

Ausnahmebewilligung Bti-Einsatz in den Thurauen

Grundlagen für die Rahmenausnahme-
bewilligung (Kriterien und Schwellenwerte)



Bewilligungsphase 2024–2033

Bericht Nr. 1185-B-12
Datum Endfassung: 21.2.2023 [mit Ergänzungen vom 29.8.2023](#)

Impressum

Auftraggeber: Amt für Landschaft und Natur · Fachstelle Naturschutz
Walcheplatz 1 · CH-8090 Zürich

Auftragnehmer: AquaPlus AG
Gotthardstrasse 30 · CH-6300 Zug

Begleitung: Urs Kamm · Alexander Mathis · Gabi Müller · Patrick Steinmann · Matthias
Sturzenegger · Niels Verhulst · Stéphanie Vuichard · Ursina Wiedmer · Barbara
Wiesendanger · Leitung: Isabelle Flöss

Zitervorschlag: AQUAPLUS 2023: Ausnahmegewilligung Bti-Einsatz in den Thurauen. Grund-
lagen für die Rahmenausnahmegewilligung (Kriterien & Schwellenwerte).
Bericht im Auftrag Fachstelle Naturschutz Kanton Zürich. [31 S.](#)

Inhaltsverzeichnis

	Seite	
1	Ausgangslage	1
2	Grundlagen	2
2.1	Stechmücken	2
2.2	<i>Aedes vexans</i> / <i>Aedes sticticus</i>	2
2.3	<i>Bacillus thuringiensis</i> var. <i>israelensis</i> (Bti)	4
2.4	Gesetzliche Grundlagen	6
3	Situation Thurauen	7
3.1	Rückblick seit 2013	7
3.2	Brutgebiete	7
3.3	Entwicklung Larvendichten	8
3.4	Entwicklung Adultmücken	13
3.5	Entwicklung Grundwasserstände	16
3.6	Persistenz von Bti im Boden	18
4	Schwellenwerte für Ausnahmegewilligung	19
4.1	Altarm Ellikon	19
4.1.1	Pegelstand	19
4.1.2	Überschwemmungsfläche und Einsatzgebiet Bti	20
4.1.3	Larvendichte	20
4.2	Altarm Farhau	21
4.2.1	Pegelstand	21
4.2.2	Überschwemmungsfläche und Einsatzgebiet Bti	21
4.2.3	Larvendichte	22
5	Überwachung Schwellenwerte	23
5.1	Entscheidungsbaum Altarm Ellikon	25
5.2	Entscheidungsbaum Altarm Farhau	26
6	Fazit	27
7	Literaturverzeichnis	29

ANHANG

1 Ausgangslage

Zusage an Gemeinden	<p>Im Rahmen des Thurauenprojekts hat der Kanton zugesichert, dass eine infolge des Thurauenprojekts und des Dammverzichts eintretende höhere Stechmückenbelastung bekämpft werde. Im Amphibienlaichgebiet von nationaler Bedeutung «Elliker Auen» sowie im Auengebiet von nationaler Bedeutung «Eggrank - Thurspitz» soll deshalb eine Bekämpfung der Stechmücken mittels eines Biozides im Rahmen der Gesetzeslage und unter Einhaltung gewisser Voraussetzungen (siehe Kapitel 5) möglich sein.</p> <p>Das definierte Ziel einer Bekämpfung ist nicht eine generelle Mückenreduktion im Gebiet, sondern die Bekämpfung der Mehrbelastung, ausgelöst durch Massnahmen im Rahmen des Thurauenprojektes. Eine Beurteilung wird durch den Umstand erschwert, dass es keine systematische Untersuchung der Mückensituation vor dem Thurauenprojekt gibt. Dies erschwert die Analyse der Bestandesentwicklung und die Beurteilung einer allfälligen Veränderung der Stechmückensituation im Gebiet.</p>
Insektizid Bti	<p>Zur Stechmückenbekämpfung wird das Bakterium <i>Bacillus thuringiensis israelensis</i> (Bti) eingesetzt, welches spezifisch auf Stechmücken und Kriebelmücken wirkt. Negative Auswirkungen von Bti-Einsätzen auf Nicht-Zielorganismen sind nicht auszuschliessen. Studien im Feld und im Labor weisen sowohl keine Effekte als auch negative Effekte auf (siehe Tabelle 1 im Anhang). Insbesondere indirekte und Langzeiteffekte sind in komplexen Systemen wie Feuchtgebieten schwierig zu erforschen. Über die Deutung der Resultate wird in der Wissenschaft teilweise stark debattiert (WOLFRAM & WENZLUND 2018). Von grosser Wichtigkeit sind insbesondere die Einhaltung der Dosierung und die Anwendungshäufigkeit. Weil in den Thurauen die Dosierung eingehalten werden muss und es nur einmalige Anwendungen zum Brechen einer Populationsspitze sind, wird ein allfälliger Bti-Einsatz in den Thurauen als vertretbar beurteilt.</p> <p>Die erste Bewilligungsphase für einen Bti-Einsatz dauerte von 2013–2023. Für die darauf folgende Bewilligungsphase 2024–2033 wurden die Grundlagen aufgrund der Erfahrungen der vergangenen 10 Jahre und mit den Erkenntnissen aus anderen Bekämpfungsgebieten und wissenschaftlichen Studien aktualisiert und überarbeitet.</p>
Arbeitsgruppe	<p>Die Überarbeitung der Grundlagen wurde durch die Arbeitsgruppe Stechmücken Thurauen begleitet. Dieser Arbeitsgruppe gehören an:</p> <ul style="list-style-type: none">- Isabelle Flöss, Fachstelle Naturschutz, ALN (Leitung Arbeitsgruppe)- Dr. Patrick Steinmann, Sektion Oberflächengewässerschutz, AWEL- Dr. Barbara Wiesendanger, Sektion Biosicherheit, AWEL- Urs Kamm, Abteilung Wald, ALN- Prof. Dr. Alexander Mathis, Universität Zürich- Prof. Dr. Niels Verhulst, Universität Zürich- Dr. Gabi Müller, Fachstelle Schädlingsprävention Stadt Zürich- Matthias Sturzenegger, AquaPlus (externe Projektbegleitung)- Stéphanie Vuichard, AquaPlus (externe Projektbegleitung)

2 Grundlagen

Eine Bekämpfung von Stechmücken im Freiland und insbesondere in schutzwürdigen und geschützten Gebieten setzt fundierte Kenntnisse der Ökologie der Mücken sowie der Auswirkungen allfälliger Bekämpfungsmassnahmen auf die Umwelt voraus. Das folgende Kapitel beinhaltet die wichtigsten Grundlagen zu den Stechmücken, deren Bekämpfung mit dem Bakterium *Bacillus thuringiensis var. israelensis* (Bti) und mögliche Nebeneffekte sowie die gesetzlichen Grundlagen.

2.1 Stechmücken

Überschwemmungs-
mücken

Die Überschwemmungsmücken (z.B. *Aedes vexans*, *Ae. sticticus*, siehe Kapitel 2.2) haben ihre Brutareale in der Regel in temporären Gewässern im Überschwemmungsbereich größerer Flüsse und Seen mit Wasserstandsschwankungen. Es sind im allgemeinen tief liegende Wiesen, Schilfgebiete, sowie flache Senken im Bereich der Weichholzaue. Die Eier werden in den feuchten Boden gelegt und haben als Anpassung an den ephemeren Lebensraum der Überschwemmungsgewässer eine sehr lange Überlebensfähigkeit von über zehn Jahren.

übrige Mücken

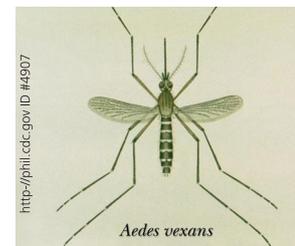
Zu den übrigen Stechmücken zählen insbesondere die Hausmücken (*Culex pipiens*, *Culiseta annulata* u.a.). Diese leben meist im Bereich menschlicher Siedlungen, wo sie auch in Gebäuden lästig werden können. Viele der *Culiseta*- bzw. *Culex*-Arten saugen nicht am Menschen Blut, sondern sind ornithophil (Vögel als Blutlieferant). Bei der Wahl der Brutgewässer sind sie wenig wählerisch. Grundsätzlich kommt jede nicht oder nur langsam fließende Wasseransammlung in Frage, welche für mindesten 6–10 Tage Bestand hat. Bevorzugt werden Kleinstgewässer wie z.B. Regentonnen, Sickerschächte, Kanalisationen, Gullys, verstopfte Dachrinnen, Astlöcher u. ä. Die meisten Arten sind ausgesprochene Dämmerungs- und Nachttiere und wandern nur wenig.

Ebenfalls zu den Stechmücken gehören die invasive Japanische Buschmücke (*Aedes japonicus*) sowie die Asiatische Tigermücke (*Aedes albopictus*). Die Japanische Buschmücke ist seit 2008 in der Schweiz nachgewiesen und mittlerweile weit verbreitet. Ihre Lebensweise ist ähnlich wie diejenige der Hausmücken, doch ist sie tagaktiv.

2.2 *Aedes vexans* / *Aedes sticticus*

Systematik

Ordnung: *Diptera* (Zweiflügler)
 Unterordnung: *Nematocera* (Mücken)
 Familie: *Culicidae* (Stechmücken)
 Unterfamilie: *Culicinae*
 Gattung: *Aedes* (*Aedimorphus*)
 Art: *Aedes vexans* (Meigen 1830), *Aedes sticticus* (Meigen 1838)



Lebensweise	<p>Die Stechmücken <i>Aedes vexans</i> und <i>Ae. sticticus</i> werden zu den sogenannten Überschwemmungsmücken gezählt. Für die Reproduktion sind sie auf aquatische Ökosysteme angewiesen, welche periodisch überschwemmt werden und können nur dort Massenvorkommen entwickeln. In permanenten Gewässern unterliegen sie einem Prädationsdruck, insbesondere durch Fische, wodurch Massenentwicklungen ausbleiben.</p> <p>Die Weibchen produzieren pro Blutmahlzeit bis zu 200 Eier, welche in die feuchte Erde in Gewässernähe abgelegt werden. Dort können die Eier mehrere Jahre überdauern und es kann zu einem Aufkonzentrieren von Eiern im Boden kommen. Der Schlupf der Larven wird ausgelöst durch eine plötzliche Reduktion der Sauerstoffkonzentration, induziert durch eine Überflutung, sowie durch die damit verbundene Veränderung in der Temperatur. Die Larven schlüpfen erst in größerer Zahl, wenn die Wassertemperatur mehr als 8–10 °C beträgt. Deshalb treten Mückenplagen besonders in heißen, hochwasserreichen Sommermonaten auf (CULINEX 2013). Die Larven schlüpfen dabei in mehreren Phasen, es schlüpfen nicht immer alle Eier auf einmal. Adulttiere erreichen in der Regel eine Lebensdauer von rund einem Monat. Finden in diesem Zeitraum mehrere Hochwasserphasen statt, so können sich die verschiedenen Schlupfphasen überlagern und so zu einer erhöhten Belastung führen. Im August nimmt die Bereitschaft zum Schlupf generell ab; die Eier gehen in eine Phase der Winterruhe über (LÜTHY 2009).</p>
Larvenentwicklung	<p>Vom Schlupf bis zur Verpuppung durchlaufen die Mücken vier Larvenstadien (L1-L4). Bei Wassertemperaturen von 20–25 °C benötigen sie rund 9–11 Tage bis zum Schlupf der Adulttiere (READ & MOON 1996). TRPIS & SHEMANCHUK (1970) haben die schnellste Larvenentwicklung bei 25 °C festgestellt mit einer Verpuppung nach 7 Tagen. Unter den natürlichen Bedingungen in der Schweiz kann von einer Entwicklungszeit der aquatischen Stadien von 2–3 Wochen ausgegangen werden (LÜTHY 2008).</p> <p>Beim Austrocknen der Brutgewässer ziehen sich die Larven wenn immer möglich mit dem Wasser zurück. Der Schlupf der Weibchen wird dabei massgeblich durch einen sinkenden Wasserspiegel beeinflusst, der der Männchen offenbar nicht (SCHÄFER & LUNDSTRÖM 2006). Sinkt der Wasserspiegel, so werden die schlüpfenden Tiere kleiner. Wenn es zu einer vollständigen Austrocknung kommt, der Boden aber deutlich feucht bleibt, so kann ein Teil der Larven für eine begrenzte Zeit überleben (bis zu 12–14 Tage nach dem Austrocknen. SCHÄFER & LUNDSTRÖM 2006).</p>
Larvendichte	<p>In der Literatur wird ein sehr breiter Bereich für gefundene Larvendichten in der Natur genannt. So fanden z.B. SHARKEY et al. (1988) eine mittlere Larvendichte von 327 Larven/350 ml Wasser oder SCHÄFER & LUNDSTRÖM (2006) bis zu 10'000 Larven/Liter in den oberrheinischen Schwemmebenen.</p>
Flugdistanzen	<p>Die Aktivität der adulten Tiere beschränkt sich hauptsächlich auf die Dämmerungs- und Nachtstunden. Tagsüber verbleiben die Mücken an der Blattunterseite von Bäumen und Büschen. Maximale Flugdistanzen von 10–12 km vom Schlupfort weg wurden in einzelnen Studien nachgewiesen (z.B. BRUST 1980). Solche Flugdistanzen sind jedoch die Ausnahme und abhängig von der Lebensraumqualität am Schlupfort. Sind ausreichend Strukturen und Nahrung vorhan-</p>

den, müssen die Mücken keine weiten Distanzen zurücklegen. Die Mückendichte nimmt dabei in Abhängigkeit der Distanz zum Schlupfort deutlich ab.

Verbreitung von Krankheiten Nach BASSETTI (2009) kommt *Aedes vexans* als Verbreitungsvektor für einige wenige Krankheitserreger in Frage, darunter auch das West-Nil-Virus. Das Virus ist in der Schweiz nicht autochthon vorhanden.

2.3 *Bacillus thuringiensis var. israelensis* (Bti)

Nach dem Fund von toten Mückenlarven in der Negev-Wüste in Israel wurde 1976 das Bakterium *Bacillus thuringiensis* isoliert und erkannt, dass das Bti während seiner Entwicklung Eiweißkristalle (-Endotoxin) bildet. Diese Endotoxine sind der eigentliche Wirkstoff. Durch Frass wird dieses aufgenommen und kann hochselektiv auf Stech- (*Culicinae*) und Kriebelmückenlarven (*Simuliidae*) wirken.

Wirkungsweise Über die Wirkungsweise von Bti und die Auswirkungen auf Nichtziel-Organismen (Non Target Organisms, NTO) wurde 2012 eine umfassende Literaturrecherche (MEIER, 2012) durchgeführt, sowie 2022 von Prof. Dr. Alexander Mathis und Prof. Dr. Niels Verhulst von der Universität Zürich, zu aktuellen Forschungsergebnissen recherchiert. Für den Beschrieb, die Wirkungsweisen und den Einsatz von Bti wird an dieser Stelle auf MEIER (2012) verwiesen.

Nichtzielorganismen Bti ist als sehr selektives Bekämpfungsmittel gegen Stech- und Kriebelmücken bekannt. Dennoch weisen einzelne Studien auf mögliche negative Auswirkungen auf NTO hin. Auswirkungen umfassen neben der direkten Toxizität auch Veränderungen im Nahrungsgefüge. Nebenwirkungen von Bti treten teilweise bereits bei der empfohlenen Dosis (vor allem bei anderen Mückenarten wie Zuckmücken, *Chironomidae*), aber insbesondere bei hoher Dosis (Überdosis) auf (u.a. verminderte Reproduktion bei Daphnien oder erhöhte Mortalität bei *Ephemeroptera*, *Plecoptera* und *Trichoptera*) (vgl. Anhang).

Zuckmücken Bti wird in gewissen Gebieten im Ausland auch zur Bekämpfung von Zuckmücken (Chironomiden) angewendet. Eine Mehrzahl der Studien ergibt jedoch eine geringere Bti-Sensitivität bei Zuckmücken als bei Stechmücken (WOLFRAM & WENZLUND 2018). Feldstudien zeigten unterschiedliche Ergebnisse bezüglich Auswirkungen von Bti auf die Chironomiden-Populationen. Eine Metabarcoding-Studie aus Deutschland zeigte, dass sich die Artenzusammensetzung der Chironomiden nach 20 Jahren Bti-Anwendung nicht verändert hatte, jedoch reduzierte sich ihr Aufkommen um 65 % (THEISSINGER ET AL. 2020). Dabei ist zu berücksichtigen, dass in dieser Gegend jährlich und in mehreren Anwendungen pro Jahr Bti eingesetzt wird. Bei Langzeitstudien wurde gefolgert, dass der Einfluss der Bti-Behandlung auf die Insektenfauna über die Jahre vernachlässigbar war im Vergleich zu anderen Umweltfaktoren. Chironomiden sind jedoch in Feuchtgebieten ein wesentlicher Bestandteil in der Nahrungskette. Die Reduktion der Chironomiden durch häufige Bti-Einsätze kann daher indirekt negative Effekte auf weitere NTO haben. Fressfeinde finden weniger Nahrung oder es kommt zu mehr Konkurrenz. So wurden beispielsweise Molchlarven häufiger von Libellenlarven gejagt, wenn diese zu wenig Chironomiden fanden (ALLGEIER ET AL. 2019).

Anwendungshäufigkeit	Es ist zu betonen, dass in vielen Gebieten im Ausland eine generelle Reduktion der Stechmückenpopulationen das Ziel ist und deshalb die Bti-Anwendung jedes Jahr und mehrmals im Jahr zur Anwendung kommt. Die meisten Feldstudien untersuchen daher negative Effekte auf NTO bei häufiger, regelmässiger Bti-Anwendung.
Deutungshoheit	Studien im Feld und im Labor weisen manchmal keine Effekte und manchmal negative Effekte auf. Insbesondere indirekte und Langzeiteffekte sind in einem komplexen System wie Feuchtgebieten schwierig zu erforschen. Über die Deutung der Resultate wird in der Wissenschaft teilweise stark debattiert. WOLFRAM & WENZLUND (2018) weisen auf die Problematik hin, dass sich «Befürworter und Gegner von Bti unversöhnlich gegenüberstehen und über wissenschaftliche Publikationen [...] einen Kampf um die Deutungshoheit zu diesem komplexen Thema austragen.»
Bedeutung für Thurauen	Negative direkte und indirekte Effekte können bei NTO auftreten. Dies zeigt sich insbesondere bei einer erhöhten Anwendungshäufigkeit und / oder bei einer zu hohen Dosierung von Bti. In den Thurauen ist der Einsatz von Bti sehr sporadisch und in einem begrenzten Perimeter vorgesehen, anstelle von einem Einsatz über das gesamte Gebiet (siehe Kapitel 4.1 und 4.2). Es ist jeweils nur eine einmalige Anwendung vorgesehen, um die Populationsspitze der Stechmücken zu brechen. Mehrere Anwendungen über eine längere Zeit sind nicht das Ziel, da keine generelle Reduktion der Stechmücken angestrebt wird. Zusätzlich muss die korrekte Dosierung eingehalten werden, eine Überdosierung ist nicht zulässig. Aufgrund dieser strengen Vorgaben ist nach heutigem Stand der Wissenschaft kein chronischer Effekt auf NTO-Populationen in den Thurauen aufgrund eines Bti-Einsatzes zu erwarten. Kurzfristige Effekte wären minimal und im Freiland sehr wahrscheinlich nicht von natürlicherweise auftretenden Populationsschwankungen unterscheidbar.
Rückstände im Boden	Eine sorgfältige Bestimmung der notwendigen Dosis ist ein sehr wichtiger Faktor zur Reduktion von unnötigen Umweltbelastungen, insbesondere weil Hinweise vorhanden sind, dass sich Bti über längere Zeit im Boden ansammeln und biologisch aktiv bleiben kann. Es ist nachgewiesen, dass fortpflanzungsfähige Bti-Sporen nach dem Ausbringen für die Mückenbekämpfung über längere Zeit im Boden oder zwischen feuchten Blättern überdauern können (TILQUIN ET AL. 2008). In der Bolle di Magadino im Tessin konnte gezeigt werden, dass die meisten Sporen schnell aus dem System verschwinden, aber auch dass sich ein Teil der Sporen nach häufigem Bti-Einsatz über längere Zeit anreichert (GUIDI 2011). Ob diese Sporen noch keimfähig sind und sich auf andere Gebiete ausbreiten können, gilt als umstritten.
Bekämpfung	Die Bekämpfung mit Bti setzt eine orale Aufnahme des Wirkstoffes durch die Larven voraus. Ein Bti-Einsatz ist deshalb am effektivsten, wenn er zur Zeit der Larvenstadien L2-L3 durchgeführt wird. Eine Bekämpfung ist grundsätzlich auch später möglich. Gegen Ende des Larvenstadium L4 wird die Nahrungsaufnahme jedoch eingestellt und somit entfällt die Wirkung von Bti. Die notwendige Aufnahmemenge von Bti ist zudem abhängig von der Larvengrösse. Je älter die Larven sind, desto grösser wird folglich auch die Menge, welche aufgenommen respektive eingesetzt werden muss.

Bei länger andauernden Überflutungen mit wechselndem Wasserspiegel kommt es zu mehreren Schlupfphasen. Dies führt zu einer Mischung von verschiedenen Larvenstadien, was die Wahl des besten Einsatzzeitpunktes zusätzlich erschwert.

Bedingt durch die rasche Entwicklung der Larven ist der Zeitraum für eine Bekämpfung in der Praxis sehr begrenzt. Nach dem Feststellen von hohen Larvenkonzentrationen verteilt über ein grosses Gebiet muss ein Einsatz innerhalb von wenigen Tagen erfolgen.

2.4 Gesetzliche Grundlagen

Ausnahmebewilligung

Da alle Flächen, auf denen ein potenzieller Bekämpfungseinsatz in Frage kommt, in einem kantonalen oder nationalen Schutzgebiet liegen, ist eine Ausnahmebewilligung durch die zuständige kantonale Behörde erforderlich. Diese Bewilligung soll wiederum als Rahmenausnahmebewilligung ausgestellt werden. Die Rahmenausnahmebewilligung ist rekursfähig. Bei rechtsgültiger Rahmenausnahmebewilligung ist jeder Einsatz durch eine Ausnahmebewilligung zu bewilligen.

Neben den Schutzverordnungen unterliegt der Einsatz von Bti auch der Biozidprodukteverordnung und der Freisetzungsverordnung.

Freisetzungsverordnung

Nach Art. 47 (Verwendungsbeschränkungen) der Biozidprodukteverordnung gelten für «...Biozidprodukte, die pathogene Mikroorganismen sind oder enthalten...» die Beschränkungen nach Artikel 13 der Freisetzungsverordnung.

Gemäss Freisetzungsverordnung FrSV sind pathogene Organismen Organismen, die bei Mensch, Tier oder bei anderen Organismen Krankheiten verursachen können (Bti ist pathogen für bestimmte Mücken). Für eine Bewilligung in besonders empfindlichen oder schützenswerten Lebensräumen nach FrSV wird eine Verhinderung oder Behebung von Gefährdung oder Beeinträchtigung von Menschen (Güterabwägung) vorausgesetzt (Art. 8 und Art. 13, Abs. 1). Als besonders empfindliche oder schützenswerte Lebensräume und Landschaften gelten eidgenössisch oder kantonal geschützte Gebiete, oberirdische Gewässer und ein 3 m breiter Streifen entlang solcher Gewässer, unterirdische Gewässer und die Zone S1, für Mikroorganismen auch die engere Schutzzone S2 von Grundwasserschutzzonen sowie der Wald.

Produkte / Zulassung

In der Schweiz ist aktuell vom Bundesamt für Gesundheit BAG das Produkt VectoBac G zugelassen – ein Produkt mit Bti, welches für den Einsatz in den Thurauen geeignet ist. Seit 2020 ist auch VectoMax FG in der Schweiz zugelassen. Die Wirkstoffe sind Bti und *Bacillus sphaericus*. Dies wird aktuell jedoch nur zur Bekämpfung von Tigermücken gebraucht.

Wer das Biozid VectoBac G oder VectoMax FG ausbringt, benötigt gemäss der Verordnung des EDI über die Fachbewilligung für die allgemeine Schädlingsbekämpfung (VFB-S) eine Fachbewilligung nach dieser Verordnung.

3 Situation Thurauen

3.1 Rückblick seit 2013

Seit 2013 gibt es im Gebiet Thurauen ein Monitoring zu Mückenlarven (siehe Kapitel 3.3), adulten Mücken (Kapitel 3.4) und Grundwasserspiegel (Kapitel 3.5). Die Resultate dieser Monitorings sind in den jeweiligen Kapiteln zusammengestellt. Im Zeitraum 2013–2022 ist es einmal zu einem Bti-Einsatz gekommen. Dabei wurde 2013 einmalig Bti im Elliker Feld ausgebracht. Zu einem Bti-Einsatz kommt es, wenn einerseits Oberflächenwasser ins jeweilige Gebiet eingedrungen ist, das ohne das Thurauenprojekt bzw. bei Dammerstellung nicht eingedrungen wäre und andererseits der Schwellenwert für die Larven erreicht wird (>100 Larven/Liter beim Elliker Feld bzw. >200 Larven/Liter in Farhau) (siehe Kapitel 4 und 5).

3.2 Brutgebiete

Die Altarme Ellikon und Steipis (siehe Abbildung 1) waren bereits vor der Umsetzung des Thurauenprojekts Brutgebiete für Überschwemmungsmücken. Sie sind ursprünglich ein Altarm der Thur. Diese Flächen liegen im Einflussgebiet des Grundwassers und weisen vernässte Stellen auf. Aufgrund des projektbedingten Dammverzichts am Rhein kann bei einem Hochwasser im Elliker Feld Oberflächenwasser eindringen. Dabei entsteht statt vielen kleineren Wasserflächen eine grosse Fläche. Die Situation für die Mücken hat sich in diesem Gebiet im Zeitraum 2013–2022 nicht verändert.

Der Altarm Farhau war ebenfalls vor Projektbeginn bereits ein Brutgebiet. Trotz zwischenzeitlichem Bodenabtrag mit punktuell daraus folgenden vereinzelt Feuchtstellen konnte keine wesentliche Veränderung für das Brutgebiet festgestellt werden.

Das Feuchtgebiet Usgrüt war ebenfalls vor Projektbeginn bereits ein Brutgebiet und in den letzten Jahren hat sich nichts wesentlich verändert.

Das Feuchtgebiet Präuselen hatte vor Projektbeginn ebenfalls vereinzelt Brutflächen. Trotz inzwischen neu geschaffenen Weihern konnte keine Veränderung hinsichtlich Mückenrelevanz festgestellt werden.

Im Waldbereich gab es schon immer Mückenentwicklungen. Hier brüten aber neben den Überschwemmungsmücken diverse andere Arten. Der Wald bietet verschiedenste Brutstellen (Waldweiher, wassergefüllte Astlöcher, Totholz etc.) weshalb eine flächige Bekämpfung im Wald generell schwierig ist. Abgesehen davon gelten im Wald nochmals strengere Regeln bezüglich Einsatz von Bioziden. Es kann auch festgehalten werden, dass Mücken im Wald tendenziell vor Ort bleiben und nicht in die umliegenden Dörfer ziehen. Der Wald ist ein geeigneter Lebensraum mit ausreichend Strukturen und Nahrung. Der Wald ist deshalb für angrenzende Siedlungen keine relevante Quelle betreffend Stechmückenbelastung und wird deshalb als Bekämpfungsgebiet definitiv ausgeschlossen.

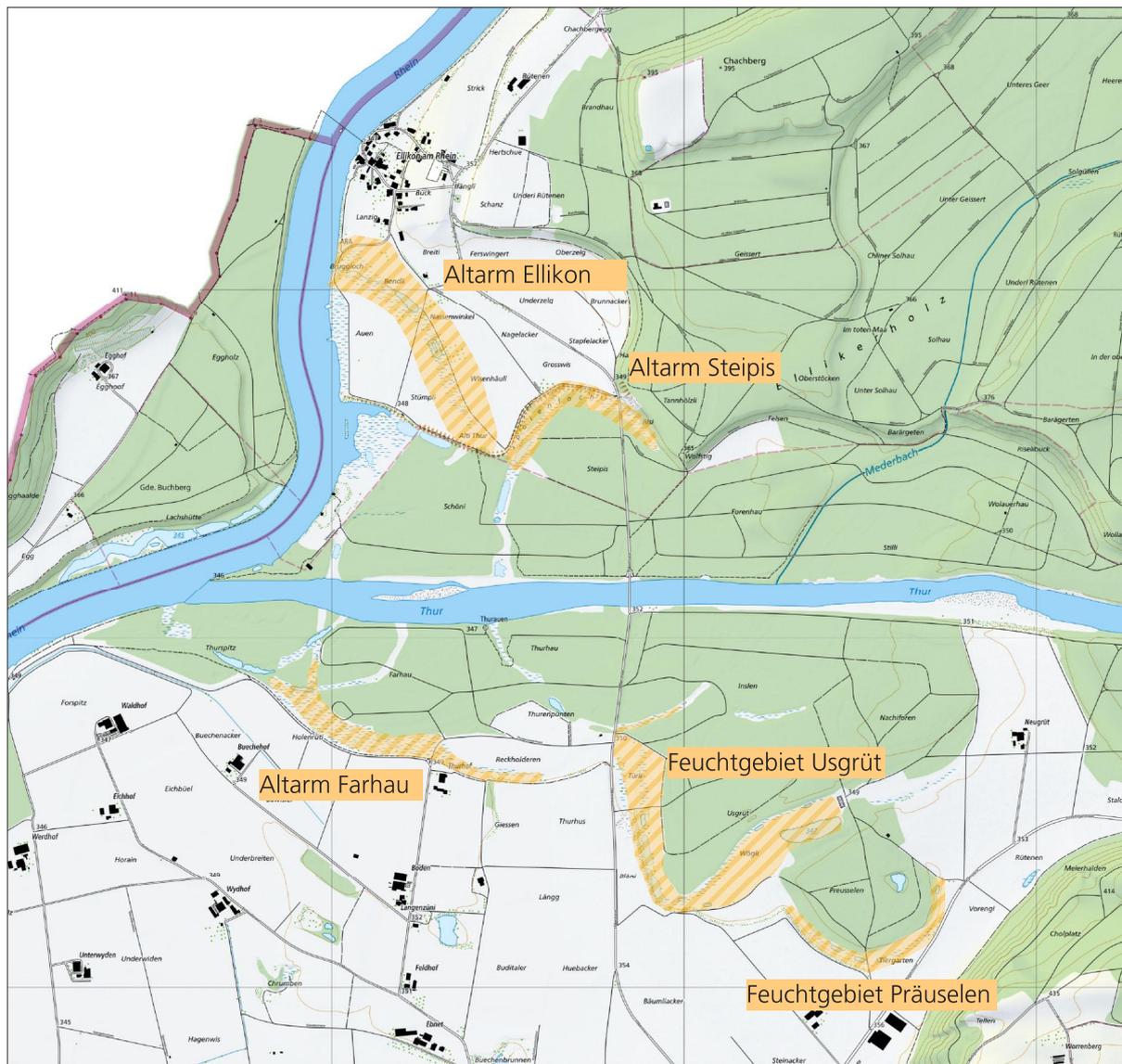


Abbildung 1: Potenzielle Brutstätten für die Überschwemmungsmücken *Aedes vexans* und *Ae. sticticus* im Umfeld der Thurauen.

Hintergrund: © Bundesamt für Landestopographie

3.3 Entwicklung Larvendichten

Seit 2013 wurden jeweils im Frühling und Sommer (März–September) einmal monatlich die Mückenlarven in 15 ausgewählten Weihern und Geländemulden gezählt (Mon01a bis Mon14 in Abbildung 2). Wenn an den Pegelmessstationen (Bruggloch und Farhau) ein definierter Schwellenwert überschritten wurde, löste dies die Larvenüberwachung aus und die Mückenlarven wurden im Elliker Feld und / oder in Farhau regelmässig an 10 resp. 6 Standorten in den Bekämpfungsbereichen gezählt (Elli_1 bis Elli_10 und Farh_1 bis Farh_6 in Abbildung 2). Pro Standort wurden in der Regel je 20 Schöpfproben beprobt. Die Daten der letzten 10 Saisons wurden ausgewertet.

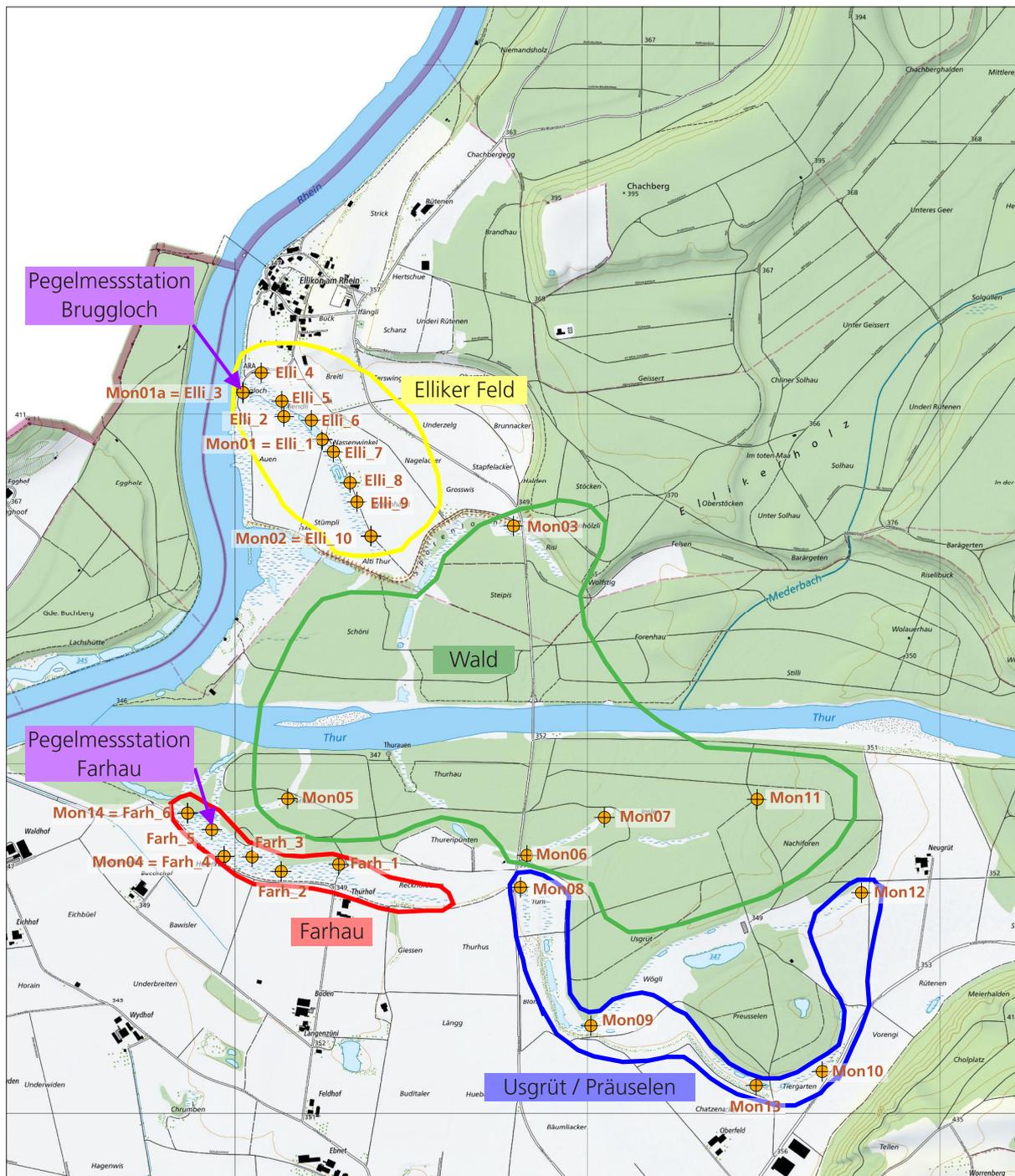


Abbildung 2: Übersicht der Probestellen für Überwachung der Mückenlarven. Das Elliker Feld (gelb umrandet) und Farhau (rot umrandet) gelten als potenzielle Brutstätten, welche ab bestimmten Pegelwerten regelmässig auf Mückenlarven überwacht werden und wo Bti bei Erfüllung der definierten Kriterien eingesetzt werden kann. Hintergrund: © Bundesamt für Landestopographie

Methodik

Veränderungen der durchschnittlichen Larvendichte über die Versuchsjahre wurden mit einer negativen Binomialverteilung im Statistikprogramm R v.4.1.0 berechnet und auf deren statistischen Signifikanz getestet (R Core Team, 2021). Zusätzlich wurde zwischen den Standortkategorien Elliker Feld, Farhau, Usgrüt/Präuselen und Wald unterschieden.

Resultate und Diskussion

In den Thurauen nimmt die durchschnittliche Larvendichte über die Versuchsjahre leicht, aber signifikant ab ($z=-6.606$, $P<0.001$) (Abbildung 3). Dies ist aber mehrheitlich auf hohe Larvendichten in den Anfangsjahren 2013 und 2014 zurückzuführen. Modelliert man die Larvendichte ohne die Daten der Jahre 2013 und 2014, verschwindet dieser zeitliche Trend (Abbildung 4). Es bleibt eine konstante Larvendichte ohne signifikanten Trend.

Mückenlarven sind auf Wasserflächen angewiesen. Die Larvendichte ist somit von der jährlichen Niederschlagsmenge und -häufigkeit abhängig: Eine hohe Dichte ist insbesondere in Jahren mit einer grossen Niederschlagsmenge (2016 und 2021) und/oder in Jahren mit extremen Hochwasserereignissen (2013 und 2014) zu verzeichnen (Abbildung 3).

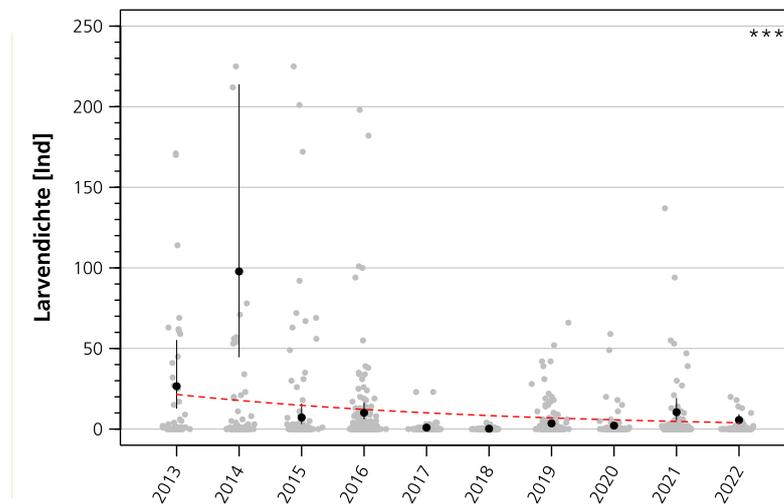


Abbildung 3: Larvendichten (Individuen/Liter) an den verschiedenen Messstandorten und Probetagen (graue Punkte) in den Jahren 2013 bis 2022. Die Larvendichte nimmt in diesem Zeitabschnitt ab (rote Linie).

Durchschnittliche Larvendichte als Funktion der Versuchsjahre. Die grauen Punkte entsprechen den Rohdaten (mittlere Larvendichte pro Probenahme) und die schwarzen Punkte der Vorhersage des negativen Binomialmodells (mittlere Larvendichte pro Versuchsjahr \pm 95% Vertrauensintervall (schwarze, vertikale Linie) vorhergesagt jeweils für den Monat Juni). Der kontinuierliche Trend über die Versuchsjahre ist mit der gestrichelten roten Linie gekennzeichnet. Dessen Signifikanz ist in der oberen rechten Ecke gegeben. Signifikanz Code: $P<0.001^{***}$, $<0.01^{**}$, $\leq 0.05^*$, >0.05 n.s. AquaPlus 2022

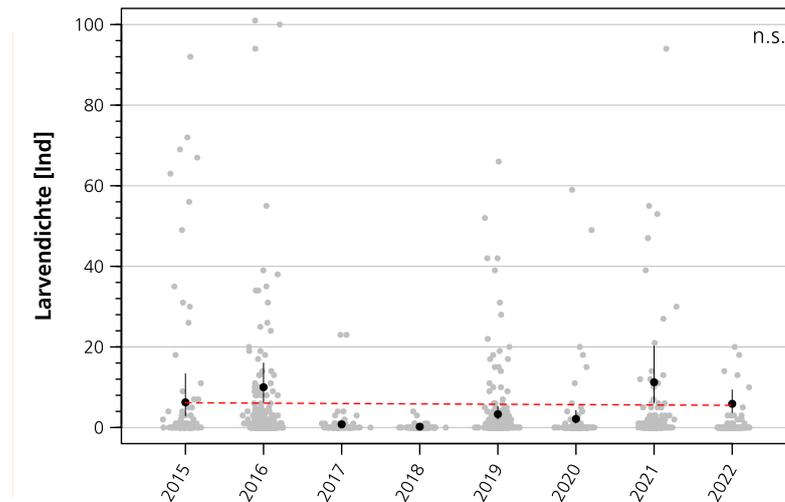


Abbildung 4: Larvendichten (Individuen/Liter) an den verschiedenen Messstandorten und Probetagen (graue Punkte) in den Jahren 2015 bis 2022 ohne die beiden Jahre 2013 und 2014 mit hohen Larvendichten. Die Larvendichte bleibt konstant (rote Linie).

Durchschnittliche Larvendichten als Funktion der Versuchsjahre. Die grauen Punkte entsprechen den Rohdaten (mittlere Larvendichte pro Probenahme) und die schwarzen Punkte der Vorhersage des negativen Binomialmodells (mittlere Larvendichte pro Versuchsjahr \pm 95% Vertrauensintervall (schwarze, vertikale Linie) vorhergesagt jeweils für den Monat Juni). Der kontinuierliche Trend über die Versuchsjahre ist mit der gestrichelten roten Linie gekennzeichnet. Dessen Signifikanz ist in der oberen rechten Ecke gegeben. Signifikanz Code: $P < 0.001^{***}$, $< 0.01^{**}$, $\leq 0.05^*$, > 0.05 n.s. AquaPlus 2022

Gebietsweise
Auswertung

Abbildung 5 zeigt die Auswertungen aufgeteilt auf die vier Gebiete Elliker Feld, Farhau, Usgrüt/Präuselen und Wald (Gebietsaufteilung siehe Abbildung 1). 2013 hatte nur das Elliker Feld eine hohe Larvendichte, weil dort Wasser zurückblieb, das nur langsam abfließen konnte. In Farhau hingegen war die Überschwemmung so hoch, dass allfällige Mückenlarven wahrscheinlich weggeschwemmt wurden. Die hohen Fehlerquoten (grosses Vertrauensintervall) in Farhau und im Elliker Feld im Jahr 2014 liegen daran, dass gewisse Standorte kaum Larven hatten, andere jedoch sehr viele. So wurde an einem Probenahmetag im Juli 2014 in Farhau bei zwei von sechs Probestellen der Schwellenwert von >200 Larven/Liter überschritten, drei Standorte hatten jedoch keine Larven. Über das gesamte Gebiet gesehen wurde der Schwellenwert somit nicht überschritten. Dies zeigt beispielhaft auf, dass Larvendichten auf kleinem Raum grosse Unterschiede aufweisen können. 2014 erreichten weder der Pegel Farhau, noch der Pegel Bruggloch im Ellikerfeld die Marke für die Larvenüberwachung (346.0 m ü. M. in Farhau bzw. 346.2 m ü. M. für Bruggloch), wodurch kein Bti-Einsatz zulässig ist (vgl. Kapitel 5). Die Wasserstellen entstanden aufgrund des Niederschlags und nicht projektbedingt aufgrund einer Überflutung.

Ab 2015 nahm die Larvendichte aufgrund ausbleibender Überschwemmungen und einigen relativ trockenen Jahren (insbesondere 2018, 2020 und 2022) wieder etwas ab. Die Analyse zeigt zudem, dass in den Waldgebieten die Larvenentwicklung zwar konstant auftritt, es jedoch zu keinen Massenentwicklungen gekommen ist. Ausnahme bildet der am Waldrand gelegene Altarm Steipis (Mon03).

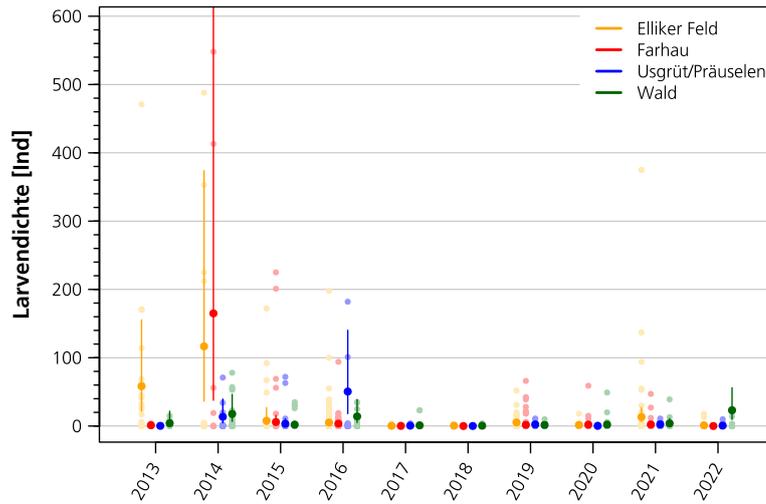


Abbildung 5: Die Larvendichten in den Jahren 2013 bis 2022 aufgeteilt auf die vier Untersuchungsgebiete Elliker Feld, Farhau, Usgrüt/Präuselen und Wald.

Durchschnittliche Larvendichten als Funktion der Versuchsjahre. Die halbtransparenten Punkte entsprechen den mittleren Larvendichten pro Probenahmetag im gesamten Untersuchungsgebiet. Die kräftigfarbenen Punkte entsprechen der Vorhersage des negativen Binomialmodells (mittlere Larvendichte im Untersuchungsgebiet pro Versuchsjahr \pm 95% Vertrauensintervall, vorhergesagt jeweils für den Monat Juni). AquaPlus 2022

Abbildung 6 zeigt den Anteil der Proben, welcher den Schwellenwert für die durchschnittliche Larvendichte (Elliker Feld: 100 Larven/Liter; Farhau: 200 Larven/Liter) in den verschiedenen Versuchsjahren überschritten hat. Hier ist ein ähnliches Muster wie in Abbildung 5 zu erkennen: Schwellenwertüberschreitungen sind fast nur in Jahren mit grossen Niederschlagsmengen oder extremen Hochwasserereignissen zu beobachten. In den extremsten Jahren überschritten jedoch maximal 19 % der Proben den Schwellenwert.

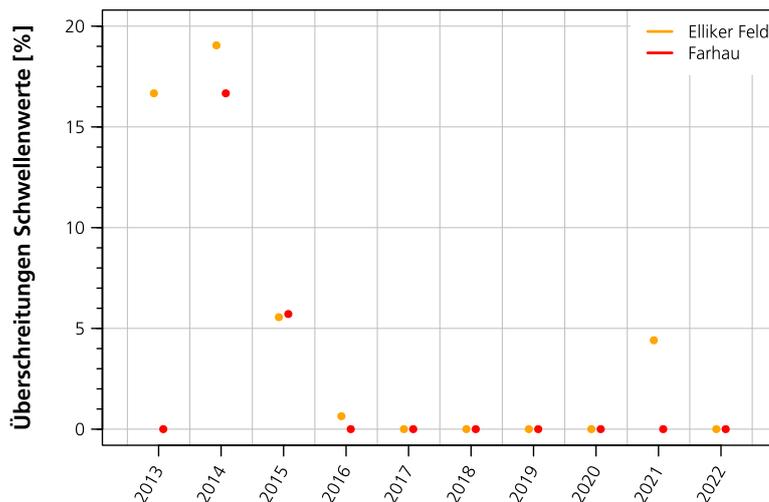


Abbildung 6: Prozentuale Angaben zur Überschreitung der Mückenlarven-Schwellenwerte der zwei Untersuchungsgebiete Elliker Feld und Farhau. AquaPlus 2022

3.4 Entwicklung Adultmücken

Seit 2015 wird die Überwachung der Adultmücken im gleichen Rahmen durchgeführt. Mittels Fallen werden die Mücken an zehn Standorten im Gebiet gefangen, gezählt und bestimmt (Abbildung 7).

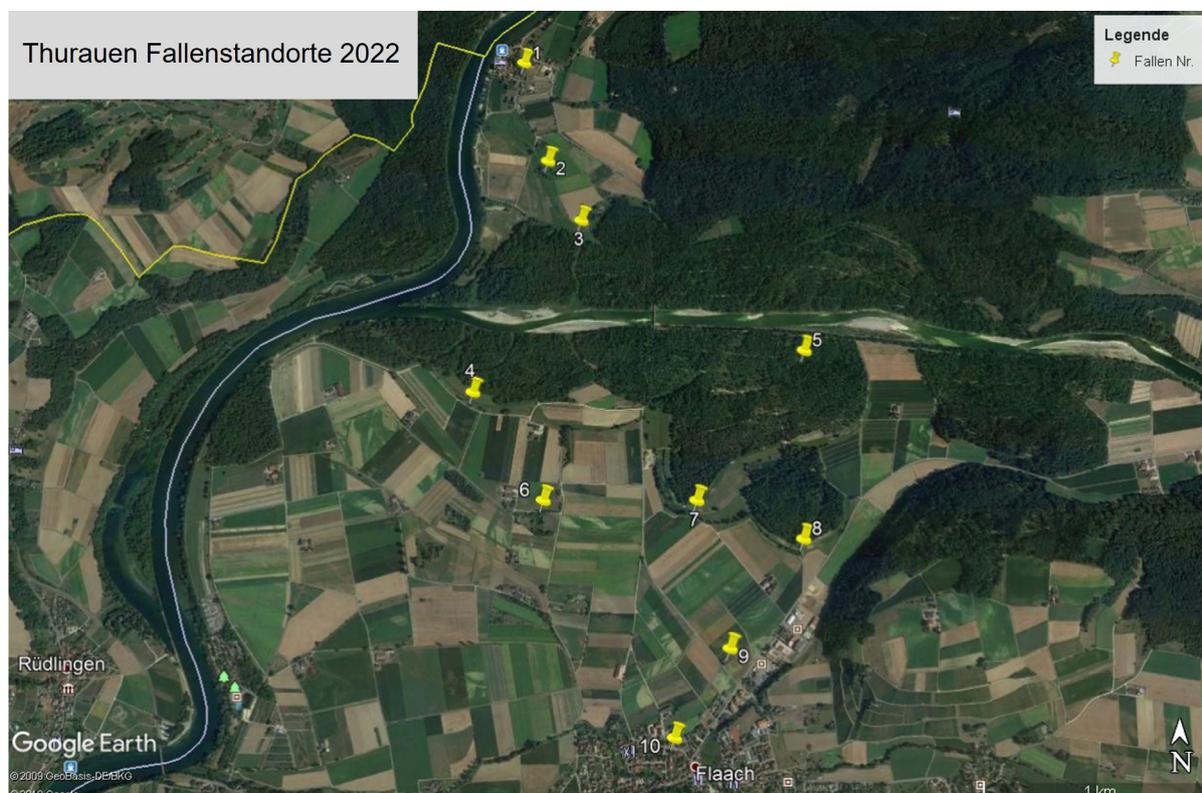


Abbildung 7: Standorte der Mückenfallen in den Thurauen und den umliegenden Dörfern Ellikon (Nr. 1) und Flaach (Nr. 10) in den Jahren 2019-2022. Im Vergleich zu 2015-2018 wurde die Falle Nr. 9 ca. 150 m in nordwestlicher Richtung verschoben. Institut für Parasitologie, Nationales Zentrum für Vektor-Entomologie, Universität Zürich

Populationsschwankung

Die Populationen der adulten Mücken waren im Untersuchungsgebiet in den Jahren 2017, 2018, 2020 und 2022 eher klein; 2015, 2016, 2019 und 2021 waren sie bedeutend grösser (Abbildung 8). Die Unterschiede zwischen den Jahren werden durch Stechmücken der Gattung *Aedes* verursacht (überwiegend die Überschwemmungsmücken-Arten *Ae. vexans* und *Ae. sticticus*).

2022 wurde erstmals die Asiatische Buschmücke (*Aedes japonicus*) in Ellikon am Rhein nachgewiesen. Es ist eine invasive Mückenart, welche mittlerweile in der Deutschschweiz weit verbreitet ist und zu beträchtlicher Belästigung der Bevölkerung führen kann. Auch die Tigermücke (*Aedes albopictus*) könnte künftig im Gebiet auftreten. Das Auftreten und eine mögliche Zunahme dieser beiden Arten haben keinen Zusammenhang mit dem Thurauenprojekt.

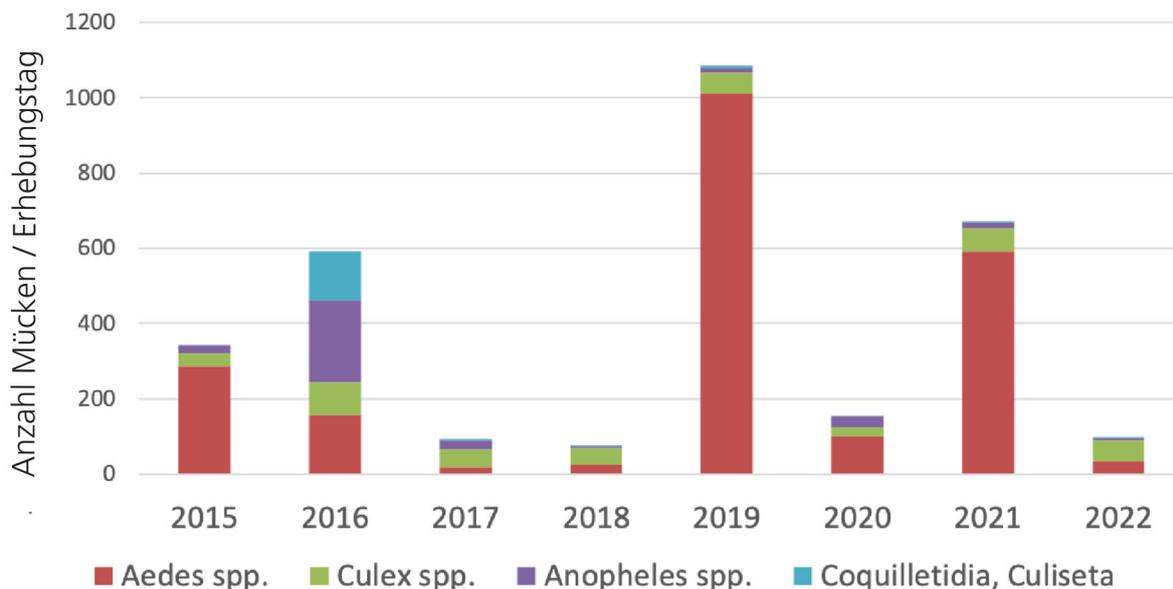


Abbildung 8: Übersicht über die gesamten Stechmücken-Fänge der letzten acht Jahre in den Thurauen, aufgeschlüsselt nach gefangenen Stechmücken pro Gattungen (jeweils zehn Fallenstandorte). Institut für Parasitologie, Nationales Zentrum für Vektor-Entomologie, Universität Zürich

Insbesondere der Standort der Falle Nr. 3, aber auch Falle Nr. 5 sind bekannte Brutgebiete für Überschwemmungsmücken (Abbildung 9). Der Rekordfang in einer Nacht in einer Falle bestand aus 1'612 Stechmücken (Falle Nr. 3; 18.7.2019). Im Vergleich dazu wurden in einem Naturschutzgebiet in Mittelschweden in einer Fallennacht 77'000 und in einem benachbarten besiedelten Gebiet 23'000 Stechmücken gefangen (LUNDSTRÖM & SCHÄFER 2021).

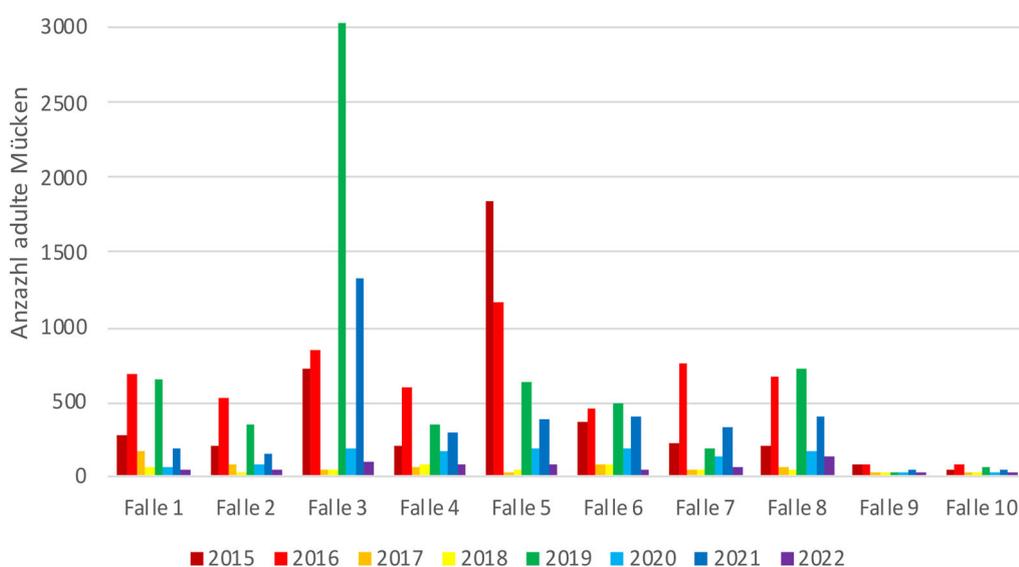


Abbildung 9: Anzahl gefangene, adulte Mücken in den Fallen 1 bis 10 in den Jahren 2015 bis 2022 (5-9 Fangnächte / Jahr). MATHIS 2015–2022

Überschwemmungsmücken

Die Überschwemmungsmücken *Aedes vexans* und *Ae. sticticus* dominierten 2015 an neun von zehn Fallenstandorten, 2016 an sieben, 2017 an drei, 2018 an einem, 2019 an allen zehn, 2020 an sechs, 2021 an neun und 2022 an drei Standorten (Abbildung 10, MATHIS 2015–2022).

Im **Dorf Ellikon** (Falle Nr. 1) dominierten 2015 und 2016 die Überschwemmungsmücken (*Aedes sp.*), 2017 dominierte *Anopheles spp.*, 2018 *Culex*-Arten. 2019 waren die *Aedes*-Arten klar dominant und auch 2020 gab es mehr *Aedes*-Arten, welche 2021 wieder klar mit 75 % dominierten. 2022 gab es nur wenige *Aedes*-Arten, u.a. aber auch zwei Exemplare von *Aedes japonicus*.

Im **Dorf Flaach** (Falle Nr. 10) wurden stets wenig Mücken gefangen. 2015 und 2016 dominierten *Culex*-Arten. 2017 wurden nur *Culex*- aber keine *Aedes*-Art nachgewiesen. 2018 gab es nur 11 Fänge, am meisten davon waren *Culex*-Arten. 2019 gab es erstmals mehr *Aedes*-Arten. 2020 waren es wieder etwas mehr *Culex*-Arten und 2021 wieder mehr *Aedes*-Arten. 2022 wurden total 9 Mücken gefangen, davon waren am meisten *Culex*-Arten.

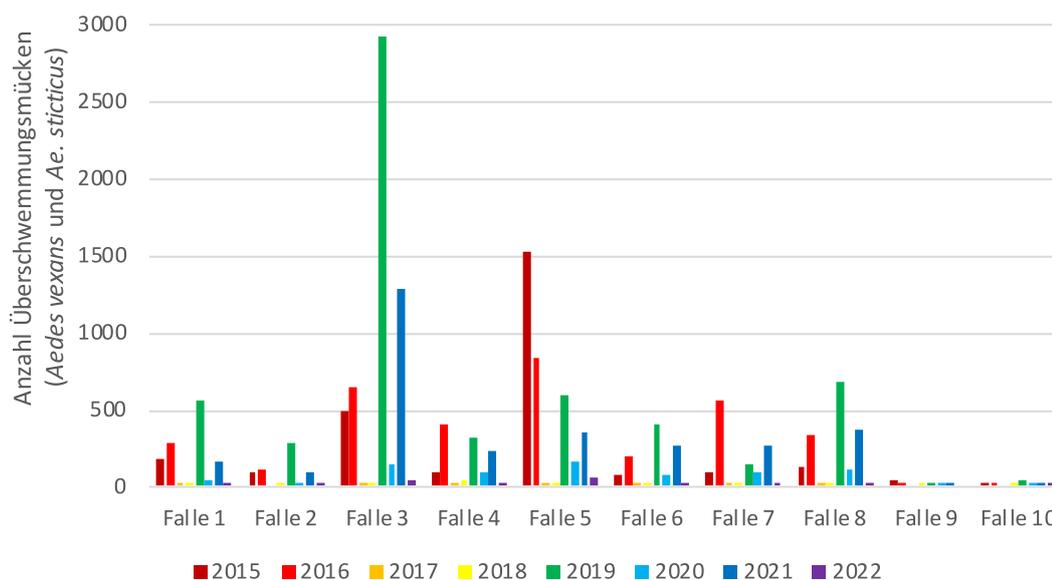


Abbildung 10: Anzahl gefangene Überschwemmungsmücken (*Aedes vexans* und *Ae. sticticus*) in den Fallen 1 bis 10 in den Jahren 2015 bis 2022 (5-9 Fangnächte / Jahr). MATHIS 2015–2022

Interessant ist, dass die Falle 1 (im Dorf Ellikon) sowie die Falle 3 (am Waldrand) jeweils hohe Fänge an Überschwemmungsmücken hatten, während in Falle 2, welche zwischen den beiden Fallen 1 und 3 liegt, fast keine Überschwemmungsmücken vorkamen. Dies deutet darauf hin, dass die Stechmücken im Dorf Ellikon nicht aus dem Brutgebiet um Falle 3 herkommen. Woher sie aber kommen, ist bisher noch unklar.

3.5 Entwicklung Grundwasserstände

Rückblick

Im Rahmen des Thurauenprojektes wurde durch die Firma TK Consult AG ein Grundwassermodell erstellt. Eine Prognose zur Entwicklung des Grundwasserspiegels war in diesem komplexen System nicht möglich. Sie ist direkt abhängig von der morphologischen Entwicklung der Thur (Breite, Sohlenlage, Geschiebehaushalt etc.), den Abflüssen in der Thur sowie denjenigen im Rhein. Im Rahmen des Projektes wurde ursprünglich von einem leichten Anstieg des mittleren Grundwasserspiegels im gesamten Gebiet ausgegangen. Die Entwicklung wurde daher weiterhin mit dem bestehenden Grundwassermonitoring beobachtet und interpretiert (Abbildung 11).



Abbildung 11: Lage der Pegelschreiber aus der Grundwasserüberwachung.

Rot eingekreist: Mittelwert der Messperiode 2017–2021 überschreitet den Meldewert.
Quelle: Planbeilage zu DR. VON MOOS AG 2009

Auswertung bis 2021

Gemäss Messbericht 2021 «Hochwasserschutz Thurmündung: Grundwasserüberwachung» (DR. VON MOOS AG 2022) hatten die Jahre 2012, 2013, 2016, 2019 und 2021 allesamt überdurchschnittlich viel Niederschlag (106 - 121 % des langjährigen Jahresdurchschnitts) und entsprechend wurde an den meisten Messstellen der Meldewert überschritten. In den trockenen, heissen Jahren 2009, 2011, 2018 und 2020 hingegen lagen fast alle Mittelwerte unter dem Meldewert. Dies dürfte wohl auch für 2022 zutreffen (Bericht noch nicht vorliegend). Es zeigt sich somit eine starke Abhängigkeit der Grundwasserspiegel von der jährlichen Niederschlagsverteilung. Während die Jahresmittelwerte von Jahr zu Jahr stark variieren können, gleichen die 5-Jahresmittel extrem trockene, resp. nasse Jahre aus, wodurch es eine gute Referenz für die Überwachung und die Einschätzung der langfristigen Trends darstellt (Tabelle 1).

Neben dem Niederschlag beeinflusst auch ein hoher Wasserstand (Abfluss) insbesondere des Rheins den Grundwasserspiegel massgeblich. Die relativ starken Pegelschwankungen der Thur fallen meist direkt mit den Niederschlagsspitzen zusammen. Der Verlauf der Grundwasserspiegelmittelwerte ist sowohl zeitlich wie auch bezüglich der Amplitude synchron zu den Flusspegelveränderungen. Dies

bedeutet, dass ein niederschlagsreiches Jahr mit beispielsweise einem durchschnittlich 10 cm höheren Abflusspegel auch mit rund 10 cm höheren Grundwasserständen einhergeht.

Das Monitoring zeigt auf, dass sich die Grundwasserstände durch das Thurauenprojekt bisher nicht generell erhöht haben. Diejenigen Messstellen mit leicht erhöhten 5-Jahresmitteln aus 2017–2022 gegenüber dem Meldewert (rot markierte Zahlen in Tabelle 1) liegen thurnah im bewaldeten Gebiet (vgl. rote Ringe in Abbildung 11). In den zentralen Mückenbrutgebieten Ellikerfeld und Farhau sowie an den übrigen Messstellen des Monitorings (grüne Ringe in Abbildung 11) liegen die Werte im Mittel geringfügig tiefer als der Meldewert. Die durch das Projekt leicht veränderten Grundwasserverhältnisse wirken sich bisher nicht auf die Stechmückensituation aus.

Der Einfluss von grossräumigen Veränderungen durch den Klimawandel kann in diesem Rahmen kaum quantifiziert werden. Die letzten Jahre zeigen aber tendenziell eine Verschiebung von Sommer- zu Winterhochwassern. Dies könnte über einen längeren Zeitraum zu einer Abnahme des Grundwasserspiegels in den Sommermonaten und dadurch zu weniger Feuchtstellen und zu einer Reduktion der Stechmückenbestände führen.

Kiesbaggerung
Thurspitz

Der permanente Geschiebetrieb der Thur in den Rhein führt zwischen dem Thurspitz und der Rüdlinger Brücke zu Verlandungen, die den Hochwasserspiegel bzw. die Hochwassersicherheit im Flaacher- und Ellikerfeld beeinträchtigen können. Die Gewährleistung der Hochwassersicherheit ist Bestandteil der Konzession der Kraftwerk Eglisau-Glattfelden AG (KWE). Sobald die im Rahmen des Thurauenprojekts festgelegten Interventionslinien überschritten werden, sind von der KWE und der Baudirektion des Kantons Zürich (AWEL) die Hochwassersicherheit neu zu beurteilen und allenfalls erforderliche Massnahmen (Baggerung) zu diskutieren.

2016 wurde die letzte entsprechende Baggerung durchgeführt. Dabei wurden > 60'000 m³ Kies entfernt. Der Einfluss dieser Sohlenveränderung auf die Grundwasserspiegel wird mit < 10 cm angegeben. Baggerungen begünstigen damit geringere Grundwasserspiegel, vermögen diese aber, insbesondere landseitig der Hochwasserschutzdämme, nur geringfügig zu verändern. (AXPO 2015)

Tabelle 1: Grundwasserüberwachung. Vergleich von Referenzwert, Meldewert und aktuellem Messwert (auf 1 cm gerundete Werte) der Stationen mit permanenter Aufzeichnung. Die angezeichneten grünen und roten Zahlen beziehen sich auf die Messperiode 2017 - 2021. Quelle: Tabelle zu DR. VON MOOS AG 2022

Messstelle	KP B8	KP B16	G116	G118	B2/76	B5/76	KB 3/00	B2/06	B3/06	D5
Referenzwert 2000-2008	344.08	345.43	345.92	345.18	345.44	345.96	347.07	344.22	344.36	344.83
Meldewert	344.16	345.51	346.00	345.26	345.52	346.04	347.15	344.30	344.44	344.91
Messungen										
Messwert 2009	344.10	345.41	345.86	345.17	345.24	346.03	346.93	344.16	344.35	344.75
Messwert 2010	344.20	345.60	345.88	345.28	345.36	346.15	347.12	344.30	344.45	344.94
Messwert 2011	343.98	345.35	345.63	345.13	345.14	345.85	347.02	344.16	344.27	344.67
Messwert 2012	344.26	345.75	345.95	345.41	345.45	346.20	347.22	344.36	344.59	345.03
Messwert 2013	344.22	345.72	346.08	n.b.	345.57	346.38	347.38	344.34	344.55	345.04
Messwert 2014	344.10	345.50	345.92	345.29	345.45	346.19	347.29	344.23	344.44	344.86
Messwert 2015	344.07	345.49	345.96	345.38	345.20	346.14	347.26	344.19	n.b.	344.85
Messwert 2016	344.21	345.71	346.06	345.47	345.52	346.29	347.23	344.32	344.51	345.05
Messwert 2017	344.12	345.43	345.90	345.26	345.26	346.07	347.20	344.27	344.44	344.78
Messwert 2018	344.06	345.34	345.80	345.18	345.22	345.98	347.06	344.15	344.28	344.74
Messwert 2019	344.20	345.63	346.12	345.42	345.45	346.16	347.21	344.35	344.52	345.01
Messwert 2020	344.10	345.46	345.96	345.25	345.30	346.02	347.14	344.24	344.43	344.88
Messwert 2021	344.26	345.66	346.14	345.47	345.57	346.34	347.27	344.35	344.55	345.09
Auswertungen										
Mittelwert 2009 - 2013	344.15	345.57	345.88	n.b.	345.35	346.12	347.13	344.26	344.44	344.89
Mittelwert 2010 - 2014	344.15	345.58	345.89	345.28	345.39	346.15	347.21	344.28	344.46	344.91
Mittelwert 2011 - 2015	344.13	345.56	345.91	345.37	345.36	346.15	347.23	344.26	344.46	344.89
Mittelwert 2012 - 2016	344.17	345.63	345.99	345.39	345.44	346.24	347.28	344.29	344.52	344.97
Mittelwert 2013 - 2017	344.14	345.57	345.98	345.35	345.40	346.21	347.27	344.27	344.48	344.92
Mittelwert 2014 - 2018	344.11	345.50	345.93	345.32	345.33	346.13	347.21	344.23	344.42	344.86
Mittelwert 2015 - 2019	344.13	345.52	345.97	345.34	345.33	346.13	347.19	344.26	344.44	344.89
Mittelwert 2016 - 2020	344.14	345.52	345.97	345.32	345.35	346.10	347.17	344.27	344.44	344.89
Mittelwert 2017 - 2021	344.15	345.51	345.98	345.32	345.36	346.11	347.18	344.27	344.44	344.90
Meldewert	344.16	345.51	346.00	345.26	345.52	346.04	347.15	344.30	344.44	344.91
aktuelle Differenz [m]	-0.01	0.00	-0.02	0.06	-0.16	0.07	0.03	-0.03	0.00	-0.01

Beurteilung:

■ Mittelwert der 5-jährigen Messperiode überschreitet den Meldewert
■ Mittelwert der 5-jährigen Messperiode unterschreitet den Meldewert
 n.b. = nicht berechnet
 gelb markiert: überschreitet den Meldewert

3.6 Persistenz von Bti im Boden

Nach dem Bti-Einsatz 2013 im Ellikerfeld wurde die Persistenz von Bti im Boden mit einem Monitoring beobachtet. Die Analyse in den Thurauen (TONOLLA & GUIDI 2017) zeigt, dass die Konzentration an Sporen im Boden in den ersten zwei Jahren nach dem Ausbringen im Jahr 2013 relativ stabil blieb. Drei Jahre nach dem Einsatz gab es eine signifikante Abnahme der Bti-Konzentration. Das Monitoring wurde 2017 beendet, weshalb keine Aussagen über die langfristige Persistenz möglich sind.

4 Schwellenwerte für Ausnahmegewilligung

Die Analyse des Monitorings der letzten 10 Jahre hat bisher keine Hinweise auf statistisch relevante Veränderungen hinsichtlich Larvendichte, Adultmücken und Grundwasserverhältnisse im Gebiet ergeben. Die Abhängigkeit von den meteorologischen und klimatischen Verhältnissen ist im Betrachtungszeitraum deutlich grösser als allfällige Veränderungen durch Massnahmen im Rahmen des Thurauprojektes. Das Projekt hat bis zum jetzigen Zeitpunkt zu keiner generellen Mehrbelastung geführt.

Die Erfahrung aus dem Monitoring der letzten Jahre zeigt, dass die Gebiete nördlich (Ellikon) und südlich (Flaach) der Thur klar unterschiedliche Rahmenbedingungen aufweisen (Überflutung bei Hochwasser, Reaktion des Grundwasserkörpers, Distanz Brutgewässer-Siedlung, Topographie etc.). Es erscheint deshalb weiterhin sinnvoll, unterschiedliche Schwellenwerte zu definieren. Die beiden Gebiete werden im folgenden getrennt betrachtet.

4.1 Altarm Ellikon

4.1.1 Pegelstand

Massenvorkommen von Überschwemmungsmücken scheinen stark mit lang anhaltend hohen Wasserständen im Amphibienlaichgebiet von nationaler Bedeutung «Elliker Auen» zu korrelieren. Der bisher verwendete Schwellenwert von 346.2 m ü. M. beim Pegel Bruggloch hat sich bewährt. Wird dieser erste Schwellenwert erreicht, so wird die Überwachung der Larvenkonzentrationen im Altarm Ellikon ausgelöst. Für einen Einsatz im Ellikerfeld muss unterschieden werden können, ob die Überschwemmungen infolge Dammverzicht durch überfliessendes Rheinwasser, durch Grundwassereinstau oder durch Niederschlag verursacht werden. Diese Unterscheidung erfolgt anhand des Verlaufes der Pegelmessung Bruggloch.

Die Dauer der Überschwemmung spielt insofern eine untergeordnete Rolle, da sich die Larven bei sinkendem Wasserspiegel in die verbleibenden Wasserflächen im Altarm zurückziehen können und so ausreichend Zeit für die Entwicklung zur Verfügung steht.

Für einen allfälligen Bti-Einsatz gilt der bestehende Schwellenwert von 346.2 m ü. M. (Pegel Bruggloch), verursacht durch eindringendes Rheinwasser. Kein Einsatz findet statt, wenn ein ausserordentliches hydrologisches Ereignis vorliegt, bei welchem zum Zeitpunkt des potenziellen Einsatzes der Pegel von 347.0 m ü. M. überschritten ist. Bei diesem Extremereignis wäre aufgrund der grossen Flächenausdehnung eine sehr grosse Menge an Bti erforderlich, was mit den Schutzziele nicht vereinbar wäre. Zudem ist auf einen Einsatz zu verzichten, wenn die Einsatzfläche eine direkte oberflächliche Verbindung zu einem Fließgewässer (Thur oder Rhein) aufweist.

Ab einem Pegelstand von >347.95 m ü. M. (Kote des ursprünglichen Damms) wird dies als Extremereignis angesehen, bei dem auch ohne projektbezogenen Dammverzicht das Ellikerfeld überschwemmt worden wäre. Bei einem solchen

Extremereignis wird ein Bti-Einsatz ausgeschlossen, da nachweislich kein Zusammenhang mehr mit dem Thurauenprojekt besteht.

4.1.2 Überschwemmungsfläche und Einsatzgebiet Bti

Die Überschwemmungsfläche muss für einen Bti-Einsatz die Ausdehnung von Kote 346.2 m ü. M., verursacht durch infolge Dammverzicht eindringendes Rheinwasser, aufweisen (Abbildung 12a). Dies entspricht einer gesamten Überschwemmungsfläche von über 1.7 ha. Wird ein Pegel von >347.0 m ü. M. erreicht (Abbildung 12b), ist ein Bti-Einsatz nicht mehr zulässig, da die Überschwemmungsfläche für einen Bti-Einsatz zu gross wäre.

Kommt es zu einem Bti-Einsatz, so wird dieser in den Randbereichen (Ufersaum) der offenen Wasserflächen des gesamten Einsatzgebietes ausgeführt. Das Bti wird nicht auf die gesamte Wasserfläche ausgebracht, da sich die Mückenlarven hauptsächlich im seichten Uferbereich befinden. Das zulässige Einsatzgebiet wird in Abbildung 12a eindeutig eingegrenzt und umfasst rund 3.7 ha. Es beinhaltet die offenen Wasserflächen des Altarmes Ellikon.

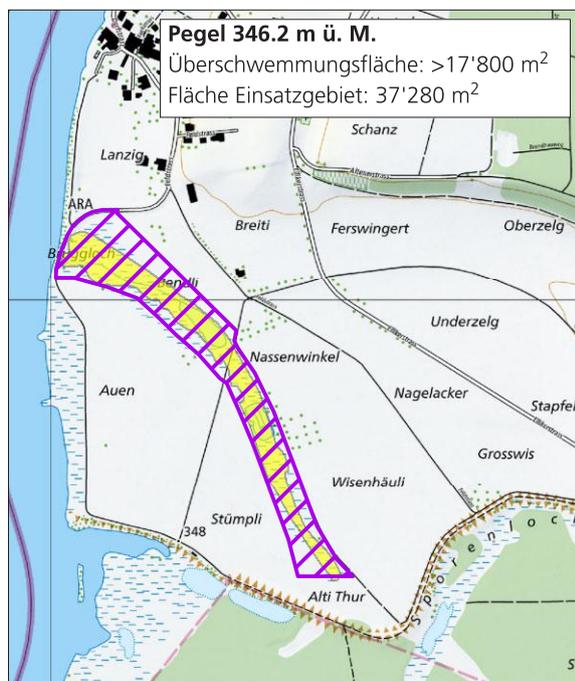


Abbildung 12a: Überschwemmungsfläche bei Kote Bruggloch 346.2 m ü. M. (gelb) und maximale Ausdehnung des Bti-Einsatzgebietes (violett) im Altarm Ellikon.

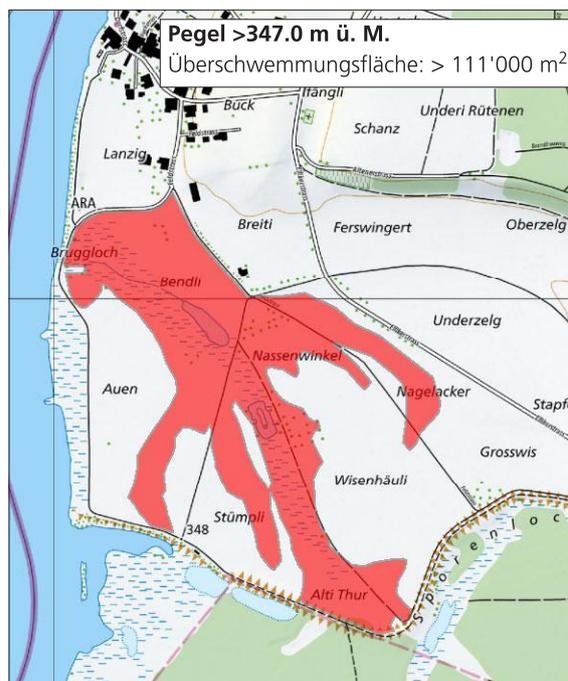


Abbildung 12b: Überschwemmungsfläche bei Kote Bruggloch >347.0 m ü. M. (rot) ab dem ein Bti-Einsatz nicht mehr zulässig ist.

4.1.3 Larvendichte

Für einen allfälligen Bti-Einsatz im Altarm Ellikon wird weiterhin der Schwellenwert für Stechmückenlarven von >100 Individuen/Liter verwendet.

4.2 Altarm Farhau

4.2.1 Pegelstand

Der bisher verwendete Schwellenwert (Kote von 346.0 m ü. M.) für das Auslösen des Überwachungsprogrammes hat sich bewährt. Wird dieser Schwellenwert an der Pegelmessstation Farhau erreicht, so kommt es im Bereich Thurspitz zum schrittweisen Einstau in den Altarm Farhau. Ein Einsatz im Altarm Farhau und somit im Auengebiet von nationaler Bedeutung «Eggrank - Thurspitz» ist nur zulässig, wenn die Überschwemmungen nachweislich durch einflussendes Thurwasser oder Rheinwasser hervorgerufen werden.

Für einen allfälligen Bti-Einsatz wird weiterhin ein Schwellenwert von 346.0 m ü. M. (Pegel Farhau) verwendet, welcher im entsprechenden Ereignis erreicht werden muss.

Ein Pegelstand beim Pegel Farhau von >347.0 m ü. M. (ca. Kote des ursprünglichen Dammes) wird als Extremereignis angesehen, welches einen Bti-Einsatz ausschliesst, da nachweislich kein Zusammenhang mehr mit dem Thurauenprojekt besteht.

4.2.2 Überschwemmungsfläche und Einsatzgebiet Bti

Die Überschwemmungsfläche muss für einen Bti-Einsatz die Ausdehnung von Kote 346.0 m ü. M. beim Pegel Farhau aufweisen (Abbildung 13a). Dies entspricht einer gesamten Überschwemmungsfläche von über 1.2 ha. Wird ein Pegel von >347.0 m erreicht (Abbildung 13b), ist ein Bti-Einsatz nicht mehr zulässig, da die Überschwemmung nicht mehr projektbedingt ist.

Auf Seite Flaach wird der Altarm Farhau als potenzielles Einsatzgebiet festgelegt. Das Einsatzgebiet des Altarmes Farhau reicht dabei vom Waldrand beim Thurspitz bis zum Durchlass beim Thurhof (vgl. Abbildung 13a).

Kommt es zu einem Bti-Einsatz, so wird dieser in den Randbereichen (Ufersaum) der offenen Wasserflächen des gesamten Einsatzgebietes ausgeführt. Das Bti wird nicht auf die gesamte Wasserfläche ausgebracht, da sich die Mückenlarven hauptsächlich im seichten Uferbereich befinden. Das zulässige Einsatzgebiet beschränkt sich dabei auf eine Fläche von rund 3.3 ha und wird in Abbildung 13a eindeutig eingegrenzt.

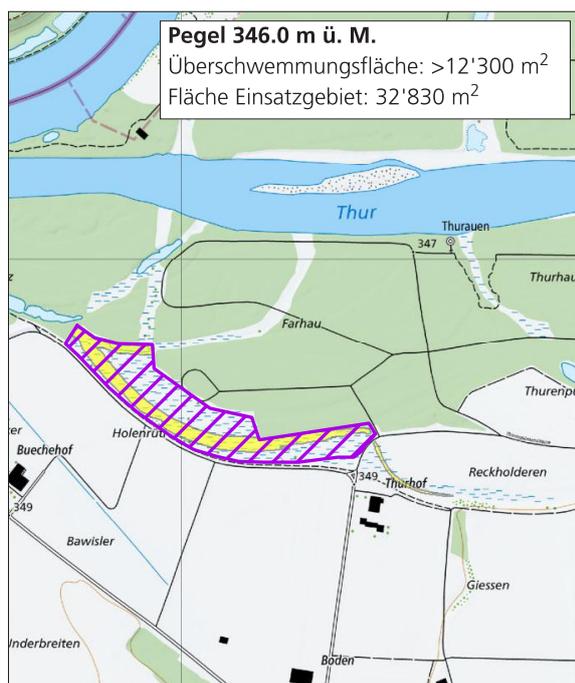


Abbildung 13a: Überschwemmungsflächen bei Kote Farhau 346.0 m ü. M. (gelb) und maximale Ausdehnung des Bti-Einsatzgebietes (violett) im Altarm Farhau.

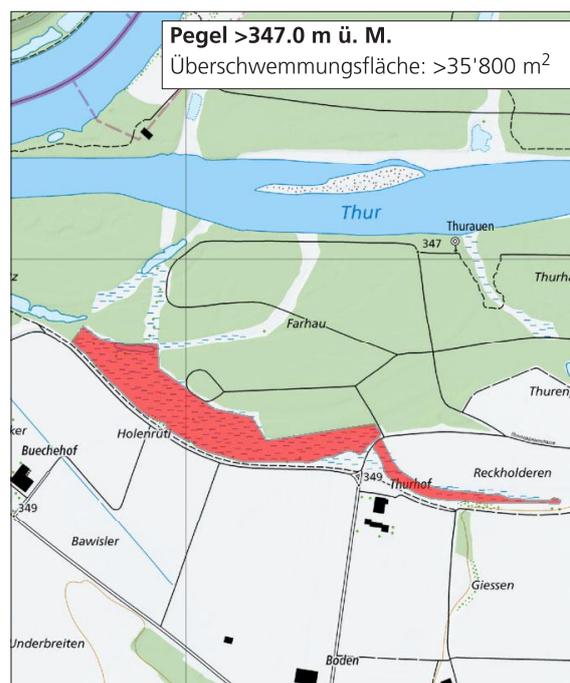


Abbildung 13b: Überschwemmungsflächen bei Kote Farhau >347.0 m ü. M. (rot) ab dem ein Bti-Einsatz nicht mehr zulässig ist.

4.2.3 Larvendichte

Für einen allfälligen Bti-Einsatz im Altarm Farhau wird weiterhin der Schwellenwert für Stechmückenlarven von >200 Individuen/Liter verwendet.

5 Überwachung Schwellenwerte

Das Vorgehen zur Überwachung der Schwellenwerte wird analog zur letzten Rahmenausnahmebewilligung 2013–2023 unverändert auch für die neue Rahmenausnahmebewilligung 2024–2033 definiert. Der Ablauf wird im Folgenden dargestellt.

Zeitraum	Der Zeitraum für die Überwachung der Schwellenwerte beginnt Anfang März des jeweiligen Jahres und reicht bis Ende August. Nach dem August ist eine Überwachung aufgrund der Winterruhe der Eier nicht mehr notwendig.
Pegelüberwachung	<p>Ab 1. März werden die Pegel bei Bruggloch und Farhau (siehe Pegelmessstationen in Abbildung 14) kontinuierlich überwacht. Dies geschieht über die eingereichte Fernabfrage. Bei einem Erreichen der definierten Schwellenwerte für die Pegel (346.2 m ü. M. bei Bruggloch bzw. 346.0 m ü. M. bei Farhau), wird die Larvenüberwachung ausgelöst. Innerhalb der nächsten 1–3 Tage werden die ersten Proben im Feld genommen.</p> <p>Bei stagnierendem oder sinkendem Pegel werden mindestens 2 Probenahmen im Abstand von 2 Tagen durchgeführt. Wird die notwendige Larvenkonzentration nicht erreicht, so wird die Probenahme bis zu einem erneuten Anstieg des Pegels eingestellt.</p> <p>Bei steigendem Pegel wird die Probenahme im Abstand von 2 Tagen so lange wiederholt, bis der Pegel stagniert oder wieder sinkt. Gleichzeitig mit dem Erreichen des Startwertes für die Larvenüberwachung wird die Überprüfung Oberflächenwasser/Grundwasser ausgelöst und das Erreichen des Schwellenwertes für einen Bti-Einsatz überwacht.</p> <p>Übersteigt der Pegel Bruggloch (Altarm Ellikon) die Kote 347.0 m ü. M. bzw. der Pegel Farhau die Kote 347.0 m ü. M. ist ein Einsatz nicht mehr zulässig. Die Larvenüberwachung wird dennoch fortgesetzt und die Pegel werden weiterhin überwacht.</p>
Probestellen und Schöpfproben	Für die Schwellenwertüberwachung werden 10 (Ellikerfeld) respektive 6 (Farhau) Probestellen definiert (Abbildung 14). Pro Probestelle werden jeweils 20 Schöpfproben im ufernahen Bereich der Überschwemmungsflächen entnommen. Somit ergeben sich pro Überwachungsgebiet 200 respektive 120 Einzelproben, welche auf ihre Konzentration an Mückenlarven untersucht werden. Die Schätzung der Larvendichte im Feld erfolgt gemäss folgender Klassierung: 0, 1-10, 10-50, 50-100, 100-200 und >200 Larven/Liter. Der Schwellenwert der Larvendichte ist erreicht, wenn an mindestens 80 % der Standorte der Schwellenwert (>100 Larven/Liter im Altarm Ellikon, bzw. >200 Larven/Liter im Altarm Farhau) überschritten wird.
Auslösen Bti-Einsatz	<p>Sind die notwendigen Schwellenwerte (Pegel, Oberflächenwasser, Larvenkonzentration) erreicht, so wird dies der Bewilligungsstelle sowie den für die Bekämpfung zuständigen Behörden unverzüglich gemeldet und mit den Untersuchungsergebnissen belegt. Damit wird der Prozess für das Ausstellen der Ausnahmebewilligung ausgelöst.</p> <p>Es ist vorgesehen, Bti mittels einer Drohne auszubringen. Das Granulat kann unter Schonung der Vegetation (keine Trittschäden) in kürzerer Zeit gleichmässiger</p>

verteilt werden. Dies setzt jedoch eine geeignete Witterung voraus. Bei Wind muss mit einer Rückenspritze gearbeitet werden.

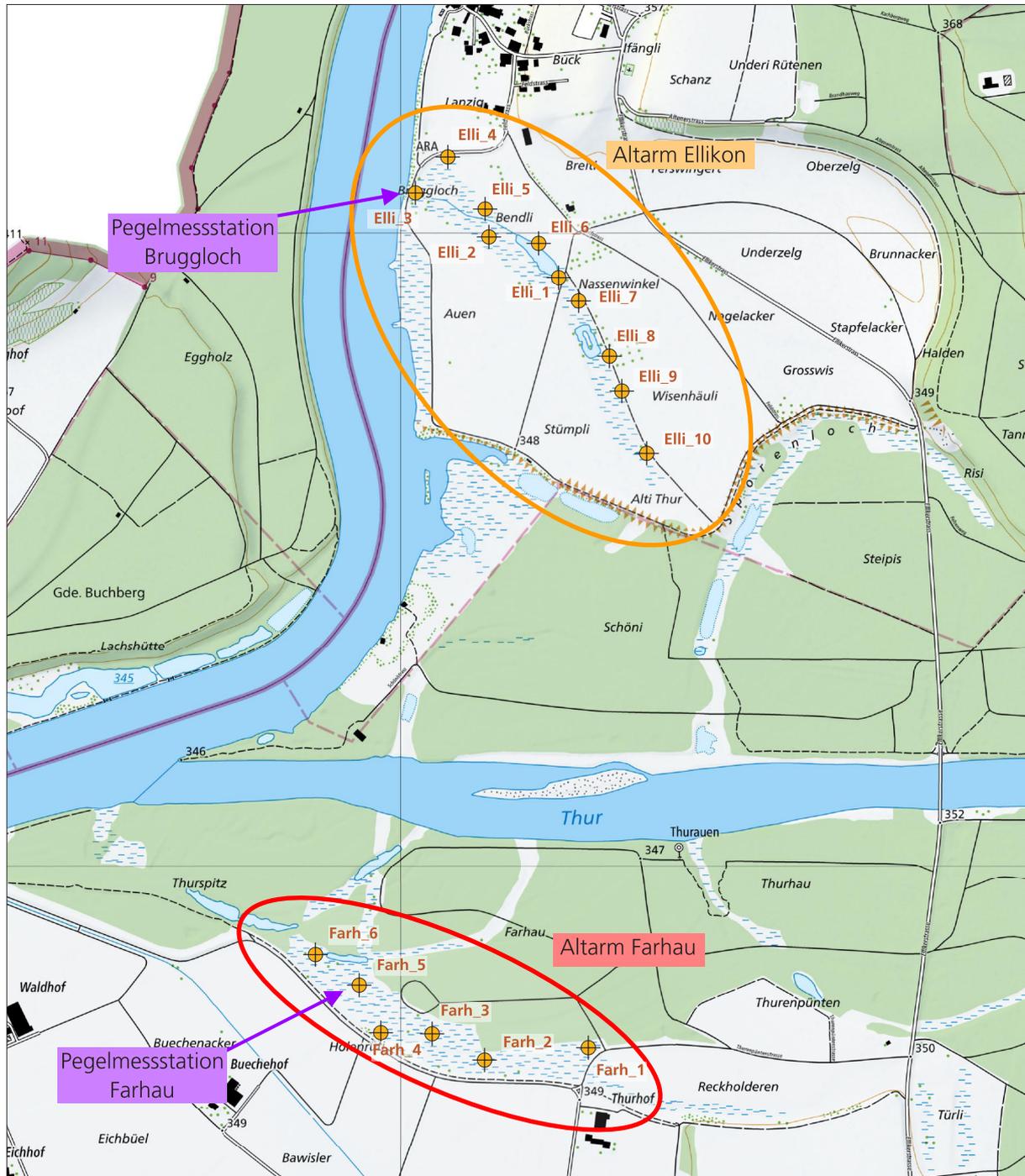
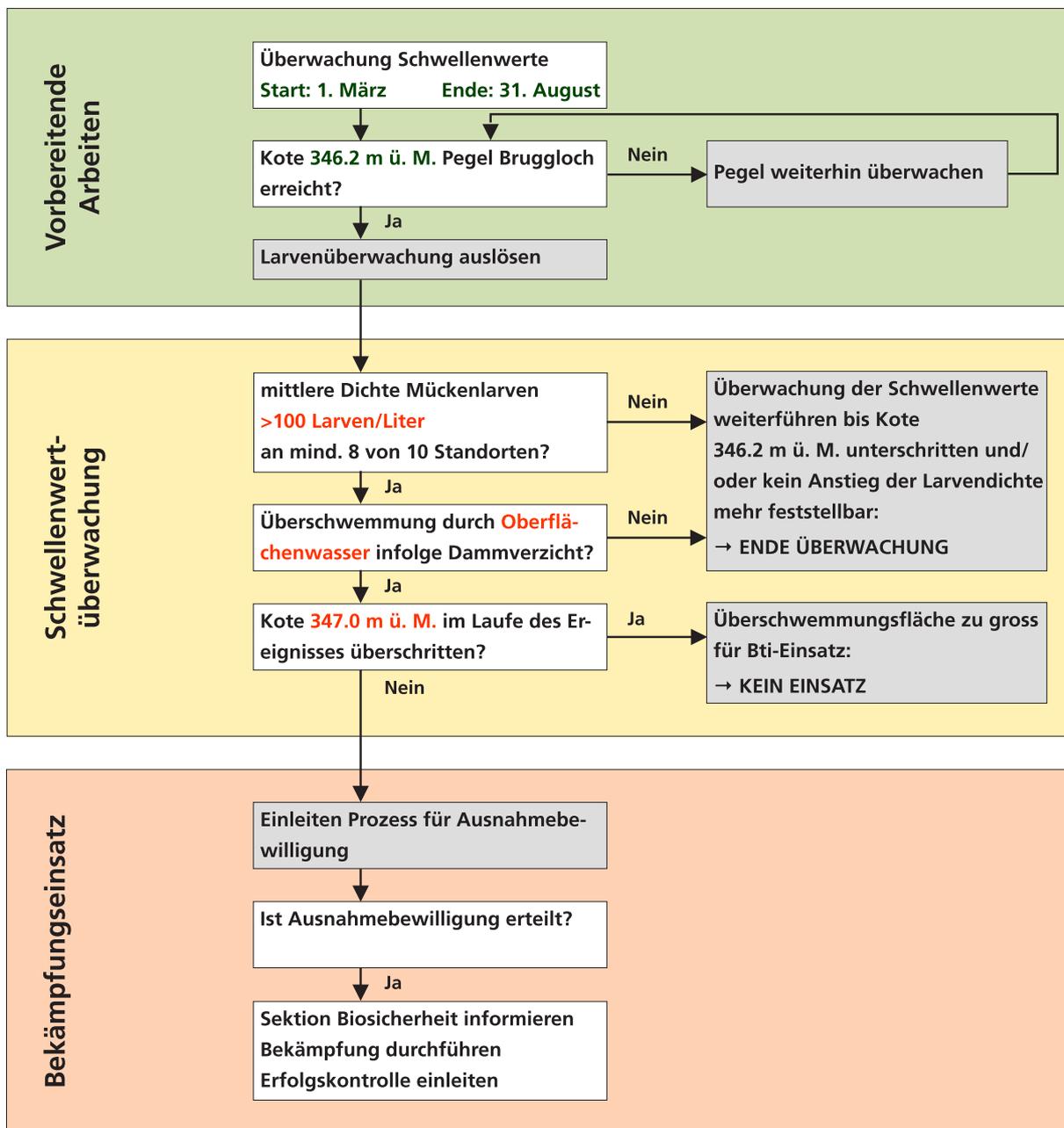


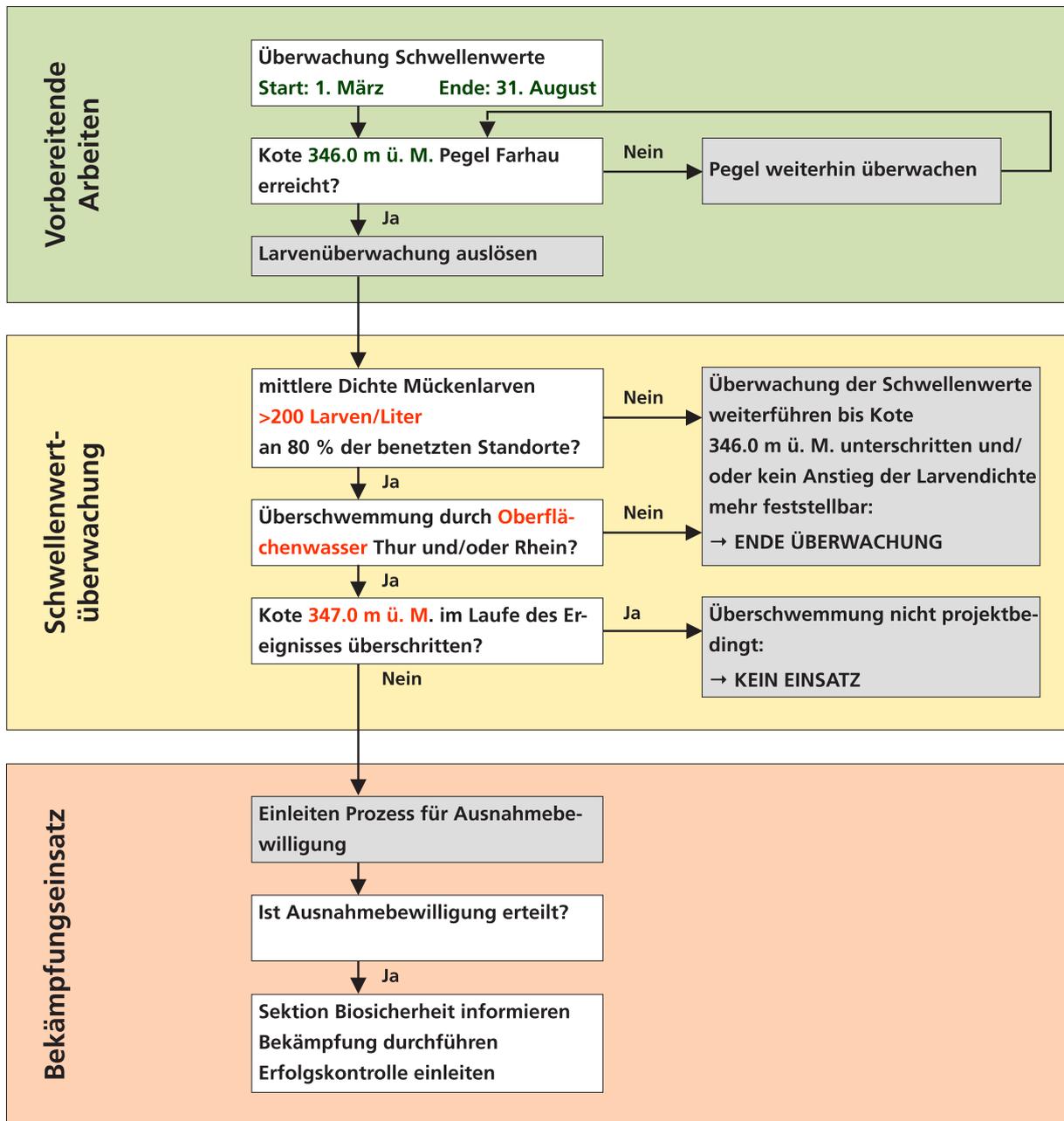
Abbildung 14: Übersicht der Probestellen für die Larvenüberwachung bei erreichtem Grenzwert der Pegel bei den Messstellen Bruggloch und / oder Farhau.

Hintergrund: © Bundesamt für Landestopographie

5.1 Entscheidungsbaum Altarm Ellikon



5.2 Entscheidungsbaum Altarm Farhau



6 Fazit

Im Jahr 2013 standen erst wenige und kaum systematisch erhobene Grundlagen zur Verfügung, die bei der Formulierung und Ausarbeitung der Rahmenbedingungen für eine Stechmückenbekämpfung in den Thurauen herangezogen werden konnten. Die Festlegung der Vorgehensweise und der Schwellenwerte erfolgte in einem langen Prozess unter Einbezug von Fachexperten, welche dazu die vorhandenen Daten, ihre Expertise und Grundlagen und Erfahrungen aus anderen Gebieten verwendeten. Zehn Jahre später stehen nun dank den gemachten Erfahrungen mit einem Bti-Einsatz und den begleitenden Monitorings deutlich bessere und gebietsspezifische Grundlagen zur Verfügung.

Das bisherige Grundlagenmonitoring der Adultmücken wie auch der Mückenlarven zeigt keinen Trend einer Zunahme der Stechmücken seit Umsetzung des Thurauenprojekts. Auch konnte keine generelle Erhöhung des Grundwasserstandes festgestellt werden, welche die lokale Mückenpopulation fördern könnte. Die festgestellten Schwankungen der Mückenpopulationen hängen primär vom Niederschlag und teilweise vom Abfluss der Thur und des Rheins ab.

Während die Monitorings zu Grundwasser und den Adultmücken bis auf weiteres jährlich fortgeführt werden, soll beim Larvenmonitoring der Erhebungsrhythmus ausgedünnt werden. Die nächsten Erhebungen sind dabei für 2026/27 und 2031/32 vorgesehen.

Die Gebiete nördlich und südlich der Thur unterscheiden sich bezüglich der Rahmenbedingungen (Topografie, Reaktion des Grundwasserkörpers, Überflutungsfläche bei Hochwasser) wie auch in der Distanz zum Siedlungsgebiet. Dies widerspiegelt sich in der deutlich verschiedenen Anzahl vorgefundener Adultmücken in den Siedlungsgebieten von Ellikon und Flaach. Die unterschiedlich hoch angesetzten Schwellenwerte bei den Larvenkonzentrationen in den beiden Bekämpfungsgebieten sind somit sachgerecht.

Die vergangenen zehn Jahre wiesen einige sehr trockene Sommer mit entsprechend kleinen Mückenpopulationen auf, aber auch mehrere überdurchschnittlich nasse Jahre mit entsprechend hohen Mückenaufkommen. Die erhöhten Wasserstände waren in fast allen Fällen aber nicht projektbedingt infolge des Dammverzichts, sondern wären auch ohne Thurauenprojekt aufgetreten. In den ganz wenigen Fällen, in denen projektbedingt erhöhte Wasserstände auftraten, haben sich die festgelegten Abläufe bewährt. Die angewendete Messmethodik und die Schwellenwerte ermöglichen eine differenzierte und der jeweiligen Situation angepasste Entscheidung für einen Bekämpfungseinsatz.

Bti zur Stechmückenbekämpfung ist auch gemäss neuem Forschungsstand das für die Umwelt am wenigsten schädliche Mittel. Die in der Zwischenzeit hinzugekommenen wissenschaftlichen Erkenntnisse deuten aber darauf hin, dass die negativen Folgen für das jeweilige Ökosystem insbesondere bei regelmässiger Anwendung weitreichender sind, als bislang angenommen. Aus diesem Grund ist eher noch mehr Zurückhaltung geboten.

Es ist davon auszugehen, dass auch in Zukunft gehäuft extreme Sommer (trocken oder nass) auftreten werden. Die bisher angewendeten Schwellenwerte und Abläufe werden unter diesen Umständen weiterhin als sachgerecht und adäquat erachtet. Es wird daher empfohlen, die nächsten zehn Jahre mit der gleichen Vorgehensweise und unveränderten Schwellenwerten weiterzufahren.

7 Literaturverzeichnis

- Allgeier S., Frombold B., Mingo V., Brühl C.** (2018): *European common frog Rana temporaria (Anura: Ranidae) larvae show subcellular responses under field-relevant Bacillus thuringiensis var. israelensis (Bti) exposure levels.* Environmental Research 162. 271–279
- Allgeier S., Friedrich A., Brühl C.** (2019): *Mosquito control based on Bacillus thuringiensis israelensis (Bti) interrupts artificial wetland food chains.* Science of the Total Environment 686. 1173–1184
- ARGE Thurmündung 2000** (2000): *Hochwasserschutz und Auenlandschaft Thurmündung. Hydrologische Grundlagen.* Baudirektion Kanton Zürich. 47 S.
- AXPO (2015): Kraftwerk Eglisau-Glattfelden AG Stauraum Eglisau / Thurmündung. Gewässervermessung 2015 - Thurbaggerung 2016. Vorprojekt. 40 S.**
- BAFU** (2009): *Das Grundwasser konsequent schützen.* Bundesamt für Umwelt. Bern. 16 S.
- Bassetti S.** (2009): «Neue» Infektionskrankheiten in der Schweiz durch den Klimawandel. Schweiz Med Forum. 9(50). 905-910.
- Boisvert M., Boisvert J.** (2000): *Effects of Bacillus thuringiensis var. israelensis on Target and Nontarget organisms: a Review of Laboratory and Field Experiments.* Biocontrol Science and Technology. 10. 517-561.
- Brust R. A.** (1980): *Dispersal behavior fo adult Aedes sticticus and Aedes vexans (Diptera: Culicidae) in Manitoba.* Canadian Entomology. 112. 31-42.
- Dr. von Moos AG** (2009-2011): *Hochwasserschutz Thurmündung. Grundwasserüberwachung. Messberichte 2007-2011.* 4 Dokumente zuhanden AWEL. Berichtnr. 8368, 8368-2, 9399-1, 9399-2.
- Dr. von Moos AG** (2022): *Hochwasserschutz Thurmündung: Grundwasserüberwachung. Messberichte 2021.* Auftraggeber AWEL. Berichtnr. 13125-2.
- Guidi V., Patocchi N., Lüthy P., Tonolla M.** (2011): *Distribution of Bacillus thuringiensis subsp. israelensis in Soil of a Swiss Wetland Reserve after 22 Years of Mosquito Control,* Applied and environmental microbiology, 77(11): 3663-3668.
- Guidi V., De Respinis S., Benagli C., Lüthy P., Tonolla M.** (2010): *A real-time PCR method to quantify spores carrying the Bacillus thuringiensis var. israelensis cry4Aa and cry4Ba genes in soil.* Journal of Applied Microbiology. 9 S.
- Ingenieurbüro Robert Bänziger** (2012): *Bachlauf, Situation 1:2'000.* Plandarstellung der Vermessung 2012.
- Kless U.** (2003): *Stechmücken am Bodensee. Lebensweise, Flugverhalten, Prognose 2003 und Schutz vor Stichen.* Arbeitsgruppe Bodenseeufer AGBU. 4 S.
- Kuhn R.** (2002): *Colonisation of the floodwater mosquito Aedes vexans (Meigen) (Diptera: Culicidae).* European Mosquito Bulletin 12. 7-16.
- Lundström, Schäfer** (2021) abstract 10th EMCA conference, Wien.
- Lüthy P.** (2012): *Beurteilung der Stechmückensituation nach Hochwasser von Thur und Rhein.* Im Auftrag des AWEL. Unveröffentlichter Bericht. 2 S.

- Lüthy P.** (2010): *Stechmückenüberwachung im Rahmen des Projektes «Auenrevitalisierung und Hochwasserschutz Thurmündung»*. 3. Zwischenbericht. Im Auftrag des AWEL. Unveröffentlicht. 4 S.
- Lüthy P.** (2009): *Stechmückenüberwachung im Rahmen des Projektes «Auenrevitalisierung und Hochwasserschutz Thurmündung»*. 2. Zwischenbericht. Im Auftrag des AWEL. Unveröffentlicht. 2 S.
- Lüthy P.** (2008): *Stechmückenüberwachung im Rahmen des Projektes «Auenrevitalisierung und Hochwasserschutz Thurmündung»*. 1. Zwischenbericht. Im Auftrag des AWEL. Unveröffentlicht. 6 S.
- Mathis A.** (2015): Thurauen: *Kurzbericht Überwachung adulter Mücken 2015*. Institut für Parasitologie, Universität Zürich. 7 S
- Mathis A.** (2016): Thurauen: *Kurzbericht Überwachung adulter Mücken 2016*. Institut für Parasitologie, Universität Zürich. 9 S.
- Mathis A.** (2017): Thurauen: *Kurzbericht Überwachung adulter Mücken 2017*. Institut für Parasitologie, Universität Zürich. 10 S.
- Mathis A.** (2018): Thurauen: *Kurzbericht Überwachung adulter Mücken 2018*. Institut für Parasitologie, Universität Zürich. 7 S.
- Mathis A.** (2019): Thurauen: *Kurzbericht Überwachung adulter Mücken 2019*. Institut für Parasitologie, Universität Zürich. 7 S.
- Mathis A.** (2020): Thurauen: *Kurzbericht Überwachung adulter Mücken 2020*. Institut für Parasitologie, Universität Zürich. 7 S.
- Mathis A.** (2021): Thurauen: *Kurzbericht Überwachung adulter Mücken 2021*. Institut für Parasitologie, Universität Zürich. 7 S.
- Mathis A.** (2022): Thurauen: *Kurzbericht Überwachung adulter Mücken 2022*. Institut für Parasitologie, Universität Zürich. 8 S.
- Meier Ch.** (2012): *Zusammenfassung über die Toxizität von B.t.i.* Arbeitsdokument. Im Auftrag des ALN. Unveröffentlicht. 4. S.
- Poulin B. et al.** (2010): *Red flag for green spray: adverse trophic effects of Bti on breeding birds*. Journal of Applied Ecology, 47: 884–889
- Poulin B.** (2012): *Indirect effects of bioinsecticides on the nontarget fauna: The Camargue experiment calls for future research*. Acta Oecologica 44: 28-32
- R Core Team** (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Wien. URL <https://www.R-project.org>.
- Read N. R., Moon R. D.** (1996): *Simulation of development and survival of Aedes vexans (Diptera: Culicidae) larvae and pupae*. Environ. Entomology. 25. 1113-1121.
- Schäfer M. L., Lundström J. O.** (2006): *Different responses of two floodwater mosquito species, Aedes vexans and Ochlerotatus sticticus (Diptera: Culicidae), to larval habitat drying*. Journal of Vector Ecology. Vol. 31. No. 1. 123-128.
- Sudaric Bogojevic M., Merdic E., Bogdanovic T.** (2011): *The flight distance of floodwater mosquitoes (Aedes vexans, Ochlerotatus sticticus and Ochlerotatus caspius) in Osijek, Eastern Croatia*. Biologia. 66/4. 678-683.

Theissinger, K. et al. (2020) *Using DNA metabarcoding for assessing chironomid diversity and community change in mosquito controlled temporary wetlands.* (vol 2, pg e21060, 2020). *Metabarcoding and Metagenomics* 4, 149-150, doi:10.3897/mbmg.4.60854.

Tilquin M., Paris M., Reynaud S., Despres L., Ravanel P, Geremia R.A., Gury J. (2008): *Long Lasting Persistence of Bacillus thuringiensis Subsp. israelensis (B.t.i.) in Mosquito Natural Habitats,* Plos one 3(10) 3432: 1-10.

Tonolla M., Guidi V. (2017): *Analysis of the Dynamic and Persistence of Bacillus thuringiensis israelensis Spores in the Soil of the Natural Reserve of the Thurauen.* SUPSI. 6 S.

Trpis M., Shemanchuk J. A. (1970): *Effect of constant temperature on the larval development of Aedes vexans (Diptera: Culicidae).* Can. Entomology. 102. 1048-1051.

Wolfram, G. & Wenzlund, P. (2018): *Gelsenregulierung mittels Bacillus thuringiensis israelensis (BTI). Eine Bewertung aus gewässerökologischer Sicht.* DWS Hydro-Ökologie GmbH, Wien.

www.culinex.de: Webseite der Culinex Becker GmbH.

www.icybac.de: Webseite von ICYBAC GmbH, zu 100% eine Tochter der KABS e.V. (Kommunale Aktionsgemeinschaft zur biologischen Stechmückenbekämpfung). Ludwigstr. 99. 67165 Waldsee/Pfalz.

ANHANG



Tabelle 1: NTO, die gemäss BOISVERT & BOISVERT durch Bti beeinträchtigt werden können. Aus MEIER 2012 Auszug aus BOISVERT & BOISVERT 2000, ergänzt durch ALLGEIER ET AL (2018), ALLGEIER ET AL. 2019. Die Studien teilweise im Labor oder ansonsten im Feld durchgeführt. Feldstudien fanden meist jedoch in Gebieten mit häufigen Bit-Anwendungen statt, was trotz Einhaltung der empfohlenen Dosierung zu negativen Effekten führen kann.

(a) 0 = empf. Hersteller-Dosis + = Überdosis (mehr als empfohlen)

(b) Anzahl Studien, die einen beeinträchtigenden direkten oder indirekten Effekt auf NTO fanden.

Gattung	Organismus	Dosierung ^(a)	Kein Effekt ^(b)	Negativer Effekt ^(b)
Gastropoda	<i>Ancylidae</i>	0	1	1
Gastropoda	<i>Burnupia sp.</i>	0	1	1
Gastropoda	<i>Burnupia sp.</i>	+	1	1
ANNELIDA	<i>Oligochaeta</i>	0	2	0
ANNELIDA	<i>Oligochaeta</i>	+	1	1
CRUSTACEA	<i>Daphnia magna</i>	0	1	0
CRUSTACEA	<i>Daphnia magna</i>	+	1	1
CRUSTACEA	<i>Cyclopidae</i>	0	2	0
CRUSTACEA	<i>Cyclopidae</i>	+	4	2
Ephemeroptera	<i>Trycorythidae</i>	0	3	0
Ephemeroptera	<i>Trycorythidae</i>	+	0	1
Ephemeroptera	<i>Baetidae</i>	0	12	2
Ephemeroptera	<i>Baetidae</i>	+	10	0
Ephemeroptera	<i>Heptageniidae</i>	0	9	1
Ephemeroptera	<i>Heptageniidae</i>	+	1	1
Hemiptera	<i>Notonectidae</i>	0	2	0
Hemiptera	<i>Notonectidae</i>	+	9	2
Lepidoptera	<i>Heliothinae, Plusiinae, Pyralidae</i>	0	2	1
Lepidoptera	<i>Heliothinae, Plusiinae, Pyralidae</i>	+	1	3
Odonata		0	11	0
Odonata		+	24	0
Plecoptera		0	8	3
Plecoptera		+	6	2
Trichoptera		0	34	7
Trichoptera		+	14	2
Diptera	<i>Blephariceridae</i>	0	1	0
Diptera	<i>Blephariceridae</i>	+	0	2
Diptera	<i>Ceratopogonidae</i>	0	2	0
Diptera	<i>Ceratopogonidae</i>	+	3	2
Diptera	<i>Chironomidae</i>	0	12	12
Diptera	<i>Chironomidae</i>	+	5	25
Diptera	<i>Orthoclaadiinae</i>	0	9	1
Diptera	<i>Orthoclaadiinae</i>	+	4	2
Diptera	<i>Culicidae</i>	0	0	10
Diptera	<i>Dixidae</i>	0	1	0
Diptera	<i>Dixidae</i>	+	1	1
Diptera	<i>Muscidae</i>	0	1	1
Diptera	<i>Muscidae</i>	+	1	1
Diptera	<i>Sciaridae</i>	0	0	1
Diptera	<i>Sciaridae</i>	+	0	1
Diptera	<i>Simuliidae</i>	0	0	11
Diptera	<i>Simuliidae</i>	+	0	4
Diptera	<i>Tephritidae</i>	+	0	1
Diptera	<i>Tipulidae</i>	0	2	0
Diptera	<i>Tipulidae</i>	+	1	2

Gattung	Organismus	Dosierung ^(a)	Kein Effekt ^(b)	Negativer Effekt ^(b)
Pisces	<i>Tilapia nilotica</i>	0	1	0
Pisces	<i>Tilapia nilotica</i>	+	0	1
Pisces	<i>Pimephales promelas</i>	0	1	0
Pisces	<i>Pimephales promelas</i>	+	0	1
Pisces	<i>Pseudomugil signifer</i>	+	0	1
Pisces	Salmonidae	0	6	0
Pisces	Salmonidae	+	0	4
Amphibia	Ranidae	0	0	1
Amphibia	Salamandridae	0	0	1
CHLOROPHYTA	<i>Chlorella sp.</i> , <i>Closterium sp.</i>	0	0	2
Total			211	120
Total bei empfohlener Hersteller-Dosis			124	56