

NoMix-Toilettensystem

Erste Monitoringergebnisse im Forum Chriesbach

Installations NoMix

Forum Chriesbach: premiers résultats du monitoring

Le «Forum Chriesbach», nouveau bâtiment principal de l'Eawag, est en service depuis trois ans. Il est équipé de toilettes NoMix, un système dont le fonctionnement est surveillé de manière professionnelle. Jusqu'ici, ni les toilettes, ni les conduites d'évacuation n'ont été engorgées. Seules quelques rares obstructions se sont produites à la hauteur du siphon de la tuyauterie d'évacuation des urines, mais ce problème a été rapidement éliminé en modifiant le siphon. Pratiquement aucun problème d'odeur n'a été constaté à l'intérieur du bâtiment. À l'extérieur, la dégazéification de l'ammoniac induite par la ventilation des conduits d'urine a engendré des émissions d'odeur sur le toit. Actuellement, le principal point faible du système NoMix réside chez l'utilisateur, qui doit être instruit de manière circonstanciée pour opérer correctement la séparation des urines et des matières fécales.

NoMix Toilet System

First Monitoring Results

The NoMix toilet system of Eawag's main building «Forum Chriesbach» has been in operation for three years. So far, NoMix toilets, waterless urinals and urine pipes do not show any clogging problems. Clogging was only observed in the siphons of some of the urinals. Due to the simple handling of exchanging the siphons, the problems could be solved easily. Toilets and urinals did not cause odour problems inside the building. However, outside the building (on the roof), odour problems occurred. The cause is ammonia gas emissions from the urine pipes. At the moment, the most important remaining problem for an efficient separation of urine and feces is the correct use of the NoMix toilets by non-acquainted users. New users have to be informed accordingly. A close collaboration with the maintenance service provider proved to be a critical factor for an optimal operation of the NoMix toilet system.

Patrice Goosse



Seit drei Jahren wird das NoMix-Toilettensystem im neuen Hauptgebäude der Eawag «Forum Chriesbach» professionell überwacht und betreut. Bisher sind keine Verstopfungen der NoMix-WCs und der Leitungen eingetreten. Bei den Urinalen gab es nur wenige Verstopfungen in den Siphons. Toiletten und Urinale verursachten kaum Geruchsprobleme im Gebäudeinnern. Geruchsprobleme traten aber auf dem Dach auf, bedingt durch die Ausgasung von Ammoniak bei der Entlüftung der Urinleitungen. Die bedeutendste Schwachstelle ist derzeit die Separierung von Urin und Fäkalien im NoMix-WC. Da nur bei richtiger Benutzung die Separierung zufriedenstellend funktioniert, sind die Benutzer von NoMix-Toilettensystemen entsprechend zu informieren. Die enge Zusammenarbeit mit den Unterhaltsdiensten war ein wesentlicher Faktor für den erfolgreichen Betrieb des NoMix-Toilettensystems.

1. Einleitung

Der Hauptteil der Nährstoffe wie *Stickstoff* und *Phosphor* gelangt über den Urin in die Kläranlage. Insgesamt stammen 80–90 % des Stickstoffs und 40–50 % des Phosphors im Abwasser aus dem Urin [1]. Mit der *Urinseparierung* kann somit ein wesentlicher Teil dieser Nährstoffe abgetrennt werden. Neben der Entlastung von Kläranlagen ermöglicht die Urinseparierung die Aufbereitung der im Urin enthaltenen Nährstoffe zu *Dünger* für die Landwirtschaft. Dies ist vor allem für Phosphor wichtig, dessen natürliche Ressourcen zunehmend limitiert sind. Aussichtsreiche Verfahren zur Herstellung von Pflanzendünger aus gesammeltem Urin stehen bereits heute zur Verfügung oder sind in Entwicklung [1, 2].

Sanitärsysteme, welche den Urin von WCs und Urinalen getrennt ableiten oder sogar speichern, wurden während der letzten Jahre immer häufiger in Gebäuden eingesetzt. Solche Systeme haben *Pioniercharakter*; denn nicht alle Fragen bezüglich Betriebsstabilität, Geruchsemissionen und Benutzerfreundlichkeit sind derzeit geklärt.

Aus diesem Grund wird beim NoMix-Toilettensystem des Forums Chriesbach der Eawag seit drei Jahren ein *Monitoring* durchgeführt, welches helfen soll, die Erfahrungslücken zu schliessen. Das NoMix-Toilettensystem wurde bereits bei der Planung des Neubaus berücksichtigt und gebaut. Der abgetrennte Urin wird zurzeit für *Forschungszwecke* gesammelt, eine Nährstoffrückgewinnung ist für einen späteren Zeitpunkt vorgesehen. Um eine Urinverdünnung möglichst zu vermeiden, wurden NoMix-WCs eingebaut, bei denen das Spülwasser bei richtiger Benutzung vollständig aus dem Urinablauf ferngehalten wird. Neben NoMix-WCs sind auch wasserlose Urinale installiert. Der Urin wird in zwei *Sammeltanks* geleitet, einen für Herrenurin und einen für den Urin aus den Damen- und Invalidentoiletten.

In NoMix-Toilettensystemen treten häufig *Verstopfungen* in den Leitungen und in den Toiletten selbst auf, die durch unterschiedliche *Ablagerungen* verursacht werden. Diese Ablagerungen können harter, *kristalliner* Art sein, aber auch weiche, *pastöse* Ausprägungen sind möglich. Während die kristallinen Ablagerungen aus Struvit, Hydroxylapatit oder Kalzit bestehen, ist die Zusammensetzung der eher weichen Ablagerungen nicht genau definiert [3]. Verstopfungen bedeuten letztlich einen erhöhten Wartungsaufwand und somit erhöhte Unterhaltskosten. Gleichzeitig können Ver-

stopfungen neben Geruchsemissionen zu einer verminderten Akzeptanz bei den Benutzerinnen und Benutzern führen und somit der Verbreitung der NoMix-Technologie zuwiderlaufen.

NoMix-Systeme in der Grössenordnung des Forums Chriesbach sind heute selten. Entsprechend spärlich sind Informationen über die notwendigen Reinigungs- und Unterhaltsarbeiten für einen problemlosen Betrieb. Diese Informationen sind jedoch wichtig, wenn diese Technologie in der Praxis verbreitet werden soll. Im Forum Chriesbach sind alle *Komponenten* der Urinseparierung installiert: NoMix-WCs, unterschiedliche wasserlose Urinale, separate Urinleitungen und Urinsammeltanks. Die Benutzungsfrequenz der NoMix-WCs und der Urinale wird aufgezeichnet, ebenso der Füllstand in den beiden Urintanks. Dieses gut definierte System und die kontinuierliche Datenerfassung erlauben es, Grundlagen für den Unterhalt, den Betrieb und die Dimensionierung von NoMix-Systemen zu erstellen.

2. Systemkomponenten

NoMix-WCs

Das Forum Chriesbach verfügt über 150 Büroplätze. Insgesamt sind 37 NoMix-WCs auf mehreren Gebäudestockwerken installiert: 19 für Damen, 12 für Herren und 6 für Invaliden. Diese WCs sind urinseparierende Wasserklosetts. Die Toilette ist durch eine Öffnung im vorderen Teil der Schüssel gekennzeichnet (*Abb. 1*). Diese Öffnung dient der Ableitung des Urins und ist mit einem Verschluss versehen, der sich öffnet, sobald sich jemand auf die Toilettenbrille setzt. Erhebt sich der Benutzer, um zu spülen, schliesst sich der Verschluss, damit kein Spülwasser in die *separate*

Urinleitung gelangt. Papier oder Fäkalien werden wahlweise mit einer Spülwassermenge von drei oder sechs Litern in den hinteren Ablauf der Toiletten gespült. Im nachfolgenden Text werden diese beiden Spülarten entsprechend als «kleine» und «grosse» Spülung bezeichnet.

Urinale

Bei den sieben wasserlosen Urinalen wurden die Modelle von *fünf Firmen* berücksichtigt. Somit besteht prinzipiell die Möglichkeit, Erfahrungen mit verschiedenen Urinaltypen hinsichtlich Wartungsaufwand, Benutzerfreundlichkeit und Akzeptanz zu sammeln. Allerdings sind direkte Vergleiche schwierig, da die Benutzerfrequenzen unterschiedlich sind.

Die Urinale unterscheiden sich abgesehen vom verwendeten Material vor allem beim System für den *Geruchsverschluss*: Zwei Hersteller verwenden eine biologisch abbaubare *Sperrflüssigkeit*, deren spezifisches Gewicht geringer ist als das von Urin. Der Urin durchfliesst bei diesem System bei jeder Benutzung die Sperrflüssigkeit und wird über den Siphon ins Leitungssystem abgeleitet. Die Sperrflüssigkeit wirkt als «flüssiger» Deckel, der Geruchsemissionen verhindert. Bei anderen Modellen wird zur Unterdrückung von Geruchsemissionen eine *Membran* verwendet, die nur den



Abb. 1 NoMix-WC im Forum Chriesbach. Punkt 1 zeigt den für das Öffnen und Schliessen des Urinablaufventils verantwortlichen Auslösemechanismus. Punkt 2 zeigt den separaten Urinablaufbereich. (Foto: wst21)

Urin passieren lässt und sich anschliessend selbsttätig verschliesst. Bei einem weiteren System wird ein *Gefäss* eingesetzt, das einem Erlenmeyerkolben ähnlich ist und somit den Gasaustausch minimiert. Zusätzlich ist bei diesem System noch ein *Duftstein* integriert, mit dem der Urin nicht in Kontakt gerät. Auch gibt es ein *elektromechanisches System*. Der Verschluss enthält einen magnetischen Schwimmer, der mit Hilfe einer Annäherungselektronik während der Urinalbenutzung abgesenkt wird. Dieses Urinal benötigt einen Stromanschluss. Die unterschiedlichen Urinaltypen sind in *Tabelle 1* beschrieben.

Leitungen

Das Leitungssystem besteht aus *drei getrennten Leitungen*: eine für die Urinale, eine für die Herren-NoMix-Toiletten sowie eine für die Damen- und Invaliden-NoMix-Toiletten. Beim Bau des Forums Chriesbach wurde, um *Verstopfungen* im Urinleitungssystem vorzubeugen, darauf geachtet, dass ein möglichst grosser *Leitungsdurchmesser* (min. 65 mm) verwendet wurde. Ebenso wurde bei allen Leitungen ein *Mindestgefälle* von 2,6% eingehalten. Um die Ansammlung von Ablagerungen feststellen und beobachten zu können, wurden an mehreren Stellen im Gebäude *Sichtleitungen* eingebaut. Alle drei Urinleitungen werden separat über das Dach entlüftet. Dieses System wurde von Steigleitungen in konventionellen Toilettenanlagen übernommen, bei denen die Dachöffnung den Druckausgleich während der Wasserspülung ermöglicht und dafür sorgt, dass keine in den Leitungen gebildeten Gase ins Gebäudeinnere gelangen können. Bei Urinleitungen ist dieser Druckausgleich theoretisch nicht nötig, weil die Leitungen nicht gespült werden. Zur Entnahme von Urinproben wurden im Erdgeschoss *Probenahmestellen* installiert. Diese ermöglichen es, frischen Urin separat aus den drei Leitungen zu entnehmen.

Sammeltanks

Für die Sammlung des Urins stehen im Keller des Forums Chriesbach zwei 1 m³ grosse Tanks zur Verfügung. Der Urin wird getrennt nach Herren und Damen (plus Invaliden) gesammelt. Der Urin der beiden Urinale im Stockwerk A wird aus baulichen Gründen direkt in die Kanalisation geleitet. Die durchschnittliche Aufenthaltszeit des Urins im Herrentank beträgt 42 Tage, im Minimum 37 und im Maximum 47 Tage. Im Damen(+Invaliden)tank ist

Einbauort	Geruchsverschluss-system	Material	Anmerkung
Stockwerk A	Membranverschluss ²	Keramik	Stromlos
Stockwerk B	Siphon mit Sperrflüssigkeit	GFK ¹	Stromlos
Stockwerke C + E	Siphon mit integriertem Duftstein	Keramik	Stromlos
Stockwerk D	Siphon mit Sperrflüssigkeit	GFK ¹	Stromlos
Stockwerk F	Elektromechanischer Verschluss	Spritzgusskunststoff	Stromanschluss erforderlich

Tab. 1 Beschreibung der installierten wasserlosen Urinale im Forum Chriesbach.

¹ GFK: Glasfaserverstärkter Kunststoff.

² Am Anfang des Monitorings waren die beiden Urinale mit einem Siphon mit Sperrflüssigkeit ausgestattet.

die durchschnittliche Aufenthaltszeit 27, minimal 22 und maximal 32 Tage. Die Eawag nutzt einen Teil des Urins, um neue Verfahren zur Nährstoffrückgewinnung und -entfernung zu entwickeln. Der restliche Urin wird zur Kläranlage gepumpt. Um Nährstoffpeaks auf der Kläranlage gering zu halten, werden nach Erreichen eines kritischen Füllstands pro Entleerung im Durchschnitt nur 160 l abgepumpt. Beide Urintanks verfügen über drei Probenahmestellen auf verschiedenen Höhen.

Dachwasseranlage

Zur Spülung der NoMix-WCs wird im Forum Chriesbach *Regenwasser* verwendet. Das Regenwasser wird auf dem extensiv begrünten Dach gesammelt und in ein ausserhalb des Gebäudes liegendes Speicherbecken geleitet. Von dort wird das Regenwasser bei Bedarf in einen *Zwischenspeicher* im Gebäudeinneren gepumpt. Vor der Einspeisung in den Zwischenspeicher wird das Dachwasser mit Hilfe eines Textilfilters gereinigt. Die Filtration dient der Vorbeugung von Verstopfungen und Ablagerungen in den Leitungen. Um die *Filteranlage* nicht zusätzlich zu belasten und die Verfärbung des Wassers zu minimieren, wurde das Substrat auf dem Dach

ohne Ton- und Kalkbestandteile ausgeführt. Die Betonfundamente der Solaranlage auf dem Dach wurden deswegen in einem kunststoffvergüteten Beton ausgeführt, damit sie nicht auskalken. In einer üblichen extensiven Dachbegrünung sind diese Bestandteile beinhaltet.

Datenerfassung

Die Benutzungen der NoMix-WCs und Urinale werden seit Juni 2006 kontinuierlich aufgezeichnet. Zusätzlich werden die Füllstände der beiden Urintanks und der Betrieb der Ablaufpumpen erfasst.

3. Benutzungsfrequenz

NoMix-WCs

Wegen hydraulischer Probleme beim Abtransport der Fäkalien und des Toilettenpapiers muss bei NoMix-WCs häufig die *Spülung* wiederholt werden. Um aus den aufgezeichneten Spülungen die Anzahl der Benutzungen zu berechnen, müssen zuerst die Doppelspülungen bestimmt werden. Als Doppelspülung wird eine zweimalige Betätigung der Spültaste innerhalb von 90 Sekunden bezeichnet. Bei den NoMix-WCs ist dies bei 17% der aufgezeichneten WC-Benutzungen der Fall. Als *Doppelspülung* wird auch das gleichzeitige Drücken der «kleinen» und «grossen» Spültaste bezeichnet. Dies

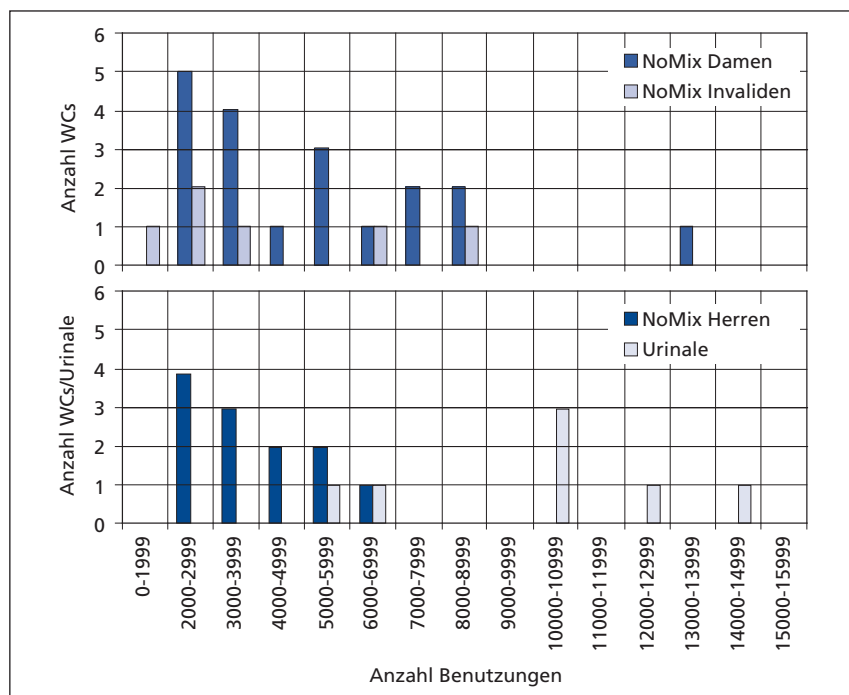


Abb. 2 Häufigkeitsverteilung der Benutzungen der NoMix-WCs und Urinale im Forum Chriesbach (Juni 2006 bis März 2009). In der oberen Grafik sind die Anzahl Benutzungen der Damen und Invaliden NoMix-WC und in der unteren die der Herren NoMix-WC und Urinale dargestellt.

war bei 21 % aller Benutzungen der Fall. Bei gleichzeitigem Drücken beider Tasten entspricht die Spülwassermenge einer grossen Spülung (6 l). Nach Abzug der Doppelspülungen konnten die in *Abbildung 2* dargestellten Benutzungshäufigkeiten berechnet werden.

- Die Verteilung der Benutzungshäufigkeit der Damen- und Herren-NoMix-WCs ist vergleichbar. Fünf Damen- bzw. vier Herren-NoMix-WCs werden zwischen 2000 und 3000 Mal benutzt (60 und 90 Mal pro Monat). Vier Damen- und drei Herren-NoMix-WCs werden häufiger, nämlich zwischen 3000 und 4000 Mal benutzt (90 und 120 Mal pro Monat).
- Die höchste Benutzungsfrequenz wird bei Damen mit über 13 000 Benutzungen registriert, was 380 Benutzungen pro Monat entspricht. Bei den Herren erreicht

die maximale Benutzungsfrequenz über 175 Benutzungen pro Monat, was über 6000 Benutzungen während rund drei Jahren entspricht.

- Die sechs Invaliden-NoMix-WCs werden von Damen und Herren benutzt. Die Benutzungsfrequenz liegt mit zwischen 60 und 265 Benutzungen pro Monat im Bereich der Frauen- bzw. Männer-NoMix-WCs.

Urine

Die meisten Urinale wurden weit häufiger benutzt als die NoMix-WCs: Fünf Urinale zwischen 10 000 und 15 000 Mal. Das entspricht im Durchschnitt ca. 290 bis 440 Benutzungen pro Monat. Die beiden Urinale, die am wenigsten frequentiert wurden, befinden sich bei der Mensa, abseits der Büroarbeitsplätze (*Abb. 2, unten*). Zusammengefasst kann festgehalten

werden, dass die Benutzungsfrequenzen der NoMix-WCs und der Urinale eine grosse Streubreite aufweisen. Das Toilettensystem des Forums Chriesbach eignet sich deshalb sehr gut, um den Einfluss der Benutzungsfrequenzen auf den Reinigungsaufwand und die Häufigkeit von Verstopfungen zu untersuchen.

Urinmenge

Basierend auf der erfassten Benutzungsfrequenz und den Tankdaten wurde die durchschnittliche Urinmenge pro Benutzung bei den Herren mit 250 ml und bei den Damen mit 280 ml bestimmt. Dies entspricht in etwa den Erfahrungswerten von *Rossi et al.* ([4], 230 bis 310 ml/Benutzung). Pro Arbeitstag fallen damit insgesamt 90 bis 110 l Urin an.

Die Massenbilanzen der Urinalanalysen zeigen, dass der Urin im Damentank eine geringere Konzentration aufweist als in der Literatur angegeben (*Kap. 6*). Dies ist möglicherweise auf Spülungen während des Sitzens zurückzuführen.

4. Reinigung und Unterhalt

Urine

Die Urinale werden täglich vom Reinigungspersonal mit einem mit 10%-iger Zitronensäure befeuchteten Mikrofasertuch gereinigt. Da der Urin für Forschungszwecke genutzt wird, dürfen für die *Reinigung* keine Flüssigkeiten verwendet werden, da diese in den Urintank gelangen könnten. Das Putzpersonal wurde entsprechend instruiert und im Umgang mit den Chemikalien geschult.

Der Zeitaufwand für die Reinigung der Urinale wird nicht gesondert erfasst. Die Reinigung der wasserlosen Urinale unterscheidet sich aber nicht wesentlich von der *Reinigung* herkömmlicher mit Wasser gespülter Urinale. Nach Aussage des Betreibers kann somit erwartet werden, dass der Zeitaufwand vergleichbar ist.

Die *Unterhaltsarbeiten* beschränken sich bei allen Urinalen auf den Austausch der Siphons und/oder Sperrflüssigkeiten, sobald der Urin wegen Verstopfungen nicht mehr abfließen kann. Der Unterhalt wird mit Ausnahme von zwei Modellen von den Mitarbeitern der Eawag/Empa durchgeführt. Die beiden Modelle werden im Rahmen eines Servicevertrags zwei Mal pro Jahr routinemässig gewartet, wobei bisher noch keine Betriebsstörungen festgestellt wurden.

Seit der Inbetriebnahme wurden mit Ausnahme der beiden Modelle bei drei Urinalen die Geruchsverschlüsse bzw. Siphons zweimal wegen einer ungenügenden Ablaufleistung gewechselt. Der *Zeitaufwand* pro Wechsel betrug bei allen drei Typen ca. 20 min. Der Wechsel ist sehr einfach, da es sich um Einwegsiphons handelt. Bei dem am häufigsten frequentierten Urinal im Forum Chriesbach fällt der durch Verstopfungen bedingte Wartungsaufwand deshalb mit rund zwei bis drei Wartungen pro Jahr am höchsten aus. Im Durchschnitt musste bei diesem Urinal jeweils nach ca. 1800 Benutzungen der Siphon gereinigt und die Sperrflüssigkeit ersetzt werden. Der Zeitaufwand pro Wartungseinsatz betrug ca. 30 min.

NoMix-WC

Die NoMix-WCs werden zusammen mit den Urinalen täglich vom *Reinigungspersonal* mit einem mit 10 %-iger Zitronensäure befeuchteten Mikrofasertuch gereinigt. Wie bei den Urinalen wird auch hier darauf geachtet, dass weder Putzwasser noch Zitronensäure durch das geöffnete Urinablaufventil in die Urintanks gelangt. Der Zeitaufwand für die tägliche Reinigung der NoMix-WCs lässt sich nicht getrennt vom Gesamtaufwand für die Gebäudereinigung ermitteln. Nach Aussagen des Betreibers ist der Reinigungsaufwand aber nicht höher als bei einem konventionellen WC.

Zusätzlich zur täglichen Reinigung werden alle NoMix-WCs einmal im Monat mit Zitronensäure gereinigt. Dies soll Verstopfungen in der Urinleitung verhindern sowie eine zuverlässige Funktionsweise des Urinventils gewährleisten. Hierfür wird das Urinablaufventil mittels Herunterdrücken des Stifts geöffnet (*Abb. 1*) und es werden 0,5 l Zitronensäure (10 %) durch den geöffneten Urinablauf langsam eingegossen. Nach einer Einwirkzeit von etwa 0,5 h wird bei jedem NoMix-WC bei geöffnetem Urinablaufventil die grosse Spültaste betätigt (entspricht 6 l), damit das Urinventil mit einem Teil des Spülwassers nachgespült wird. Während dieser *monatlichen Reinigungsroutine* und noch drei bis vier Tage danach wird der Urin direkt über einen Bypass in die Kanalisation geleitet, um zu vermeiden, dass Zitronensäure oder Spülwasser in die Urintanks gelangen.

Für die Vorbereitungen der Reinigungslösungen mit Zitronensäure und die Durchführung der Reinigung der 37 NoMix-WCs werden monatlich zwei bzw. vier Personenstunden be-

nötigt. Zusammengefasst ergibt dies einen zeitlichen Aufwand von sechs Personenstunden/Monat für 37 NoMix-WCs. Pro NoMix-WC entsteht durch die monatliche Reinigung somit ein Zeitaufwand von 10 min/WC/Monat bzw. 2,5 min/Büroplatz/Monat.

Dass der Betrieb einer NoMix-Anlage auch aufwändiger sein kann, zeigt das Beispiel des NoMix-Systems der *Kantonsbibliothek Liestal*. Das System bestand aus zehn NoMix-WCs und zwei wasserlosen Urinalen und war von Juni 2005 bis April 2009 in Betrieb. Im Gegensatz zur NoMix-Anlage im Forum Chriesbach war hier der Reinigungsaufwand wesentlicher höher als bei konventionellen Toiletten. Es wird vermutet, dass vor allem *Kinder Probleme* bei der Benutzung hatten und aufgrund ihrer Körpergrösse der Urinablaufteil vermehrt durch Fäkalien verschmutzt wurde. Somit zeigt sich, dass die jetzigen NoMix-Toiletten vor allem für Büro- oder ähnliche Gebäude geeignet sind, bei denen nur eine sehr beschränkte Benutzung durch Kinder erfolgt. Im Übrigen haben die BenutzerInnen und Benutzer eines Bürogebäudes mehr Zeit, sich mit dem System vertraut zu machen als in einem Gebäude mit häufig wechselndem Publikum.

Die häufigen *Doppelspülungen* im Forum Chriesbach sind jedoch ein Anzeichen dafür, dass auch dort die Trennung nicht immer gut funktioniert. Zudem wurde die Problematik der ungenügenden Trennung bzw. der gewöhnungsbedürftigen Benutzung von zahlreichen Benutzern erwähnt. Bisher sind erst neun *Verstopfungen* durch Toilettenpapier im hinteren Teil des WC oder im Urin-Ablaufbereich aufgetreten. Betriebsprobleme durch Urinablagerungen im Bereich der Ableitungsventile sind bisher noch keine aufgetreten.

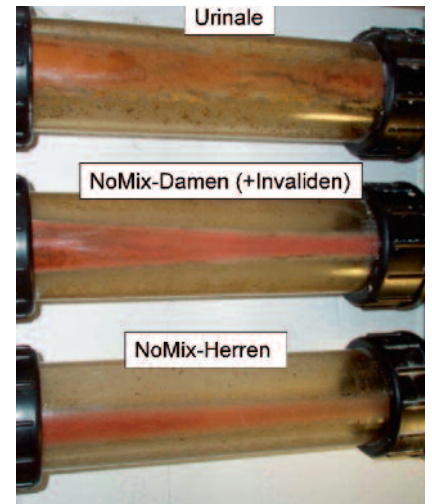


Abb. 3 Urinablagerungen in den transparenten Urinleitungen der NoMix-WCs und der Urinale. Das Bild zeigt die Sichtleitungen unter der Decke des Raumes – die Urinablagerungen befinden sich im Sohlenbereich der Leitungen (Stand: März/2009). (Foto: wst21)

5. Ablagerungen

Leitungen

Abbildung 3 zeigt die transparenten horizontalen Leitungen nach fast drei Betriebsjahren für alle drei Urinleitungssysteme (Frauen[+Invaliden]-NoMix, Herren-NoMix und Urinale). Alle *Sichtleitungen* weisen bisher nur geringe, wenige Millimeter dicke Ablagerungen auf. Somit sind die vermuteten Verschmutzungsphänomene in einem so geringen Ausmass aufgetreten, dass sie für den Betrieb unproblematisch sind. Untersuchungen der Ablagerungen haben ergeben, dass *Harnstoff abbauende Bakterien* vorhanden sind. Die biologische Oxidation von Ammonium oder organischen Bestandteilen findet jedoch nicht statt.

Urinale

Bei keinem Urinal werden Reinigungsmittel in den Urinablauf gegeben. Somit ist der horizontale Leitungsabschnitt direkt hinter dem Urinal eine bevorzugte Stelle für Ver-

stopfungen durch Ablagerungen. Zur Untersuchung dieser Stelle wurden deshalb im Rahmen des Monitorings alle Urinale demontiert und die Leitungsabgänge hinter dem Urinal kontrolliert. Diese Kontrolle fand nach zwei Betriebsjahren statt. Dabei wurden bei allen Urinalen, abhängig von der Benutzungsfrequenz, pastöse Ablagerungen zwischen 2 und 7 mm Dicke gefunden. Im bisherigen Betrieb haben diese Ablagerungen den Betrieb jedoch nicht beeinträchtigt.

NoMix-WC

Um den Zustand der Urinleitung hinter dem Ventil des NoMix-WC zu überprüfen, wurden das am häufigsten benutzte Herren-WC und das am häufigsten benutzte Damen-WC untersucht. Wie bei den Urinalen lagen nur wenige Millimeter dicke pastöse Ablagerungen vor, die den Betrieb nicht beeinträchtigen. Bei den acht meist benutzten NoMix-WCs wurde die Dichtigkeit der Ventile zu den Urintanks untersucht. Zuerst wurde der Siphon des Abwasserablaufs vollständig entleert und dann mit 200 ml einer Bromidlösung gefüllt. Anschliessend wurden in den Urinteil 500 ml bromidfreies

Wasser geschüttet. Mit Hilfe der Bromidkonzentrationen im Siphon vor und nach der Spülung konnte dann der Verlust von Spülwasser durch das Ventil abgeschätzt werden.

Der mittlere *Spülwasserverlust* (3,5 ml) war statistisch nicht signifikant (Standardabweichung des Mittelwertes 5,5 ml). Die *Ventile* konnten also zum Zeitpunkt der Versuche (Ende Mai 2008, ca. 2 Jahre nach Inbetriebnahme) als dicht bezeichnet werden. Eine Verdünnung des Urins durch Spülwasser ist aber möglich, wenn z.B. beim Sitzen gespült wird. Dieser Effekt wurde jedoch nicht weiter untersucht [5].

Interpretation

Nach fast drei Betriebsjahren sind in den Urinleitungen der NoMix-WCs und den Ableitungen der Urinale nur *wenige pastöse Ablagerungen* zu beobachten, die den Betrieb jedoch nicht beeinträchtigen.

Bei den NoMix-WCs liegt die Ursache für die zuverlässige Funktionsweise der Urinventile vermutlich bei der monatlich durchgeführten Reinigung mit Zitronensäure. Ein weiterer Grund kann die Benutzung von weichem Regenwasser als Spülwasser sein. Die chemische Analyse

des Spülwassers hat eine Gesamthärte von 0,23 mmol bzw. 1,26° dH ergeben, was als sehr weich einzustufen ist. Die sehr geringen Konzentrationen an Calcium und Magnesium vermeiden vermutlich Ablagerungen im Bereich des Urinventils, die langfristig zu Funktionsstörungen führen könnten.

6. Urinsammlung

Verdünnung

Die Verdünnung des Urins in den Sammel tanks kann über *Chlorid*, *Natrium* und *Kalium* abgeschätzt werden, da sich alle drei Substanzen weitgehend inert verhalten. Alle drei Ionen wurden in den Tanks und in frischem Urin von zehn Männern gemessen (Abb. 4). Der Vergleich mit den Literaturwerten zeigt, dass sich die Konzentrationen von Chlorid, Natrium und Kalium im Herrentank und im frischen Urin nicht signifikant von den Literaturwerten unterscheiden. Dies, obwohl Abweichungen von den Literaturwerten zu erwarten waren, denn der hochkonzentrierte Morgenurin fehlte [3] und bei Spülungen während des Sitzens kann Spülwasser in den Tank gelangen. Diese Effekte sind jedoch beim Herrentank vernachlässigbar klein. Die Konzentrationen im Damentank lassen allerdings einen relativ hohen Anteil an Spülwasser vermuten, denn alle drei Ionen weisen wesentlich geringere Konzentrationen auf als frischer Urin. Der Grund für die höhere Verdünnung könnte das Spülen während des Sitzens sein. Dieser Effekt wäre erwartungsgemäss beim Damentank stärker ausgeprägt, weil hier der gesamte Urin in NoMix-Toiletten gesammelt wird.

Stickstoff

Ammonium und Harnstoff machen ungefähr 90% des Stickstoffs in Urin aus [7, 1]. *Harnstoff* wird in Toilettensystemen von Bakterien zu Kohlensäure und Ammoniak hydrolysiert [3]. Im Gegensatz zu anderen NoMix-Toilettensystemen [6] liegt in den *Sammeltanks* des Forums Chriesbach noch ein beträchtlicher Teil des Stickstoffs als Harnstoff vor (ca. 25% der Summe von Ammonium+Harnstoff). Der unvollständige *Harnstoffabbau* könnte darauf zurückzuführen sein, dass die Tanks kaum gemischt werden.

Der Vergleich der Ammonium+Harnstoff-Konzentrationen im Herrentank und im frischen Urin (Abb. 4) zeigt, dass im Tank nur noch halb so viel Ammonium + Harnstoff enthalten ist als im frischen Urin.

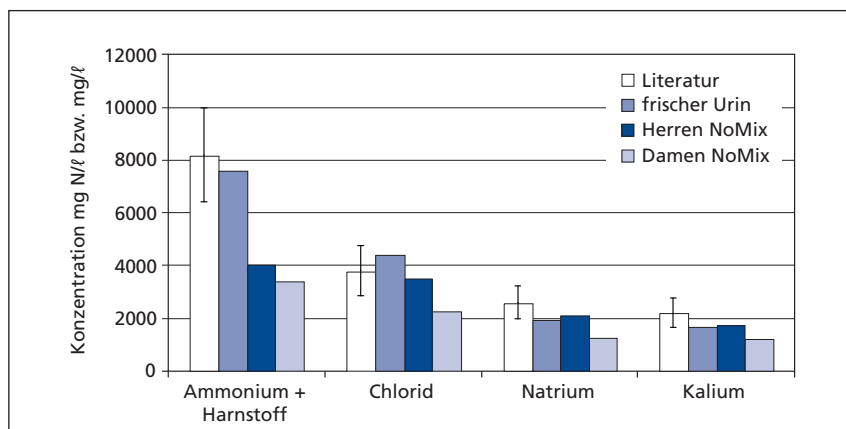


Abb. 4 Vergleich mit Messwerten und Literaturwerten [6] von frischem und gelagertem Urin. Die Fehlerbalken kennzeichnen die Standardabweichung. Für Chlorid, Natrium und Kalium wurden typische Standardabweichungen von 20% angenommen [6].

In einer Diplomarbeit [5] konnte nachgewiesen werden, dass die Ausgasung von Ammoniak für den Stickstoffverlust verantwortlich ist. Luftgeschwindigkeitsmessungen in den Steigleitungen auf dem Dach zeigten einen kontinuierlichen Luftstrom, der durch die Aussentemperatur beeinflusst wird (Abb. 5). Die Temperaturwerte stammen von der NABEL(Nationales Beobachtungsnetz für Luftfremdstoffe)-Messstation an der EMPA Dübendorf. Gleichzeitig mit der Luftstrommessung wurden auch die Ammoniakkonzentrationen in der Luft mittels sauren Waschflaschen [8] gemessen (Abb. 6). Die *Ammoniakfracht* wird als Produkt von Ammoniakkonzentration und Luftgeschwindigkeit berechnet. Sie zeigt einen ausgeprägten Tagesgang mit einem Maximum um 18.00 Uhr zum Ende der Büroarbeitszeit und eine Minimum um 7.00 Uhr kurz vor Arbeitsbeginn. Die Korrelation mit der Arbeitszeit deutet darauf hin, dass die Ausgasung vor allem in den Steigleitungen stattfindet. Eine Massenbilanz zeigt, dass die Ausgasung den Stickstoffverlust im *Sammeltank* sehr gut erklären kann (Abb. 7), der Fehler beträgt lediglich 3%. Gemäss dieser Abschätzung geht knapp die Hälfte (44%) des Ammoniums und Harnstoffs über die Ausgasung verloren.

Phosphat

Auch die Phosphatkonzentrationen in den *Tanks* waren wesentlich tiefer als in frischem Urin (Herrentank 221 mgP/l, Damentank 131 mgP/l, typische Werte in frischem Urin: 370–560 mgP/l, [6]. Die Ursache dafür sind *Ausfällungen* von Calcium- und Magnesiummineralien. Für ausführliche Informationen zur Phosphatausfällung wird auf den gwa-Artikel «Fällungsprodukte in Urinalen und NoMix-Toiletten» [3] verwiesen.

7. Erkenntnisse

Unabhängig von der Benutzungsfrequenz der *NoMix-WCs* können weder beim Verschlussmechanismus der Urinabtrennung noch bei den Leitungen für den Betrieb kritische Ablagerungen oder Verstopfungen festgestellt werden. Im Vergleich zu konventionellen WCs entsteht ein *Mehraufwand* im Unterhalt für die monatlichen Spülungen der NoMix-WCs mit Zitronensäure. Bei den 37 im Forum Chriesbach installierten NoMix-WCs beträgt er zehn Minuten pro Monat pro WC bzw. 2,5 Minuten pro Monat pro Arbeitsplatz. Nach Aussage des Betreibers ist dieser Mehraufwand vertretbar.

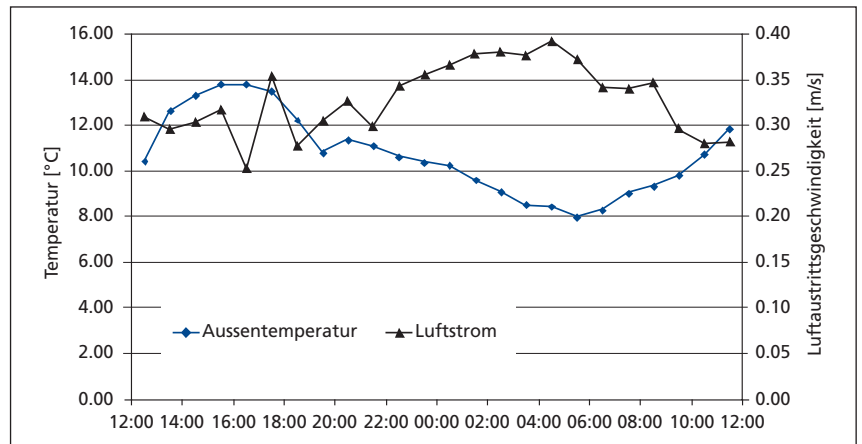


Abb. 5 Lufttemperatur nahe dem Forum Chriesbach (NABEL-Messstation EMPA) und Luftaustrittsgeschwindigkeit bei der Urinalsteigleitung vom 24. bis 25. September 2008. Stündliche Mittelwerte.

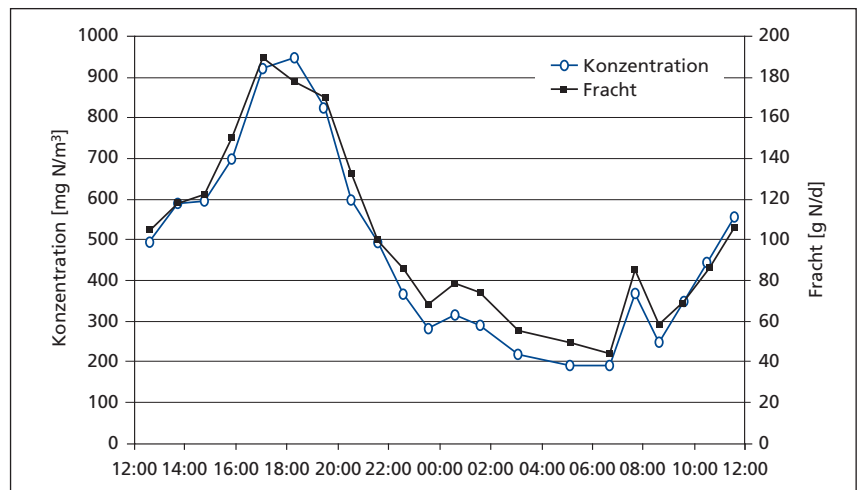


Abb. 6 Ammoniakkonzentration gemessen am Austritt der Urinalsteigleitung und berechnete Ammoniakfracht vom 24. und 25. September 2008.

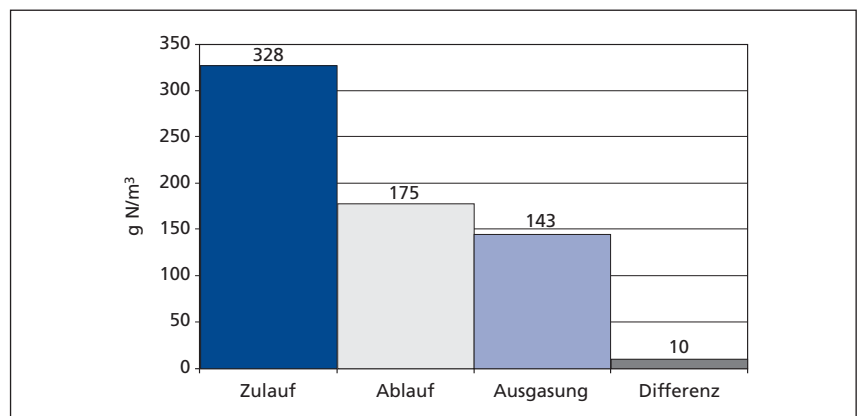


Abb. 7 Abschätzung der Stickstoffflüsse (Ammonium+Harnstoff) aus dem Herren-Urintank. Annahmen: Urinmenge pro Arbeitstag: 43 l/d. Zulauf- und Ablauf-Konzentrationen gemäss Abbildung 4. Ausgasung berechnet für den Tagesgang vom 24. und 25. September 2008. 68% Ausgasung aus der Urinalleitung.

Dieser verhältnismässig geringe Aufwand hängt sowohl mit der hohen Arbeitsplatzdichte als auch mit der Verwendung von weichem Dachwasser zur Spülung der NoMix-WCs zusammen. Es wird deshalb empfohlen, Dachwasser zur Spülung von NoMix-WCs zu verwenden. Falls dies nicht möglich ist, könnte die Verwendung von enthärtetem Leitungswasser eine Möglichkeit sein.

Neben der Verwendung von *Dachwasser* hat vermutlich auch das Leitungssystem mit möglichst grosser Neigung und grossem Leitungsdurchmesser zum bisher problematischen Betrieb beigetragen.

Der Reinigungsaufwand wird bei unsachgemässer Benutzung der NoMix-WCs erhöht. Es wird deshalb heute empfohlen, NoMix-WCs in Gebäuden einzusetzen, bei denen *geringer Publikumsverkehr* herrscht und sich die Leute an die Benutzung des Systems gewöhnen können. Bezüglich der Sitzposition und der Trennungseinrichtung von Urin und Fäkalien sowie bezüglich der Spüleistung sind bei künftigen NoMix-WC-Typen *Verbesserungen* unbedingt notwendig. Das Augenmerk ist insbesondere auf unterschiedliche Körpergrössen (Kinder) zu richten. Um Verdünnungen im Urintank möglichst gering zu halten, ist bei künftigen WC-Konstruktionen darauf zu achten, dass die Ableitung von Urin oder Spülwasser in den Tank bei Betätigen der Spültaste verunmöglicht wird.

Bei den *Urinalen* hat sich gezeigt, dass der Wartungsaufwand bisher unabhängig von der Benutzungsfrequenz ist. Inwiefern der Urinaltyp für einen erhöhten Unterhalt verantwortlich ist, wird das künftige Monitoring klären.

Der *Stickstoffverlust* über die Ausgasung vermindert nicht nur die mögliche *Nährstoffrückgewinnung*.

Er führt auch zu *Geruchsbelästigungen* auf dem Dach und trägt zur Stickstoffbelastung von Wäldern und Naturschutzflächen bei [9]. Der Stickstoffverlust muss deshalb unbedingt eingedämmt und am besten ganz verhindert werden. Eine nahe liegende Lösung zur Verminderung der *Ammoniakausgasung* ist die Unterbrechung des Luftstroms durch die Steigleitungen. Das Schliessen der Steigleitung auf dem Dach mittels eines Ventils ist problematisch, weil Überdruck in den Steigleitungen zu Ausgasungen in den Toiletten und somit zu Geruchsbelästigungen im Gebäudeinnern führen kann. Eine Alternative ist die Installation eines Ventils beim Überlauf des Urinsammeltanks. Dieses Ventil unterbricht den Luftstrom vom Überlauf durch den Tank zum Dach. Beide Massnahmen werden zurzeit an der Eawag erwogen und demnächst getestet.

Die weiteren Untersuchungen werden sich auf die Optimierung des Reinigungs- und Unterhaltsaufwands und auf die detaillierte Untersuchung der Zusammensetzung von frischem und gelagertem Urin konzentrieren. Ebenso wird die Thematik der Ausgasung genauer betrachtet, um bauliches Verbesserungspotenzial zu identifizieren.

Dank

Die Autoren bedanken sich bei allen Beteiligten des Monitorings seitens der EMPA und Eawag für die konstruktive und angenehme Zusammenarbeit.

Literaturverzeichnis

- [1] Larsen, T.A.; Lienert, J. (2007): NoMix – Technologie – Chance für Siedlungswasserwirtschaft. gwa 4, 255-2.
- [2] www.novaquatis.ch
- [3] Udert, K.M.; Högger, R.; Larsen, T.A.; Gujer, W. (2004): Fällungsprodukte in Urinalen und NoMix-Toiletten. gwa 12, 913–920.
- [4] Rossi, L.; Lienert, J.; Larsen, T.A. (2009): Real-life efficiency of urine source separation. Journal of Environmental Management. 90, 1909-1917.
- [5] Neuenschwander, W. (2008): Stickstoffbilanz der NoMix Anlage zur Abwasserstoffstromtrennung. Fachbereich Angewandte Naturwissenschaften. Fachhochschule Lübeck.
- [6] Udert, K.M.; Larsen, T.A.; Biebow, M.; Gujer, W. (2003): Urea hydrolysis and precipitation dynamics in a urine-collecting system. Water Research 37(11), 2571–2582.
- [7] Ciba-Geigy (1977): Wissenschaftliche Tabellen Geigy, Teilband Körperflüssigkeiten. 8. Auflage, Basel.
- [8] VDI (1974): Messung gasförmiger Immissionen; Messen der Ammoniak-Konzentration. VDI Norm 2461, Blatt 1, Verein Deutscher Ingenieure, Beuth Verlag, Berlin.
- [9] BAFU (2009): Zustand der Biodiversität in der Schweiz. Bundesamt für Umwelt, Bern.
- [10] Fröhlich, A.; Bonhomme, P.A.; Oldenburg, M. (2007): SCST final report Sanitation Concepts for Separate Treatment of Urine, Faeces and Greywater. Kompetenzzentrum Wasser Berlin. www.kompetenz-wasser.de/fileadmin/user_upload/pdf/forschung/scst/SCST_FinalReport_5_01.pdf

Keywords

NoMix – Urinseparierung – wasserlose Urinale – Trenntoiletten – Monitoring – Forum Chriesbach

Adresse der Autoren

Patrice Goosse, Dipl. Ing. FH
patrice.goosse@wst21.ch

Michele Steiner, Dr. sc.techn. ETH
michele.steiner@wst21.ch

wst21
Technoparkstrasse 1
CH-8005 Zürich
Tel. +41 (0)43 960 38 22

Kai M. Udert, Dr. sc.techn. ETH
kai.udert@eawag.ch

Walter Neuenschwander, Dipl. Ing. FH
walter.neuenschwander@eawag.ch

Eawag, Verfahrenstechnik
Überlandstrasse 133
CH-8600 Dübendorf
Tel. + 41 (0)44 823 53 60