

Konventionelles Schwimmbad und Naturpool

Ein Vergleich

Maturaarbeit
Kantonsschule Schaffhausen
06.12.2016
Yannick Schmuki
betreut von Rainer Steiger



KSS



Naturpool Beringen

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|----|
| 1. Einleitung..... | 1 |
| 2. Wie lauten die Vorschriften für das aufbereitete Wasser | 2 |
| 2.1 Die KSS und weitere Formen der Wasseraufbereitung unter Beigabe von Chemikalien. 3 | |
| 2.2 Chlor am Beispiel der KSS | 3 |
| 2.2.1 Wasserkreislauf und Reinigungsstufen KSS | 3 |
| 2.2.2 Vorteile bei einer Wasseraufbereitung mit Chlor | 7 |
| 2.2.3 Nachteile bei einer Wasseraufbereitung mit Chlor..... | 8 |
| 2.3 Weitere Desinfektionsmittel..... | 9 |
| 2.3.1 Natriumhypochlorit | 9 |
| 2.3.2 Ozon | 10 |
| 3. Naturpool Beringen | 13 |
| 3.1 Funktion und Wasserkreislauf des Naturpools | 13 |
| 3.2 Einzelne Komponenten der Wasseraufbereitung..... | 15 |
| 3.2.1 Wasserhärte..... | 15 |
| 3.2.2 Die Funktion der Wasserpflanzen..... | 16 |
| 3.2.3 Die Funktion der Destruenten..... | 17 |
| 3.2.4 Biologische Filter | 18 |
| 3.2.5 Fazit | 18 |
| 3.3 Vorteile des Naturpools | 18 |
| 3.4 Nachteile des Naturpools | 19 |
| 4. Praktischer Teil..... | 20 |
| 4.1 Einführung..... | 20 |
| 4.2 Parameter für die Bestimmung der Wasserqualität | 21 |
| 4.2.1 Der Nitratgehalt | 21 |
| 4.2.2 Ammoniumgehalt | 22 |
| 4.2.3 pH-Wert..... | 24 |
| 4.2.4 Der Harnstoffgehalt..... | 25 |
| 4.2.5 Der Gehalt an freiem Chlor..... | 25 |
| 4.2.6 Wassertemperatur..... | 26 |
| 4.3 Messwerte im Zeitraum 17.07.16 bis 14.08.16 | 26 |
| 4.4 Auswertung und Analyse der Messungen | 27 |

| | |
|------------------------------------|----|
| 4.4.1 Nitratgehalt..... | 27 |
| 4.4.2 Ammoniumgehalt | 30 |
| 4.4.3 pH-Wert..... | 31 |
| 4.4.4 Harnstoffgehalt | 32 |
| 4.4.5 Gehalt an freiem Chlor | 34 |
| 4.4.6 Wassertemperatur..... | 35 |
| 5. Fazit | 36 |
| 6. Danksagung..... | 37 |
| 7. Literaturverzeichnis | 38 |
| 7.1 Literaturquellen..... | 38 |
| 7.2 Internetquellen..... | 38 |
| 7.3 Abbildungsverzeichnis | 40 |

Vorwort

Schon von Beginn weg war mir eigentlich klar, dass ich meine Maturaarbeit gerne im Fachbereich der Chemie schreiben würde. Dies, weil das Fach aufgrund seiner Vielseitigkeit mein Interesse schon früh geweckt hat.

Die Suche nach einem passenden Thema brachte mich auf die Idee, den Themenbereich des Wassers mit der Chemie zu verbinden. Dies ist ziemlich naheliegend, da ich vier- bis fünfmal pro Woche im Bad bin, um Wasserball zu spielen. Ein Hobby, dem ich seit 10 Jahren mit grosser Leidenschaft nachgehe. Daher fühle ich mich dem Wasser seit langer Zeit sehr verbunden.

Wenn ich dann wieder einmal im Wasser unterwegs bin und sich ein fremdes Haar in meinem Gesicht verfängt, stellt sich für mich die Frage, wie es um die Qualität des Wassers steht, in dem ich etwa zehn Stunden pro Woche verbringe. Ausserdem interessiert mich, wie dessen Aufbereitung genau funktioniert. Dies insbesondere an einem warmen Sommertag, wenn sich hunderte von Leuten im Bad vergnügen.

Da meine Augen nach einem Wasserballspiel als Folge des Trichloramins (explorative chemische Verbindung) stets brennen, fragte ich mich oftmals, ob es Bäderformen gibt, die ohne Beigabe von Chemikalien eine gute Wasserqualität erreichen. Dabei erinnerte ich mich an einen Zeitungsartikel, worin ich über den Naturpool in Beringen gelesen habe.

Ich habe mich daher entschieden, die Wasseraufbereitung eines konventionellen Schwimmbades mit derjenigen eines Naturpools zu vergleichen. Dazu habe ich das Wasser im Fünzigmeterbecken vom Freizeitpark KSS Schaffhausen (kurz: KSS) und dem Naturpool in Beringen studiert.

1. Einleitung

Basierend auf den vorstehenden Ausführungen zur Motivation und dem gewählten Thema will ich in meiner Maturaarbeit die folgenden Themenbereiche und Fragen beantworten:

Die Grundfrage, welche diese Arbeit klären will, ist folgende: Kann in einem Schwimmbecken, bei dessen Wasseraufbereitung gänzlich auf die Anwendung von Chemikalien verzichtet wird, die gleiche Wasserqualität erzielt werden wie in einem Becken, dem man bewährte chemische Substanzen zur Aufbereitung des Wassers beigibt?

Zur Beantwortung dieser Frage möchte ich zunächst die jeweiligen Aufbereitungsmethoden erläutern. Anschliessend mittels eines Experiments, das ich in den Sommerferien während fünf Wochen durchgeführt habe, analysieren, wie die Wasserqualität des 50-Meter-Beckens in der KSS verglichen mit der Wasserqualität des 50-Meter-Naturpools in Beringen ist.

Sofern in der Folge keine Quellen angegeben sind unter den Abschnitten, entstammen die Informationen entweder aus Gesprächen mit dem Betriebsleiter der KSS beziehungsweise dem Bademeister des Naturpools in Beringen, oder es wurde folgende Quelle verwendet: Wilhelm, Stefan (2007). Wasseraufbereitung. Springer, Trier.

2. Wie lauten die Vorschriften für das aufbereitete Wasser

In den SIA-Normen sind die nationalen Regeln der Baukunde niedergeschrieben. Gemäss der *SIA Norm 385/9* muss das Beckenwasser in Freibädern mit Temperaturen um die 24 Grad Celsius folgende chemischen sowie physikalischen Anforderungen erfüllen:¹

| | |
|---|---------------------------------------|
| Harnstoff | maximal 1.0 mg/l |
| Chlor ungebunden | 0.2-0.8 mg/l |
| Chlor gebunden (Chloramin) | 0.2 mg/l |
| Nitrat-Konzentration in Differenz zum Füllwasser* | maximal 20 mg/l |
| pH-Wert | 6.8-7.6 |
| Klarheit | klare Sicht über gesamten Beckenboden |
| TOC** | maximal 3 mg/l |
| Ozon | maximal 0.02 mg/l |

*Füllwasser: Das ist Wasser, welches Trinkwasserqualität aufweist und dem Poolkreislauf hinzugegeben wird, um hohe Wasserqualität zu gewährleisten.

**TOC: Der TOC-Wert (total organic carbon/gesamter organischer Kohlenstoff) gibt an, wie viel organischer Kohlenstoff sich in einer Wasserprobe befindet und steht daher für die organische Verschmutzung.

Mikrobiologische Anforderungen an das Wasser:

| | Reinwasser* | Beckenwasser |
|---------------------------------|---|---|
| KBE (koloniebildende Einheiten) | maximal 20 koloniebildende Einheiten pro Milliliter | max. 100 koloniebildende Einheiten pro Milliliter |
| Escherichia Coli | nicht nachweisbar | nicht nachweisbar |
| Pseudomonas aeruginosa | nicht nachweisbar | nicht nachweisbar |
| Legionella pneumophila | nicht nachweisbar | nicht nachweisbar |

*Reinwasser: Das Reinwasser ist das aufbereitete Wasser nach der Zugabe des Desinfektionsmittels.

Um zu gewährleisten, dass die Werte eingehalten werden und damit die Gesundheit der Badenden nicht gefährdet wird, überprüft man in Bädern mit chemischer Wasseraufbereitung die meisten der oben genannten Werte regelmässig. Im Naturpool in Beringen beispielsweise wird dies nicht gemacht, da man dort ohnehin nicht in die Wasseraufbereitung eingreifen kann, weil sonst das Ökosystem aus dem Gleichgewicht gebracht würde. Es wäre daher sinnlos, die Wasserqualität zu überprüfen, ohne sie aktiv verbessern zu können. Es werden

¹ SIA Norm 385/9 (2011)

aber regelmässige Untersuchungen vom Interkantonalen Labor unternommen, welches die Wasserqualität überprüft. Die Werte dieser Untersuchungen liegen jedoch nicht vor.

2.1 Die Wasseraufbereitung in der KSS und weitere Methoden unter Beigabe von Chemikalien

Es gibt sehr viele verschiedene Desinfektionsmittel, die man zur Reinigung des Wassers nutzen kann. Gemäss der *SIA Norm 385/1* dürfen in der Schweiz folgende Desinfektionsmittel verwendet werden: Chlorgas, Natriumhypochlorit sowie Calciumhypochlorit. Die KSS verwendet Chlorgas als Desinfektionsmittel. Deshalb wird nachfolgend im Detail auf diese Methode eingegangen. Zudem werden die weiteren herkömmlichen Methoden (Natriumhypochlorit-Methode und Ozon) kurz erläutert.

2.2 Chlor am Beispiel der KSS

2.2.1 Wasserkreislauf und Reinigungsstufen KSS²

Die Wasseraufbereitung in der KSS ist in drei Aufbereitungsmassnahmen unterteilt: Die Desinfektion, die Filtration und die Wassererneuerung. Nachfolgend werden diese drei Massnahmen und ihre Funktion innerhalb des Wasserkreislaufs genauer erläutert.

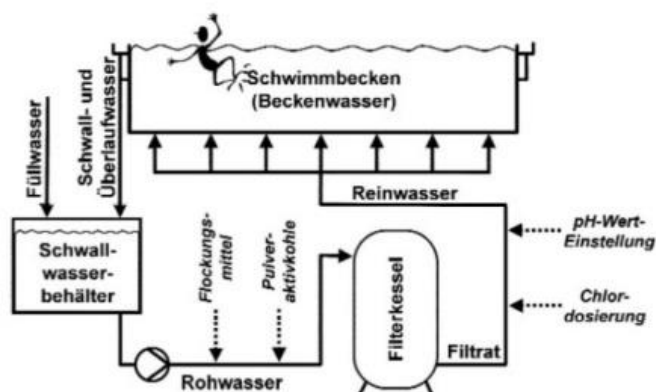


Abbildung zum Wasserkreislauf

Wie in nebenstehendem Bild³ ersichtlich, wird das verschmutzte Beckenwasser über die das Becken umgebenden Überlaufrippen schnell und effektiv in den Schwallwasserbehälter geführt, ein Zwischenspeicher für das aufzubereitende Wasser. Des Weiteren wird dem Schwallwasserbehälter Frischwasser zugeführt, welches Trinkwasserqualität aufweist, und es nimmt das von den Badenden aus dem Becken verdrängte Wasser auf und speichert dasjenige Wasser, das für eine Filtrerrückspülung (Erklärung auf Seite 5) notwendig ist.

² <https://www.schwimmbad.de/ratgeber-pool/pool-wasserkreislauf-rundum-reinigung>

³ Abbildung: <http://archiv.aktuelle-wochenschau.de/2005/woche24/woche24.html>

Bevor das Wasser nun dem Filter zugeführt wird, ist Aluminiumsulfat zuzugeben, welches als sogenanntes Flockungsmittel fungiert. Es bindet kleine Kolloidstoffe (Stoffe, die im Wasser sehr fein verteilt sind und normalerweise eine Grösse im Nano-, beziehungsweise Mikrometerbereich aufweisen), die den Filter eigentlich passieren könnten, und macht daraus eine grosse "Flocke", damit eben diese Kolloidstoffe gefiltert werden. Kolloide sind Suspensionen oder Emulsionen von Teilchen oder Tröpfchen in einer Flüssigkeit.

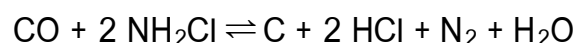
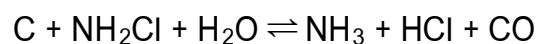
Ausserdem wird der pH-Wert (Erklärung auf Seite 24 unten) bestimmt, damit bei zu hohem pH-Wert Schwefelsäure und bei einem zu tiefen Wert mehr Frischwasser beigegeben werden kann. Letzteres geschieht, weil Frischwasser in der Regel einen leicht höheren pH-Wert aufweist als das Beckenwasser. In der Abbildung zum Wasserkreislauf im konventionellen Schwimmbad auf Seite 3 wird der pH-Wert erst nach der Filtration eingestellt. In der KSS geschieht dies davor.

Mittels einer Schwimmbadpumpe wird das Wasser in die Filteranlage geleitet. Eine solche Pumpe besitzt eine Saug- und eine Druckseite, um das Wasser anzusaugen oder dieses in den Filter hineinzudrücken.

Der (Mehrschicht-)Filter besteht aus zwei Schichten, einer Quarzsandschicht, an deren feinen Körnern sich die Schmutzpartikel beim Vorbeifliessen des Wassers anlagern, sowie einer darüber liegenden Schicht aus Aktivkohle.

Die Aktivkohle absorbiert einerseits ungelöste Partikel, kann jedoch wegen ihrer grossen inneren Oberfläche auch gelöste Partikel aufnehmen und als Reduktionsmittel fungieren. Hierbei führt es zu einer Entfernung unerwünschter Oxidationsmittel wie Chloraminen.⁴

Chloramine (Chlor-Stickstoff-Verbindungen) werden wie folgt zerstört und damit unschädlich gemacht; C steht für die Aktivkohle:⁴



Wie ersichtlich, bleibt die Aktivkohle unverändert und ist weiterhin reaktionsfähig.

Mehrschichtfilter haben gegenüber Einschichtfiltern, bei denen nur mit Quarzsand und ohne Aktivkohle gefiltert wird, mehrere Vorteile: Erstens werden dem Wasser Geruchs- und Geschmacksstoffe entzogen. Zweitens können mittels Aktivkohle - wie oben beschrieben - die Chloramine entfernt werden, was beim

⁴Nach Wikipedia: <https://de.wikipedia.org/wiki/Aktivkohlefilter> bearbeitet (07.09.16)

Einschichtfilter nicht geht. Deshalb wird der Chloramin-Gehalt dort stetig durch Verdünnung mit Frischwasser verringert. Die Schmutzstoffe werden in den zwei Schichten des Mehrschichtfilters also effektiver gefiltert als in einem Einschichtfilter.



Abbildung eines Aktivkohlefilters

Da sich die gefilterten Schmutzstoffe im Filter ansammeln, sollte dieser regelmäßig gespült und gereinigt werden. Die Fliessrichtung wird bei der sogenannten Rückspülung umgekehrt, das Wasser also in die entgegengesetzte Richtung geleitet und die Fliessgeschwindigkeit erhöht. Dabei wird das Filtermaterial durchmischt, die Schmutzpartikel werden durch die gegenseitige Reibung voneinander gelöst, und vom vorbeifliessenden Wasser mittransportiert. Eben dieses Wasser wird danach in die Kanalisation geleitet und durch Frischwasser ersetzt.

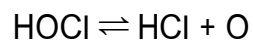
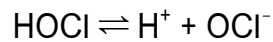
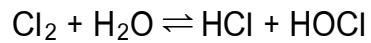
Zusätzlich zur Reinigung des Filters wird durch die Rückspülung auch das Filtermaterial (in diesem Falle der Quarzsand und die Aktivkohle) locker und damit funktionsfähig gehalten.

Bei vollautomatischen Filteranlagen wird der gesamte Vorgang selbstständig durchgeführt.

Nachdem das Wasser, das nun Filtratwasser genannt wird, den Filter passiert hat, wird es desinfiziert. Dieser Prozess ist enorm wichtig, da das Ziel der Wasseraufbereitung ist, dass das Beckenwasser möglichst Trinkwasserqualität auf-

weist. Dazu ist die Desinfektion (Entkeimung) des Wassers unerlässlich. In der KSS wird dabei Chlorgas verwendet. Es ist sehr toxisch und schwerer als Luft, weshalb hohe Sicherheitsvorkehrungen getroffen werden müssen. Das Chlor wird in Druckflaschen transportiert und gasförmig dem Wasser beigegeben.

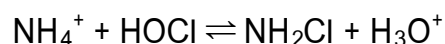
Dabei laufen folgende Gleichgewichtsreaktionen ab:



Die Dissoziation der hypochlorigen Säure (HOCl) zu Wasserstoff-Ionen sowie Hypochlorit-Ionen hängt sehr stark vom pH-Wert ab. Bei pH 5 befindet sich das Gleichgewicht fast völlig auf der Seite der hypochlorigen Säure. Bei pH 9 ist es genau umgekehrt.

Die hypochlorige Säure hat eine viel grössere desinfizierende Wirkung (100 Mal stärker) als die Hypochlorit-Ionen, da sie aufgrund ihres hohen Redoxpotentials viel besser in die Zellmembranen der Zellen eindringen und die Enzyme oxidieren können. Überdies wirkt atomarer Sauerstoff (freie, ungepaarte Sauerstoffatome) aufgrund seiner oxidierenden Wirkung desinfizierend.

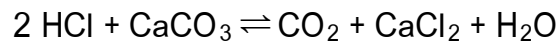
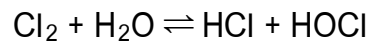
Die hypochlorige Säure geht zudem eine Reaktion mit stickstoffhaltigen Verbindungen wie Ammoniak, Ammonium oder Aminen ein. Die dabei entstehenden Produkte werden Chloramine genannt. Ein Beispiel hierfür ist die Reaktionsgleichung von Ammonium mit hypochloriger Säure, wobei sich Monochloramin und ein Oxonium-Ion bilden:



Die ab diesem Zeitpunkt Reinwasser genannten Wassermengen fließen nun über die Düsen ins Becken und der Wasserkreislauf beginnt von vorn.

Wenn man kurzfristig die Chlorkonzentration erhöht, weil es vermehrt Algenbildung im Wasser gibt oder der Schadstoffeintrag stark erhöht ist, kommt es zur sogenannten "Knickpunktchlorung". Dies bedeutet, dass der Gehalt an freiem Chlor abnimmt, obwohl man mehr davon zugibt. Dies, weil die Chloramine mit dem zusätzlichen Chlor reagieren und Stickstoff sowie Chlorid daraus entsteht. Erst nachdem das Chlor die Amine vollständig oxidiert hat, steigt der Gehalt an freiem Chlor wieder an.

Enthält das Wasser zu viel ungebundenes Chlor, so wird es in einer Nebenleitung zu Marmorsteinchen geleitet, die mit dem Chlor reagieren, wodurch der Chlor-Gehalt abnimmt. Dies geschieht bei folgender Reaktion:



Die Salzsäure, die im Wasser aus Chlorgas und Wasser als Nebenreaktionsprodukt entsteht, reagiert mit Calciumcarbonat (CaCO_3 von den Marmorsteinchen) zu Kohlenstoffdioxid, Calciumchlorid und Wasser. Der Gehalt an freiem Chlor wird dadurch verringert.

Zusätzlich zu den oben beschriebenen Massnahmen wird zweimal pro Woche der Beckenboden gereinigt, damit sich Partikel, die schwerer als das Wasser sind, nicht ablagern und kontinuierlich das Wasser verschmutzen können.

2.2.2 Vorteile bei einer Wasseraufbereitung mit Chlor

Chlor ist das meistverwendete Desinfektionsmittel. Dies nicht ohne Grund. Es ist sehr reaktiv und tötet Keime und Krankheitserreger ab, welche sich im Bad aufgrund des feuchtwarmen Klimas optimal fortpflanzen können. Ausserdem oxidiert Chlor andere Schadstoffe, die das Wasser verschmutzen und zu Infektionen führen könnten.

Chlor ist beispielsweise im Vergleich zu Ozon, das auch ein sehr effektives Desinfektionsmittel ist, äusserst preisgünstig und kann direkt ins Becken geleitet werden. Bei einem Aufbereitungsverfahren mit Ozonstufe wird Chlor aber dennoch verwendet, was zeigt, dass Ozon Chlor keinesfalls ersetzen, sondern lediglich als Ergänzung zu noch besseren Werten im Schwimmbecken verhelfen kann.

Ausserdem hat man bei Chlor die Möglichkeit, so genannte Stosschlorungen vorzunehmen, wobei man innerhalb von kürzester Zeit den Chlorgehalt stark erhöht, um das Wasser von Algen oder starker Trübheit zu befreien.⁵

Folglich setzen die meisten Schwimmbäder auf eine Desinfektion mit Chlor. Dies nicht zu Unrecht. Die Vorteile überwiegen stark; Chlor ist vielmehr Segen als Fluch für die Schwimmbäder.

⁵ <http://www.swhs.de/sites/default/files/PDF/Wasserpflege.pdf>

2.2.3 Nachteile bei einer Wasseraufbereitung mit Chlor⁶

Da der pH-Wert von Wasser einen neutralen Wert um 7 und derjenige unserer Haut als Schutz vor Krankheitserregern einen sauren pH-Wert um 5.5 hat, trocknet das Wasser unsere Haut aus. Zudem kann Chlor zusätzlich zur Haut-austrocknung beitragen. Explizite Ursachen dafür werden jedoch keine genannt. Andere Forscher nehmen jedoch an, dass die Austrocknung der Haut lediglich durch den Unterschied des pH-Wertes der Haut und des Wassers verursacht wird. Daher sollte man sich nach einem Bad im Chlor gut abduchen und danach mit Feuchtigkeitscreme einschmieren.⁷

Des Weiteren können bei der Reaktion von organischen Stoffen wie Harnstoff oder Schweiß mit Chlor Nebenreaktionsprodukte entstehen, welche Blasenkrebs fördern. Das Risiko lässt sich jedoch durch hygienisches Verhalten verringern.

Häufiger Kontakt mit Chlorwasser kann dazu führen, dass die Haut – vor allem, wenn sie empfindlich ist – stark gereizt sowie schuppig wird. Man nennt dies Chlorakne. Zudem kommt es oftmals vor, dass das Haar ausbleicht und die Farbe nicht mehr wirklich ausdrucksvoll ist. Diese Phänomene treten häufig bei Leistungssportlern auf, die sich täglich mehrere Stunden im Chlorwasser befinden.

Momentan wird darüber geforscht, ob Chlor das Risiko, an Krebs zu erkranken, erhöhen kann. Einige Forscher behaupten, dass bei einer Reaktion von Chlor mit organischem Material wie Schuppen, Haare und Urin 600 bis 700 verschiedene Substanzen entstehen können, von denen einige das Erbmateriale verändern und dadurch rein theoretisch Krebs auslösen könnten.⁸ Es ist meiner Meinung nach jedoch sehr fragwürdig und höchst unwahrscheinlich, dass dies in der Praxis dann wirklich so aussieht und das Krebsrisiko durch regelmässigen Aufenthalt im Chlorwasser tatsächlich erhöht wird.

Eine weitere unerwünschte Nebenwirkung, ausgelöst durch die Desinfektion mit Chlor, ist, dass blonde Haare einen Grünstich bekommen können. Dies wird anscheinend durch Kupfer-Ionen ausgelöst, welche in einigen Desinfektionsmitteln vorkommen sollen. Daher wird empfohlen – bei Auftreten dieses Phänomens – eine in Wasser gelöste Aspirin-Tablette, in die Haare zu geben, da diese Acetylsalicylsäure enthält, welche die Kupfer-Ionen bindet. Gesichert und wissenschaftlich einwandfrei nachgewiesen ist diese Theorie jedoch bis heute nicht (Stand 12.10.16).

⁶ Planer (2013)

⁷ Riedel (2013)

⁸ Heinrich (2011)

Trichloramin (NCl_3), das als Nebenprodukt bei der Reaktion von hypochloriger Säure und Harnstoff entsteht, der über Schweiß, Kosmetika, Urin oder Haare im Becken landet, entsteht, kann bei Kleinkindern, die Gefahr an Asthma zu erkranken, sehr stark erhöhen. Vermehrt wurde bei Kleinkindern von bis zu zwei Jahren, welche regelmässig in Chlorwasser badeten, eine verringerte Konzentration eines Zellproteins Clara (CC16) festgestellt. Dies lässt eine Schädigung des Lungengewebes vermuten, was wiederum das Risiko einer Erkrankung an Asthma stark erhöhen kann.⁹

Das Trichloramin ist auch dafür verantwortlich, dass man nach einem Aufenthalt im Schwimmbad oftmals eine brennende Nase, Hustenanfälle oder sehr gerötete Augen hat. Es reagiert mit Schleimhäuten und Atemwegen und reizt diese. Dazu muss man sich nicht unbedingt im Wasser befinden, da das Trichloramin bei hoher Konzentration auch als Gas in der Luft vorhanden ist. Regelmässiges Einatmen dieser Luft kann auch dazu führen, dass man anfälliger für Pilz- und Bakterienbefall ist.¹⁰

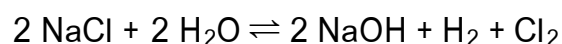
2.3 Weitere Desinfektionsmittel

Neben Chlorgas, welches ich bereits im vorhergehenden Unterkapitel, erläutert habe, gibt es zahlreiche weitere Desinfektionsmittel. Ich werde im Folgenden auf einige davon, welche in der Praxis oft Anwendung finden und mir zudem wichtig erscheinen, genau eingehen.

2.3.1 Natriumhypochlorit¹¹

Natriumhypochlorit (NaOCl), welches wohl die älteste Chlormethode ist, kann in Schwimmbädern zur Bleichung und Desinfektion verwendet werden, wird jedoch aktuell meistens nur noch als Reserve bei Chlorgasanlagen und bei kleineren Bädern angewandt.¹²

Es wird gemäss *SIA 385/1 A.5.2* entweder konzentriertes Javelwasser, was eine Natriumhypochloritlösung ist, zugegeben oder gemäss *SIA 385/1 A.5.3* durch Elektrolyse von Natriumchlorid (Kochsalz) hergestellt. Hierbei laufen folgende Reaktionen ab:¹²



Aus Natriumchlorid und Wasser werden also Natronlauge, Wasserstoff- sowie Chlorgas hergestellt.

⁹ Heinrich (2011)

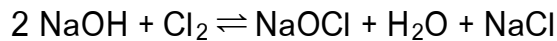
¹⁰ Nauber (2015)

¹¹ Nach Wikipedia <https://de.wikipedia.org/wiki/Natriumhypochlorit> bearbeitet (06.09.16)

¹² Szunyogh (2014, 17)

Der als Nebenprodukt entstandene Wasserstoff ist explosiv und muss abgeleitet werden, damit er nicht in andere Räume entweichen kann.

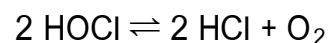
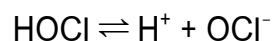
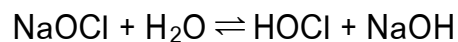
In einer zweiten Reaktion passiert Folgendes:



Wie man unschwer erkennen kann, entsteht wieder Wasser und Natriumchlorid, wodurch die erste Reaktion wieder neu starten kann. Es ist also ein nie endender Kreislauf.

Aus Natronlauge und Chlorgas entstehen das gewünschte Natriumhypochlorit (NaOCl) sowie ein Wassermolekül.

Leitet man nun das Natriumhypochlorit ins Wasser, laufen nachfolgend genannte Gleichgewichtsreaktionen ab:



Bei der Reaktion von Natriumhypochlorit und Wasser entstehen hypochlorige Säure sowie Natronlauge. Wegen der stark alkalischen Natronlauge kann es zu einem pH-Anstieg kommen. Dieser Anstieg kann insofern verstärkt werden, als dass bei der Herstellung des Natriumhypochlorits mittels Elektrolyse bei der ersten Reaktion auch Natronlauge entsteht.

Wie bei der Desinfektionsmethode mit Chlorgas ist also auch bei der Natriumhypochlorit-Methode vor allem die hypochlorige Säure für die desinfizierende sowie bleichende Wirkung verantwortlich.

Durch die basische Reaktion der Lösung werden zudem organische Verunreinigungen wie Fette beziehungsweise Proteine verseift (Spaltung eines Esters durch eine Reaktion mit Wasser).

2.3.2 Ozon¹³

Ozon wird in der Desinfektion verwendet, ist jedoch einiges teurer als eine einfache Chlorungsanlage. Das Ozon entfernt Präkursoren (Vorläuferstoffe), welche schädliche Substanzen Trihalogenmethane (organische Verbindungen, in welchen in Methan exakt drei Wasserstoffatome durch Halogene ersetzt sind: zum Beispiel CHCl_3 [Chloroform]) oder Chloramine als Reaktionsnebenprodukte bilden.

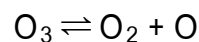
¹³ Nach Wikipedia <https://de.wikipedia.org/wiki/Badewasseraufbereitung> bearbeitet (09.08.16)

Es gibt übrigens keinen Grenzwert für das sich im Becken befindende Nitrat, weil Ozon durch Reaktion mit Luftstickstoff Stickoxide bildet, wodurch im Beckenwasser wiederum Nitrat entsteht, was eine Einhaltung des eigentlich erlaubten Nitratwertes im Beckenwasser unmöglich macht.

Ozon ist ein sehr starkes Oxidationsmittel, nimmt also Elektronen von anderen organischen Substanzen auf. Es werden Schmutzstoffe im Wasser mit Sauerstoff verreinigt.¹⁴

Ausserdem deaktiviert es Viren, zerstört alle biologischen Wasserinhaltsstoffe und oxidiert die im Wasser enthaltenen Metalle.

Gebildet wird Ozon, indem gut getrocknete Luft in Plattenozonisatoren zwischen Hochspannungselektroden hindurchgeführt wird. Es ist essenziell, dass die Luft gut getrocknet ist, damit die Haltbarkeit der Elektrode ausreicht und somit eine möglichst hohe Ozonausbeute erzielt werden kann. Ozon entsteht dabei durch die elektrische Entladung. Das sehr instabile Ozon zerfällt dann in Sauerstoffgas und atomaren Sauerstoff, welcher stark oxidierend und damit reinigend und keimtötend ist:



Es ist verboten, das Ozon direkt ins Beckenwasser zu leiten, weil es sich bei regem Badebetrieb in der Luft verteilt. Da Ozon eine grössere Dichte als die Luft hat, setzt es sich direkt über dem Beckenwasser ab, was bei den Badegästen enorme Atemnot verursachen kann. Daher beträgt der erlaubte Höchstwert an Ozon im Beckenwasser – wie in der Tabelle auf Seite 2 ersichtlich – 0.02mg/l. Das Ozon wird daher bereits vor der Filtration zugegeben.¹⁵

Der gesamte Ablauf sieht dann wie folgt aus: Das Rohwasser (der Aufbereitung zugeführtes Wasser) wird zuerst mittels Ozon desinfiziert, chemische Substanzen oxidiert und Viren sowie Mikroorganismen inaktiviert beziehungsweise abgetötet. Danach werden dem Wasser in einem Mehrschichtfilter, der unter anderem Aktivkohle enthält, vom Ozon ausgefallte Schmutzstoffe entzogen, Nebenreaktionsprodukte des Chlors (zum Beispiel Chloramine aller Art) sowie das sich noch im Wasser befindende, restliche Ozon entfernt. Schliesslich wird dem Wasser Chlor zugegeben und dem Schwimmbecken zugeleitet.¹⁶

Die hier beschriebene Verfahrenskombination mit Ozonung ist nur eine von einigen möglichen Versionen. Es gibt noch ein paar weitere, welche jedoch nur ge-

¹⁴ <http://www.hydrogroup.de/einsatzbereiche/wasseraufbereitung/ozonung.html>

¹⁵ <http://www.nzz.ch/article9CWBH-1.205918> (2004)

¹⁶ SIA Norm 385/1 (2000, 25)

ringfügige Unterschiede zu dieser Methode aufweisen, weshalb ich nicht näher auf die anderen eingehe.

Zwei wesentliche Vorteile der Ozonung im Filter sind, dass der Gehalt an Chlor vermindert werden kann und der Bedarf an Frischwasser deutlich gesenkt wird. Ausserdem gibt es den typischen Schwimmbadgeruch nicht, der entsteht, wenn Chlor mit Harnstoff reagiert.¹⁷

¹⁷ <http://www.nzz.ch/article9CWBH-1.205918> (2004)

3. Naturpool Beringen

3.1 Funktion und Wasserkreislauf des Naturpools

Das Schwimmbad in Beringen wird als Naturpool bezeichnet. Die Terminologie bezeichnet als Naturpool einen Teich mit rein biologischer Wasseraufbereitung, der im Gegensatz zum Begriff des Schwimmteiches die Form eines Pools besitzt.¹⁸

Naturpools sind stets in zwei Zonen geteilt: Die eine Zone ist die sogenannte "Badezone" und die andere die "Aufbereitungszone", in welcher die mikrobiologischen Prozesse stattfinden, das Wasser also gereinigt wird, um danach wieder in die "Badezone"¹⁹ geleitet oder gepumpt zu werden.¹⁷



Abbildung 1: Badezone im Naturpool in Beringen

Die Reduktion sowie der Abbau der Keime in der Aufbereitungszone funktioniert gänzlich ohne Beigabe von Chemikalien. Man setzt auf biologische Stoffwechselforgänge von Bakterien, welche sich in den Wurzeln der Wasserpflanzen befinden. Des Weiteren gibt es direkt im Wasser Entkeimungsvorgänge.¹⁸

Ein stabiles Gleichgewicht unterschiedlichster Bakterienarten, die unerlässlich für die biologische Wasseraufbereitung sind, ist von sehr grosser Bedeutung. Das Gleichgewicht hängt von vielen verschiedenen Faktoren ab, welche zusammenspielen. Diese sind zum Beispiel: Die Anzahl der Badegäste und ihr Schmutzbeitrag, die Wassertemperatur, der pH-Wert, die Sonneneinstrahlung und viele mehr.¹⁸



Abbildung 2: Aufbereitungsbereich im Naturpool in Beringen

Die Reinigung wird durch mechanische Filter, sogenannte Reinfiler, ergänzt, welche kleine Partikel wie Blütenstaub zurückhalten und entfernen.¹⁸

Der Kreislauf der Wasseraufbereitung bei einem Naturpool ist ein hochkomplexes System, dessen Selbstreinigungsmechanismen, die

¹⁸ Nach Wikipedia <https://de.wikipedia.org/wiki/Schwimmteich#Naturpool> bearbeitet (25.07.16)

¹⁹ Abbildung 1:

http://www.radiomunot.ch/sites/default/files/styles/zoom/public/news/neue_badi_in_beringen_mit_natuerlicher_wasseraufbereitung.jpg

denjenigen der Natur entsprechen, in das künstliche Ökosystem des Naturpools mit seiner Aufbereitungszone in leicht veränderter Form übertragen wird.

Der Wasserkreislauf funktioniert im Prinzip folgendermassen:²⁰ Das abgebadete Wasser aus dem Pool läuft über Überlaufrinnen, welche bereits grosse Bestandteile, wie Blätter, zurückhalten aus dem Schwimmbecken. Danach fliesst das Wasser über ein Rohrleitungssystem zu einem Feinfilterbehälter. Beim Passieren dieses Filters werden dem Wasser feine Schmutzpartikel entzogen. Danach strömt das Wasser in den Aufbereitungsbereich. Es ist stets ein leichtes Gefälle vorhanden, da das Wasser dahin fliesst, wo es dem geringsten Widerstand ausgesetzt ist. Im Aufbereitungsbereich fliesst das Wasser in mehrere Verteilungsschächte; deren Leitungen sind unter einer nach abnehmender Korngrösse geordneten Kalkkiesschüttung gebaut. Mittels dieses relativ komplexen Leitungssystems wird das Wasser am Boden der Aufbereitungszone verteilt und strömt durch die Öffnungsschlitze der Leitungen durch die Kiesschicht hindurch. Die Fliessgeschwindigkeit des Wassers wird von der Durchlässigkeit dieser Kiesschicht bestimmt.

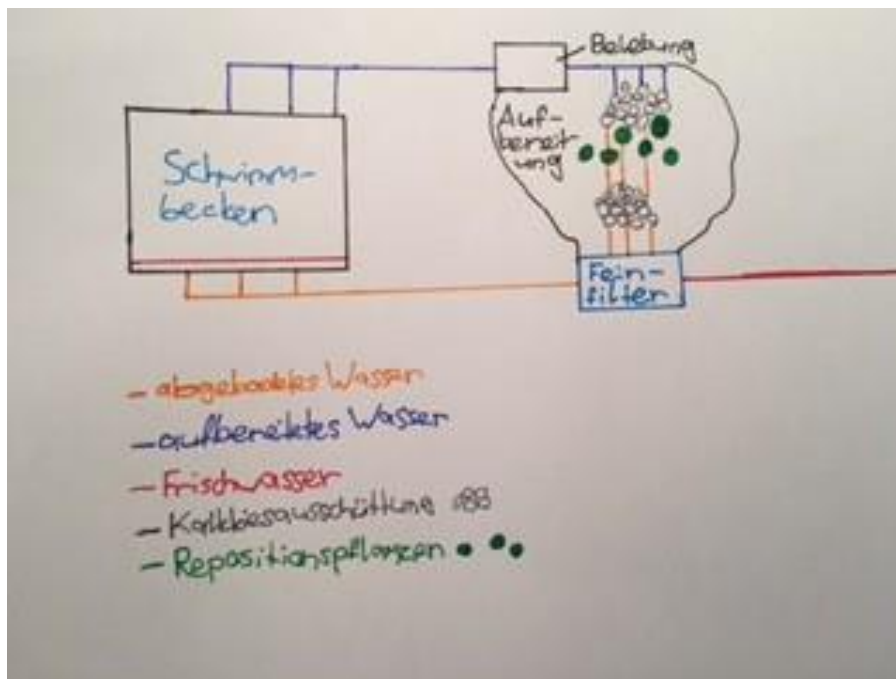
Danach strömt das Wasser – aufgrund der Schwerkraft – weiter in die nächste Aufbereitungszone. Dieser Filter enthält Repositionspflanzen (Pflanzen, die für die Rekultivierung und Renaturierung verwendet werden). Es gibt erneut Verteilungsschächte, die an die Leitungen angeschlossen sind, welche sich – wie in der Aufbereitungszone zuvor – unter einer kornabgestuften Kalkkiesausschüttung befinden. Im Gegensatz zu vorher jedoch wird das Wasser nun auf der Wasseroberfläche verteilt und durch die Öffnungsschlitze der Leitungen durch die Kiesschicht nach unten geleitet.

Zusätzlich erfolgt in diesem Bereich im so genannten Belebungschacht eine maximale Anreicherung von Sauerstoff, was schädlichen und infektiösen Bakterien wie *Escherichia coli* das Überleben verunmöglicht, da sie in diesem Milieu nicht lebensfähig sind.

Danach wird das aufbereitete Wasser über Düsen wieder ins Becken geleitet.

²⁰ http://www.naturerlebnisbad.de/basiswissen_kommunale_freibaeder%20-%20Kopie.htm

Folgende Abbildung verbildlicht den Wasserkreislauf im Naturpool:



3.2 Einzelne Komponenten der Wasseraufbereitung²¹

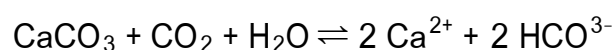
Zur Aufrechterhaltung der Wasserqualität sind die Wasserhärte und ein Zusammenspiel der einzelnen Komponenten, welche ich nachfolgend erklären werde, essenziell. Jene Komponenten sind Wasserpflanzen, Phytoplankton (Algen), Zooplankton sowie Destruenten (Organismus, der organische Stoffe abbaut und in anorganische Bestandteile zersetzt), welche zusammen mit mechanischen Reinfiltren, die feine Partikel wie Blütenstaub zurückhalten und entfernen, das Wasser reinigen.

3.2.1 Wasserhärte

Eine sehr zentrale Bedeutung für das Thema der Stabilisierung nimmt die Wasserhärte ein, also der Anteil an Kalk, der ausschlaggebend für das Puffervermögen des Wassers ist.²¹

Ein Gewässer sollte sich zwingend im so genannten Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht befinden. Dies ist der Fall, wenn es gerade so viel Kohlenstoffdioxid (CO₂) besitzt, dass kein Kalk (CaCO₃) gelöst respektive produziert wird.²¹

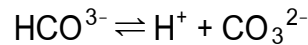
Dieses Gleichgewicht basiert auf folgender Reaktionsgleichung²²:



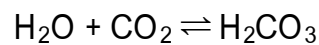
²¹ <http://www.naturpools.de/ratgeber-wasseraufbereitung/wasserreinigung-im-schwimmteich>

²² <http://www.schwimmteich.com/wasserchemie-kalk-kohlensaure-gleichgewicht>

Aus Calciumcarbonat, Kohlenstoffdioxid und Wasser entstehen Calcium-Ionen und Hydrogencarbonat-Ionen. In einer zweiten Reaktion zerfallen die Hydrogencarbonat-Ionen in einer pH-abhängigen Reaktion in ein positiv geladenes Wasserstoff-Ion (Proton) und ein Carbonat-Ion (CO_3^{2-}):



Je niedriger der pH-Wert ist, desto höher ist die Konzentration an Kohlenstoffdioxid. Je höher der pH-Wert ist, desto mehr Hydrogencarbonat-Ionen sowie Carbonat-Ionen liegen im Gewässer vor. Das Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht ist erreicht, wenn keine freie Kohlensäure, welche durch folgende Reaktion entsteht, mehr im Wasser vorhanden ist:



Es bestimmt den Charakter eines Gewässers, indem entweder Kalk abgeschieden oder im Wasser gelöst wird. Zu viel freie Kohlensäure im Gewässer bringt viele Nachteile mit sich, da sie Metalloberflächen und Beton angreift, was eine spröde und rissige Oberfläche, schlimmstenfalls ein Verundichtung des Pools, zur Folge haben kann.²³

3.2.2 Die Funktion der Wasserpflanzen²³

Den grössten Teil ihrer Nährstoffe entnehmen die Wasserpflanzen dem Wasser oder mit ihren Wurzeln aus dem Filtersubstrat. Diese Nährstoffe binden sie, bis ihr Abbau gänzlich erfolgt ist.

Bei der Frage, welche Funktion diese Pflanzen im Naturpool nun haben, stellt man fest, dass dabei gar nicht – wie man annehmen könnte – die Blattmasse von Bedeutung ist, sondern die Wurzeln sowie die Rhizome (Sprossachsensysteme). Diese beiden Pflanzenteile übernehmen vielerlei Aufgaben: Die Wurzel hat einerseits eine Halte- und Bindefunktion und ist zudem sehr wichtig für die Wasser- sowie Nährstoff-Verteilung und -Versorgung der Pflanze. Voraussetzung dafür ist die Eigenschaft der Wasserpflanze, lebensnotwendigen Sauerstoff in die Wurzeltiefe zu leiten. Dies ist essenziell, da in Böden und Filtersubstraten durch die Destruenten, welche organische Verschmutzungen beseitigen, ein enorm hoher Sauerstoffverbrauch entsteht und sich dadurch ein Mangel an Sauerstoff einstellen kann.

Es ist wichtig, dass sich sowohl aus dem Wasser ragende als auch unter dem Wasser lebende Wasserpflanzen im Aufbereitungsbereich des Naturpools befinden, da beide unterschiedliche Aufgaben übernehmen. Die unter dem Wasser lebenden Pflanzen sind insbesondere für die Nährstoffaufnahme und die Sauer-

²³ <http://www.naturpools.de/ratgeber-wasseraufbereitung/wasserreinigung-im-schwimmteich>

stoffversorgung und damit die Aufrechterhaltung des gesamten Ökosystems unentbehrlich.²⁴

Zu den effektiven Reinigungsvorgängen im Wasser tragen die Pflanzen jedoch wenig bei. Ihr Einfluss auf die Qualität des Wassers ist rein physikalischen Charakters. Dies, indem sie die Oberfläche der Kiesbetten, die als Filter dienen, stabilisieren und mittels Durchwurzelung für bessere physikalische Bedingungen und somit für eine verbesserte Filterwirkung sorgen. Die Wasserpflanzen verhindern eine Verstopfung des Bodens vom Aufbereitungsbecken und schützen das System in den Wintermonaten vor der vorherrschenden Kälte.²⁵

3.2.3 Die Funktion der Destruenten²⁵

Um eine nachhaltige Wasseraufbereitung gewährleisten zu können, muss das Wasser in zwei Phasen gereinigt werden. In der ersten Phase müssen die größeren und ungelösten Teile entfernt werden. Dies, damit der Biofilm (Schicht in der die "reinigenden" Mikroorganismen enthalten sind) den direkte Kontakt mit dem Wasser nicht verliert. Zu diesen ungelösten Teilen zählen beispielsweise totes Zoo- sowie Phytoplankton und Blattreste oder andere Schmutzstoffe, die zahlreich im Wasser vorkommen. In der zweiten Phase müssen die gelösten Stoffe aus dem Wasser entfernt werden. Diese sind überwiegend Stickstoffverbindungen, wie Nitrit, Nitrat und Ammonium. Dazu kommen Phosphor und der organische Kohlenstoff. Jene Stoffe werden von biologischen Mikroorganismen, die ein Teil des Biofilms sind, aus dem Wasser filtriert.

Die Natur hat sich daran angepasst, Ungleichgewichte in Bezug auf die Reinigung des Wassers schnell und effektiv durch den Eintrag bestimmter Inhaltsstoffe ausgleichen zu können. Ein solches Ungleichgewicht kann beispielsweise entstehen, wenn aufgrund bestimmter Nähr- oder Inhaltsstoffe, oftmals aufgrund eines Überangebots an Phosphat und Stickstoff, Algenwachstum im Aufbereitungsbereich stark gefördert wird, was sehr hinderlich ist für die Wasseraufbereitung.

Für die Aufgabe, das mögliche Ungleichgewicht wieder auszugleichen, sind die Destruenten verantwortlich, ohne die ein solches Ökosystem sehr schnell in sich zusammenbrechen würde. Die Destruenten können die gelösten Nähr- beziehungsweise Inhaltsstoffe direkt aus dem Wasser aufnehmen und daraus entweder neue Biomasse herstellen, die Mineralisation durchführen (aus organischen anorganische Substanzen herstellen) oder die Stoffwechselenergie der Nährstoffe nutzen. Die Nährstoffe, welche die Destruenten speichern, können

²⁴ <http://www.naturpools.de/ratgeber-wasseraufbereitung/wasserreinigung-im-schwimmteich>

²⁵ Scheen (Publikationsdatum unbekannt)

durch biologische oder physikalische Prozesse auch wieder ins System eingebracht werden, sind also nicht zwingend nur für sie selbst verfügbar.

Die Destruenten schliessen die Nahrungskette, indem sie den Primärproduzenten (Pflanzen) und ihren Konsumenten reproduzierte Biomasse von toten Lebewesen zur Verfügung stellen. Dabei ist der organische Kohlenstoff von eminenter Bedeutung, da dieser für viele Stoffwechselprozesse gebraucht wird.

3.2.4 Biologische Filter²⁶

Bei den Kiesbettfiltern und allgemein bei biologischen Filtern muss darauf geachtet werden, dass biologische Ablagerungen von gelösten wie auch ungelösten Teilchen regelmässig entfernt werden. Dies, weil Wasser immer den Weg des geringsten Widerstandes fliesst. Die Wasserwege würden also durch die Inhaltsstoffe im Filter verstopft, was zu grossflächigen, anaeroben und sehr schlecht durchflossenen Stellen im Filter führen würde. Dadurch wäre auch eine effektive Reinigung des Wassers verunmöglicht, da der Filter nicht mehr funktionsfähig wäre. Zudem würde es zu einer Eutrophierung (Überangebot an Nährstoffen) des Teiches kommen, da anaerob arbeitende Mikroorganismen aufgrund der schlechten Verhältnisse im Filter unvorteilhafte Verbindungen wie Schwefelwasserstoff (H_2S) produzieren würden. Der Filter würde das Wasser somit nicht mehr von Schmutzstoffen befreien, sondern dem Teich schaden.

3.2.5 Fazit²⁶

Resümierend kann man sagen, dass es für eine nachhaltige Aufbereitung des Teichwassers darauf ankommt, dass sich das Ökosystem des Teichs – gleich wie die freie Natur – in Gleichgewichten verhält, die wiederhergestellt werden müssen, sofern sie nicht mehr gegeben sind. Nur dadurch kann eine gute Wasserqualität erzielt werden. Hauptverantwortlich für dieses Gleichgewicht sind die Destruenten, die infolge der Konkurrenz von Produzent, Konsument und sich selbst unerwünschte und schädliche Überpopulationen wieder ins Gleichgewicht bringen. Diesen enormen Segen, den die Natur geschaffen hat, sollte man als Teichbesitzer nutzen.

3.3 Vorteile des Naturpools

Ein grosser Vorteil, den der Naturpool gegenüber dem konventionellen Schwimmbad besitzt, ist, dass kein Geld für Chemikalien ausgegeben werden muss, wodurch viel Geld eingespart werden kann. Im Naturpool in Beringen sind dies jährlich circa 10'000 Franken.

²⁶ Scheen (Publikationsdatum unbekannt)

Das Wasser verfügt über einen angenehmen Geruch und reizt die Binde- beziehungsweise Schleimhäute nicht, wodurch man nach einem Bad im Naturpool – im Gegensatz zum chlorierten Wasser – keine roten Augen oder gereizte Atemwege erhalten kann.²⁷

Ausserdem wird viel weniger Frischwasser verbraucht, was die Wasserkosten stark verringert. Da Frischwasser einen zu hohen Phosphat-Gehalt aufweist, was unkontrolliertes Algenwachstum fördern würde und damit schädlich ist, kann es ohnehin nicht direkt in die Aufbereitungsanlage gegeben werden.

3.4 Nachteile des Naturpools

Um die Wasserqualität in einem Naturpool gewährleisten zu können, müssen mehr Leute eingestellt werden, und es muss somit mehr "Handarbeit" investiert werden. In Naturpool Beringen reinigen jeden Tag zwei Männer den Poolboden mit Spezialstaubsaugern, damit keine zu langen Algenfäden in der "Badezone" entstehen und somit ein grossflächiges Algenwachstum von Beginn weg verhindert werden kann.

Der Beckenrand ist wegen des Biofilms enorm rutschig, was vor allem alte Leute vor Probleme stellen kann, wenn sie ausrutschen und dann grosse Schwierigkeiten haben, sich wieder hochhieven zu können.

Sollte der Teich in ein starkes Ungleichgewicht geraten, kann ein Naturpoolbesitzer keine schnell wirkenden Massnahmen ergreifen, wie dies bei einer Aufbereitung mit Chlor beispielsweise mit einer Stosschlorung möglich wäre. Es muss also gewartet werden, bis sich der Teich mit seiner Selbstreinigung regeneriert und das Gleichgewicht wiedererlangen kann. Bis dahin kann es sein, dass das Bad vorübergehend geschlossen respektive die Besucherzahl pro Tag verringert werden muss, um den Eintrag an Schmutzstoffen möglichst klein zu halten.

²⁷ <https://www.rielasingen-worblingen.de/de/Tourismus+Freizeit/Naturbad-Aachtal/Naturbad,-wie-funktioniert-das>

4. Praktischer Teil

4.1 Einführung

In den Sommerferien 2016 habe ich während fünf Wochen das Wasser im Naturpool in Beringen sowie in der KSS Schaffhausen verglichen, um Aussagen über die Wasserqualität machen zu können. Dazu habe ich den Nitratgehalt, den Ammoniumgehalt, den pH-Wert, den Harnstoffgehalt, den Gehalt an freiem Chlor und die Wassertemperatur gemessen.

Zur Bestimmung des Nitrat- und Ammoniumgehaltes wurden die folgenden Stammlösungen hergestellt und verwendet:

Nitrat-Stammlösungen²⁸

Zur Herstellung einer 0.02 M Nitrat-Stammlösung (:Lösung A) werden 2.1 Gramm Kaliumnitrat ($M=101.1 \text{ g/mol}$) in einem Liter Wasser gelöst. Da 1 mol KNO_3 1 mol K^+ sowie 1 mol NO_3^- ($M=62 \text{ g/mol}$) liefert, kann einfach auf die Konzentration von NO_3^- (angegeben in mg/L) umgerechnet werden, für NO_3^- ergibt sich somit eine Konzentration von 1.2879 g/L resp. 1287.9 mg/L.

Durch 10 resp. 100-fach Verdünnungen mit Wasser werden die Lösung B ($c=128.8 \text{ mg/L}$) sowie Lösung C ($c=12.9 \text{ mg/L}$) hergestellt.

Zusätzlich wurde eine Lösung B' hergestellt, welche die halbe Nitratkonzentration der Lösung B enthält, was 64.4 mg/L entspricht.

Ammonium-Stammlösungen²⁸

Zur Herstellung einer 0.0065 M Ammonium-Stammlösung (:Lösung A) wurden 0.35 Gramm Ammoniumchlorid ($M=53.491 \text{ g/mol}$) in einem Liter Wasser gelöst. Da ein Mol NH_4Cl 1 Mol Ammonium ($M=18.04 \text{ g/mol}$) liefert, kann einfach auf die Konzentration (angegeben in mg/L) umgerechnet werden.

Für NH_4^+ ergibt sich somit eine Konzentration von 0.118 g/L, was 118 mg/L entspricht.

Durch 10 resp. 100-fache Verdünnungen mit Wasser werden die Lösung B ($c=11.8 \text{ mg/L}$) sowie Lösung C ($c=1.18 \text{ mg/L}$) hergestellt.

²⁸ <http://www.uni-protokolle.de/foren/viewt/115004,0.html>

4.2 Parameter für die Bestimmung der Wasserqualität

4.2.1 Der Nitratgehalt

Die hergestellten Stammlösungen sowie die den Becken entnommenen Wasserproben wurden mittels eines kolorimetrischen Nachweises, dem *VISOCOLOR® alpha Nitrat*-Test aus einem Analysekit der Kantonsschule Schaffhausen, gefärbt. Je höher die Konzentration an Nitrat, desto dunkler ist die Farbe des Stoffgemischs. Bei einem visuellen Vergleich wird danach anhand der Färbung der Lösung bestimmt, wie hoch die Nitratkonzentration ist.

Die Reaktion, die unter Beigabe der Substanzen dieses Farbnachweises erfolgt, funktioniert wie folgt:²⁹ "Nitrat wird mit einem anorganischen Reduktionsmittel zu Nitrit reduziert. Mit dem Nitrit wird ein aromatisches Amin diazotiert, welches anschliessend zu einem Azofarbstoff gekuppelt wird." Eine Diazotierung ist die Umsetzung von aromatischen Aminen mit verdünnter Salpetersäure zu Aryldiazoniumsalzen (Wikipedia).

Zusätzlich zur kolorimetrischen Auswertung wurde ein fotometrischer Nachweis durchgeführt, da dieser um einiges genauer ist. Dabei wurden die nach dem kolorimetrischen Nachweis gefärbten Lösungen mit einem Kolorimeter untersucht. Dieses misst die Intensität des Lichts, welches durch die gefärbten Lösungen hindurchtreten.³⁰

Anhand einer Eichgerade konnte man die Konzentration der zu untersuchenden Lösung bestimmen. Dazu brauchte man die Extinktionswerte (gemessene Werte der Lichtintensität) der zwei Nitratstammlösungen sowie den Extinktionswert der Wasserprobe.

Nitrat (NO_3^-) kommt im Boden vor; Pflanzen benötigen den Stoff, um Eiweisse herstellen zu können.³¹

Der Nitratgehalt im Beckenwasser darf höchstens 20 mg/l mehr als der des Füllwassers betragen.

Ein zu hoher Nitratgehalt sollte vermieden werden. Dies, weil es Algenwachstum fördert, was sowohl im konventionellen Schwimmbad, als auch im Naturpool sehr hinderlich ist für die Aufrechterhaltung der Wasserqualität.

Ausserdem kann Nitrat von einigen Bakterien in Nitrit umgewandelt werden, was seinerseits bereits giftig ist, jedoch zusätzlich in Nitrosamin, das aus Nitrat

²⁹ <http://www.mn-net.com/StartpageWaterAnalysisTesting/VISOCOLOR/VISOCOLORalpha/VISOCOLORalphaNitrate/tabid/5035/language/de-DE/Default.aspx>

³⁰ Bauer, Hübl (2002)

³¹ Kindt (2012)

und Amin entsteht, umgewandelt werden – ein Stoff, der krebserregend ist für den Menschen.³²

4.2.2 Ammoniumgehalt

Analog der Messung des Nitratgehalts wurden Stammlösungen mit ganz bestimmten Ammonium-Konzentrationen hergestellt. Danach wurde mit einem kolorimetrischen Nachweis³³, dem *VISOCOLOR® alpha Ammonium-Test* aus einem Analysekit der Kantonsschule Schaffhausen, die Konzentration der Wasserproben bestimmt.

Die Reaktion unter Beigabe der Substanzen dieses Farbnachweises funktioniert wie folgt:³⁴ "Aus Ammonium-Ionen entsteht durch Chloreinwirkung im alkalischen Bereich Monochloramin. Dieses bildet mit Phenolen in Anwesenheit eines Katalysators blaue Indophenol-Farbstoffe.

Danach wurde – wie bei der Bestimmung der Nitratkonzentration – ein fotometrischer Nachweis gemacht.

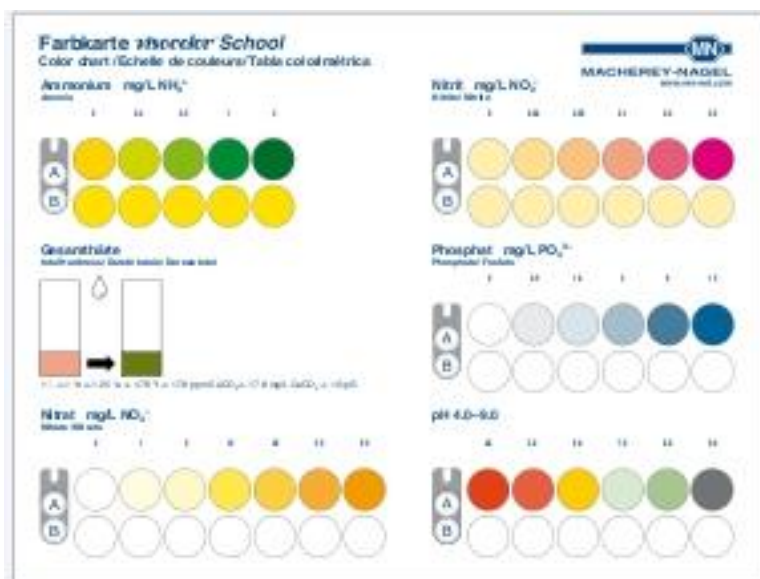


Abbildung der Farbkarte, die für die kolorimetrischen Nachweise des Nitrat- und des Ammoniumgehaltes verwendet wurde.

³² Kindt (2012)

³³ Abbildung: http://www.ehlert-partner.de/BILDER/MN_VisoSchool3.jpg

³⁴ <http://www.mn->

[net.com/StartpageWaterAnalysisTesting/VISOCOLOR/VISOCOLORalpha/VISOCOLORalphaAmmonium/tabid/5031/language/de-DE/Default.aspx](http://www.mn-net.com/StartpageWaterAnalysisTesting/VISOCOLOR/VISOCOLORalpha/VISOCOLORalphaAmmonium/tabid/5031/language/de-DE/Default.aspx)

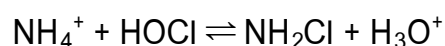
Tabelle mit den Extinktionswerten der Ammonium-Stammlösungen

| λ | E_0 | E bei 1:10 | E bei 1:100 | E bei 1:1000 | dest. Wasser |
|-----------|-------|------------|-------------|--------------|--------------|
| 430 | 0.838 | 1.000 | 0.882 | 0.876 | 0.891 |
| 470 | 0.476 | 0.571 | 0.551 | 0.574 | 0.619 |
| 565 | 1.832 | 1.332 | 0.199 | 0.028 | 0.024 |
| 635 | 1.623 | 1.567 | 0.525 | 0.086 | 0.037 |

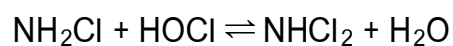
λ : Wellenlänge; E_0 : Extinktionswert bei unverdünnter Konzentration

In der Tabelle sind die Extinktionswerte ersichtlich, die ich bei den vier verschiedenen verwendeten Wellenlängen erhalten habe. Bei abnehmender Konzentration und somit hellerer Farbe des Stoffgemisches müsste mehr Licht durch die Proben hindurchtreten können. Somit sollte auch der gemessene Extinktionswert abnehmen. Dies war jedoch bei keiner der verwendeten Wellenlängen der Fall, weswegen die Resultate nicht brauchbar sind. Die Werte für die Wellenlängen von 565 sowie 635 Nanometern kommen ohnehin nicht in Frage, da Extinktionswerte über 1 unpräzise und nicht verlässlich sind. Sehr wahrscheinlich ist das Problem für die fehlerhaften Werte, dass das verwendete Fotometer keine Wellenlänge hatte, die für alle Konzentrationen passende Extinktionswerte messen konnte. Daher kann für den Ammoniumgehalt nur auf den kolorimetrischen Nachweis zurückgegriffen werden.

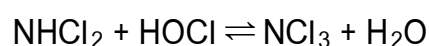
Ammonium (NH_4^+) ist ein Kation, das natürlicherweise in der Natur vorkommt. Es entsteht beispielweise beim biologischen Abbau von organischen Stoffen. Ammonium an sich ist ungiftig und daher für den Menschen nicht gefährlich. Im konventionellen Schwimmbad reagiert Ammonium jedoch mit hypochloriger Säure unter folgender Gleichgewichtsreaktion:



Das hierbei entstandene Monochloramin (NH_2Cl) reagiert wiederum mit hypochloriger Säure, wobei Dichloramin (NHCl_2) entsteht:

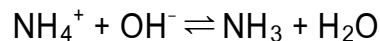


Das neugebildete Dichloramin kann wiederum mit hypochloriger Säure zu Wasser und dem gesundheitsschädlichen Stoff Trichloramin (NCl_3) reagieren:



Ammonium kann also eine Kettenreaktion auslösen, bei der Trichloramin entsteht, das aufgrund seiner schädlichen Eigenschaften sehr unerwünscht ist im Beckenwasser.

Des Weiteren kann Ammonium mit einem Hydroxid-Ion (OH^-) zu Ammoniak (NH_3) und Wasser reagieren³⁵:



Aufgrund des beteiligten Hydroxid-Ions ist die Reaktion vom pH-Wert abhängig. Je höher der pH-Wert und die Temperatur, desto höher ist die Ammoniakkonzentration. Ammoniak ist ein giftiger Stoff der Menschen und Organismen schadet, erstickende Wirkung hat und daher wenn möglich nicht im Beckenwasser vorkommen sollte.

4.2.3 pH-Wert

Der pH-Wert wurde mit einem pH-Sensor der Firma Vernier analysiert und mittels eines weiteren Geräts von Vernier, dem so genannten Vernier LabQuest®, ausgewertet.

Der pH-Wert ist ein sehr wichtiger Faktor für die Wasserqualität. Er sagt aus, wie sauer beziehungsweise wie basisch eine Lösung ist. Ein Wert um 7 ist neutral, die Lösung weist also gleich viele OH^- -Teilchen wie H^+ -Teilchen auf, nämlich 10^{-7} mol/l. Je tiefer der pH-Wert wird, desto saurer ist die Lösung, weist also weniger OH^- -Teilchen auf als H^+ -Teilchen. Je höher der pH-Wert ist, desto basischer ist die Lösung. Die Anzahl an OH^- -Teilchen nimmt zu, während die Anzahl an H^+ -Teilchen umgekehrt proportional dazu abnimmt.

Im Beckenwasser werden Werte von 6.8 bis 7.6 toleriert, optimalerweise befindet sich der pH-Wert jedoch um einen Wert direkt um 7.0.

Sollte der pH-Wert über längere Zeit einen Wert stark unter beziehungsweise über 7 aufweisen, kann dies verschiedene Folgen haben. Ein Wert stark über 7 ist schädlich für die Haut, da diese einen Säurefilm besitzt und ihr pH-Wert – wie auf Seite 8 beschrieben – um die 5.5 beträgt. Je basischer das Wasser und je höher damit die Differenz zwischen dem pH-Wert des Wassers und demjenigen der Haut ist, desto stärker wird dieser Säurefilm geschädigt, die Haut trocknet in der Folge zunehmend aus. Des Weiteren werden die Augenbindehäute gereizt.³⁶

Die Flockungsmittel, die dem konventionellen Schwimmbad zugegeben werden, sind nur bei einem ganz bestimmten pH-Wert funktionsfähig, weshalb dieser Wert stets eingehalten werden sollte.

Je niedriger der pH-Wert ist, desto stärker greift er das Becken selbst an. Besonders Metallteile und Fliesenfugen werden hierbei geschädigt.³⁶

³⁵ <http://www.wasser-wissen.de/abwasserlexikon/a/ammonium.htm>

³⁶ http://pooldoktor.at/wasserpflege_infos_grundlagen.htm

4.2.4 Der Harnstoffgehalt

Zur Bestimmung des Harnstoffgehaltes habe ich einen semiquantitativen Test verwendet. Bei diesem habe ich nach Beigabe bestimmter Chemikalien die Färbung meiner Messproben mit den Farbfeldern einer Farbscheibe verglichen. Dadurch habe ich die Harnstoffkonzentration ermittelt.

Harnstoff ($\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$) ist eine organische Verbindung, die natürlicherweise im menschlichen Körper gebildet wird. Es ist das Endprodukt des Eistoffwechsels und wird in der Leber aus Ammoniak (NH_3) und Bicarbonat gebildet. Die Nieren scheiden täglich etwa 13 bis 33 Gramm Harnstoff aus.³⁷

Der Harnstoffgehalt ist ein wichtiger Indikator für die Wasserqualität eines Schwimmbeckens. Weicht der Harnstoffgehalt stark vom erlaubten Wert gemäss SIA-Norm ab, kann dies unerwünschte Folgen für die Wasserqualität haben und die Gesundheit der Menschen beeinträchtigen und gefährden. Dies, obwohl der Harnstoff selbst in relativ geringen Mengen, wie sie im Schwimmbad vorkommen, nicht giftig ist.

Im konventionellen Schwimmbad führt ein zu hoher Harnstoffgehalt bei einer Reaktion mit hypochloriger Säure zu einer Bildung von Trichloramin, das sehr gefährlich ist für den Menschen. Sollte der Harnstoffgehalt im Naturpool stark vom zugelassenen Wert abweichen, führt dies dazu, dass aufgrund der düngenden Wirkung des Harnstoffs (Stickstoffdünger) vermehrtes Algenwachstum auftreten kann. Dies ist vor allem dann der Fall, wenn im Wasser ausreichend gelöste Phosphate vorhanden sind.

Ausserdem ist Harnstoff ein Ausscheidungsprodukt des Menschen. Die Vorstellung, in Harnstoff zu schwimmen, ekelt. Daher sollte Harnstoff nicht in zu grossen Konzentrationen auftreten.

4.2.5 Der Gehalt an freiem Chlor

Zur Bestimmung des freien Chlorgehaltes habe ich einen semiquantitativen Test verwendet, bei dem durch visuellen Vergleich die Konzentration an freiem Chlor ermittelt wurde.

Der Gehalt an freiem Chlor bezeichnet die Chlorverbindungen, die noch nicht mit Schmutzstoffen aus dem Beckenwasser reagiert haben.

Ein zu hoher Chlorgehalt hat keine dramatische Auswirkung. Befindet man sich regelmässig in einem Becken, das einen zu hohen Chlorgehalt hat, wird die Haut relativ schnell stark austrocknen. Es gibt jedoch Feuchtigkeitscremes, die dage-

³⁷ Onmeda-Redaktion (2013)

gen helfen. Sollte der Gehalt an freiem Chlor über längere Zeit zu tief sein, ist die Desinfektion des Wassers unzureichend. Das Wasser wird in der Folge trüb, von Algen bewachsen und gefährliche Krankheitserreger, die aufgrund des zu tiefen Chlorgehaltes nicht mehr alle abgebaut werden, lösen Infektionen aus.

4.2.6 Wassertemperatur

Zur Bestimmung der Temperatur habe ich ein Thermoelement verwendet, welches ein Paar metallischer Leiter aus unterschiedlichem Material ist. Diese metallischen Leiter sind an einem Ende verbunden und infolge des thermoelektrischen Effekts (gegenseitige Beeinflussung von Elektrizität und Temperatur und ihre Umwandlung ineinander) für die Bestimmung der Temperatur geeignet. Das Thermoelement liefert hierbei elektrische Energie aus Wärme bei einer Temperaturdifferenz entlang des elektrischen Leiters.³⁸

Idealerweise beträgt die Temperatur im Freibad um die 24 Grad Celsius. Sollte die Temperatur diesen Wert während längerer Zeit stark überschreiten, kann sich dies negativ auf die Wasserqualität auswirken, zumal sich die Keime in wärmerem Wasser besser fortpflanzen können.

4.3 Messwerte im Zeitraum 17.07.16 bis 14.08.16

Die Rohdaten, auf denen die folgenden Diagramme basieren, befinden sich im Anhang.

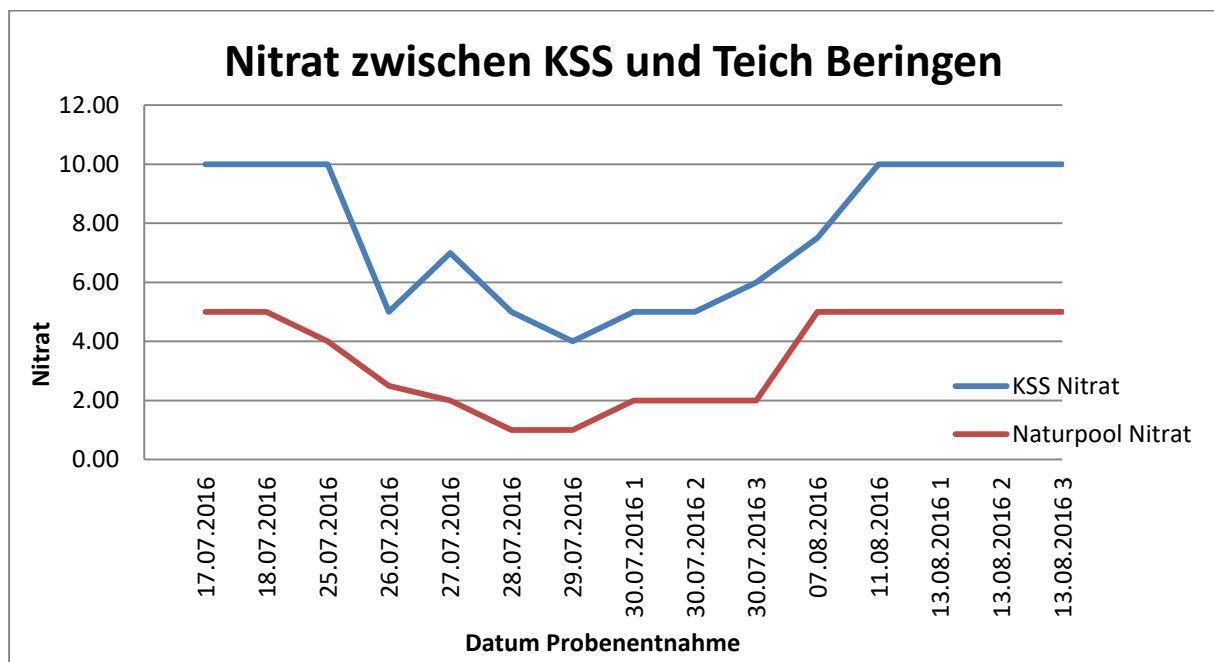
³⁸ Nach Wikipedia <https://de.wikipedia.org/wiki/Thermoelement> bearbeitet (25.10.16)

4.4 Auswertung und Analyse der Messungen

Sofern in den Tabellen "unpräzise" Werte wie 0.2-0.25 angegeben wurden, so sind diese Werte in den Diagrammen stets aufgerundet worden. Am 30.07.16 sowie am 13.08.16 wurden jeweils drei Messungen gemacht. Diese wurden mit 1, 2 und 3 gekennzeichnet.

4.4.1 Nitratgehalt

Nitratgehalt nach kolorimetrischem Nachweis

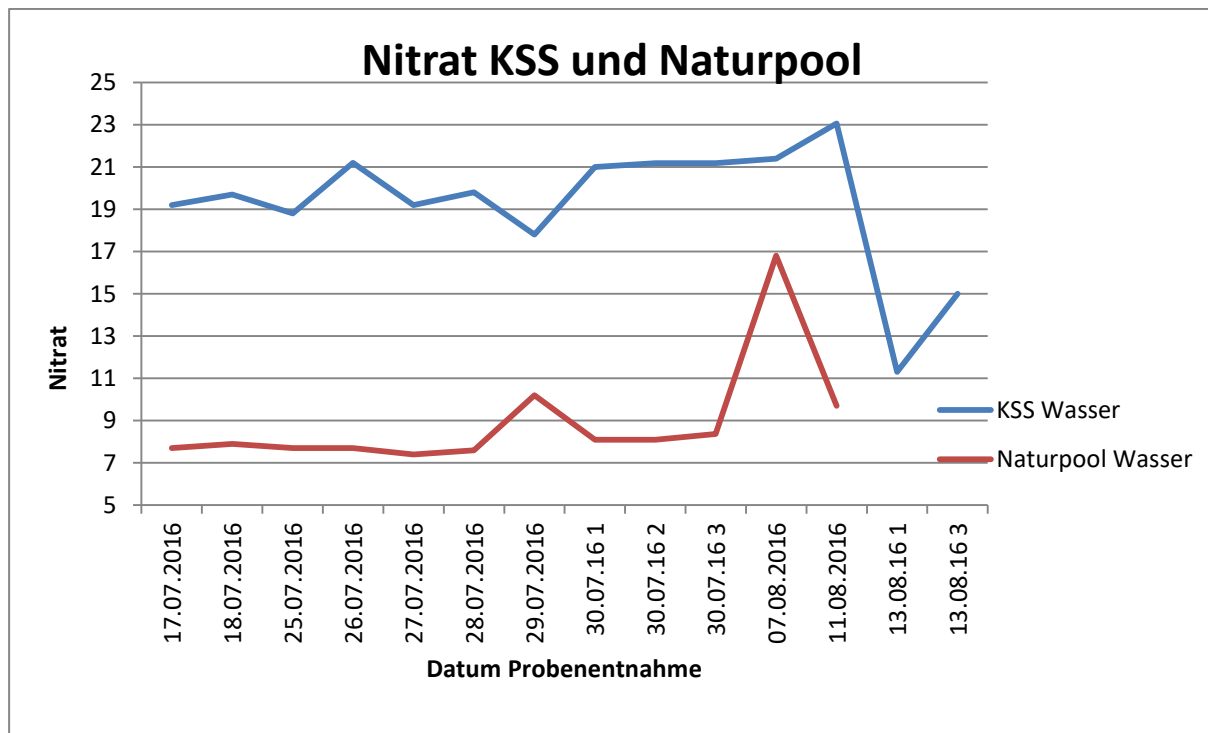


Der Nitratgehalt in der KSS betrug zu Beginn der Messungen 10 mg/l. Eine Woche nach den ersten beiden Messungen, am 25.07, betrug er nur noch die Hälfte, nämlich 5 mg/l. Danach stieg er zwar wieder auf 7 mg/l, sank dann sehr stark auf lediglich 4 mg/l und stieg dann beständig auf 10 mg/l. Dieser Wert blieb über mehrere Tage unverändert. Wie man unschwer erkennen kann, gibt es vom 25.07 bis zum 11.08 einen grossen "Bauch" im Diagramm; die Werte waren in dieser Zeit also viel tiefer als sonst. Dies hing vermutlich damit zusammen, dass vor und nach dieser Periode mehr Nitrat aus den vorhergegangenen Regenfällen ins Wasser gelangte. Die erhaltenen Nitratwerte sind sehr tief. Gemäss Schweizer Trinkwasserverordnung darf der Nitratgehalt maximal 25 mg/l betragen. Das Frischwasser, das stets in den Wasserkreislauf gepumpt wird, enthält also sehr wahrscheinlich mehr Nitrat als im Becken nachgewiesen wurde. Dies würde bedeuten, dass das Nitrat zum Zeitpunkt der Messung grösstenteils schon mit hypochloriger Säure reagiert hätte. Dies ist zwar nicht unwahrscheinlich, doch erscheinen mir die erhaltenen Werte ein wenig zu tief. Beim kolori-

metrischen Nachweis des Nitratgehalts waren die Färbungen der Proben oftmals sehr ähnlich und nicht direkt mit dem Farbbild, auf dem man die Konzentration ablesen konnte, übereinstimmend. Dies erschwerte ein genaues Ermitteln der Konzentration. Daher ist es möglich, dass die Werte für tiefer gehalten wurden als sie eigentlich waren. Der fotometrische Nachweis sollte jedoch Klarheit schaffen. Dennoch liegen die Werte im optimalen Bereich.

Der Nitratgehalt im Naturpool Beringen war den ganzen Monat über sehr tief. Zu Beginn meiner Messungen enthielt das Beckenwasser etwa 5 mg/l, sank dann im Verlaufe des Monats auf einen Minimalwert von lediglich 1 mg/l Nitrat. Auch im Naturpool sank der Nitratgehalt vom 18.07 bis zum 30.07. Auch hier waren die ausgebliebenen Regenfälle, die es vor und nach dieser Periode gab, dafür verantwortlich. Da die beiden Bäder sehr nahe beieinanderliegen, ist es daher nicht überraschend, dass der Nitratgehalt, der vor allem von den Regenfällen abhängig ist, im gleichen Zeitraum abnahm. Danach stieg der Gehalt zwar wieder leicht an und erreichte wie zu Beginn wieder den Höchstwert von 5 mg/l. Dieser Wert hielt sich über mehrere Tage bis zum Ende meiner Messungen. Die gemessenen Nitratwerte sind sehr zufriedenstellend und verdeutlichen, dass das Ökosystem in Bezug auf den Nitratgehalt die gewünschte Wirkung erzielt hat. Die Destruenten sowie die Wasserpflanzen haben das Nitrat, das in den Kreislauf des Pools eingetragen wurde, schnell und effektiv entfernt, so dass kein übermässiges Algenwachstum stattfinden konnte.

Nitratgehalt nach fotometrischem Nachweis



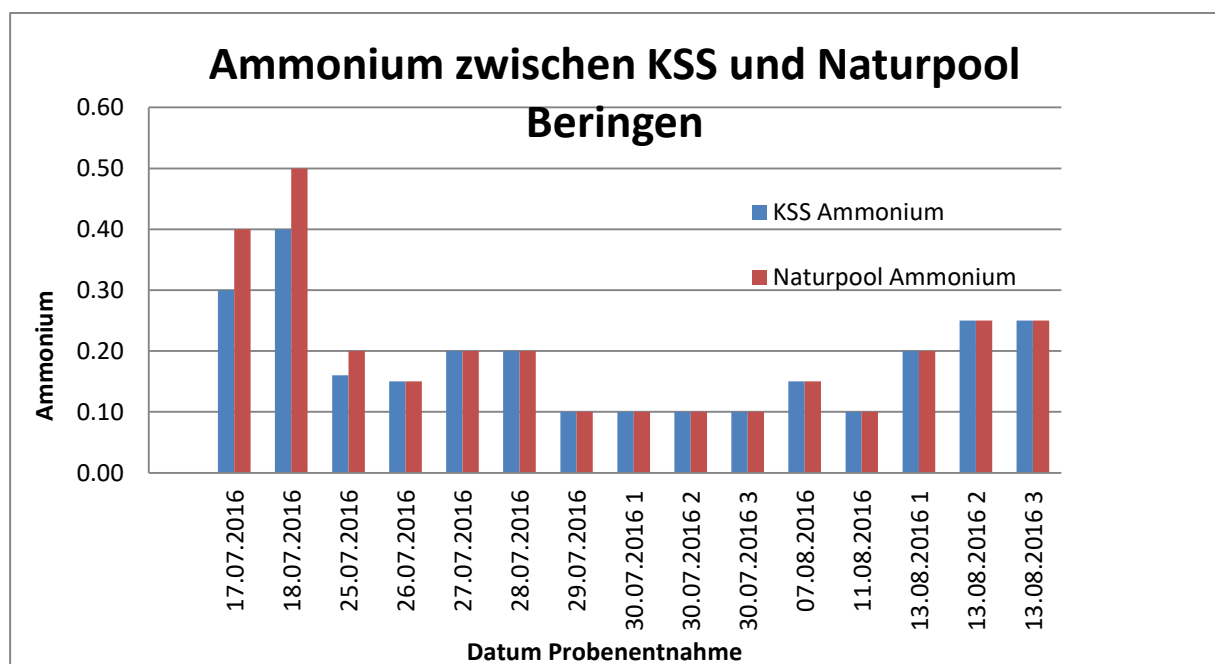
In der KSS betrug der Nitratgehalt zu Beginn der Messungen um die 20 mg/l Nitrat. Nach kleineren Schwankungen stieg er anfangs August auf einen Höchstwert von 23 mg/l. Danach sank er bis zum 13.08 sehr stark auf lediglich 11.3 mg/l. Am Abend des gleichen Tages stieg er dann jedoch wieder an auf rund 15 mg/l. Was beim Betrachten dieses Diagramms sehr stark ins Auge sticht, ist die starke Abnahme von 21 mg/l auf gut die Hälfte innerhalb von nur zwei Tagen. Für mich lässt sich dies nur schwer deuten. Es ist sehr unwahrscheinlich, dass plötzlich so viel weniger Nitrat ins Schwimmbecken gelangt ist respektive das Nitrat so viel effektiver oxidiert wurde während dieser zwei Tage. Abgesehen von dieser sehr turbulenten Phase waren die Werte jedoch relativ konstant bei etwa 20 mg/l, was ein sehr guter Wert ist.

Im Naturpool Beringen lagen die Werte, abgesehen von kleineren Schwankungen, relativ konstant bei 7 mg/l, bis die Werte zwischen dem 30.07 und 07.08 verhältnismässig stark auf knapp 17 mg/l angestiegen sind. Innerhalb von den nächsten vier Tagen pendelte sich der Wert jedoch wieder bei rund 9 mg/l ein. Die Werte sind – gesamthaft gesehen – optimal. Man sieht also, dass das Nitrat von den Destruenten und den Wasserpflanzen sehr schnell aufgenommen wurde und das Bad keine starke Nitratbelastung aufwies. In der Kurve des Naturpools fallen der kurzzeitig starke Anstieg zwischen dem 30.07 und dem 07.08 und die danach sehr schnell erfolgte, starke Abnahme auf. Auffallend ist, dass es in der KSS einen ähnlichen "Ausreisser" gab, dieser jedoch erst rund 4 Tage später stattfand. Dies hängt sehr wahrscheinlich damit zusammen, dass

das sich im Boden befindende Nitrat nach Regenfällen durch Versickerung leichter in die Aufbereitungszone und danach ins Beckenwasser des Naturpools gelangen konnte als ins komplett zubetonierte Becken der KSS.

Vergleicht man nun die Werte der kolorimetrischen sowie der fotometrischen Auswertung fällt einem sofort auf, dass die Werte der kolorimetrischen Auswertung sehr viel tiefer sind. Dies hängt damit zusammen, dass die Farben der Lösungen nicht immer zu 100 Prozent mit denen der Farbkarte übereingestimmt haben. Dies hat sehr wahrscheinlich zu Abweichungen geführt. Die fotometrisch nachgewiesenen Konzentrationen sind verlässlicher. Ausserdem scheinen die erhaltenen Konzentrationen des fotometrischen Nachweises viel realistischer als die enorm tiefen Werte des kolorimetrischen Nachweises. Der auffällige "Bauch" im Diagramm des kolorimetrischen Nachweises, ist im Diagramm des fotometrischen Nachweises nicht zu erkennen.

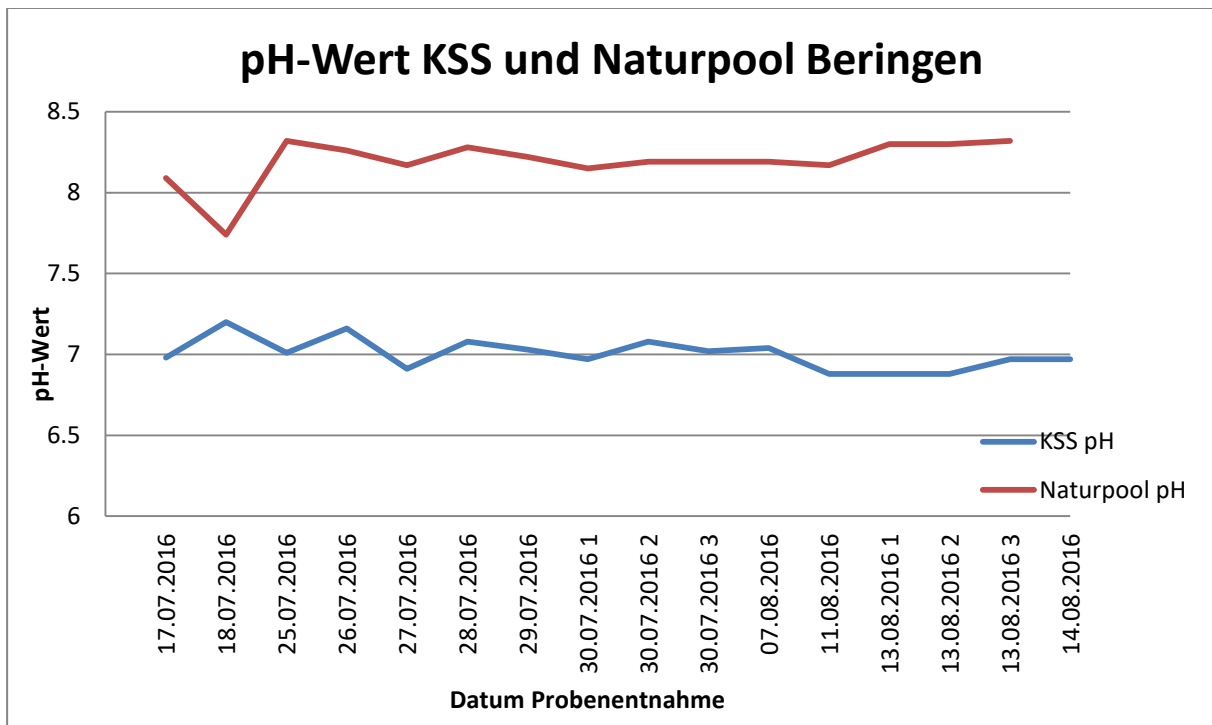
4.4.2 Ammoniumgehalt



Die Ammoniumkonzentrationen in der KSS und im Naturpool in Beringen sind bei fast allen Messungen übereinstimmend. Lediglich zu Beginn meiner Messungen wies die KSS um 0.1 mg/l niedrigere Konzentrationen auf. Beide Konzentrationen hielten sich jedoch während des ganzen Monats in einem sehr tiefen Bereich und stiegen nie über 0.5 mg/l. Dass die Ammoniumgehalte Mitte Juli höher waren als Ende Juli, erkläre ich mir folgenderweise: Durch den erhöhten Niederschlag zu Beginn und Mitte des Julis wurde auf natürliche Weise mehr Ammonium aus dem Boden ausgeschwemmt und den Becken zugeführt. Mit der Abnahme der Niederschläge im Verlaufe meiner Messungen kam auch weniger Ammonium ins Wasser. Des Weiteren traten natürliche Schwankungen der Wer-

te im Bereich von 0.1 mg/l auf, wie dies beispielsweise am 28.07 und 29.07 der Fall war. Die gemessenen Werte sind sowohl in der KSS als auch im Naturpool Beringen einwandfrei.

4.4.3 pH-Wert



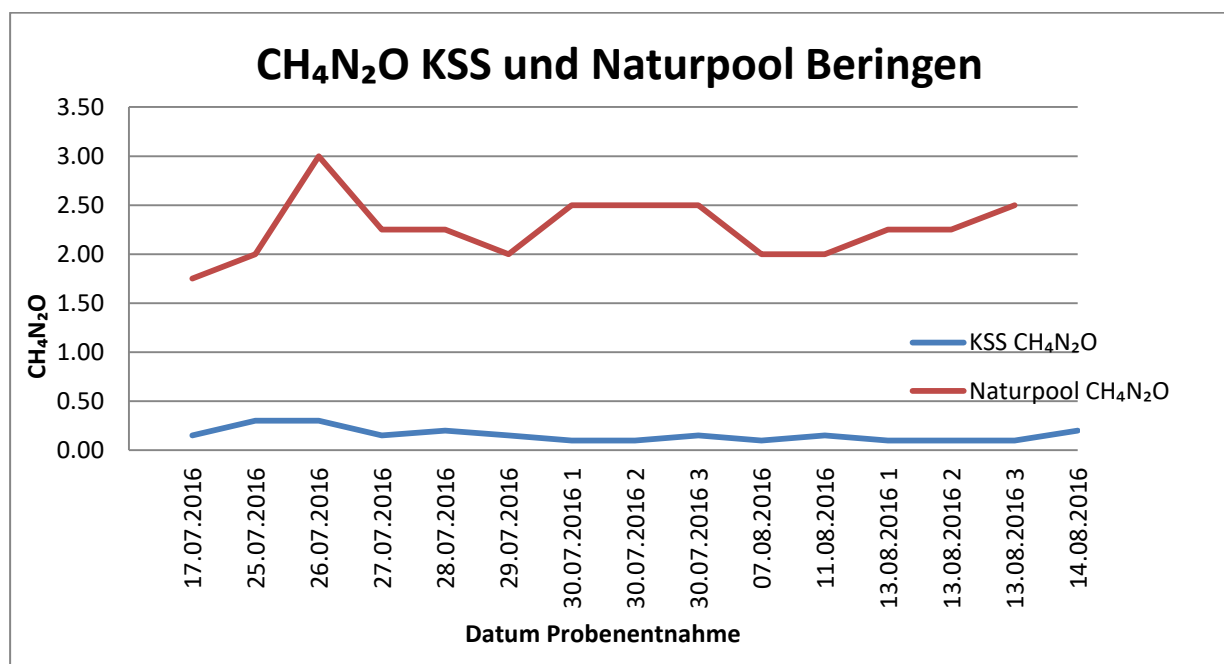
Der pH-Wert in der KSS weist keine grossen Ausreisser auf. Während des ganzen Monats, in dem gemessen wurde, ist der Wert relativ konstant geblieben und nie über 7.2 gestiegen, beziehungsweise unter 6.88 gesunken. Somit wurden die gemäss *SIA Norm 385/1* Toleranzwerte (6.8-7.6) stets eingehalten und lagen immer im optimalen Bereich um 7.0. Dies hängt vor allem damit zusammen, dass schnell Massnahmen (Chemikalienbeigabe, Zugabe von mehr Frischwasser) ergriffen werden können, sofern der pH keine optimalen Werte aufweisen sollte.

Der pH-Wert im Naturpool Beringen wies bereits am 17.07 einen relativ hohen Wert von 8.09 auf. Am nächsten Tag war er überraschenderweise mit einem Wert von "nur" 7.74 verhältnismässig gering. Die Nächte waren zu diesem Zeitpunkt sehr kalt; es gab wenige Badegäste. Sehr wahrscheinlich hängt die Abnahme des pH-Werts damit zusammen. Bei der nächsten Messung am 25.07 betrug der pH-Wert 8.32, ist also innerhalb von einer Woche stark angestiegen. Dies lässt sich durch die hohen Temperaturen und die damit verbundene Zunahme der Badegäste erklären. Die Schmutzstoffe konnten in der Aufbereitungszone nicht schnell genug absorbiert werden, wodurch sich der pH-Wert erhöht hat. In den folgenden Wochen hielt sich der pH-Wert relativ konstant auf 8.2 bis 8.3. Im Sommer gerät das Ökosystem des Naturpools bei so vielen Ba-

degästen relativ schnell aus dem Gleichgewicht. Dieses wiederzuerlangen ist schwierig, da die Anzahl an Besuchern über den gesamten Sommer hinweg hoch ist und der Schmutzstoffeintrag damit lange Zeit nicht abnimmt. Da in diesem Sommer die Nächte oft kalt waren und die Temperaturen so gut wie nie über 30°C betragen, gab es nicht so viele Badegäste wie in anderen Sommern. Dadurch konnte verhindert werden, dass das Ökosystem gänzlich aus dem Gleichgewicht geriet und das Bad für eine Zeit geschlossen respektive die Anzahl der Besucher eingeschränkt werden musste. Dies kam in jüngerer Vergangenheit in einigen Naturpools vor, da die biologische Selbstreinigung des Ökosystems aufgrund des enorm hohen Schmutzstoffeintrags nicht mehr ausreichte, um eine zufriedenstellende Wasserqualität zu gewährleisten.

Die Werte von 8.3, die dieses Jahr über längere Zeit auftraten, sind relativ stark über dem erlaubten Höchstwert von 7.6. Die hohe Differenz zum pH unserer Haut (5.5) trocknet die diese aus und reizt sie.

4.4.4 Harnstoffgehalt

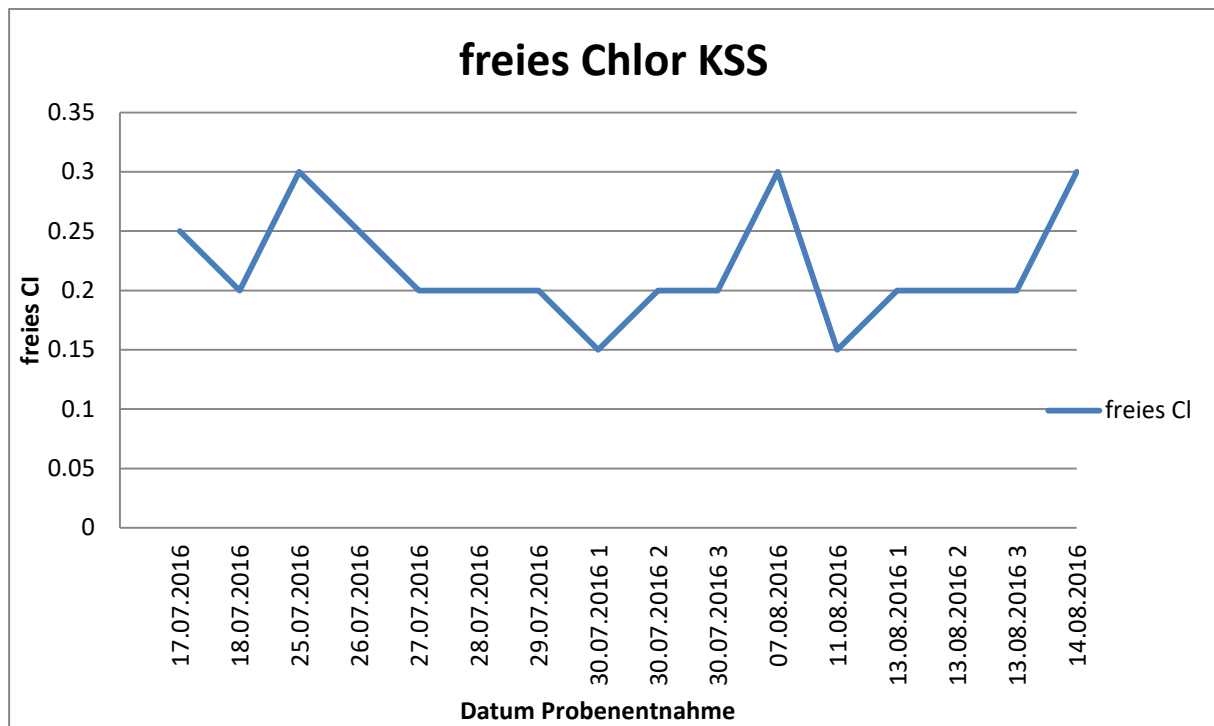


Der Harnstoffgehalt in der KSS ist schnell erklärt: Er war während des gesamten Monats sehr tief, und es gab keine erwähnenswerten Schwankungen. Der gemessene Höchstwert betrug 0.3 mg/l, was so gut wie nichts ist. Oftmals betrug der Wert lediglich 0.1 mg/l. Die gemessenen Harnstoffwerte verdeutlichen, wie effektiv und schnell die Reinigung durch das Chlor verläuft. Selbst wenn es sehr viele Badegäste gibt, kann der Harnstoffwert durch Beigabe von Chlor tief gehalten werden; es können also sehr schnell Massnahmen ergriffen werden. Zusammenfassend kann also gesagt werden, dass der Harnstoffgehalt während der ganzen Sommersaison optimal war.

Im Naturpool Beringen war das Gegenteil der Fall. Zu Beginn der Messungen war der Harnstoffgehalt mit 1.75 mg/l bereits hoch. Mit der Zunahme der Besucher im Hochsommer stieg der Wert jedoch noch stärker. Am 26.07 erreichte das Becken einen Höchstwert von 3.0 mg/l. In den nachfolgenden Tagen sank er zwar wieder bis auf 2.25 mg/l, was jedoch immer noch stark über dem erlaubten Wert von 2.0 mg/l ist. Danach stieg der Wert zwar wieder auf 2.5 mg/l an, pendelte sich dann jedoch wieder bei 2.0 mg/l ein, ehe er wieder auf 2.5 mg/l anstieg. Der Harnstoffwert unterlag gegen Ende also natürlichen Schwankungen, die mit dem Urineintrag und damit der Anzahl an Besuchern zusammenhing. Am 30.07 und 13.08 wurden jeweils drei Messungen pro Tag zu unterschiedlichen Tageszeiten durchgeführt. Dabei konnten jedoch keine grossen Unterschiede zwischen Mittag und Abend festgestellt werden. Der Harnstoffgehalt war gegen Abend tendenziell höher. Dies jedoch in einem Grössenbereich, der schwierig nachzuweisen war. Während des ganzen Monats konnte der Harnstoffgehalt nicht mehr unter 2.0 mg/l sinken. Oftmals betrug die Konzentration gar 2.5 bis 3.0 mg/l. Sobald es also mehr Besucher im Naturpool gibt, entstehen Probleme in Bezug auf die Wasserqualität.

Der aufgrund der höheren Besucherzahl vermehrt auftretende Harnstoff konnte von den Destruenten nicht schnell genug zurückgehalten und aus dem Kreislauf entfernt werden, so dass während des ganzen Sommers zu hohe Harnstoffkonzentrationen auftraten. Das Ökosystem reagiert viel langsamer auf solch starke Veränderungen und hat deshalb Probleme, diese zu beseitigen. Wie auch beim pH-Wert läuft man in einem heissen Sommer Gefahr, dass die Werte so hoch werden, dass das Bad für eine Zeit geschlossen beziehungsweise die Besucherzahl eingeschränkt werden muss. Glücklicherweise war dies in diesem Sommer nicht der Fall, da es nicht so warm war und einige Male regnete, weshalb weniger Besucher als in früheren Jahren das Bad aufsuchten.

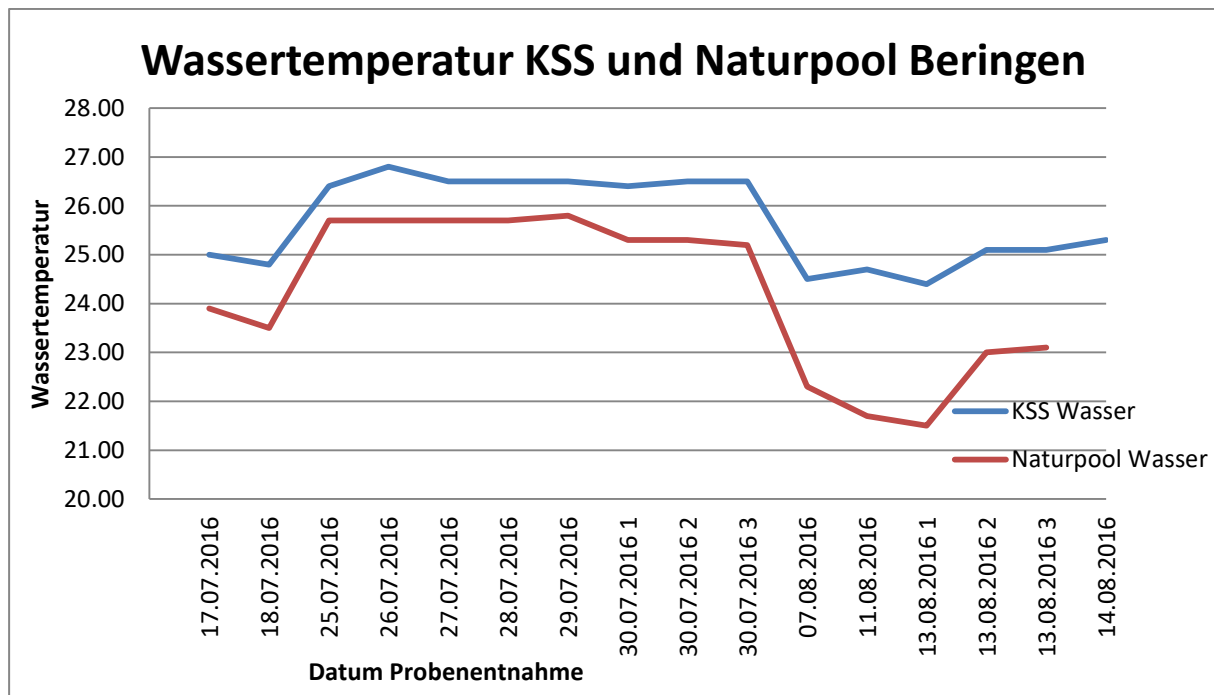
4.4.5 Gehalt an freiem Chlor



In der KSS war der Gehalt an freiem Chlor relativ konstant und überschreitet den erlaubten Toleranzwert von maximal 0.8 mg/l niemals. Der gemessene Höchstwert beträgt lediglich 0.3 mg/l, was optimal ist. An einigen Tagen kam es vor, dass sich im Beckenwasser lediglich um die 0.15 mg/l freies Chlor im Wasser befand. Dieser Wert liegt knapp unter dem erlaubten Mindestwert von 0.2 mg/l, der erforderlich ist, damit auch wirklich alle Keime im Beckenwasser getötet und alle Schmutzstoffe oxidiert werden. Die Konzentration an freiem Chlor betrug jedoch fast immer mindestens 0.2 mg/l und war somit während der gesamten Messungen in einem guten bis sehr guten Bereich.

Im Naturpool Beringen konnte – wie erwartet und entsprechend den Bestimmungen – kein Chlor nachgewiesen werden.

4.4.6 Wassertemperatur



Die Wassertemperatur in der KSS betrug Mitte Juli um die 25 Grad Celsius. Die für diese Jahreszeit verhältnismässig tiefe Wassertemperatur kam aufgrund der kalten Nächte und der Regenfälle zustande. In der zweiten Woche meiner Messungen waren die Temperaturen allerdings bereits einiges höher. Dies hing mit den sehr warmen Aussentemperaturen zusammen, die das Becken zunehmend aufwärmten. Die Temperatur hielt sich dann während einer Woche auf 26 bis 27 Grad Celsius, bis sie anfangs August um etwa 2 Grad Celsius abnahm und sich bis zum Ende meiner Messungen in einem Bereich von rund 25 Grad Celsius hielt. Solche Schwankungen treten im Sommer oft auf und sind nicht weiter schlimm. Die Temperatur betrug nie über 27 Grad Celsius, was für ein Freibad im Sommer sehr gut ist, da zu hohe Temperaturen das Auftreten von Keimen zusätzlich fördern können.

Im Naturpool traten exakt die gleichen Schwankungen auf. Der einzige Unterschied ist, dass die Temperatur im Naturpool stets rund 1 bis 2 Grad Celsius tiefer war als in der KSS. Dies bedeutet, dass sich das Becken in der KSS schneller erwärmt beziehungsweise stärker abkühlt, obwohl die Aussentemperaturen in Schaffhausen und Beringen stets gleich hoch waren als der Naturpool. Dies kann aus verschiedensten Gründen der Fall sein. Zusammenfassend kann auch hier gesagt werden, dass die Wassertemperatur während des ganzen Monats gute Werte aufwies, an denen es nicht auszusetzen gab.

5. Fazit

Die vorstehenden Ausführungen und Messungen haben klar gezeigt, dass ein Naturpool nicht in allen massgebenden Bereichen die gleiche Wasserqualität erzielen kann wie ein konventionelles Schwimmbad.

Ein Naturpool wie in Beringen ist zwar eine Innovation im Schwimmbadbereich. Gleichwohl erreicht er nicht die gleiche Wasserqualität wie ein konventionelles Schwimmbad, in meinem Fall die KSS. Die Ammonium-, die Nitratkonzentrationen und die Wassertemperatur waren zwar bei beiden Bädern sehr befriedigend. Grosse Mängel beim Naturpool zeigten sich aber beim pH-Wert sowie beim Harnstoffgehalt, die selbst bei schlechter Witterung und tieferer Besucherzahl stark über den erlaubten Toleranzwerten lagen. Steigen die Temperaturen im Sommer und somit die Besucherzahlen, gelangt das Ökosystem in der Aufbereitungszone des Pools relativ schnell aus dem biologischen Gleichgewicht. Wenn dies passiert, benötigt das System zu lange, um wieder ins Gleichgewicht zu gelangen. Dies hat zur Folge, dass die Schmutzstoffe nicht mehr effektiv entfernt werden können und die Wasserqualität nicht mehr den Normanforderungen entspricht. Demgegenüber kann die KSS als konventionelles Schwimmbad durch die Beigabe von Chemikalien sehr schnell die Qualität des Wassers positiv beeinflussen. Sämtliche gemessenen Werte bei der KSS genügten selbst bei hohen Besucherzahlen den Normanforderungen.

Aus dem Gesagten erscheint mir der Naturpool bezüglich Wasserqualität als weniger geeignet für ein stark frequentiertes öffentliches Schwimmbad. Der Naturpool ist demgegenüber für private Schwimmbäder mit nicht hohen Benutzungswerten eine gute Alternative zum konventionellen Schwimmbad.

6. Danksagung

Ich möchte mich ganz herzlich bei Herrn Steiger bedanken, der mich stets tatkräftig unterstützt hat, sei dies im Labor oder bei Fragen bezüglich der Theorie zu meinem Thema. Zudem hat er mich in schwierigen Momenten motiviert.

Meiner Familie, allen voran meinen Eltern, Grosseltern und meinen Freunden möchte ich den Dank dafür aussprechen, mich in jeder Situation unterstützt und mir zur Seite gestanden zu haben.

Herzlich bedanke ich mich bei Manfred Schmid, dem Betriebsleiter der KSS und Beat Schwaller, dem Bademeister des Naturpools in Beringen, für ihre Informationen, die Zeit, die sie sich für mich genommen haben, und die Erlaubnis, in den jeweiligen Bädern Messungen durchführen zu können.

7. Literaturverzeichnis

7.1 Literaturquellen

- SIA Norm 385/1 (2000). Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein. Zürich.
- SIA-Norm 385/9 (2011). Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein. Zürich.
- Szunyogh, F. (2014) Chlor im Schwimmbadwasser. Schaffhausen.
- Wilhelm, S. (2007). Wasseraufbereitung. Springer, Trier.

7.2 Internetquellen

- Bauer, Hübl (2002). Zur Geschichte der Fotometrie. http://www.med4you.at/laborbefunde/geschichte/photometrie/lbef_geschichte_photometrie.htm#Kolorimetrie. (15.11.16).
- Heinrich, C. (2011). Gift im Becken. <http://www.zeit.de/zeit-wissen/2011/02/Gefahren-im-Schwimmbad> (16.10.16).
- Kindt, M. (2012). Nitrat, Nitrit, Nitrosamine: Alles Wurscht? <http://www.inform24.de/nitro.html>. (13.11.16).
- Nauber, T. (2015). Urin im Chlor verursacht rote Augen beim Baden. <https://www.welt.de/gesundheit/article143144236/Urin-im-Chlor-verursacht-rote-Augen-beim-Baden.html>. (16.10.16).
- Onmeda-Redaktion. (2013). <http://www.onmeda.de/laborwerte/urinwerte-zusammensetzung-4457-5.html>. (17.11.16).
- Planer, M. (2013). Wissenswert. Wie schädlich ist Chlorwasser? <http://www.pflichtlektuere.com/19/07/2013/wissenswert-wie-schaedlich-ist-chlorwasser> (15.10.16).
- Riedel, C. (2013). Vorsicht im Schwimmbad – Schadet Chlor der Haut. <http://www.netzathleten.de/lifestyle/body-soul/item/3672-vorsicht-im-schwimmbad-schadet-chlor-der-haut> (15.10.16).
- Scheen, J. Was die Welt im Innersten zusammenhält – oder wodurch wird das Wasser im Teich wieder sauber? http://www.biofilmreaktor.com/tl_files/biofilmreaktor1/files/public/downloads/Was%20die%20Welt%20im%20Innersten%20zusammenhaelt%20-%20Text%20Magazin%20Aug%202015.pdf (6.11.16).
- Wunder, M. http://pooldoktor.at/wasserpflege_infos_grundlagen.htm. (17.11.16)

- <http://www.hydrogroup.de/einsatzbereiche/wasseraufbereitung/ozonung.html> (25.10.16).
- <http://www.mn-net.com/StartpageWaterAnalysisTesting/VISOCOLOR/VISOCOLORalpha/VISOCOLORalphaAmmonium/tabid/5031/language/de-DE/Default.aspx>. (15.11.16)
- <http://www.mn-net.com/StartpageWaterAnalysisTesting/VISOCOLOR/VISOCOLORalpha/VISOCOLORalphaNitrate/tabid/5035/language/de-DE/Default.aspx> (15.11.16).
- http://www.naturerlebnisbad.de/basiswissen_kommunale_freibaeder%20-%20Kopie.htm (2.11.16).
- <http://www.naturpools.de/ratgeber-wasseraufbereitung/wasserreinigung-im-schwimmteich> (2.11.16).
- (2004). Das Ozon verschwindet aus dem Hallenbad.
<http://www.nzz.ch/article9CWBH-1.205918> (25.10.16).
- <https://www.schwimmbad.de/ratgeber-pool/pool-wasserkreislauf-rundum-reinigung> (11.10.16).
- <http://www.schwimmteich.com/wasserchemie-kalk-kohlensaure-gleichgewicht> (6.11.16).
- <http://www.swhs.de/sites/default/files/PDF/Wasserpflege.pdf> (13.10.16).
- <https://www.rielasingen-worblingen.de/de/Tourismus+Freizeit/Naturbad-Aachtal/Naturbad,-wie-funktioniert-das> (13.10.16).
- <http://www.uni-protokolle.de/foren/viewt/115004,0.html> (12.08.16).
- <http://www.wasser-wissen.de/abwasserlexikon/a/ammonium.htm> (15.11.16)
- <https://de.wikipedia.org/wiki/Aktivkohlefilter> bearbeitet (07.09.16).
- <https://de.wikipedia.org/wiki/Badewasseraufbereitung> bearbeitet (09.08.16).
- <https://de.wikipedia.org/wiki/Natriumhypochlorit> bearbeitet (06.09.16).
- <https://de.wikipedia.org/wiki/Schwimmteich#Naturpool> bearbeitet (25.07.16)
- <https://de.wikipedia.org/wiki/Thermoelement> bearbeitet (25.10.16)

7.3 Abbildungsverzeichnis

- Bilder Deckblatt:
http://www.radiomunot.ch/sites/default/files/styles/zoom/public/news/kss_vorbereitungen_auf_schwimm_schweizermeisterschaften.jpg
- http://www.radiomunot.ch/sites/default/files/styles/zoom/public/news/neue_badi_in_beringen_mit_natuerlicher_wasseraufbereitung.jpg
- Bild Seite 3: <http://archiv.aktuelle-wochenschau.de/2005/woche24/woche24.html>
- Bild Seite 22: http://www.ehlert-partner.de/BILDER/MN_VisoSchool3.jpg

Anhang

Tabellen

Sofern in den folgenden Tabellen einzelne Lücken vorhanden sind, wurde zu diesem Zeitpunkt kein Wert gemessen oder der erhaltene Wert war nicht sinnvoll.

Nitratgehalt nach kolorimetrischem Nachweis

| Nitrat nach kolorimetrischem Nachweis | | | |
|---------------------------------------|-------|-------|-----------|
| Datum | Zeit | KSS | Naturpool |
| | | | |
| 17.07.2016 | 13:15 | 10.00 | 5.00 |
| 18.07.2016 | 14:45 | 10.00 | 5.00 |
| 25.07.2016 | 14:55 | 10.00 | 4.00 |
| 26.07.2016 | 13:30 | 5.00 | 2.50 |
| 27.07.2016 | 14:25 | 7.00 | 2.00 |
| 28.07.2016 | 16:00 | 5.00 | 1.00 |
| 29.07.2016 | 15:00 | 4.00 | 1.00 |
| 30.07.2016 | 13:30 | 5.00 | 2.00 |
| 30.07.2016 | 15:30 | 5.00 | 2.00 |
| 30.07.2016 | 17:15 | 6.00 | 2.00 |
| 07.08.2016 | 15:30 | 7.50 | 5.00 |
| 11.08.2016 | 15:30 | 10.00 | 5.00 |
| 13.08.2016 | 13:55 | 10.00 | 5.00 |
| 13.08.2016 | 16:00 | 10.00 | 5.00 |
| 13.08.2016 | 18:10 | 10.00 | 5.00 |

Der Nitratgehalt ist in mg/l angegeben.

Nitratgehalt nach fotometrischem Nachweis

| Nitrat nach fotometrischem Nachweis | | | | | | | |
|-------------------------------------|-------|------------|-----------|-------|-------------|----------|----------------|
| Datum | Zeit | E Stamm B' | E Stamm C | E KSS | E Naturpool | Konz KSS | Konz Naturpool |
| | | | | | | | |
| 17.07.2016 | 13:15 | 0.719 | 0.165 | 0.233 | 0.109 | 19.2 | 7.7 |
| 18.07.2016 | 14:45 | 0.719 | 0.165 | 0.238 | 0.111 | 19.7 | 7.9 |
| 25.07.2016 | 14:55 | 0.719 | 0.162 | 0.226 | 0.106 | 18.8 | 7.7 |
| 26.07.2016 | 13:30 | 0.719 | 0.162 | 0.252 | 0.106 | 21.2 | 7.7 |
| 27.07.2016 | 14:25 | 0.719 | 0.165 | 0.233 | 0.106 | 19.2 | 7.4 |
| 28.07.2016 | 16:00 | 0.719 | 0.165 | 0.239 | 0.108 | 19.8 | 7.6 |
| 29.07.2016 | 15:00 | 0.719 | 0.161 | 0.214 | 0.132 | 17.8 | 10.2 |
| 30.07.2016 | 13:30 | 0.719 | 0.16 | 0.249 | 0.109 | 21.0 | 8.1 |
| 30.07.2016 | 15:30 | 0.719 | 0.16 | 0.251 | 0.109 | 21.2 | 8.1 |
| 30.07.2016 | 17:15 | 0.719 | 0.16 | 0.251 | 0.112 | 21.2 | 8.36 |
| 07.08.2016 | 15:30 | 0.719 | 0.17 | 0.259 | 0.210 | 21.4 | 16.8 |
| 11.08.2016 | 15:30 | 0.719 | 0.17 | 0.277 | 0.134 | 23.1 | 9.7 |
| 13.08.2016 | 13:55 | 0.719 | 0.16 | 0.146 | | 11.3 | |
| 13.08.2016 | 16:00 | 0.719 | 0.16 | | | | |
| 13.08.2016 | 18:10 | 0.719 | 0.16 | 0.186 | | 15.0 | |

Die Konzentrationen sind in mg/l angegeben. Stamm B', Stamm C und „E“ sind die erhaltenen Extinktionswerte der Stammlösungen bzw. der Wasserprobe.

Ammoniumgehalt nach kolorimetrischem Nachweis

| Ammonium nach kolorim. Nachweis | | | |
|---------------------------------|-------|----------|-----------|
| Datum | Zeit | KSS | Naturpool |
| | | | |
| 17.07.2016 | 13:15 | 0.30 | 0.40 |
| 18.07.2016 | 14:45 | 0.3-0.4 | 0.50 |
| 25.07.2016 | 14:55 | 0.15 | 0.20 |
| 26.07.2016 | 13:30 | 0.15 | 0.15 |
| 27.07.2016 | 14:25 | 0.20 | 0.20 |
| 28.07.2016 | 16:00 | 0.20 | 0.20 |
| 29.07.2016 | 15:00 | 0.10 | 0.10 |
| 30.07.2016 | 13:30 | 0.10 | 0.10 |
| 30.07.2016 | 15:30 | 0.10 | 0.10 |
| 30.07.2016 | 17:15 | 0.10 | 0.10 |
| 07.08.2016 | 15:30 | 0.15 | 0.15 |
| 11.08.2016 | 15:30 | 0.10 | 0.10 |
| 13.08.2016 | 13:55 | 0.20 | 0.20 |
| 13.08.2016 | 16:00 | 0.2-0.25 | 0.2-0.25 |
| 13.08.2016 | 18:10 | 0.25 | 0.25 |

Die Konzentrationen sind in mg/l angegeben.

pH-Wert

| pH-Wert | | | |
|------------|-------|------|-----------|
| Datum | Zeit | KSS | Naturpool |
| 17.07.2016 | 13:15 | 6.98 | 8.09 |
| 18.07.2016 | 14:45 | 7.2 | 7.74 |
| 25.07.2016 | 14:55 | 7.01 | 8.32 |
| 26.07.2016 | 13:30 | 7.16 | 8.26 |
| 27.07.2016 | 14:25 | 6.91 | 8.17 |
| 28.07.2016 | 16:00 | 7.08 | 8.28 |
| 29.07.2016 | 15:00 | 7.03 | 8.22 |
| 30.07.2016 | 13:30 | 6.97 | 8.15 |
| 30.07.2016 | 15:30 | 7.08 | 8.19 |
| 30.07.2016 | 17:15 | 7.02 | 8.19 |
| 07.08.2016 | 15:30 | 7.04 | 8.19 |
| 11.08.2016 | 15:30 | 6.88 | 8.17 |
| 13.08.2016 | 13:55 | 6.88 | 8.3 |
| 13.08.2016 | 16:00 | 6.88 | 8.3 |
| 13.08.2016 | 18:10 | 6.97 | 8.32 |
| 14.08.2016 | 17:55 | 6.97 | |

Harnstoffgehalt

| Harnstoffgehalt | | | |
|-----------------|-------|------|-----------|
| Datum | Zeit | KSS | Naturpool |
| 17.07.2016 | 13:15 | 0.15 | 1.75 |
| 25.07.2016 | 14:55 | 0.30 | 2.00 |
| 26.07.2016 | 13:30 | 0.15 | 3.00 |
| 27.07.2016 | 14:25 | 0.20 | 2.25 |
| 28.07.2016 | 16:00 | 0.15 | 2.25 |
| 29.07.2016 | 15:00 | 0.10 | 2.00 |
| 30.07.2016 | 13:30 | 0.10 | 2.50 |
| 30.07.2016 | 15:30 | 0.15 | 2.50 |
| 30.07.2016 | 17:15 | 0.10 | 2.50 |
| 07.08.2016 | 15:30 | 0.15 | 2.00 |
| 11.08.2016 | 15:30 | 0.10 | 2.00 |
| 13.08.2016 | 13:55 | 0.10 | 2.25 |
| 13.08.2016 | 16:00 | 0.10 | 2.25 |
| 13.08.2016 | 18:10 | 0.20 | 2.25-2.5 |
| 14.08.2016 | 17:55 | 0.20 | |

Die Konzentrationen sind in mg/l angegeben.

Freies Chlor

| Gehalt an freiem Chlor | | |
|------------------------|------|-----------|
| Datum | KSS | Naturpool |
| 17.07.2016 | 0.25 | n.n. |
| 18.07.2016 | 0.20 | n.n. |
| 25.07.2016 | 0.30 | n.n. |
| 26.07.2016 | 0.25 | n.n. |
| 27.07.2016 | 0.20 | n.n. |
| 28.07.2016 | 0.20 | n.n. |
| 29.07.2016 | 0.20 | n.n. |
| 30.07.2016 | 0.15 | n.n. |
| 30.07.2016 | 0.20 | n.n. |
| 30.07.2016 | 0.20 | n.n. |
| 07.08.2016 | 0.30 | n.n. |
| 11.08.2016 | 0.15 | n.n. |
| 13.08.2016 | 0.20 | n.n. |
| 13.08.2016 | 0.20 | n.n. |
| 13.08.2016 | 0.20 | n.n. |
| 14.08.2016 | 0.30 | |

Die Konzentrationen sind in mg/l angegeben.
"n.n." steht für nicht nachweisbar.

Wassertemperatur

| Wassertemperatur | | |
|------------------|-------|-----------|
| Datum | KSS | Naturpool |
| 17.07.2016 | 25.00 | 23.90 |
| 18.07.2016 | 24.80 | 23.50 |
| 25.07.2016 | 26.40 | 25.70 |
| 26.07.2016 | 26.80 | 25.70 |
| 27.07.2016 | 26.50 | 25.70 |
| 28.07.2016 | 26.50 | 25.70 |
| 29.07.2016 | 26.50 | 25.80 |
| 30.07.2016 | 26.40 | 25.30 |
| 30.07.2016 | 26.50 | 25.30 |
| 30.07.2016 | 26.50 | 25.20 |
| 07.08.2016 | 24.50 | 22.30 |
| 11.08.2016 | 24.70 | 21.70 |
| 13.08.2016 | 24.40 | 21.50 |
| 13.08.2016 | 25.10 | 23.00 |
| 13.08.2016 | 25.10 | 23.10 |
| 14.08.2016 | 25.30 | |

Die Temperaturen sind in °C angegeben.

Witterung und Lufttemperatur

| Witterung und Lufttemperatur | | |
|------------------------------|-------|-------------------|
| Datum | Zeit | KSS und Naturpool |
| 17.07.2016 | 13:15 | bewölkt/27 |
| 18.07.2016 | 14:45 | sonnig/26 |
| 25.07.2016 | 14:55 | bewölkt/ 26 |
| 26.07.2016 | 13:30 | sonnig28 |
| 27.07.2016 | 14:25 | stark bewölkt/24 |
| 28.07.2016 | 16:00 | leicht bewölkt/26 |
| 29.07.2016 | 15:00 | sonnig/25.5 |
| 30.07.2016 | 13:30 | sonnig/29 |
| 30.07.2016 | 15:30 | sonnig/29 |
| 30.07.2016 | 17:15 | sonnig/29 |
| 07.08.2016 | 15:30 | Regen/18 |
| 11.08.2016 | 15:30 | stark bewölkt/19 |
| 13.08.2016 | 13:55 | sonnig/25 |
| 13.08.2016 | 16:00 | sonnig/27 |
| 13.08.2016 | 18:10 | sonnig/25.5 |
| 14.08.2016 | 17:55 | sonnig/27 |

Die Temperaturen sind in °C angegeben.

Redlichkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, meine Maturaarbeit selbstständig verfasst und nur erlaubte Hilfsmittel eingesetzt zu haben. Ich habe nur die in der Arbeit angegebenen Quellen verwendet und diese als solche kenntlich gemacht.

Ort, Datum:

Unterschrift: