

V VERFAHRENSTECHNE ANLAGEN

A TRINKWASSERAUFBEREITUNG

1 Begriffserklärung und Anforderungen

Trinkwasser ist Wasser, das für den menschlichen Genuss geeignet ist.

Nach luxemburgischer Gesetzgebung ¹⁾ muss das Trinkwasser wie folgt verwendet werden können:

- Trinken, Kochen, Zubereiten von Lebensmitteln oder anderen Verwendungen im Haushalt.
- In Lebensmittelverarbeitenden Unternehmen zum Herstellen, Verändern Haltbarmachen oder Vertreiben von Produkten und Substanzen, die dem menschlichen Verzehr dienen.

Diese Anforderungen entsprechen nachfolgenden Eigenschaften:

- Es soll klar und farblos sein.
- Es darf keinen unangenehmen Geruch oder Geschmack haben.
- Es soll ganzjährig eine erfrischende Temperatur (7°C bis 12°C) haben.
- Es darf keine Korrosion von Werkstoffen hervorrufen.
- Es darf keine Krankheitserreger enthalten.
- Es muss frei von gesundheitsschädlichen Substanzen sein.

2 Herkunft und Eigenschaften

Trinkwasser gewinnt man hauptsächlich aus **Grundwasser (Brunnen und Quellen)** oder **Oberflächenwasser** (Seen, Talsperren). Flusswasser ist zu stark verunreinigt, es kann höchstens als **Uferfiltrat** verwendet werden.

Uferfiltrat ist versickertes Flusswasser, das in der Nähe eines Flusses mit Hilfe von Förderpumpen aus dem Erdreich hoch gepumpt wird.

In Luxemburg wird der Trinkwasserbedarf zu 55 Prozent aus Grundwasser und 45 Prozent aus dem Stausee gedeckt. Es handelt sich hierbei täglich um ein Gesamtvolumen von ca. 120 000 m³.

Des Weiteren gibt es als Notlösung drei Stellen im Land, an denen je ein Brunnen gebohrt wurde. Aus diesen können täglich insgesamt 36 000 m³ Trinkwasser gefördert werden.

Das größte Quellengebiet ist der Luxemburgische Sandstein.

Das Wasser aus dem Stausee wird in mehreren Schritten aufbereitet.

¹⁾ Übersetzt aus dem » Règlement grand-ducal du 7 octobre 2002 relatif à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine. « MEMORIAL A-N°115 vom 11. Oktober 2002.

Momentan stellt die Trinkwasserversorgung in Luxemburg in sofern kein Problem dar, als dass eine ausreichende Menge an Wasser zur Verfügung steht. Mit der stark anwachsenden Bevölkerungszahl des Landes und dem jährlich zunehmendem Wasserverbrauch könnte dies allerdings in einigen Jahren anders aussehen.

Daher prüft zurzeit eine Arbeitsgruppe, welche der nachfolgenden Lösungen für die **Zukunft** die bestmögliche wäre:

- Der Bau eines zweiten **Stausees**.
- Tiefe Bohrungen zum Fördern von **Grundwasser**.
- Aufbereiten von Wasser des Flusses Mosel bzw. von **Uferfiltrat** der Mosel.

Bei den erforderlichen Verfahrensschritten zur Herstellung von Trinkwasser muss man die jeweils vorhandenen Rohwasserqualitäten berücksichtigen.

Grund- und teilweise **Quellenwasser** (Abb.1) haben allgemein einen hohen Gehalt an Mineralien. Sie haben häufig hohe Konzentrationen an **Eisen-(II)-ionen (Fe^{2+})** und **Manganionen (Mn^{2+})** und eine hohe Konzentration an **Kohlenstoffdioxid (CO_2)**, die beim Versickern durch die Bodenschichten gelöst wurden. Sie sind jedoch fast **frei von** gelöstem **Sauerstoff (O_2)**.



Abb. 1: Quelle in Kopstal (Foto: Robert Fisch)

Grundwasser kann zusätzlich auch hohe Gehalte an **organischen Verunreinigungen** haben, je nachdem von wo das Wasser kommt und wie weit die Entfernung zu einem entsprechenden Emittenten (z.B. Mülldeponie) ist.

Dem gegenüber sind im **Oberflächenwasser** (Abb.2) kaum Metallionen und kein gelöstes Kohlenstoffdioxid vorhanden. Es kann jedoch ein Anteil an **ungelösten Partikeln** und **organischen Verbindungen** (**Mikroorganismen** (z.B. **Bakterien**), **Algen** u.a.) vorliegen. Dieser muss durch eine entsprechende **Aufbereitung** entfernt werden.

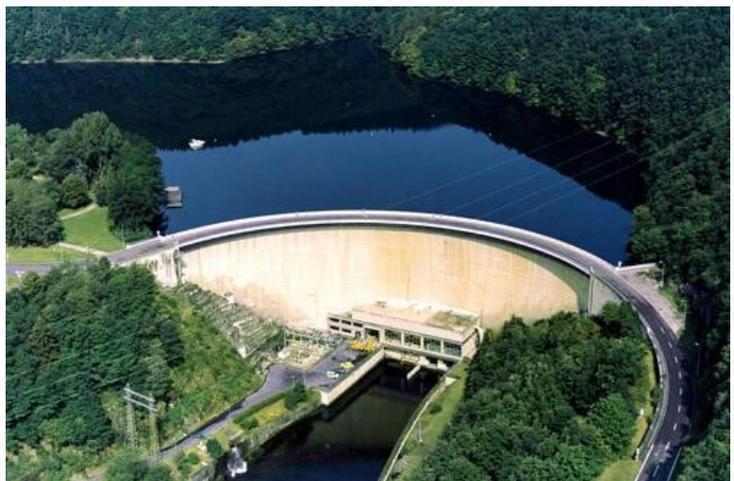


Abb. 2: Stausee (Quelle: SEO)

3 Trinkwasseraufbereitung

Die **Trinkwasseraufbereitung** dient dazu, **unerwünschte Bestandteile** und **Krankheitserreger** aus dem Trinkwasser zu entfernen.

Bei **unerwünschten Bestandteile** kann es sich um feste Verunreinigungen und gelöste Verunreinigungen handeln.

Krankheitserreger sind beispielsweise Bakterien.

In gesetzlichen Bestimmungen ¹⁾ sind unter anderem die Höchstwerte für Substanzen festgelegt, die eventuell Risiken für den Menschen darstellen.

3.1 Enteisung und Entmanganung

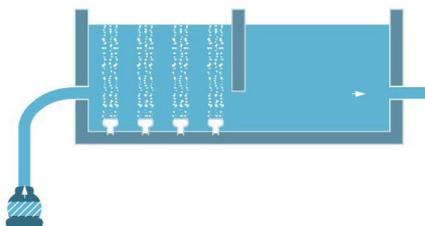
Im Grundwasser und im sauerstoffarmen Oberflächenwasser sind **Eisen** und **Mangan** in gelöster Form (z.B. Fe^{2+} - und Mn^{2+} -Ionen) zu finden. Bei Kontakt mit der Luft löst sich Sauerstoff im Wasser, und aus den löslichen Metallionen bilden sich schwer lösliche Metallverbindungen.

Dies kann zu nachfolgenden Problemen führen:

- Bildung von festen Ablagerungen in den Wasserleitungen, die im schlimmsten Fällen zu Verstopfungen führen können.
- Bildung von braunen Flecken in sanitären Anlagen, Küchengeräten oder der Wäsche.

Durch Zugabe von Sauerstoff werden die löslichen Metallionen oxidiert und somit in eine schwer lösliche Form gebracht. Die so entstandenen Verbindungen werden in Filteranlagen vom Wasser getrennt.

Das Rohwasser des **luxemburgischen Stausees** wird in der Trinkwasseraufbereitungsanlage der Firma **SEBES** behandelt. Nach der Entnahme aus dem See findet in einer **ersten Stufe** eine **Voroxydation mit Ozon** (Abb.3) statt.



Diese dient einerseits dazu, die **Mikroorganismen abzutöten** (siehe 3.4 Desinfektion). Des Weiteren werden gelöstes **Eisen** und **Mangan** oxidiert, so dass sie in einem der beiden nachfolgenden Schritte (siehe 3.2 Flockulation und 3.3 Filtration) vom Rohwasser getrennt werden können.

Abb. 3: Voroxydation durch Ozonisierung (Quelle: SEBES)

¹⁾ » Règlement grand-ducal du 7 octobre 2002 relatif à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine. « MEMORIAL A-N°115 vom 11. Oktober 2002

3.2 Flockulation

Kolloidal gelöste Verunreinigungen werden durch Zugabe von **Flockungsmittel** (z.B. Aluminiumverbindungen) in größere, feste Flocken überführt. Diese trennen sich aufgrund des Dichteunterschiedes zum Wasser durch Schwerkraftwirkung und sinken in den so genannten Flockulatoren (Abb.4) zu Boden. Dort sammeln sie sich als Schlamm an.

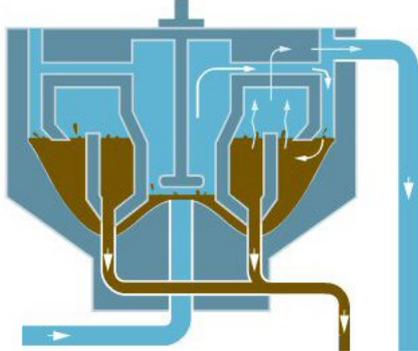


Abb.4: Flockulation (Quelle: SEBES)

Bei der Firma SEBES findet in der **zweiten Stufe** einer Flockulation statt. Vor Eintritt in den Flocker werden dem Rohwasser Aktivkohle und das Flockungsmittel Polyaluminiumchlorid beigemischt.

An der Aktivkohle adsorbieren die oxidierten Metallionen (Eisen und Mangan).

Die festen Schmutzteilchen verbinden sich mit dem Flockungsmittel zu größeren **Agglomeraten**. Diese setzen sich im Flocker durch Schwerkraftwirkung ab.

3.3 Filtration

Feste Verunreinigungen im Rohwasser werden durch **Filtrationsverfahren** vom Wasser getrennt. Bei den Verfahren werden die Vorgänge aus der Natur kopiert. Dort sinkt das Regenwasser durch mehrere Gesteinsschichten, bis es als sauberes Grundwasser vorliegt.

Bei Filtrationsverfahren strömt das zu reinigende Wasser (Abb.5) ebenfalls durch eine oder mehrere Schichten an filternden Materialien. Man verwendet unterschiedliche Filtermaterialien wie **Sande, Kies** oder **Aktivkohle** verschiedener Korngrößen.

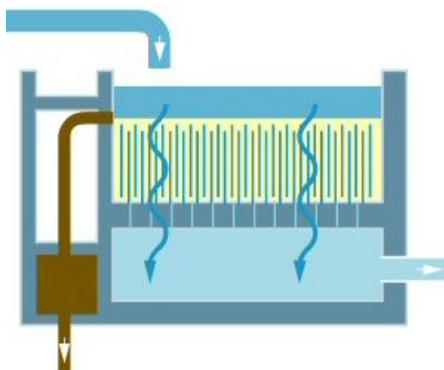


Abb.5: Sandfiltration (Quelle: SEBES)

Bei Sand- und Kiesfilter werden die suspendierten Feststoffteilchen durch **physikalische Vorgänge** (große Teilchen können kleine Durchgänge nicht passieren).

Bei Aktivkohlefiltern werden zusätzlich kolloidal gelöste Verunreinigungen (feinst verteilte, feste Feststoffteilchen oder Flüssigkeitströpfchen, ca. 1 nm bis 1 μm groß) **adsorbiert** (d.h. an der Aktivkohle fixiert).

Filteranlagen müssen jeweils nach einer bestimmten Betriebsdauer gereinigt werden. Bei diesem so genannten **Spülen** wird ein Spülmittel in entgegengesetzter Richtung durch das Filter gedrückt. Als Spülmittel werden Wasser oder Wasser mit Druckluft verwendet.

*Das Rohwasser des Stausees strömt in einer **dritten Stufe** durch **Sandfilter** (Abb.4). Die noch im Wasser verbliebenen Feststoffteilchen werden hier abgeschieden.*

Die Filter müssen von Zeit zu Zeit gereinigt werden. Dies erfolgt mit Druckluft und Spülwasser, die die abgeschiedenen Teilchen vom Sand lösen und als Schlamm aus dem Filter schwemmen.

3.4 Desinfektion

Im Wasser befinden sich Mikroorganismen (Bakterien), die durch **Desinfektion** (gleich Entkeimen) abgetötet werden müssen. Hierzu gibt es **chemische** Verfahren (mit Chlor oder Ozon) und **physikalische** Verfahren (mit UV-C-Licht).

3.4.1 Chlorung

Chlor wird im **gasförmigen** Zustand (Chlor Cl_2 oder Chlordioxid ClO_2) und im **flüssigen** Zustand als Hyperchlorit (HOCl) zur Entkeimung eingesetzt.

Da die Wirkung vom pH-Wert des Wassers abhängt, wird Chlor in der entsprechenden Form verwendet.

*Bei der Trinkwasseraufbereitung des Stauseewassers findet in der **fünften** und letzten **Stufe** eine **Desinfektion mit Chlor** statt.*

3.4.2 Ozonisierung

Durch Aufspalten von Sauerstoffmolekülen O_2 der Luft in einem Hochspannungsfeld werden **Ozonmoleküle** O_3 gebildet. Diese werden in das Wasser geleitet (Abb.2), denn sie haben eine **entkeimende** Wirkung: die Mikroorganismen im Rohwasser werden abgetötet.

3.4.3 UV-C-Bestrahlung

Wenn UV-C-Licht das Rohwasser belichtet, werden die Bakterien durch eine chemische Reaktion im Zellkern zerstört. Hierzu soll das Wasser bereits möglich frei von Verunreinigungen sein.

Die durch Chlorung, Ozonisierung oder UV-C-Bestrahlung abgetöteten Kleinstlebewesen müssen in **nachfolgenden Filteranlagen** aus dem Wasser abgeschieden werden.

3.5 Verminderung des Nitratgehaltes

Der Nitratgehalt im Trinkwasser ¹⁾ wird hauptsächlich gering gehalten, indem Wasser unterschiedlicher Herkunft (mit verschiedenen Nitratgehalten) vermischt wird.

Technische Verfahren kommen zurzeit kaum zum Einsatz, da sie quasi nicht so bezahlen sind. Die bei kommunalen Abwässern verwendete Denitrifikation ist hier schwierig einsetzbar, da sehr grosse Wassermengen mit recht geringen Nitratkonzentrationen vorliegen.

Um den Gehalt an Nitraten im Trinkwasser gering zu halten, muss das Einbringen eben dieser ins Wasser vermieden werden.

Beim **Oberflächenwasser** ist es wichtig, dass der Nitratgehalt im geklärten Abwasser möglichst gering ist. Dieses wird in einen Bach oder Fluss geleitet und wird somit zu Oberflächenwasser.

Das Wasser des luxemburgischen Stausees kommt zu ca. zwei Dritteln aus belgischem Oberflächenwasser. In Belgien werden häufig so genannte autonome Kläranlagen betrieben, in denen die Nitrate nicht zurück gehalten werden.

Der Nitratgehalt des Rohwassers liegt mit ca. 20 bis 21 mg/L unterhalb des gesetzlichen Maximalwertes.

Quellenwasser wird beispielsweise geschützt, indem bei der Düngung der Felder richtig vorgegangen wird: Düngung im richtigen Maße zur richtigen Jahreszeit.

Alternativ dazu wird keine Landwirtschaft auf den entsprechenden Flächen betrieben. Hierzu können diese Flächen beispielsweise von öffentlicher Hand aufgekauft werden.

Die Gemeinde Luxemburg bezahlt die Beratung der Bauern durch die „Chambre d’Agriculture“. Dadurch erfahren diese die Zusammenhänge zwischen Düngen und Grundwasser/Umweltproblemen.

Der Nitratgehalt des Quellwassers schwankt –so auch in der Gemeinde Luxemburg– sehr stark von Quelle zu Quelle. In Kopstal, wo mehrere gefasste Quellen zusammen geführt werden, um letztendlich die Gemeinde zu versorgen, wurden schon Nitratgehalte von 40 bis 50 mg/L gemessen.

Durch das Vermischen mit weiteren Quellen und dem Zumischen von Wasser aus dem Stausee wird der Nitratgehalt beispielsweise auf 26 mg/L (gemessen im Juni 2011 im Stadtviertel Limpersberg) reduziert.

¹⁾ In Luxemburg muss die Nitratkonzentration unter 50 mg/L sein, ebenso muss die Nitritkonzentration unter 0,50 mg/L liegen, wobei zusätzlich die Summe aus Nitratkonzentration/50 plus Nitritkonzentration/0,50 unter gleich 1 sein muss.

Es gibt europäische Bestrebungen, die Nitratkonzentration zukünftig unter 25 mg/L festzulegen.

3.6 Entsäuerung

Wasser kann zu Korrosionsreaktionen führen, da es Metallionen enthält, die bei Kontakt mit Oxidationsmitteln (z.B. Sauerstoff oder Chlor) entsprechend reagieren (d.h. sie werden oxidiert). Saures Wasser führt dabei besonders stark zu Korrosion und daraus folgen Korrosionsschäden an Betonbehältern und Stahlleitungen.

Um dies zu verhindern, wird dem Wasser **Calcium** in Form von Kalk (Calciumcarbonat CaCO_3) zugeführt. Dadurch steigt zwar der Härtegrad des Wassers, aber das basische Wasser verursacht wesentlich weniger Korrosion an Beton und Stahl.

Das Rohwasser des Stausees hat einen pH-Wert von ca. 6,8 und eine Härte von 4°df (französische Härtegrade) bzw. 2°dH (Deutsche Härtegrade).

*In der vierten d.h. vorletzten Stufe der Aufbereitungsanlage durchströmt das Wasser **Entsäuerungsfilter** (Abb.6) und nimmt dabei die **Calciumionen** auf. Einmal wöchentlich werden die Filter gespült und der gesammelte Schlamm abgepumpt.*

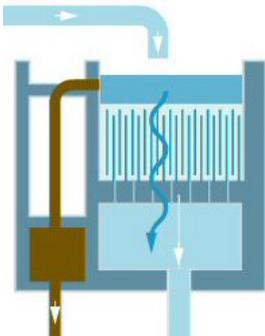


Abb. 6: Entsäuerungsfilter (Quelle: SEBES)

Nach der Entsäuerung liegt der pH-Wert des Trinkwassers bei 8,4 bis 8,5 und die Wasserhärte bei ca. 8°df bzw. 4 bis 5°dH. Diese Qualität bezeichnet man als „weiches“ Wasser.

In der Gemeinde Luxemburg gibt es 14 Zonen unterschiedlicher Wasserqualität. So lag beispielsweise im Juni 2011 der pH-Wert in der Limpersberger Zone bei 7,4 bis 7,6. Die Härte betrug 27,2°df. Hier spricht man von „hartem“ Wasser.