

## **Restwassermenge im Furtbach, Kanton Zürich**

### ***Hydrologische Untersuchungen unter Berücksichtigung der Wasserentnahmen für Bewässerungszwecke***



Zürich, Juli 2009

**Auftraggeber:** AWEL Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft  
Abteilung Gewässerschutz, Weinbergstrasse 17, 8090 Zürich

## INHALT

1	EINLEITUNG	6
1.1	Problemstellung und Auftrag	6
1.2	Vorhandene Grundlagen	7
2	GEOLOGISCHE UND HYDROLOGISCHE ÜBERSICHT	9
2.1	Geologie	9
2.2	Grundwasserverhältnisse	10
2.3	Korrektur des Furtbaches	15
3	WASSERVERSORGUNG IM FURTTAL	18
3.1	Entnahmen aus dem unteren Grundwasserstockwerk	19
3.2	Entnahmen aus dem oberen Grundwasserstockwerk	20
3.3	Quellwasserfassungen	21
3.4	Entnahmen aus dem Furtbach und aus Seitenbächen	21
4	HYDROLOGISCHE VERHÄLTNISSE	22
4.1	Niederschlag	22
4.2	Evapotranspiration	23
4.3	Hydrologisches Einzugsgebiet	25
4.4	Langfristige Abflussmessungen am Furtbach	26
4.5	Ergänzende Abflussmessungen im Sommer 2006	31
4.6	ARA-Einleitungen	45
4.7	Seitliche Bachzuflüsse und Drainagen	47
4.8	Entnahmen aus dem Furtbach	49
4.9	Leitfähigkeits- und Temperaturmessungen im Sommer 2006	53
5	QUALITATIVE BESCHAFFENHEIT DES FURTBACHWASSERS	56
5.1	Messstellen am Furtbach	56
5.2	Chemische Qualitätsparameter	57
5.3	Gesetzliche Anforderungen an die Qualität von Fliessgewässern	59
5.4	Wasserqualität des Furtbaches	60
5.5	Zusammenfassende Bewertung	68
6	SICHERUNG ANGEMESSENER RESTWASSERMENGEN	70
6.1	Zielsetzungen	70
6.2	Restwassermengenbestimmungen gemäss GSchG	70
6.3	Aktuell gültige Regelung für die Wasserentnahmen aus dem Furtbach	71
6.4	Qualitative Anforderungen an das Bewässerungswasser	74
6.5	Massgebende Restwassermenge für den Furtbach	76
7	EMPFEHLUNGEN FÜR KÜNFTIGE WASSERENTNAHMEN UND EINEN NUTZUNGSPLAN	81
7.1	Wasserbezugsquellen und mögliche Wasserentnahmen zur Bewässerung	81
7.2	Optimierte Bewässerung und häuslicher Umgang mit der Ressource Wasser	83
7.3	Künftige Erteilung von Konzessionen (Nutzungsplan)	83

## TABELLEN

Tabelle 1:	Aktuelle Konzessionen für Entnahmen aus dem unteren Grundwasserstockwerk	19
Tabelle 2:	Aktuelle Konzessionen für Entnahmen aus dem oberen Grundwasserstockwerk	20
Tabelle 3:	Aktuelle Konzessionen zur Wasserentnahme aus dem Furtbach und seinen Seitenbächen	21
Tabelle 4:	Jährliche Niederschlagshöhen an der Messstation Zürich-Reckenholz zwischen 2000 und 2007	22
Tabelle 5:	Statistische Angaben zum Furtbachabfluss für die Stationen Furtbach-Würenlos und Furthof	30
Tabelle 6:	Charakteristische Wasserspiegelhöhen an den temporären Pegelstationen 1 bis 5 im Beobachtungszeitraum vom 14.06.2006 bis 18.9.2006	42
Tabelle 7:	Abflussmessungen am 13. / 14. September 2006	44
Tabelle 8:	ARA-Einleitmengen und Furtbachabfluss, Mittelwerte der Jahre 2000 bis 2005	45
Tabelle 9:	ARA-Einleitung während der Sommermonate 2003	47
Tabelle 10:	Gemessene und berechnete Zuflüsse der wichtigsten Seitenbäche im unteren Furttal bei Niedrigwasser	48
Tabelle 11:	Qualitative Anforderungen an ein Oberflächengewässer gemäss GSchV und Einleitbedingungen gemäss AWEL	59
Tabelle 12:	Qualitative Anforderungen an ein Oberflächengewässer gemäss BAFU (2006)	60
Tabelle 13:	Wasserqualität in Bezug auf die Stickstoffverbindungen bei verschiedenen Abflüssen in Würenlos	61
Tabelle 14:	Wasserqualität in Bezug auf Phosphat, Phosphor und DOC bei verschiedenen Abflüssen in Würenlos	63
Tabelle 15:	Einfluss der Wasserentnahmen auf die Nitratkonzentration bei Niederwasserverhältnissen	67
Tabelle 16:	Kehrordnung zur Wasserentnahme bei einem Furtbachabfluss zwischen 140 und 250 l/s an der Station Würenlos	72
Tabelle 17:	Bakteriologische Anforderungen an Bewässerungswasser gemäss DIN 19650	75
Tabelle 18:	Bilanzierungsgrössen zur Bestimmung der ungestörten Rest- und Mindestrestwassermenge im Furtbach	79

## FIGUREN

Figur 1:	Hydrogeologisches Längsprofil durch das Furttal (aus: Die Grundwasserverhältnisse des Kantons Zürich)	10
Figur 2:	Grundwasserverhältnisse im Gebiet Regensdorf-Dänikon, Ausschnitt aus der Grundwasserkarte des Kantons Zürich 1:25'000, Blatt Bülach	11

Figur 3:	Ganglinie des Grundwasserspiegels in der Fassung Adlikon m16-13 im Zeitraum 1975–2007	12
Figur 4:	Ganglinie des Grundwasserspiegels im kantonalen Pegel P17 im Zeitraum 1975–2007	13
Figur 5:	Langjährige Ganglinie des Grundwasserspiegels in den Brauchwasserfassungen m16-27 beim Zentrum Regensdorf und m16-10 «In den Erlen» in Dällikon	14
Figur 6:	Arbeiten während der zweiten Furtbachabsenkung in den 20er Jahren	16
Figur 7:	Melioration zwischen 1918 und 1923 (zweite Furtbachabsenkung)	16
Figur 8:	Dritte Furtbachabsenkung 1980 bei Adlikon	17
Figur 9:	Übersicht der Konzessionen zur Wasserentnahme für Bewässerungszwecke aus dem Furtbach, den Seitenbächen sowie aus Grund- und Quellwasser.	18
Figur 10:	Grundwasser-Fördermengen der Pumpwerke Ehrenhau und Adlikon 1993–2007	19
Figur 11:	Monatssummen der Niederschläge an der Station Zürich-Reckenholz zwischen 2000 und 2007	23
Figur 12:	Niederschlag und Evapotranspiration in den Jahren 2001 und 2003, Station Zürich-Reckenholz	24
Figur 13:	Hydrologisches Einzugsgebiet des zürcherischen Teil des Furtbaches (blau) und Lage der Abflussmessstationen Würenlos und Furthof	25
Figur 14:	Abflussganglinie der Tagesmittel an der Station Furtbach-Würenlos von 2000 bis 2007	26
Figur 15:	Abflussganglinien der Tagesmittel an der Station Furtbach-Würenlos und Niederschläge der Station Reckenholz der Jahre 2001 und 2003	27
Figur 16:	Abflussdauerlinien der Tagesmittel an der Station Furtbach-Würenlos für die Jahre 1993 bis 2007	28
Figur 17:	Abflussganglinie der Tagesmittel an der Station Furtbach-Furthof von 1979 bis 1992	29
Figur 18:	Lage der fünf temporären Pegel-Messstationen am Furtbach	31
Figur 19:	Furtbach an der Messstation 1	33
Figur 20:	Ganglinie des Furtbach-Wasserstandes an der temporären Messstation 1 und tägliche Niederschläge an der Station Reckenholz in der Zeit vom 14.06.2006 bis zum 18.9.2006.	33
Figur 21:	Furtbach an der Messstation 2	34
Figur 22:	Ganglinie des Furtbach-Wasserstandes an der temporären Messstation 2 und tägliche Niederschläge an der Station Reckenholz in der Zeit vom 14.06.2006 bis zum 18.9.2006.	35
Figur 23:	Furtbach an der Messstation 3	36
Figur 24:	Ganglinie des Furtbach-Wasserstandes an der temporären Messstation 3 und tägliche Niederschläge an der Station Reckenholz in der Zeit vom 14.06.2006 bis zum 18.9.2006.	36
Figur 25:	Furtbach an der Messstation 4	37

Figur 26:	Ganglinie des Furtbach-Wasserstandes an der temporären Messstation 4 und tägliche Niederschläge an der Station Reckenholz in der Zeit vom 14.06.2006 bis zum 18.9.2006.	38
Figur 27:	Furtbach an der Messstation 5	39
Figur 28:	Ganglinie des Furtbach-Wasserstandes an der temporären Messstation 5 und tägliche Niederschläge an der Station Reckenholz in der Zeit vom 14.06.2006 bis zum 18.9.2006.	40
Figur 29:	Tageszeitlicher Gang des Wasserspiegels am 14. Juli 2006 an den fünf temporären Pegelstationen	41
Figur 30:	Typische Beispiele von Abflussmessungen im Furtbach mittels der Salzverdünnungsmethode	43
Figur 31:	Resultate der Abflussmessungen am 13./14.9.2006	44
Figur 32:	ARA-Einleitmengen und Furtbachabfluss in den Jahren 2000 bis 2005 (Mittelwert)	45
Figur 33:	Furtbachabfluss bei Würenlos und ARA-Einleitmengen im Trockenjahr 2003 (Tagesmittel)	46
Figur 34:	Einzugsgebiet der wichtigsten Seitenbäche im unteren zürcherischen Furttal	49
Figur 35:	Mobile Anlagen zur Wasserentnahme aus dem Furtbach	50
Figur 36:	Erhebung der Wasserentnahmen aus dem Furtbach am 21.7.2006 und Lage der temporären Pegelstationen	50
Figur 37:	Vergleich zwischen der Abwassereinleitung der ARA Wüeri und der Wasserspiegelhöhe am Pegel 5	51
Figur 38:	Furtbachabfluss während Trockenzeiten mit und ohne ARA-Zuflüsse	52
Figur 39:	Resultate der Leitfähigkeitsmessungen vom 26.4.2006 bzw. 5.5.2006	54
Figur 40:	Resultate der Temperaturmessungen vom 26.4.2006 bzw. 5.5.2006	55
Figur 41:	Lage der AWEL-Messstellen am Furtbach	56
Figur 42:	Abhängigkeit des Nitratgehaltes von der Abflussmenge im Furtbach (Messstation Würenlos Messungen 2000 bis 2006)	62
Figur 43:	Abhängigkeit des DOC-Gehaltes von der Abflussmenge im Furtbach (Messstation Würenlos Messungen 2000 bis 2006)	64
Figur 44:	Saisonaler Konzentrationsverlauf von Propachlor im Furtbach [29]	65
Figur 45:	Ammonium im Furtbach	69
Figur 46:	Extreme Niedrigabflüsse < 140 l/s an der Messstation Würenlos zwischen 1993 und 2005	73
Figur 47:	Zu- und Abflusskomponenten im Furttal	77
Figur 48:	Bewässerungsverbot entsprechend der «ungestörten» Mindestrestwassermenge zwischen 2000 und 2007	80

## 1 EINLEITUNG

### 1.1 Problemstellung und Auftrag

Das im Furttal vorhandene Grundwasser wird im Gebiet Regensdorf in zwei grossen Pumpwerken für die Trinkwassergewinnung genutzt. Zusätzlich ist eine Vielzahl zumeist kleiner Brauchwasserfassungen vorhanden. Neben den Grundwasserentnahmen bestehen Konzessionen für Wasserentnahmen aus dem Furtbach. Diese dienen ausschliesslich für die Bewässerung.

Die bestehenden kantonalen Wasserrechte für das Grundwasser und für den Furtbach sind befristet. Die Mehrzahl der Konzessionen für die Wasserentnahmen aus dem Furtbach laufen bereits Ende 2008 ab und müssen erneuert werden. Gemäss Art. 29 ff. des Bundesgesetzes über den Schutz der Gewässer (Gewässerschutzgesetz, GSchG) vom 24. Januar 1991 ist vor einer Konzessionsverlängerung der Nachweis zu erbringen, dass der Furtbach bzw. dessen Zuflüsse durch die Wasserentnahmen aus Grund- oder Oberflächengewässern nicht wesentlich beeinflusst werden.

Bereits heute bestehen verbindliche Vorschriften zum Erhalt einer Mindestwassermenge des Furtbaches. Diese wurden im Jahre 1992 von der Baudirektion Zürich mit Verfügung Nr. 1268/1992 erlassen und enthalten genaue Vorgaben und Einschränkungen für die maximal zulässigen Wasserentnahmen aus dem Furtbach in Trockenzeiten. Die Regelung orientiert sich am jeweiligen Furtbachabfluss an der Messstation in Würenlos.

Im Hinblick auf die Verlängerung der bestehenden Wasserrechte müssen die geltenden Vorgaben überprüft und an die Restwasser-Bestimmungen des GSchG angepasst werden. Diese haben zum Ziel, die Wasserentnahmen aus dem Grundwasser und aus Oberflächengewässern so zu begrenzen, dass ganzjährig ein Mindestabfluss erhalten bleibt. Bei der Festlegung der massgebenden Restwassermenge müssen dabei natürliche, d.h. nicht durch Entnahmen und Abwassereinleitungen gestörte Abflussverhältnisse zu Grunde gelegt werden.

Gestützt auf das Vorgehenskonzept mit Kostenschätzung vom 13. März 2006 hat das Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL) die Dr. Heinrich Jäckli AG mit Schreiben vom 31. Juli 2006 beauftragt, die erforderlichen Untersuchungen zur Bestimmung der Restwassermenge im Furttal durchzuführen und einen Vorschlag für die künftigen Wasserentnahmen auszuarbeiten.

Dieser so genannte «Wassernutzungsplan Furttal» soll künftig als Grundlage für eine möglichst gerechte und nachhaltige Nutzung der vorhandenen Grundwasserressourcen und der Oberflächengewässer dienen.

## 1.2 Vorhandene Grundlagen

Für die Ausarbeitung des vorliegenden Berichtes standen uns folgende Unterlagen zur Verfügung.

### ***Berichte der Dr. Heinrich Jäckli AG***

- [1] Grundwasseruntersuchungen oberes Furttal (1974). Bericht Nr. 74.25.
- [2] Korrektur des Furtbaches. Geologische Baugrunduntersuchung (1978), Bericht Nr. 78.05.
- [3] Grundwasserverhältnisse im unteren Furttal (1981), Bericht Nr. 81.79.
- [4] Baugrund ARA Wüeri (1983), Bericht Nr. 83.157.
- [5] Betonaggressivität Grundwasser Lager Jelmoli (1985), Bericht Nr. 85.31.
- [6] Grundwassersondierungen am Furtbach (1991), Bericht Nr. 91.352.
- [7] Baugrunduntersuchung Grüt-Center (1993), Bericht Nr. 93.412.
- [8] Baugrunduntersuchung Überbauung am Furtbach (2003), Bericht Nr. 3.526.

### ***Fremdberichte***

- [9] Büro- und Lagerhausneubau Parzelle Nr. 1856 in Dällikon; Geotechnisches Institut (1987).
- [10] Neubau Werkhof Scheifele AG in Dänikon – Sicherstellung des Grundwasser-Durchflusses im Rahmen des Entwässerungskonzeptes; Geotechnisches Institut (1990).
- [11] Wohnüberbauung Trockenloostrasse – Hydrogeologische Untersuchungen; Geologisches Büro Dr. Lorenz Wyssling AG (1997).

### ***Gesetze und Verordnungen***

- [12] Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer (Gewässerschutzgesetz, GSchG) vom 24. Januar 1991.
- [13] Gewässerschutzverordnung (GSchV) vom 28. Oktober 1998.
- [14] Verfügung der Direktion der öffentlichen Bauten des Kantons Zürich vom 22. Juni 1992. Nummer 1268/1992.
- [15] Verfügung der Direktion der öffentlichen Bauten des Kantons Zürich vom 15. November 1993. Nummer 2549/1992.

### **Karten und digitale Daten**

- [16] AGW Kanton Zürich (1979): Korrektur des Furtbaches. Längenprofil 1:5'000/100 zwischen Würenlos und Watt.
- [17] AWEL Kanton Zürich: Grundwasserkarte des Kantons Zürich, GIS-Browser.
- [18] AWEL (2006): Abflussdaten der Station ZH 548 Furtbach-Würenlos zwischen 1978 und 2006.
- [19] AWEL (2006): Ausschnitt aus dem Meliorationskataster 1:10'000 der Gemeinden Regensdorf, Buchs, Otelfingen, Dällikon, Dänikon und Hüttikon.
- [20] AWEL (2006): Wasserrechte am Furtbach
- [21] AWEL (2006): Abfluss-Pegel-Beziehung der Stationen Furtbach-Furthof und Furtbach-Würenlos
- [22] ARA Otelfingen (2006): Tagesprotokolle zwischen 2000 und 2006.
- [23] ARA Buchs/Dällikon (2006): Tagesprotokolle zwischen 2000 und 2006.
- [24] ARA Wüeri (2006): Tagesprotokolle zwischen 2000 und 2006.
- [25] MeteoSchweiz (2005/2006): Niederschlagsbulletin 2006 und 2005
- [26] MeteoSchweiz (2005/2006): Evapotranspirationsbulletin 2006 und 2005

### **Ergänzende Literatur**

- [27] Aschwanden, H., Kan, C. (1999): Die Abflussmenge Q347 - eine Standortbestimmung. Hydrologische Mitteilungen der Landeshydrologie und -geologie Nr. 27.
- [28] AWEL (2006): Messergebnisse der chemisch/physikalischen Untersuchungen des Furtbaches in Würenlos.
- [29] AWEL (2008): Pestiziduntersuchungen bei Hauptmessstellen Furtbach Würenlos und Glatt vor Rhein im Jahr 2007.
- [30] BAFU (2004): Manual HYDMOD-soft.
- [31] BAFU (2006): Modul-Stufen-Konzept. *online*: [www.modul-stufen-konzept.ch](http://www.modul-stufen-konzept.ch)
- [32] BUWAL (1997): Restwassermengen in Fliessgewässern. Wasserentnahmen, die insbesondere der Bewässerung dienen. Mitteilungen zum Gewässerschutz Nr. 24.
- [33] BUWAL (2000): Wegleitung. Angemessene Restwassermengen - Wie können sie bestimmt werden?
- [34] Hölting, B. (1996): Hydrogeologie. Einführung in die Allgemeine und Angewandte Hydrogeologie. Enke Verlag Stuttgart.
- [35] Thommen, F. (1999): Meliorationen im Furttal. Heimatkundliche Vereinigung Furttal. Mitteilung Nr. 28.
- [36] Thommen, F. (2003): Der Furtbach - Von der Naturgefahr zum Dienstleistungsgewässer. Heimatkundliche Vereinigung Furttal. Mitteilung Nr. 28.
- [37] Kreikenbaum, S. (2004): Hygienische Probleme bei Regenwetter. *gwa*, 11: 807-815.

## 2 GEOLOGISCHE UND HYDROLOGISCHE ÜBERSICHT

### 2.1 Geologie

Das etwa Ost-West-verlaufende Furttal liegt eingebettet zwischen den Lägern und den sich anschliessenden Molassehöhen des Schwänkelberges und Ibig im Norden, und dem Altberg-Gubrist Höhenzug im Süden.

Während der Risseiszeit erodierte ein bis in das Furttal vorgestossener Gletscherarm ein bis zu 200 m unter die heutige Geländeoberfläche reichendes Tal in die Obere Süsswassermolasse und lagerte dabei über dem Molassefels Moränenmaterial ab. Im Anschluss an die Kaltzeit erfolgte die Auffüllung des Tales mit den bis zu 100 m mächtigen *älteren Seebodenablagerungen*.

In der letzten Eiszeit, der Würmeiszeit, stiess eine Zunge des Glatztatgletschers über das Furttal bis nach Würenlos vor und lagerte über den Seebodenablagerungen eine weitere Moränendecke ab. Im Vorfeld des Gletschers brachten die Schmelzwässer im Gebiet Würenlos einen *Vorstossschotter* zur Ablagerung.

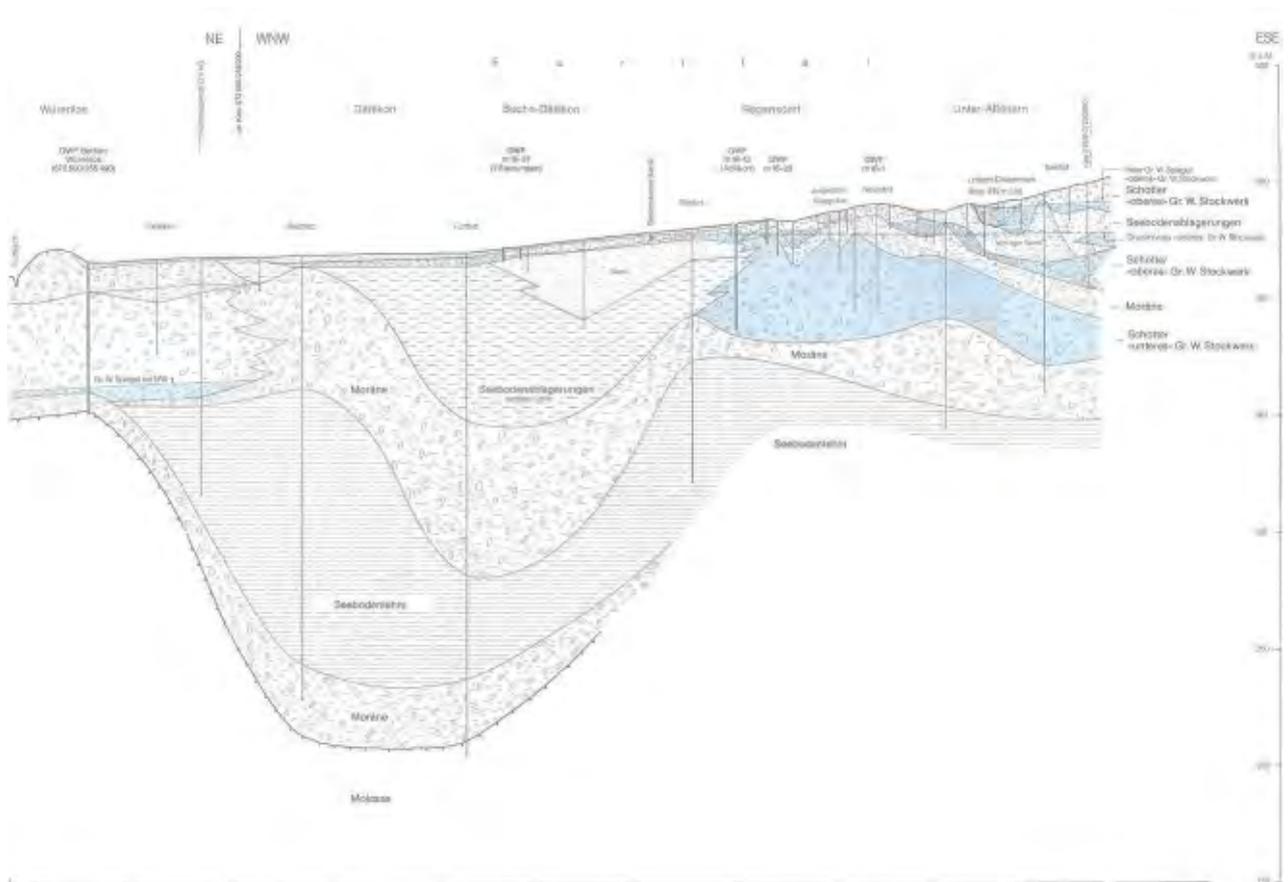
Beim Gletscherrückzug kam es zwischen dem Moränenwall bei Würenlos und Regensdorf zur Bildung eines ausgedehnten Sees und zur Ablagerung mächtiger, feinkörniger *Seeablagerungen*. Zur selben Zeit wurden weiter talaufwärts im Gebiet Regensdorf bis Chatzensee / Unteraffoltern ein sandig-kiesiger *Schotter* abgelagert. Dieser ältere Schotter erreicht bis zu 40 m Mächtigkeit und bildet heute den für die Trinkwassernutzung im Furttal relevanten Grundwasserleiter.

Vor seinem weiteren Rückzug in die Alpen stiess der würmeiszeitliche Gletscher nochmals vor und bedeckte dabei den älteren Schotter von Regensdorf mit einer kompakten, jüngeren Moräne. Die Pendelungen der Gletscherstirn haben im Gebiet zwischen Chatzensee und Regensdorf zu komplexen geologischen Verhältnisse mit raschen Wechseln von Schotter, Seeablagerungen und moränenartigen Schichten geführt.

Über der jüngeren Moräne bzw. weiter talabwärts über den Seebodenablagerungen kam schliesslich ein gering mächtiger *Rückzugsschotter* zur Ablagerung. Dieser jüngere Schotter weist im Gebiet Regensdorf eine recht grosse flächenhafte Ausdehnung auf und ist früher an verschiedenen Stellen abgebaut worden. Weiter talabwärts wird der Schotter zunehmend geringmächtiger und zum Teil nur noch lokal ausgebildet.

Den Abschluss des natürlichen Bodenprofils bilden *feine Überschwemmungssande und Auenlehme* sowie von den Talflanken eingeschwemmte *Gehängelehme*.

Figur 1: Hydrogeologisches Längsprofil durch das Furttal (aus: Die Grundwasserverhältnisse des Kantons Zürich)



## 2.2 Grundwasserverhältnisse

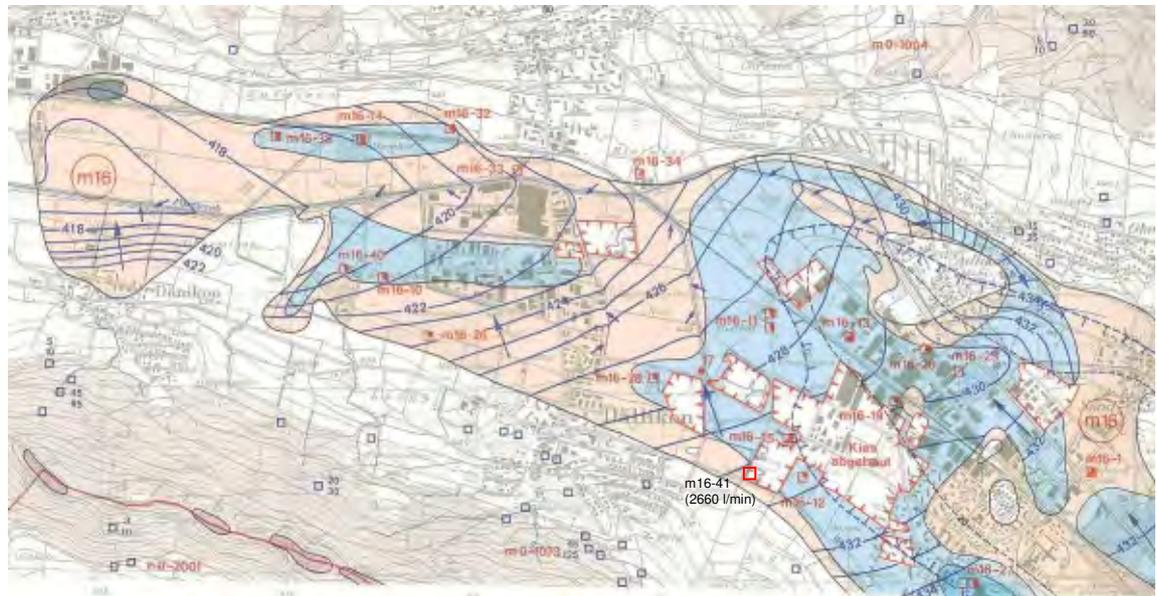
### 2.2.1 Grundwasservorkommen im oberen Furttal

Die beiden genannten Schottervorkommen bilden im Raum Regensdorf zwei selbständige, durch die praktisch wasserundurchlässige Moräne voneinander getrennte Grundwasserstockwerke.

#### **Unteres Grundwasserstockwerk**

Der ältere Vorstossschotter bildet das *untere Grundwasserstockwerk*. Seine Lithologie schwankt je nach Ablagerungsgebiet von kiesigen Lehmen bis hin zu sandigen Kiesen. Auf Grund der grossen Mächtigkeit von mehreren Zehner Metern und einer hydraulischen Durchlässigkeit um  $1 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$  stellt der Vorstossschotter einen ausgesprochen guten Grundwasserleiter dar.

Figur 2: Grundwasserhältnisse im Gebiet Regensdorf–Dänikon, Ausschnitt aus der Grundwasserkarte des Kantons Zürich 1:25'000, Blatt Bülach

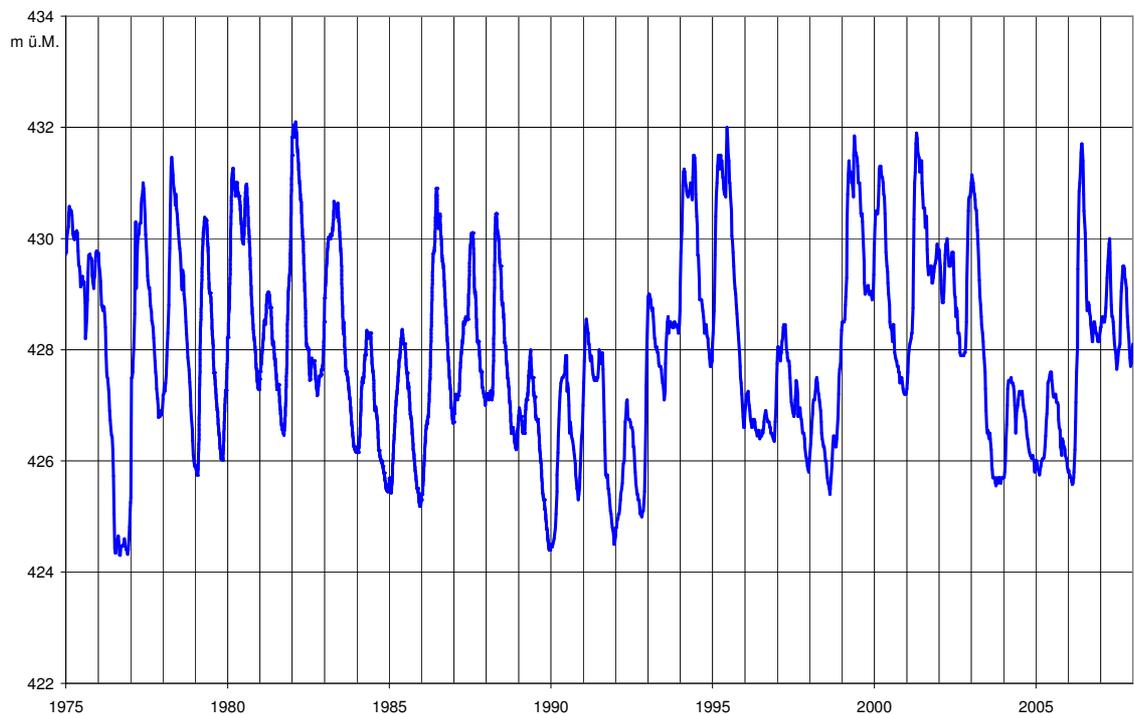


Legende

	Gebiet geringer Grundwassermächtigkeit (meist weniger als 2m)		—400— Isohypsen der Grundwasseroberfläche (oberes Stockwerk)
	Gebiet mittlerer Grundwassermächtigkeit (2 bis 10 m),		→ Fließrichtung des Grundwassers
	Gebiet grosser Grundwassermächtigkeit (mehr als 10 m),		○ Tieferes Grundwasserstockwerk
	Gebiet sehr grosser Grundwassermächtigkeit (mehr als 20 m),		□ Grundwasserfassung mit Konzessionsnummer

Bohrungen, die diesen Grundwasserleiter erreichen, zeigen praktisch durchwegs sub-artesisch gespannte Grundwasserhältnisse mit einem Grundwasserdruckspiegel, der in den Seebodenablagerungen bzw. in der Grundmoräne liegt. Im unteren Grundwasserstockwerk ist kein eindeutiges Gefälle des piezometrischen Druckniveaus zu erkennen. Die Grundwasserströmungsverhältnisse in diesem beckenartigen Grundwasservorkommen werden, ebenso wie Schwankungen des piezometrischen Druckspiegels massgebend durch den Pumpbetrieb in den bestehenden Grundwasserfassungen Adlikon (m16-13) und Ehrenhau / Strafanstalt (m16-1) induziert. Entsprechend weist das untere Stockwerk langfristig ausgesprochen grosse Wasserspiegelschwankungen von mehr als 8 m, welche zusätzlich auch durch die jährlichen Variationen der Grundwasserneubildung bedingt sind (Figur 3). Nach dem trockenen Jahr 2003 blieben die Wasserspiegel in den beiden Folgejahren auf einem vergleichsweise tiefen Niveau. Diese erholten sich signifikant erst wieder im niederschlagsreichen Frühling 2006 und erreichten dabei kurzzeitig sogar einen Hochwasserstand.

Figur 3: Ganglinie des Grundwasserspiegels in der Fassung Adlikon m16-13 im Zeitraum 1975–2007



### 2.2.2 Oberes Grundwasserstockwerk

Das obere Grundwasserstockwerk bilden die zumeist nur wenige Meter mächtigen Rückzugschotter. Der Schotter weist zudem eine nur bescheidene hydraulische Durchlässigkeit in der Grössenordnung  $K = 1-5 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$  auf, so dass der Bau von kapazitiven Fassungen nicht möglich ist.

Generell folgt die Grundwasserfliessbewegung dem Talverlauf, wobei der Furtbach durchwegs als Vorfluter für das Grundwasservorkommen im oberen Stockwerk wirkt. Entsprechend weist das die Grundwasseroberfläche in der Regel ein in Richtung des Furtbaches gerichtetes Gefälle auf.

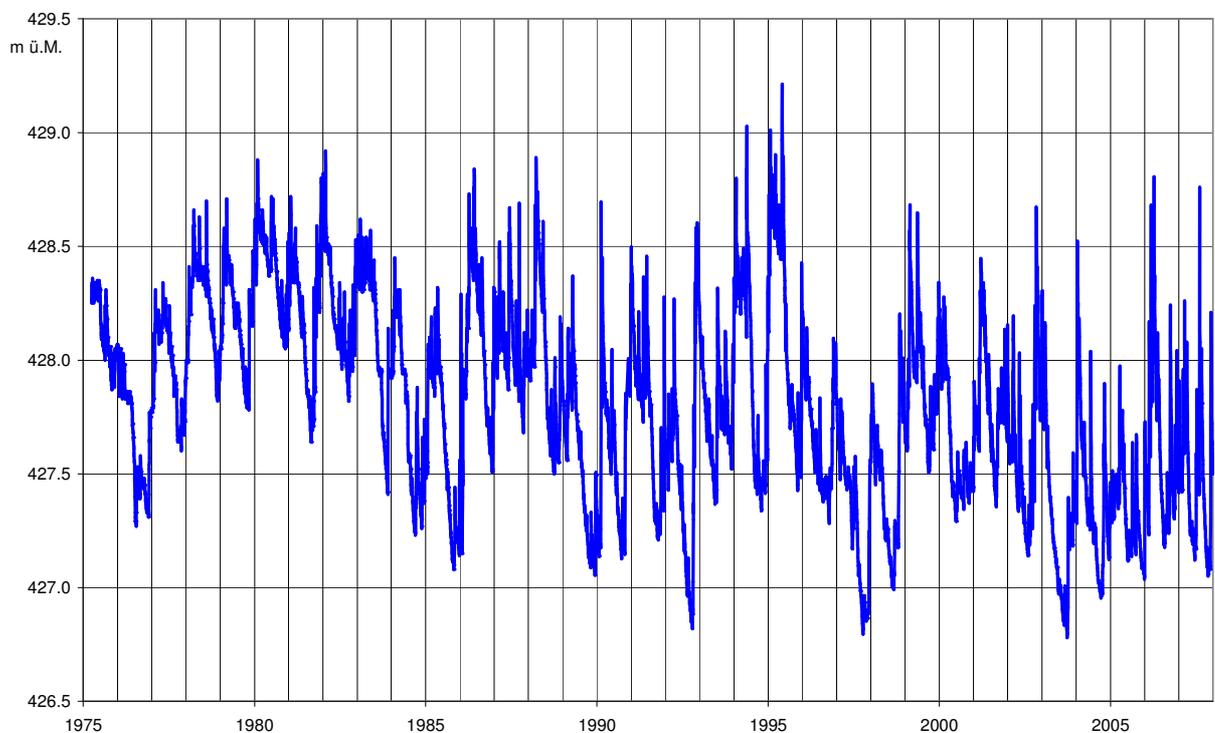
Das Bachbett verläuft über weite Strecken im Bereich des oberen Schottervorkommens, wobei dessen Mächtigkeit mit Ausnahme eines kurzen Abschnittes zwischen Furthof und dem Hochwasser-Rückhaltebecken Wüeri etwa 1–2 m beträgt. Im genannten Bachabschnitt erreicht der Schotter gemäss Grundwasserkarte lokal eine Mächtigkeit von bis zu 10 m (Figur 2). Mengenmässig bedeutende Übertritte von Grundwasser (Exfiltration) in den Furtbach, welche zur Stützung der vorhandenen Wasserführung im Furtbach beitragen würden, sind wegen der nur vergleichsweise geringen Mächtigkeit und Durchlässigkeit bzw. der bescheidenen Wasserzirkulation im oberen Schotter allerdings nicht zu erwarten.

Im unteren zürcherischen Furttal verläuft das Bachbett überwiegend über praktisch wasserundurchlässigen Schichten. Generell stellt der Furtbach auch hier die Vorflut für das Grund-

wasser dar. Wegen der geringen Durchlässigkeit des Untergrundes sind die direkten Übertritte von Grundwasser in den Furtbach in diesem Talabschnitt aber noch wesentlich geringer.

Die Schwankungen des Grundwasserspiegels im oberen Stockwerk werden seit 1975 am kantonalen *Pegel P17* aufgezeichnet. Der Pegel liegt nordwestlich der ehemaligen Kiesgruben, welche heute aufgefüllt und rekultiviert sind (Standort siehe *Figur 2*). Die langfristigen Messungen lassen erkennen, dass der Grundwasserspiegel am Pegel P17 im Verlauf der Zeit deutlich abgesunken ist und heute im Vergleich zu früher auf einem ca. 0.5–0.8 m tieferen Niveau liegt. Ob diese Beobachtungen einem generellen Trend im oberen Stockwerk entsprechen und durch eine verminderte Grundwasserneubildung sowie allenfalls zusätzlich durch intensive Brauchwassernutzungen bedingt sind, oder aber ob es sich um ein lokales Phänomen handelt, kann nicht abschliessend beantwortet werden. Es ist unseres Erachtens nämlich durchaus denkbar, dass die offenen und später verfüllten Kiesgruben die Grundwasserfliessverhältnisse am Standort des Pegels P17 massgeblich beeinflusst haben und für das Absinken des Grundwasserspiegels verantwortlich sind. Grundsätzlich führt die Freilegung des Grundwassers in einer Kiesgrube nämlich zu einem Anstieg des Wasserspiegels unterstrom des Kiesweihers, während nach der Verfüllung mit in der Regel gering wasser-durchlässigem Material das Grundwasser obstrom zurück gestaut wird und der Wasserspiegel dort ansteigt, während unterstrom eine Absenkung des Grundwasserspiegels beobachtet werden kann.

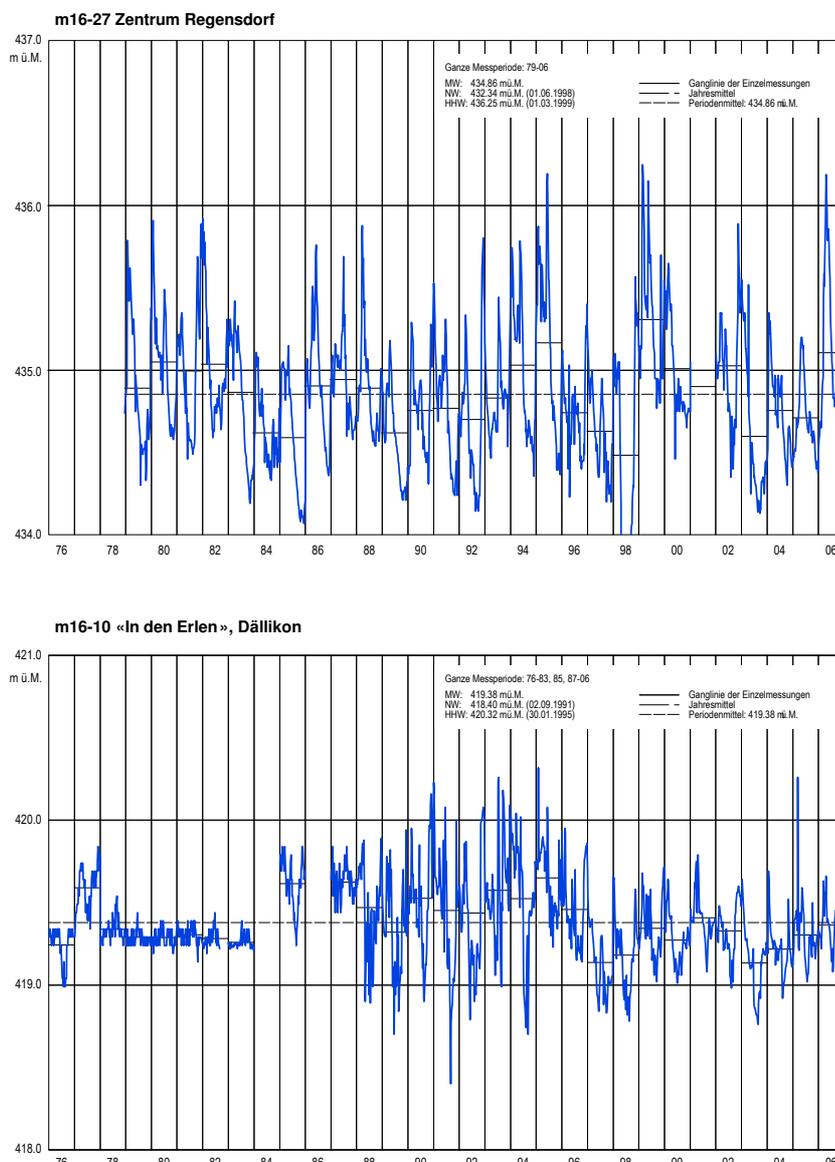
*Figur 4: Ganglinie des Grundwasserspiegels im kantonalen Pegel P17 im Zeitraum 1975–2007*



Zum Vergleich sind in *Figur 5* die langjährigen Ganglinien des Grundwasserspiegels in den Brauchwasserfassungen beim Zentrum Regensdorf (m16-27) und beim Landwirtschafts-

betrieb Bruderhof «In den Erlen», Dällikon (m16-10) dargestellt. Während beim Zentrum Regensdorf während des Beobachtungszeitraumes kein sinkender Trend des Grundwasserspiegels feststellbar, liegen in der Brauchwasserfassung «In den Erlen» die Jahresmittelwerte seit 1997 generell ebenfalls auf einem etwas niedrigeren Niveau. Es ist daher nicht auszuschliessen, dass in den vergangenen Jahren nutzungsbedingt etwas tiefere Wasserspiegel vorherrschen. Um genauere Aussagen zur zeitlichen Entwicklung des Grundwasserspiegels im oberen Stockwerk machen zu können, empfiehlt es sich, einen weiteren kantonalen Pegel mit kontinuierlicher Registrierung der Grundwasserspiegellage zu installieren und zu betreiben.

Figur 5: Langjährige Ganglinie des Grundwasserspiegels in den Brauchwasserfassungen m16-27 beim Zentrum Regensdorf und m16-10 «In den Erlen» in Dällikon



## 2.3 Korrektur des Furtbaches

In früheren Jahrhunderten führte der mäandrierende Furtbach regelmässig zu Überschwemmungen der Talebene. Mit dem Ziel, das Furttal der landwirtschaftlichen Nutzung besser zugänglich zu machen und eine Besiedelung zu ermöglichen, wurde bereits im Jahre 1871 die «Entsumpfungsgesellschaft des Regensdorfer Thales» gegründet. Gestützt auf das kantonale Entwässerungsgesetz führte die «Entsumpfungsgesellschaft» zwischen 1871 und 1875 die *erste Absenkung* des Furtbaches um etwa 1 m durch.

Das Ziel dieser ersten Furtbach-Korrektion, nämlich Überschwemmungen des angrenzenden Landes auf wenige Tage zu begrenzen und damit die landwirtschaftliche Nutzbarkeit zu erhöhen, wurde aber nicht erreicht. Das Bachgefälle konnte lediglich auf 0.5 ‰ verbessert werden, so dass die erzielte Entwässerungswirkung der Sohlenabsenkung zu gering war. Das Furttal blieb bis zum ersten Weltkrieg das einzige Zürcher Tal, in dem keine erfolgreichen Bodenverbesserungen durchgeführt werden konnten.

Die «Schweizerische Vereinigung für Innenkolonisation und Industrielle Landwirtschaft» bemühte sich nach Ende des ersten Weltkrieges in einem zweiten Versuch das immer noch zur landwirtschaftlichen Nutzung wenig geeignete Furttal aufzuwerten. Dafür wurden während der Melioration zwischen 1918 und 1923 (*Figur 6 und Figur 7*):

- die Schleuse beim Furtsteg entfernt,
- der Furtbach erneut um bis zu 2.60 m zwischen der Schleuse Otelfingen und der Bahnüberführung Wühre-Regensdorf tiefer gelegt (*zweite Furtbachabsenkung*),
- das minimale Gefälle im unteren Abschnitt auf 0.58 ‰ erhöht,
- vier Entwässerungsgräben angelegt,
- Drainageleitungen innerhalb der vernässten Flächen verlegt.

Zusätzlich erfolgte eine Bachkorrektur im Dorf Würenlos auf einen maximalen Durchfluss vom 30 m<sup>3</sup>/s, die Erstellung eines selbst regulierten Wehres bei Würenlos sowie der Bau diverser Brücken über den Furtbach.

Figur 6: Arbeiten während der zweiten Furtbachabsenkung in den 20er Jahren



Figur 7: Melioration zwischen 1918 und 1923 (zweite Furtbachabsenkung)



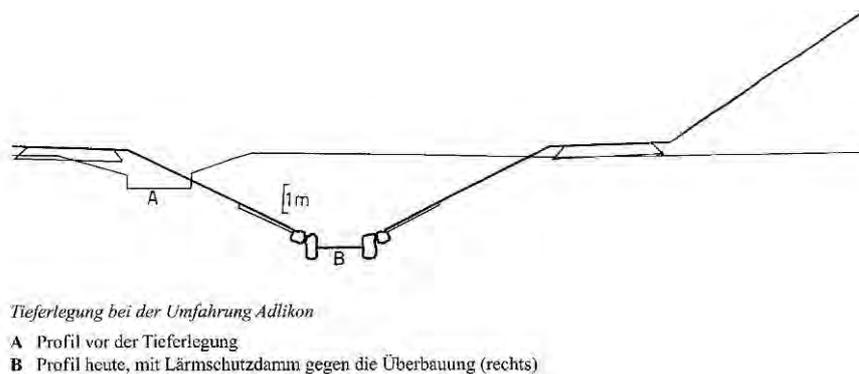
Die Melioration 1918/23 (gemäss Projektplan 1; 25000, verkleinert)  
— = alt, bleibend — = neu oder ausgebaut  
/// = Land der Meliorationspächter  
α = Höfe der Innenkolonisation  
Die 75 km Drainageleitungen sind nicht dargestellt!

Schon bald nach Abschluss der Meliorationsarbeiten verschlechterten sich die Verhältnisse wieder. Am 21./22. September 1968 ereignete sich als markantestes Ereignis ein Hochwasser mit einem Abfluss mit bis zu 25'000 l/s.

Als Ende der 70er Jahre die Idee einer Furttalautobahn verworfen wurde, genehmigte 1980 der Regierungsrat des Kantons Zürich ein Gesamtkonzept zur dritten Furtbachsanierung. Ein Teil des Sanierungskonzeptes wurde inzwischen umgesetzt: (Figur 8):

- Errichtung des Hochwasser-Rückhaltebeckens Wüeri in Regensdorf.
- Bau der neuen Umfahrung Adlikon und Absenkung bei Adlikon und Absenkung des Furtbaches um 2.30 m (dritte Furtbachabsenkung). Am Ende der Umfahrung bei Breite/Adlikon musste der Furtbach baubegleitend über 15 Jahre hoch gepumpt werden. Längs der Umfahrung Adlikon blieb der kanalisierte Zustand des Furtbaches bestehen.
- Ausräumung und Profilerweiterung des Furtbaches zwischen der Otelfingerstrasse und Bennengraben im Zusammenhang mit der Errichtung des Golfplatzes Otelfingen.

Figur 8: Dritte Furtbachabsenkung 1980 bei Adlikon



Die über fast ein Jahrhundert durchgeführten Meliorationsmassnahmen haben die Voraussetzungen für eine intensive landwirtschaftliche Nutzung der Talebene geschaffen. Gleichzeitig ist dadurch aber auch der Wasserbedarf für die Bewässerung der Felder, insbesondere der zahlreichen Gemüsekulturen, gestiegen.

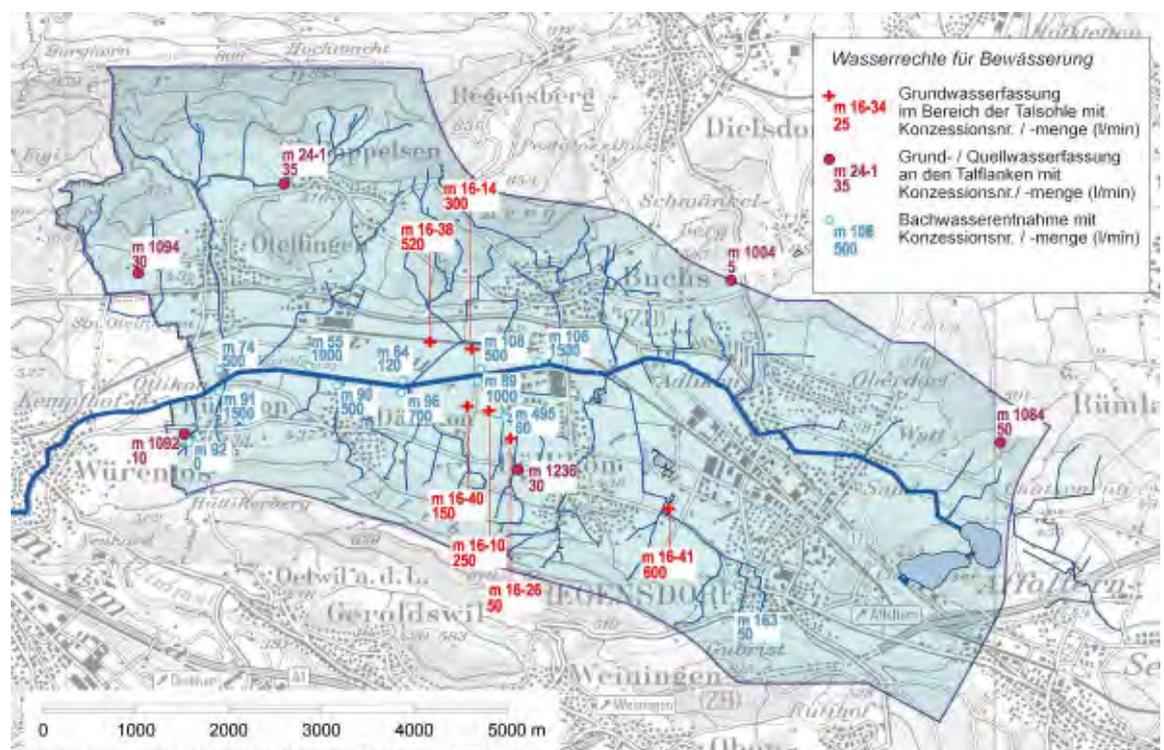
Mit der Absenkung der Furtbachsohle hat sich auch die Vorflutwirkung für das im angrenzenden Untergrund zirkulierende Grundwasser verstärkt. Wegen der im allgemeinen bescheidenen Mächtigkeit und Durchlässigkeit der Wasser führenden Schichten war aber die Reichweite der damit verbundenen Grundwasserabsenkung räumlich begrenzt und beschränkt sich generell auf den Nahbereich des Furtbaches.

### 3 WASSERVERSORGUNG IM FURTTAL

Für die Trinkwasserversorgung im Furttal wird aus dem unteren Grundwasserstockwerk im Bereich Regensdorf Grundwasser in zwei Fassungen entnommen. Weiterhin bestehen zahlreiche Quelfassungen, die ebenfalls der Trinkwasserversorgung dienen. Das zur Verfügung stehende Grund- und Quellwasser reicht jedoch nicht aus, um die Region ausreichend mit Trinkwasser zu versorgen. Es erfolgt daher eine zusätzliche Einspeisung von Seewasser in das Trinkwassernetz. Besonders in trockenen Jahren - wie z.B. im Jahr 2003- bestanden 40% des Trinkwassers aus eingespeistem Seewasser. Bei einem Trinkwasserverbrauch im Jahr 2003 von 125 l/s, entspricht dies einer eingespeisten Seewassermenge von 50 l/s. Während niederschlagreicher Jahre reduzierte sich die eingespeiste Seewassermenge auf rund 30% bzw. rund 35 l/s. Der gesamte Trinkwasserverbrauch des Furttals betrug in den Jahren 2000 bis 2005 zwischen minimal 3.3 und maximal 4 Mio. m<sup>3</sup>.

Darüber hinaus existieren eine Vielzahl an Wasserentnahmen aus dem oberen Grundwasserstockwerk sowie Bachwasserentnahmen aus dem Furtbach für Brauchwasserzwecke. *Figur 9* zeigt eine Übersicht der konzessionierten Grundwasser- und Bachwasserentnahmen im Furttal, die im nachfolgenden näher quantifiziert werden sollen.

*Figur 9: Übersicht der Konzessionen zur Wasserentnahme für Bewässerungszwecke aus dem Furtbach, den Seitenbächen sowie aus Grund- und Quellwasser.*



### 3.1 Entnahmen aus dem unteren Grundwasserstockwerk

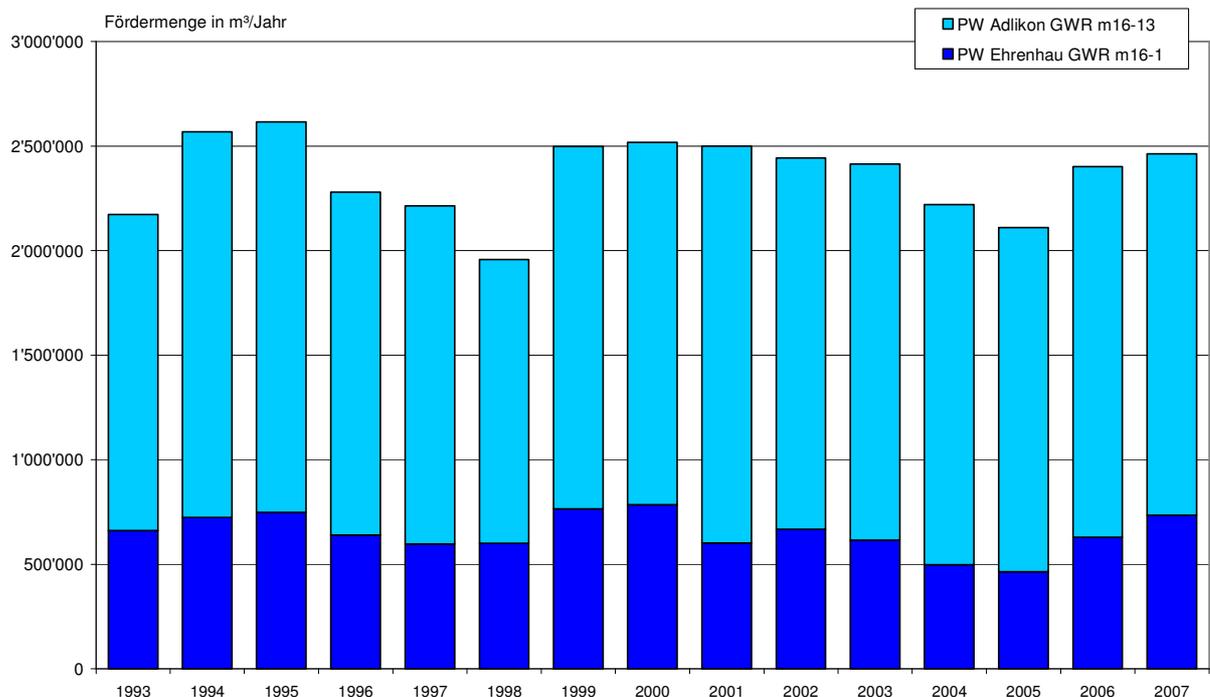
Im Gebiet Regensdorf existieren zwei kapazitive Grundwasserpumpwerke für die Trinkwasserversorgung. Beide Fassungen nutzen das tiefere, unter einer weitgehend wasserundurchlässigen Moräne liegende Grundwasserstockwerk. Es sind dies das PW Ehrenhau der Strafanstalt Pöschwies (GWR m 16-1) mit einer konzessionierten Entnahmemenge von 6'000 l/min und das PW Adlikon (GWR m 16-13) der Gruppenwasserversorgung Oberes Furttal mit einer Konzessionsmenge von 8'500 l/min (Tabelle 1). Weitere Entnahmen zur Trinkwassergewinnung sind nicht vorhanden.

Tabelle 1: Aktuelle Konzessionen für Entnahmen aus dem unteren Grundwasserstockwerk

Grundwasserrecht GWR	Fassung / Inhaber / Standort	Zweck 1)	Konzession Q [l/min]
m 16-1	PW Ehrenhau, Strafanstalt Pöschwies	TW	6'000
m 16-13	PW Adlikon, GWF Furttal	TW	8'500

Die jährlich geförderte Wassermenge der beiden Pumpwerke beträgt zwischen ca. 1.9 und 2.6 Mio. m<sup>3</sup> (Figur 10). Im Trockenjahr 2003 wurden durchschnittlich rund 50 l/s Grundwasser aus dem unteren Stockwerk zur Trinkwasserversorgung gefördert.

Figur 10: Grundwasser-Fördermengen der Pumpwerke Ehrenhau und Adlikon 1993–2007



### 3.2 Entnahmen aus dem oberen Grundwasserstockwerk

Hingegen gibt es eine Vielzahl zumeist kleiner Brauchwasserfassungen mit Entnahmemengen zwischen einigen Zehner bis einigen hundert Liter pro Minute. Einzig die Fassung der Firma Keller in Regensdorf weist eine grosse Konzessionsmenge von 2'600 l/min auf. Die vorhandenen Brauchwasserfassungen erschliessen durchwegs das oberflächennahe, wenige Meter mächtige Schotter-Grundwasservorkommen des Furttals. Insgesamt 4 Konzessionäre nutzen das Grundwasser für landwirtschaftliche Bewässerungszwecke. Die konzessionierte Entnahmemenge für die Bewässerung beträgt total 1'870 l/min (Tabelle 2). Über die effektiv entnommenen Wassermengen aus dem oberen Grundwasserstockwerk existieren jedoch keine genauen Angaben.

Tabelle 2: Aktuelle Konzessionen für Entnahmen aus dem oberen Grundwasserstockwerk

Standort	Grundwasserrecht GWR	Fassung / Inhaber	Zweck 1)	Konzession Q [l/min]
Regensdorf	m 16-5	Gemeinde Regensdorf	NWV + LB	300
	m 16-11	Gemeinde Regensdorf	NWV	50
	m 16-12	Paul Schiller Stiftung, Regensdorf	BW	35
	m 16-15	E. Keller AG, Regensdorf	BW + WPG	2'600
	m 16-16	H. Keller, Regensdorf	BW	30
	m 16-27	Gemeinde Regensdorf	NWV	275
	m 16-30	Kirchengemeinde Regensdorf	WPG	200
	m 16-41	Forster Gemüse AG, Dällikon	BEW	600
Dällikon	m 16-10	Forster Gemüse AG, Dällikon	BEW	250
	m 16-26	Forster Gemüse AG, Dällikon	BEW	50
	m 16-28	E. Sulzer, Dällikon	BW	50
	m 16-40	K. Günthardt, Dällikon	BEW	150
Buchs	m16-38	B. Huber, Buchs	BEW	520
	m 16-14	Gebr. Meier Wiesenhof, Buchs	BEW	300
	m 16-34	Auto-Sigg, Buchs	BW	25
Otelfingen	m16-36	Kindt Fensterladen AG, Otelfingen	KW + ZW	10

- 1)    NWV: Notwasserversorgung    LB: Laufbrunnen  
       ZW: Zivilschutzzwecke        KW: Kühlzwecke  
       WPG: Wärmenutzung            BW: Brauchwasser  
       BEW: Bewässerung

### 3.3 Quellwasserfassungen

Über den genauen Ertrag der einzelnen Quellwasserfassungen liegen keine detaillierten Informationen vor. Gemäss der Daten der Wasserversorgung des Furttals besteht jedoch ein beträchtlicher Anteil des Trinkwassers aus Quellwasser. Die genutzte Quellwassermenge lag zwischen 2000 und 2005 im Jahresmittel relativ konstant bei 20 bis 30 l/s, und betrug im Trockenjahr 2003 rund 25 l/s.

### 3.4 Entnahmen aus dem Furtbach und aus Seitenbächen

Derzeit existieren 12 Konzessionen zur Wasserentnahme aus dem Furtbach und seinen Seitenbächen für Bewässerungszwecke. Die konzessionierte Gesamtentnahme liegt bei 7'430 l/min bzw. rund 120 l/s (Tabelle 3). Die Entnahmen konzentrieren sich auf den Bachabschnitt im unteren zürcherischen Furttal, zwischen dem Furthof und Hüttikon bzw. der Kantonsgrenze (Figur 9). Maximale Konzessionen betragen um 1'500 l/min (WR m 91 und WR m 106), während minimale Konzessionen bei 50 l/min (WR m 163) bis 500 l/min (WR m 108, WR m 74, WR m 90) liegen.

Tabelle 3: Aktuelle Konzessionen zur Wasserentnahme aus dem Furtbach und seinen Seitenbächen

Wasserrecht Nummer	Bewässerung für	konzessionierte Entnahmemenge	
		ca. [l/s]	[l/min]
WR m 55	Golfplatz	17	1'000
WR m 64	Landwirtschaft	2	120
WR m 74	Landwirtschaft	8	500
WR m 89	Landwirtschaft	17	1'000
WR m 90	Landwirtschaft	8	500
WR m 91	Landwirtschaft	25	1'500
WR m 92	Landwirtschaft	–	–
WR m 96	Landwirtschaft	12	700
WR m 106	Landwirtschaft	25	1'500
WR m 108	Landwirtschaft	8	500
WR m 163	Landwirtschaft	< 1	50
WR m 495	Landwirtschaft	1	60
Gesamt		123	7'430

## 4 HYDROLOGISCHE VERHÄLTNISSE

### 4.1 Niederschlag

Für das Furttal selbst steht keine meteorologische Messstation zur Verfügung. Als Vergleichsstation für das Niederschlagsgeschehen im Furttal muss daher die nächst gelegene Station der Meteo-Schweiz in Zürich-Reckenholz (Station 2930) herangezogen werden. Diese liegt etwa 1.5 km südöstlich des Chatzensees bei Unteraffoltern.

In *Tabelle 4* sind die Niederschlagsdaten an der Messstation Reckenholz zwischen 2000 und 2007 zusammengestellt. Die Jahressummen variieren zwischen minimal 750 mm im trockenen Jahr 2003 und maximal rund 1'400 mm in 2001. Der mittlere Jahresniederschlag für den genannten Beobachtungszeitraum liegt bei 1'060 mm. Dieser Wert liegt leicht über dem langjährigen Mittel der seit 1961 aufgezeichneten Niederschläge an der Station Reckenholz von 1'042 mm.

*Tabelle 4: Jährliche Niederschlagshöhen an der Messstation Zürich-Reckenholz zwischen 2000 und 2007*

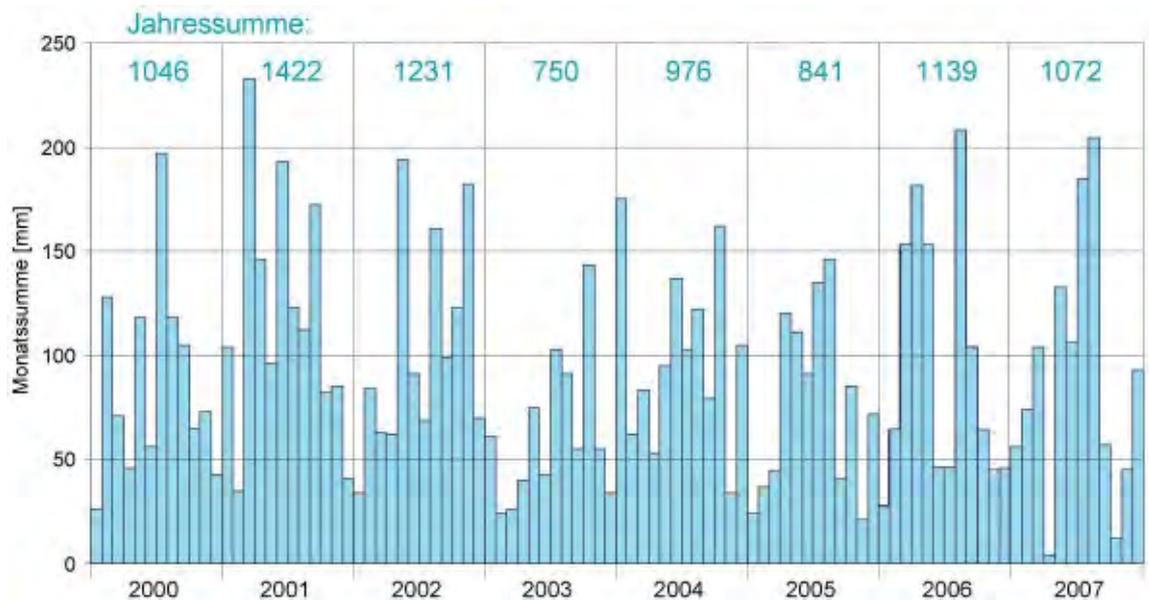
<b>Jahr</b>	<b>Jahresniederschlag [mm]</b>	<b>% der Norm</b>
2000	1'046	104
2001	1'422	136
2002	1'231	118
2003	750	72
2004	976	94
2005	841	86
2006	1'139	104
2007	1'072	103
∅	1'060	102

Trotz der über die gesamte Messdauer betrachtet durchschnittlichen Niederschlagsmengen ist der Zeitraum zwischen 2000 und 2005 durch extreme Witterungsperioden geprägt.

Im sehr trockenen *Jahr 2003* blieb der Jahresniederschlag rund 30 % unterhalb der Norm. Während dieses Jahres waren nicht nur die Sommermonate niederschlagsarm, sondern bereits in den vorausgehenden Winter- und Frühjahrsmonaten war eine geringe Niederschlagsintensität zu beobachten. Der Monat Juni 2003 war dann extrem trocken («Jahrhundert-sommer») und die Niederschlagsmenge lag mehr als 60 % unterhalb der Norm.

Demgegenüber fällt das *Jahr 2001* durch überdurchschnittlich nasse Perioden auf. Die Jahressumme der Niederschläge lag 36% über dem langjährigen Normwert. Bei der Betrachtung der Monatssummen wird deutlich, dass während dieses überdurchschnittlich nassen Jahres besonders die Monate März mit 233 mm und Juni mit 193 mm eine ausgeprägte Niederschlagsintensität aufwiesen (*Figur 12*).

Figur 11: Monatssummen der Niederschläge an der Station Zürich-Reckenholz zwischen 2000 und 2007

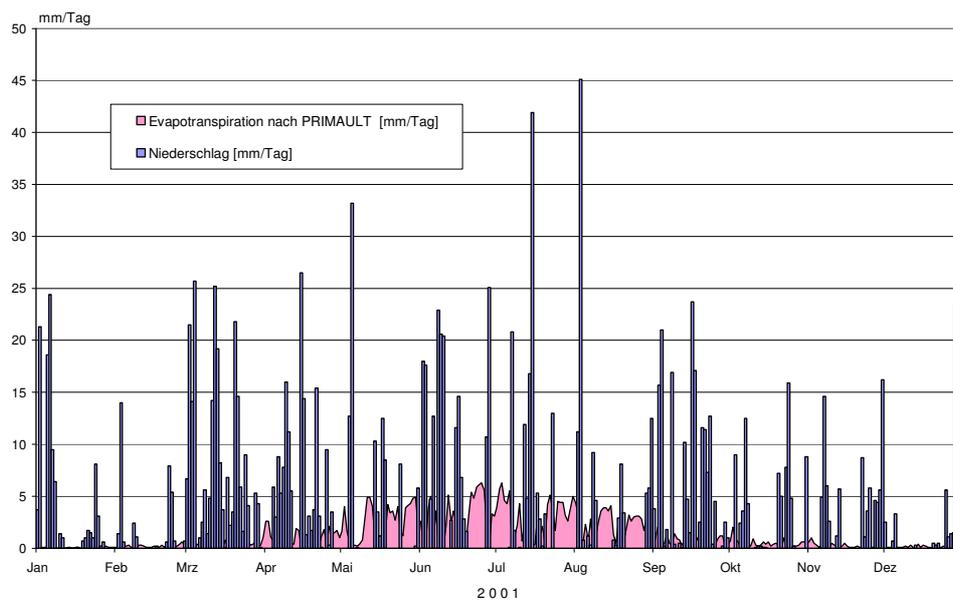
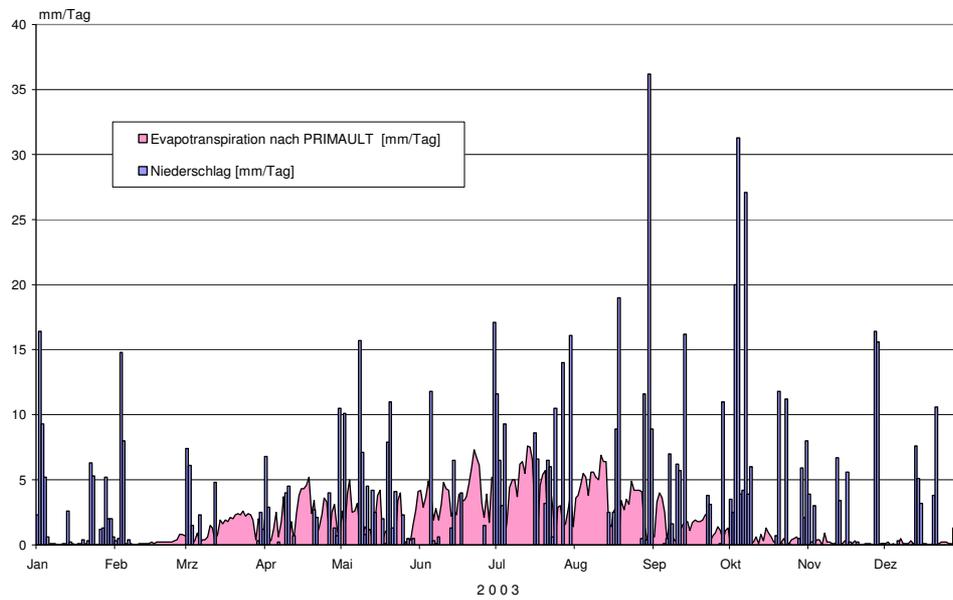


## 4.2 Evapotranspiration

Als Evapotranspiration wird die Summe aus Transpiration und Evaporation bezeichnet. Diese entspricht im Wesentlichen der *Verdunstung* von Wasser über Pflanzen und Boden. Die Evapotranspiration wird durch zahlreiche Faktoren bestimmt, wie Bedeckung und Wassergehalt des Bodens, Luftfeuchtigkeit, Temperatur der Erd- bzw. Wasseroberfläche und der bodennahen Luftschichten, der Solarstrahlung und schliesslich auch der Windgeschwindigkeit an der Erdoberfläche.

Figur 12 zeigt eine Gegenüberstellung von Niederschlag und Evapotranspiration an der Station Zürich-Reckenholz für das nasse Jahr 2001 sowie für das extrem trockene Jahr 2003. In niederschlagsarmen, heissen Sommermonaten wie im Jahrhundertssommer 2003 überwiegt die Evapotranspiration bei weitem und es besteht ein grosses Wasserdefizit in den oberen Bodenschichten. Demgegenüber vermögen die Niederschläge in nassen Perioden den Wasserverlust durch die Evapotranspiration weitgehend auszugleichen, so dass zu keinem Zeitpunkt ein grösseres Wasserdefizit vorhanden ist.

Figur 12: Niederschlag und Evapotranspiration in den Jahren 2001 und 2003, Station Zürich-Reckenholz



### 4.3 Hydrologisches Einzugsgebiet

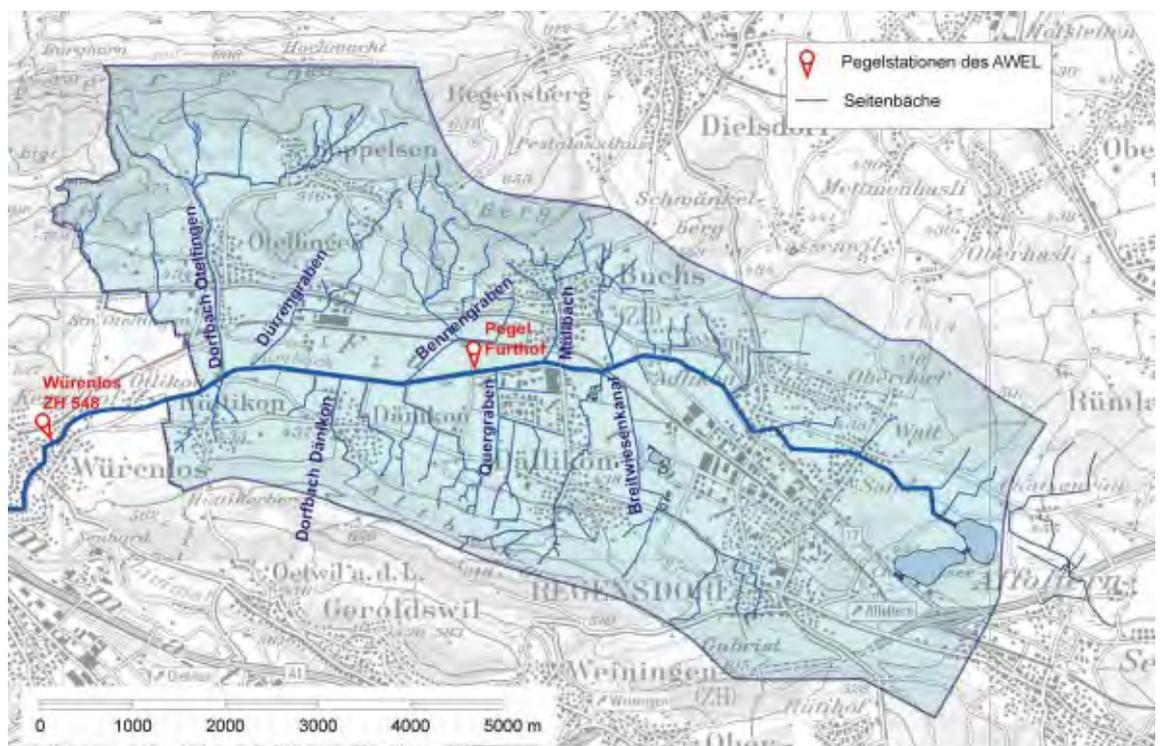
(vgl. Figur 13)

Der Furtbach entspringt im Moorgebiet des oberen Chatzensees. Der zürcherische Teil seines Einzugsgebietes wird im Norden durch die Höhenzüge Ibig, Schwänkelberg, Regensberg und die Lägeren begrenzt. Der südliche Rand des Einzugsgebietes folgt vom Gubrist über den Rücken des Altberges bis zum Hüttikerberg. Bei Killwangen mündet der Furtbach schliesslich in die Limmat. Die gesamte Fläche des zürcherischen Einzugsgebietes beträgt rund 31 km<sup>2</sup>.

Aus den das Einzugsgebiet des Furtbaches begrenzenden Höhenzügen entspringen zahlreiche Bäche, die den Furtbach bis zu seiner Einmündung in die Limmat speisen. Der erste relevante Zufluss zum Furtbach erfolgt über den Breitwiesenkanal, der den Gubrist entwässert. Danach folgen in weiter westlicher Richtung der Mülibach, Bennengraben und Dürrengraben, die dem Regensberg sowie der Quergraben und Dorfach Dänikon, die dem Altberg entspringen. Kurz vor der Kantonsgrenze mündet der Dorfbach Otelfingen, der die Lägeren entwässert, in den Furtbach.

Weitere nennenswerte Wasserzuflüsse erfolgen durch die Einleitungen von geklärtem Abwasser der ARA's Wüeri, Buchs-Dällikon und Otelfingen. Daneben führen nach niederschlagsreichen Perioden auch die vorhandenen Drainagen aus den umliegenden Feldern dem Furtbach Wasser zu.

Figur 13: Hydrologisches Einzugsgebiet des zürcherischen Teil des Furtbaches (blau) und Lage der Abflussmessstationen Würenlos und Furthof



## 4.4 Langfristige Abflussmessungen am Furtbach

Zur Beurteilung des langfristigen Abflussverhaltens des Furtbaches stehen folgende zwei AWEL-Messstationen zur Verfügung (Figur 13):

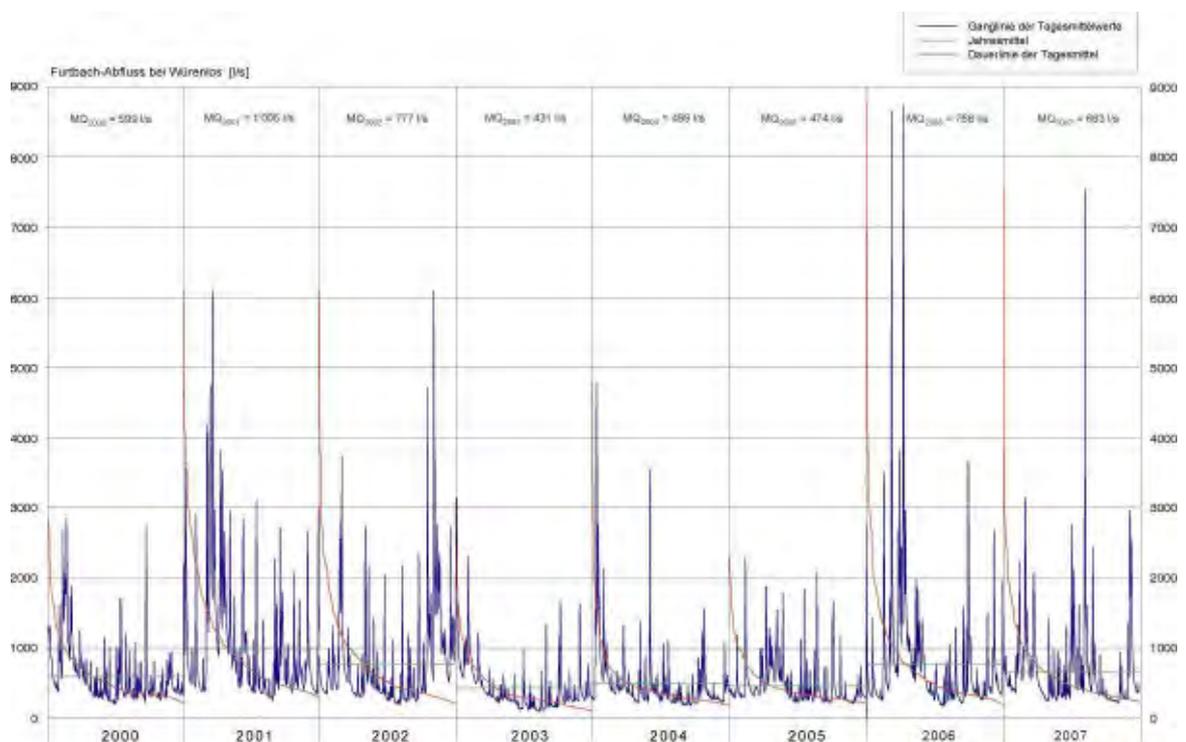
- *Pegel Furtbach-Würenlos / AG (ZH 548), Koordinaten 669'910 / 255'280:*  
In Betrieb seit 1978, Aufzeichnungsrhythmus alle 10 Minuten.
- *Pegel Furtbach-Furthof, Koordinaten 674'375 / 250'035:*  
Betrieb zwischen 1979 und 1995, Aufzeichnungsrhythmus unregelmässig, Intervalle zwischen 6 und 15 Mal pro Tag, verlässlich Daten existieren etwa bis 1992.

### 4.4.1 Messstation Würenlos (ZH 548)

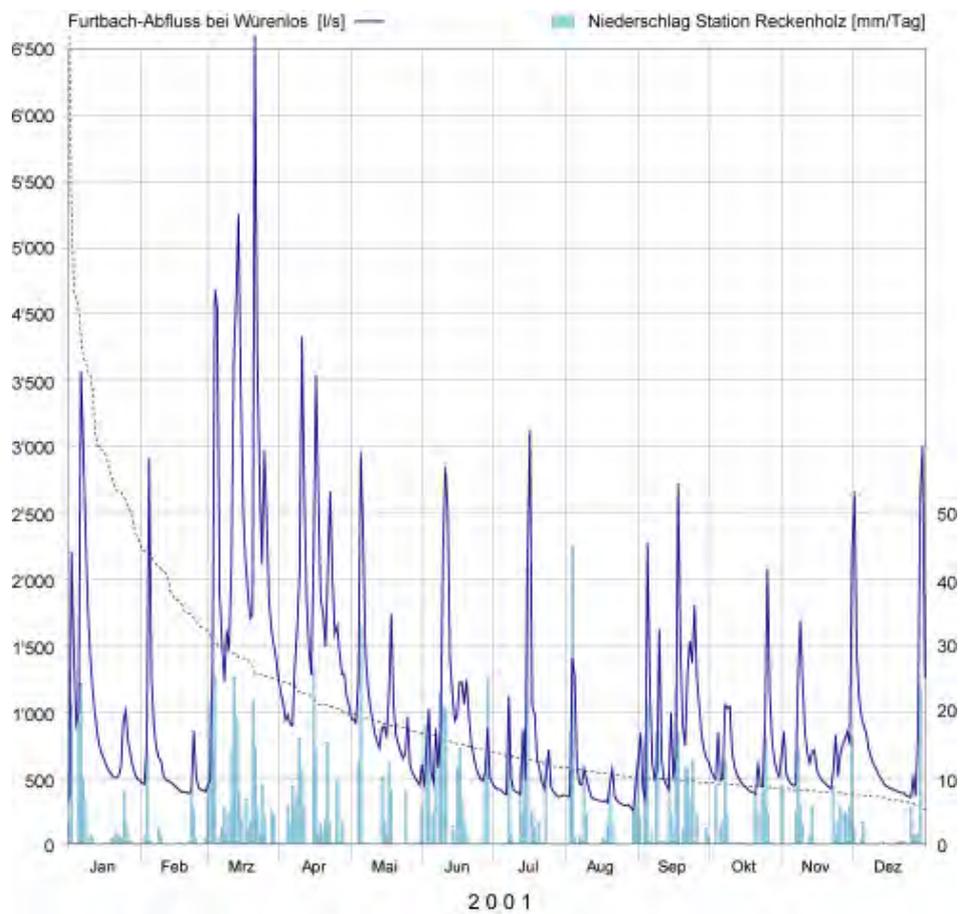
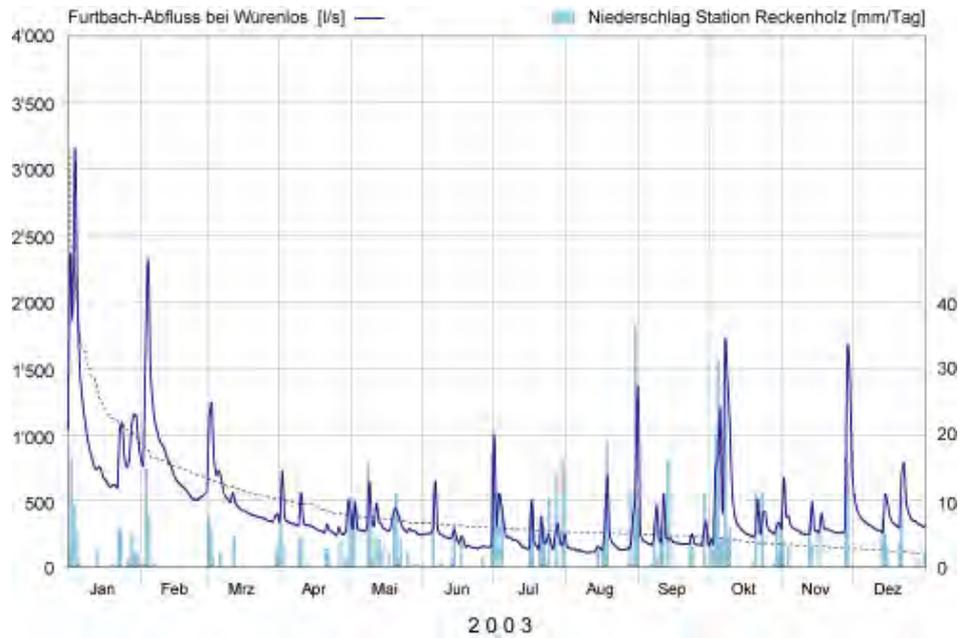
Die Abflussstation Furtbach-Würenlos befindet sich im aargauischen Teil des Furtbaches bei Würenlos. Die langjährigen Messreihen dieser Station zeigen, dass der Furtbach ausgesprochen starken Abflussschwankungen unterworfen ist. Bei den Extremhochwässern am 22. Februar und am 12. Mai 1999 erreichte der Furtbach bei Würenlos jeweils Spitzenabflüsse von ca. 17'700 resp. 18'000 l/s. Der langjährige Mittelwert des Abflusses liegt bei ca. 660 l/s, was an der Station Würenlos einer Wasserspiegelhöhe um 0.4 m entspricht.

Die Grafik in *Figur 14* zeigt die Abflussganglinie der Tagesmittel im Zeitraum 2000–2007. Die jährlichen Abflussspitzen schwankten im genannten Zeitraum zwischen rund 2'000 und 12'100 l/s. Die Jahresmittel liegen zwischen minimal 431 l/s (2003) und maximal 1'005 l/s (2001). In lang anhaltenden Trockenzeiten fällt der Abfluss bis auf annähernd 100 l/s ab.

Figur 14: Abflussganglinie der Tagesmittel an der Station Furtbach-Würenlos von 2000 bis 2007



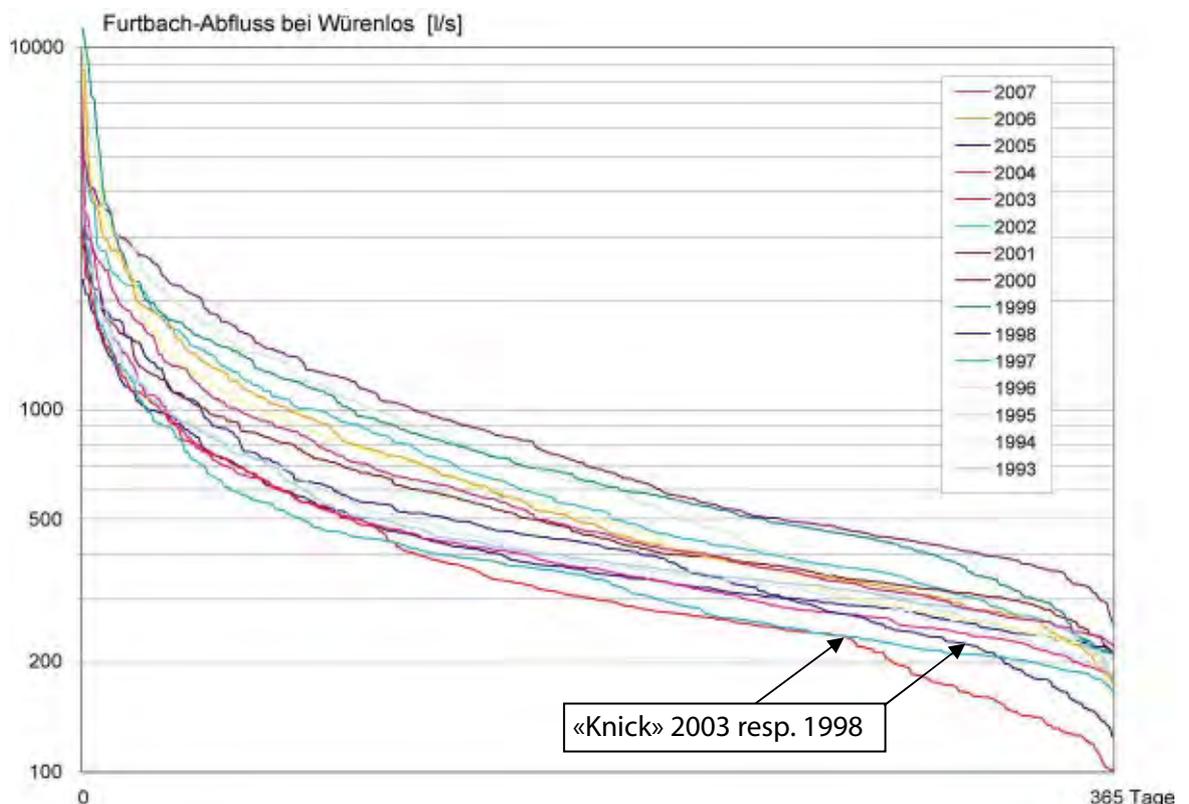
Figur 15: Abflussganglinien der Tagesmittel an der Station Furtbach-Würenlos und Niederschläge der Station Reckenholz der Jahre 2001 und 2003



Figur 15 zeigt eine Gegenüberstellung von Abfluss und Niederschlag für die Beobachtungsjahre 2001 («nasses» Jahr) und 2003 («trockenes» Jahr). Im Winterhalbjahr ist jeweils eine deutliche und rasche Abhängigkeit der Abflusshöhe vom Niederschlag erkennbar. In den Sommermonaten ist diese Abhängigkeit zwar grundsätzlich weiterhin vorhanden, sie ist dann jedoch weitaus weniger deutlich ausgebildet. Trotz der Niederschlagsmaxima im Sommer führen die in dieser Jahreszeit verstärkte Evapotranspiration sowie die damit verbundenen Wasserentnahmen aus dem Furtbach zu einer Abminderung der Abflussmenge (Kap. 4.2).

Betrachtet man die *Abflussdauerlinien* der Messstation Würenlos der Aufzeichnungsperiode 1993–2007 so zeigt sich, dass die mittleren Niedrigabflüsse in einer Bandbreite zwischen 100 und 260 l/s schwanken. Auch in Trockenzeiten bleibt der Abfluss relativ konstant und nimmt nur allmählich ab. In extrem trockenen Jahren weicht die Dauerlinie jedoch vom üblichen Verlauf ab und zeigt einen deutlichen «Knick» bei Abflusswerten um 200–250 l/s. Besonders markant ist dieses Verhalten bei den Messwerten der Jahre 1998 und 2003 zu beobachten, wo die Niedrigabflüsse in Trockenzeiten vergleichsweise rasch abgenommen haben und im Extremfall bis gegen 100 l/s abgesunken sind. Diese deutliche Abnahme des Furtbach-Abflusses in Trockenzeiten wird durch die Wasserentnahmen für die landwirtschaftliche Bewässerung verursacht, auf welche in Kapitel 3.4 und 4.8 des vorliegenden Berichtes näher eingegangen wird.

Figur 16: Abflussdauerlinien der Tagesmittel an der Station Furtbach-Würenlos für die Jahre 1993 bis 2007

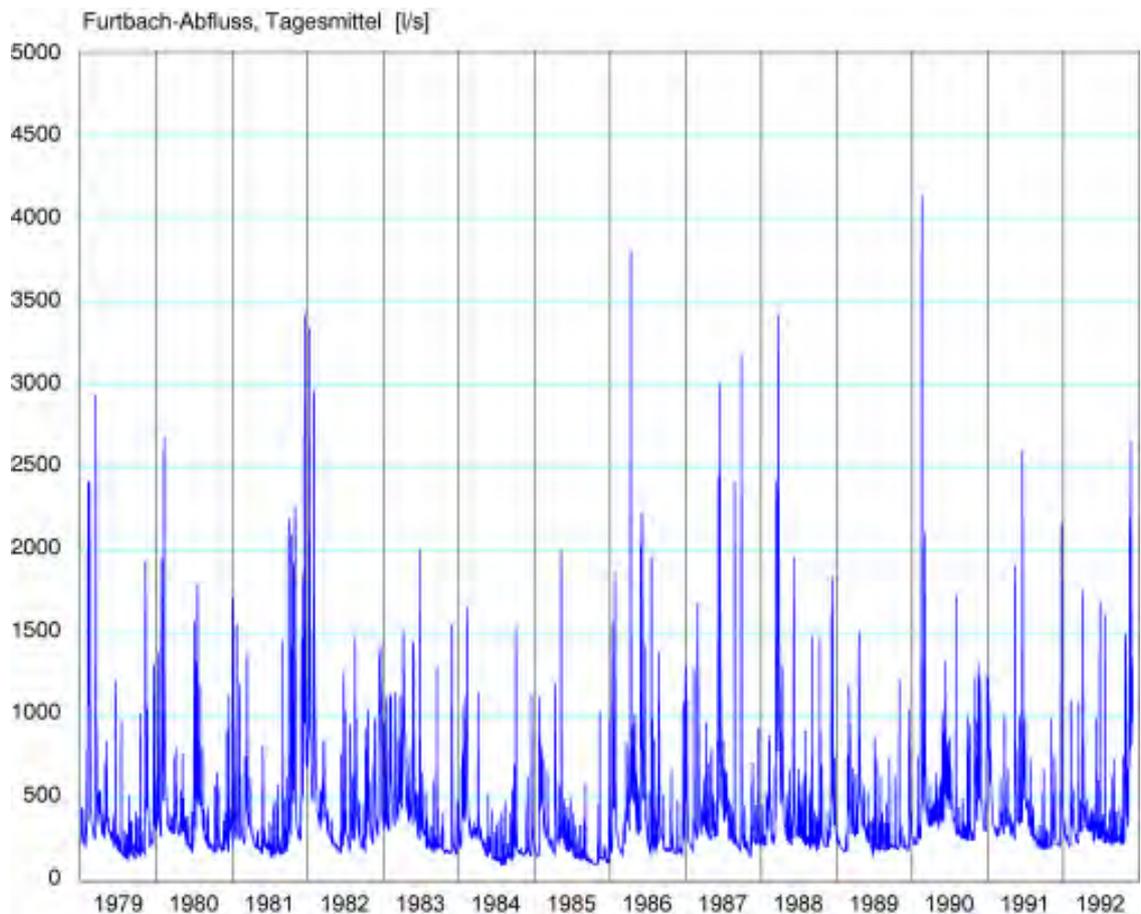


#### 4.4.2 Abflussmessungen an der Station Furthof

Im Zeitraum von 1979 bis 1995 wurde durch das Amt für Gewässerschutz und Wasserbau des Kantons Zürich (AGW, heute AWEL) rund 4.5 km weiter stromaufwärts, auf Höhe der landwirtschaftlichen Siedlung beim Furthof eine weitere Abflussmessstation betrieben. An dieser Messstation traten wiederholt messtechnische Probleme auf. Bis etwa 1992 sind die Abflusswerte aber als weitgehend verlässlich zu beurteilen.

Im Vergleich zur Messstation bei Würenlos weist der Furtbach hier erwartungsgemäss deutlich tiefere Abflusswerte auf. Bei Hochwasserabflüssen beträgt dieser Unterschied mehrere Tausend Sekundenliter. In Zeiten mit niedrigen Abflüssen nimmt die Differenz zwischen den beiden Station dann jedoch auf lediglich 20 bis 30 l/s ab.

Figur 17: Abflussganglinie der Tagesmittel an der Station Furtbach-Furthof von 1979 bis 1992



#### 4.4.3 Statistische Auswertung der vorhandenen Abflussdaten

Die vorhandenen langjährigen Abflussmessungen der beiden Stationen Furthof und Würenlos wurden mit Hilfe der Software HYDMOD-soft (BAFU) ausgewertet. Die Resultate dieser statistischen Auswertungen sind in *Tabelle 5* zusammengestellt.

Die Berechnungen zeigen, dass der mittlere Abfluss (MQ) auf Höhe Furthof mit etwa 400 l/s rund 250 l/s niedriger liegt als bei Würenlos (ca. 650 l/s). Für die Niederabflussmenge  $Q_{347}$ , d.h. für jene Abflussmenge, welche durchschnittlich während 347 Tagen des Jahres erreicht oder überschritten wird, ergibt sich auf Höhe des Furthofes ein Wert von 144 l/s gegenüber 204 l/s bei Würenlos. Dabei handelt es sich allerdings *nicht* um die gemäss Gewässerschutzgesetz massgebende Niederwassermenge, da bei der Ermittlung der rechtsgültigen Niederwassermenge definitionsgemäss der Einfluss vorhandener Wasserentnahmen eliminiert werden muss. Die entsprechenden Betrachtungen folgen in *Kapitel 6.5*.

*Tabelle 5: Statistische Angaben zum Furtbachabfluss für die Stationen Furtbach-Würenlos und Furthof*

<b>Station</b>	<b>Periode</b>	<b>HHQ</b>	<b>MHQ</b>	<b>MQ</b>	<b>MNQ</b>	<b>NNQ</b>	<b>Q<sub>347</sub></b>
		[l/s]					
<i>Würenlos ZH 548</i>	1978-2006	18'020	5'061	659	185	106	204
<i>Furthof</i>	1979-1988	3'580	2'667	400	147	100	144

- HHQ: höchster Abfluss
- MHQ: arithmetisches Mittel der Höchststände
- MQ: arithmetisches Mittel
- MNQ: arithmetisches Mittel der Niedrigwasserstände
- NNQ: niedrigster Abfluss innerhalb

## 4.5 Ergänzende Abflussmessungen im Sommer 2006

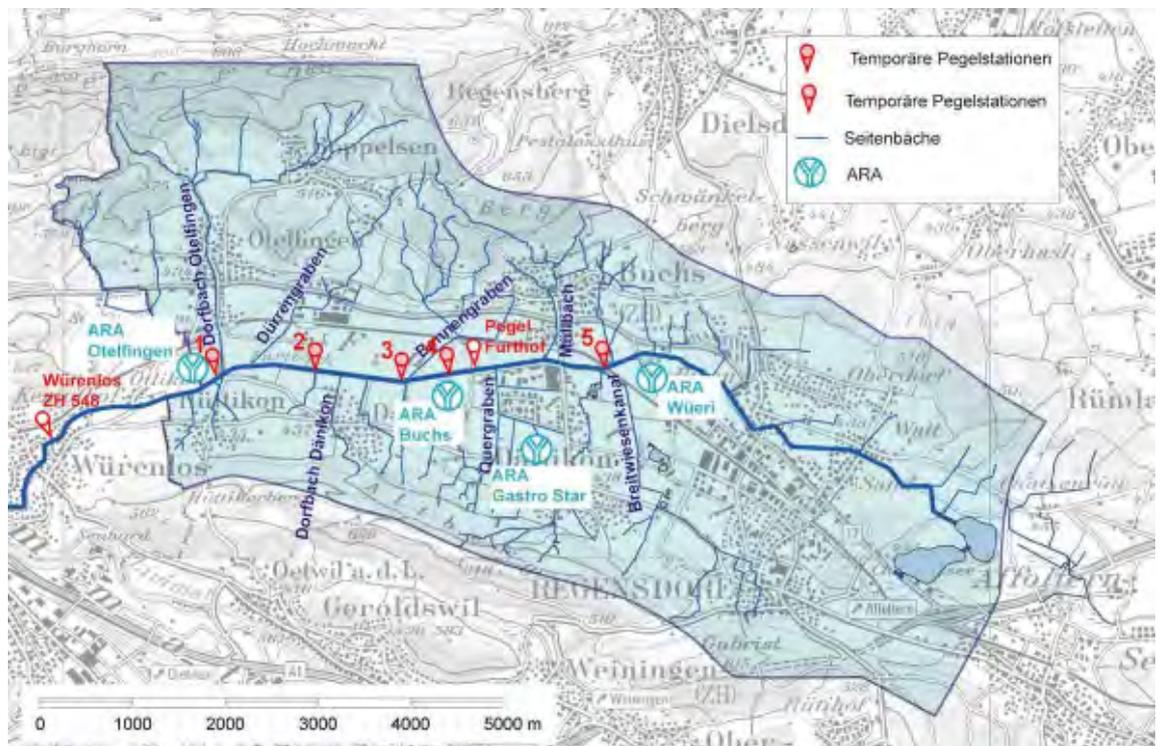
### 4.5.1 Zielsetzungen

Um das Abflussverhalten des Furtbaches in Trockenzeiten und die Auswirkungen der Wasserentnahmen für die landwirtschaftliche Bewässerung genauer beurteilen zu können, wurden im Juni 2006 an fünf ausgewählten Standorten *temporäre Pegelstationen* errichtet. Die Lage dieser Messstationen ist aus *Figur 18* ersichtlich. Zur kontinuierlichen Erfassung des Wasserstandes dienten Drucksonden mit integriertem Datenlogger. Die Aufzeichnung des Wasserstandes erfolgte in 10-Minuten-Intervallen.

Zusätzlich wurden zu verschiedenen Zeitpunkten Einzelmessungen des Furtbach-Abflusses sowie von Seitenzuflüssen mit Hilfe der *Salzverdünnungsmethode* durchgeführt.

Die im Sommer 2006 durchgeführten Abfluss- und Pegelmessungen erlauben Aussagen zum Abflussverhalten in den einzelnen Furtbachabschnitten. Zudem sind aufgrund der durchgeführten Messungen resp. der zeitlichen Entwicklung der Abflüsse an den einzelnen Messstationen Rückschlüsse auf die effektiven Wasserentnahmen aus dem Furtbach möglich.

Figur 18: Lage der fünf temporären Pegel-Messstationen am Furtbach



#### 4.5.2 Ergebnisse der temporären Pegelmessungen am Furtbach

Nachfolgend werden die hydrologischen Eigenschaften der fünf Messstationen und die Resultate der Wasserspiegelmessungen genauer beschrieben.

##### **Beobachtungszeitraum**

Die Aufzeichnungen des Furtbach-Pegels an den 5 Messstationen erfolgten im Zeitraum vom 14. Juni bis 18. September 2006.

Zu Beginn des Beobachtungszeitraumes von Mitte Juni bis anfangs Juli 2006 fielen verschiedentlich Niederschläge. Nach den recht ergiebigen Regenfällen vom 5.–7. Juli 2006 folgte dann aber bis annähernd zum Monatsende eine längere, hochsommerliche Trockenperiode. Im Juli 2006 wurden an der Regenmessstation Reckenholz total 48 mm Niederschlag gemessen. Dies entspricht nur gerade 45% des langjährigen Normwertes. Der Monat Juli war damit ausgesprochen niederschlagsarm.

Der Monat August war demgegenüber überdurchschnittlich nass und mit wenigen Ausnahmen waren fast täglich Niederschläge zu verzeichnen. Insgesamt fielen im Monat August 2006 an der Messstation Reckenholz 208 mm Niederschlag und damit 73% mehr als im langjährigen Monatsmittel.

Die erste Monatshälfte September 2006 war wieder trocken und es fiel nur wenig Niederschlag. Erst ab Monatsmitte setzten teils ergiebige Regenfälle ein.

##### **Messstation 1**

Die Messstation 1 befindet sich unter der Autobrücke der Verbindungsstrasse zwischen Otelfingen und Hüttikon. Wenige Meter stromaufwärts mündet der Dorfbach von Otelfingen in den Furtbach. Unterhalb der Pegelstation leitet die ARA Otelfingen ihre geklärten Abwässer in den Furtbach.

Der Furtbach ist an der Messstation 1 stark kanalisiert und begradigt. Das Flussbett ist in diesem Bachabschnitt sowohl am Boden als auch im Böschungsbereich bis in eine Höhe von 0.7 m vollständig mit Natursteinen ausgebaut (*Figur 19*). Die Böschung weist eine fast vertikale Neigung auf. Auf Grund der hohen Strömungsgeschwindigkeit und der ungünstigen Habitatverhältnisse können sich weder im Böschungsbereich noch im Bach selber Wasserpflanzen ansiedeln. Bachsedimente gelangen nicht zur Ablagerung. Der Furtbach ist an dieser Stelle mit rund 4 m vergleichsweise breit. Entsprechend ist die Wasserstandshöhe relativ gering.

##### Ergebnisse (Figur 19):

Die Wasserhöhe des Furtbaches an der Station 1 ist entsprechend dem geringen Gefälle und der relativ grossen Bachbreite vergleichsweise niedrig. In den Trockenzeiten schwankte die Wassertiefe in einer engen Bandbreite zwischen 10 und 15 cm. Selbst während der niederschlagsfreien, hochsommerlichen Tage im Monat Juli blieb der Wasserstand annähernd stabil und zeigte keine deutlich sinkende Tendenz.

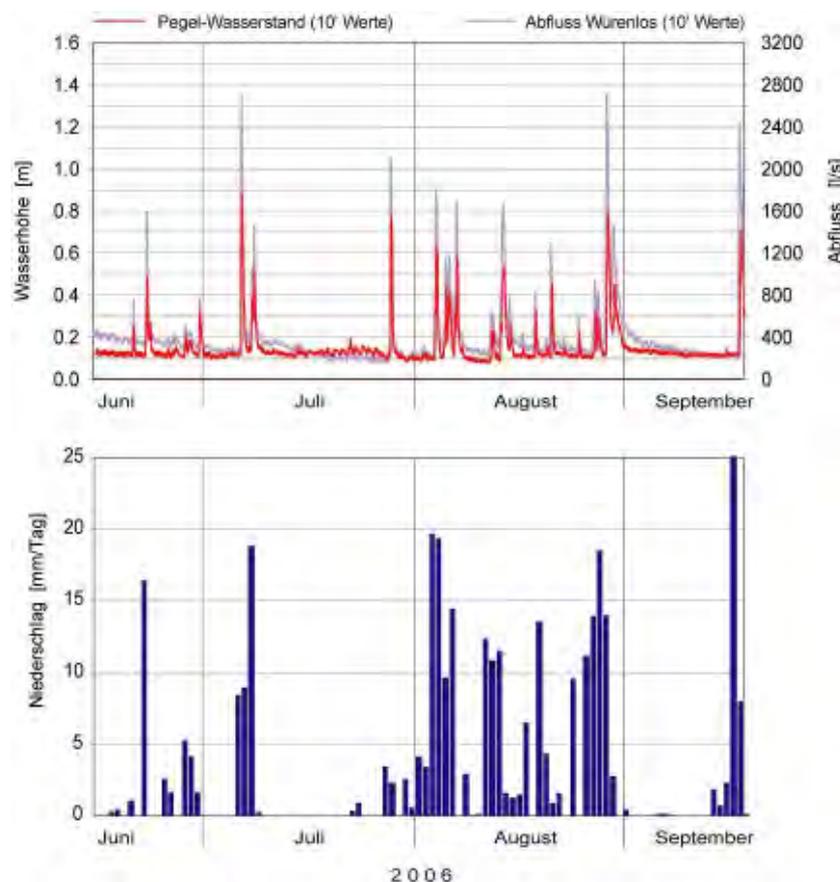
Niederschläge im Einzugsgebiet führten während des Beobachtungszeitraumes wiederholt zu raschen und markanten Anstiegen des Wasserspiegels um bis zu maximal 0.9 m. Nach En-

de der Regenfälle fielen die Wasserhöhe und damit auch der Abfluss sehr rasch wieder auf die Ausgangswerte zurück.

Figur 19: Furtbach an der Messstation 1



Figur 20: Ganglinie des Furtbach-Wasserstandes an der temporären Messstation 1 und tägliche Niederschläge an der Station Reckenholz in der Zeit vom 14.06.2006 bis zum 18.9.2006.



### **Messstation 2**

Die Messstation 2 befindet sich auf Höhe des Golfplatzes, etwa 300 m stromabwärts der Einmündung des Dorfbaches von Dänikon. Die südlich angrenzende Umgebung der Messstation 2 wird landwirtschaftlich intensiv genutzt. Auf dem nördlich angrenzenden Gebiet befindet sich die Golfanlage Otelfingen.

Im Bereich der Messstation 2 ist der Furtbach renaturiert und aufgeweitet worden (*Figur 21*). Der Bach weist hier wieder einen natürlich mäandrierenden Verlauf mit zahlreichen Seitenarmen und kleinen Inseln auf. Sowohl das Bachbett als auch der Böschungsbereich sind an der Messstation 2 stark mit Wasserpflanzen bewachsen. Der Boden des Bachbettes besteht wie bei Station 1 aus Natursteinen. Die geringere Strömungsgeschwindigkeiten und die z.T. ausgebildeten Stillwasserzonen ermöglichen jedoch eine flächenhafte Ablagerung von Bachsedimenten.

Das Bachbett weist im Bereich der Sonde 2 eine Breite von etwa 4.4 m auf.

*Figur 21: Furtbach an der Messstation 2*

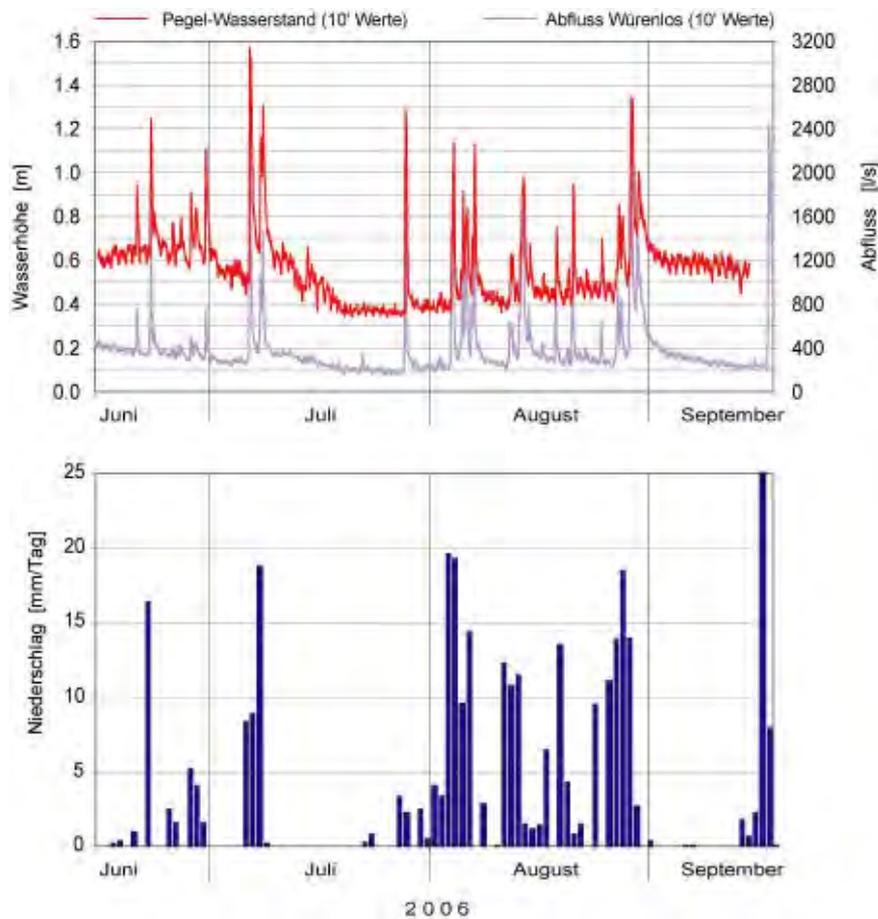


### Ergebnisse (Figur 22):

An der Messstation 2 betrug die maximale Wassertiefe zu Beginn der Messungen im Juni 2006 rund 0.6 m. Auch an diesem Pegel machten sich stärkere Niederschläge im Einzugsgebiet durch markante und rasche Wasserspiegelanstiege bemerkbar. Bei Abflussspitzen nach Gewitterregen erreichte der Wasserstand im Juni und Juli 2006 kurzzeitig Werte von 1.3 bis maximal knapp 1.6 m.

In der länger anhaltenden Trockenzeit im Juli nahm die Wasserhöhe bis auf knapp 40 cm ab, blieb auf diesem Niveau dann aber weitgehend konstant.

Figur 22: Ganglinie des Furtbach-Wasserstandes an der temporären Messstation 2 und tägliche Niederschläge an der Station Reckenholz in der Zeit vom 14.06.2006 bis zum 18.9.2006.



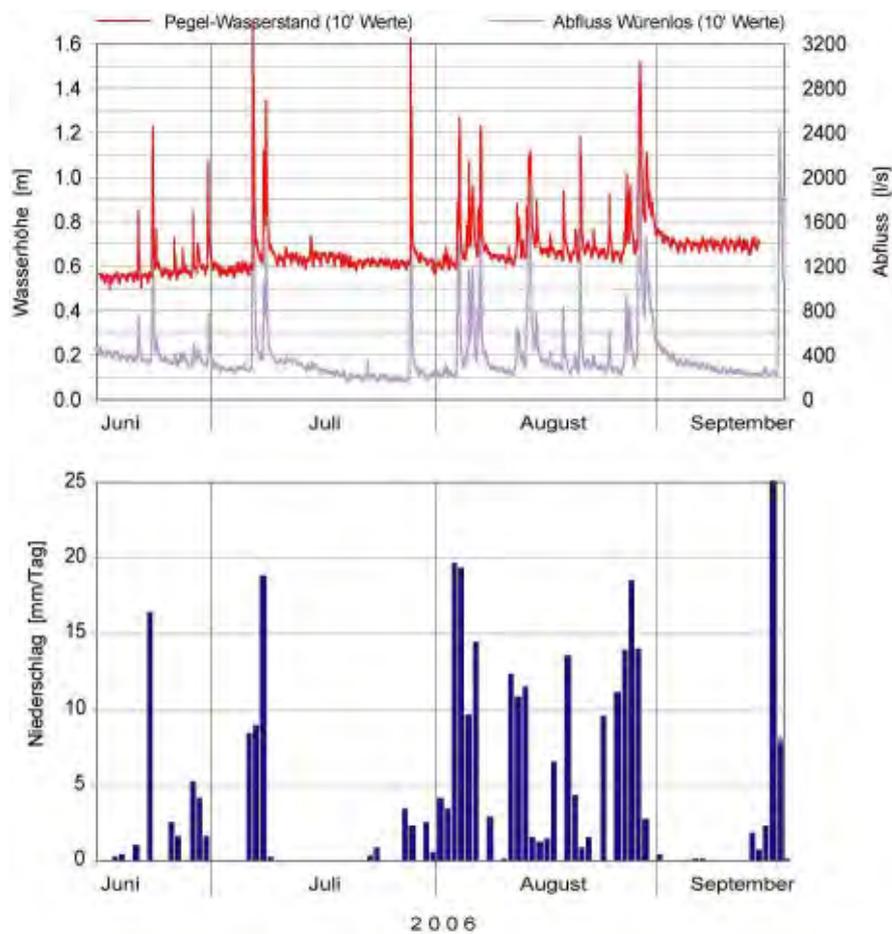
### Messstation 3

Die Messstation 3 befindet sich am östlichen Ende des Golfplatzes wenige Meter stromabwärts der Einmündung des Bennengrabens. Die nördlich und südlich angrenzenden Gebiete werden intensiv landwirtschaftlich genutzt. Die Messstation 3 liegt am östlichen Ende des renaturierten Furtbachabschnittes. Der Furtbach weist auch hier noch einen mäandrierenden Verlauf mit einem starken Wasserpflanzenbewuchs auf, der jedoch wenige Meter später wieder in einen kanalisierten Verlauf wechselt (Figur 23). Auch an dieser Station führt die geringe Strömungsgeschwindigkeit zu einer erheblichen Ablagerung von Bachsedimenten. Die Furtbachbreite erreicht an der Messstation 3 eine Abmessung von rund 3.7 m.

Figur 23: Furtbach an der Messstation 3



Figur 24: Ganglinie des Furtbach-Wasserstandes an der temporären Messstation 3 und tägliche Niederschläge an der Station Reckenholz in der Zeit vom 14.06.2006 bis zum 18.9.2006.



Ergebnisse (Figur 24):

An der Station 3 lag der Wasserspiegel während niederschlagsfreien Zeitperioden bei etwa 0.5 bis 0.6 m. Die mehrwöchige Trockenheit im Juli 2006 führte auch an diesem Pegel nur zu einem geringfügigen Absinken der Wasserstandshöhe. Über die gesamte Messdauer ergibt sich am Pegel 3 tendenziell ein leichter Wasserspiegelanstieg im Furtbach, was aber vermutlich auf einen messtechnisch bedingten Fehler zurückzuführen ist (leichtes Einsinken der Sondenplatte auf dem Bachgrund).

Maximale Wasserspiegel waren im Zusammenhang mit Starkniederschlagsereignissen zu beobachten. Dabei wurden kurzzeitig Wasserhöhen zwischen 1.5 und 1.7 m beobachtet.

**Messstation 4**

Die Messstation 4 befindet sich wieder innerhalb eines der kanalisierten Abschnitte des Furtbaches auf Höhe des Furthofes. Wenige 10er Meter weiter stromabwärts der Messstation 4 leitet die ARA Buchs-Dällikon ihr Abwasser in den Furtbach ein. Etwa 500 m stromaufwärts mündet der Quergraben in den Furtbach. Die nördlich und südlich angrenzenden Gebiete werden intensiv landwirtschaftlich genutzt.

Das Bachbett ist an der Messstation 4 vollständig mit Natursteinen ausgebaut. Die Böschung und das Bachbett weisen einen minimalen Wasserpflanzenbewuchs auf (Figur 25). Bachsedimente gelangen nur geringfügig zur Ablagerung. Die Bachbettbreite beträgt etwa 2.3 m.

Figur 25: Furtbach an der Messstation 4

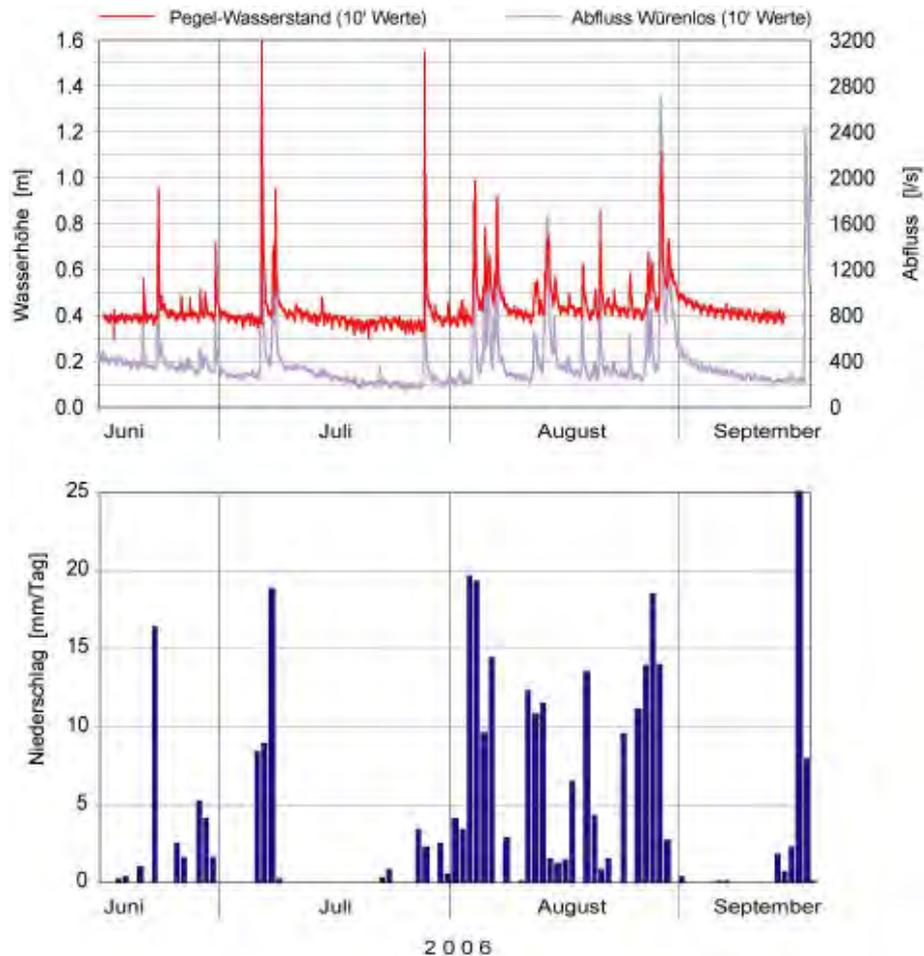


Ergebnisse (Figur 26):

Zu Beginn der Beobachtungsdauer Mitte Juni 2006 wurde an der Messstation 4 eine Wasserhöhe im Furtbach von knapp 0.4 m gemessen. Auch an diesem Pegel zeigte sich im weiteren Verlauf der Messungen *bei Trockenwetterabfluss* ein vergleichsweise konstantes Niveau des Furtbachwasserspiegels. Immerhin war aber der Einfluss der Trockenperiode im Juli 2006 hier recht deutlich erkennbar. Diese führte zu einem Absinken des Wasserspiegels um maximal ca. 5 cm auf eine Wasserhöhe von noch 35 cm. Gegen Ende des Sommers stieg der Wasserspiegel in niederschlagsfreien Perioden wieder auf den Ausgangswert im Juni von 0.4 m an.

Im Zusammenhang mit Niederschlägen im Juni und August stellten sich kurzzeitig Wasserhöhen um 1.0 m ein. Lokale Gewitter führten im Juli zu maximalen Wasserspiegelhöhen von bis zu 1.6 m.

Figur 26: Ganglinie des Furtbach-Wasserstandes an der temporären Messstation 4 und tägliche Niederschläge an der Station Reckenholz in der Zeit vom 14.06.2006 bis zum 18.9.2006.



### **Messstation 5**

Die Messstation 5 befindet sich wenige Meter stromaufwärts der Einmündung des Breitwiesenkanals vor der Eisenbahnbrücke. Der Furtbach ist auf diesem Streckenabschnitt wieder renaturiert und weist nur unterhalb der Eisenbahnbrücke einen kanalisierten Verlauf auf. Seine Strömungsgeschwindigkeit ist hier ausgesprochen gering bis stellenweise fast stagnierend. Das Bachbett und die Böschung zeigen einen intensiven Wasserpflanzenbewuchs. Im Bachbett findet eine ausgeprägte Schlamm sedimentation statt.

Figur 27: Furtbach an der Messstation 5



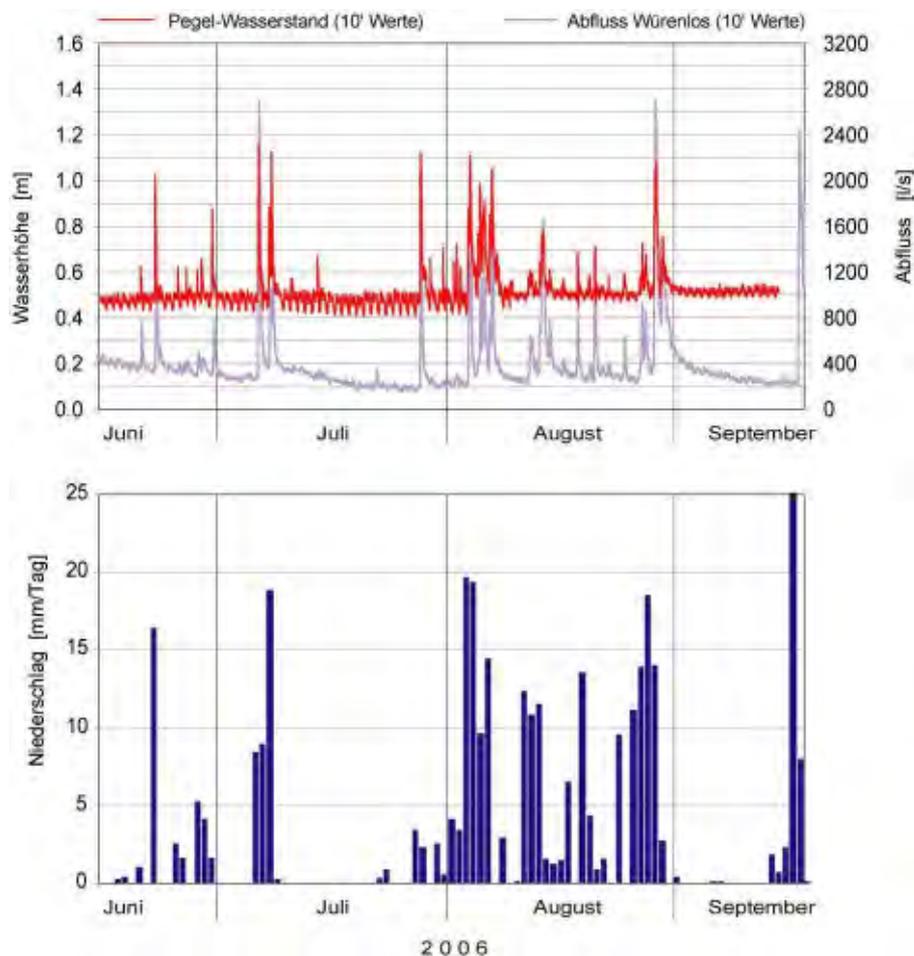
### Ergebnisse (Figur 28):

Zu Beginn der Beobachtungsdauer Mitte Juni 2006 wurde an der Messstation 5 eine Wasserhöhe von knapp 0.5 m gemessen. Während des gesamten Sommers 2006 herrschte auch an diesem Pegel bei Trockenwetterabfluss ein weitgehend konstantes Wasserspiegelniveau. Tendenziell ist während der Trockenperiode im Juli 2006 ein Absinken des Wasserspiegels um wenige Zentimeter erkennbar. In der Folge wurde eine minimale Wasserhöhe von 0.4 m gemessen. Gegen Ende des Sommers stieg der Wasserspiegel in den niederschlagsfreien Perioden im September geringfügig über den Ausgangswert im Juni 2006 an.

Die Messstation 5 zeigt während der gesamten Messperiode kontinuierliche tageszeitliche Wasserspiegelschwankungen um etwa 0.1 m. Die Schwankungen sind voraussichtlich die Folge der tageszeitlich schwankenden Einleitungsmengen der ARA Wüeri, welche im Tagesverlauf um bis 200 l/s variieren können.

Im Zusammenhang mit Niederschlägen stellen sich jeweils bei Abflussspitzen kurzzeitig Wasserhöhen um 1.1 m ein. Der Unterschied zwischen Trocken- und Regenwetterabfluss ist an der Station 5 mit maximal 0.6 m im Vergleich zu den anderen Pegelstationen am geringsten.

Figur 28: Ganglinie des Furtbach-Wasserstandes an der temporären Messstation 5 und tägliche Niederschläge an der Station Reckenholz in der Zeit vom 14.06.2006 bis zum 18.9.2006.



### **Tageszeitliche Schwankungen des Furtbach-Wasserspiegels**

An vier der fünf Pegelstationen zeigen die Wasserstandsmessungen einen *ausgeprägten tageszeitlichen* Gang (Figur 29). Lediglich die Messstation 1 weist, bei allerdings nur geringen Wasserspiegelhöhen, keine signifikanten Wasserspiegelschwankungen auf.

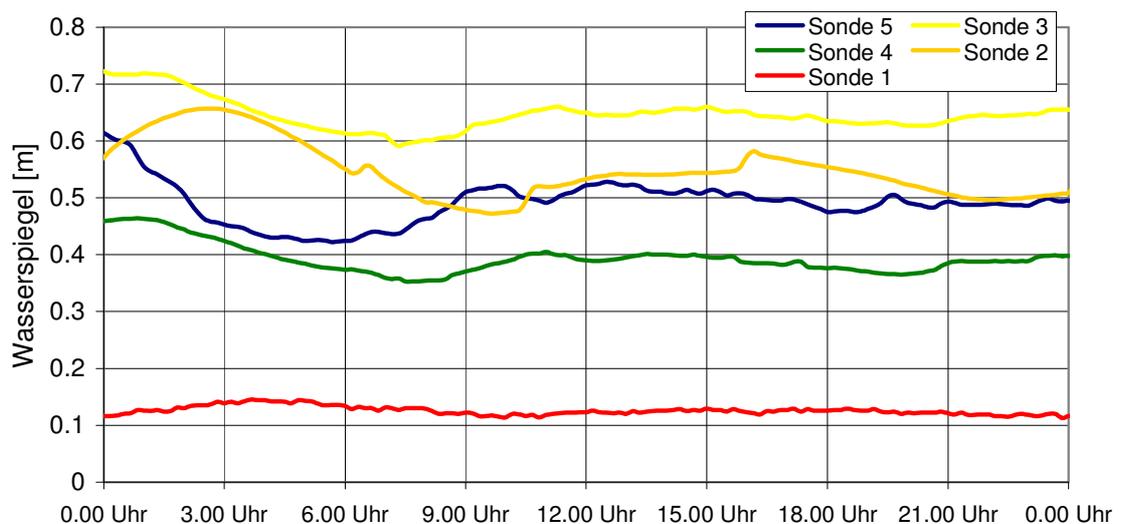
Generell ist zu beobachten, dass die Wasserspiegelmaxima etwa gegen Mitternacht auftreten. Die niedrigsten Wasserstände stellen sich demgegenüber in der Regel in den frühen Morgenstunden ein. Im Tagesverlauf zeigt sich gegen Mittag bzw. Nachmittag (Pegel 2) ein weiterer, allerdings weniger deutlich ausgebildeter Hochstand des Bachwasserspiegels. In den Abendstunden fallen die Wasserspiegel meist wieder ab und erreichen so gegen 20 Uhr ein weniger ausgeprägtes Minimum.

Die im Tagesverlauf zu beobachtenden Differenzen zwischen Minimal- und Maximalwasserstand sind generell nur gering und betragen zwischen 0.1 m (Pegel 4) und etwa 0.2 m (Pegel 2).

Für die Wasserspiegelschwankungen an den *Pegelstationen 2, 3 und 4* dürften grösstenteils die Wasserentnahmen aus dem Furtbach verantwortlich sein. Die vergleichsweise niedrige

Wasserspiegelhöhe am *Pegel 1* wird von den Wasserentnahmen offenbar nicht signifikant beeinflusst. Das Auftreten der Wasserspiegelm maxima und -minima korreliert dabei mit den Aussagen der Konzessionäre, wonach die Bewässerung der Felder hauptsächlich während der frühen Morgenstunden sowie am frühen Abend stattfindet. Während der Mittagszeit erfolgt an sonnigen Tagen in der Regel keine oder nur eine minimale Bewässerung der Felder.

Die Wasserspiegelschwankungen am *Pegel 5* sind hingegen ausschliesslich auf die tageszeitlich schwankenden Abwassereinleitungen der ARA Wüeri zurückzuführen.



Figur 29: Tageszeitlicher Gang des Wasserspiegels am 14. Juli 2006 an den fünf temporären Pegelstationen

### **Wichtigste Ergebnisse der temporären Pegelmessungen am Furtbach**

Die in den Sommermonaten in der Zeit vom 14.06.2006 bis 18.09.2006 durchgeführten Wasserspiegelmessungen an insgesamt 5 Standorten entlang dem Furtbach erlauben folgende Aussagen:

- Bei Trockenwetter beträgt die *durchschnittliche Wasserspiegelhöhe* an den Messstationen 2, 3, 4 und 5 zwischen 0.4 und 0.6 m. Die *Mindestwasserhöhe* an diesen Pegelstationen beträgt während des gesamten Sommers 2006 – auch in Trockenzeiten – noch 0.3 m bis 0.4 m.
- Am Pegel 1 beträgt *durchschnittliche Wasserspiegelhöhe* lediglich 0.1 m. Dieser Wert wird aber auch in Trockenzeiten nur um 1–2 cm unterschritten.
- Die *Wasserentnahmen* aus dem Furtbach führen selbst während der Trockenwetterperiode im Juli lediglich zu einer geringen Absenkung des Wasserspiegels. Die minimalen Wasserspiegelhöhen liegen daher nur wenige Zentimeter unterhalb der mittleren Wasserspiegelhöhe bei Trockenwetter. Einzig am Pegel 2 fällt der Wasserspiegel in der Trockenperiode im Juli 2006 um bis zu 0.2 m ab.

- Die *tageszeitlichen Schwankungen* betragen in Trockenzeiten – mit Ausnahme des Pegels 1 – maximal etwa 0.1–0.2 m. Als Folge der Wasserentnahmen stellen sich minimale Wasserspiegel während der Hauptbewässerungszeit in den frühen Morgenstunden und maximale Wasserspiegel gegen Mitternacht ein.
- *Maximale Wasserspiegel* resp. Abflussspitzen stellen sich innerhalb weniger Stunden als Folge von Niederschlagsereignissen ein. Diese lagen an den Messstationen 2, 3 und 4 zwischen 1.6 und 1.7 m. An den Stationen 1 und 5 erreichten sie Werte von 0.9 bis 1.1 m.

Tabelle 6: Charakteristische Wasserspiegelhöhen an den temporären Pegelstationen 1 bis 5 im Beobachtungszeitraum vom 14.06.2006 bis 18.9.2006

<b>Pegel Nr.</b>	<b>mittlerer Wasserspiegel in Trockenzeiten [m]</b>	<b>maximaler Wasserspiegel [m]</b>	<b>minimaler Wasserspiegel [m]</b>
1	0.10	0.90	0.09
2	0.40	1.60	0.35
3	0.60	1.70	0.55
4	0.40	1.60	0.30
5	0.45	1.10	0.40

### 4.5.3 Einzelmessungen mit Hilfe der Salzverdünnungsmethode

#### **Methodik**

Zur Bestimmung der Abflussmenge zu Trockenzeiten und zur Ergänzung der kontinuierlichen Wasserstandsmessungen an den fünf temporären Pegelstationen erfolgten im Juli, August und September 2006 punktuelle Messungen am Furtbach und an den relevanten seitlichen Bachzuflüssen mittels der so genannten Salzverdünnungsmethode.

Bei dieser Abflussbestimmung wird dem Gewässer Kochsalz in Form einer Momentaninjektion zugegeben. Um eine ausreichend grosse Konzentrationserhöhung für die Messungen zu erreichen, bedarf es einer Salzzugabe zwischen 2 und 10 g je l/s Abfluss.

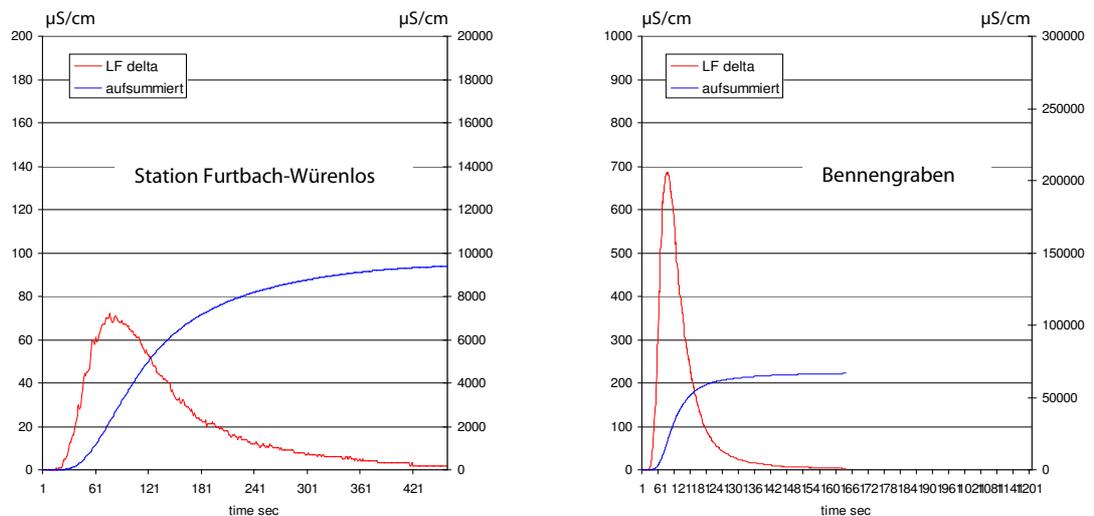
Unter der Annahme einer vollständigen Durchmischung des Salzes mit dem fließenden Wasser ist die resultierende Verdünnung direkt proportional zum Durchfluss des Gewässers. Durch kontinuierliche Messung der elektrischen Leitfähigkeit des Bachwassers kann der Durchgang der Salzwolke erfasst und daraus der momentane Durchfluss resp. Abfluss bestimmt werden. Die Entfernung zwischen Eingabestelle und Messort wird durch die Notwendigkeit der vollständigen Durchmischung des Kochsalzes mit dem Bachwasser bestimmt. Im Furtbach erwiesen sich Abstände zwischen 40 und 70 m als optimal.

In *Figur 30* sind typische Salzdurchgangskurven dargestellt. Diese haben einen asymmetrischen Verlauf. Nach einem steilen Konzentrationsanstieg bis zur Peakkonzentration erfolgt

ein verzögerter Konzentrationsabfall mit einem langanhaltenden Rückgang der Salzkonzentration, bei dem sich die Kurve exponentiell dem Ausgangswert nähert.

Wenn in der Messstrecke Ausbuchtungen, stagnierende Wasserbereiche oder starke Verkrautungen vorhanden sind, erfolgt der Abfall der Leitfähigkeit verzögert und die Durchgangskurve wird besonders asymmetrisch. Kanalisierte Gewässer charakterisiert dagegen ein rascher Rückgang auf die Ausgangskonzentration und führen zu besseren Messresultaten (Figur 30).

Figur 30: Typische Beispiele von Abflussmessungen im Furtbach mittels der Salzverdünnungsmethode



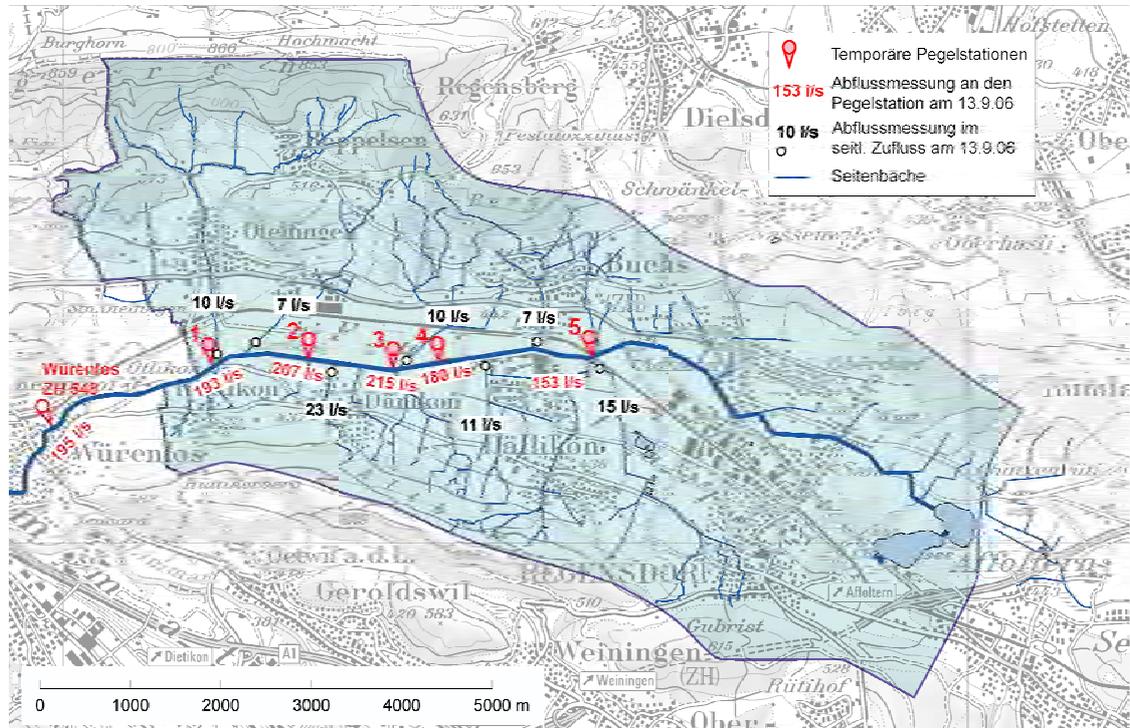
### Resultate

Die Ergebnisse der Abflussmessungen mittels der Salzverdünnungsmethode am 13. und 14. September 2006 zeigen *Tabelle 7* und *Figur 31*.

Tabelle 7: Abflussmessungen am 13./14. September 2006

Standort	Datum	Abfluss [l/s]
ZH 548	13.9.2006	195
Furtbach, Pegel 1	14.9.2006	193
Dorfbach Otelfingen	13.9.2006	10
Dürrengaben	13.9.2006	7
Furtbach, Pegel 2	13.9.2006	207
Dorfbach Dänikon	13.9.2006	23
Bennengraben	13.9.2006	10
Furtbach, Pegel 3	14.9.2006	215
Furtbach Pegel 4	13.9.2006	180
Quergraben	13.9.2006	11
Mülibach	13.9.2006	7
Breitwiesenkanal	13.9.2006	15
Furtbach, Pegel 5	13.9.2006	153

Figur 31: Resultate der Abflussmessungen am 13./14.9.2006



## 4.6 ARA-Einleitungen

Im Furttal werden folgende kommunale Abwasserreinigungsanlagen betrieben:

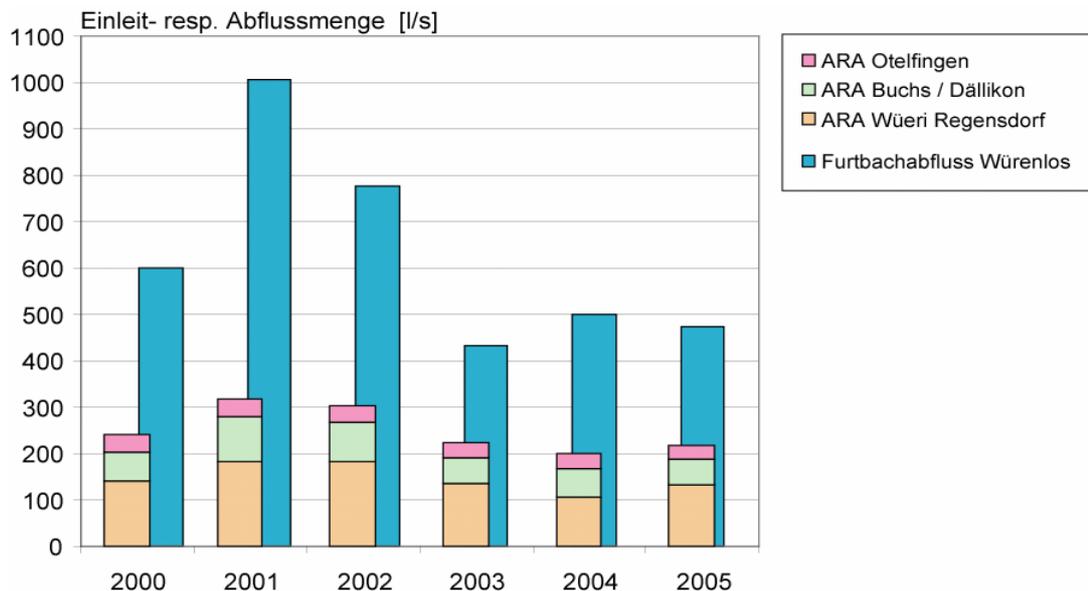
- ARA Wüeri, Regensdorf
- ARA Furthof, Buchs / Dällikon
- ARA Otelfingen

In der nachfolgenden *Tabelle 8* sind die Einleitmengen an geklärtem ARA-Abwasser in den Jahren 2000 bis 2005 zusammengestellt und in *Figur 32* zusätzlich grafisch dargestellt. Insgesamt haben die 3 Kläranlagen in den genannten Beobachtungsjahren durchschnittlich zwischen 430 und 1000 l/s in den Furtbach eingeleitet. Gemessen am Furtbachabfluss bei Würenlos entspricht dies einem Anteil von durchschnittlich 30 bis 50%, d.h. die Wasser-einleitungen der ARA's tragen ganz wesentlich zum Furtbachabfluss bei.

*Tabelle 8: ARA-Einleitmengen und Furtbachabfluss, Mittelwerte der Jahre 2000 bis 2005*

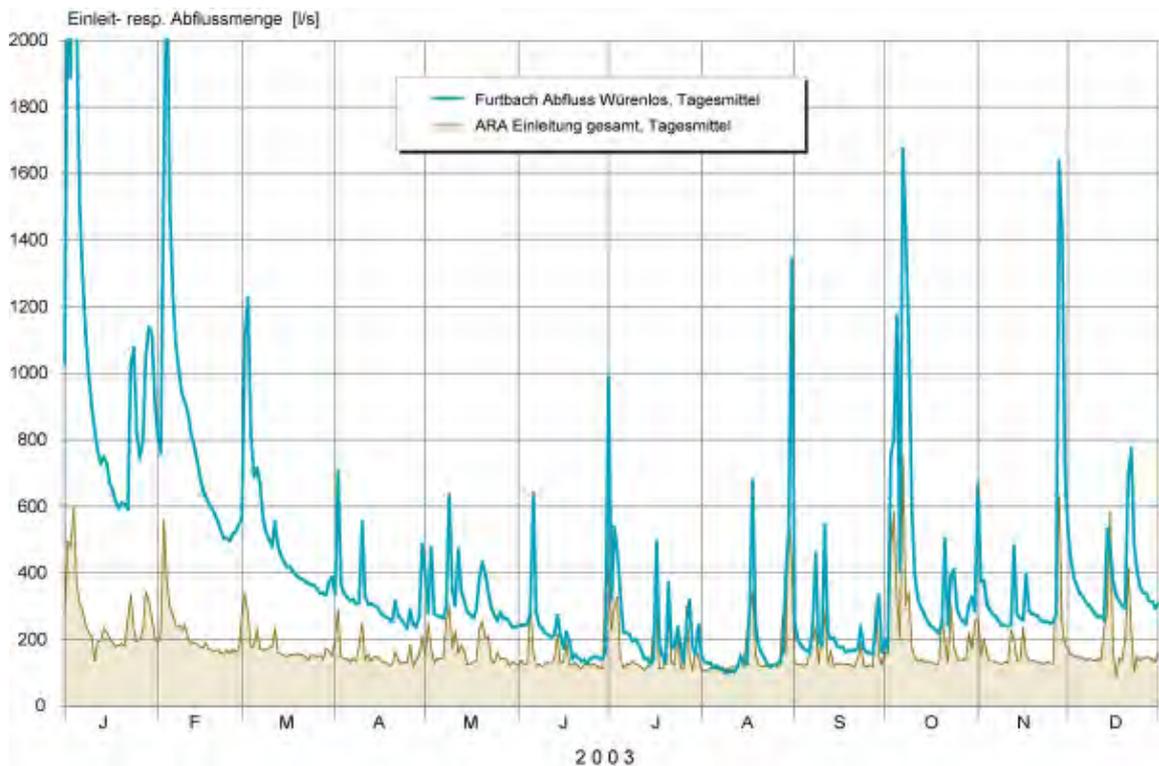
<b>Jahr</b>	<b>ARA Otelfingen</b> [l/s]	<b>ARA Buchs</b> [l/s]	<b>ARA Wüeri</b> [l/s]	<b>ARA's Summe</b> [l/s]	<b>Furtbach Würenlos MQ</b> [l/s]	<b>ARA-Anteil am Furtbach</b> [%]
2000	40	62	140	242	599	40
2001	40	97	182	319	1005	32
2002	34	87	182	303	777	39
2003	33	57	135	225	431	52
2004	31	64	105	200	499	40
2005	29	58	131	218	474	46

*Figur 32: ARA-Einleitmengen und Furtbachabfluss in den Jahren 2000 bis 2005 (Mittelwert)*



Bei Trockenwetter resp. bei Niedrigwasser nimmt der Anteil ARA-Abwasser am Furtbachabfluss markant zu. Die Grafik in *Figur 33* zeigt den zeitlichen Verlauf des Furtbachabflusses und die kumulierte ARA-Einleitmenge im Beobachtungsjahr 2003.

*Figur 33: Furtbachabfluss bei Würenlos und ARA-Einleitmengen im Trockenjahr 2003 (Tagesmittel)*



Um ein detailliertes Bild über den ARA-Zufluss während Trockenzeiten zu erhalten, wurde für die Sommerperiode 1.6.2003 bis 30.9.2003 die tägliche Zuflussmenge für Zeiten, zu denen kein Niederschlag fiel und gleichzeitig der Abfluss an der Station Furtbach-Würenlos unter  $Q_{347}$  (204 l/s) lag, bestimmt. Danach wurde für jede ARA der Mittelwert der so ermittelten «Trockenwetterzuflüsse» gebildet.

Bei der ARA Wüeri betrug die durchschnittliche Zuflussmenge im Sommer 2003 während der genannten Zeiten 64 l/s, über die ARA Buchs wurden 34 l/s in den Furtbach eingespeist und die ARA Otelfingen leitete 21 l/s in den Furtbach ein. Gesamthaft betrug die ARA-Zuflussmenge während Trockenzeiten im Sommer 2003 etwa 120 l/s. In den extrem trockensten Sommermonaten Juli und August ging der Furtbachabfluss bei Würenlos auf unter 150 l/s zurück (*Figur 33*). Die Abflussmenge entsprach zeitweise gerade noch etwa der Menge an geklärtem Abwasser, welche die kommunalen ARA's in den Furtbach leiteten. Ohne die Einleitungen der ARA's wäre der Furtbach im Sommer 2003 somit zeitweise trocken gefallen.

Zusätzlich wurde entsprechend der Wasserbezugsmengen der «Seewasser»- resp. Fremdwasser-Anteil im ARA-Abwasser ermittelt. Dabei wird davon ausgegangen, dass das von den Gemeinden verbrauchte Wasser, in die jeweilige den Gemeinden zuzuordnende ARA weitergeleitet wird. Es ergibt sich ein Fremdwasserzufluss in Trockenzeiten über die ARA's von 45 l/s. Dieser Wert liegt wenig unter dem Jahresmittel des Fremdwasserbezuges in 2003. Nachfolgend sind die massgebenden Abwassermengen der ARA's in Trockenzeiten (Sommer 2003) sowie der Fremdwasseranteil im Abwasser zusammengestellt.

Tabelle 9: ARA-Einleitung während der Sommermonate 2003

<b>Zufluss-Grösse</b>	<b>ARA Wüeri</b>	<b>ARA Buchs</b>	<b>ARA Otelfingen</b>	<b>Gesamt</b>
ARA Zufluss [l/s]	64	34	21	120
Anteil Fremdwasser [l/s]	21	20	2	45
Anteil Fremdwasser [%]	33	60	10	38

Neben den drei kommunalen Kläranlagen betreibt die auf den Anbau und die Verarbeitung von Gemüse und Salaten spezialisierte Firma Gastro Star AG in Dällikon eine eigene «Kläranlage». Das Gemüse-Wasch-Wasser wird in der betriebseigenen Abwasseraufbereitungs-Anlage gereinigt. Im Sommerhalbjahr werden mit dem gereinigten Abwasser bei Bedarf die Gemüsefelder bewässert. Bei Trockenheit wird demzufolge kein Wasser in den Furtbach eingeleitet.

#### 4.7 Seitliche Bachzuflüsse und Drainagen

Neben den im vorgängigen Kapitel beschriebenen ARA-Einleitungen weist der Furtbach noch folgende Seitenzuflüsse auf:

- natürliche Bachzuflüsse,
- Meteorwassereinleitungen und Drainagen der landwirtschaftlich genutzten Flächen.

Die zu Trockenzeiten herrschenden Seitenzuflüsse der wichtigsten *Bäche* wurden durch Abflussmessungen mittels der Salzverdünnungsmethode bestimmt. Zusätzlich haben wir aus den Betriebsdaten der ARA's die Einleitmengen in Trockenperioden und zu Zeiten grosser Wasserentnahmen für die landwirtschaftliche Bewässerung (7–10 Uhr) bestimmt. Die entsprechenden Messwerte sind in *Tabelle 10* zusammengestellt.

Die *Drainagen* liefern während der Trockenperioden fast kein zusätzliches Wasser, so dass diese Zuflüsse als vernachlässigbar klein betrachtet werden können. Wasserübertritte von Grundwasser in den Furtbach finden ebenfalls nur in bescheidenem Umfang statt, so dass dieser Wasserzufluss nur einen minimalen, vernachlässigbar geringen Anteil am Abfluss des Furtbaches ausmacht.

Der Furtbach weist bezogen auf die Abflussmessstation in Würenlos ein Einzugsgebiet mit einer Grösse von 39.2 km<sup>2</sup> und eine Niederwassermenge Q<sub>347</sub> von 204 l/s auf. Daraus resultiert eine mittlere Abflussspende bei Niederwasserverhältnissen von 5.2 l/(s km<sup>2</sup>). Berücksichtigt man den Anteil der ARA's, welcher für den Trockenwetterabfluss bei knapp 40% liegen dürfte, so kann von einer mittleren Abflussspende der seitlichen Einzugsgebiete von rund 3.1 l/(s·km<sup>2</sup>) ausgegangen werden. Aufgrund der Grösse ihrer Einzugsgebiete kann für die Seitenbäche damit die Niederwassermenge Q<sub>347</sub> grob abgeschätzt werden (Tabelle 10).

Dabei ist jedoch einschränkend zu berücksichtigen, dass die gemittelte Abflussspende nur eine grobe Abschätzung darstellt. Jeden Seitenbach charakterisiert ein eigenes Abflussverhalten, das völlig andersartig als das des Furtbaches sein kann. Die zum Teil recht unterschiedlichen Ergebnisse zwischen den Werten der Abflussmessungen am 13.9.2006 und den theoretisch berechneten Werten verdeutlichen diesen Umstand.

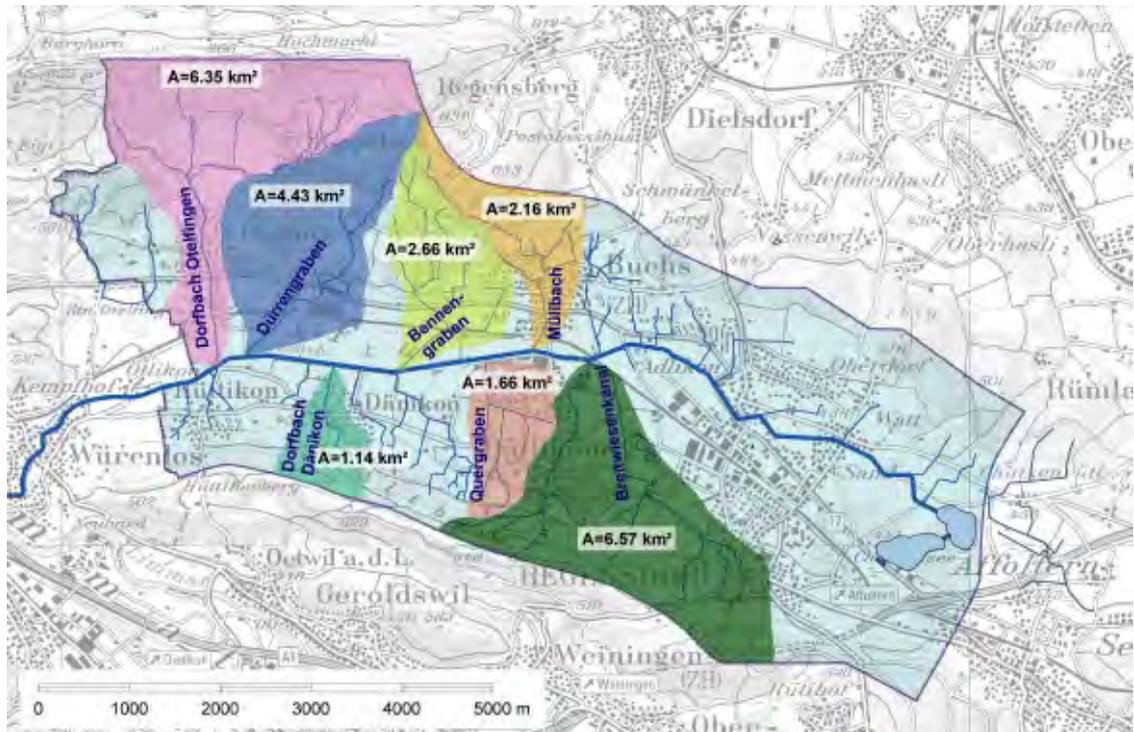
Tabelle 10: Gemessene und berechnete Zuflüsse der wichtigsten Seitenbäche im unteren Furttal bei Niedrigwasser

Standort	Abfluss gemessen <sup>1)</sup> am 13.9.2006	Q <sub>347</sub> berechnet <sup>2)</sup>	Einzugsgebiets- grösse ca.
	[l/s]		[km <sup>2</sup> ]
Dorfbach Otelfingen	10	20	6.35
Dürregraben	7	14	4.43
Dorfbach Dänikon	23	4	1.14
Bennengraben	10	8	2.66
Quergraben	11	5	1.66
Mülibach	7	7	2.16
Breitwiesenkanal	15	20	6.57
<b>Summe</b>	<b>83</b>	<b>77</b>	<b>19.94</b>

<sup>1)</sup> natürlicher Zufluss ohne Abwassereinleitung

<sup>2)</sup> berechneter Zufluss gemäss der jeweiligen Einzugsgebietsgrösse bei einer mittleren Abflussspende von 3.1 l/(s·km<sup>2</sup>)

Figur 34: Einzugsgebiet der wichtigsten Seitenbäche im unteren zürcherischen Furttal



## 4.8 Entnahmen aus dem Furtbach

### 4.8.1 Übersicht

Am Furtbach existieren verschiedene Wasserrechte für die landwirtschaftliche Bewässerung sowie für die Bewässerung eines Golfplatzes (Kapitel 3.4).

Die Wasserentnahmen erfolgen im Allgemeinen mit mobilen Anlagen, die jeder Zeit verschoben werden können. Einige Beispiele dieser mobilen Anlagen zeigt Figur 35.

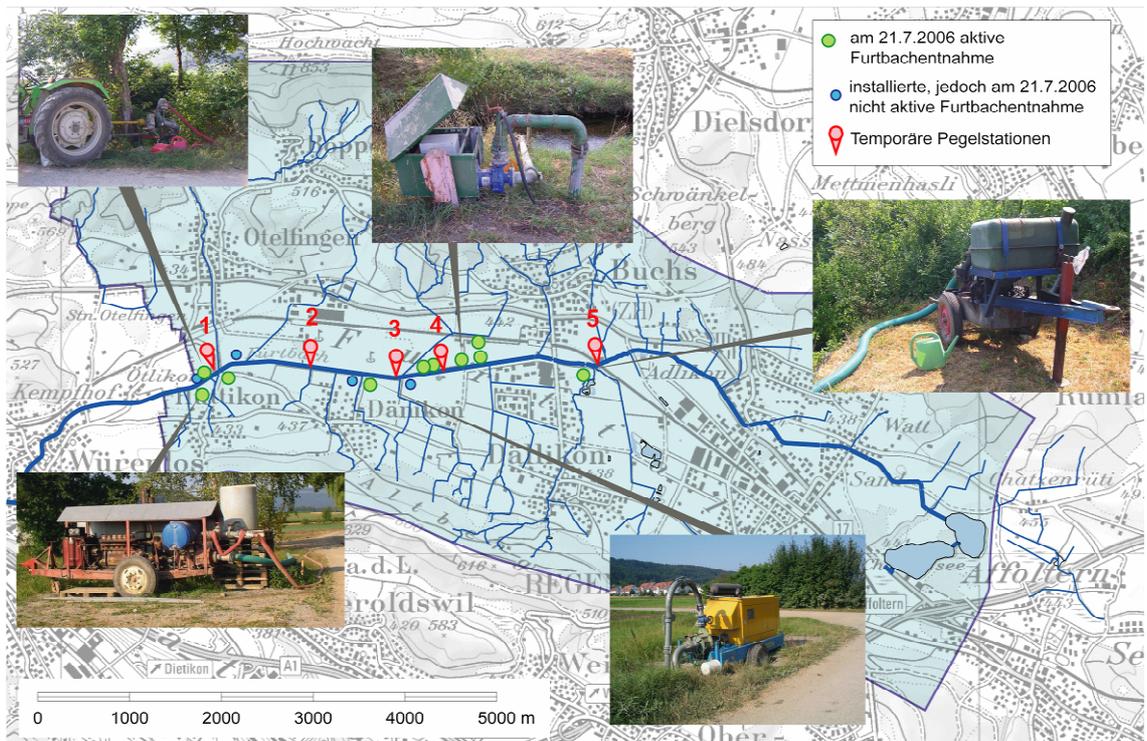
### 4.8.2 Geländebegehung vom 21. Juli 2006

Im Rahmen einer Geländebegehung am 21. Juli 2006 erfolgte eine stichpunktartige Erhebung aller zu diesem Zeitpunkt aktiven und passiven (installiert, aber ohne Entnahme) Wasserentnahmen am Furtbach (Figur 36). Insgesamt wurden zwischen 7 und 12 Uhr 10 aktive Wasserentnahmen beobachtet. Der Furtbachabfluss an der Messstation in Würenlos lag an diesem Tag deutlich unter 250 l/s.

Figur 35: Mobile Anlagen zur Wasserentnahme aus dem Furtbach



Figur 36: Erhebung der Wasserentnahmen aus dem Furtbach am 21.7.2006 und Lage der temporären Pegelstationen



### 4.8.3 Abschätzung der effektiven Wasserentnahmen aus dem Furtbach

Die Entnahmemengen aus dem Furtbach werden *nicht gemessen*, so dass keine Daten zu den jährlich geförderten Wassermengen und ihrer zeitlichen Verteilung vorliegen. Um trotzdem Angaben zu den Wasserentnahmen machen zu können, wurde versucht, diese indirekt zu bestimmen.

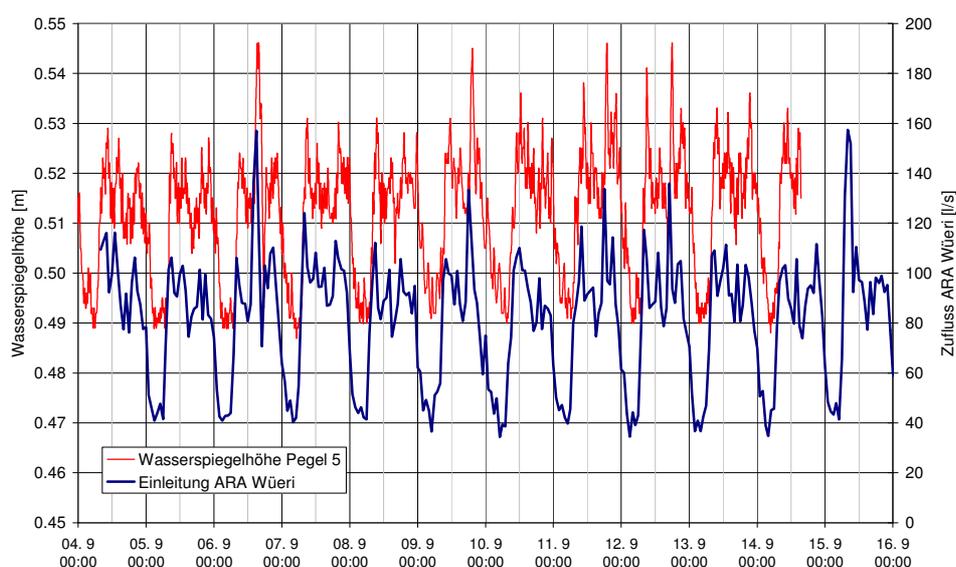
Eine Abschätzung der Wasserentnahmen aus dem Furtbach anhand der tageszeitlichen Schwankungen der Furtbachpegel an den einzelnen Messstationen erwies sich als schwierig, da die durch die Entnahmen induzierten Abflussschwankungen zusätzlich durch ausgeprägte tageszeitliche Schwankungen der Abwassereinleitungen der ARA's überlagert werden.

Es wurde daher versucht, für eine Trockenperiode ohne Niederschlag und mit Furtbachabflüssen unter 250 l/s den «natürlichen» Abfluss ohne Abwasser der ARA's zu bestimmen. Als Zeitraum wurde exemplarisch der 15.7.2006 bis 19.7.2006 ausgewählt. Während dieser Periode fiel der Furtbachabfluss bis auf 180 l/s und betrug fast durchweg unter 250 l/s.

Die Zuflussmengen der ARA's Buchs und Otelfingen liegen als Stundenwerte vor. Bei der ARA Wüeri basieren auf Grund eines technischen Problems die Zuflussdaten auf einer Schätzung gemäss des Zuflussmengen während der Trockenperiode im September 2006.

Die Abschätzung der Fliessgeschwindigkeit ermöglicht ein Vergleich zwischen dem Zeitpunkt der Abgabe einer Abwasserspitze und ihrer Ankunft an dem weiter unterstrom liegenden Pegel 5 (Figur 37). Zwischen dem Pegel 5 und der ARA Wüeri existieren keine Wasserentnahmen aus dem Furtbach, die ein Verschmieren des Abflusssignals bewirken könnten. Der Abstand zwischen der ARA Wüeri und dem Pegel 5 beträgt 470 m, die Zeitverzögerung zwischen der Abwassereinleitung und ihrer Ankunft am Pegel 5 beträgt 1h (Figur 37). Die daraus resultierende Strömungsgeschwindigkeit liegt bei rund 8 m/min.

Figur 37: Vergleich zwischen der Abwassereinleitung der ARA Wüeri und der Wasserspiegelhöhe am Pegel 5

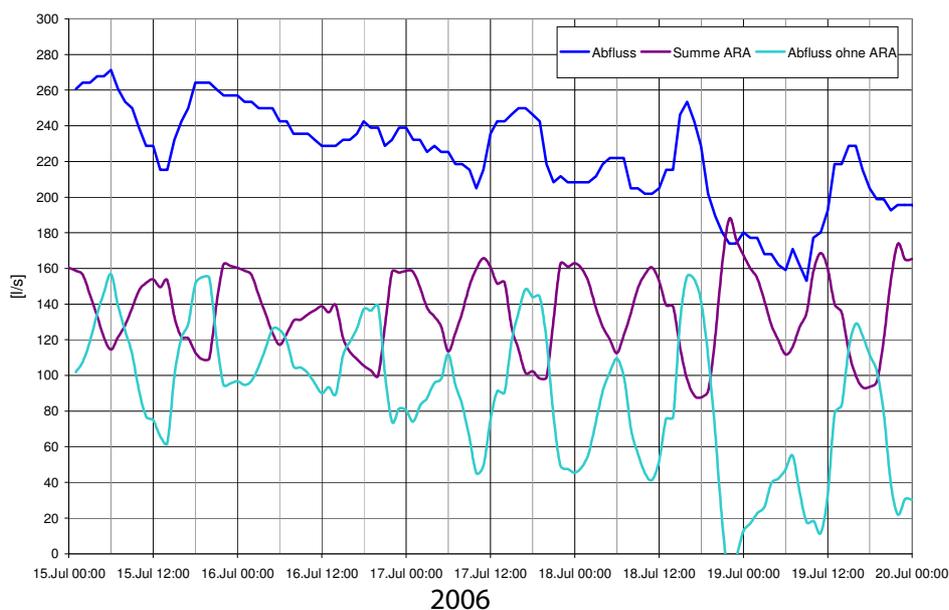


Die Distanz zwischen der ARA Wüeri und der Station Würenlos beträgt 6.6 km, zwischen der ARA Buchs und Station Würenlos beträgt der Abstand dann noch 4.4 km. Die ARA Otelfingen befindet sich schliesslich noch 1.9 km oberhalb der Station Würenlos. Unter Annahme einer Strömungsgeschwindigkeit von 8 m/min erreicht das von der ARA Wüeri eingeleitete Abwasser nach 14h, das von der ARA Buchs eingeleitete Abwasser nach 9h und das von der ARA Otelfingen eingeleitete Abwasser nach 4h die Station Furtbach Würenlos.

In einem nächsten Schritt wird dann die Summe der Abwassermenge an der Station Furtbach-Würenlos unter Berücksichtigung der zeitlichen Verzögerung ihres Eintreffens berechnet. Den zeitlichen Verlauf der Abwassersummenkurve an der Station Würenlos zeigt *Figur 38*. Die Abwassermenge charakterisiert ein zeitlich ausgesprochen zyklisches Verhalten: Maximale Abwassermengen betragen zwischen 140 und 180 l/s und erreichen im Allgemeinen mittags sowie gegen Mitternacht die Station Furtbach-Würenlos. Minimale Abwassermengen liegen bei etwa 100 l/s und stellen sich gegen 6 Uhr morgens sowie um 18 Uhr ein.

Abschliessend wird die Abwassermenge vom Furtbachabfluss an der Station Furtbach-Würenlos subtrahiert. Die resultierende Abflussganglinie zeigt das Abflussverhalten des Furtbachs, das ohne ARA-Zufluss zu erwarten wäre. Maximale Abflüsse stellten sich gegen 16 bis 18 Uhr ein und betragen zwischen 130 und 160 l/s (*Figur 38*). Die Abflussminima zeigen demgegenüber die Auswirkung der Wasserentnahmen, da ohne Wasserentnahmen ein relativ konstanter Furtbachabfluss vorgelegen hätte. Die Amplitude der Abflussganglinie ohne ARA-Einleitungen liegt bei 60 bis 100 l/s, welche die Höhe der entnahmebedingten Abflussschwankungen wiedergibt.

*Figur 38: Furtbachabfluss während Trockenzeiten mit und ohne ARA-Zuflüsse*



Am 19.7.2006 wäre ohne ARA-Einleitung der Furtbach durch die Wasserentnahmen dann kurzzeitig fast trocken gefallen bzw. bis auf 60 bis 20 l/s gesunken.

Insgesamt ist daher davon auszugehen, dass während Trockenzeiten die Konzessionsmenge zeitweise vollständig ausgenutzt wird, was grundsätzlich aber nur bei Abflüssen >250 l/s an der Station Würenlos zulässig wäre (vgl. Kapitel 6.3).

Die Dokumentation der Wasserentnahmen am 21.7.2006 zeigt, dass zu diesem Zeitpunkt innerhalb aller Pegelintervalle aktive Wasserentnahmen existierten.

Das vollständige Trockenfallen der Drainageleitungen zeigt jedoch auch, dass das den Feldern über die Bewässerung zugeführte Wasser nicht mehr zurück in den Furtbach gelangt, sondern vollständig durch die während dieser Jahreszeit ausgeprägte Evapotranspiration aufgebraucht wird.

#### **4.9 Leitfähigkeits- und Temperaturmessungen im Sommer 2006**

Vor Beginn der Abflussmessungen wurden am 26.4. und 5.5.2006 die Temperaturen und Leitfähigkeiten des Furtbaches sowie seiner Seitenzuflüsse (Bäche, Drainagen und ARA's) gemessen.

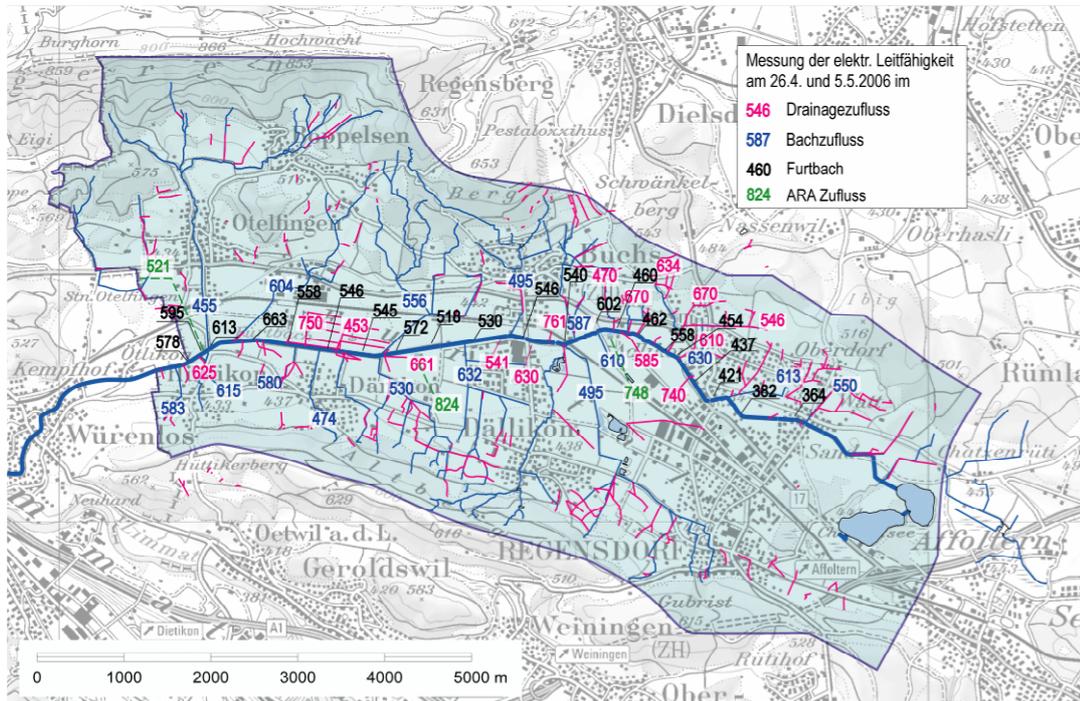
Ziel der Messungen war zum einen die thermische und chemische Belastung des Furtbaches über die ARA Einleitungen und den Zufluss der Drainagen qualitativ zu erfassen. Zum anderen sollten allenfalls vorhandene Exfiltrationsstrecken von Grundwasser erkannt werden.

##### ***Leitfähigkeitsmessungen***

Die Messung der Leitfähigkeit (*Figur 39*) ergab eine Basisleitfähigkeit des Furtbaches, die von 360  $\mu\text{S}/\text{cm}$  im Bereich des Chatzensees auf etwa 580  $\mu\text{S}/\text{cm}$  im Bereich Hüttikon ansteigt. Die Leitfähigkeit der Drainagenzuflüsse ist ausgesprochen variabel und liegt zwischen minimal 470  $\mu\text{S}/\text{cm}$  und maximal 750  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Die Leitfähigkeit des Furtbaches liegt durchwegs unterhalb der Leitfähigkeit des über Drainagen zuströmenden Wassers. Die Leitfähigkeit der seitlichen Bachzuflüsse ist im Allgemeinen niedriger als jene der Drainagen. Maximale Leitfähigkeiten besitzen erwartungsgemäss die Einleitungen der ARA's mit Werten bis zu 820  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Die hohe Leitfähigkeit des geklärten Abwassers führt unterstrom zu einem deutlichen Anstieg der Leitfähigkeit des Furtbaches. Besonders signifikant ist dieser sprunghafte Anstieg unterhalb der ARA Wüeri zu beobachten.

Insgesamt lassen die Leitfähigkeitsmessungen nirgends Hinweise auf Übertritte von stärker mineralisiertem Grundwasser in den Furtbach erkennen. Solche liessen sich in Anbetracht der hohen Basisleitfähigkeit des Furtbaches allerdings auch kaum erkennen.

Figur 39: Resultate der Leitfähigkeitsmessungen vom 26.4.2006 bzw. 5.5.2006



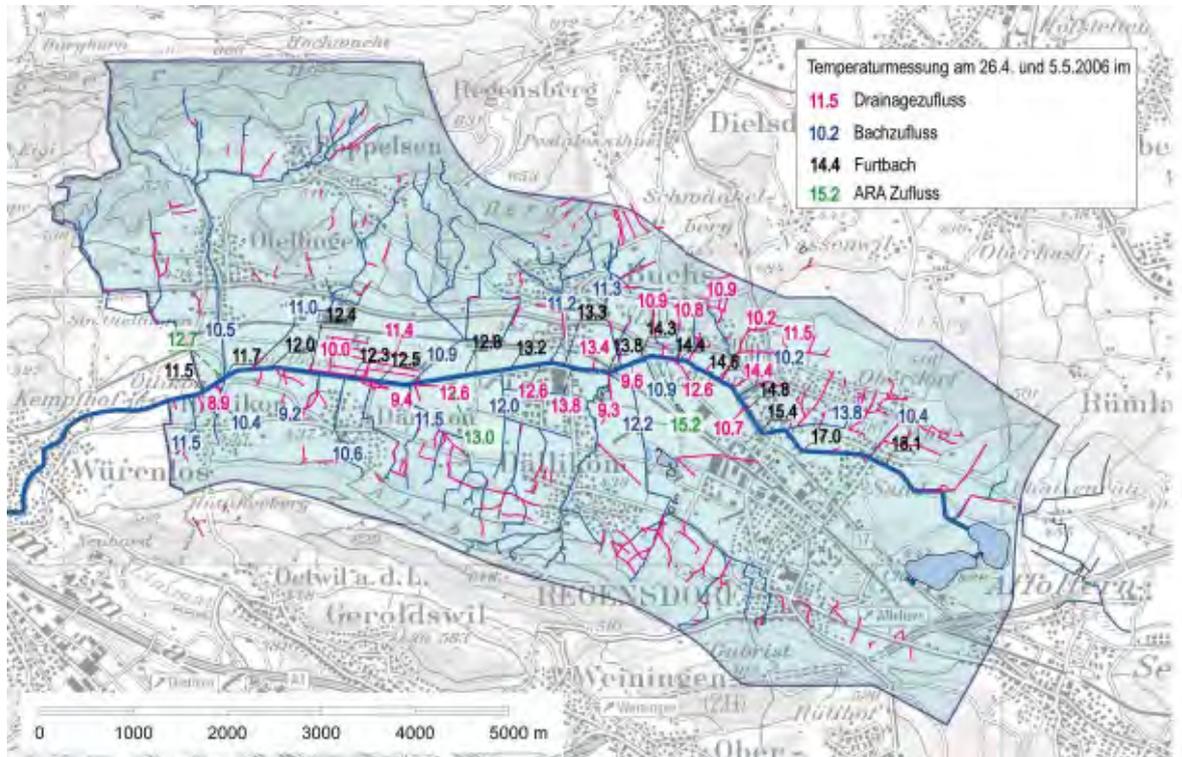
### Temperaturmessungen

Die Messungen der Wassertemperatur (Figur 40) ergaben Werte zwischen 12 und 14 °C. Die Temperaturzunahme flussaufwärts muss als Folge des tageszeitlich bedingten Temperaturanstieges des Bachwassers interpretiert werden.

Die Drainagen führten am Messtag Wasser mit einer Temperatur zwischen 9 und 14 °C. Analog zur Leitfähigkeit ist damit die Wassertemperatur der Drainagen ausgesprochen variabel. Die Bachzuflüsse weisen dagegen eine relativ gleichförmige Wassertemperatur zwischen 10 und 11 °C auf. Maximale Temperaturen mit einer Temperaturdifferenz gegenüber dem Furtbachwasser von ca. 3 °C weist das von den ARA's eingeleitete geklärte Abwasser auf.

Im Gegensatz zu den Ergebnissen der Leitfähigkeitsmessungen zeigt die Temperatur des Furtbaches weder eine Beeinflussung durch das kühlere Drainagewasser noch durch das vergleichsweise warme ARA Wasser. Die Wassertemperaturen im Furtbach werden offenbar hauptsächlich durch die Sonneneinstrahlung bestimmt

Figur 40: Resultate der Temperaturmessungen vom 26.4.2006 bzw. 5.5.2006



## 5 QUALITATIVE BESCHAFFENHEIT DES FURTBACHWASSERS

### 5.1 Messstellen am Furtbach

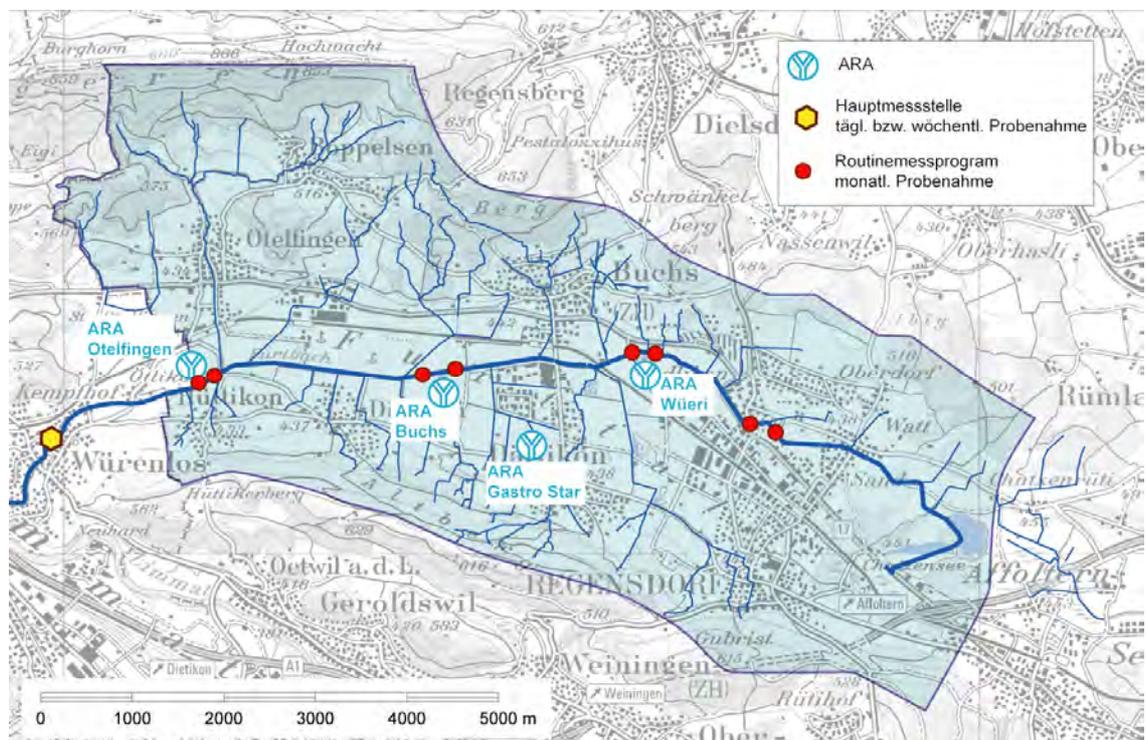
(Lage siehe Figur 41)

#### **AWEL-Hauptmessstelle in Würenlos**

An der Abflussmessstation Furtbach-Würenlos ist zur qualitativen Überwachung des Furtbaches seit 1990 eine *Hauptmessstelle* des AWEL mit einem Schöpfautomaten installiert. Die Proben werden abflussproportional geschöpft, gekühlt aufbewahrt und wöchentlich eingesammelt. Zur Jahresbewertung der Wasserqualität wird vom AWEL das 90-Perzentil verwendet.

Für die Gehaltsbestimmung der Parameter Ammonium ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ), Nitrat ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ), Phosphat ( $\text{PO}_4\text{-P}$ ), Chlorid ( $\text{Cl}$ ), Sulfat ( $\text{SO}_4$ ) und die Wassertemperatur werden Tagesmischproben entnommen. Die Gesamtphosphor- und -stickstoffgehalte werden mittels einer Wochenmischprobe bestimmt. Beim wöchentlichen Probeneinsammeln wird stichprobenartig der biologische Sauerstoffbedarf ( $\text{BSB}_5$ ) sowie der Gehalt an Sauerstoff ( $\text{O}_2$ ), organischem Kohlenstoff ( $\text{DOC}$ ), Nitrit ( $\text{NO}_2\text{-N}$ ) und der pH-Wert überwacht.

Figur 41: Lage der AWEL-Messstellen am Furtbach



### **Weitere Probenahmestellen am Furtbach**

Neben der Hauptmessstelle in Würenlos werden durch das AWEL an 8 weiteren Messstellen im Rahmen des «Messprogramms Fließgewässer» Wasserproben aus dem Furtbach entnommen. Diese in monatlichen Zeitabständen entnommenen Stichproben werden auf die gleichen Parameter wie die Proben der Hauptmessstelle analysiert. Zur jährlichen Bewertung dieser Wasserproben wird vom AWEL das 80-Perzentil verwendet.

## **5.2 Chemische Qualitätsparameter**

Massgebende Indikatoren zur Beurteilung der Qualität eines Fließgewässers sind der Ammonium-, Nitrit-, Nitrat-, Phosphat-, DOC- und BSB<sub>5</sub>-Gehalt. Daneben wird die Wasserqualität zunehmend auch durch das Vorhandensein von Pflanzenbehandlungs- und Schädlingsbekämpfungsmitteln, so genannten Pestiziden, beeinträchtigt.

Die Eigenschaften und Herkunft dieser Parameter werden nachfolgend kurz beschrieben.

### **Ammonium**

Ammonium ist chemisch nicht sehr stabil und wandelt sich in Abhängigkeit vom pH-Wert und der Temperatur in das starke Fischgift Ammoniak um. Längerfristige Ammoniakkonzentrationen von 0.008 mg NH<sub>3</sub>-N / l können für Eier und Fischbrut toxisch sein, 0.02 mg NH<sub>3</sub>-N / l sollten nicht überschritten werden. In natürlichen, unbelasteten Gewässern liegen die Ammonium-Gehalte bei <0.04 mg NH<sub>4</sub>-N / l.

Ammonium kann sowohl über das Abwasser als auch über Gülle und Kunstdünger in den Furtbach gelangen.

### **Nitrit**

Das Nitrit ist ebenfalls ein starkes Fischgift und kann auch andere aquatische Organismen gefährden. In natürlichen, unbelasteten Gewässern ist Nitrit praktisch nicht nachweisbar. Erhöhte Nitritkonzentrationen können bei der biologischen Umsetzung von Ammonium zu Nitrat entstehen oder unter anaeroben Bedingungen bei der Denitrifikation von Nitrat zu gasförmigem N<sub>2</sub>O oder N<sub>2</sub>. Die toxische Wirkung von Nitrit wird durch die Chloridkonzentration beeinflusst, so dass diese ebenfalls mitbestimmt werden muss.

Erhöhte Nitrit-Gehalte entstehen häufig unterhalb ungenügend nitrifizierender ARA's oder bei ARA-Betriebsstörungen.

### **Nitrat**

Nitrat ist im Wasser als weniger problematisch als Nitrit und Ammonium zu bewerten, welche eine direkte toxische Wirkung haben. Nur unter Sauerstoffmangel können aus Nitrat reduzierte Stickstoffverbindungen gebildet werden: Nitrit und Ammonium. Die Anforderungen der GSchV gelten daher nur für Fließgewässer, die der Trinkwassernutzung dienen.

In natürlichen, unbelasteten Gewässern liegen die Nitrat-Gehalte bei <1.5 mg NO<sub>3</sub>-N / l. Erhöhte Nitratgehalte sind die Folge der Auswaschung landwirtschaftlich genutzter Flächen oder der Einleitung kommunaler Abwässer.

### **Phosphor und Phosphat**

*Phosphor* dient primär als Indikator für anthropogene Belastungen, da er natürlich nur in geringen Mengen in Gewässersysteme gelangt. Fliessgewässer unterhalb von Seen werden durch erhöhte Phosphorgehalte kaum negativ beeinflusst. Phosphor gelangt diffus aus der Landwirtschaft und punktuell über Abwassereinleitungen und Regenüberläufe in die Gewässer.

*Phosphat* stellt die für Pflanzen die physiologisch direkt wirksame Phosphorkomponente dar. Phosphate tragen zur Überdüngung der Gewässer bei und verstärken dadurch das Pflanzenwachstum, was wiederum zur Folge hat, dass gerade im Sommer ein Sauerstoffmangel in Gewässern entsteht. Dies ist für die Fische z. T. lebensbedrohlich. In Fliessgewässern reichen die geringen natürlichen Konzentrationen für ein gutes Pflanzenwachstum aus und liegen bei  $<0.02 \text{ mg PO}_4\text{-P / l}$ . Die technische Verbesserung der Abwasserreinigung und das 1986 in Kraft getretene Phosphatverbot in Wasch- und Reinigungsmitteln haben zu einer Reduktion des Phosphateintrages in die Oberflächengewässer geführt. Phosphathaltige Mineraldünger werden in der konventionellen Landwirtschaft jedoch nach wie vor eingesetzt.

### **Gelöster organischer Kohlenstoff (DOC)**

DOC beinhaltet sowohl künstlich hergestellte Verbindungen sowie natürliche organische Stoffe. Ein erhöhter organischer Kohlenstoffanteil begünstigt in einem Gewässer die Fäulnisprozesse, wodurch der Sauerstoffgehalt zu sinken beginnt und die Fischgifte Methan, Schwefelwasserstoff und Ammoniak entstehen. Fliessgewässer, die in Mooren und Waldgebieten entspringen, weisen zudem hohe natürliche DOC-Gehalte auf.

### **Biochemischer Sauerstoffbedarf (BSB<sub>5</sub>)**

Der biochemische Sauerstoffbedarf ist ein Mass für den Sauerstoffverbrauch durch biologische Abbauvorgänge innerhalb einer festgelegten Zeit, beispielsweise innerhalb von 5 Tagen (BSB<sub>5</sub>). Bleibt abgelagertes organisches Material am der Flusssohle liegen, kann die Sauerstoffzehrung so gross werden, dass anaerobe Verhältnisse auftreten und reduzierte Substanzen, wie Nitrit, Ammonium, Methan und Schwefelwasserstoff entstehen.

Die übrigen gemessenen Parameter (*Temperatur, pH-Wert, Chlorid-, Sulfat- und Sauerstoffgehalt*) wurden auf Grund ihrer Sekundärwirkung auf die Gewässerqualität nicht im einzelnen analysiert.

### **Pestizide**

In der Schweiz sind mehrere tausend Pflanzenschutzmittel mit insgesamt rund 400 Wirkstoffen zugelassen. Folgende Wirkstoffgruppen werden unterschieden:

- *Herbizide:*  
Einsatz selektiv gegen Unkraut oder als Totalherbizide gegen jeglichen Pflanzenaufwuchs.
- *Fungizide/Bakterizide:*  
Bekämpfung von Pilzen/Bakterien.
- *Insektizide/Akarizide:*  
zur Bekämpfung von Insekten/Spinnentieren.

Pestizide werden nicht nur in der Landwirtschaft eingesetzt, sondern beispielsweise auch auf Grünflächen, Sportplätzen, in Hausgärten sowie im Strassenunterhalt. Daneben werden Pestizide zunehmend auch bei Baumaterialien verwendet, so zum Schutz von Fassaden und Dächern vor Algen und Pilzen.

Der Nachweis der einzelnen Wirkstoffe ist aufwendig und für einzelne Stoffe existieren heute noch keine standardisierten Analysemethoden. Die Fliessgewässer werden deshalb nur auf die wichtigsten Wirkstoffe und Abbauprodukte routinemässig untersucht.

### 5.3 Gesetzliche Anforderungen an die Qualität von Fliessgewässern

Im Anhang 2 der Gewässerschutzverordnung (GSchV) werden numerische Anforderungen für Ammonium, Nitrat, BSB<sub>5</sub>, DOC, Pestizide, Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, Quecksilber, Zink aufgeführt, die ständig einzuhalten sind (*Tabelle 11*). Ausgenommen sind Hochwasserspitzen oder seltene Niederwassersituationen.

*Tabelle 11: Qualitative Anforderungen an ein Oberflächengewässer gemäss GSchV und Einleitbedingungen gemäss AWEL*

Parameter	Anforderung GSchV [mg/l]	Einleitbedingungen AWEL [mg/l]		
	Fliessgewässer	ARA Regensdorf	ARA Buchs	ARA Otelfingen
NH <sub>4</sub> -N	0.2	1.0	2.0	1.0
NO <sub>2</sub> -N	–	0.3	0.3	0.3
NO <sub>3</sub> -N	25 <sup>1)</sup>	–	–	–
P <sub>tot</sub>	–	0.2	0.8	0.8
BSB <sub>5</sub>	4.0	10	15	15
DOC	4.0	10	10	10
GUS <sup>2)</sup>	–	5	15	15

1) gilt nur für Fliessgewässer, die der Trinkwassernutzung dienen

2) GUS = Gesamte Ungelöste Stoffe

Neben den Anforderungen gemäss GSchV hat das BAFU im Rahmen eines «Modul-Stufen-Konzeptes» weitere Zielvorgaben definiert. Dabei wird unterschieden zwischen «Zielvorgabe erfüllt» und «Zielvorgabe nicht erfüllt». *Tabelle 12* zeigt die numerischen Qualitätsanforderungen an Fliessgewässer gemäss BAFU.

Tabelle 12: Qualitative Anforderungen an ein Oberflächengewässer gemäss BAFU (2006)

Parameter	Einheit	BAFU Modul-Stufen-Konzept				
		Zielvorgabe erfüllt		Zielvorgabe nicht erfüllt		
		sehr gut	gut	mässig	unbefriedigend	schlecht
NH <sub>4</sub> -N <sup>1)</sup>	mg/l	< 0.04	0.04 - 0.2	0.2 - 0.3	0.3 - 0.4	≥ 0.4
NO <sub>2</sub> -N <sup>2)</sup>		< 0.05	0.05 - 0.1	0.1 - < 0.15	0.15 - < 0.2	≥ 0.2
NO <sub>3</sub> -N		< 1.5	1.5 - 5.6	5.6 - 8.4	8.4 - 11.2	≥ 11.2
P <sub>tot</sub> <sup>3)</sup>		< 0.08	0.08 - < 0.14	0.14 - < 0.21	0.21 - < 0.28	≥ 0.28
BSB <sub>5</sub>		< 2.0	2.0 - 4.0	4.0 - 6.0	6.0 - 8.0	≥ 8.0
DOC		< 2.0	2.0 - 4.0	4.0 - 6.0	6.0 - 8.0	≥ 8.0

1) für T ≥ 10°C

2) gültig für Cl-Konz. > 20 mg/l

3) ausserhalb des Einzugsgebietes von Seen

## 5.4 Wasserqualität des Furtbaches

### 5.4.1 Zeitliche Entwicklung und aktueller Zustand

Bis 1994 war die Wasserqualität des Furtbaches als Folge der Abwassereinleitung der überlasteten ARA Wüeri generell unbefriedigend. Durch die Inbetriebnahme der neuen ARA Wüeri konnten insbesondere die Phosphat-, Phosphor- und Ammoniumgehalte deutlich gesenkt werden. Aber auch die Gehalte an DOC und BSB<sub>5</sub> konnten deutlich reduziert werden.

Im Jahre 2000 kam es durch die Inbetriebnahme der privaten ARA Gastro-Star AG in Dällikon und die dabei anfänglich aufgetretenen Schwierigkeiten bei der Nitrifikation vorübergehend zu einem erneuten Anstieg des Ammoniumgehaltes. Nach einer kurzzeitigen Verbesserung verschlechterten sich mit dem Ausbau der ARA Otelfingen in den Jahren 2003 und 2004 erneut die Nitrit- und Ammonium-Konzentrationen.

Seit 2005 können die Zielvorgaben des BAFU für Ammonium, Nitrit und BSB<sub>5</sub> erfüllt werden. Die Parameter Phosphat, DOC und Nitrat liegen jedoch weiterhin im Bereich «mässig» bis «unbefriedigend». Insgesamt konnte jedoch in den vergangenen 25 Jahren speziell für die toxischen Fischgifte Ammonium und Nitrit die Wasserqualität im Furtbach deutlich verbessert werden.

### 5.4.2 Wasserqualität in Abhängigkeit vom Furtbachabfluss

Für die Hauptmessstelle in Würenlos wurden die Gehalte an Ammonium, Nitrat, Nitrit, Phosphat, Phosphor, BSB<sub>5</sub> und DOC zwischen 2000 und 2006 zusammengetragen und unter Berücksichtigung des Abflussverhaltens analysiert (Tabelle 13 und Tabelle 14).

Zusätzlich wurde auch die Abhängigkeit der Wasserqualität vom jeweiligen Furtbachabfluss an den 8 monatlich beprobten Nebenmessstellen untersucht.

Tabelle 13: Wasserqualität in Bezug auf die Stickstoffverbindungen bei verschiedenen Abflüssen in Würenlos

Jahr	Ammonium <sup>1)</sup> [mg NH <sub>4</sub> -N/l]			Nitrat <sup>1)</sup> [mg NO <sub>3</sub> -N/l]			Nitrit <sup>1)</sup> [NO <sub>2</sub> -N mg/l]		
	<Q <sub>347</sub>	>Q <sub>347</sub> und <MQ	>MQ	<Q <sub>347</sub>	>Q <sub>347</sub> und <MQ	>MQ	<Q <sub>347</sub>	>Q <sub>347</sub> und <MQ	>MQ
2000	– 2)	0.17	0.22	– 2)	8.2	6.2	– 2)	0.06	0.05
2001	– 2)	0.12	0.12	– 2)	7.6	6.4	– 2)	0.05	0.05
2002	– 2)	0.13	0.14	– 2)	8.8	6.2	– 2)	0.05	0.05
2003	0.10	0.18	0.26	13.6	10.2	6.8	0.09	0.11	0.09
2004	0.27	0.19	0.23	10.7	10.1	8.9	0.16	0.14	0.05
2005	– 2)	0.11	0.21	– 2)	10.1	7.7	– 2)	0.04	0.06
2006	0.06	0.09	0.11	12.9	10.0	7.8	0.03	0.04	0.03

1) Tabelle enthält 80-Perzentil-Werte

2) Abfluss bei keiner Probenahme innerhalb des Wertebereiches

### Ammonium

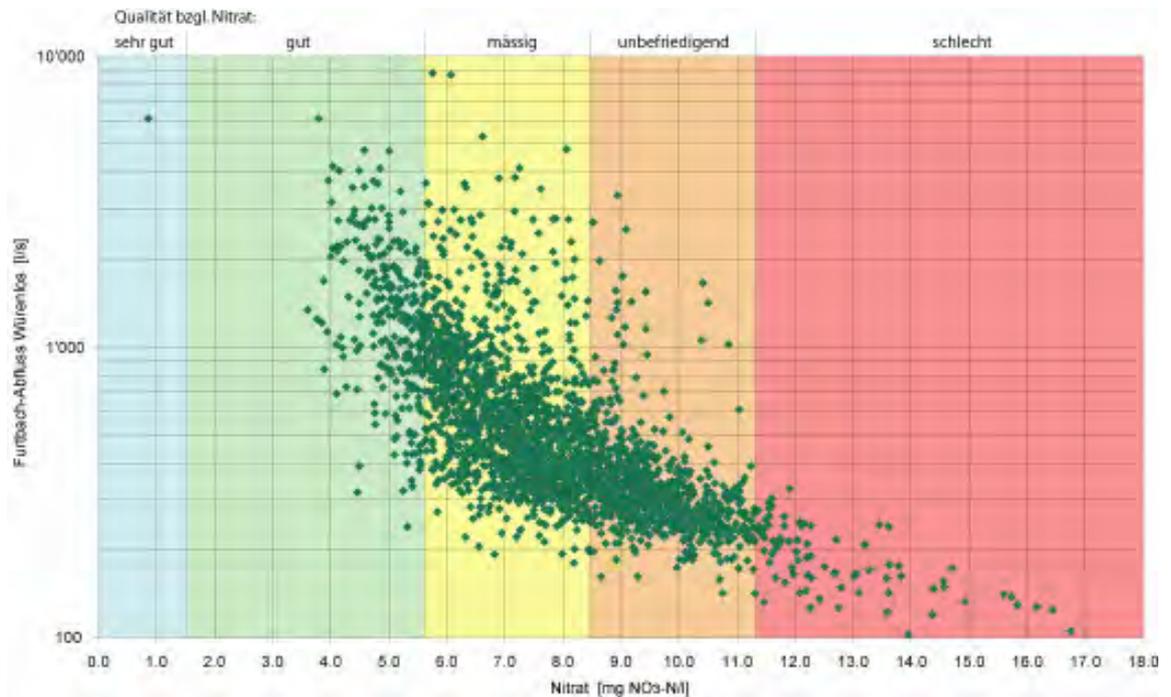
Seit 2000 entsprechen die Ammoniumgehalte mehrheitlich den Zielvorgaben des BAFU bzw. den Anforderungen der GSchV. Hohe Gehalte wurden einzig in den Jahren 2003 und 2004 im Zusammenhang während dem Um-/Ausbau der ARA Otelfingen gemessen. Tendenziell ist eine Zunahme der Ammoniumkonzentration mit der Abflussmenge festzustellen. Bei Niederwasserhältnissen liegen tendenziell eher niedrige Ammoniumgehalte vor.

Die Einleitbedingungen für Ammonium (Tabelle 11) wurden von den ARA Wüeri und Buchs durchwegs eingehalten, während die ARA Otelfingen gereinigtes Abwasser mit einer Ammoniumkonzentration mit bis zu maximal 15 mg NH<sub>4</sub>-N/l (Jahr 2004) in den Furtbach einleitete. Bei allen drei ARA's ist eine deutliche Zunahme von Ammonium im Furtbach unterhalb der Abwassereinleitung feststellbar. Bei Niederwasserhältnissen reicht die Verdünnungswirkung des Furtbaches aus, um eine Wasserqualität im Bereich «gut» zu erzielen.

### Nitrat

Die Nitratgehalte erfüllen die Zielvorgaben des BAFU mehrheitlich nicht. Hohe Nitratgehalte treten insbesondere bei Niederwasserhältnissen auf, während die Qualitätsverhältnisse bezüglich des Nitrates bei Abflüssen oberhalb des mittleren Abflusses als «mässig» bis «gut» zu beurteilen sind (Figur 42).

Figur 42: Abhängigkeit des Nitratgehaltes von der Abflussmenge im Furtbach (Messstation Würenlos Messungen 2000 bis 2006)



Für Nitrat gibt die GSchV keine Einleitbedingungen vor. Maximale Nitratreinleitungen der ARA's erreichen bis zu 32 mg NO<sub>3</sub>-N/l, so dass es eines Verdünnungsverhältnisses von 1:5 bedarf, um die Zielvorgaben des BAFU zu erfüllen. Maximale Nitratwerte sind bei der ARA Otelfingen ganzjährig, bei der ARA Buchs hauptsächlich im Sommer anzutreffen, während das gereinigte Abwasser der ARA Wüeri generell eher niedrige Nitratkonzentrationen um 12 mg NO<sub>3</sub>-N/l aufweist. Bei allen drei ARA's ist jeweils ein deutlicher Anstieg der Nitratkonzentration im Furtbach nach der Abwassereinleitung der ARA zu erkennen.

Es ist davon auszugehen, dass die Verdünnungswirkung des Furtbaches bei Niederwasserhältnissen nicht mehr ausreicht, um den hohen Nitratausstoss der ARA Buchs und Otelfingen entsprechend zu verdünnen.

### **Nitrit**

Der Nitritgehalt liegt grösstenteils innerhalb der Zielvorgaben des BAFU. Erhöhte Gehalte traten 2003 und 2004 während des Ausbaus der ARA Otelfingen auf. In den beiden vergangenen Jahren 2005 und 2006 erreichte der Nitritgehalt im Furtbach dann jedoch sogar den Zustand «sehr gut».

Die Verdünnung des eingeleiteten Abwassers reicht seit 2005 aus, dass auch bei Niederwasserhältnissen der Nitritgehalt mit dem Zustand «gut» bewertet werden kann.

Tabelle 14: Wasserqualität in Bezug auf Phosphat, Phosphor und DOC bei verschiedenen Abflüssen in Würenlos

Jahr	Phosphat <sup>1)</sup> [mg PO <sub>4</sub> -P/l]			Phosphor <sup>1)</sup> [mg P <sub>tot</sub> /l]			DOC <sup>1)</sup> [mg/l]		
	<Q <sub>347</sub>	>Q <sub>347</sub> und <MQ	>MQ	<Q <sub>347</sub>	>Q <sub>347</sub> und <MQ	>MQ	<Q <sub>347</sub>	>Q <sub>347</sub> und <MQ	>MQ
2000	– 2)	0.07	0.08	– 2)	0.11	0.14	– 2)	4.5	4.2
2001	– 2)	0.05	0.06	– 2)	0.12	0.09	– 2)	3.3	3.8
2002	– 2)	0.06	0.08	– 2)	0.10	0.13	– 2)	3.7	3.8
2003	0.10	0.10	0.07	0.16	0.13	0.08	5.2	4.4	3.5
2004	0.09	0.09	0.09	0.12	0.13	0.08	4.6	4.5	4.3
2005	– 2)	0.08	0.13	– 2)	0.15	0.13	– 2)	4.3	4.5
2006	0.06	0.08	0.09	0.09	0.15	0.14	4.4	4.1	4.0

1) Tabelle enthält 80-Perzentil-Werte

2) Abfluss bei keiner Probenahme innerhalb des Wertebereiches

### Phosphat und Phosphor

Während der Gesamt-Phosphorgehalt P<sub>tot</sub> grösstenteils die Zielvorgabe des BAFU erfüllt, liegt der Phosphatgehalt PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> dagegen meist oberhalb der Zielvorgabe des BAFU. Das Phosphat weist zudem einen leichten Konzentrationsanstieg mit der Zunahme des Abflusses auf.

Maximale Einleitungen erfolgen bei Mittelwasserverhältnissen. Abwasser mit stark erhöhten Phosphorgehalten von über 2 mg/l gelangten bis 2004 über die ARA Otelfingen in den Furtbach. Seit 2005 konnte bei der ARA Otelfingen der maximale Phosphorausstoss auf 1.1 mg/l reduziert werden. Die ARA Buchs leitet Abwasser mit maximalen Konzentrationen um 0.8 mg/l in den Furtbach ein. Unterstrom der ARA Buchs werden die Zielvorgaben des BAFU bezüglich des Phosphorgehaltes im Furtbach fast durchwegs nicht erfüllt. Zwischen den ARA Buchs und Otelfingen ist daher auch bei Mittelwasser von einer *ungenügenden Verdünnungswirkung* der in den Furtbach eingeleiteten Phosphor-Konzentration auszugehen.

Zusätzlich erfolgt speziell im Frühjahr ein Anstieg der Phosphatkonzentration mit dem Abfluss. Es ist daher davon auszugehen, dass ein nicht unerheblicher Phosphateintrag über die Auswaschung des Kunstdüngers, der auf die umliegenden Felder aufgebracht wird, erfolgt.

### Biochemischer Sauerstoffbedarf

Der biochemische Sauerstoffbedarf erfüllt seit 2000 die Zielvorgabe des BAFU bzw. Anforderung der GSchV. Maximalwerte traten kurzzeitig im Sommer 2003 bei Niederwasserverhältnissen auf.

Die Einleitbedingungen für BSB<sub>5</sub> (Tabelle 11) werden von allen drei ARA's grösstenteils eingehalten. Die Verdünnungswirkung des Furtbaches ist für den eingeleiteten BSB<sub>5</sub>-Gehalt als ausreichend zu beurteilen.

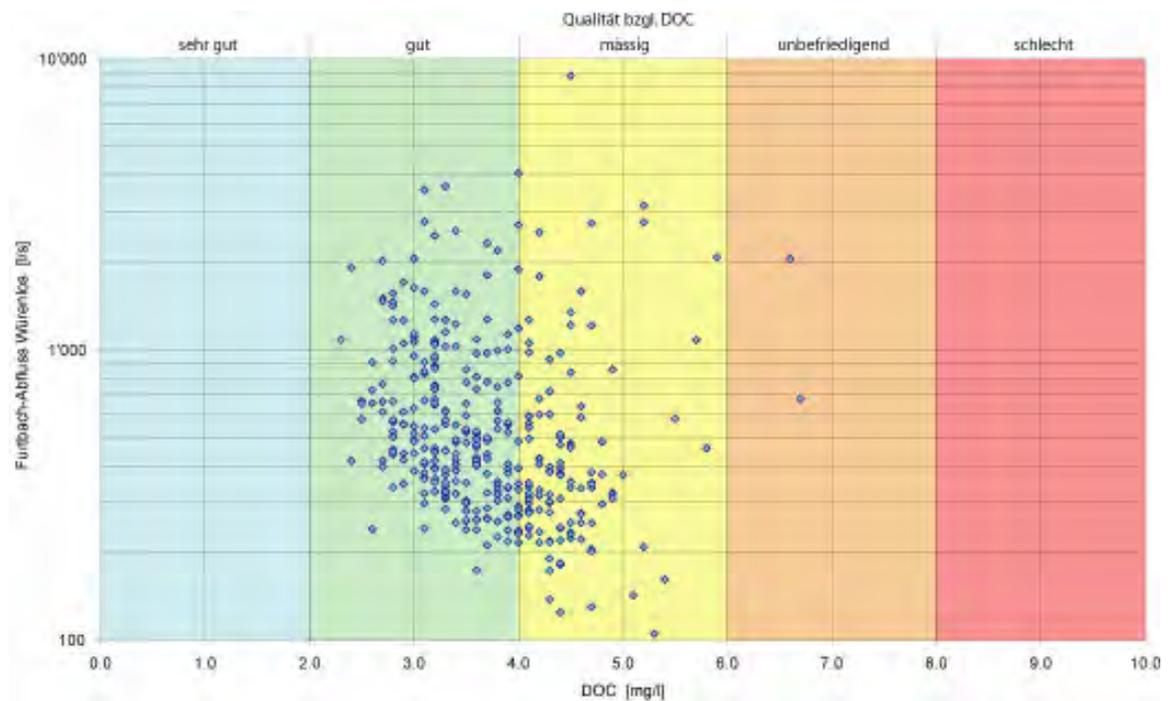
### DOC-Gehalt

Der DOC-Gehalt lag zwischen 2000 und 2006 häufig oberhalb der Zielvorgabe des BAFU bzw. Anforderung der GSchV. Maximale Konzentrationen stellen sich häufig bei Niedrigwasser-Verhältnissen ein (Figur 43).

Die Messungen des DOC-Gehaltes vor und nach den ARA zeigen, dass speziell die ARA Wüeri und z.T. auch die ARA Buchs gereinigtes Abwasser mit erhöhter DOC Konzentration in den Furtbach einleiten. Die DOC Konzentration liegt oberstrom der ARA noch unterhalb des Anforderungswertes und überschreitet diesen dann unterstrom der ARA.

Zwischen der ARA Wüeri und Otelfingen reicht der Furtbachabfluss bei Niedrigwasser-Verhältnissen nicht mehr aus, um das eingeleitete DOC genügend zu verdünnen.

Figur 43: Abhängigkeit des DOC-Gehaltes von der Abflussmenge im Furtbach (Messstation Würenlos Messungen 2000 bis 2006)



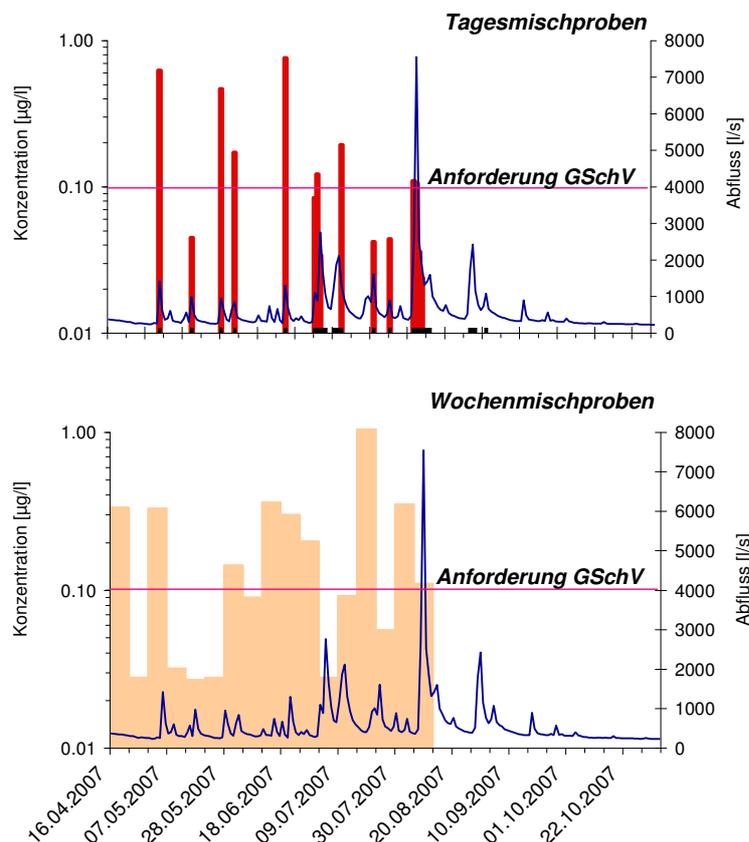
### Pestizide

Im Jahr 2007 hat das Gewässerschutzlabor des AWEL eingehende Untersuchungen der Pestizidbelastung im Furtbach durchgeführt [29]. Es wurden sowohl Wochenmischproben, Tagmischproben bei erhöhtem Abfluss als auch monatliche Stichproben untersucht.

Von den 46 untersuchten Pestiziden und 3 Abbauprodukten konnten im Furtbach 26 Wirkstoffe und alle 3 Abbauprodukte nachgewiesen werden. Bei 22 Verbindungen wurde die Qualitätsanforderung der Gewässerschutzverordnung (maximal 0.1 µg/l) überschritten. Zum Teil bedenklich hohe Konzentrationswerte wurden beim Mecoprop, beim Propachlor, beim stark toxischen Diazinon und beim ebenfalls sehr problematischen Irgarol-1051 festgestellt.

Die am häufigsten eingesetzten Herbizide wie Atrazin, Mecoprop und Abbauprodukte wie Desethylatrazin sind im Furtbach fast permanent nachweisbar.

In *Figur 44* ist stellvertretend für die vorhandene Pestizidbelastung der Konzentrationsverlauf von Propachlor dargestellt.



*Figur 44: Saisonaler Konzentrationsverlauf von Propachlor im Furtbach [29]*

Die Pestizidbelastungen im Furtbach stammen aus unterschiedlichen Quellen und bei der Betrachtung der Konzentrationsverläufe lassen sich drei Hauptgruppen unterscheiden:

- *Pestizide mit saisonalem Konzentrationsverlauf*  
Viele in der Landwirtschaft eingesetzte Produkte lassen klare Applikationsphasen mit erhöhten Werten erkennen. Typisch für diese Gruppe sind abflussunabhängige Konzentrationen mit Maximalwerten im Frühling / Sommer und bei einigen Substanzen im Herbst. Am Ende der Applikationsphase erfolgt oft eine rasche Konzentrationsabnahme unter die Nachweisgrenze. Vertreter dieser Gruppe sind Bentazon, Diuron, Ethofumesat, Isoproturon, Linuron, Metamitron, Metazachlor, Metobromuron, Metolachlor, Simazin.
- *Pestizide mit abflussabhängigem Konzentrationsverlauf*  
Ein abflussabhängiger Konzentrationsverlauf besteht im Furtbach einzig beim Herbizid 2,4-D.

- *Pestizide mit zufälligem oder konstantem Konzentrationsverlauf*  
Bei diesen Stoffen lässt die zeitliche Verteilung der Messwerte keinen Trend erkennen. Pestizide ohne klar erkennbares Muster sind Pirimicarb, MCPA, Diazinon und Propachlor (siehe Figur 44).

Da der Furtbach einen recht hohen Anteil an geklärtem Abwasser aufweist, dürfte die vorhandene Pestizidbelastung neben Einträgen aus der Landwirtschaft zusätzlich auch auf solche durch Publikumsprodukte und Materialschutzmittel aus dem Siedlungsgebiet zurückzuführen sein. Bei diesen Pestiziden sind in der Regel keine ausgeprägten Applikationsphasen wie bei landwirtschaftlichen Produkten erkennbar.

### **Zusammenfassende Bewertung**

Dank des technischen Fortschritts der ARA's konnten die Ammonium-, Nitrit-, und BSB<sub>5</sub>-Konzentrationen in den letzten Jahren deutlich gesenkt werden und stellen aktuell keine grössere Belastung mehr dar. Nach wie vor als ungenügend ist hingegen die Wasserqualität des Furtbaches hinsichtlich der Phosphat-, Nitrat- und DOC-Konzentrationen zu bewerten.

Bei *Phosphat* reichen auch bei Mittel- und Hochwasserwasserverhältnissen die Abflussmengen im Furtbach nicht aus, um die Phosphateinträge der ARA's sowie die Düngerauswaschung aus den umliegenden Feldern ausreichend zu verdünnen. Die Phosphatkonzentrationen sind weitgehend unabhängig von den Wasserentnahmen und verschlechtern sich eher bei einer hohen Wasserführung des Furtbaches.

Bei *Nitrat* und *DOC* können speziell bei Niederwasserverhältnissen die Zielvorgaben des BAFU nicht erfüllt werden. Ihre Anreicherung im Furtbachwasser ist daher direkt abhängig von der Wasserführung und der möglichen Verdünnung.

### **5.4.3 Einfluss der Wasserentnahmen auf die Wasserqualität des Furtbaches**

Den eingeleiteten ARA-Abwässern kommt ein beträchtlicher Anteil am Furtbachabfluss zu. Bei einer ungenügenden Verdünnung der eingeleiteten Abwässer stellt sich die Frage, inwieweit die Wasserentnahmen für die landwirtschaftliche Bewässerung die Verdünnungswirkung und damit die qualitative Beschaffenheit des Furtbachwassers nachteilig beeinflussen.

Am Beispiel des Nitrats soll daher exemplarisch versucht werden, die natürliche, nicht durch Wasserentnahmen beeinflusste Verdünnungswirkung des Furtbaches bei Niederwasserverhältnissen abzuschätzen.

Die Berechnung der Verdünnungswirkung des Furtbaches in Abhängigkeit von den Wasserentnahmen erfolgt für den 27.8.2003, an dem der Abfluss an der Station Furtbach-Würenlos deutlich unter  $Q_{347}$  lag. An der Station Würenlos variierte an diesem Tag der Abfluss zwischen minimal 100 und maximal 159 l/s mit einem Tagesmittelwert von 133 l/s. Vor und nach den ARA's sowie an der Station Furtbach-Würenlos existieren Messwerte des AWEL über die jeweilige Nitratkonzentration. Zwischen diesen Messungen erfolgt ausser des ARA Zuflusses kein weiterer Zufluss über Seitenbäche, so dass sich der Abfluss unterhalb der ARA mit:

$$Q_{\text{Furtbach, unterstrom}} = Q_{\text{ARA Zufluss}} \frac{C_{\text{ARA Zufluss}} - C_{\text{Furtbach, oberstrom}}}{C_{\text{Furtbach, unterstrom}} - C_{\text{Furtbach, oberstrom}}}$$

sowie oberhalb der ARA mit:

$$Q_{\text{oberstrom}} = Q_{\text{unterstrom}} - Q_{\text{ARA Zufluss}}$$

und der resultierende der Massenfluss mit:

$$M = Q \cdot C$$

bestimmen lassen.

Zwischen Chatzensee und der ARA Wüeri finden keine Entnahmen statt, so dass der unterstrom der ARA Wüeri berechnete Abfluss und die resultierende Nitratfracht als «Startwert» gewählt wird. Unterstrom der ARA Wüeri führen dann die Wasserentnahmen zu einer Reduktion des Abflusses und der Nitratfracht, so dass ohne Wasserentnahmen eine geringere Nitratkonzentration zu erwarten ist.

Die Berechnung erfolgt unter Annahme einer Nitratkonzentration der Seitenbäche von 2.5 mg/l und eines Zufluss über die Seitenbäche, wie sie mittels der Salzverdünnungsmethode am 13.9.2006 bestimmt wurde. Unter Kenntnis des Nitratreintrages und Zuflusses über Seitenbäche und ARA können nun die jeweils ober- und unterstrom der ARA Buchs und Otelfingen ohne Wasserentnahmen sich einstellende Nitratkonzentration bestimmt werden (Tabelle 15).

Tabelle 15: Einfluss der Wasserentnahmen auf die Nitratkonzentration bei Niederwasserverhältnissen

	mit Entnahmen		ohne Entnahmen		
	c <sup>1)</sup> [NO <sub>3</sub> -N mg/l]	Q <sup>2)</sup> [l/s]	c [NO <sub>3</sub> -N mg/l]	Q [l/s]	Fracht [mg/s]
vor ARA Wüeri	2.6	17			44
Ablauf Wüeri			10 <sup>3)</sup>	65 <sup>3)</sup>	650
nach ARA Wüeri	8.5	82			694
Bachzuflüsse			2.5 <sup>5)</sup>	40 <sup>4)</sup>	100
vor ARA Buchs	6.6	59	6.5 <sup>2)</sup>	122	794
Ablauf ARA Buchs			24 <sup>3)</sup>	35 <sup>3)</sup>	840
nach ARA Buchs	13.1	94	10.4 <sup>2)</sup>	157	1'634
Bachzuflüsse			2.5 <sup>5)</sup>	38 <sup>4)</sup>	95
vor ARA Otelfingen	10.1	70	8.9 <sup>2)</sup>	195	1'729
Ablauf Otelfingen			21 <sup>3)</sup>	44 <sup>3)</sup>	924
nach ARA Otelfingen	14.3	114	11.1 <sup>2)</sup>	239	2'653
Würenlos	12.6	133	11.1 <sup>2)</sup>	239	2'653

1) Messwert AWEL  
2) berechnet  
3) Angabe ARA

4) Messwert JAG  
5) Schätzwert

Die Berechnungen zeigen, dass bis zur ARA Buchs die Wasserentnahmen nur eine geringfügige Verschlechterung gegenüber dem aktuellen Zustand bewirken. Aber auch im weiteren Verlauf des Furtbaches reduzieren sich die ohne Wasserentnahmen zu erwartenden Nitratkonzentrationen nur geringfügig gegenüber denjenigen mit Wasserentnahmen. Das heisst, selbst ohne Wasserentnahmen aus dem Furtbach bliebe die Nitratkonzentration weiterhin im Bereich «unbefriedigend». Als Ursache muss hierfür die im Verhältnis zum Furtbachabfluss ausgesprochen hohe Nitratinleitung gesehen werden (*Tabelle 15*). Derzeit stehen Abwassermenge und Furtbachabfluss im Mittel in einem Verhältnis von 1:3 zueinander. Um die Nitratkonzentrationen im Furtbach entsprechend der Zielvorgabe des BAFU bedürfte es jedoch eines Verdünnungsverhältnisses von 1:10.

*Figur 45* veranschaulicht am Beispiel des Ammoniums das Verhältnis zwischen der Ammoniumkonzentration ober- (helle Farben) und unterhalb (dunkle Farben) der drei ARA's.

## 5.5 Zusammenfassende Bewertung

Die Analyse der Wasserqualität des Furtbaches unter Berücksichtigung der Abflussverhältnisse zeigt, dass bezüglich des Gehaltes an:

### *Nitrat und DOC*

- Die Nitrat und DOC Einleitung der ARA ist relativ hoch und verlangt eine ausgesprochen hohe Verdünnungsleistung des Furtbaches, die dieser speziell bei Niederwasser nicht zu leisten vermag.

### *Phosphat und Phosphor*

- Maximale Abwassereinleitungen erfolgen bei Mittelwasser.
- Bodenauswaschung liefert einen bedeutenden Beitrag zum Phosphateintrag.
- Die Verdünnungswirkung reicht auch bereits bei Mittel- und Hochwasser nicht aus, um eine ausreichende Verdünnungswirkung des hohen Eintrages zu ermöglichen.

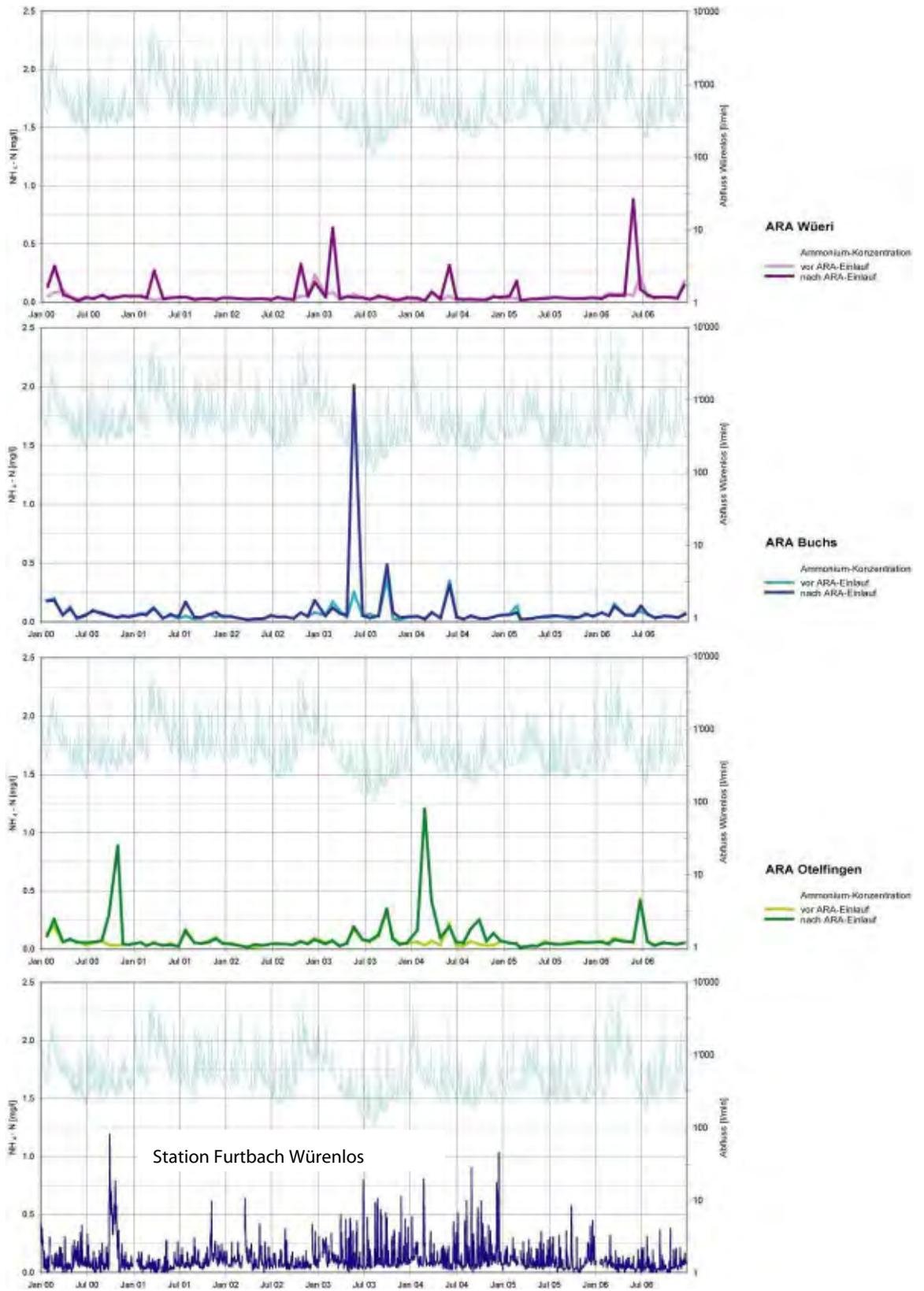
### *Nitrit und BSB5*

- Die Einleitbedingungen gemäss GSchV werden grösstenteils eingehalten.
- Die Verdünnungswirkung des Furtbaches reicht auch bei Niederwasser aus, um den gesetzlichen Anforderungen gerecht zu werden.

### *Ammonium*

- Maximale Einträge erfolgen bei hohen Abflüssen.
- Die Verdünnungswirkung reicht auch bei Mittel- und Hochwasser nicht aus, um eine ausreichende Verdünnungswirkung des hohen Eintrages zu ermöglichen.

Figur 45: Ammonium im Furtbach



## 6 SICHERUNG ANGEMESSENER RESTWASSERMENGEN

### 6.1 Zielsetzungen

Seit Ende 1992 gilt das revidierte Gewässerschutzgesetz (GSchG). Es regelt, dass bei Wasserentnahmen aus Flüssen und Bächen eine Bewilligung nötig ist, und gibt minimale *Restwassermengen* vor. Die Restwasservorschriften bilden einen Kompromiss zwischen den Ansprüchen der Wassernutzer und den Forderungen des Gewässerschutzes. Mit ihrer Hilfe sollen die vielfältigen Funktionen der Gewässer erhalten werden, wie z.B. ihre Funktion als Lebensraum für Tiere und Pflanzen, als wichtiges Landschaftselement, zur Speisung von Grundwasser oder zum Abbau von Schadstoffen.

Das GSchG gibt für die Restwassermenge indes nicht fix nach einer Formel bestimmte Werte vor, sondern lässt den zuständigen kantonalen Bewilligungsinstanzen einen gewissen Spielraum. Die berechnete Mindestrestwassermenge muss beispielsweise erhöht werden, wenn es keine andere Möglichkeiten gibt, um die Wasserqualität zu gewährleisten, das Grundwasser zu schützen, Lebensräume von seltenen Tier- und Pflanzenarten zu erhalten oder Fischwanderungen zu ermöglichen.

Nachfolgend werden die gesetzlichen Bestimmungen erläutert und die daraus für die Wasserentnahmen im Furttal resultierenden Konsequenzen aufgezeigt.

### 6.2 Restwassermengenbestimmungen gemäss GSchG

Gemäss Art. 29 GSchG ist die Entnahme von Wasser aus einem Fliessgewässer mit ständiger, ganzjähriger Wasserführung, z.B. zur Elektrizitätsproduktion, für Kühlzwecke oder aber für die Bewässerung (Landwirtschaft, Golfplatz u.a.) *bewilligungspflichtig*. Diese Bewilligung darf nur erteilt werden, wenn gewährleistet ist, dass eine angemessene Restwassermenge im Fluss- oder Bachbett verbleibt.

Die Entnahmen für Bewässerungszwecke aus dem Furtbach müssen nach GSchG Art. 30 lit. a beurteilt werden. Sie können nur bewilligt werden, wenn die Anforderungen nach den Artikeln 31–33 erfüllt sind. In Art. 31 sind die Mindestwassermengen und in Art. 32 sind die Ausnahmen festgelegt. Art. 33 bildet mit Interessensabwägung schliesslich Grundlage für die Festlegung einer angemessenen Restwassermenge.

Wird durch eine Entnahme aus einem Grundwasservorkommen die Wasserführung eines Oberflächengewässers beeinflusst, so sind nach Art. 34 dieselben Kriterien anzuwenden, wie für direkte Wasserentnahmen.

#### **Bestimmung der Restwassermenge nach Art. 31 Absatz 1**

Die erforderliche Mindestrestwassermenge, welche nicht unterschritten werden darf, ergibt sich aus Art. 31 Absatz 1. Bei Wasserentnahmen aus Fliessgewässern mit ständiger Wasserführung muss diese für eine «Abflussmenge  $Q_{347}$ » von 160 l/s mindestens 130 l/s betragen. Für je weitere 10 l/s Abflussmenge  $Q_{347}$  erhöht sich die Mindestrestwassermenge um 4,4 l/s.

Die *Abflussmenge*  $Q_{347}$  ist somit die zentrale Bemessungsgrösse. Sie entspricht nach GSchG jener «Abflussmenge, die gemittelt über 10 Jahre, durchschnittlich während 347 Tagen des Jahres erreicht oder überschritten wird und die durch Stauung, Entnahme oder Zuleitung von Wasser nicht wesentlich beeinflusst ist».

### **Erhöhung der Restwassermenge nach Art. 31 Absatz 2**

Die nach Absatz 1 berechnete Restwassermenge muss *erhöht* werden, wenn folgende Anforderungen nicht erfüllt sind und nicht durch andere Massnahmen erfüllt werden können:

- a) Die vorgeschriebene *Wasserqualität* der Oberflächengewässer muss trotz der Wasserentnahme und bestehender Abwassereinleitungen eingehalten werden.
- b) *Grundwasservorkommen* müssen weiterhin so gespeist werden, dass die davon abhängige Trinkwassergewinnung im erforderlichen Ausmass möglich ist und der Wasserhaushalt landwirtschaftlich genutzter Böden nicht wesentlich beeinträchtigt wird.
- c) *Seltene Lebensräume und -gemeinschaften*, die direkt oder indirekt von der Art und Grösse des Gewässers abhängen, müssen erhalten oder, wenn nicht zwingende Gründe entgegenstehen, nach Möglichkeit durch gleichwertige ersetzt werden.
- d) Die für die freie *Fischwanderung* erforderliche Wassertiefe muss gewährleistet sein.

## **6.3 Aktuell gültige Regelung für die Wasserentnahmen aus dem Furtbach**

Durch die bereits während der 70-er Jahre aufgetretenen, unbefriedigenden qualitativen und quantitativen Verhältnisse im Furtbach wurde 1979 am Furthof ein Pegel errichtet, der zur Kontrolle des Wasserspiegels im Furtbach diente (*Kap. 4.4.2*). Dieser Pegel sollte als Referenzpegel zur späteren Umsetzung der Benutzungsordnung von 1986 dienen. Die geplante Massnahme blieb jedoch weitgehend erfolglos und der Pegel musste 1992 aufgrund von zahlreichen technischen Manipulationen durch Unbekannte wieder ausser Betrieb genommen werden.

Seither dient die AWEL-Station in Würenlos (ZH548) als Referenzpegel für die Regelung der Wasserentnahmen aus dem Furtbach. Die Bewilligungen für die Entnahmen werden über den Pegelstand an der Station in Würenlos festgelegt. Die Konzessionäre sind verpflichtet, sich vor der Wasserentnahme jeweils zwischen 7.00 und 8.00 Uhr, zwischen 12:30 und 13:30 Uhr und zwischen 16:30 und 17:30 Uhr nach dem Wasserstand bzw. Abfluss an der Station Furtbach-Würenlos telefonisch zu erkundigen und ihre Wasserentnahme darauf auszurichten. Heute können die entsprechenden Messwerte auch online via Homepage des Kantons Zürich ([www.hochwasser.zh.ch](http://www.hochwasser.zh.ch)) abgefragt werden.

In Abhängigkeit vom jeweiligen Messwert gilt die nachfolgend beschriebene differenzierte Entnahmeregelung. Eine Zusammenstellung aller derzeit konzessionierten Entnahmen aus dem Furtbach findet sich in *Kap. 3.4*.

### **Abflüsse > 250 l/s an der Station Würenlos**

Gemäss der Verfügung der Baudirektion vom 22.6.1992 darf die Ausübung des Wasserrechtes nur in vollem Umfang erfolgen, solange der Abfluss an der Station Furtbach-Furthof 250 l/s übersteigt.

### **Abflüsse zwischen 140 und 250 l/s an der Station Würenlos**

Bei Abflüssen zwischen 140 und 250 l/s dürfen die Wasserentnahmen nur im Rahmen einer «Kehrordnung» erfolgen. Entsprechend der P/Q-Beziehung (Pegel/Abfluss-Beziehung) der Station Furtbach-Würenlos entspricht ein Abfluss von 140 l/s einer Pegelhöhe von noch 8 cm.

Die Wasserentnahmen aus dem Furtbach sind bei den genannten Abflussverhältnissen auf *maximal 25 l/s* beschränkt. Damit wird ein Mindestabfluss von 115 l/s gewährleistet, was einer Pegelhöhe in Würenlos von weniger als 7 cm entspricht. Die Zuweisung der Entnahmebewilligungen erfolgt entsprechend eines detaillierten Zeitplanes (Tabelle 16).

### **Abflüsse < 140 l/s an der Station Würenlos**

Bei einem Furtbach-Abfluss unter 140 l/s sind *keine Entnahmen* aus dem Furtbach mehr zulässig. Entsprechende Abflussverhältnisse treten nur nach lang anhaltender Trockenheit auf.

Tabelle 16: Kehrordnung zur Wasserentnahme bei einem Furtbachabfluss zwischen 140 und 250 l/s an der Station Würenlos

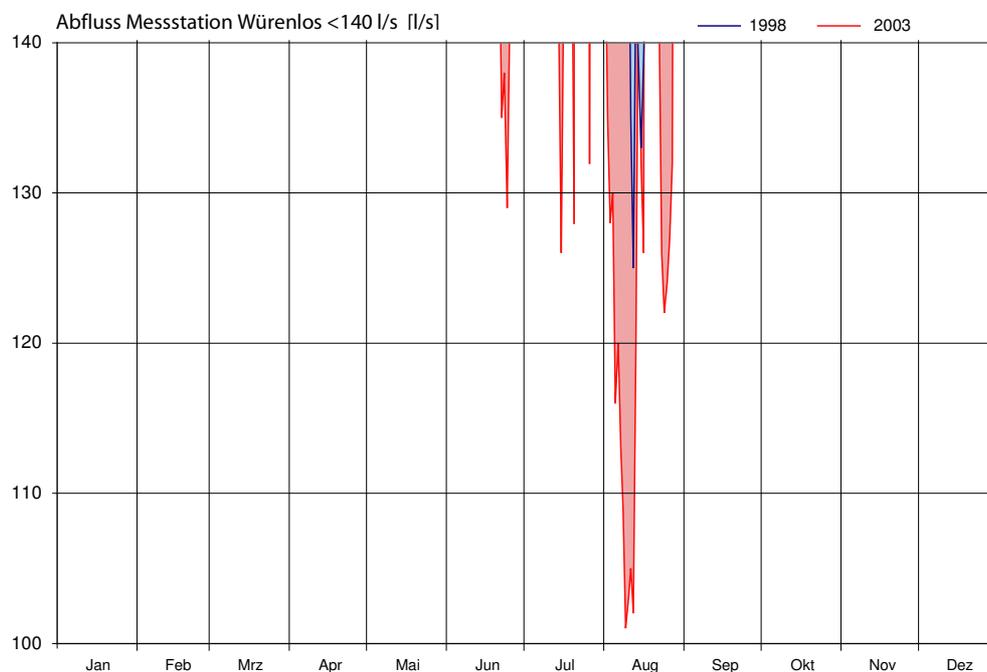
<b>Wochentag</b>	<b>Uhrzeit</b>	<b>Entnahmebewilligung</b>
Montag	bis 12:00	WR m 55, WR m 90
	12:00 bis 24:00	WR m 89, WR m 91
Dienstag	bis 12:00	WR m 74, WR m 108
	12:00 bis 24:00	WR m 106, WR m 64, WR m 96
Mittwoch	bis 12:00	WR m 89, WR m 91
	12:00 bis 24:00	WR m 55, WR m 90
Donnerstag	bis 12:00	WR m 106, WR m 64, WR m 96
	12:00 bis 24:00	WR m 74, WR m 108
Freitag	bis 12:00	WR m 55, WR m 90
	12:00 bis 24:00	WR m 89, WR m 91
Samstag	bis 12:00	WR m 74, WR m 108
	12:00 bis 24:00	WR m 106, WR m 64, WR m 96
Sonntag	24:00 bis 6:00	WR m 74, WR m 108
	6:00 bis 12:00	WR m 55, WR m 90
	12:00 bis 18:00	WR m 89, WR m 91
	18:00 bis 24:00	WR m 106, WR m 64, WR m 96

In den vergangenen 15 Jahren war dies lediglich im extrem trockenen August 1998 an insgesamt 5 Tagen und im Sommer 2003 an 19 Tagen der Fall (*Figur 46*). Zu diesen Zeiten galt gemäss Regelung jeweils ein vollständiges Verbot für Wasserentnahmen aus dem Furtbach.

Gemäss der «Allgemeinen Nebenbestimmungen für Wasserrechte zum Wasserbezug aus Oberflächengewässern mit mobilen Anlagen für Bewässerungszwecke» vom 1.12.2004 gelten ergänzend folgende Regelungen:

- Die Wasserentnahmen dürfen ausschliesslich während der Vegetationszeit vom 1. April bis 30. September stattfinden.
- Von 13 bis 18 Uhr ist bei heiterem Himmel die Wasserentnahme aus dem Gewässer einzustellen und es darf keine Bewässerung der Felder stattfinden. Ausgenommen ist das Bewässern von Neupflanzen.
- Innerhalb von 6 Tagen dürfen maximal 25 Liter Wasser pro Quadratmeter bewässerter Fläche ausgebracht werden.
- Erfolgt keine Wasserentnahme aus dem Fliessgewässer, ist die mobile, oberirdisch verlegte Saugleitung aus dem öffentlichen Gewässergebiet zu entfernen.
- Bei jeder Wasserentnahme muss der vom AWEL zugestellte Kontrollausweis an gut sichtbarer und zweckmässiger Stelle an der Pumpe angebracht werden.

Figur 46: Extreme Niedrigabflüsse < 140 l/s an der Messstation Würenlos zwischen 1993 und 2005



## 6.4 Qualitative Anforderungen an das Bewässerungswasser

Im Mittel beträgt der Abwasseranteil am Furtbachabfluss zwischen 30 und 50%. Während der Trockenzeit 2003 stieg der Abwasseranteil im Furtbach zeitweise bis nahezu 100% an (Kap. 4.6). Das bedeutet, dass gerade in den Perioden, zu denen der Wasserbedarf zur Bewässerung besonders hoch ist, das Furtbachwasser einen hohen Anteil ARA-Abwässer und damit eine erhöhte bakteriologische Belastung aufweist. Damit stellt sich zwangsläufig die Frage, inwieweit das Wasser aus dem Furtbach für die Bewässerung von Freilandgemüse überhaupt verwendet werden darf.

### **Gesetzliche Anforderungen und Qualitätsstandards in der Landwirtschaft**

Systematische Untersuchungen zur bakteriologischen Belastung von Bewässerungswasser liegen in der Schweiz bisher noch keine vor. Grundsätzlich ist aber die Verwendung von *unbehandeltem Abwasser* für die Bewässerung landwirtschaftlicher Kulturen nicht zugelassen. Dies wird einerseits durch die Eidgenössische Gewässerschutzverordnung vorgegeben, andererseits findet sich diese Vorgabe auch in den Anforderungskatalogen des Labels «Suisse Garantie», sowie im neuen Produktionsstandard «SwissGAP».

Sobald das Abwasser die Kläranlage durchlaufen hat, zählt es im Sinne dieser Anforderungskataloge nicht mehr als unbehandelt. Für das gereinigte Abwasser existieren zur Zeit keine Verbote oder Einschränkungen hinsichtlich der Verwendung für die Bewässerung von landwirtschaftlichen Gemüsekulturen. Im Produktionsstandard SwissGAP wird empfohlen, das Bewässerungswasser einmal jährlich untersuchen zu lassen.

Für die Endreinigung des Gemüses darf gemäss Hygieneverordnung ausschliesslich Wasser verwendet werden, das den Anforderungen an ein Trinkwasser genügt. Letztlich ist der Landwirt für die einwandfreie Qualität seines Endproduktes, auch in hygienischer Sicht, verantwortlich.

### **Richtlinien im benachbarten Ausland**

Innerhalb der EU geben z.B. die DIN 19650 (D) oder der ÖWA-Arbeitsbehelf Nr. 11 (A) die hygienisch-mikrobiologischen Anforderungen an Bewässerungswasser vor. Die DIN 19650 unterscheidet für das Bewässerungswasser insgesamt vier Eignungsklassen (Tabelle 17).

Gemäss aktuellen Untersuchungen der EAWAG (Projekt «STORM») sind in gereinigtem Abwasser üblicherweise E. coli-Konzentrationen von ca. 10'000 Keimen pro 100 ml anzutreffen. Dies bedeutet, dass es *einer mehrfachen Verdünnung* bedarf, damit in Trockenperioden das Furtbachwasser der Eignungsklasse 3 gemäss DIN 19650 entsprechen würde und damit für die Bewässerung von Freilandkulturen zugelassen wäre. In diesem Fall gilt gemäss DIN-Norm in Deutschland zusätzlich noch die Einschränkung, dass das Oberflächenwasser der Eignungsklasse 3 nur bis 2 Wochen vor der Ernte für die Bewässerung verwendet werden darf.

Gemessen an den in Deutschland geltenden Qualitätsrichtlinien ist festzuhalten, dass das Furtbachwasser die entsprechenden DIN-Vorgaben für die Verwendung als Bewässerungswasser von Obst- und Gemüsekulturen für den Rohverzehr bei weitem nicht zu erfüllen vermag.

Tabelle 17: Bakteriologische Anforderungen an Bewässerungswasser gemäss DIN 19650

Eignungs- -klasse	landw. Anwendung	Wasserqualität			
		Fäkal- streptokokken in 100 ml	E. coli in 100 ml	Salmonellen in 1000 ml	Mensch- u. Tierparasiten in 1000 ml
1	- alle	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
2	- Freiland- und Gewächshauskulturen für den Rohverzehr	≤ 100	≤ 200	n.n.	n.n.
3	- Freilandkulturen für den Rohverzehr bis Fruchtansatz bzw. Gemüse bis 2 Wo. vor Ernte - Obst u. Gemüse zur Konservierung	≤ 400	≤ 2000	n.n.	n.n.
4	- Wein- und Obstkulturen zum Frostschutz - Zuckerrüben, Kartoffeln, Ölfrüchte zur industriellen Verarbeitung und Saatgut bis 2 Wo. vor Ernte - Getreide bis zur Milchreife	Abwasser, das mindestens eine Reinigungsstufe durchlaufen hat			Taenia: n.n.

n.n. = nicht nachweisbar

### Beurteilung des Kantonalen Labors

Das Kantonale Labor Zürich hat die Wasserqualität im Furtbach beurteilt. In seiner Beurteilung kommt es zum Schluss, dass die Bewässerung von landwirtschaftlichen Kulturen mit Wasser aus dem Furtbach ein gesundheitliches Risiko darstellt. Gemäss dem Kantonalen Labor Zürich besteht das Risiko, dass bei Verwendung des Wassers aus dem Furtbach Krankheitserreger und andere unerwünschte chemische Substanzen (so genannte Mikroversureinigungen) in die Nahrungskette gelangen. Das Labor empfiehlt daher, zur Bewässerung nur nachweislich hygienisch und chemisch unbedenkliches Wasser zu verwenden.

Es ist an dieser Stelle darauf hinzuweisen, dass der Kanton nicht eine bestimmte Wasserqualität oder -quantität im Furtbach garantieren kann. Vielmehr ist der Konzessionär selber dafür verantwortlich, das bezogene, allenfalls hygienisch nicht einwandfreie Wasser so zu behandeln, dass es für die vorgesehenen Zwecke verwendet werden kann.

Die kantonalen Fachstellen führen zur Zeit hygienische und chemische Untersuchungen bezüglich der Bachwasser- und Gemüsequalität durch.

## 6.5 Massgebende Restwassermenge für den Furtbach

### 6.5.1 Rekonstruktion der ungestörten Abflussverhältnisse

#### **Massgebende Niederwassermenge $Q_{347\text{-eff}}$ .**

Entsprechend des GSchG muss die Bestimmung der Niederwassermenge  $Q_{347}$  auf *natürlichen Abflussverhältnissen* basieren, die nicht durch Stauung, Entnahme oder Zuleitung beeinflusst sind.

Diesem Anspruch werden die zur Verfügung stehenden, langfristigen Abflussmessungen an der Station Würenlos (*vgl. Kapitel 4.4*) nicht gerecht, da darin

- die indirekten Wasserverluste durch die vorhandenen Grundwasserentnahmen für Trink- und Brauchwasserzwecke sowie durch die Quellwassernutzungen nicht berücksichtigt sind,
- die direkten Wasserentnahmen für die Bewässerung der landwirtschaftlichen Kulturen und des Golfplatzes Otelfingen fehlen, und dafür umgekehrt
- die künstlichen Zuflüsse der ARA's Wüeri, Buchs und Otelfingen enthalten sind.

Nachfolgend soll daher versucht werden, die massgebende Niederwassermenge  $Q_{347\text{-eff}}$ , welche sich ohne Wasserentnahmen und ohne künstliche Zuleitung einstellen würde, zu rekonstruieren. Der gemessene Furtbach-Abfluss muss um diese Entnahme- resp. Zuflusskomponenten korrigiert werden. Aus der so berechneten «ungestörten» Niederwassermenge kann wiederum die resultierende natürliche Mindestrestwassermenge gemäss GSchG abgeleitet werden.

Die relevanten Zu- und Abflusskomponenten, die bei der Bestimmung der ungestörten Restwassermenge im Furttal berücksichtigt werden müssen, sind in *Figur 47* veranschaulicht.

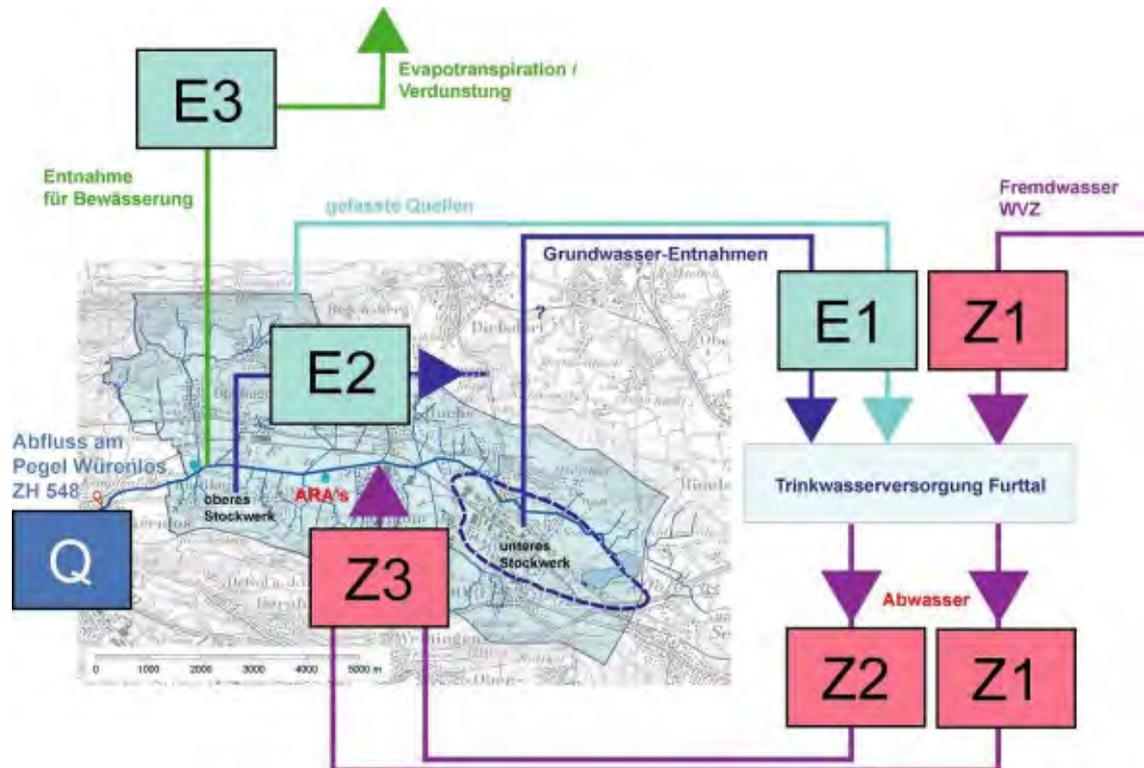
Die verwendeten Grössen sind wie folgt definiert:

$Q_{347}$      *Aktuelle Restwassermenge an der Station Würenlos im gestörten Zustand.*  
Diese beträgt gemäss den Abflussmessungen zwischen 1978 und 2006 ca. 205 l/s.

$E1$      *Indirekte Entnahmen aus dem Furtbach zur Trinkwasserversorgung.*  
Die Entnahmegrösse  $E1$  berücksichtigt Grundwasser-Entnahmen aus dem unteren Stockwerk der beiden Pumpwerke Ehrenhau und Adlikon sowie die verschiedenen Quellwassernutzungen, welche der Trinkwasserversorgung des Furttals dienen.

Die Abschätzung dieser Grössen ist in *Kap. 3.1* (Grundwasserentnahmen) und *Kap. 3.3* (Quellwassernutzungen) detailliert beschrieben. Insgesamt gehen dem Furtbach rund 75 l/s durch indirekte Entnahmen zur Trinkwasserversorgung verloren. Da jedoch diese Trink- und Quellwassermenge über die Einleitung von geklärtem Abwasser (*vgl. Z2*) praktisch vollständig wieder in den Furtbach gelangt, kann dieser indirekte Entnahmeanteil bei der Bestimmung des ungestörten  $Q_{347}$  unberücksichtigt bleiben.

Figur 47: Zu- und Abflusskomponenten im Furttal



**E2** Indirekte Entnahmen aus dem Furtbach zur landwirtschaftlichen Bewässerung sowie für Brauchwasserzwecke.

Die Entnahmemenge E2 berücksichtigt Grundwasser-Entnahmen aus dem oberen Grundwasserstockwerk für die Bewässerung sowie für Brauchwasser, welches nicht via Meteorwasserkanalisation resp. ARA wieder in den Furtbach gelangt.

Das für *Bewässerungen* entnommene Grundwasser würde im natürlichen «ungestörten» Zustand ebenfalls in den Furtbach übertreten und den Abfluss entsprechend erhöhen. Verluste durch Evaporation werden dabei vernachlässigt. Die Abschätzung dieser Entnahmemenge beruht auf den konzessionierten Fördermengen (vgl. Kap. 3.2). Da selbst in extremen Trockenzeiten die Konzessionsmenge nie vollständig ausgeschöpft wird, was einen 24-stündigen Pumpbetrieb bedingen würde, werden für die Grundwasserverluste rund 80% der gesamthaft für Bewässerungszwecke konzessionierten Grundwasser-Entnahmemenge eingesetzt, d.h. rund 25 l/s.

Für Brauchwasserzwecke werden gesamthaft nur geringe Grundwassermengen entnommen, welche zudem grösstenteils via Meteorwasserkanalisation bzw. ARA wieder in den Furtbach gelangen. Eine Ausnahme bildet die Konzession m 16-15 zum Waschen von Kies. Beim Waschvorgang gehen schätzungsweise rund 10% der Wassermenge durch Haftwasser und Verdunstung verloren. Bei einer konzessionierten Entnahmemenge von 2600 l/min resp. ca. 43 l/s betragen die Grundwasserverluste demzufolge etwa 4 l/s.

Gesamthaft resultiert für die Bilanzierung Entnahmemenge E2 ein Wert von 29 l/s.

- E3** *Direkte Entnahmen aus dem Furtbach zur Bewässerung (Landwirtschaft, Golfplatz).*  
Die Entnahmegrösse E3 berücksichtigt die direkten Wasserentnahmen aus dem Furtbach. Diese Wasserentnahmen gehen dem Furtbach unmittelbar verloren und wären im natürlichen «ungestörten» Zustand vollständig im Furtbachabfluss enthalten. Die Abschätzung der effektiven Wasserentnahmen ist mit einer recht grossen Unsicherheit behaftet (Kap. 4.8.3). Für die Wasserentnahmen aus dem Furtbach wird daher die konzessionierte Entnahmemenge von 25 l/s, die bei Abflüssen zwischen 140 und 250 l/s aktuell zulässig ist, berücksichtigt.
- Z1** *Abwassereinleitung über die ARA's (Anteil «Seewasser»).*  
Neben der eigenen Grundwassergewinnung bezieht die Gruppenwasserversorgung Furttal zur Deckung des Trink- und Brauchwasserbedarfs zusätzlich «Seewasser» von der Wasserversorgung der Stadt Zürich. Dieses Wasser gelangt als gereinigtes Abwasser über die ARA's ebenfalls in den Furtbach und führt damit zu einer *künstlichen* Erhöhung des Wasserdargebotes im Furttal bzw. zu einer Erhöhung des Furtbachabflusses. Die Abschätzungen in Kap. 4.6 zeigen, dass diese Abwasserkomponente während Trockenzeiten rund 45 l/s beträgt. Im natürlichen «ungestörten» Zustand wäre dieser Zufluss nicht vorhanden, weshalb diese Zuflusskomponente bei der Bestimmung des ungestörten  $Q_{347}$  in Abzug gebracht wird.
- Z2** *Abwassereinleitung über die ARA's (Anteil «Grund- und Quellwasser»).*  
Der grösste Anteil des in den Furtbach eingeleiteten Abwassers besteht aus verbrauchtem Grund- und Quellwasser. Während Trockenzeiten besteht dieser Abwasserzufluss aus 50 l/s Grundwasser und 25 l/s Quellwasser (Kap. 4.6) und führt ebenfalls zu einer künstlichen Erhöhung des Furtbachabflusses. Da die Zuflusskomponente Z2 in etwa der Entnahmegrösse E1 entspricht, heben sich diese gegenseitig auf und werden bei der Ermittlung des ungestörten  $Q_{347}$  nicht berücksichtigt.
- Z3** *Gesamte Abwassereinleitung im Furttal*  
Die Summe des in Trockenzeiten in den Furtbach eingeleiteten Abwassers, welche sich im Wesentlichen aus Z1 und Z2 zusammensetzt.

Aus den genannten Überlegungen ergibt sich zur Bestimmung der im ungestörten Zustand zu erwartenden Niederwassermenge  $Q_{347\text{-eff}}$  folgender Ansatz:

$$Q_{347\text{-eff}} = Q_{347} + E1 + E2 + E3 - Z1 - Z2 \quad \text{Gl. 1}$$

da  $E1 = Z2$  ergibt sich vereinfachend:

$$Q_{347\text{-eff}} = Q_{347} + E2 + E3 - Z1 \quad \text{Gl. 2}$$

Die in obigen Gleichungen verwendeten Entnahme- und Zuflussgrössen sind in *Tabelle 18* zusammengestellt.

Tabelle 18: Bilanzierungsgrössen zur Bestimmung der ungestörten Rest- und Mindestrestwassermenge im Furtbach

Entnahmen [l/s]				ARA-Zuflüsse [l/s]	
E1		E2	E3	Z1	Z2
Trinkwasser	Quellwasser	Bewässerung und Brauchwasser	Bewässerung	Seewasser	Trink- und Quellwasser
indirekt aus dem Grundwasser			direkt aus Furtbach		
50	25	29	25	45	75
129				120	

Ausgehend von der aktuellen Restwassermenge  $Q_{347}$  an der Station Würenlos von 205 l/s und den obigen Bilanzierungsgrössen resultiert unter Anwendung von Gleichung 2:

$$Q_{347\text{-eff.}} = 205 \text{ l/s} + 29 \text{ l/s} + 25 \text{ l/s} - 45 \text{ l/s} = 214 \text{ l/s}$$

Die «ungestörte» Abflussmenge  $Q_{347\text{-eff.}}$  beträgt somit rund 214 l/s.

Es fällt auf, dass dieser Wert nahezu identisch mit dem derzeit gemessenen «gestörten»  $Q_{347}$  ist. Dies rührt daher, dass die Entnahmen für Bewässerungszwecke (E2 und E3 mit insgesamt 50 l/s) und die Einleitung von Abwasser (Z1 mit 45 l/s), das aus dem Bezug von Seewasser der WVZ stammt, einander fast entsprechen.

### 6.5.2 Resultierende Mindestrestwassermenge $Q_{\text{min-eff.}}$

Die erforderliche Mindestrestwassermenge  $Q_{\text{min-eff.}}$  an der Station Würenlos errechnet sich gemäss Art. 31 GSchG wie folgt:

$$Q_{\text{min-eff.}} = 130 + \frac{(Q_{347\text{-eff.}} - 160) \cdot 4.4}{10} \quad \text{Gl. 3}$$

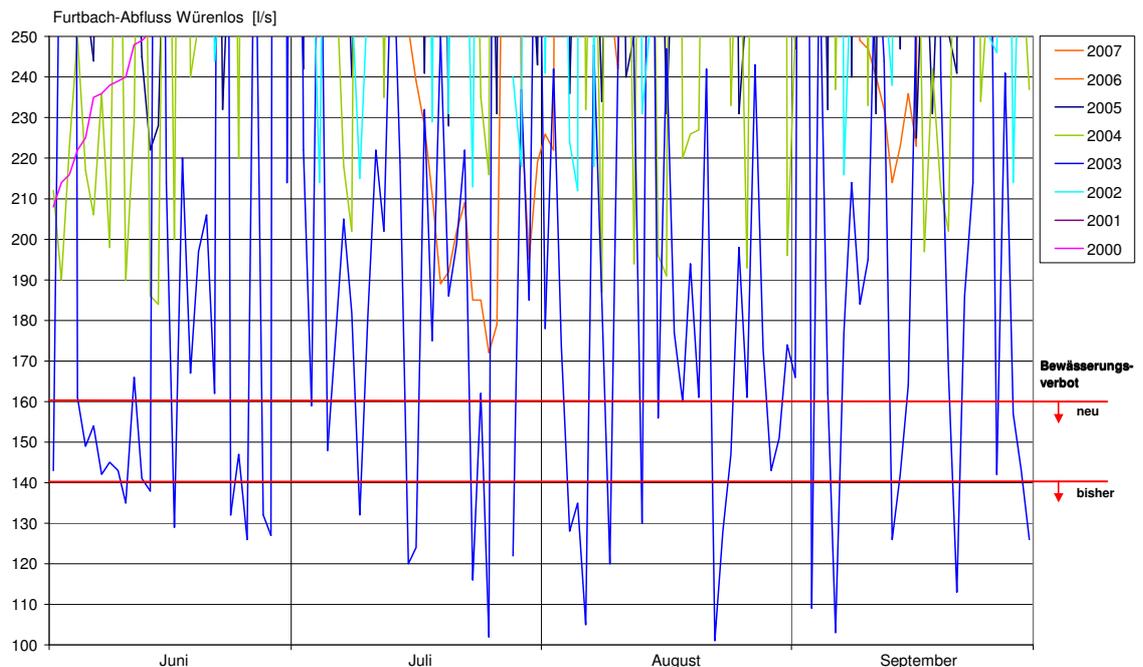
Für das massgebende  $Q_{347\text{-eff.}}$  von rund 214 l/s ergibt sich gemäss obiger Beziehung eine theoretische Mindestrestwassermenge von 154 l/s.

Im Hinblick auf den Vollzug der Restwassermengenregelung und unter Berücksichtigung möglicher Störeinflüsse bei den Abflussmessungen (z.B. Verkrautung) und der damit verbundenen Messungenauigkeit wird die massgebende Mindestrestwassermenge gemäss Vorgabe des AWEL bei 160 l/s festgelegt. Bei Abflüssen unterhalb dieser Menge an der Station Würenlos sind *keine Entnahmen* aus dem Furtbach mehr zulässig.

Betrachtet man die Furtbachabflüsse im Zeitraum zwischen 2000 und 2007, so wäre es gemäss obiger Vorgabe hinsichtlich Mindestrestwassermenge einzig im extrem trockenen Sommer 2003 zu einem Bewässerungsverbot an insgesamt 43 Tagen gekommen, wobei an maximal sechs aufeinander folgenden Tagen keine Entnahmen erlaubt gewesen wären. In al-

len anderen Beobachtungsjahren lag der Niederwasserabfluss durchwegs oberhalb 160 l/s, so dass eine Entnahme für Bewässerungszwecke aus dem Furtbach auch in Trockenzeiten – mit gewissen Einschränkungen gemäss der «Kehrordnung» – möglich gewesen wäre (Figur 48).

Figur 48: Bewässerungsverbot entsprechend der «ungestörten» Mindestrestwassermenge zwischen 2000 und 2007



### 6.5.3 Erhöhung der Mindestrestwassermenge $Q_{\min\text{-eff}}$ .

Zwischen der teilweise ungenügenden Qualität des Furtbachwassers und der Entnahme für Bewässerungszwecke besteht insofern ein gewisser indirekter Zusammenhang, als die landwirtschaftliche Bewässerung die Auswaschung von Nährstoffen und Pestiziden ins Grundwasser begünstigt und damit zu den erhöhten Stickstoff- und Pestizidfrachten im Furtbach beitragen. Hingegen wird das Verdünnungsverhältnis zwischen Furtbachwasser und geklärtem Abwasser durch die Wasserentnahmen aus dem Furtbach nur unwesentlich beeinflusst, so dass sich die Entnahmen diesbezüglich lediglich marginal auf die qualitative Beschaffenheit des Bachwassers auswirken (Kap. 5.4.3). Eine Erhöhung der Mindestrestwassermenge nach GSchG Art. 31 Abs. 2 lit. a drängt sich daher unseres Erachtens nicht auf.

Hingegen ist zu beachten, dass sich das Wasser infolge der geringeren Wasserführung im Sommer stärker erwärmt, was zu einem Temperaturstress für die Fische führt. Zudem ist die für die freie Fischwanderung erforderliche Mindestwassertiefe nur teilweise gewährleistet. An der Station Furtbach-Würenlos entspricht ein Abfluss von 160 l/s gemäss der P-Q-Beziehung einer Wasserhöhe von noch rund 8 cm. Eine Wasserhöhe von 10 cm ist erst bei Abflüssen von über 200 l/s zu erwarten. An der temporären Messstation 1 zwischen Otelfingen und Hüttikon sind im Sommer 2006 ebenfalls nur geringe Wassertiefen von 10–15 cm gemessen worden (vgl. Kap. 4.5.2). Gerade auf diesem Abschnitt des Furtbaches ist aber das

Vorkommen der Äsche bekannt. Um eine ausreichende Wassertiefe für die Fischwanderung dieser stark gefährdeten Fischart zu gewährleisten, ist daher eine Erhöhung der Mindestrestwassermenge gemäss Art. 31 Abs. 2 lit. d zu prüfen.

## **7 EMPFEHLUNGEN FÜR KÜNFTIGE WASSERENTNAHMEN UND EINEN NUTZUNGSPLAN**

### **7.1 Wasserbezugsquellen und mögliche Wasserentnahmen zur Bewässerung**

#### ***Entnahmen aus dem Furtbach***

Die Umsetzung der Restwassermengenbestimmungen des GSchG mit Berücksichtigung der natürlichen, ungestörten Abfluss- und Zuflussverhältnisse hat zur Folge, dass bei Abflüssen an der Station Furtbach-Würenlos von  $\leq 160$  l/s *keine Wasserentnahmen* für Bewässerungszwecke mehr zulässig sind.

Ob allenfalls die oben genannte Mindestrestwassermenge gestützt auf GSchG Art. 31 Abs. 2 noch erhöht werden muss (vgl. Kap. 6.5.3), kann derzeit nicht abschliessend beurteilt werden. Es empfiehlt sich, bei künftigen Trockenperioden diesbezüglich gezielte Untersuchungen am Furtbach durchzuführen, um so die Notwendigkeit einer Erhöhung der Mindestrestwassermenge – insbesondere zur Gewährleistung einer freien Fischwanderung bei Trockenwetterabfluss und zur Vermeidung einer starken Erwärmung des Bachwassers – beurteilen zu können.

Für Abflüsse  $< 250$  l/s bis minimal 160 l/s an der Station Würenlos sollte weiterhin die bisherige Entnahmepaxis mit «Kehrordeung» gemäss Verfügung der Baudirektion vom 22.6.1992 (vgl. Kap. 6.3) gelten. Diese sieht bei den genannten Abflüssen eine auf maximal 25 l/s beschränkte Entnahme aus dem Furtbach für Bewässerungszwecke vor.

Wasserentnahmen am Oberlauf des Furtbaches, oberhalb der ARA Wüeri, sind aus Gründen des Naturschutzes nicht zulässig. Dieser Abschnitt des Furtbaches ist ein wertvoller Lebensraum der Bachmuschel (*Unio crassus*), von denen in der Schweiz nur noch wenige Bestände in Bächen und Seen zu finden sind.

Bei der Verwendung des Furtbachwassers sind die lebensmittelrechtlichen und hygienischen Aspekte zu beachten.

#### ***Wasserentnahmen aus kleinen Seitenbächen***

Für Wasserentnahmen aus Seitenbächen bis 60 l/s Abflussmenge  $Q_{347}$  ohne Rückgabe kommt gestützt auf die Konzessionsverordnung zum Wasserwirtschaftsgesetz (Änderung vom 4. Januar 2005) Art. 30 lit. a des Gewässerschutzgesetzes zur Anwendung. Demzufolge muss die Restwassermenge in den kleinen Seitenbächen *mindestens 50 l/s* betragen (§24 Konzessionsverordnung zum Wasserwirtschaftsgesetz).

De facto bedeutet dies, dass Wasserentnahmen für Bewässerungen aus Seitenbächen in der Regel *nicht mehr zugelassen* werden.

### ***Nutzung von Quellwasser für Bewässerungszwecke an den Talflanken***

Die Nutzung von Quellwasser für die Bewässerung landwirtschaftlicher Kulturen an den Talflanken führt in der Regel dazu, dass dieses Wasser direkt den kleinen Seitenbächen verloren geht. Gestützt auf die Konzessionsverordnung zum Wasserwirtschaftsgesetz (vgl. vorangegangenes Kapitel) werden diese Nutzungen bzw. die entsprechenden Konzessionen (gesamthaft aktuell ca. 160 l/min) künftig in der Regel nicht mehr erneuert.

Ausnahmen sind dort möglich, wo nachgewiesen werden kann, dass die Quellwassernutzung in keinem Zusammenhang mit der Wasserführung von Seitenbächen steht.

### ***Entnahmen aus dem oberen Grundwasserstockwerk***

Die Wasserentnahme für Bewässerungen aus dem oberen Furttal-Grundwasserstrom ist unter Berücksichtigung der Mindestrestwasserbetrachtungen am Furtbach grundsätzlich weiterhin möglich. Falls aber die Grundwasserentnahme Auswirkungen auf die Wasserführung von Seitenbächen selbst hat, so ist eine solche Wasserentnahme nicht zulässig.

Bei bestehenden bzw. neuen Wasserrechten für eine Grundwasserentnahme zur Bewässerung und auch zu Brauchzwecken ist im Rahmen der Konzessionserneuerung bzw. -erteilung daher der entsprechende Nachweis zu erbringen, dass diese die Wasserführung von nahe gelegenen Oberflächengewässern nicht beeinflussen.

### ***Nutzung von gereinigtem ARA-Abwasser für Bewässerungszwecke***

Die Einleitungen von gereinigtem ARA-Abwasser tragen massgeblich zur Wasserführung des Furtbaches bei und sind bei der Bestimmung der Mindestrestwassermenge berücksichtigt. Eine Nutzung von gereinigtem ARA-Abwasser für die Bewässerung käme einer direkten Wasserentnahme aus dem Furtbach gleich. Aus diesem Grund, sowie zusätzlich auch aus qualitativen Überlegungen, kommt das gereinigte ARA-Abwasser für die landwirtschaftliche Bewässerung nicht in Betracht.

### ***Alternative Bezugsquellen***

Da in extremen Trockenzeiten und gleichzeitig sehr niedriger Wasserführung des Furtbaches keine Entnahmen von Bachwasser für die Bewässerung zugelassen werden können, müssen alternative Bezugsquellen geprüft werden. Dabei wird vorausgesetzt, dass auch bei der Verwendung alternativer Bezugsquellen ein haushälterischer Umgang mit der Ressource Wasser erfolgt.

Folgende drei Möglichkeiten stehen zur Diskussion:

- Schaffung künstlicher *Speicher- oder Retentionsvolumina*, welche bei normaler Wasserführung des Furtbaches mit Bach- oder Regenwasser gefüllt werden können und wo das Wasser bis zur Nutzung gespeichert wird. Dabei sind die lebensmittelrechtlichen Aspekte zu beachten.
- Bezug von *Limmatwasser* (z.B. via Gubrist-Tunnelröhre oder via Kanton Aargau).
- Bezug von *Wasser ab dem Trinkwasserleitungsnetz*.

## 7.2 Optimierte Bewässerung und haushälterischer Umgang mit der Ressource Wasser

Zur Vermeidung unnötiger Evapotranspirationsverluste sind *bei heiterem Himmel* die Bewässerungen bzw. die Entnahmen aus dem Furtbach resp. aus dem Grundwasser auf die Zeit ab 18.00 h abends bis 08.00 h morgens zu beschränken. Die beste Bewässerungszeit ist am frühen Morgen.

Neue Feldstudien zeigen zudem, dass sich der Wasserbedarf bei der Bewässerung von Intensivkulturen ganz erheblich reduzieren lässt. Durch eine Steuerung der Bewässerung über Bodenfeuchtesensoren und die direkte Zuführung von Wasser zur Pflanze lässt sich der Wasserbedarf gegenüber der konventionellen Beregnung bereits deutlich vermindern.

Die besten Ergebnisse werden allerdings erzielt, wenn die Bewässerung aufgrund der aktuellen klimatischen Wasserbilanz und des jeweiligen Pflanzenmodells (Wurzeltiefe, Pflanzenkoeffizient) erfolgt. Mit dieser Strategie lässt sich ein übermässiges Wässern verhindern und der Wasserbedarf bei der Bewässerung von Intensivkulturen kann nochmals um mehr als 50% reduziert werden. Gleichzeitig kann auch der Ertrag gesteigert werden [Quelle: «Entwicklung eines vollautomatischen Bewässerungsregelungssystems für den Freilandgemüsebau», Marin & Miguel, Uni Hohenheim 2003].

Durch Investitionen im Bereich der landwirtschaftlichen Bewässerung liesse sich somit der Wasserbedarf markant verringern, ein besseres Pflanzenwachstum erzielen sowie gleichzeitig die Auswaschung von Nährstoffen und Pestiziden in das Grundwasser minimieren. Damit wird auch ein Beitrag zu einer verbesserten Wasserqualität des Furtbachs geleistet und gleichzeitig kann der landwirtschaftliche Ertrag gesteigert werden.

## 7.3 Künftige Erteilung von Konzessionen (Nutzungsplan)

Künftige Konzessionen zur Wasserentnahme aus dem Furtbach sind unter Berücksichtigung der neu festgelegten Mindestrestwassermenge (vgl. Kap. 6.6.1), den lebensmittelrechtlichen Aspekten sowie unter dem Vorbehalt einer allfälligen späteren Anpassung nach GSchG Art. 31 Abs. 2 zu erteilen.

Das Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL) strebt dabei mittelfristig die folgenden Veränderungen an:

- Markante Reduktion des Eintrags von Nährstoffen (z.B. Nitrat und Phosphor) und Pestiziden in den Furtbach und das Grundwasser,
- Reduktion des spezifischen Wasserbedarfs pro Fläche für die Bewässerung um rund 50%,
- Selbstverantwortliche und optimierte, d.h. bedarfsgerechte Verteilung des Wasserkontingents durch bzw. auf die Wasserbezüger (z.B. mittels Bewässerungsgenossenschaft) sowie verstärkte Eigenkontrolle mit klaren Verantwortlichkeiten,
- Konzentration der Bezugsorte auf wenige gut ausgebaute Fassungsstellen unterhalb der ARA Wüeri.

Das AWEL sieht vor, die heutigen Konzessionen für die Wasserentnahmen aus dem Furtbach und dem Furttal-Grundwasserstrom unter sichernden Bedingungen bis maximal Ende 2013 zu verlängern. Das Amt für Landschaft und Natur (ALN), Abteilung Landwirtschaft, wurde von der Baudirektion beauftragt, alternative Wasserbeschaffungs- und Bewässerungsmöglichkeiten zu prüfen.

Zürich, Juli 2009

050591 Restwasser Furttal.doc (PDF-Ausdruck) En/La

**Dr. Heinrich Jäckli AG**

**Sachbearbeiter:**

Dr. I. Engelhardt, Geologin

Dr. W. Labhart, Geologe