spülung zulässt.
Dieses Fenster sollte mit der Innenseite des Filters bündig abschließen.
- ❖ Die Aufgabe des Rohwassers in den Filter und die Filterkonstruktion sollten so beschaffen sein, dass die **Durchströmung des Filters stets gleichförmig** ist.
- ❖ Das **Spülabwasser** muss **rückstandsfrei** und ohne Rückstau abfließen können.
- ❖ Es sollte Düsenboden mit Polsterdüsen verwendet werden.
⇒ Anzahl an Polsterdüsen: $\geq 60 / \text{m}^2$ (DIN 19605)





Anforderungen an die Filtration

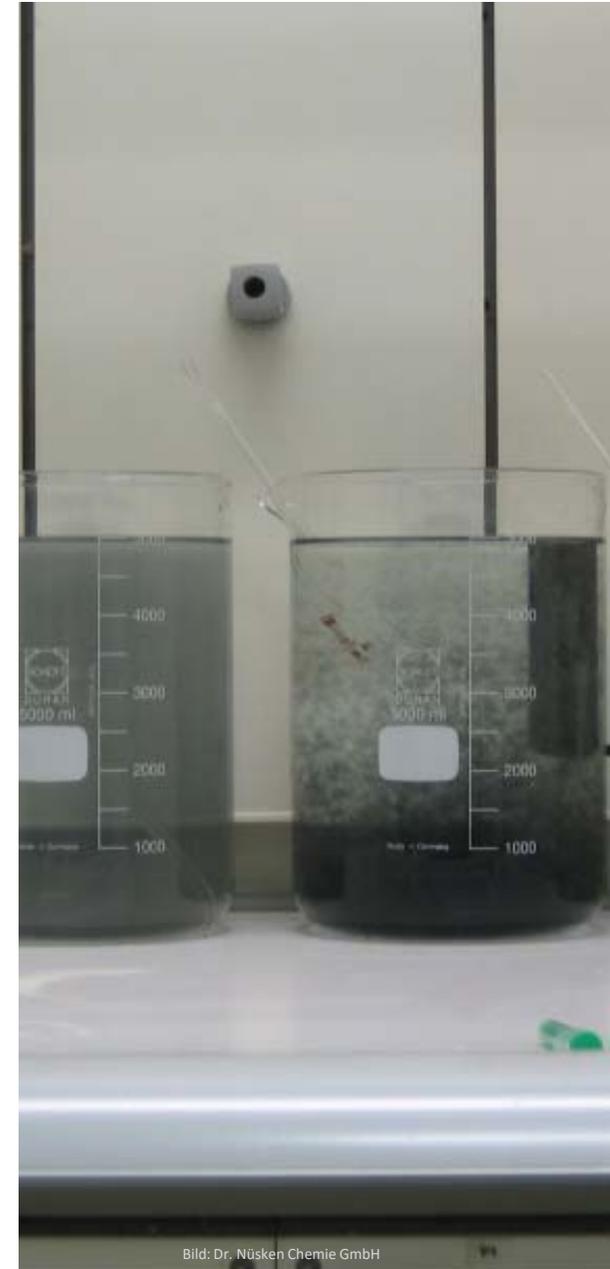
- ❖ Die Filter sind **kontinuierlich** zu betreiben.
- ❖ Bei Mehrschichtfiltern müssen die **Korngruppen auf einander abgestimmt** sein.
- ❖ Bei Sandschichten ist das **Unterkorn** während bzw. nach der Befüllung aus dem Filter zu **entfernen**.
- ❖ Während des Filtrationsbetriebes sind **Auskolkungen** zu vermeiden.
- ❖ **Unebenheiten des Filterbettes** sollten 5 cm/m Filterdurchmesser, jedoch maximal 10 cm Höhenunterschied nicht überschreiten.
- ❖ Der Rohwasserzulauf ist so zu gestalten, dass horizontale Bewegungen des Filtermaterials während des Filtrationsbetriebes ausgeschlossen werden.
- ❖ Der rückstaufreie Ablauf des Spülabwassers aus dem Filter ist sicherzustellen.



Flockung bei Festbettfiltern

Flockungsmittel nach DIN 19643 für Festbett- und Ultrafiltration

- ❖ Monomere“ Aluminiumverbindungen
 - ⇒ Mitfällung von Phosphaten → saure Verbindungen ($\text{pH} < 1$)
 - ↳ Aluminiumsulfat ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 16 \text{H}_2\text{O}$), Aluminiumchloridhexahydrat ($\text{AlCl}_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$)
- ❖ Alkalische, „monomere“ Aluminiumverbindungen
 - ⇒ „Basizität“ $> 100\%$ → „Weichwasser-Flockungsmittel“
 - ↳ Natriumaluminat ($\text{NaAl}(\text{OH})_4$)
- ❖ „Dimere“ Aluminiumverbindungen (mit hoher Basizität)
 - ⇒ kleinere Flocken → besonders für Sandfilter und Ultrafiltration
 - ↳ Aluminiumhydroxidchlorid ($\text{Al}_2(\text{OH})_{6-x}\text{Cl}_x$ ($x = 1-3$)), Aluminiumhydroxidchloridsulfat
- ❖ „Polymere“ Aluminiumverbindungen (mit hoher Basizität $> 50\%$)
 - ⇒ Schnelle Flockenbildung ohne große pH-Wert-Absenkung
 - ↳ Polyaluminiumchloride ($\text{Al}_n(\text{OH})_{3n-x}\text{Cl}_x$ ($n = 8 - 15$, $x \leq 0,35 \cdot n$)) mit einer Basizität $> 50\%$
- ❖ „Monomere“ Eisen(III)-Verbindungen (Basizität = 0)
 - ⇒ Ausfällung von mineralischen Trübstoffen, Mitfällung von Eisen
 - ⇒ pH-Werte $> 7,5$ → Bromidhaltige Wässer
 - ↳ Eisen(III)-chlorid-Hexahydrat, Eisen(III)-chloridsulfat-Lösung, Eisen(III)-sulfat
- ❖ Mischprodukte aus Aluminium- und Eisenverbindungen



Voluminöse Aluminiumhydroxid-Flocke

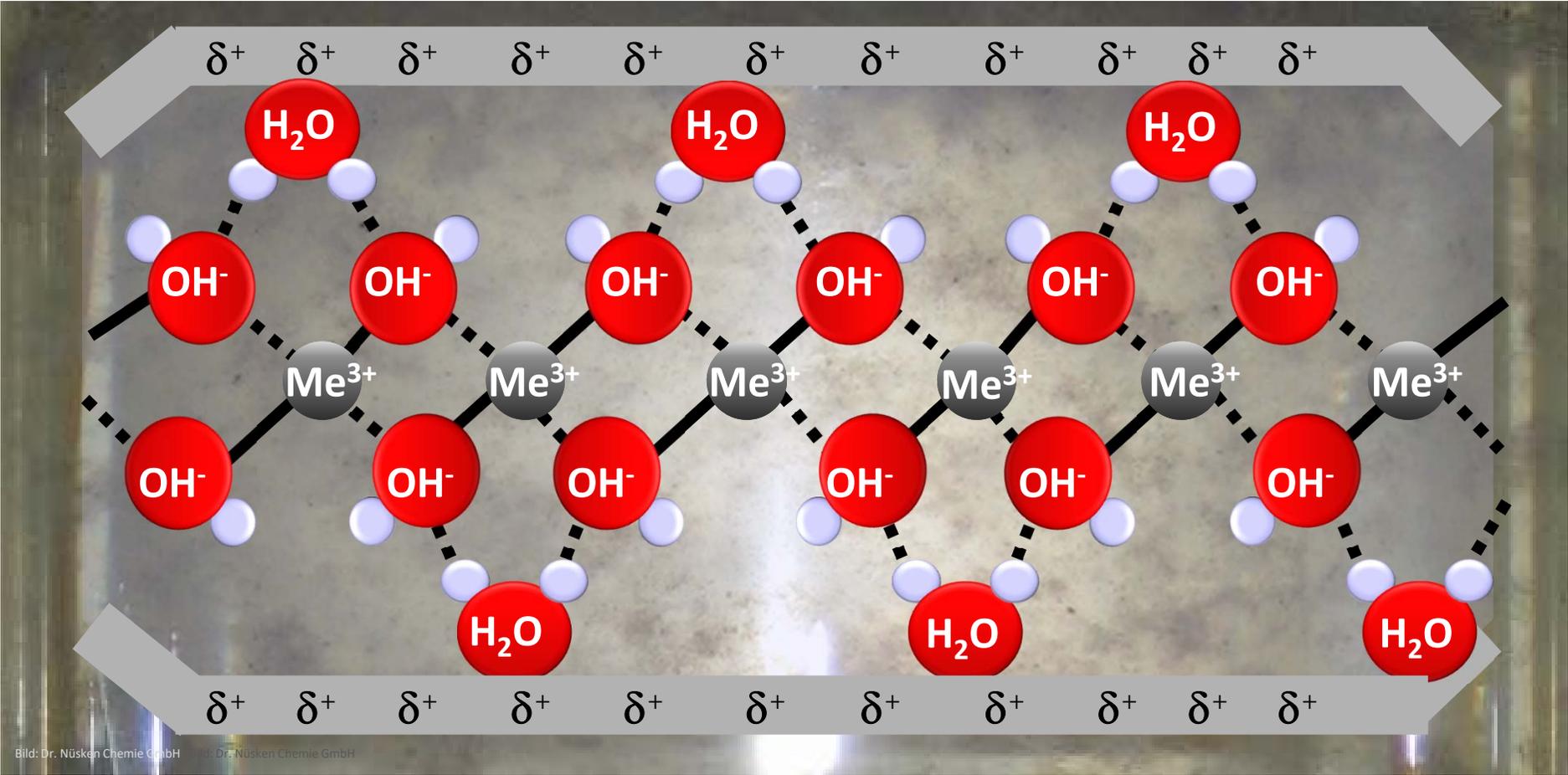
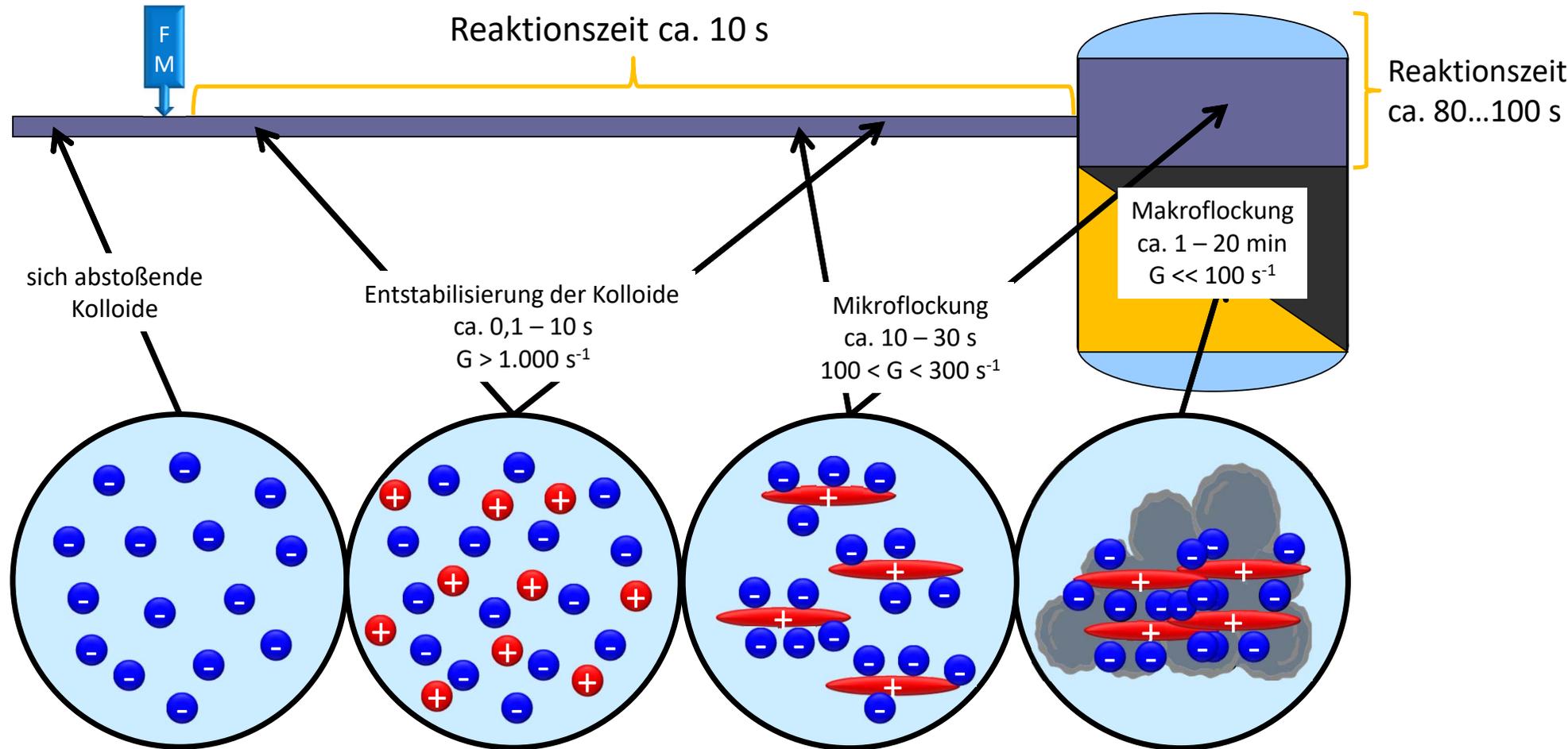


Bild: Dr. Nüsken Chemie GmbH

Prozessentwicklung der Flockung



Quelle: D. P. Dygutsch, Kommentar zur DIN 19643, Teil 2.

Flockungsfiltration

Einflussfaktoren bei der Flockung

- ❖ Typ und Zusammensetzung des Flockungsmittels
- ❖ Einmischung, Verteilung und Reaktionszeit
 - ⇒ hoher Impulseintrag bewirkt schnelle Entstabilisierung und bessere Verteilung
- ❖ pH-Wert
- ❖ Säurekapazität
- ❖ Konzentration
- ❖ Temperatur
- ❖ Salz-/Elektrolyt-Konzentration
- ❖ Beladungssituation und Strömungen im Filterbett



Filtermaterialien



Bild: Dirk P. Dygutsch



Bild: Dirk P. Dygutsch

Filtermaterialien

- ❖ **Sand (und Kies)** nach EN 15798 (→ EN 12904)
 - ⇒ möglichst aus reinem Quarz (> 96 % SiO₂)
 - ⇒ gewaschen, geblüht, frei von organischen Verunreinigungen
- ~~❖ **Bims** nach EN 15798 (→ EN 12906)~~
 - ~~⇒ vulkanische Silikatgesteine mit hoher Porosität~~
 - ~~⇒ Gelegentlich eingesetzt bei Mehrschichtfiltern und Ozon~~
- ❖ **Anthrazit** nach EN 15798 (→ EN 12909)
 - ⇒ häufig Steinkohlenkoks → sog. „N-Kohle“
- ❖ **Braunkohlenkoks** nach EN 15798 (→ EN 12909)
 - ⇒ sog. „H-Kohle“ → innere Oberfläche: ca. 450 m²/g (BET)
- ❖ **Korn-Aktivkohle** nach EN 15798 (→ EN 12915-1)
 - ⇒ bei nachgeschalteten Sorptionsfiltern oder
 - ⇒ MSF bei Verfahren mit Ozon als Sorptionsschicht
 - ⇒ Innere Oberfläche: > 900 m²/g (Jodzahl, BET)



Bild: Dirk P. Dygutsch



Bild: Dirk P. Dygutsch

„neue“ Filtermaterialien

❖ Glaskugeln und Glaskörner

- ⇒ in Bearbeitung: Produktnorm (EN) → Qualitätsanforderungen
 - ↳ Organik, Schwermetalle, wasserextrahierbare Stoffe
- ⇒ DIN 19643-2 → Verfahrensnormung → Anwendung
- ⇒ **ABER:** aktivierte Gläser werden nicht beschrieben

❖ Glaskugeln

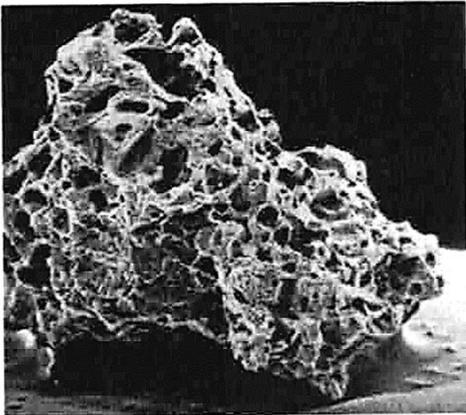
- ⇒ aus Flachglas („weißes“ Fensterglas)
- ⇒ gleichmäßige, geometrische Form → Rundheit > 92 %
- ⇒ abweichende Wirkungen
 - ↳ größere Sperreffekte
 - ↳ geringere Anhaftungen durch weniger Wechselwirkungen

❖ Glasgranulat

- ⇒ aus Flaschenglas (grün, braun, weiß)
- ⇒ ähnliches Verhalten wie Sand

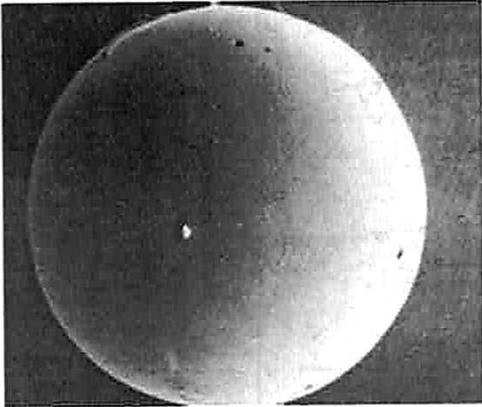
ABER:
Spülgeschwindigkeit
grundsätzlich ≥ 45 m/h

Strukturen von Filtermaterialien



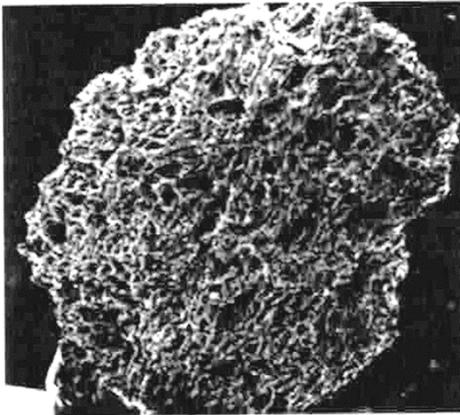
Filterkoks

800 μm



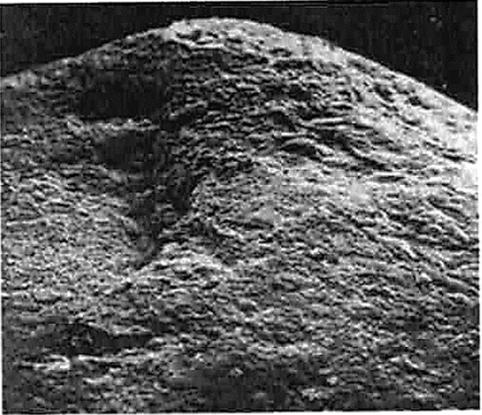
Glaskugel

1000 μm



Bims

1200 μm



Quarzsand

400 μm

Quelle: A. Nahrstedt
(Jentsch-Seminar 2012-03-14)

Filterspülung

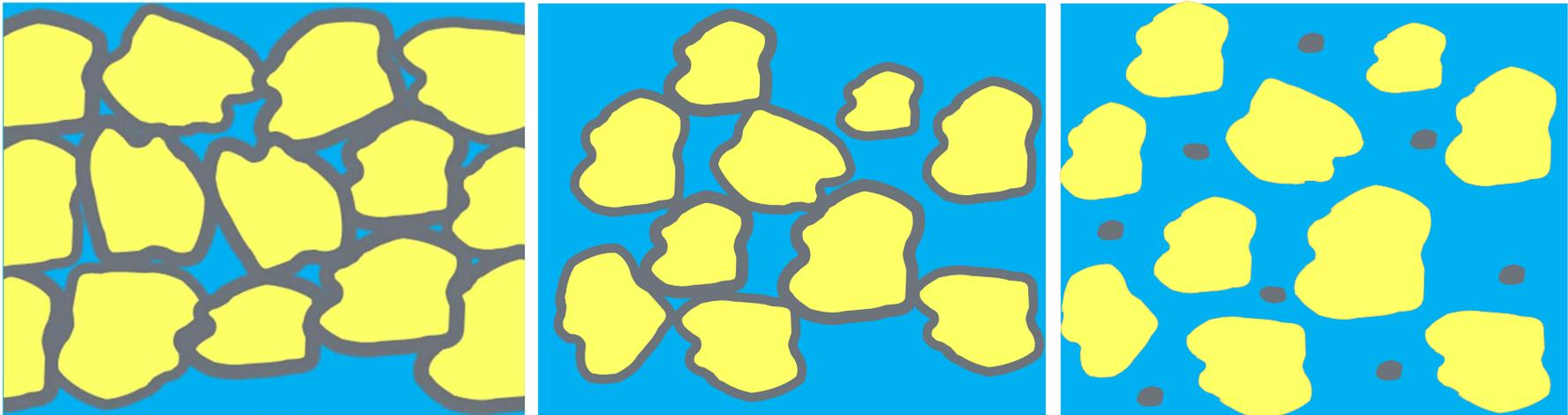
Filterspülung

- ❖ Filterspülungen sollten aus hygienischen Gründen häufiger erfolgen als der Differenzdruck es erfordert.
- ❖ Für die Spülung sollte **desinfiziertes Wasser** verwendet werden.
- ❖ Es muss **ausreichend Spülwasser** zur Verfügung stehen.
- ❖ Der **Spülvorgang** darf **nicht unterbrochen** werden.
- ❖ Bei der Spülung muss eine **Fluidisierung aller filtrierenden Schichten** erreicht werden.
- ❖ Eine **Luftspülung** sollte **kurz und knackig** sein.
- ❖ Nach Abschluss der Spülung muss das **Filterbett gleichmäßig und eben** sein; die verschiedenen **Filtrationsschichten** dürfen sich **nicht vermischen** haben.
- ❖ Das **Erstfiltrat** sollte **nicht ins Becken** abgeführt werden.
- ❖ Einmal pro Monat sollte die **Filterspülung beobachtet** werden:
 - ⇒ Filterbettausdehnung, Freibordhöhe, Spülzeiten, Volumenströme und Funktion der Armaturen



Vorgänge bei der Filterspülung

- ❖ Während des Filtrationsbetriebs bildet sich durch Wechselwirkungen eine „Filterhaut“ aus Schmutz und Flockungsmittel
- ❖ Die **Luftspülung** bewirkt eine Verwirbelung (Rotation) des Filtermaterials und dadurch das „Absprengen“ des anhaftenden Schmutzes („Filterhaut“)
- ❖ Die **Wasserspülung** bewirkt
 - ⇒ das Anheben des Filterbetts („Fluidisierung“)
 - ⇒ den Abtransport des „losen“ Schmutzes und des „abgesprengten“ Schmutzes
- ❖ kombinierte Luft-/Wasser-Spülung bei Sandfiltern ideal



Filterspülung

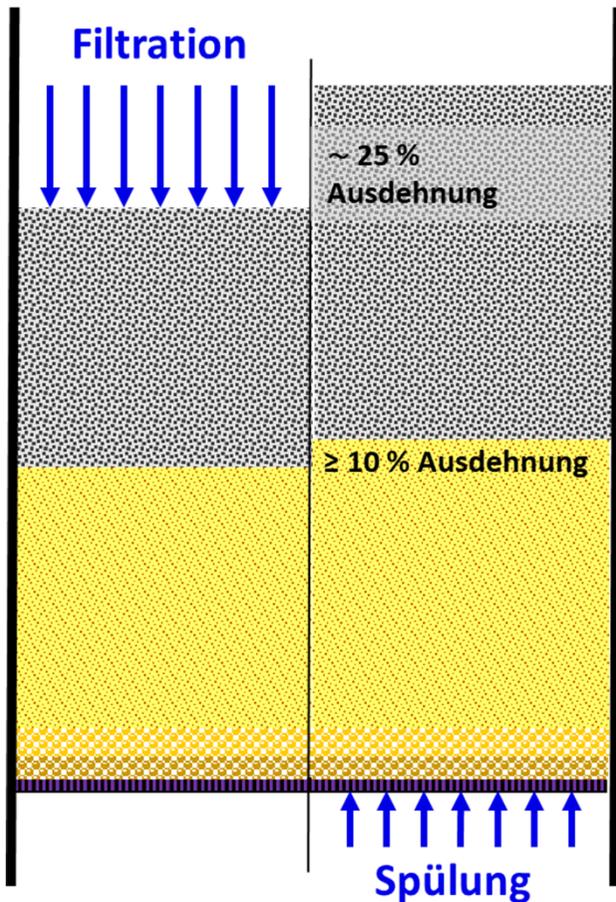
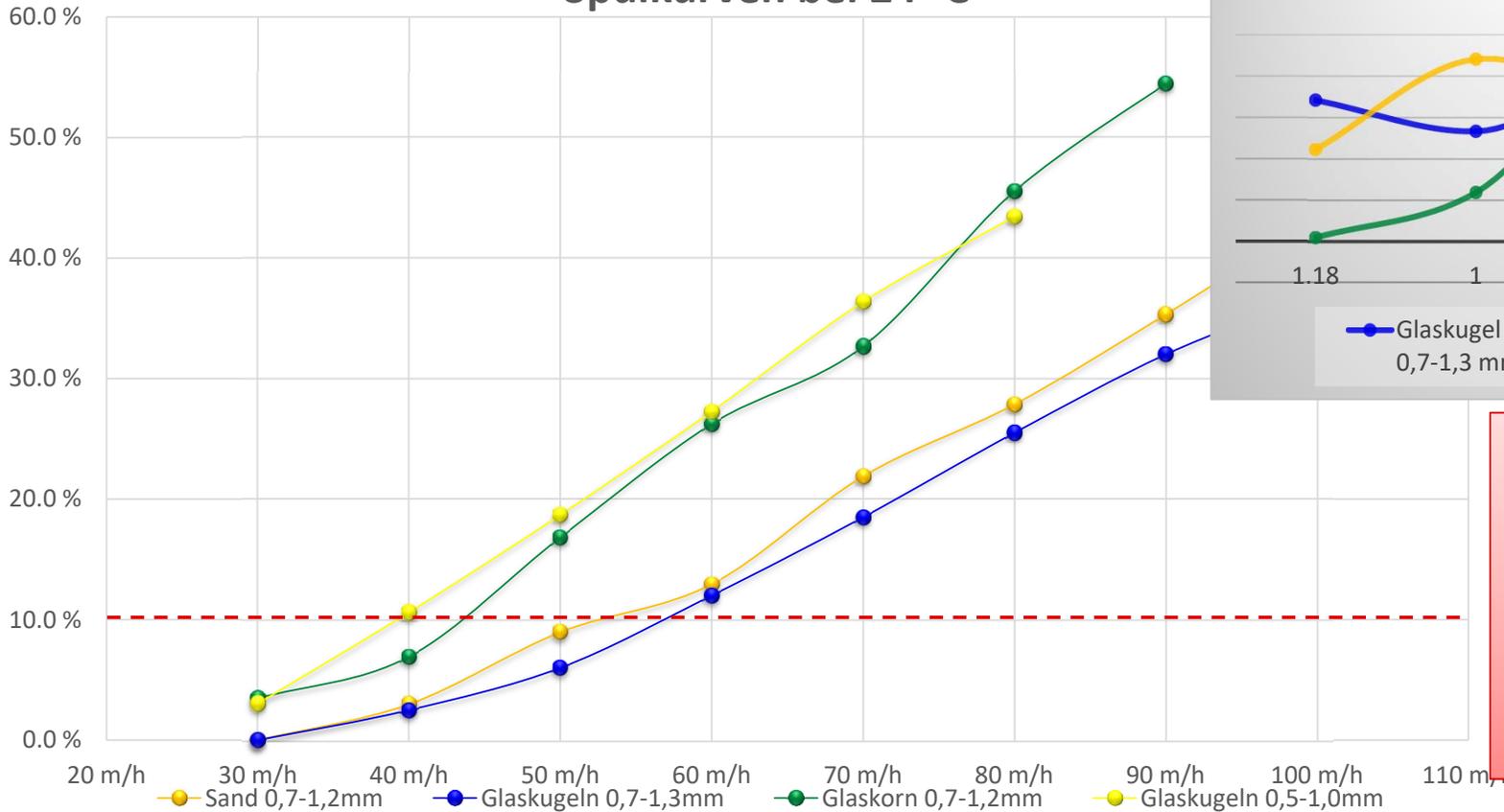


Bild: Dr. Nüsken Chemie

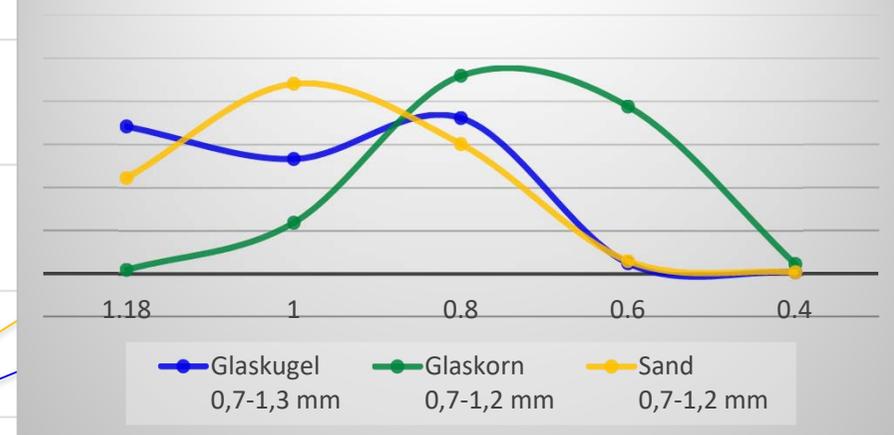
- ❖ Filterspülung erfolgt durch
 - ⇒ Umkehrung der Fließrichtung **und**
 - ⇒ Erhöhung der Fließgeschwindigkeit
 - ↪ abhängig vom Filtermaterial
 - Sandfilter 60...70 m/h
 - Mehrschichtfilter: 50...60 m/h
 - ↪ mindestens 45 m/h zum Austrag von Partikeln und Schwebstoffen
- ❖ alle filtrierenden Schichten müssen sich ausdehnen
 - ⇒ Sandschicht mind. 10 % → Kohle: 20...30 %
 - ⇒ Fluidisierung („fließen“, „schweben“) der Filterschichten
 - ↪ Schmutz kann ungehindert ausgespült werden
- ❖ Spülwasserentnahme aus
 - ⇒ Spülwasserspeicher, Rohwasserspeicher oder Becken
- ❖ zusätzliche Luftspülung bewirkt
 - ⇒ Auflockerung der Filtrationsschichten
 - ⇒ Ablösen und Abreiben von anhaftenden Schmutz

Filterbettausdehnungen

Spülkurven bei 24 °C



Korngrößenverteilung



Fazit:

Bettausdehnung ist mehr abhängig von der Korngröße als von der geometrischen Form

➔ ERFORDERLICH:
Spülkurven durch Lieferant

Entwicklung der Partikelzahlen im Filtrat eines Sandfilters

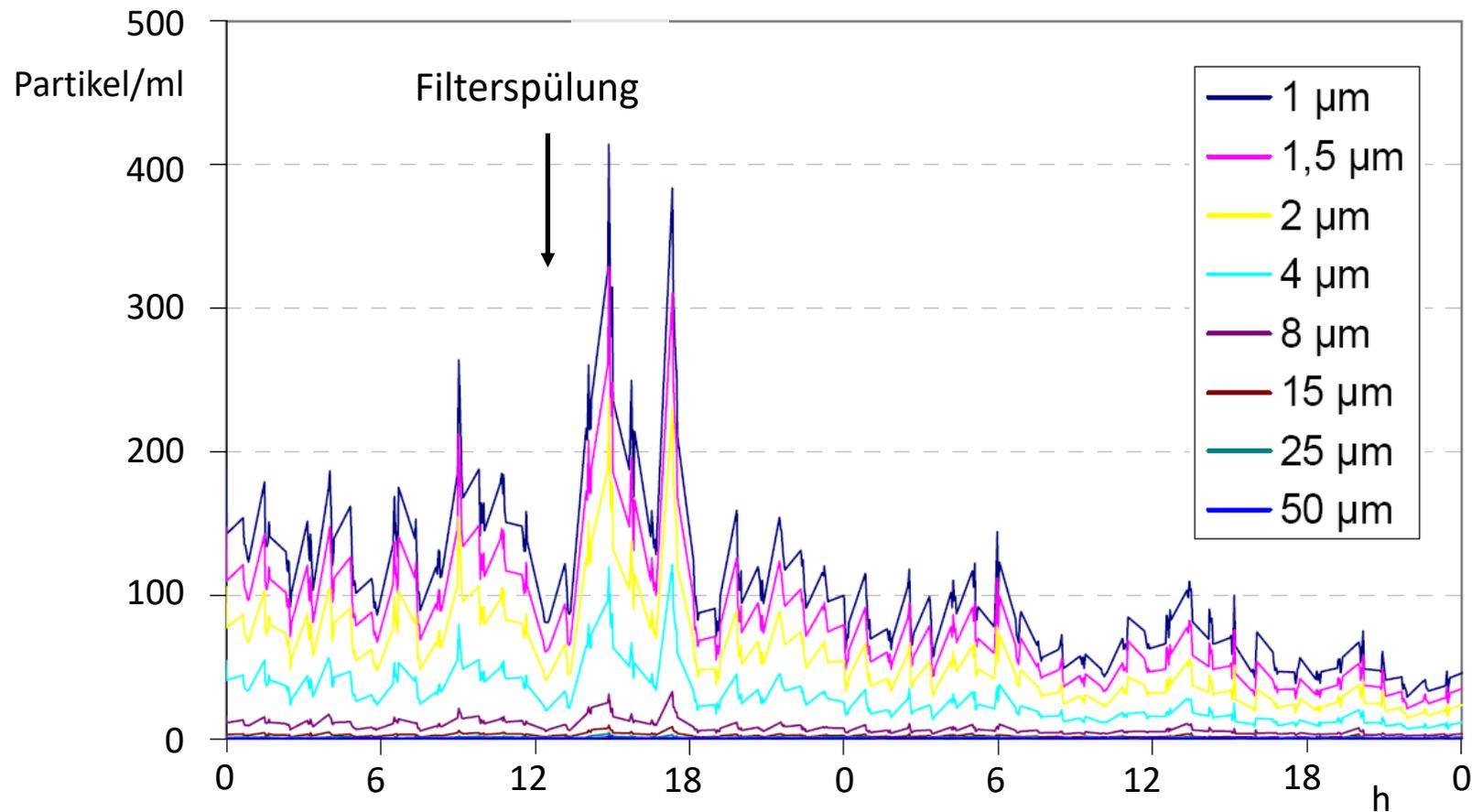
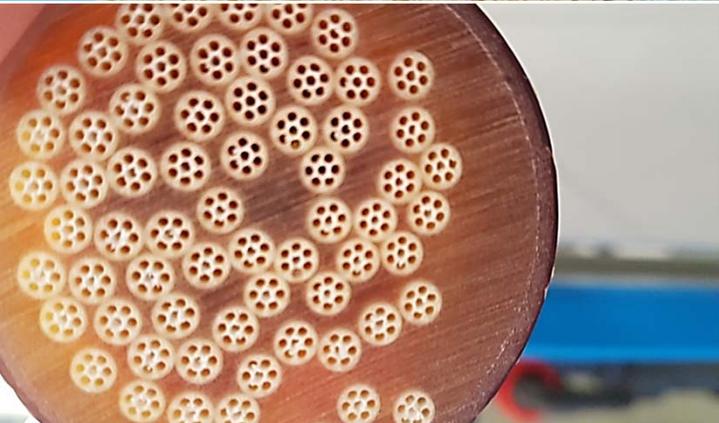


Abb.: Kramer, DVGW-Projekt Köln, Symposium Köln 2006

Ultrafiltration



Ultrafiltrationsanlagen

- ❖ Membranmodule in „Druckrohren“ bestehen aus mehreren Tausend Hohlfasern („Kapillar-Membranen“)
- ❖ Kombination vom volumenstrom-abhängigen Anzahl von Modulen, die in einer oder mehreren Straßen angeordnet sind.
- ❖ eigentliche Filterflächen sind die Innenwände der Kapillaren
 - ⇒ Filterporendurchmesser: $0,01 \dots 0,05 \mu\text{m}$
 - ⇒ 1 Modul für Schwimmbäder hat ca. 70 m^2 Filterfläche
 - ⇒ Filtratflux liegt bei etwa $150 \dots 200 \text{ l}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$
- ❖ 2-stufige UF zur Reduzierung des Spülwasserverbrauchs
 - ⇒ das Filtrat der 2. UF muss zur Wiederverwendung im Beckenkreislauf vor der 1. UF eingeleitet werden
 - ↪ kein sekundäres Füllwasser → zusätzlich $30 \text{ l}/(\text{d} \cdot \text{Pers.})$

Größenverhältnisse und Trennschärfe

- ❖ Porengröße: 0,01...0,05 μm
 - ⇒ Menschenhaar: $\sim 50 \mu\text{m}$
- ❖ zurückgehalten werden:
 - ⇒ Bakterien
 - ⇒ Viren
- ❖ nicht zurückgehalten werden z.B.
 - ⇒ Salze
 - ⇒ Desinfektionsnebenprodukte
- ❖ Qualität der Membranmodultypen:
 - ⇒ Virenrückhaltevermögen $\geq 99,99 \%$
 - ↪ Nachweis durch unabhängiges Labor.
 - ⇒ Beständigkeit:
 - ↪ gegen $\geq 50 \text{ mg/l}$ freies Chlor
 - ↪ Säuren und Laugen im pH-Bereich von $\text{pH} = 2 \dots 12$

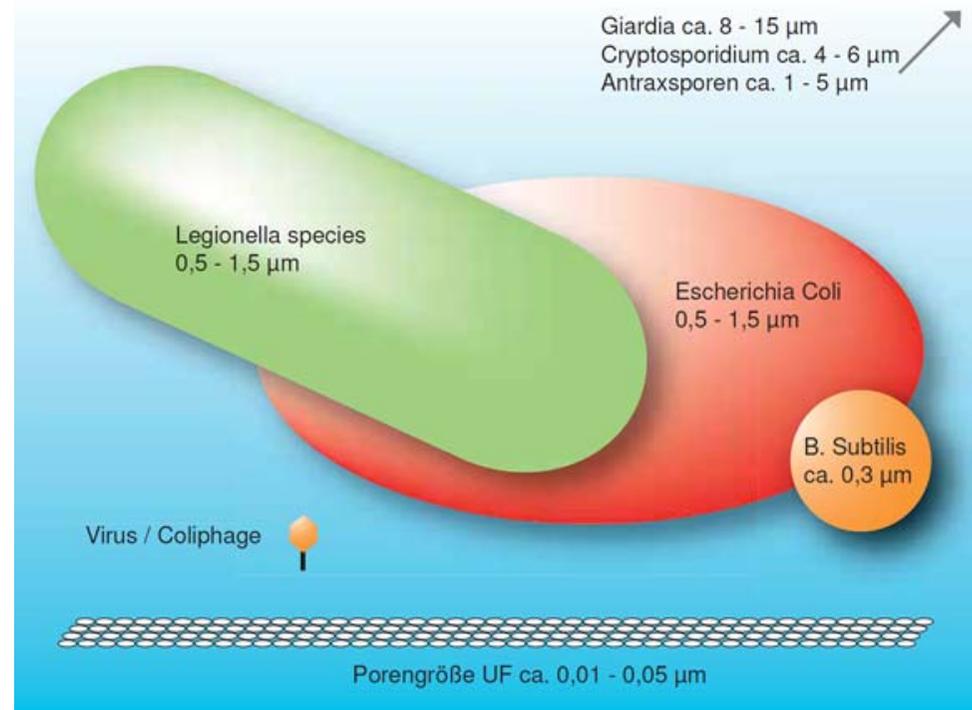
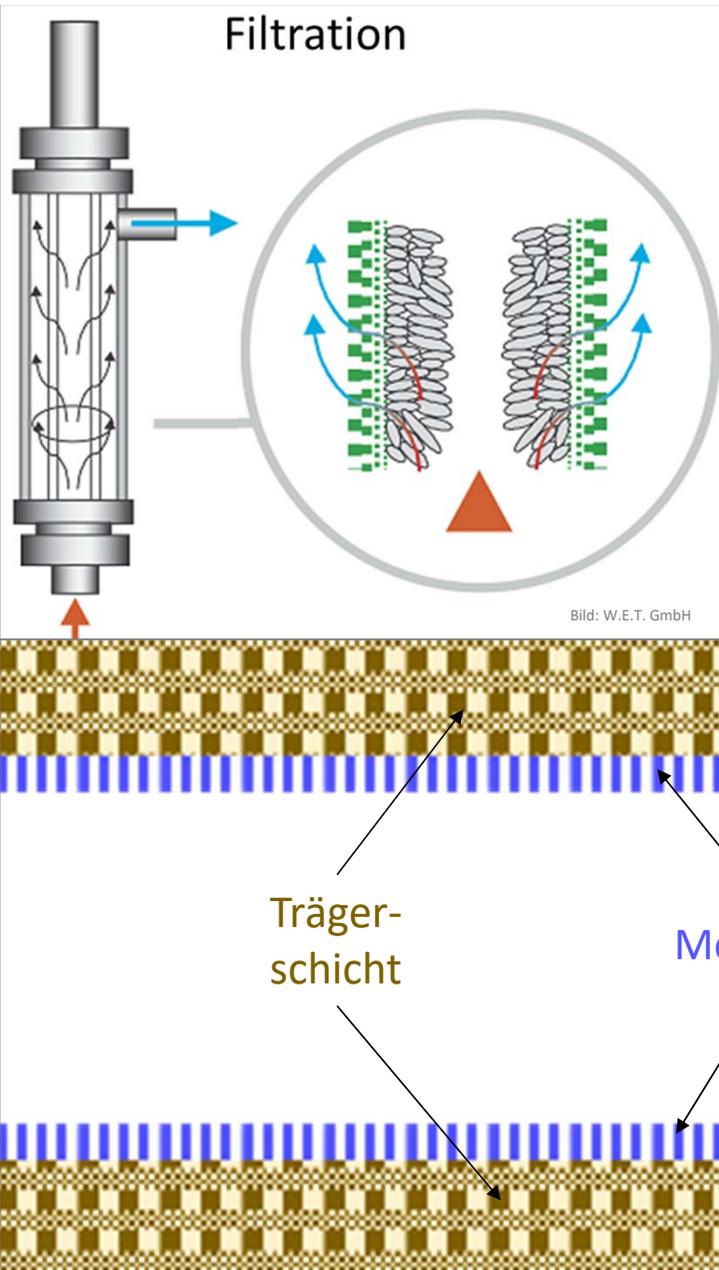


Bild: W.E.T. GmbH

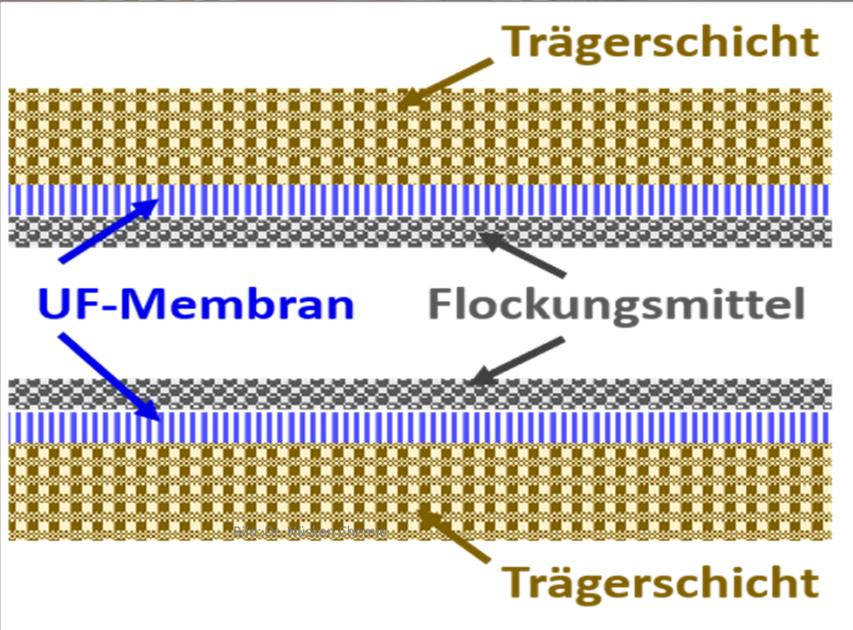


Ultrafiltration (Membranfiltration)

- ❖ Flächenfiltration
 - ⇒ Abtrennung erfolgt durch Größenselektion
 - ↳ Porengröße: 0,01...0,05 μm
 - ↳ Vgl. Menschenhaar: $\sim 50 \mu\text{m}$
 - ⇒ zurückgehalten: Bakterien, Viren, Protozoen
 - ⇒ nicht zurückgehalten: Salze, kleine Moleküle, DNP
- ❖ Filtration erfolgt von innen nach außen im „Dead-End“-Modus
 - ⇒ Fluxrate: 150...200 $\text{l}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$
- ❖ Vorfilter als Schutzfilter vor Verblockungen
 - ⇒ Kiesfilter
 - ⇒ Kornaktivkohlefilter (entfernen auch DNP)
 - ⇒ Scheibenfilter
 - ⇒ ACHTUNG: Vorfilter kann verkeimen!!!



Bild: Dr. Nüsken Chemie

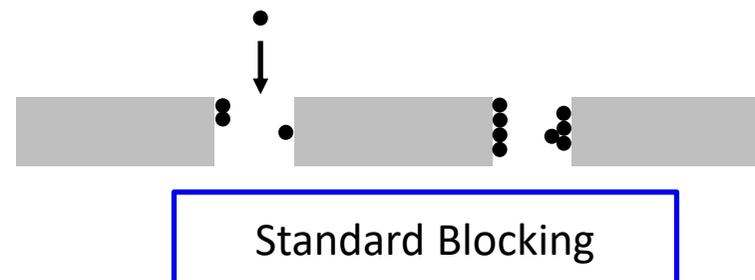
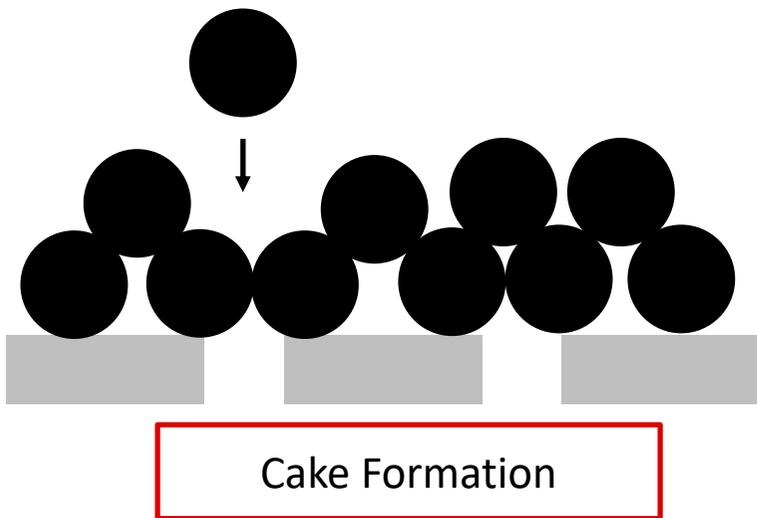
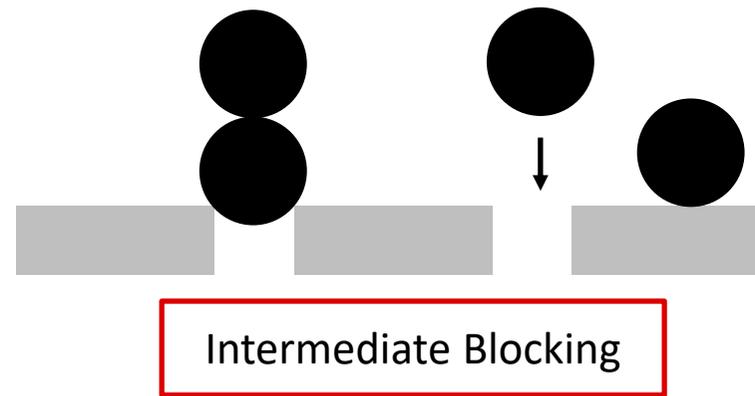
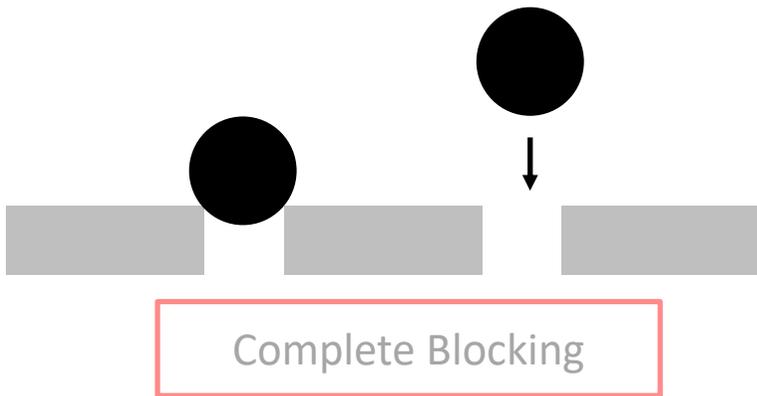


Flockung bei UF-Anlagen



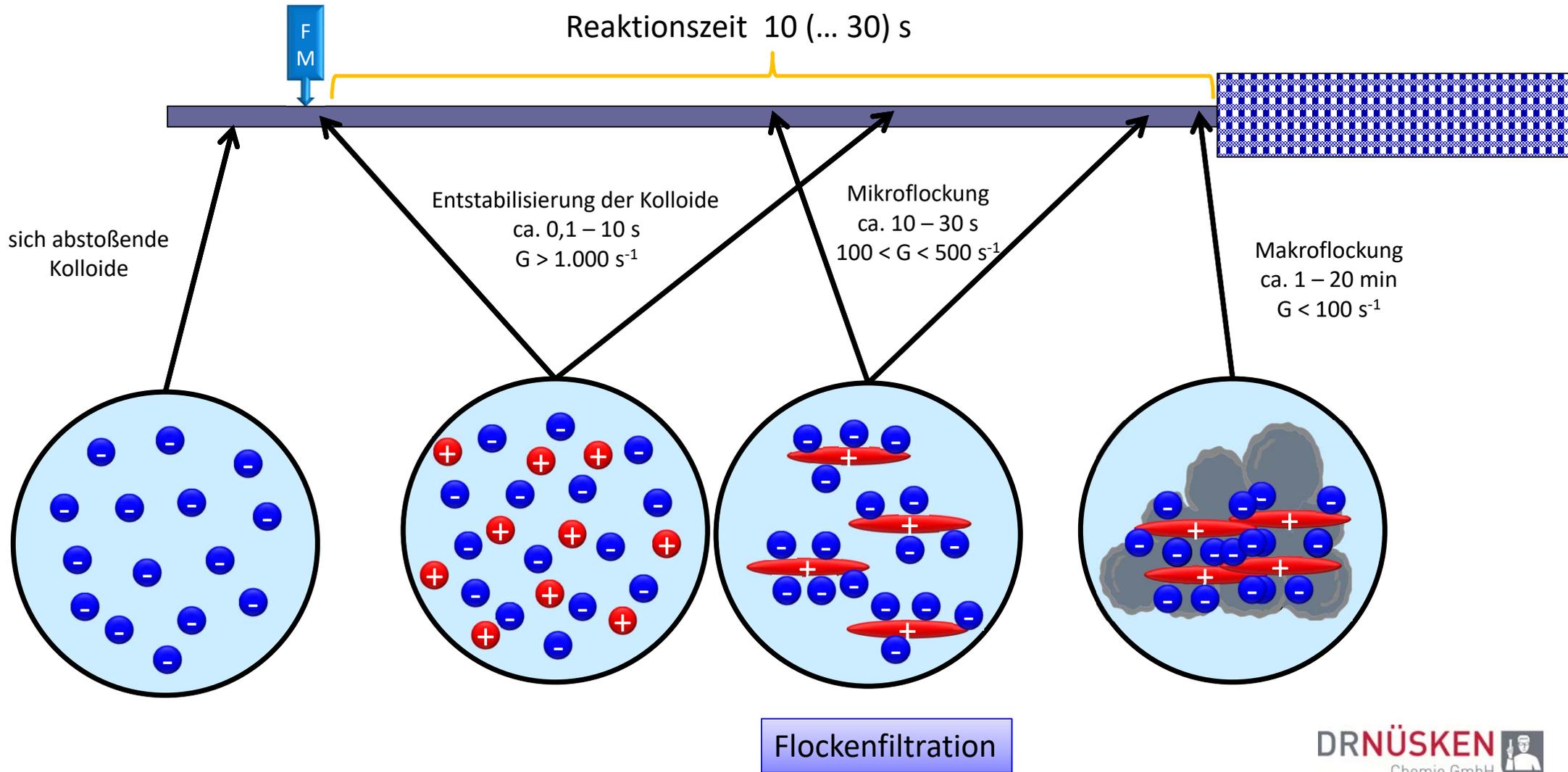
- ❖ Reduktion von organischen Verschmutzungen durch Einbindung gelöster organischer Verbindungen
- ❖ Bildung einer porösen Deckschicht aus Mikrofloccen auf der Membranoberfläche
- ❖ **Ziele:**
 - ⇒ **stabiler Filtrationsprozess und hohe Spüleffektivität**
 - ⇒ **Schutz der Membranen vor Verblockungen**
- ❖ Verwendung von Flockungsmitteln auf Basis von Eisen- und/oder Aluminiumverbindungen
- ❖ Die Reaktionszeit ist abhängig von Wassertemperatur und Salzgehalt des Wasser
 - ⇒ Salzgehalt > 2.000 mg/l (0,2 %) → ≥ 15 s
 - ⇒ Salzgehalt > 60.000 mg/l (6 %) → ≥ 30 s
- ❖ Säurekapazitäten
 - ⇒ ≥ 1 mmol/l alle Becken
 - ⇒ ≥ 0,7 mmol/l Warmsprudelbecken
 - ⇒ ≥ 0,7 mmol/l bei Flockungsmitteln mit Basizität > 65 %

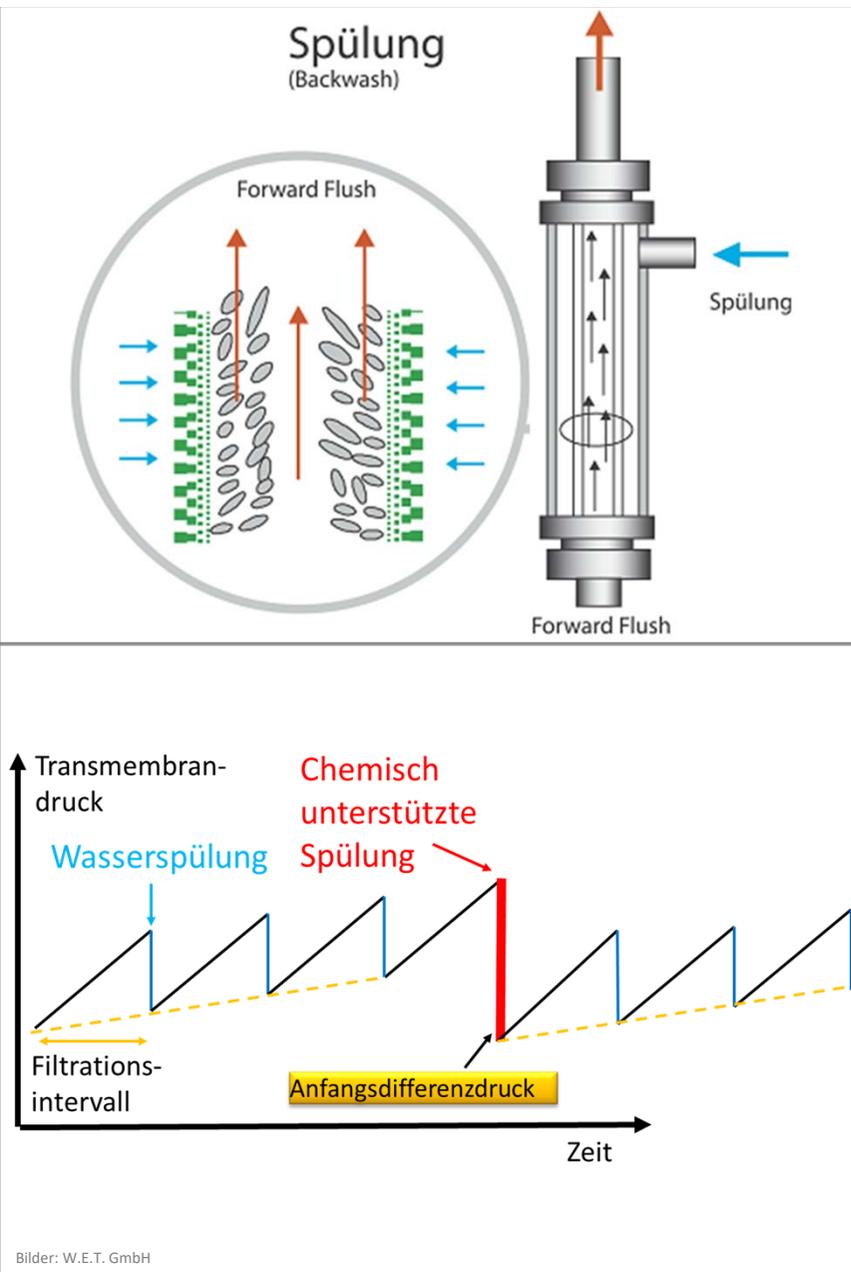
Fouling-Prozesse (nach Hermia)



externes Fouling
internes Fouling

Prozessentwicklung der Flockung bei Ultrafiltrationen





Spülung von UF-Anlagen

- ❖ UF-Module müssen in bestimmten, belastungs-bedingten Abständen (automatisch) gespült werden.
 - ⇒ Anstieg des Transmembrandrucks: 0,2...1,2 bar
- ❖ Die Spülung darf nicht unterbrochen werden.
- ❖ Durch Spülungen mit und ohne Chemikalien sowie durch chemische Reinigungen sollte der Druckverlust innerhalb eines bestimmten Bereiches gehalten werden.
 - ⇒ Wasserspülung: alle 1 h...4 h für 30...60 s
(Flux: 200...300 l/(m² · h))
 - ⇒ **chemische Spülung:** in regelmäßigen Abständen zur Beseitigung von Restablagerungen (Fouling, Biofouling)
 - ↳ übliche Chemikalien: Salzsäure, Schwefelsäure, Natronlauge, Natriumhypochlorit, Calciumhypochlorit, Chlordioxid, Chlor.
 - ⇒ **chemische Reinigung:** weitergehende, intensive Reinigung unter Zusatz von Chemikalien und längeren Einwirkzeiten
 - ↳ Transmembrandruck sollte annähernd den ursprünglichen Wert erreichen.

Anschwemmfiltration



Bild: Rosenheimer Wasser- und Schwimmbadtechnik



Bild: Hoelscher Schwimmbadtechnik

Anschwemmfiltration

❖ Flächenfiltration

⇒ „dünne“ filtrierende Schichten, die auf ein Gewebe angeschwemmt werden

❖ offene Anschwemmfilter

⇒ Wasser wird mittels durch Pumpe erzeugtem Unterdruck durch die Filterschicht transportiert → „Unterdruckfilter“

⇒ 2 Pumpen: Förderpumpe + Unterdruckpumpe

⇒ mit und ohne Pulveraktivkohle-Zugabe

❖ geschlossene Anschwemmfilter

⇒ Wasser wird mittels durch Pumpe erzeugtem Überdruck durch die Filterschicht transportiert → „Überdruckfilter“

⇒ 1 Pumpe: Förder- und Umwälzpumpe

⇒ mit und ohne Pulveraktivkohle-Zugabe

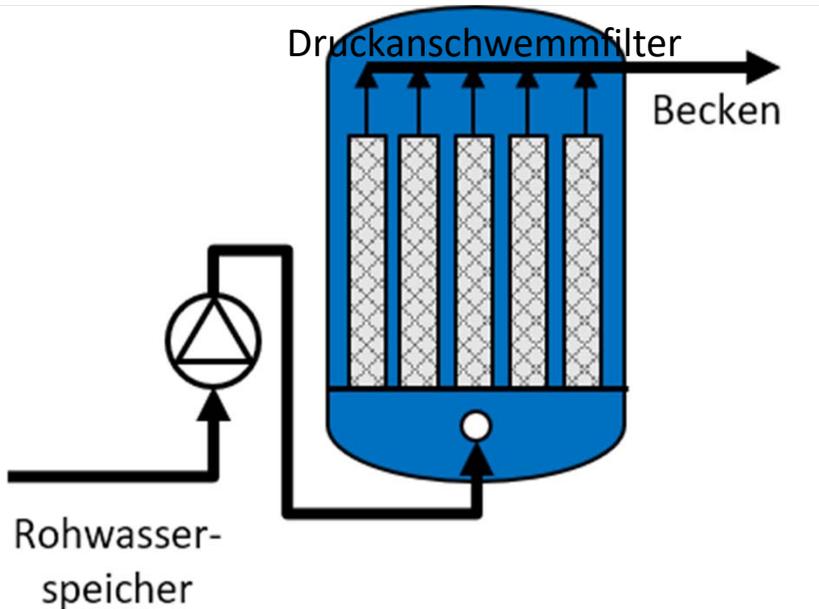


Bild: Dr. Nüsken Chemie

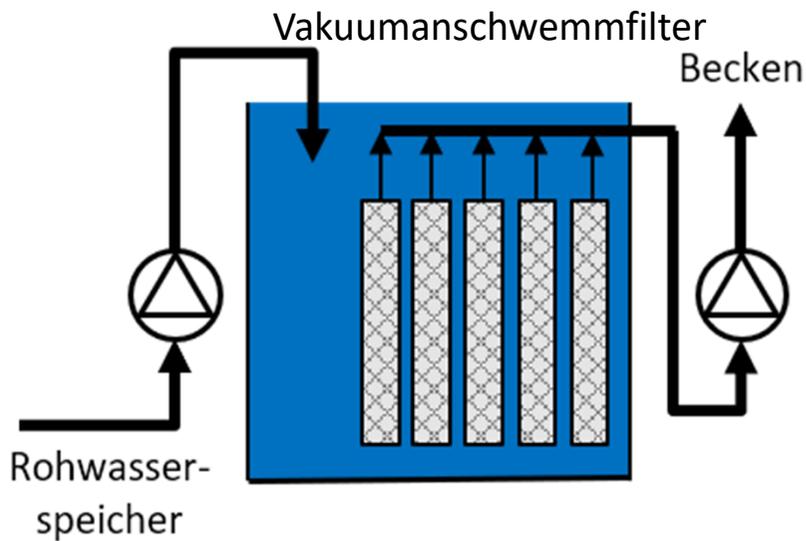


Bild: Dr. Nüsken Chemie

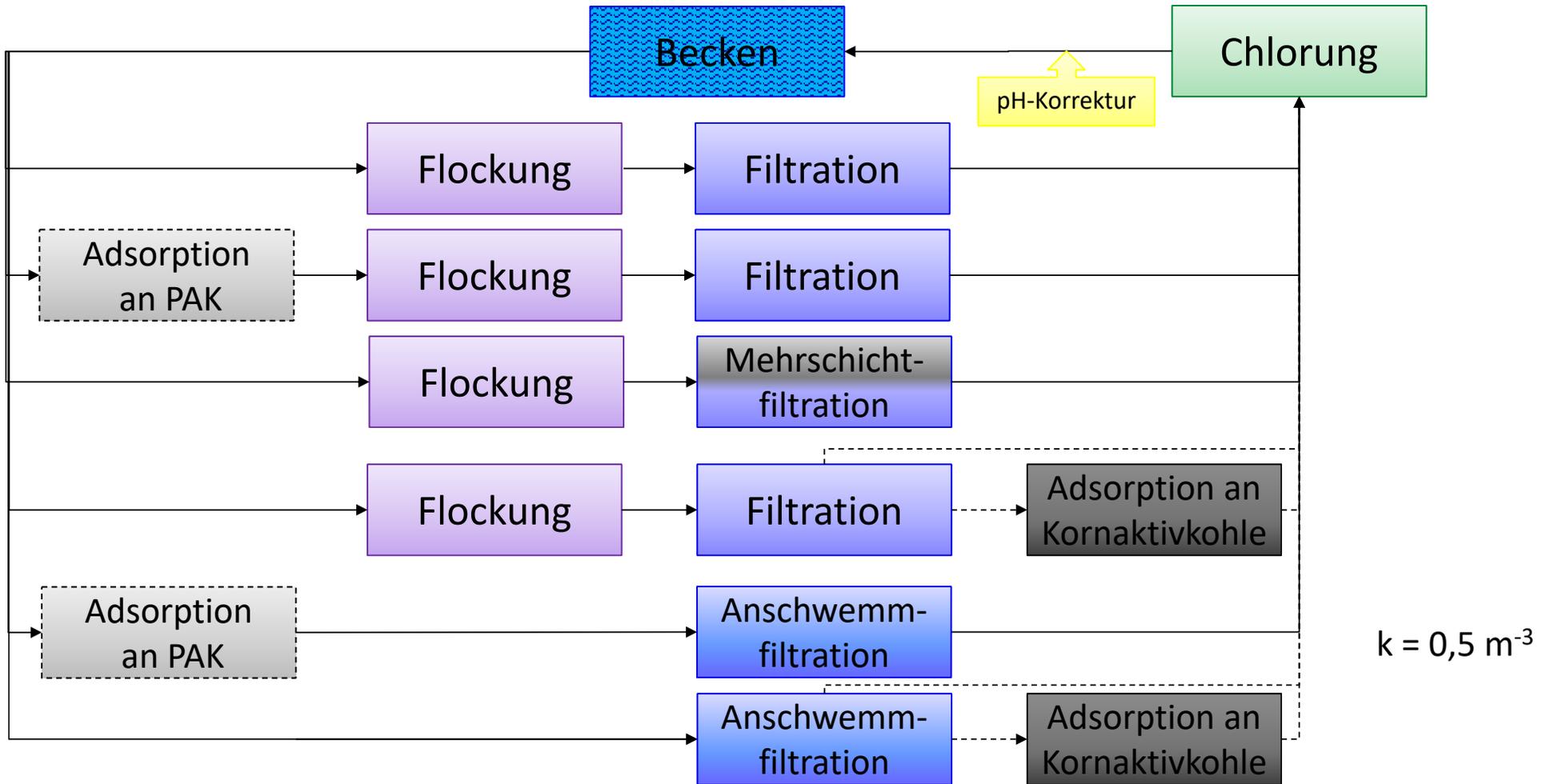
Anschwemmfilter

gemäß DIN 19643-2

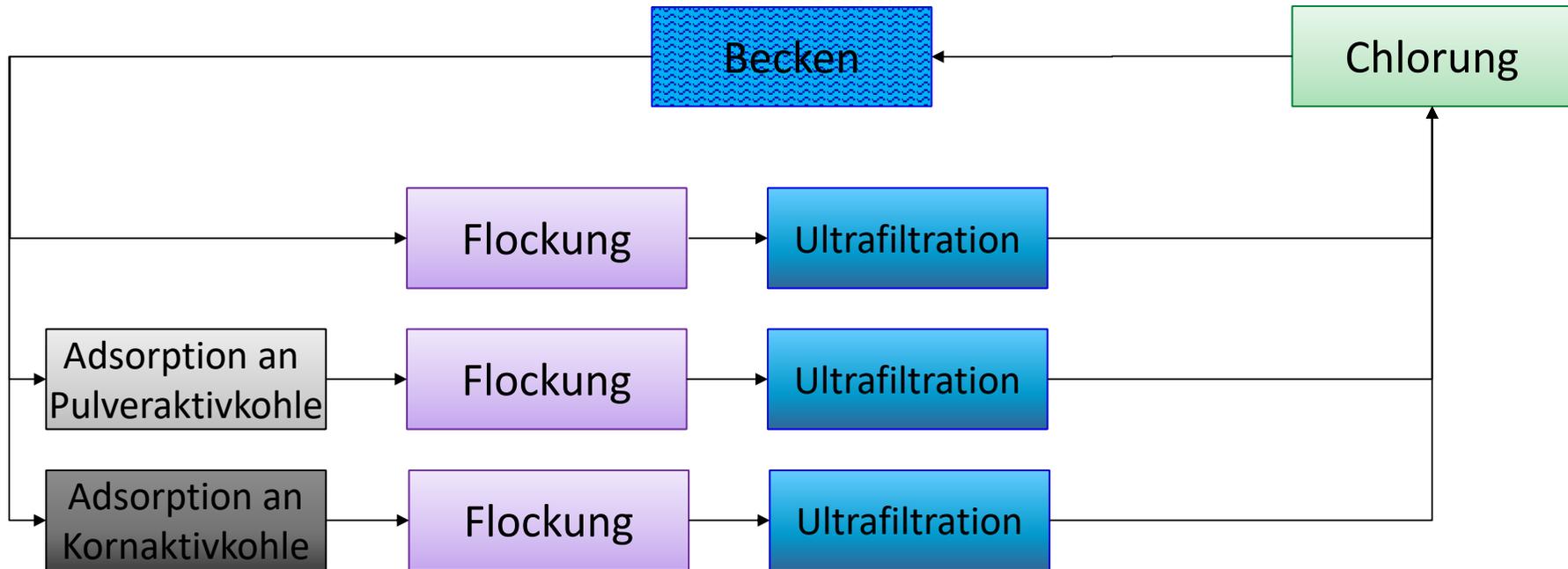
- ❖ Druckdifferenz kann durch Überdruck oder Unterdruck erzeugt werden → Prinzip der Flächenfiltration
 - ⇒ Druckanschwemmfilter → mind. 1 Förderpumpe
 - ⇒ Vakuumanschwemmfilter → mind. 2 Pumpen
 - ↪ zur Atmosphäre offen → Abdeckung (möglichst gasdicht)
- ❖ Filtrationsgeschwindigkeiten
 - ↪ Druckanschwemmfilter: 5...8 m/h
 - ↪ Vakuumanschwemmfilter: ~4 m/h
- ❖ Filtermaterialien: Kieselgur, Perlite
 - ↪ zusätzlich Pulver-Aktivkohle zur DNP-Beseitigung
 - ↪ Staubfreie Einbringung des Filtermaterials sicherstellen
 - ↪ Filtermaterialien müssen sich gleichmäßig anlagern
- ❖ Regenerierung der Filterleistung erfolgt durch Abspülen und Erneuerung des Filtermaterials
 - ⇒ Filtermaterial muss grundsätzlich verworfen werden

Auswahl von Filtrationsverfahren

Verfahrenskombinationen mit Festbett- und Anschwemmfiltern



Verfahrenskombinationen mit Ultrafiltration



$k = 0,8 \text{ m}^{-3}$

mögliche Einflussfaktoren für Entscheidungen

hygienisch

- zu erwartende Belastungen
- Nutzungsarten
- Nutzergruppen
- Beckenarten
 - Therapiebecken
 - Warmbecken
 - Planschbecken
 - Whirlpool

technisch

- Füllwasserqualität
- Hallen- oder Freibad
 - Schmutzanfall
- Beckengrößen
 - Volumenströme
- ggf. bereits vorhandene Technik
- Abwasseranforderungen

architektonisch

- Räumlichkeiten
- Platzbedarfe
- Nachrüstung bzw. Sanierung

finanziell

- Investitionskosten
- Betriebskosten
- Spülwasserbedarfe
 - evtl. Recycling
- Strombedarfe für Umwälzung
- Wärmebedarfe
 - durch Wasseraustausch

individuell

- eigene Qualitätsansprüche
- persönliche Präferenzen
- eigene Erfahrungen
- ausreichendes Fachpersonal

DR. DIRK P. DYGUTSCH

Diplom-Chemiker
Geschäftsführer

Dr. Nüsken Chemie GmbH · Poststraße 14 · D-59174 Kamen
Telefon 02307 705 0 · Fax 02307 705 49 · info@drnuesken.de
www.drnuesken.de

dygutsch@drnuesken.de

**„Vielen Dank für
Ihre Aufmerksamkeit“**

