

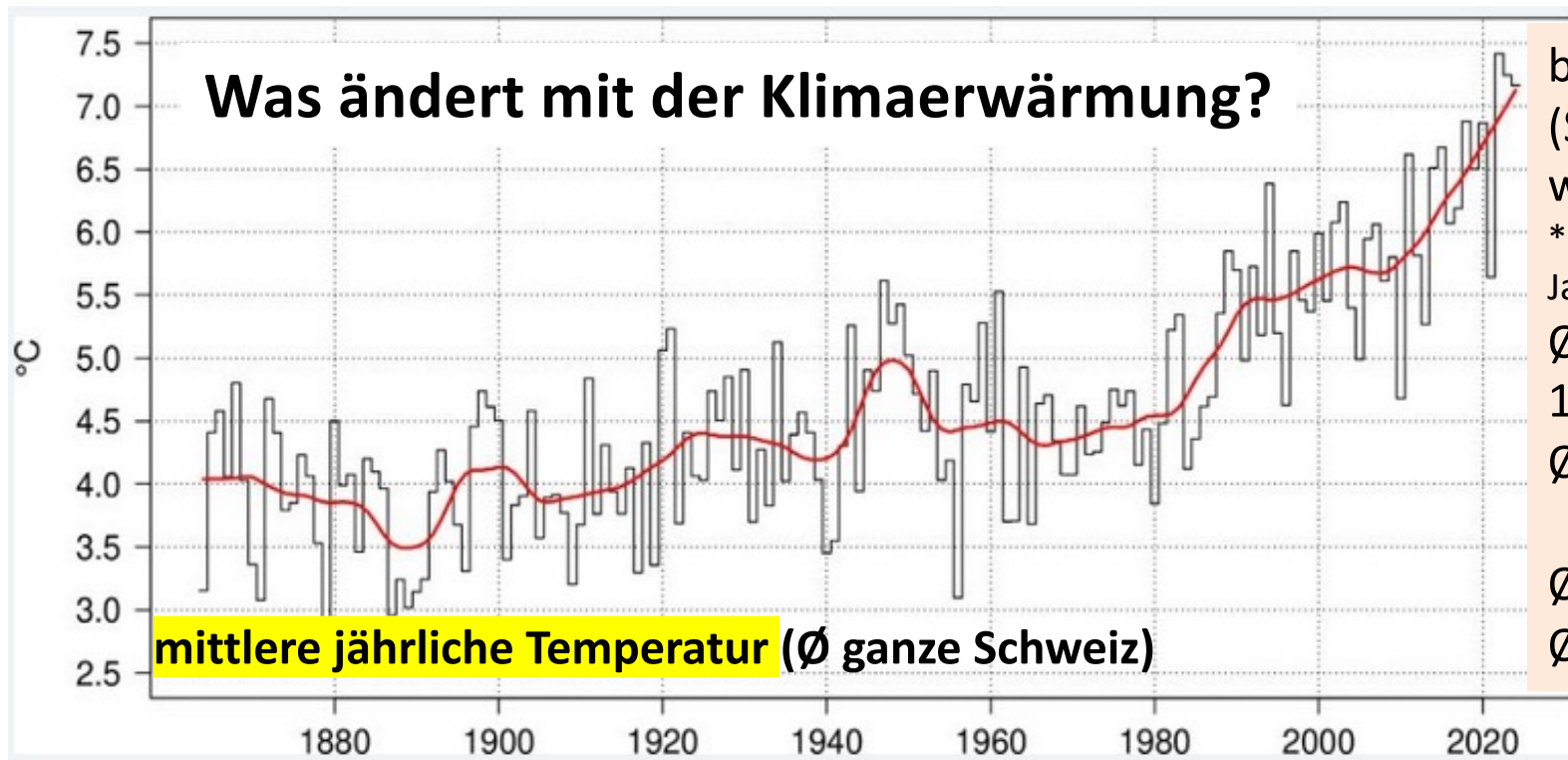
Klimaerwärmung - was bedeutet sie für das Grund- und Trinkwasser?



von Dr. Hans Maurer, Zürich

Bild: Siebenbrünnen,
Wikipedia

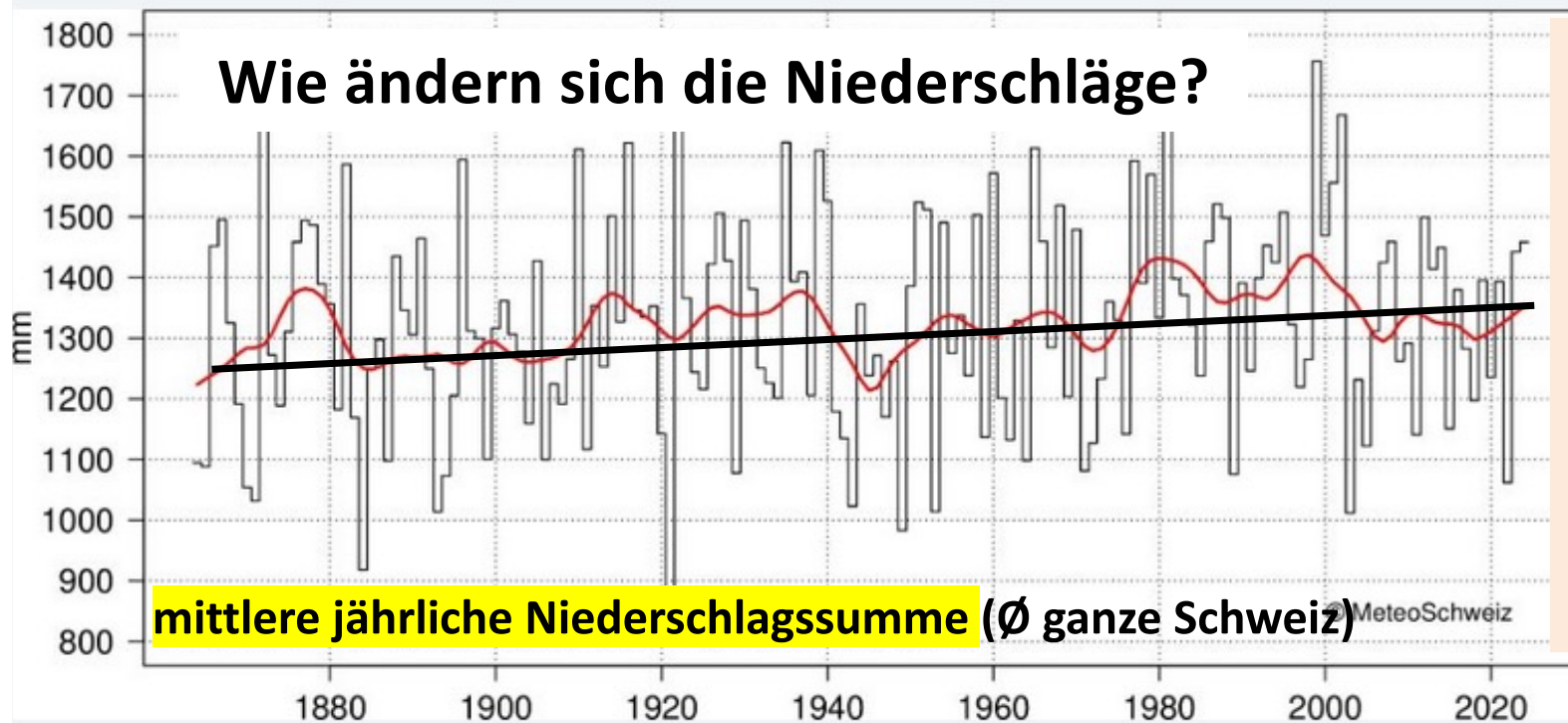
Was ändert mit der Klimaerwärmung?



bis 2100: + 3°C
(Szenario RCP* 8.5 = weiter wie bisher)
* CO₂-Gehalt steigt bis zum Jahr 2300 von 0.04 auf 0.2%
Ø Zürich heute 11°C; 2100: 14°C ?
Ø Florenz heute: 15°C

Ø Zürich 2400: 20°C ?
Ø Kairo heute: 20°C

Wie ändern sich die Niederschläge?



1 Grad mehr → 7% höhere Luftfeuchtigkeit → mehr Niederschläge + häufigere Starkniederschläge

BAFU: In Zukunft mehr Regen im Winter, aber weniger im Sommer ??

Auswirkung 1: Ergiebigkeit von Grundwasservorkommen, Folgen für Trinkwasserversorgung (BAFU, 2014)

	Grundwasser (Lockergestein)			Quellen						Seen
	grosse Talschotter	Decken- oder Hang- schotter	Kluft- und Lockergestein				Karst			
			grosses Einzugsgebiet		kleines Einzugsgebiet					
			oG	mG	oG	oG	mG	oG	mG	
Jura	-		+	+		+		++		-
Mittelland	++	+	+	+	-	+		-		+
Alpen		++	+		+	++	+	-	+	-
Tessin	++	+	+	+	-	+		+		+

oG: Einzugsgebiet nicht vergletschert

mG: Einzugsgebiet teilweise vergletschert

Bedeutung der Ressource für die Wassergewinnung

- ++ Hauptwassergewinnung
- + wichtige Wassergewinnung
- untergeordnete, bzw. keine Bedeutung für Wassergewinnung
- ☐ nicht vorhanden

Erwartete mengenmässige Auswirkungen der Klimaänderung:

- ☒ negative, für die Wasserversorgung signifikante Auswirkungen zu erwarten (und Hauptwassergewinnungsart)
- ☐ negative, für die Wasserversorgung weniger relevante Auswirkungen zu erwarten
- ☐ negative Auswirkungen möglich
- ☐ negative Auswirkungen unwahrscheinlich

Auswirkung 2: Schwundrisse im Boden gefährden Grundwasserqualität

Im Sommer bewirken abnehmende Niederschläge und steigende Verdunstung, dass die Böden trockener werden. ➔ Dies führt zu Schwundrissen, die über 50 cm tief sein können. Zudem ziehen sich die Regenwürmer in die Tiefe zurück und schaffen bis zu zwei Meter tiefe Röhren gegen den Grundwasserleiter.

Probleme:

- Abbauprodukte von Pflanzenschutzmitteln und bakterielle Belastungen gelangen leichter ins Grund- und Trinkwasser.
- Dies wird noch gefördert durch häufigere Starkniederschläge.



Zulassungsverfahren Pflanzenschutzmittel rechnet nicht mit Schwundrisen und Starkniederschlägen

Im Zulassungsverfahren für Pflanzenschutzmittel (PSM) wird für die im Land vorherrschenden Böden und Jahresniederschläge der Eintrag von Abbauprodukten (Metaboliten) ins Grundwasser modelliert.

Metaboliten werden unterschieden in:

- relevante Metaboliten (cancerogen, genotoxisch oder reproduktionstoxisch) und
- nicht relevante Metaboliten (Stoffe ohne diese Eigenschaften).

Ergibt die Prognose für relevante Metaboliten $> 0.1 \mu\text{g/Liter}$: keine Zulassung

Trinkwasser mit relevanten Metaboliten $> 0.1 \mu\text{g/Liter}$ darf nicht abgegeben werden.

Probleme:

- Schwundrisse, Wurmlöcher & Starkniederschläge werden nicht berücksichtigt.
- Nicht relevante Metaboliten können sich bei vertiefter Prüfung als relevant erweisen (Bsp. Chlorothalonil)
- Situation ist unübersichtlich (PI Bregy würde das noch verschlimmern)



Auswirkung 3: Klimawandel gefährdet Biozönose des Grundwassers

In einem gesunden Grundwasservorkommen leben Tausende Bakterienarten (Bsp. Mahomet-Aquifer USA: 2'681) & Mikropilze sowie Hunderte Arten Makroorganismen («Grundwasserfauna»).

➔ Grundwasser muss als System gedacht werden, ähnlich wie das Mikrobiom im Darm.

Man spricht von Biozönose des Grundwassers. Sie ist sehr wichtig für die Selbstreinigung des Grundwassers und um pathogene Keime (Bakterien und Viren) zu unterdrücken.

Typische Makroorganismen:

(a) Gliederwurm (5 cm)

(b) Strudelwurm (7 mm)

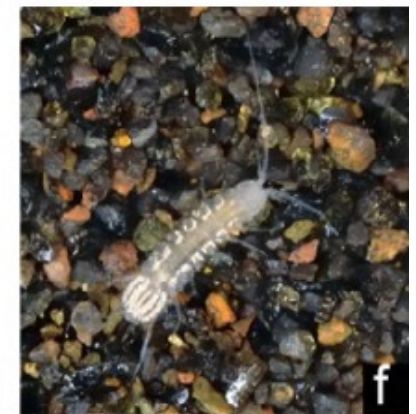
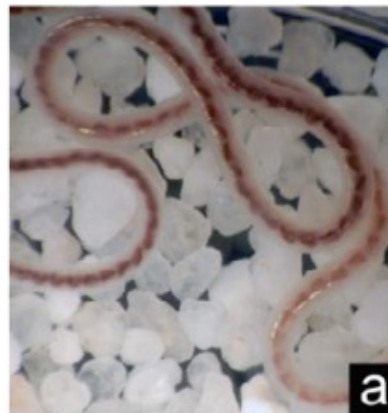
(c) Muschelkrebs (0,7 mm)

(d) Grundwasserflohkrebs (5 mm)

(e) Hüpferling (0,7 mm)

(f) Grundwasserassel (4 mm)

(Fotos: Michael Haggenmüller, Augsburg (a, c, e); Günter Teichmann (b, f) und Maria Avramov d), Helmholtz Zentrum München), Quelle: Meyer et al, S. 174)



Warum ist Biozönose im Grundwasser gefährdet?

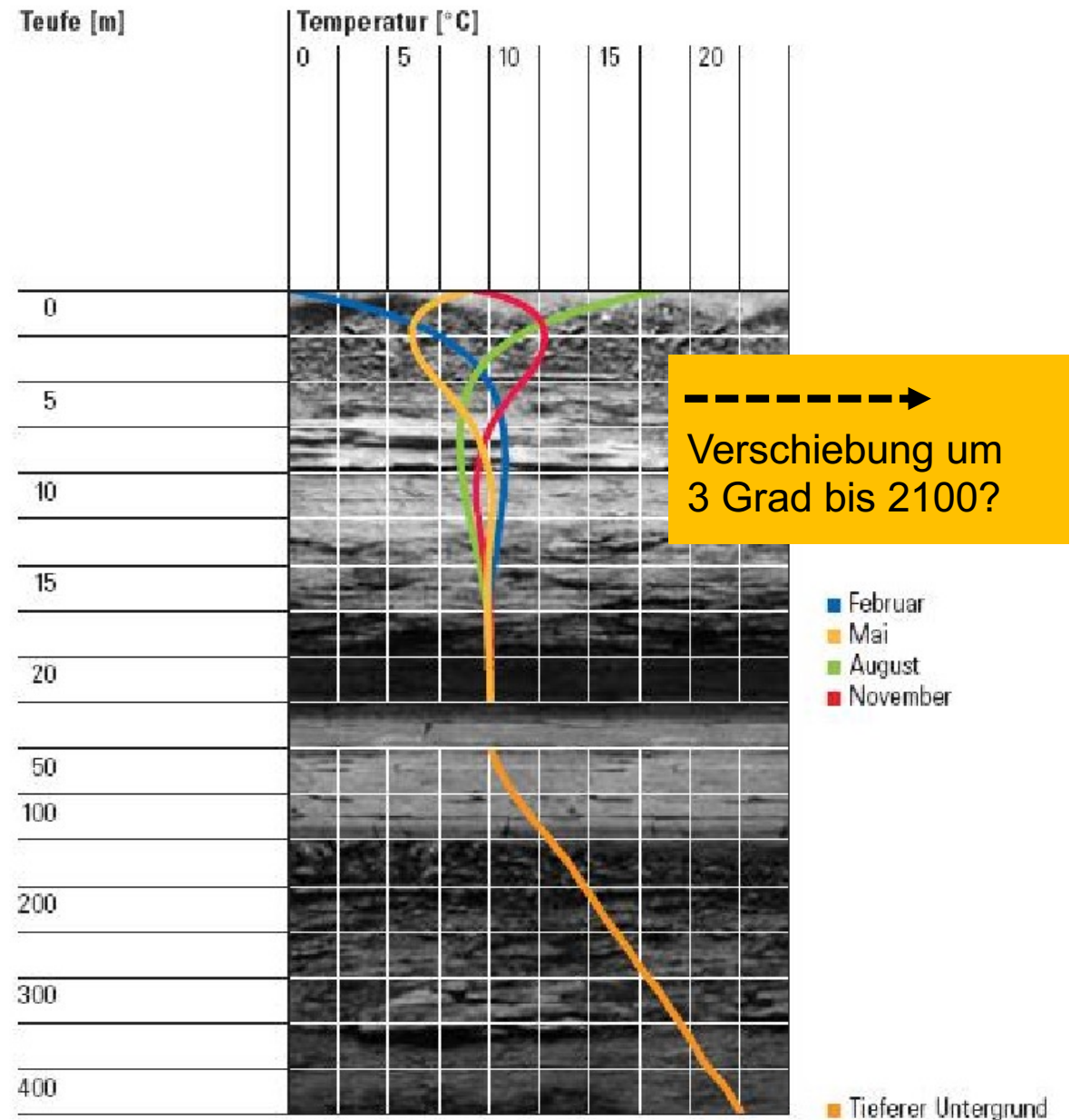
1. Temperatur des Grundwassers steigt → zunächst höhere Aktivität Biozönose (+ 3 °C ca. 30% mehr)

Aber:

- mit steigender Temperatur sinkt Sauerstoffgehalt (Lösungsgleichgewicht)
 - höhere Aktivität Biozönose braucht mehr Sauerstoff, weil die «guten» Bakterien und Pilze aerob sind → viele pathogene Keime überleben anaerob → Kollaps Biozönose & Selbstreinigungskraft
2. Eintrag von Pestiziden und anderen Umweltgiften («Schwundrisse») gefährdet Biozönose zusätzlich.

→ Höherer Aufwand & Kosten für Wasseraufbereitung, Gesundheitsrisiko

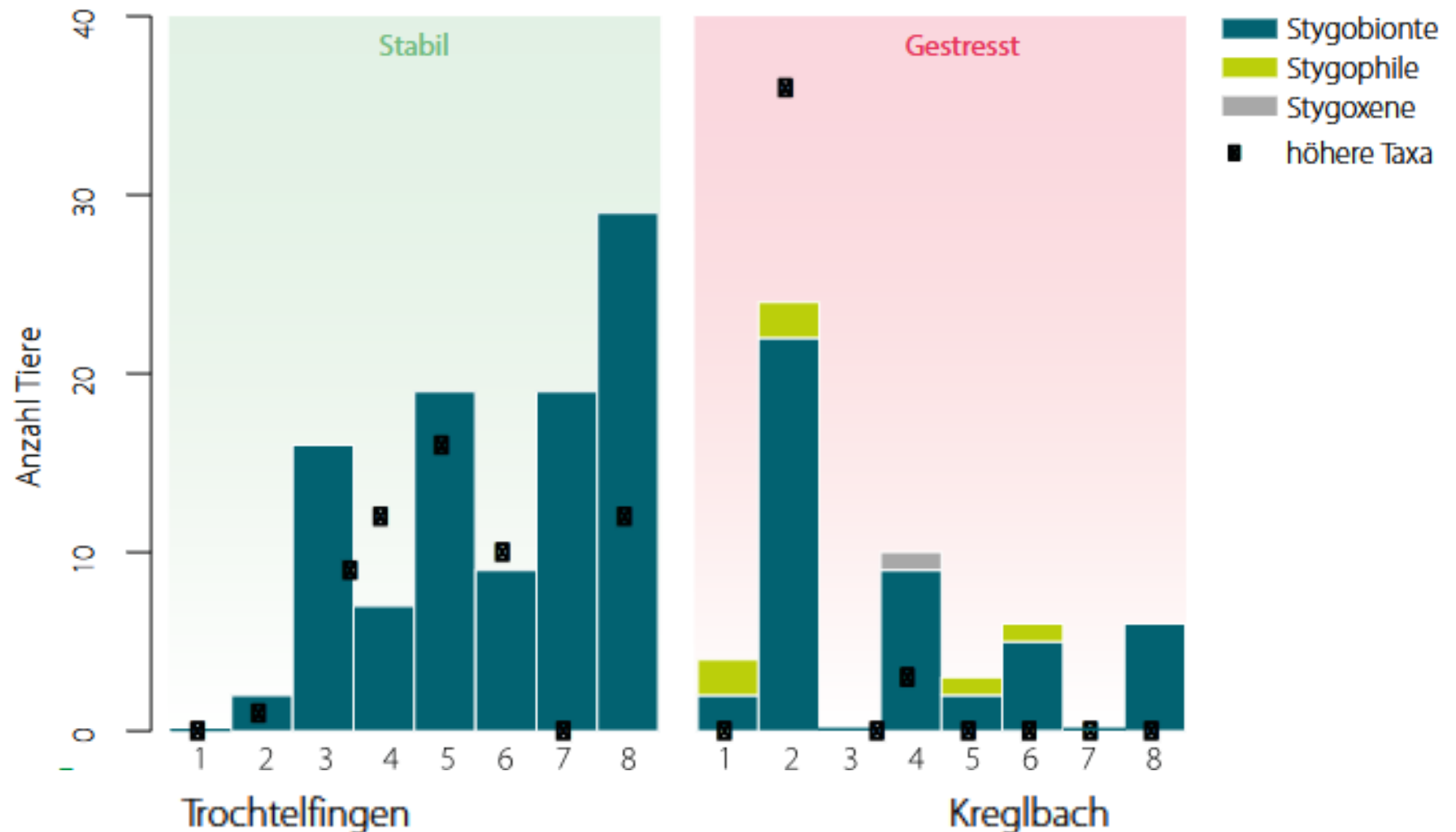
Temperaturdiagramm aus dem Inneren der Erde



Unterschiede in der faunistischen Artenzusammensetzung zwischen einem stabilen und einem gestressten Standort (Bsp. aus D)

(Meyer et al, S. 180)

1 bis 8: acht Messungen über acht Jahre. → viel weniger echte Grundwasserorganismen (Stygobionten) am gestressten Standort.

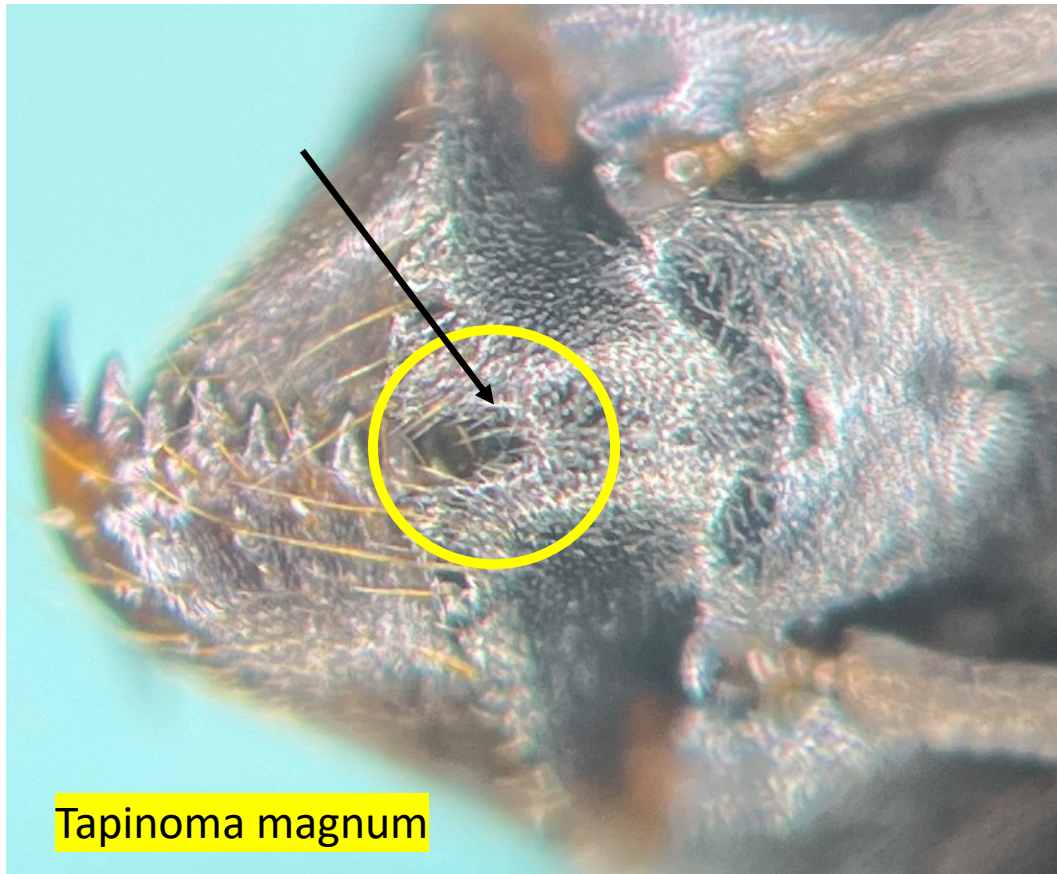


Auswirkung 4: komplexe Zusammenhänge

Durch wärmeres Klima können invasive Neobiota aus wärmeren Erdteilen bei uns gedeihen.

Neobiota können selbst einwandern (Bsp. Japankäfer im Tessin), mit dem Verkehr verschleppt werden oder als blinde Passagiere auf Zugvögeln zu uns gelangen (Bsp. Afrika-Zecke Hyalomma).

Das wärmere Klima ermöglicht, Pflanzen aus dem Süden in der Schweiz zu halten. Mit dem Import gelangen weitere Neobiota als blinde Passagiere in die Schweiz (Bsp. *Tapinoma magnum*).



Tapinoma magnum



Japankäfer

Bekämpfung von Neobiota mit Insektiziden gefährdet Grundwasser

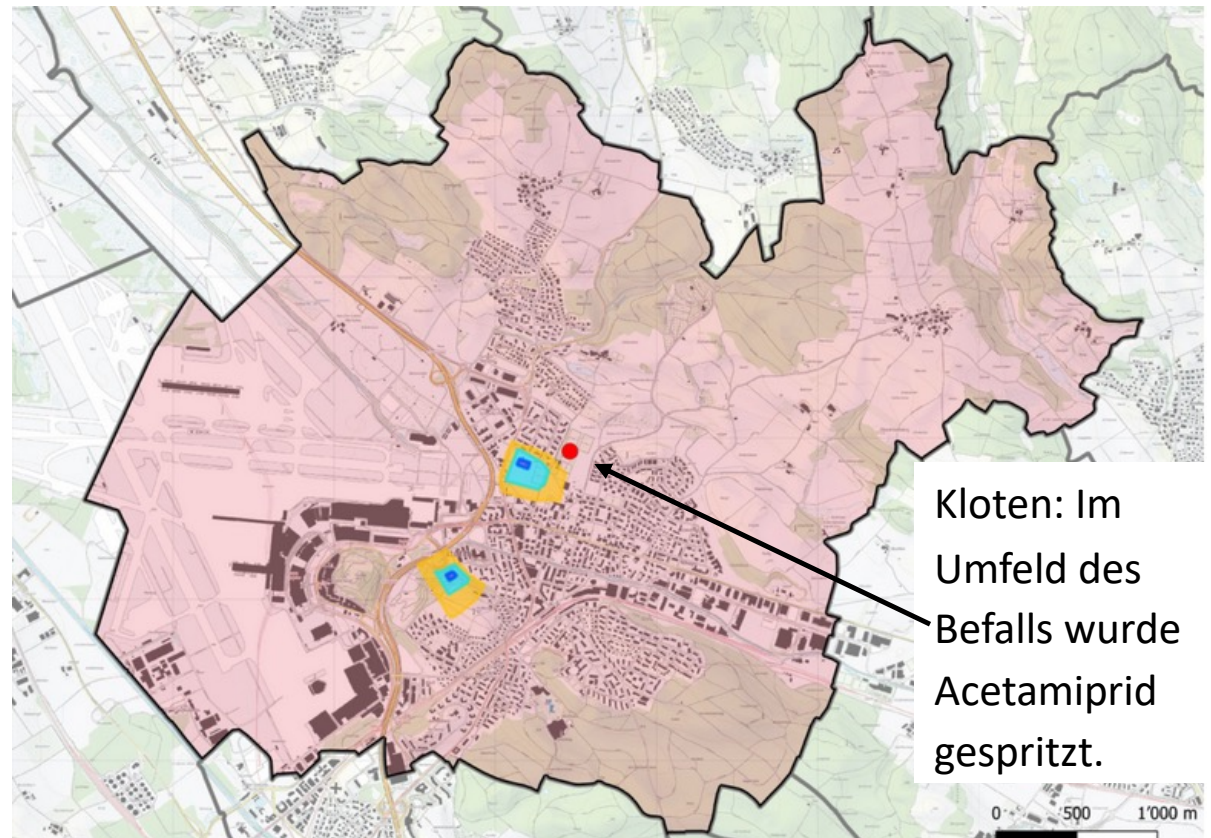
Landwirte und Behörden bekämpfen Neobiota reflexartig mit Insektiziden.

Neu soll sogar der Wald für Insektizide geöffnet werden, die in der Landwirtschaft schon längst verboten sind (geplante Änderung ChemRRV, Vernehmlassung beendet am 8. Mai 2025).

Praktisch alle Insektizide bilden grundwassergängige, oft relevante Metaboliten. Ihre Löslichkeit liegt zudem 100 oder 1000fach über der Toxizitätsschwelle für Grundwassertierchen.

Auf Grundwasserschutzbereiche und sogar auf Schutzzonen wird keine Rücksicht genommen.

Erforschung alternativer Methoden & Stärkung der Resilienz des Ökosystems lässt auf sich warten.



Hyalomma Marginatum «Afrika-Zecke»

Blick

7.5.24

Sie kann bis 9 Meter weit sehen und jagt ihre Beute aktiv

Das macht die Riesenzecke so gruselig

Mit dem Klimawandel dürfte sich die Zecke weiter ausbreiten.

Es wird zudem die Saison für viele weitere Ektoparasiten verlängert.



Auch Veterinärmedizin hat ein Problem: Bekämpfung von Ektoparasiten

Auch Ektoparasiten werden durch den Klimawandel gefördert. → Probleme bei Hunden, Katzen, aber auch Rindern, Schafen, Ziegen oder Pferden

Insbesondere die spot-on Ektoparasitenmittel mit Fipronil, Imidacloprid und synthetischen Pyrethroiden (Permethrin, Deltamethrin etc.) sind extrem gewässerschädlich.

Interpellation (24.3899) von Ständerat Jakob Stark

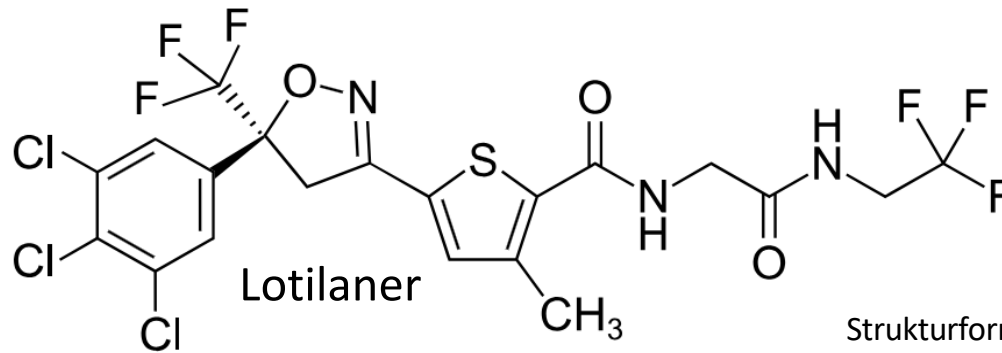
Immerhin gibt es für Hunde (teils Katzen) Gewässer schonende Methoden:

- Kokosöl
- Insektizide auf Isoxazolin-Basis

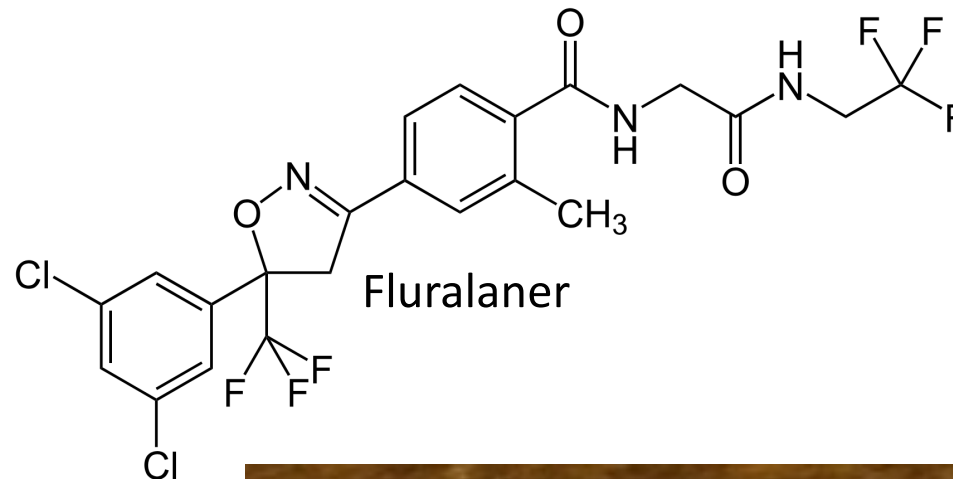


Ektoparasitenmittel auf Basis Isoxazolin-Basis (N-O-Ring)

- Verabreichung oral, als Tablette, alle 3 Monate
- Wirkt 3 Monat oder länger
- Gut verträglich (CliniPharm/CliniTox UZH)
- Wird zu > 90 % mit dem Kot ausgeschieden → Robidog → KVA



Strukturformeln: Wikipedia



Wichtige Forderungen für Verbesserung des Grundwasserschutzes unter dem Klimawandel

- Das Zulassungsverfahren für Pflanzenschutzmittel sollte im Hinblick auf die Austrocknung von Böden im Sommer und häufigere Starkniederschläge verbessert werden. Tatsächlich geschieht gerade das Gegenteil: Ein politischer Vorstoss der Landwirtschaftslobby will das Landwirtschaftsgesetz derart ändern (PI Bregy, 22.441), dass Pflanzenschutzmittel aus den Nachbarländern, Holland und Belgien ohne relevante Umwelt und Gesundheitsprüfung in der Schweiz verkauft werden können.
- Für (Tier-)arzneimittel sollte eine Umweltprüfung eingeführt werden (Anpassung Heilmittelgesetz). Bereits zugelassene Tierarzneimittel sollten im Hinblick auf ihre Klimatauglichkeit hin (vermehrter Einsatz gegen Ektoparasiten) überprüft werden.
- Beim Einsatz von Biozidprodukten gegen invasive Neobiota sollten der Schutz des Grundwassers standardmässig geprüft und giftfreie Alternativen angewendet werden.

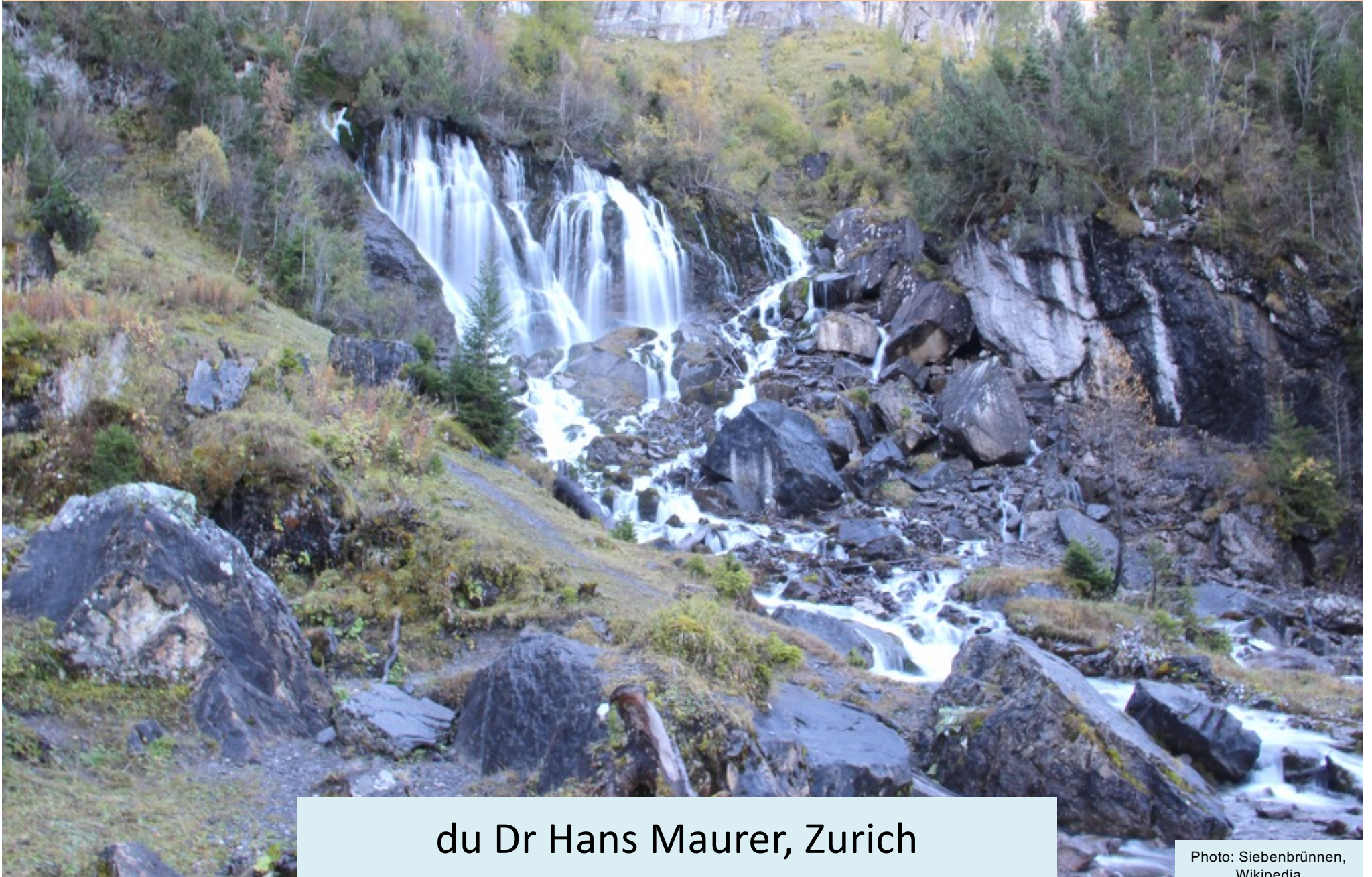


Gifteinsatz gegen den Japankäfer in Kloten. Quelle: Taddeo Cerletti, 20min



Danke für Ihr Interesse!

Réchauffement climatique - que signifie-t-il pour la nappe phréatique et l'eau potable?

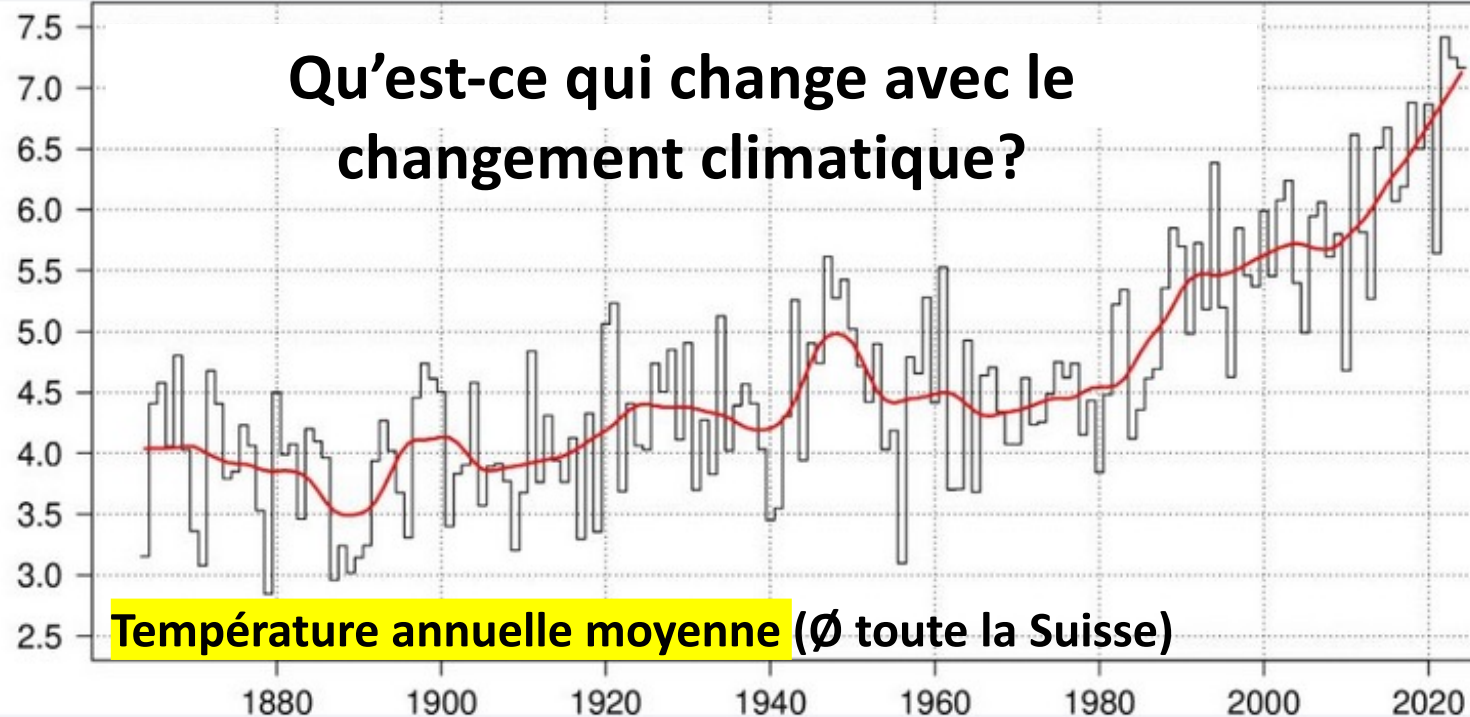


du Dr Hans Maurer, Zurich

Photo: Siebenbrünnen,
Wikipedia

Qu'est-ce qui change avec le changement climatique?

°C



Jusqu'en 2100: + 3°C
(scénario RCP 8,5 =
comme jusqu'ici)

Ø Zurich aujourd'hui
11°C; en 2100: 14°C

Ø Florence
aujourd'hui: 15°C

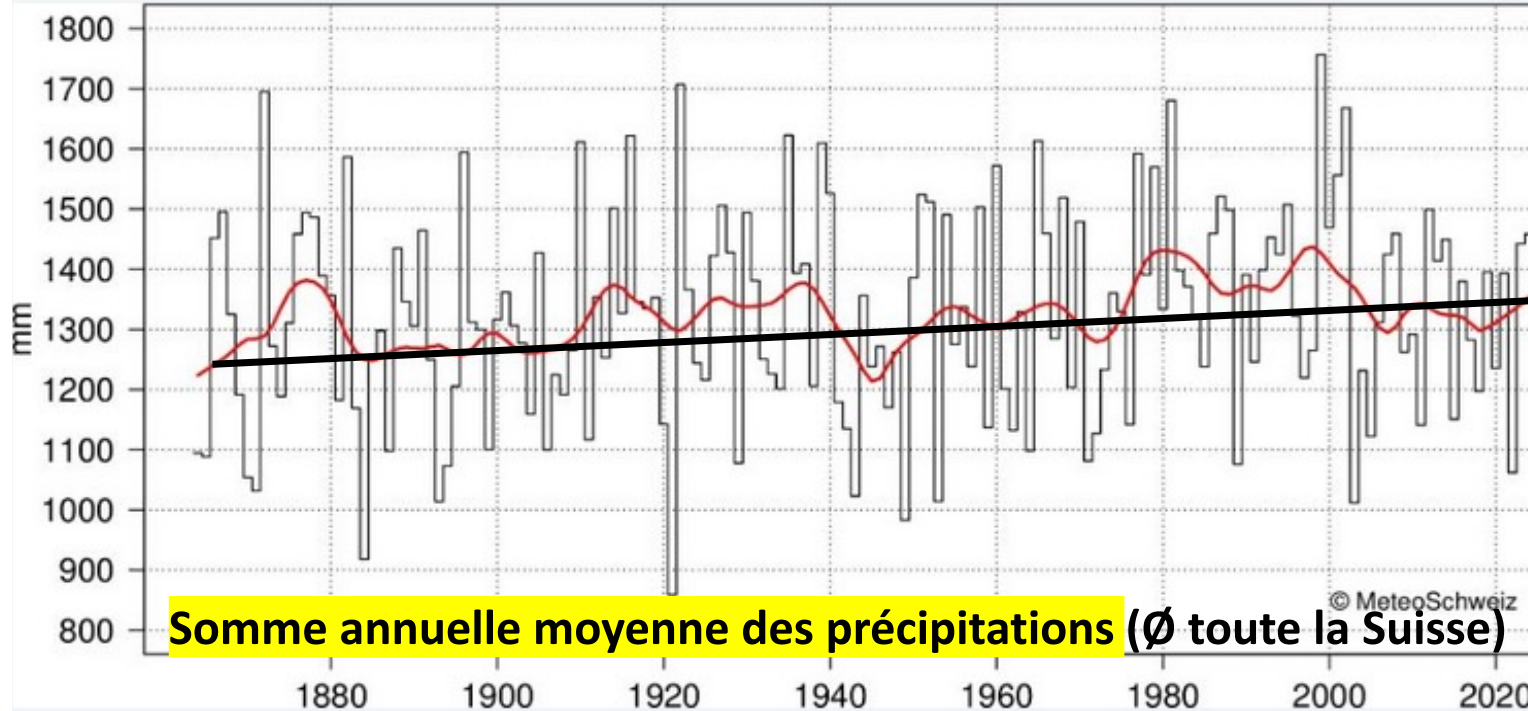
Ø Zurich en 2400:
20°C?

Ø Le Caire

1 degré de plus → 7%
d'hygrométrie → en
plus

Précipitations +
fortes précipitations
plus fréquentes

OFEV: à l'avenir plus
de pluie en hiver
mais moins en été??



Impact 1: abondance des eaux souterraines (OFEV, 2014)

	Grundwasser (Lockergestein)			Quellen						Seen
	grosse Talschotter		Decken- oder Hang- schotter	Kluft- und Lockergestein				Karst		
				grosses Einzugsgebiet		kleines Einzugsgebiet				
	oG	mG	oG	oG	mG	oG	mG	oG	mG	
Jura	-		+	+		+		++		-
Mittelland	++	+	+	+	-	+		-		+
Alpen		++	+		+	++	+	-	+	-
Tessin	++	+	+	+	-	+		+		+

oG: Einzugsgebiet nicht vergletschert

mG: Einzugsgebiet teilweise vergletschert

Bedeutung der Ressource für die Wassergewinnung

- ++ Hauptwassergewinnung
- + wichtige Wassergewinnung
- untergeordnete, bzw. keine Bedeutung für Wassergewinnung
- ☐ nicht vorhanden

Erwartete mengenmässige Auswirkungen der Klimaänderung:

- ☒ negative, für die Wasserversorgung signifikante Auswirkungen zu erwarten (und Hauptwassergewinnungsart)
- ☑ negative, für die Wasserversorgung weniger relevante Auswirkungen zu erwarten
- ☐ negative Auswirkungen möglich
- ☑ negative Auswirkungen unwahrscheinlich

Impact 2: des fissures dans le sol mettent la qualité des eaux souterraines en péril

En été, les précipitations en baisse et l'évaporation accrue font que les sols deviennent plus secs. ➔ Ceci conduit à des fissures pouvant atteindre une profondeur de plus de 50 cm. De plus, les vers de terre se retirent en profondeur et créent des galeries - pouvant avoir une profondeur de deux mètres - contre l'aquifère.

Problème:

- Les produits de dégradation des produits phytosanitaires et les charges bactériennes parviennent plus facilement dans les eaux souterraines et l'eau potable.
- Ceci est encore plus stimulé par les fortes précipitations plus fréquentes.



Les procédures d'autorisation des produits phytosanitaires négligent les fissures et les fortes précipitations

Les apports de produits de dégradation (métabolites) dans les eaux souterraines sont modélisés lors de la procédure d'autorisation des produits phytosanitaires (PPh) pour les sols dominants dans le pays et les précipitations annuelles.

Les métabolites sont différenciés en:

- métabolites pertinents (cancérigènes, génotoxiques ou toxiques pour la reproduction) et
- métabolites non pertinents (substances sans ces propriétés).

Donne le pronostic pour les métabolites pertinents $> 0,1 \mu\text{g/litre}$: pas d'autorisation

L'eau potable avec des métabolites pertinents $> 0,1 \mu\text{g/litre}$ ne doit pas être distribuée.

Problème:

- Les fissures et les fortes précipitations ne sont pas prises en compte.
- Les métabolites non pertinents peuvent, lors d'un examen approfondi, s'avérer être pertinents (par ex. chlorothalonil)
- La situation manque de clarté (IP Bregy empirerait encore cela)



Photo: OFEV

Impact 3: le changement climatique met la biocénose des eaux souterraines en péril

Dans des eaux souterraines saines vivent des milliers de types de bactéries (par ex. le Mahomet-Aquifer aux États-Unis: 2681) & des microchampignons ainsi que des centaines de macro-organismes («faune des eaux souterraines»).

➔ Les eaux souterraines doivent être pensées en tant que système, comme le microbiome dans l'intestin.

On parle de biocénose des eaux souterraines. Elle est très importante pour l'autonettoyage des eaux souterraines et inhiber les germes pathogènes (bactéries et virus).

Macro-organismes typiques:

(a) Oligochètes (5 cm)

(b) Turbellaires (7 mm)

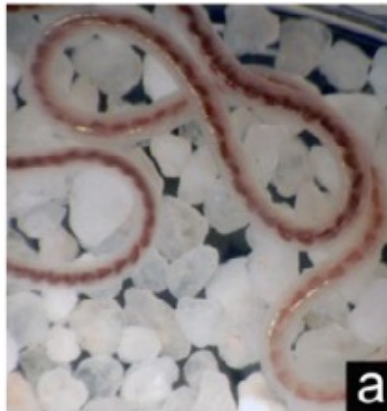
(c) Ostracodes (0,7 mm)

(d) Amphipodes des eaux souterraines (5 mm)

(e) Cyclops (0,7 mm)

(f) Aselles des eaux souterraines (4 mm)

(Photos: Michael Haggenmüller, Augsburg (a, c, e); Günter Teichmann (b, f) et Maria Avramov d), Centre Helmholtz Munich), source: Meyer et al, S. 174)



Pourquoi la biocénose est-elle mise en péril?

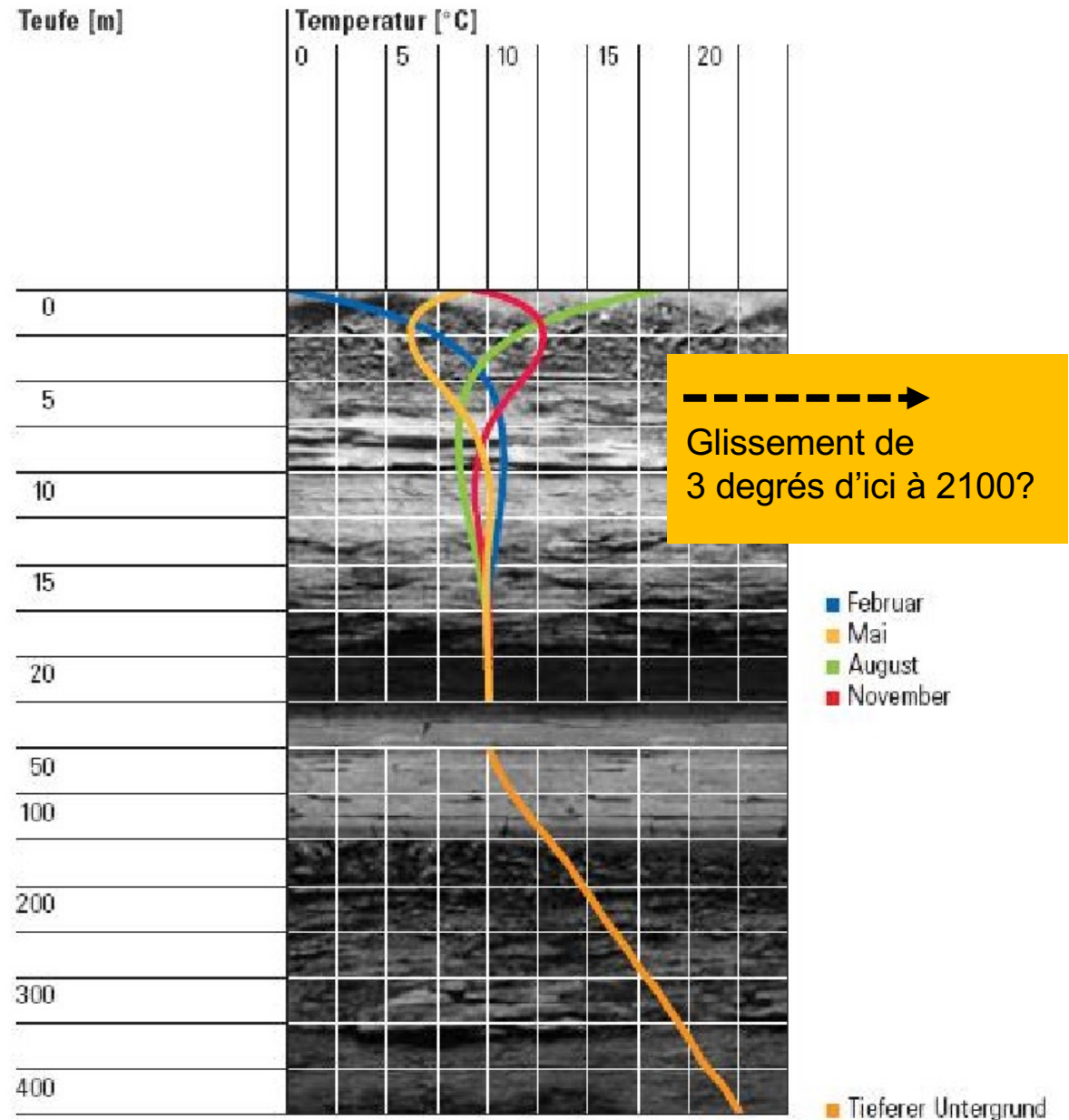
1. La température des eaux souterraines augmente → d'abord activité accrue de la biocénose (+ 3°C env. 30% en plus)

Mais:

- la hausse de la température va de pair avec une baisse de la teneur en oxygène (équilibre de solution)
 - plus d'activité dans la biocénose nécessite plus d'oxygène, car les «bonnes» bactéries et champignons sont aérobies → nombre de germes pathogènes survivent en anaérobie → effondrement de la biocénose & de la capacité d'autonettoyage
2. L'apport de pesticides et d'autres polluants environnementaux («fissures») mettent davantage la biocénose en péril.

→ Efforts & coûts accrus pour le traitement de l'eau, risque sanitaire

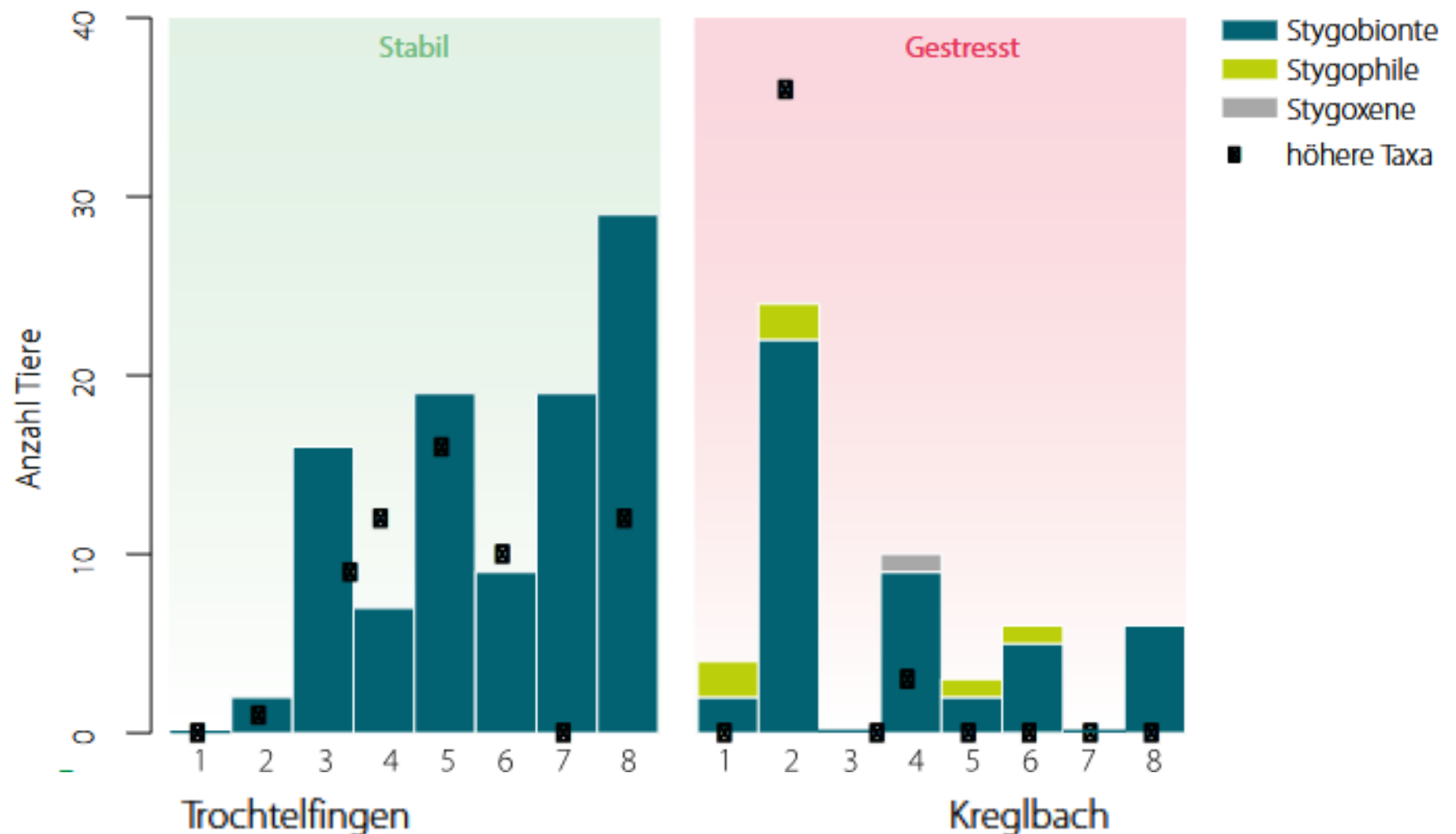
Diagramme de température à l'intérieur de la terre



Différences de la composition des espèces de la faune entre un site stable et un site stressé (ex. de l'All)

(Meyer et al, S. 180)

1 à 8: huit mesures sur huit ans. → beaucoup moins de vrais organismes des eaux souterraines (stygobiontes) au site stressé.

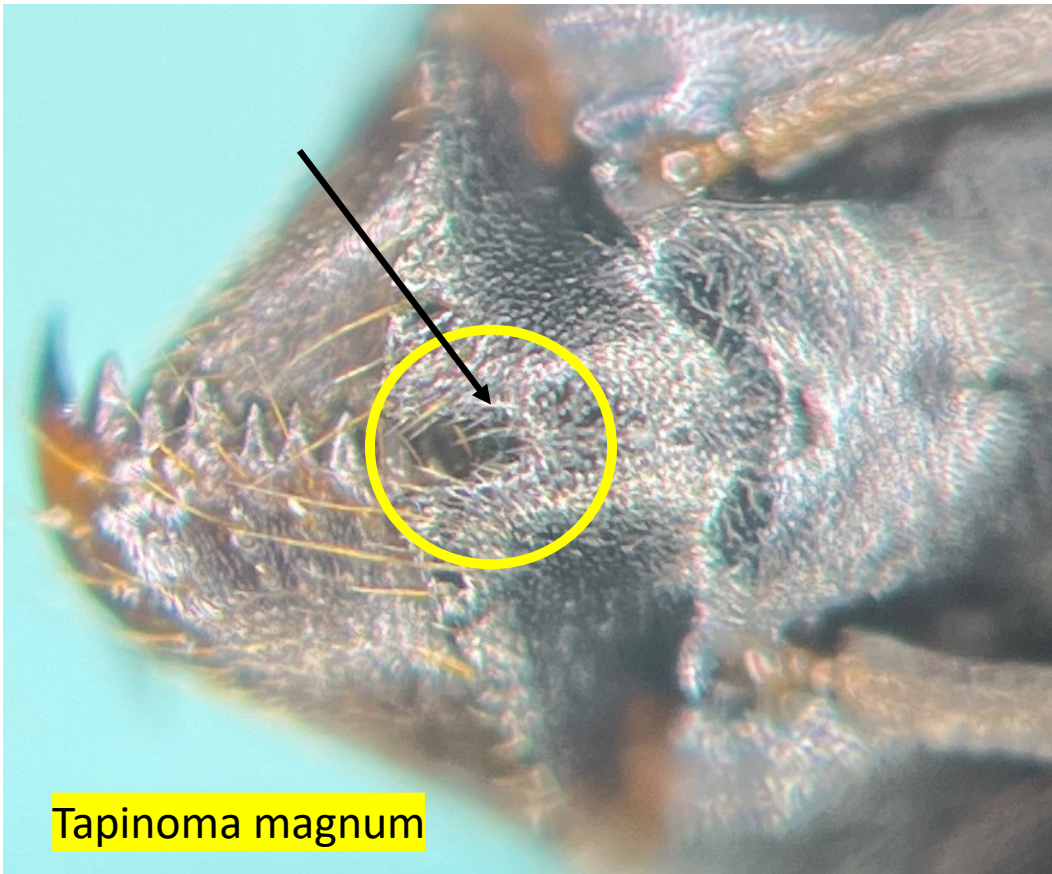


Impact 4: des relations complexes

Un climat plus chaud peut faire proliférer chez nous des néobiotes invasifs issus de zones plus chaudes de la planète.

Les néobiotes peuvent migrer eux-mêmes (par ex. le scarabée japonais dans le Tessin), être déplacés avec le trafic ou nous parvenir comme passagers clandestins sur des oiseaux migrateurs (ex. l'hyalomma, la tique d'Afrique).

Le climat plus chaud permet à des plantes du sud de tenir en Suisse. Avec les importations, d'autres néobiotes parviennent comme passagers clandestins en Suisse (ex. la *Tapinoma magnum*).



Tapinoma magnum



Scarabée du Japon

Hyalomma narginatum «la tique d'Afrique»

Blick

07/05/24

Sie kann bis 9 Meter weit sehen und jagt ihre Beute aktiv

Das macht die Riesenzecke so gruselig

Avec le changement climatique, la tique devrait continuer à se propager.

Cela va en outre prolonger la saison pour beaucoup d'autres ectoparasites.



La lutte contre les néobiotes avec des insecticides met les eaux souterraines en péril

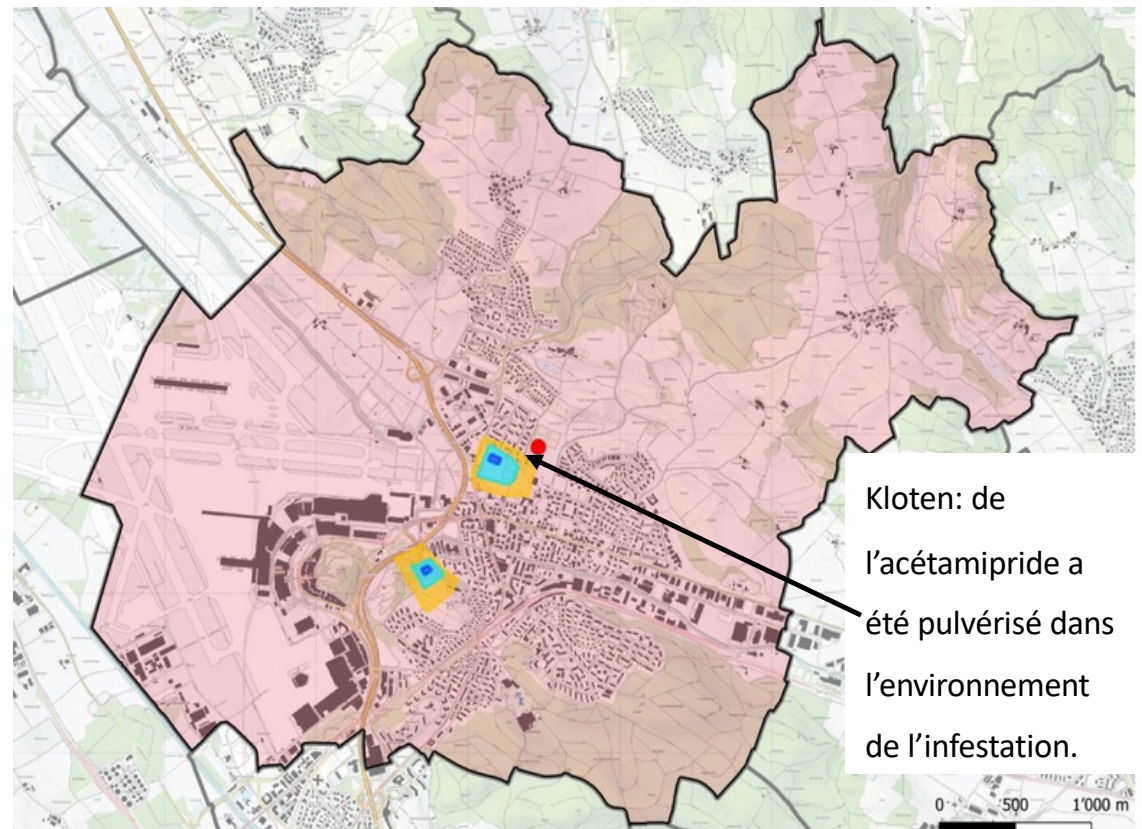
Les agriculteurs et autorités luttent par réflexe contre les néobiotes avec des insecticides.

La forêt doit même être désormais ouverte aux insecticides qui sont interdits depuis longtemps déjà dans l'agriculture (modification prévue de l'ORRChim, la procédure de consultation se termine le 8 mai 2025).

Pratiquement tous les insecticides forment des métabolites souvent pertinents, parvenant dans les eaux souterraines (c'est-à-dire: toxiques pour l'être humain). La solubilité des insecticides courants dépasse en outre de 100 ou 1000 fois le seuil de toxicité pour les petites bêtes des eaux souterraines.

Les zones de protection des eaux souterraines et les espaces protégés ne sont pas pris en considération.

L'exploration de méthodes alternatives & le renforcement de la résilience de l'écosystème se font attendre.



La médecine vétérinaire a aussi un problème: la lutte contre les ectoparasites

Les ectoparasites aussi sont favorisés par le changement climatique. → Problèmes chez les chiens, chats mais aussi bœufs, moutons, chèvres ou chevaux

Notamment les produits spot-on pour la lutte contre les ectoparasites contenant du fipronile, de l'imidaclopride et des pyréthrinoïdes synthétiques (perméthrine, deltaméthrine etc.) sont extrêmement nuisibles pour les eaux.

Interpellation (24.3899) de Jakob Stark du Conseil des États

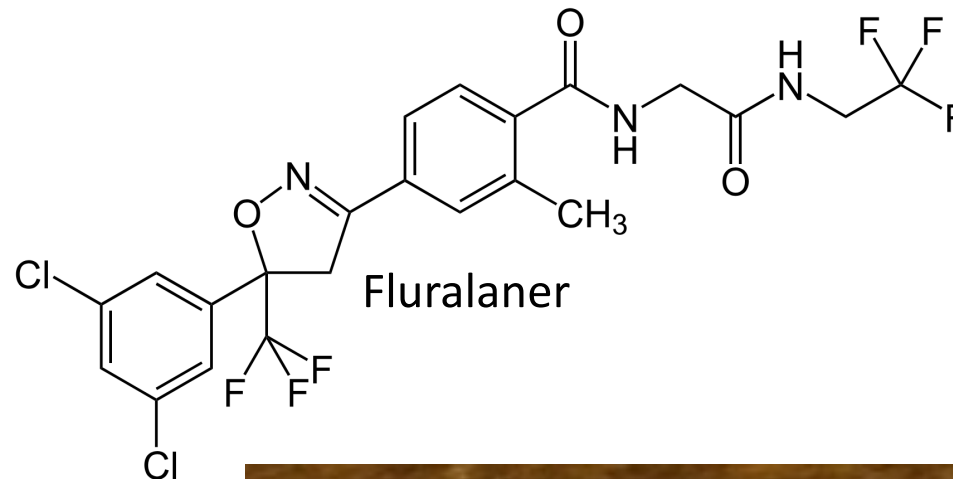
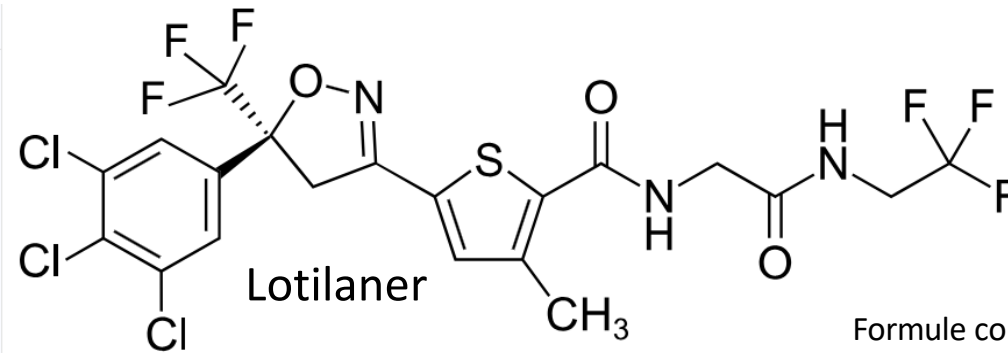
Il existe toutefois pour les chiens (en partie pour les chats) des méthodes qui épargnent les eaux:

- huile de coco
- insecticides à base d'isoxazoline



Produit pour la lutte contre les ectoparasites à base d'isoxazoline (chaînon N-O)

- Administration orale, sous forme de cachets, tous les 3 mois
- Agit 3 mois ou plus
- Bien toléré (CliniPharm/CliniTox UZH)
- Est éliminé à > 90 % dans les excréments → Robidog → UIOM



Trois exigences importantes pour améliorer la protection des eaux souterraines lors du changement climatique

- La procédure d'autorisation pour les produits phytosanitaires devrait être améliorée au regard du changement climatique (avec assèchement des sols en été et de fortes précipitations plus fréquentes). C'est effectivement le contraire qui a lieu: une intervention politique du lobby agricole veut changer la Loi sur l'agriculture (IP Bregy, 22.441) de façon telle que les produits phytosanitaires issus des pays voisins, les Pays-Bas et la Belgique, et via ces derniers (mécanisme de l'autorisation par zone) issus de 20 pays de l'UE, puissent être vendus en Suisse sans contrôle environnemental et sanitaire pertinent.
- Pour les médicaments (vétérinaires), un contrôle environnemental devrait être introduit (adaptation de la loi sur les produits thérapeutiques). Les médicaments vétérinaires déjà autorisés devraient être contrôlés au regard de leur aptitude climatique (utilisation accrue contre les ectoparasites).
- Lors de l'usage de produits biocides contre les néobiotes invasifs, la protection des eaux souterraines devrait être contrôlée de manière standard et des alternatives sans polluant devraient être appliquées.



Gifteinsatz gegen den Japankäfer in Kloten. Quelle: Taddeo Cerletti, 20min



Merci pour votre intérêt!