

Entwicklung der chemischen Gewässerbelastung

Bernhard Wehrli


wehrli@eawag.ch

Dank an:

R. Schwarzenbach, K. Fenner, B. Escher, J. Hollender, I. Wittmer,

)

Entwicklungen, Prognosen

1. kommt es anders und 2. als man denkt...



Bevölkerung

Wie verändern sich die chemischen Belastungsquellen für unsere Gewässer in den nächsten 50 Jahren?



Landnutzung



Energie

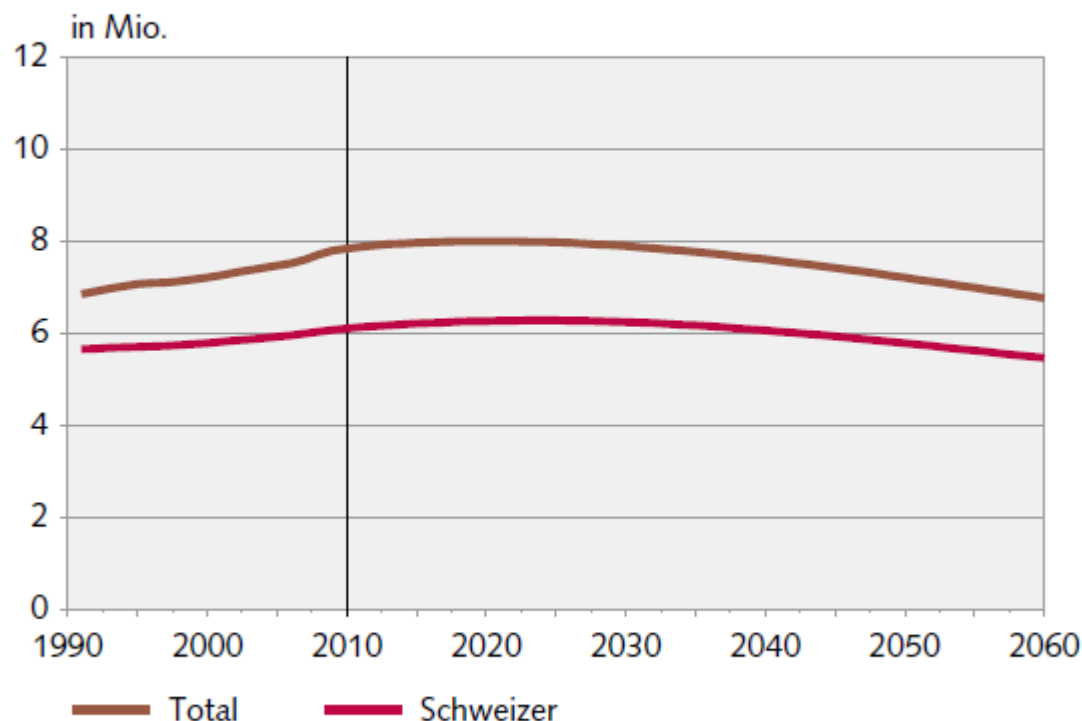


Rohstoffe

Bevölkerungs Szenarien

Entwicklung der Bevölkerung gemäss dem tiefen Szenario C-00-2010, Gesamtbevölkerung und Schweizer

G 26a



+3 Mio

+1 Mio

- 1 Mio

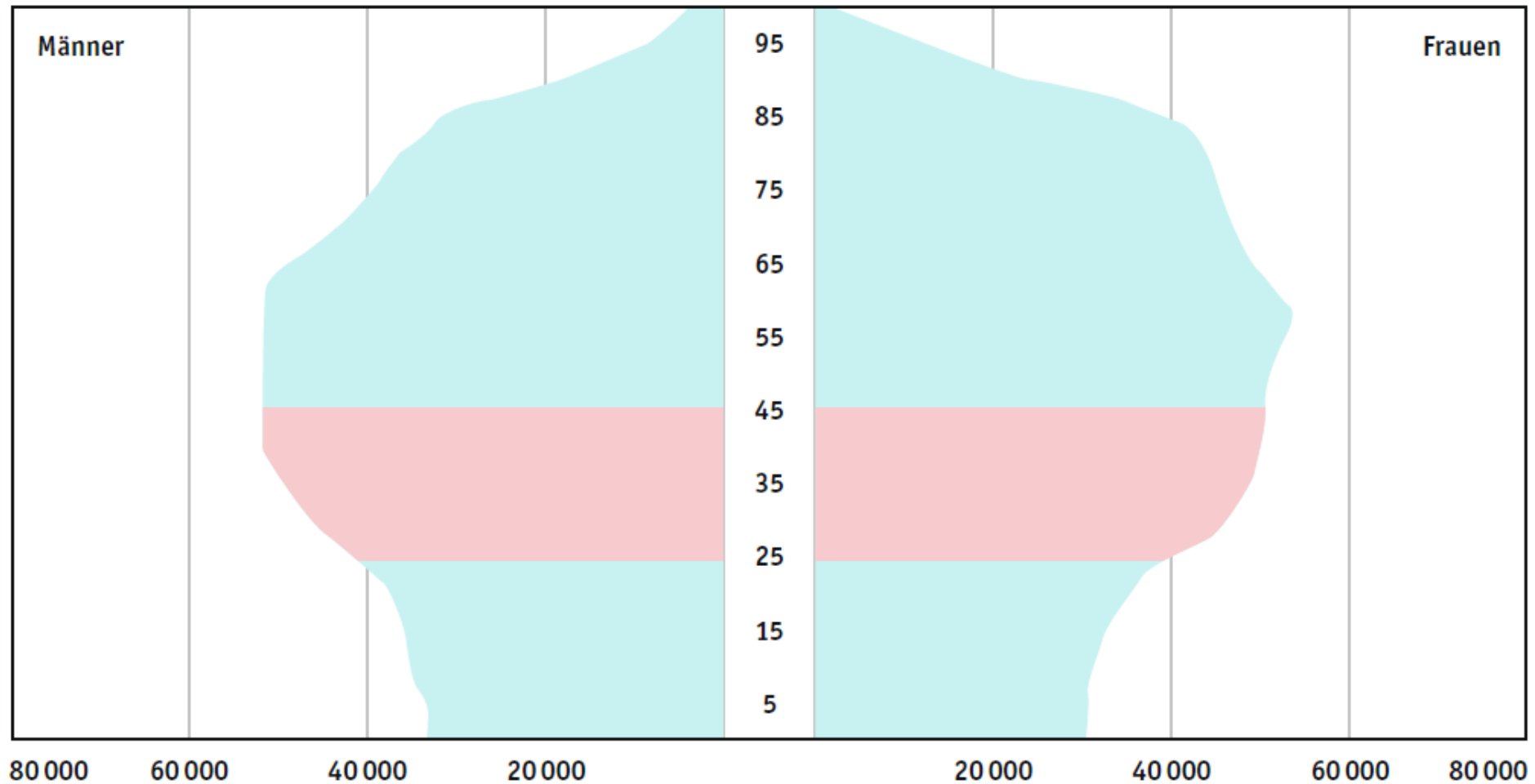
Ageing society

Pyramide am 31. Dezember 2050

Bevölkerung 25-44 Jahre

Anzahl Personen

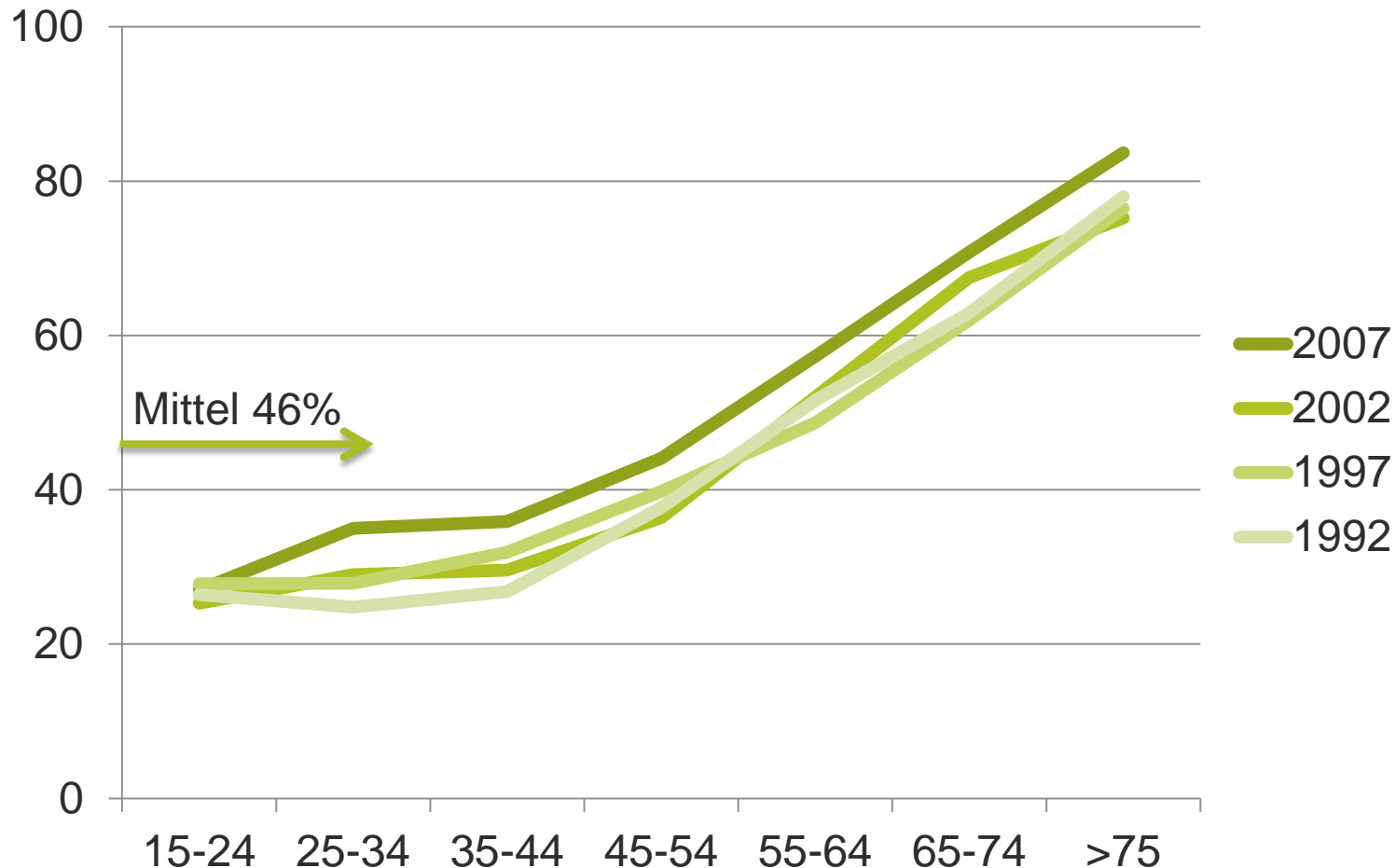
Alter



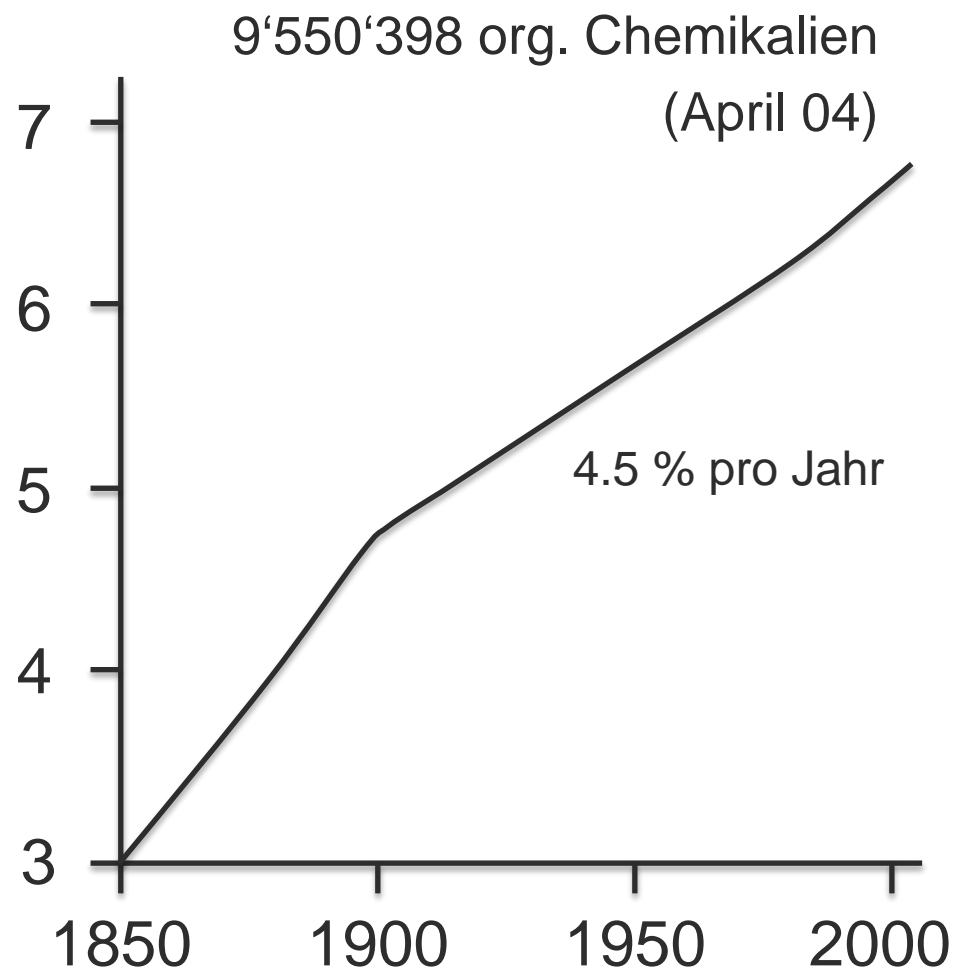
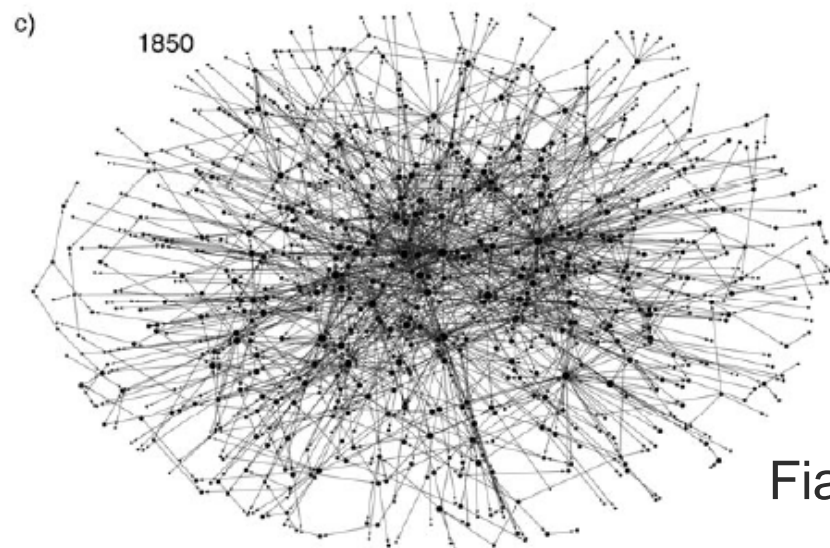
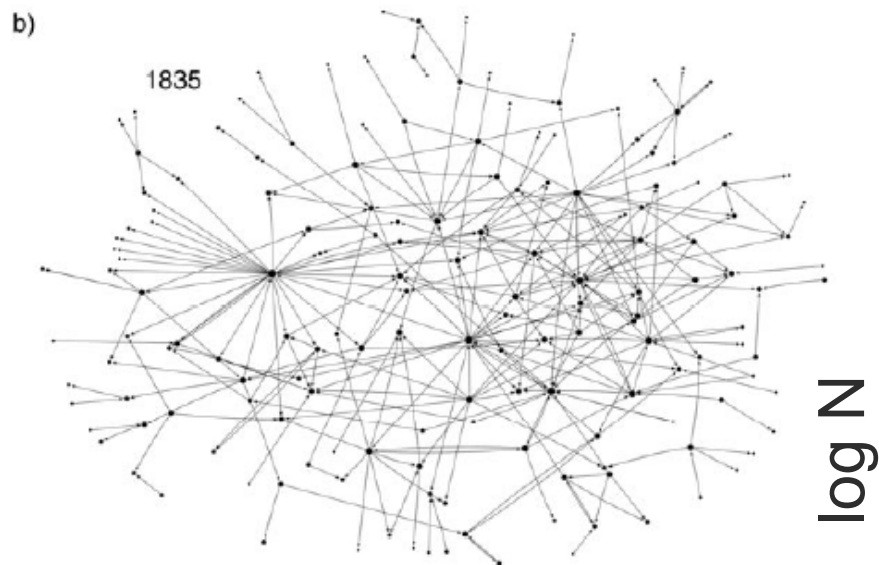
Haben Sie in den letzten 7 Tagen Medikamente konsumiert?

% Ja nach Altersgruppe

Bundesamt für Statistik CH



Evolution der chemischen Synthese



Fialkowski et al. 2005 Angw. Chem. **117**, 7429

Chemikalien Politik

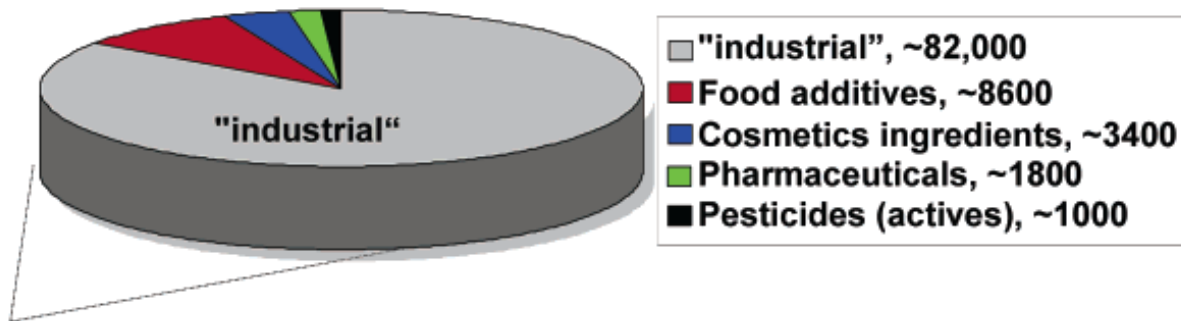
USA

>80'000 Chemikalien auf dem Markt
1'000 reguliert Clean Water Act
5 Toxic Substances Controls Act

EU (REACH)

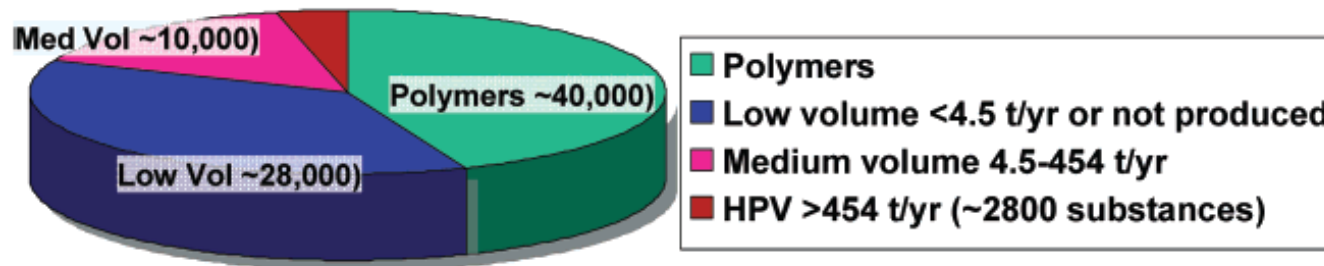
30'000 Basis Daten > 1 t/Jahr
12'000 vollständig > 10 t/Jahr

A. Breakdown of the Chemicals in commerce – USA

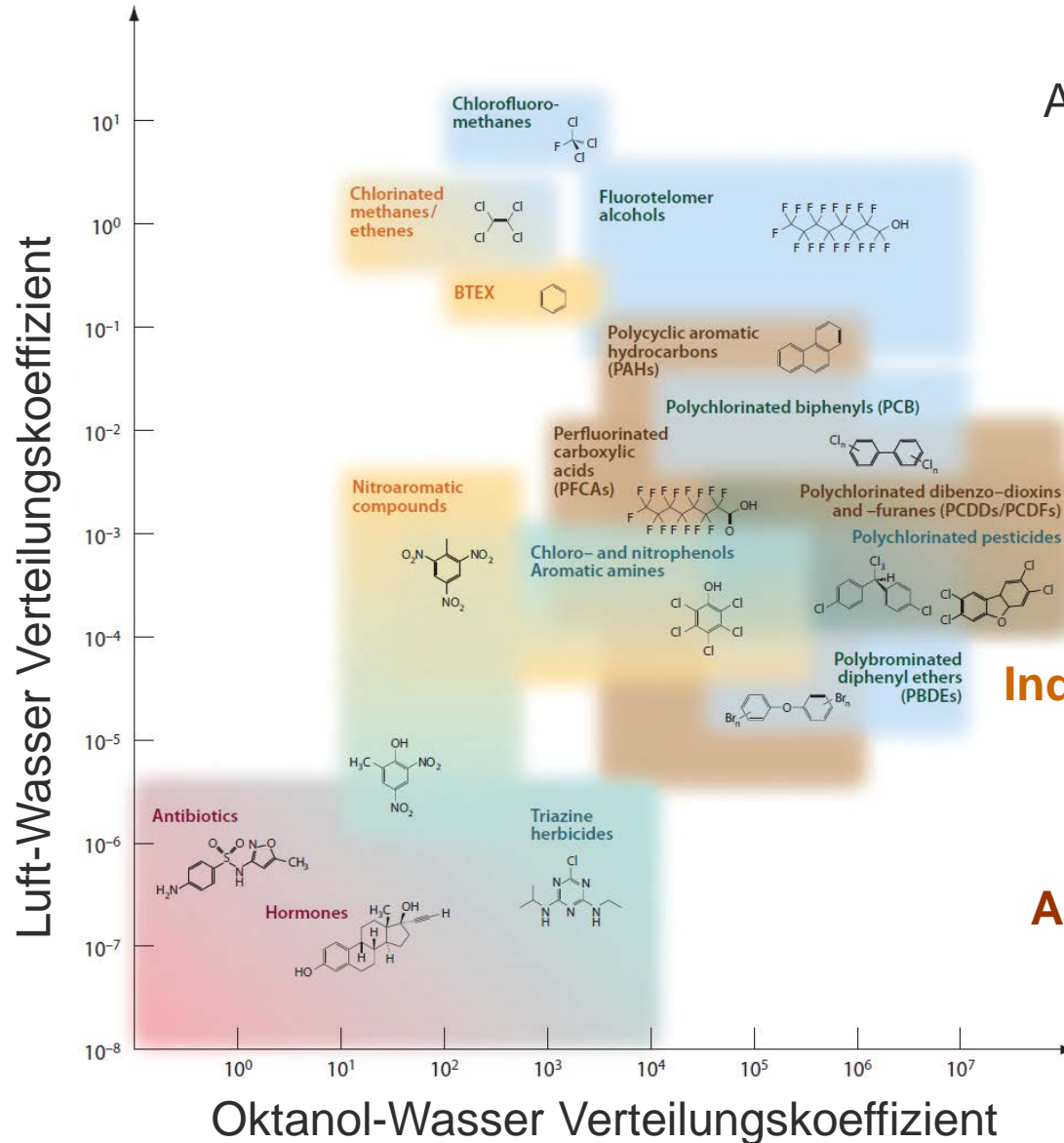


Muir & Howard (2006)
ES&T. **40**, 7157

B. "Industrial" Chemicals in commerce – US TSCA inventory



Reichweite und biologische Risiken

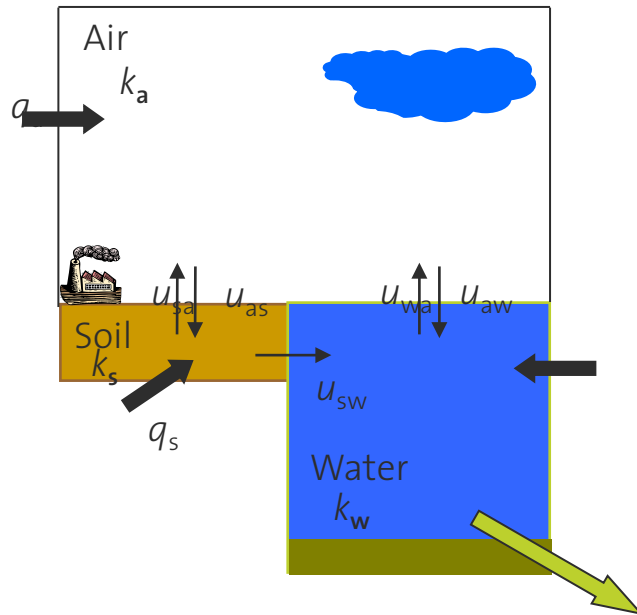


Schwarzenbach et al. (2010)
Annual Rev. Env. Res. **35**, 109

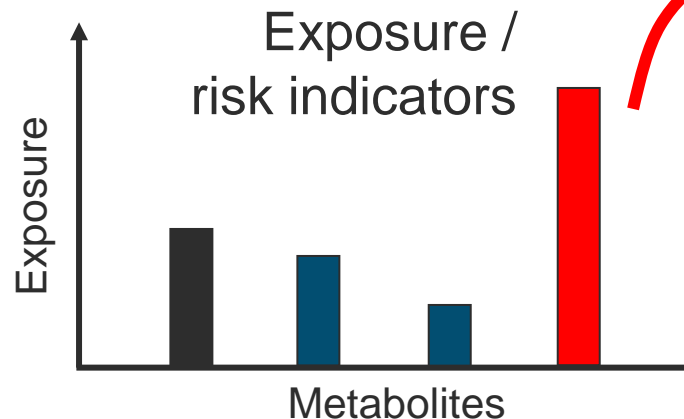
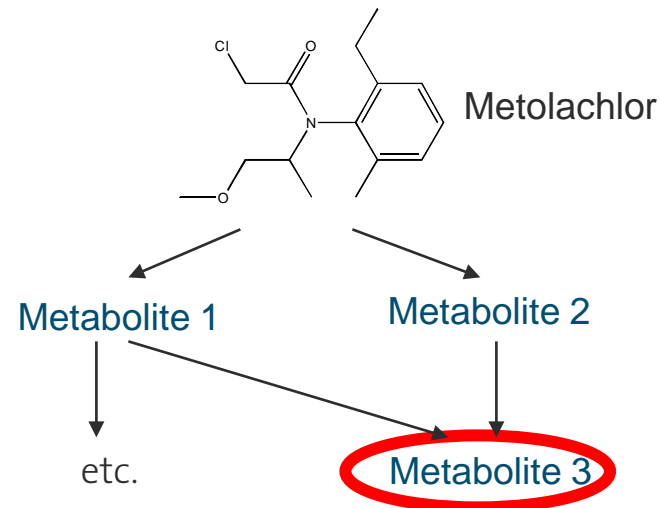
Industriechemikalien
Industrieprodukte
Pestizide
Konsumprodukte
Abgas-, Abfallstoffe

Risiko Analyse organischer Chemikalien

Environmental fate models



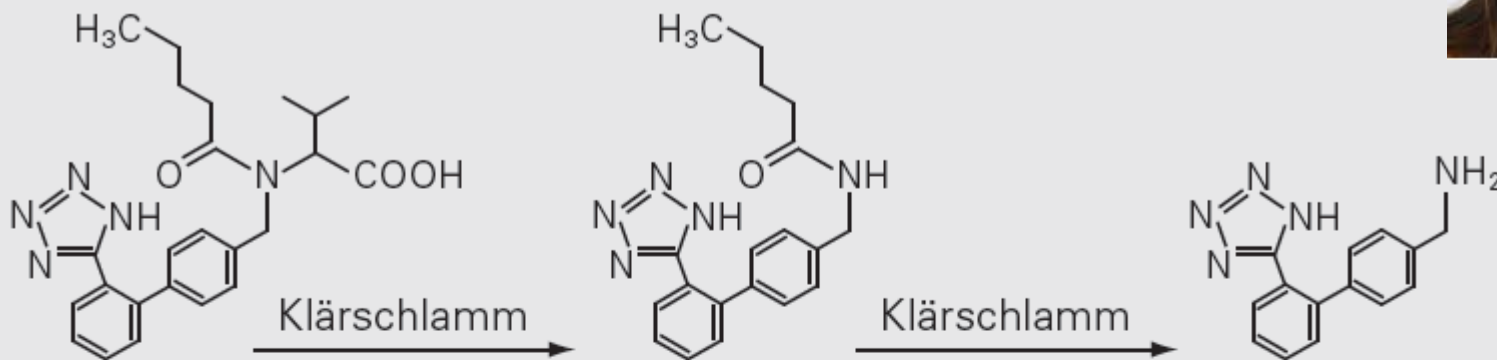
Metabolic pathways



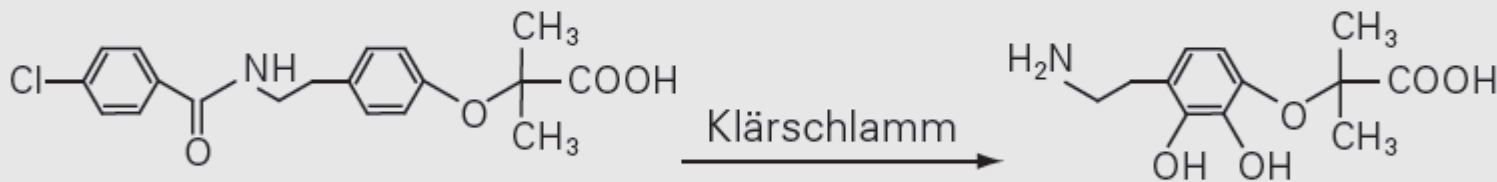
Relevant metabolite!

Metaboliten

Prognose Tools helfen bei der Identifikation im Klärschlamm



Valsartan (Blutdrucksenker)



Bezafibrat (lipidsenkendes Mittel)



Ranitidine

Beispiel: Betablocker Atenolol – organische Atenololsäure



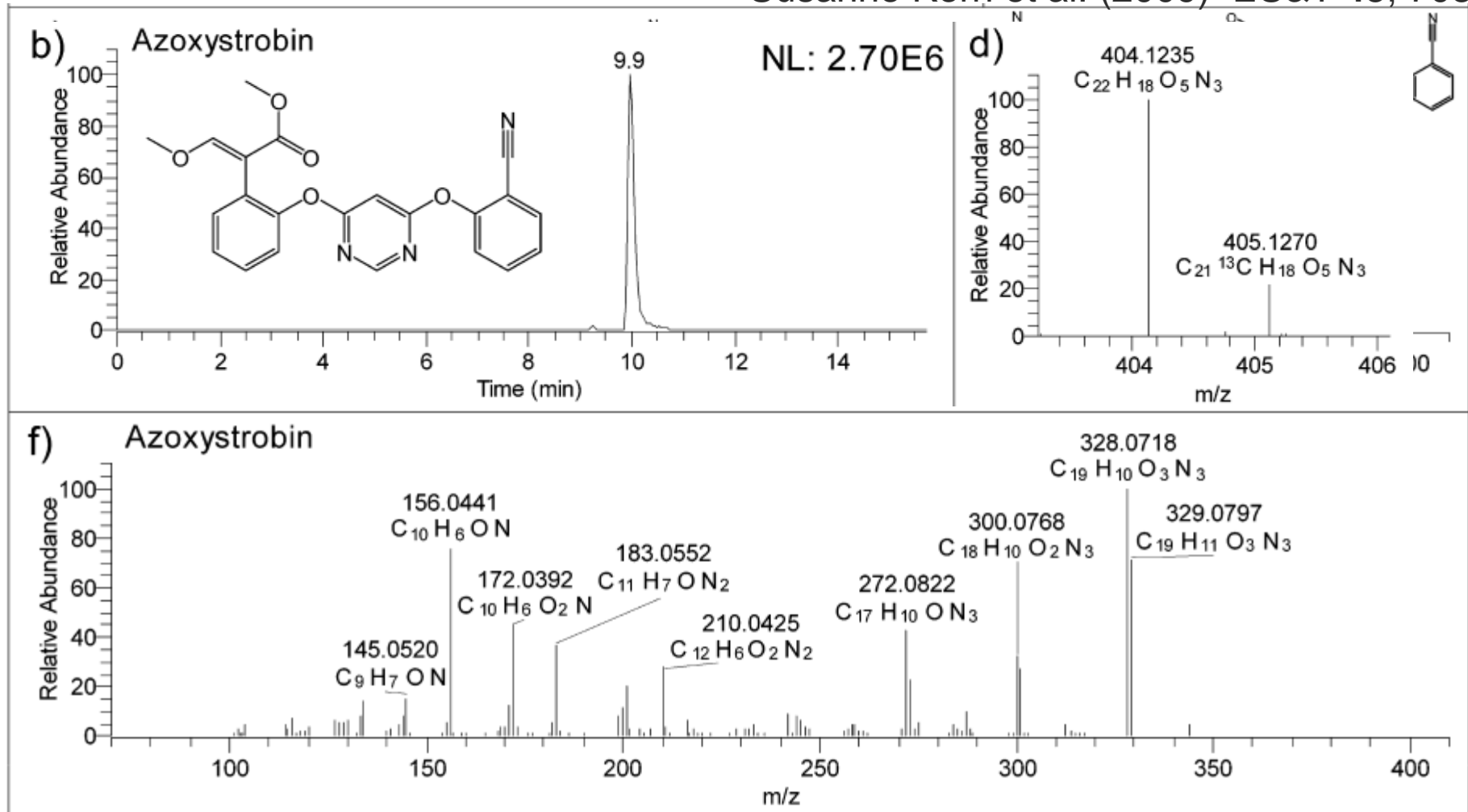
Identifikation von Metaboliten

Azoxystrobin – ein Fungizid



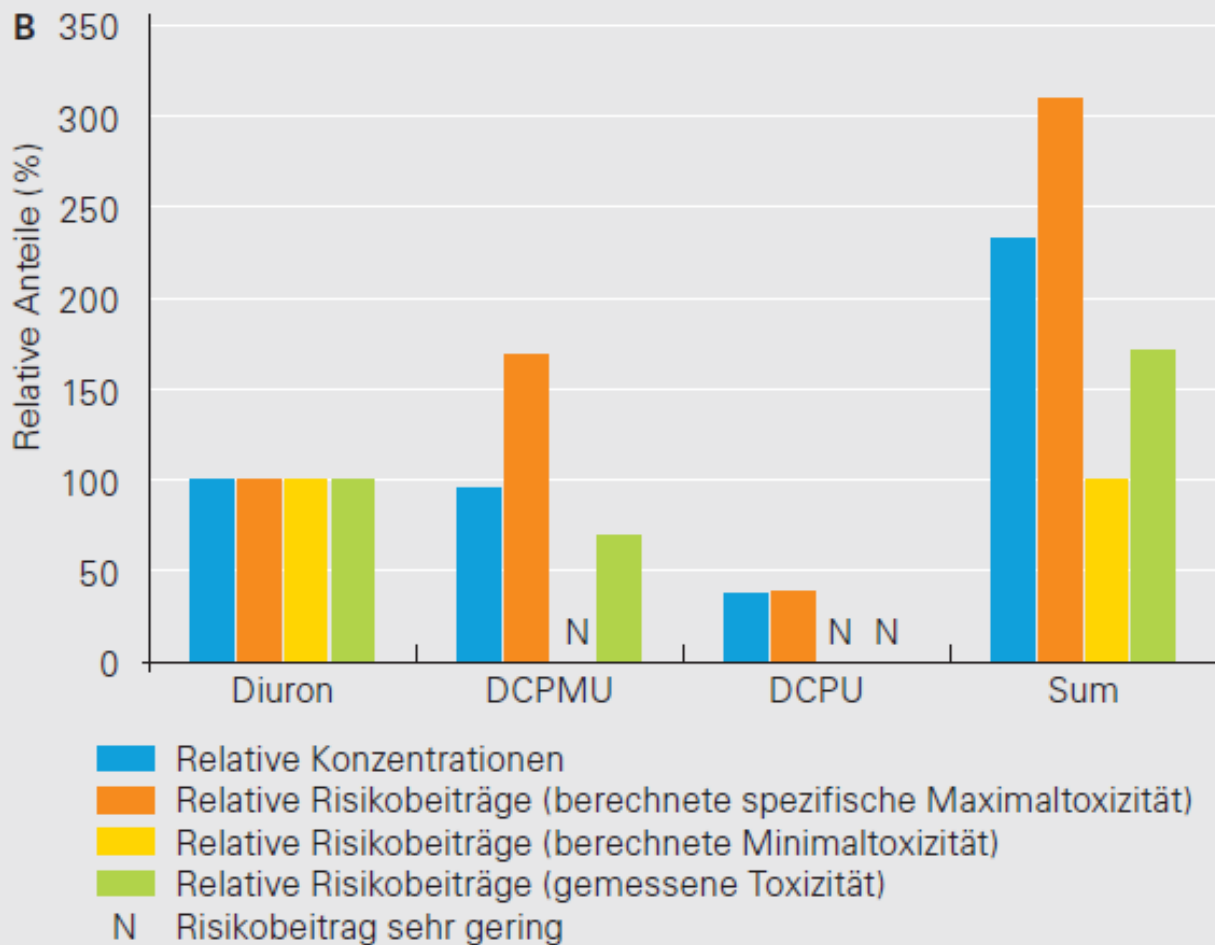
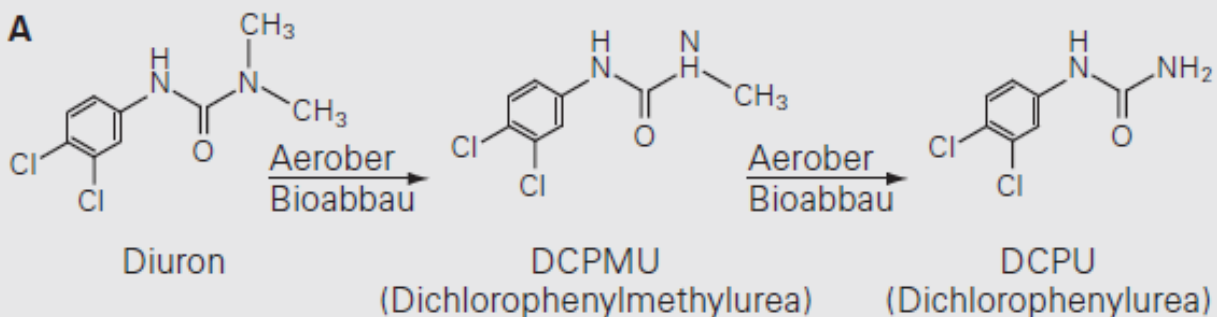
Juliane Hollender

Susanne Kern et al. (2009) ES&T **43**, 7039

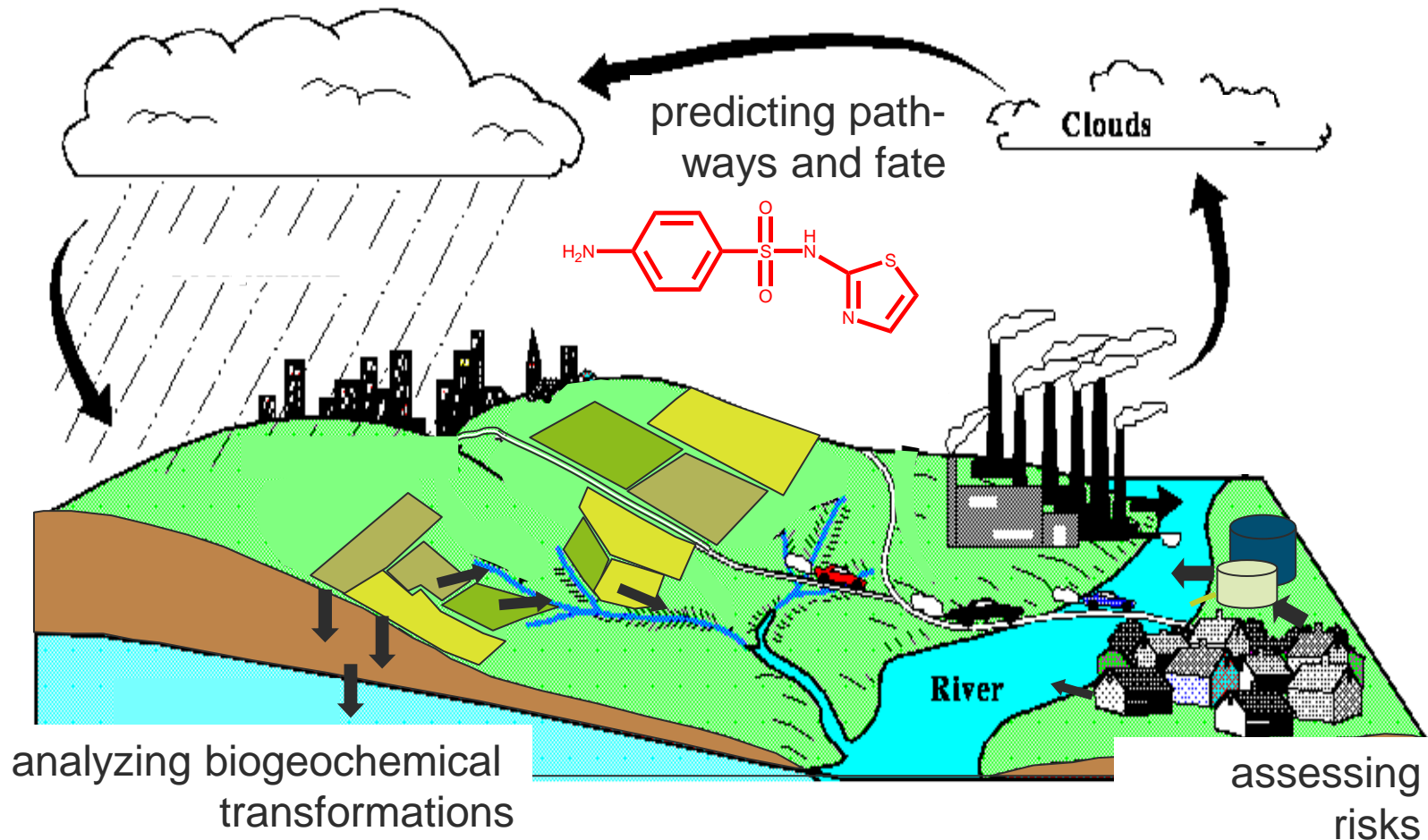


Relevante Metaboliten

Wirkungsmodelle
helfen bei der
Bewertung von
Risiken der Abbau-
produkte



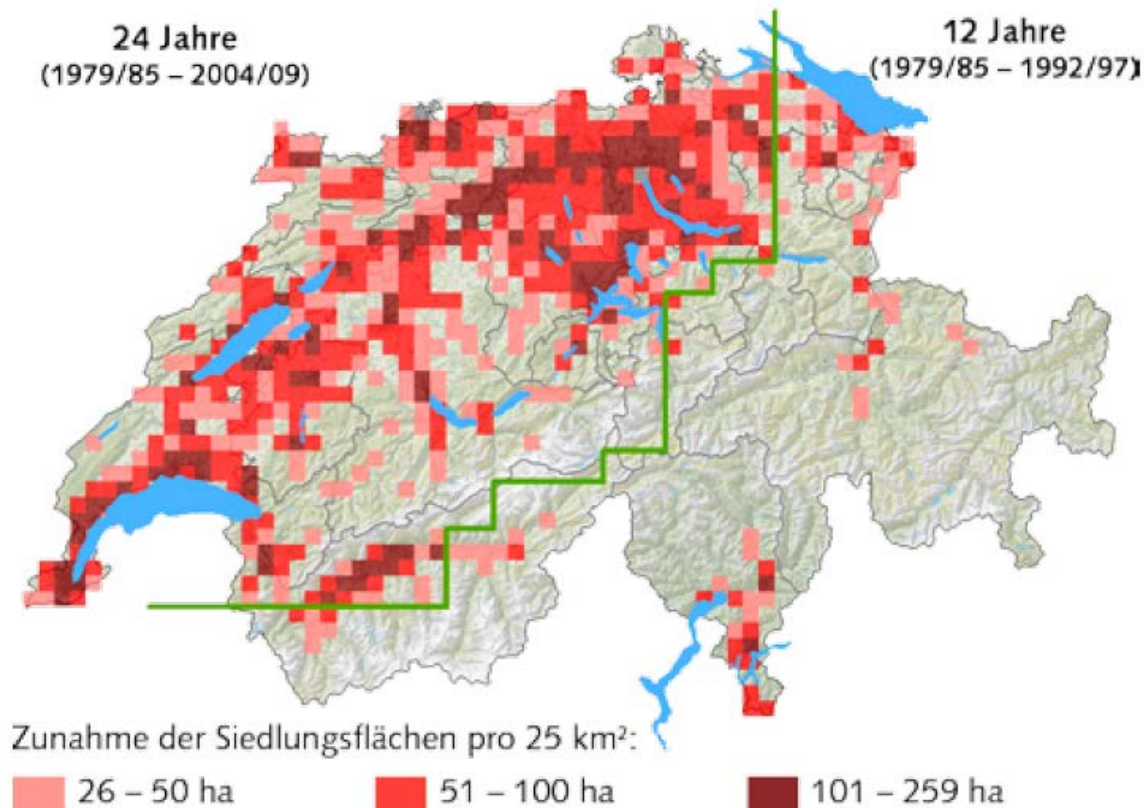
Wie werden sich diffuse Quellen und ARA Einleitungen entwickeln?



Trends in der Landnutzung

Siedlungsflächen, Wald nehmen zu,
Landwirtschaft verliert 0.2% pro Jahr

Entwicklung der Siedlungsflächen, 1982 – 2006 G 1



Quelle: BFS, Arealstatistik

© BFS

~ Flächen	Mio ha
Siedlungen	0.3 +
Wald	1.3 +
Landwirtschaft	1.0 -
Alpwirtschaft	0.5 -
Öd + leer	1.0 =

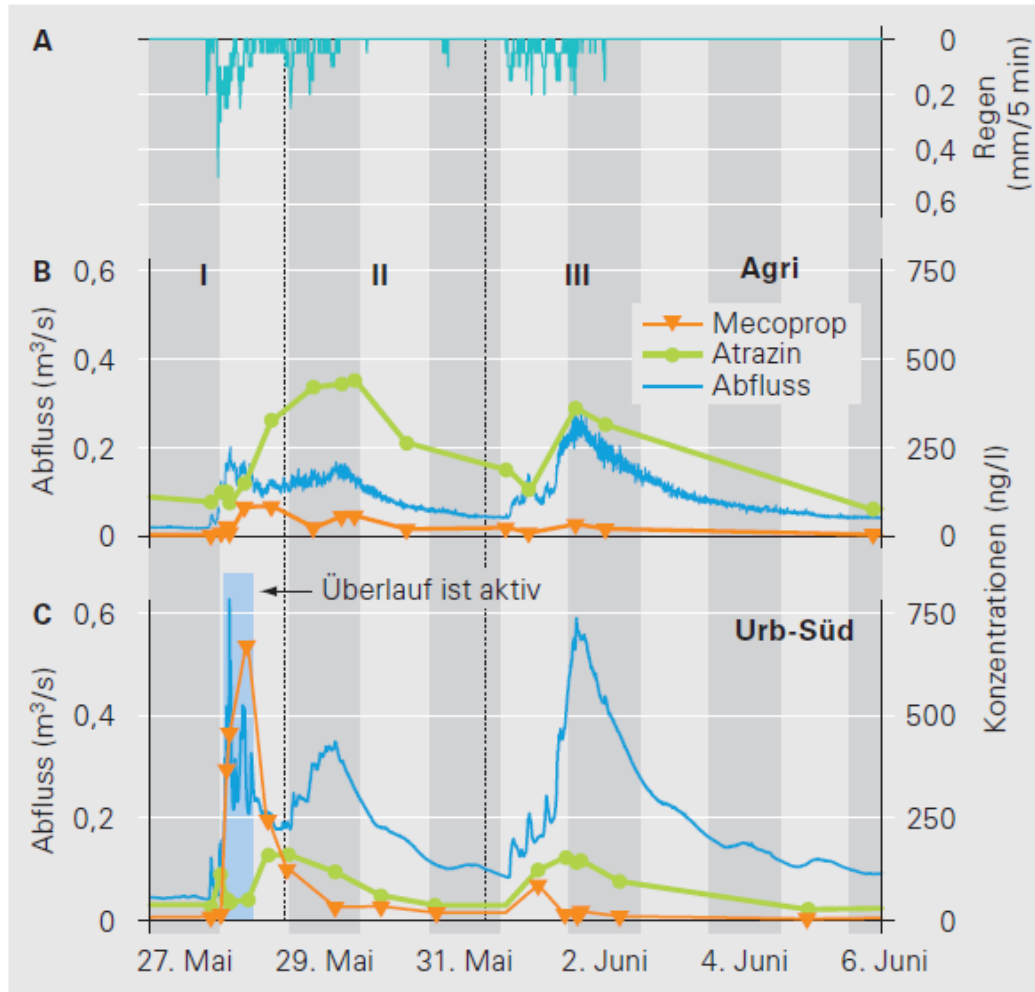


Pestizide vom (Häusle)-Bauer

Atrazin aus Landwirtschaft (war) nur saisonal bedeutend
Mecoprop stammt aus Siedlungsgebiet



Irene Wittmer



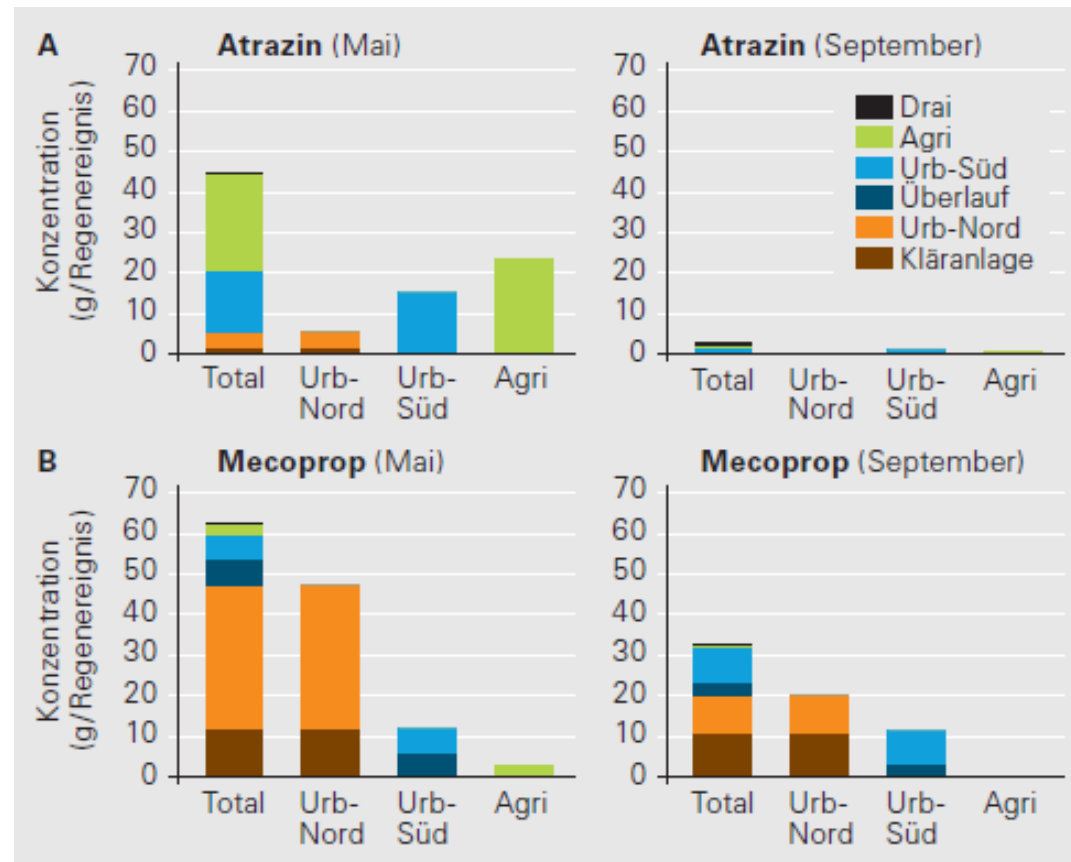
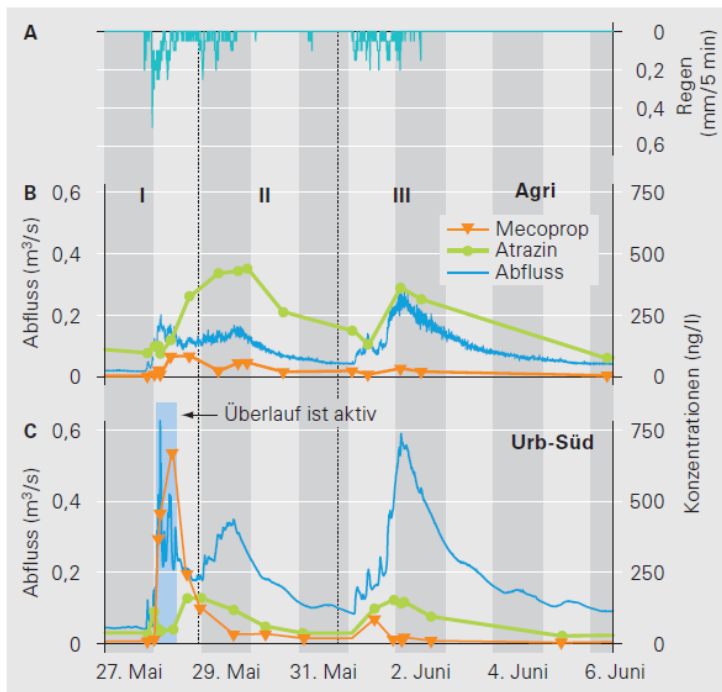
Einzugsgebiete Greifensee

Eawag News **65** (2009)

Pestizide aus Siedlungen

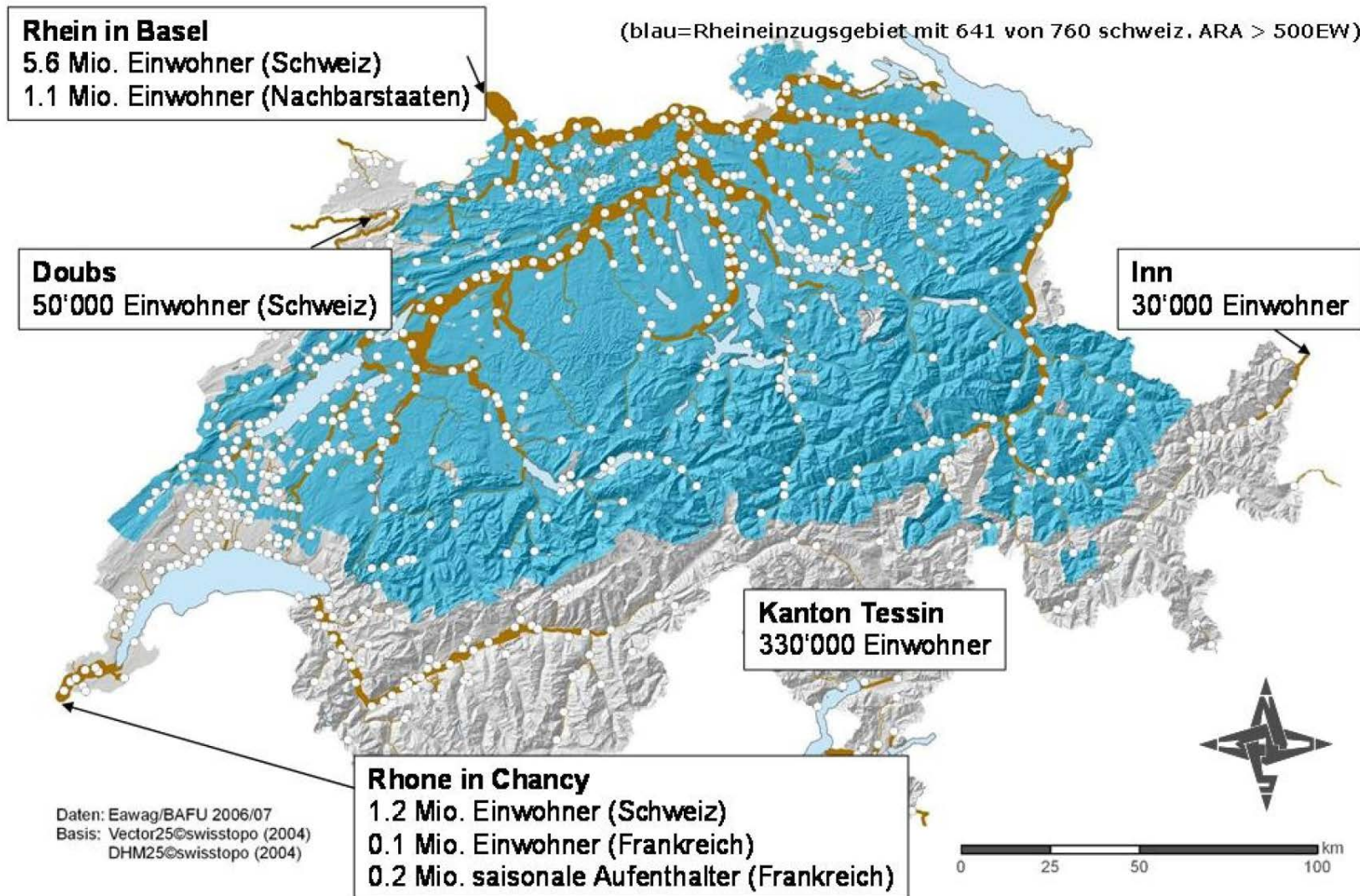
Atrazin aus Landwirtschaft nur saisonal bedeutend
Mecoprop stammt aus Siedlungsgebieten

Irene Wittmer



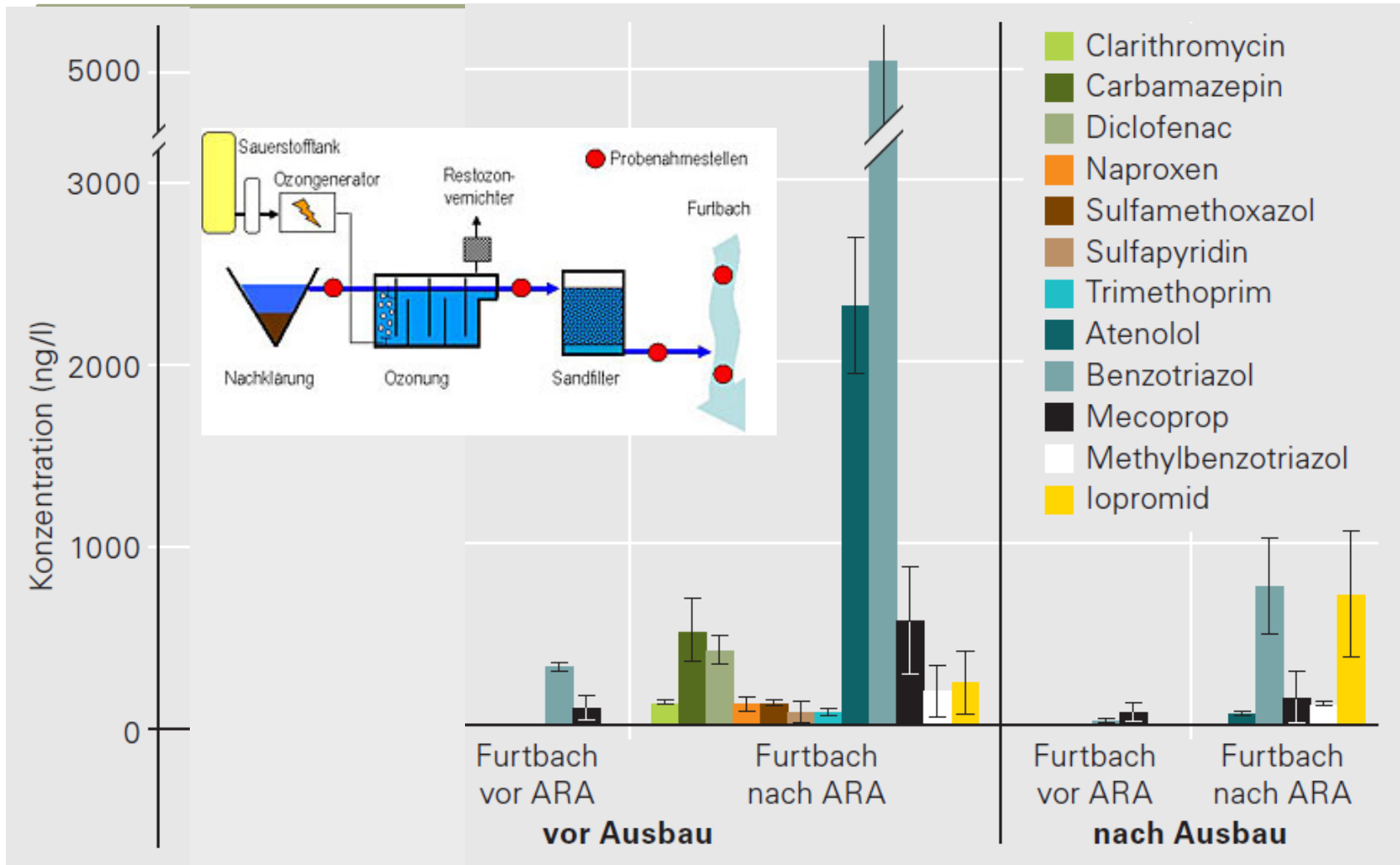
MicroPoll: Abwasserbelastung Gewässer

Mikroverunreinigung in Gewässern BAFU



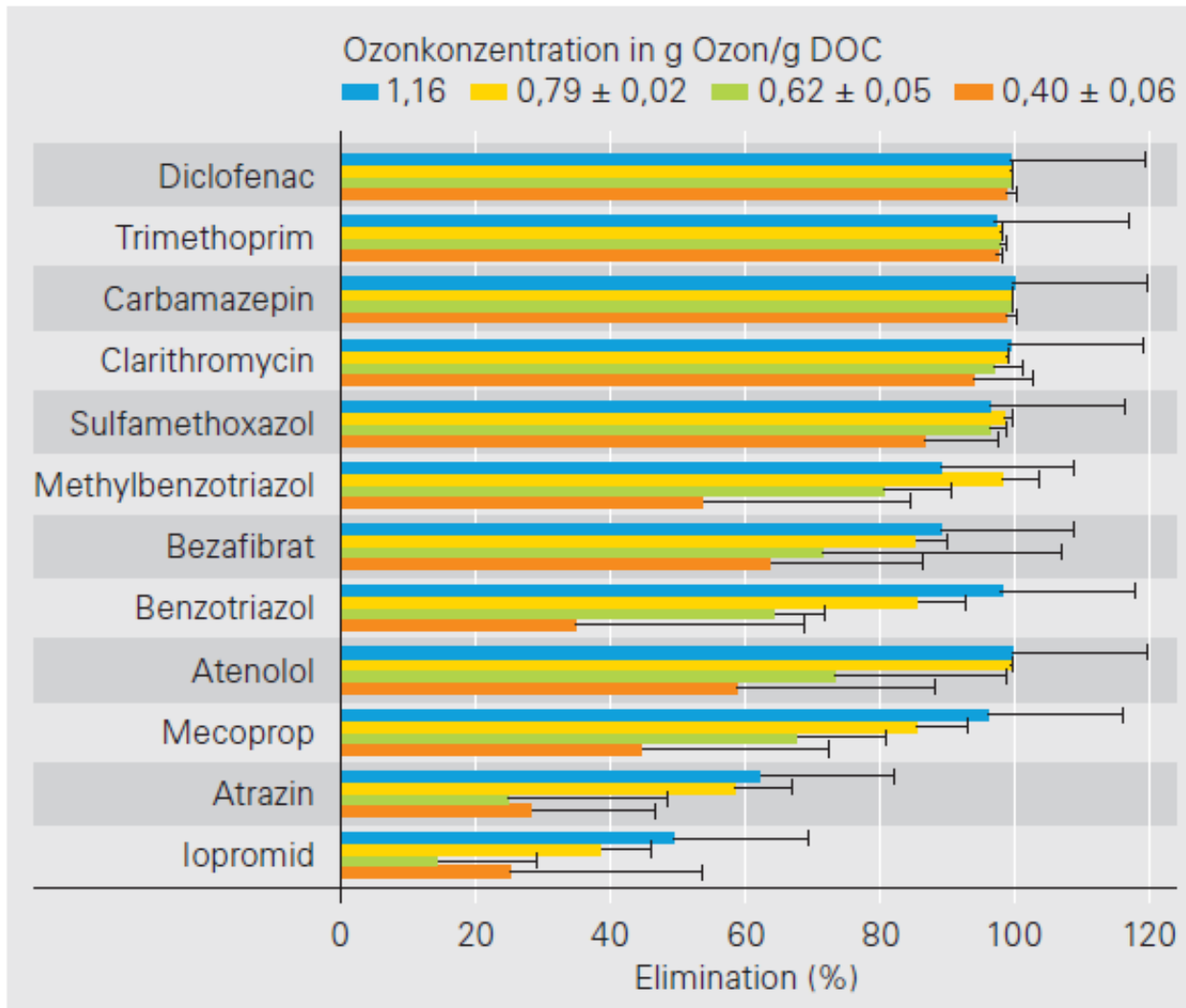
Ozonierung von Abwasser

Pilotprojekt ARA Regensdorf



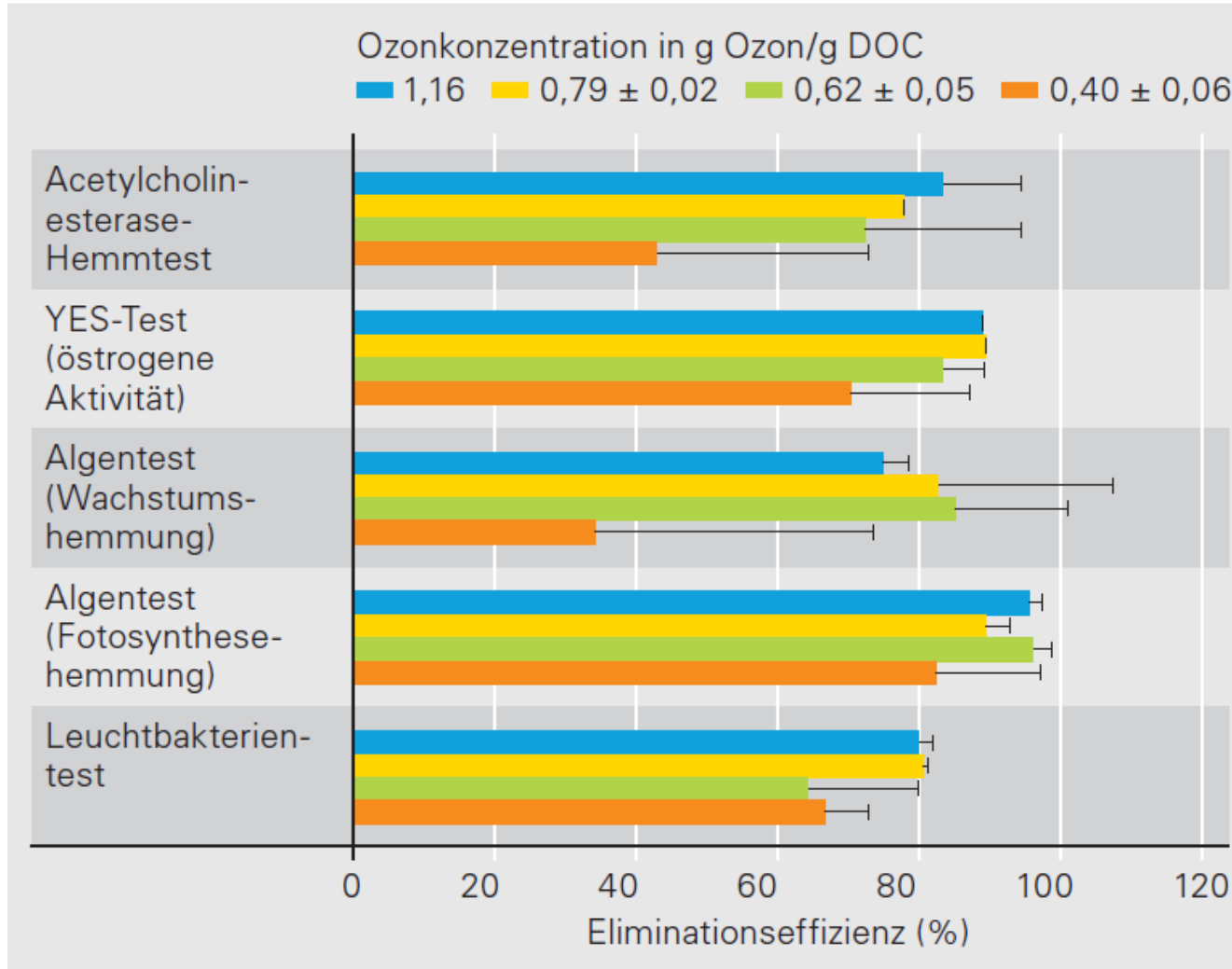
Ozonierung von Abwasser

Hohe Eliminationseffizienz für die meisten Medikamente und PSmittel



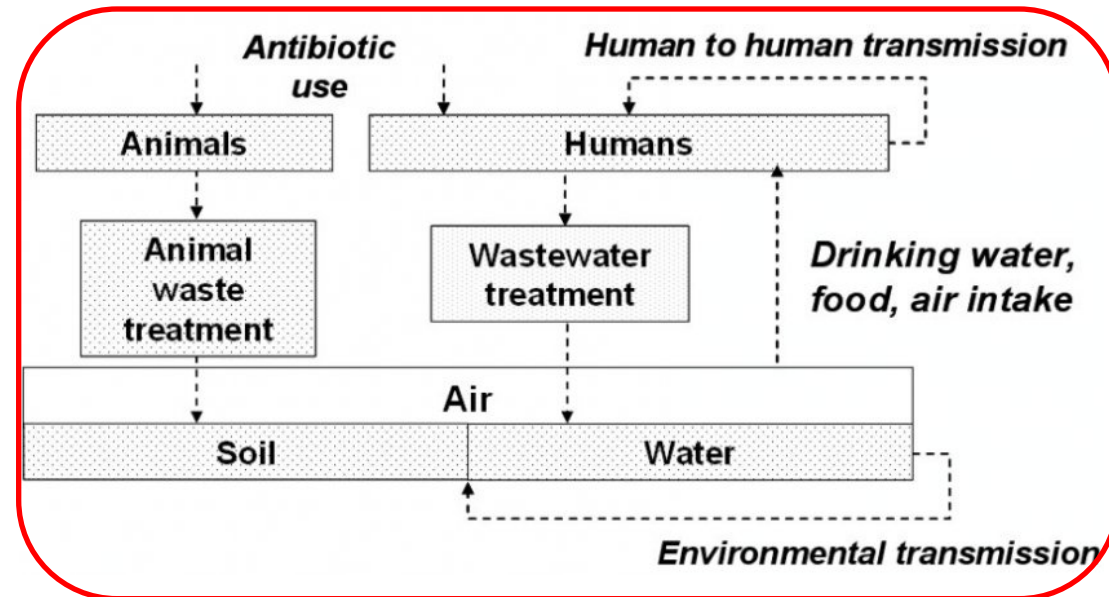
Ozonierung von Abwasser

Biologische Effekt Tests bestätigen verminderte toxische Wirkung





Ozonierung auch sinnvoll gegen Antibiotika resistente Bakterien

Helmut Bürgmann



- ARB: Antibiotic resistant bacteria
- ARG: Antibiotic resistance genes
- Contaminants of surface waters and sediments?

(Pruden et al. 2006 – E. Sci. Tech 40)

 Water samples
 Sediment samples

Methods / Analysis

of waste water (Lausanne) and sediments / lake water (Vidy bay)

Cultivation of bacteria on nutrient media supplemented with antibiotics:

1. Sulfamethoxazol/Trimetoprim/
Streptomycin
2. Clarithromycin/Tetracyclin
3. I / Ceftazidim



Resistant bacterial counts (CFU)
Coverage <5%

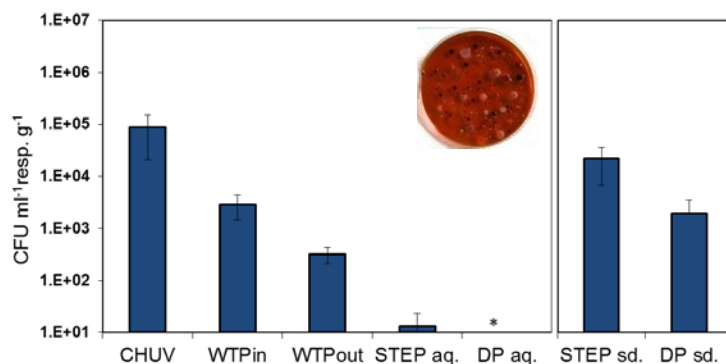
Direct Detection /Quantification of ARG in environmental DNA-Extracts

Quantitative realtime PCR
Sulfonamide resistance genes
sul1, *sul2*



Resistance gene numbers
Coverage >95%

Cultivation of MRB



WTP: Reduction of ARB 84%

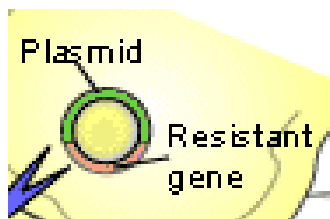


- Test of selected waste water strains for **Multiresistances**

Proportion of highly (>6) und extremely (>8) **multiresistant** bacteria

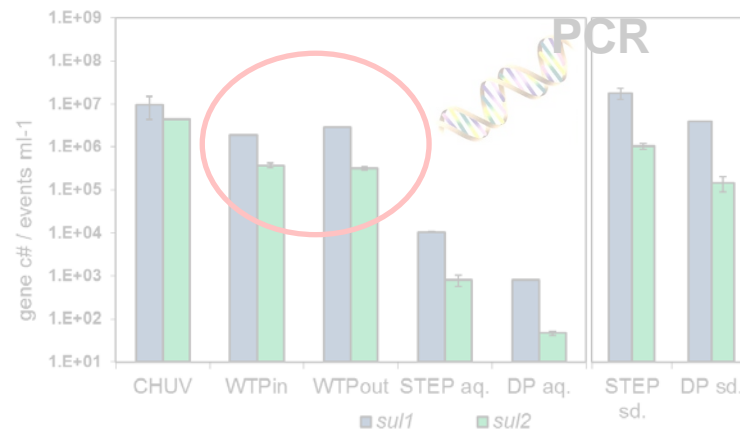
HOS > WTPin < WTPout

- Test of selected waste water strains for **plasmids**



Incidence for HGT in waste water

DNA-extraction Quantitative PCR



WTP: Reduction of ARG *sul2*:

15%

Increase of ARG *sul1*:

50%

Öffentliches Echo

Tribune de Genève

frontiers in
MICROBIOLOGY

ORIGINAL RESEARCH ARTICLE
published: 22 March 2012
doi: 10.3389/fmicb.2012.00706



Increased levels of multiresistant bacteria and resistance genes after wastewater treatment and their dissemination into Lake Geneva, Switzerland

Nadine Czekalski^{1*}, Tom Berthold², Serena Caucci², Andrea Egli¹ and Helmut Bürgmann¹

¹ Department of Surface Waters – Research and Management, Eawag: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, Kastanienbaum, Switzerland
² Department of Environmental Microbiology, UFZ, Helmholtz Centre for Environmental Research, Leipzig, Germany

TagesAnzeiger

Resistente Keime im Genfersee

Selbst Kläranlagen können Bakterien, die gegen Antibiotika resistent sind, nicht ausschalten. Dies haben Wissenschaftler bei einer Untersuchung in Lausanne herausgefunden.



Keime, die Antibiotika trotzen, können ihre Gene an andere Bakterien weitergeben. Foto: Jacob Halda (fotomax)

DRS 1

GLATTALER

Resistenzen auf Vormarsch

EAWAG. Mit dem Siedlungsabwasser gelangen Bakterien in die Umwelt, die gegen Antibiotika resistent sind. Die Gefährlichkeit scheint die Abwasserbehandlung unbeschadet zu überstehen, so Erkenntnisse der Eawag. Das geringste Abwasser von ganz Lausanne, rund 9000 Kubikmeter pro Tag, wird 700 Meter vom Ufer entfernt in 30m Tiefe in der Bucht von Vevey in den Genfersee geleitet. Lausanne hat keine pharmazeutische Industrie und keine Nutztierhaltungen im grossen Stil. Doch mit dem Universitätsspital Waadt (CHUV) ist auch ein grosses Krankenhaus an die Kläranlage Lausanne angeschlossen. Eine Gruppe von Forschenden des Dübendorfer Wasserforschungsinstituts Eawag mit Sitz in Dübendorf hat nun untersucht, ob solche Resistenzen via Kläranlage auch in die Umwelt gelangen, in diesem Fall also in den Genfersee. Durchgeführt wurden die Resistenzen

mit klassischen Wachstumversuchen und parallel dazu auch mit aufwendigen genetischen Analysen. Erwartetes und Erstaunliches Die in der Schweiz entnommenen Sedimente enthalten Daten aus dem Siedlungsabwasser, dem Seewasser und dem Sediment zeigen ebenfalls erwartete Muster, zum Beispiel eine besonders hohe Zahl von hochgradig multiresistenten Keimen im Abwasser des CHUV. Ausserdem kam auch Erstaunliches zutage: So entfernt die Kläranlage zwar über 75 Prozent aller Bakterien. Doch ist im gereinigten Abwasser der Anteil an besonders resistenten Stämmen erhöht. Mikrobiologe Helmut Bürgmann vermutet, dass die Kläranlage erzeugen ein Nährboden für den Austausch von Gensequenzen für Antibiotikaresistenzen. Denn hier treffen Bakterien, die sonst im menschlichen Körper leben, auf solche, die schon in die freie Umwelt eingestiegen sind, und mobile Gensequenzen können aufgrund der hohen Zellkonzentration leicht ausgetauscht werden. «Denn Bakterien

Selon une étude, les stations d'épuration épargnent, voire favorisent les bactéries multirésistantes dans le Léman

De grandes quantités de bactéries résistantes aux antibiotiques se déversent dans le lac Léman, notamment à cause des rejets hospitaliers. Une étude réalisée à Lausanne par l'Institut suisse de recherche sur l'eau, l'Eawag, met en garde: si les stations d'épuration éliminent plus de 75% des bactéries, leurs traitements épargnent, voire favorisent les plus dangereuses d'entre elles.

A Lausanne, les scientifiques

Germes résistants aux antibiotiques dans le lac

Caroline Zuercher

avant la consommation, rappellent les scientifiques de l'Eawag. Mais cette étude confirme ce que les spécialistes savent déjà: «Les problèmes apparaissent au fur et à mesure que les connaissances avancent», résume Pascale Nirel, adjointe scientifique au Service genevois de l'écologie de l'eau.

Ainsi, nos premières stations d'épuration ont été conçues pour éviter de rejeter trop de nutriments. Aujourd'hui, l'objectif est d'effectuer un traitement supplémentaire, au charbon actif ou à l'ozone, afin d'éliminer les micropolluants et autres produits issus de la consommation de médicaments.

Neue Zürcher Zeitung

Multiresistente Keime im Genfersee

Vom Spital-Abwasser durch die Kläranlage in den See

(sda) - Im Sediment des Genfersees haben Forscher erhöhte Mengen von Bakterien gefunden, die gegen zahlreiche Antibiotika resistent sind. Die Studie des Wasserforschungsinstituts Eawag zeigt, dass die Bakterien mit dem Siedlungsabwasser – vor allem aus Spitälern, in denen multiresistente Keime besonders verbreitet sind – in grossen Mengen in Gewässer gelangen. So fanden die Forscher im Abwasser des Lausanner Universitätsspitals eine hohe Zahl, wie die Eawag am Donnerstag mitteilte. Patienten, die mit multiresistenten Keimen infiziert sind, können nur schwer oder gar nicht mehr behandelt werden.

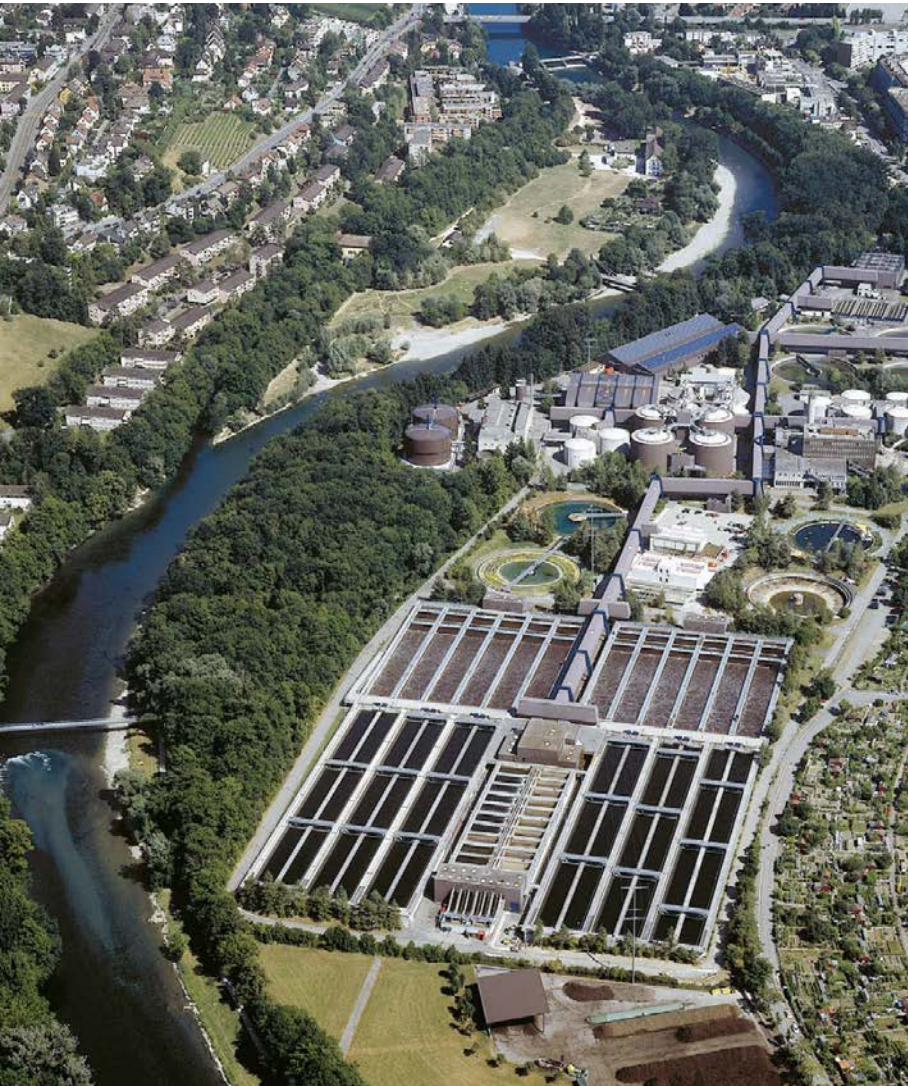
Die Kläranlage der Stadt entfernt zwar über drei Viertel aller Bakterien aus dem Wasser. Doch scheinen die resistenten Bakterien den Prozess be-

sonders gut zu überstehen. Vor allem im Sediment nahe der Einleitung des Abwassers war ihre Zahl hoch. Die Resistenzgene können theoretisch den Weg zurück in den Menschen finden, zum Beispiel wenn die Bakterien ins Trinkwasser gelangen.

Für Nadine Czekalski, Erstautorin der Studie, sind die Befunde aber kein Grund zur Panik, wie es im Communiqué heisst. In der Nähe einer Trinkwasserfassung, drei Kilometer vom Kläreinlauf entfernt, fanden sich zwar multiresistente Bakterien im Sediment, aber keine im Seewasser. Trotzdem plädieren die Forscher für eine verstärkte Vorsorge und empfehlen, Spitalabwasser separat zu behandeln. Dass der Bund für ausgewählte Kläranlagen eine zusätzliche Reinigungsstufe vorsehe, sei ein Schritt in die richtige Richtung.

Nachrüsten bei den Mikroschadstoffen

Schweizer Strategie MicroPoll



Prioritäten

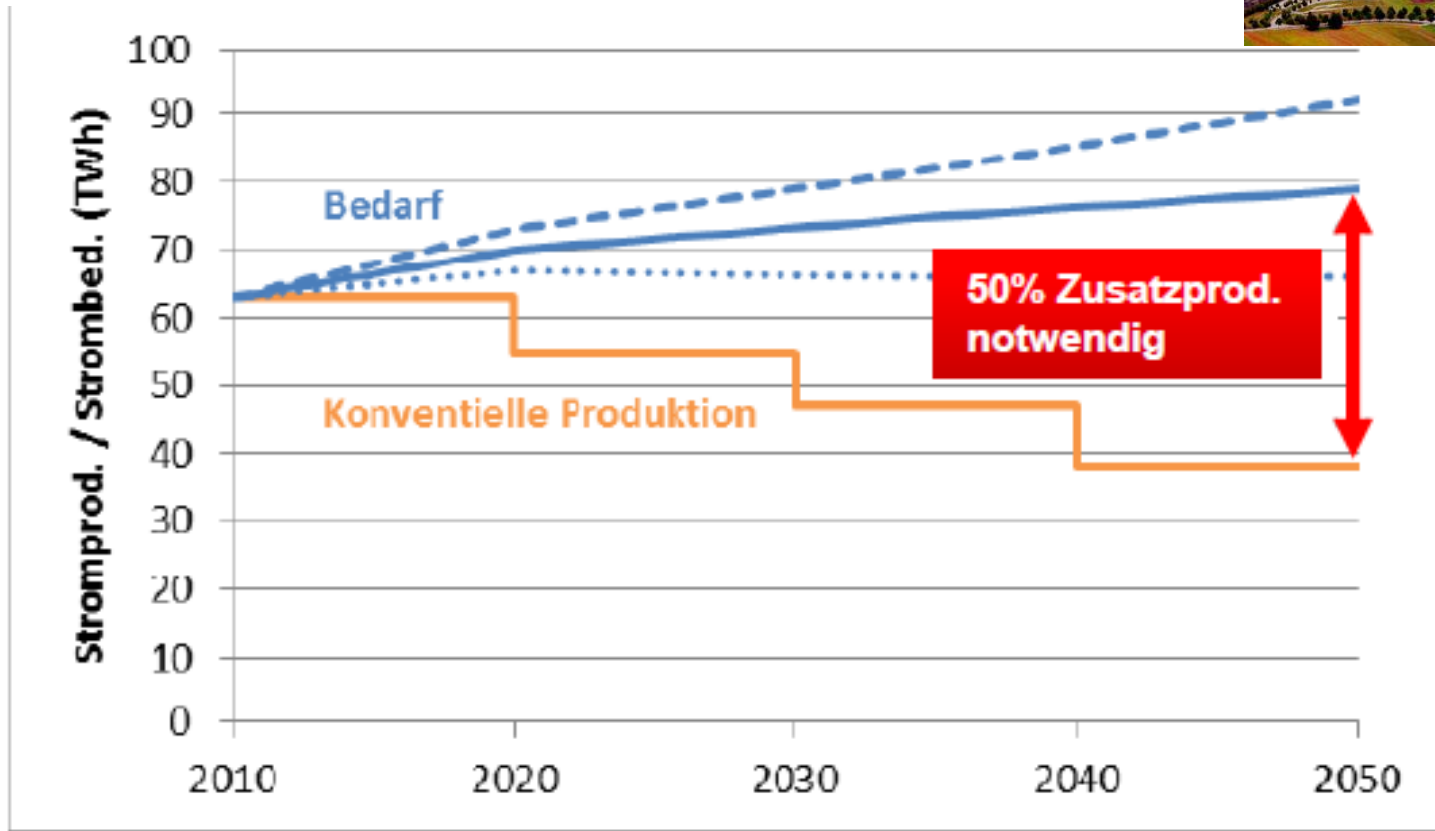
- Unterlieger, Meer
- Ungenügende Verdünnung
- Trinkwassernutzung

100 von 760 grossen Kläranlagen werden mit Ozonierung, Aktivkohlefiltration ausgerüstet.

Investition 1.2 Mia CHF
Betrieb + 5 bis +25%

Zusätzliche Stromproduktion

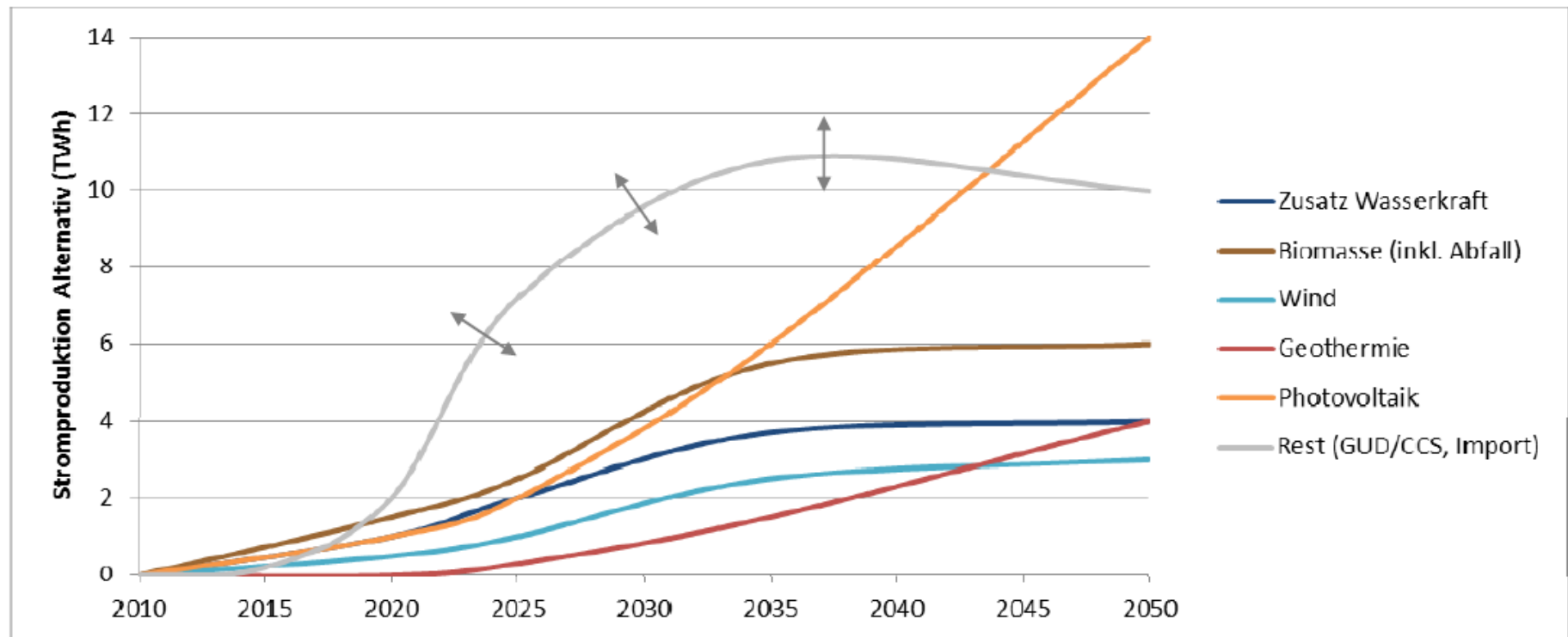
Ausstieg Mühleberg, Beznau 2020,
Gösgen 2030, Leibstadt 2040



Szenarien

--- Hoch

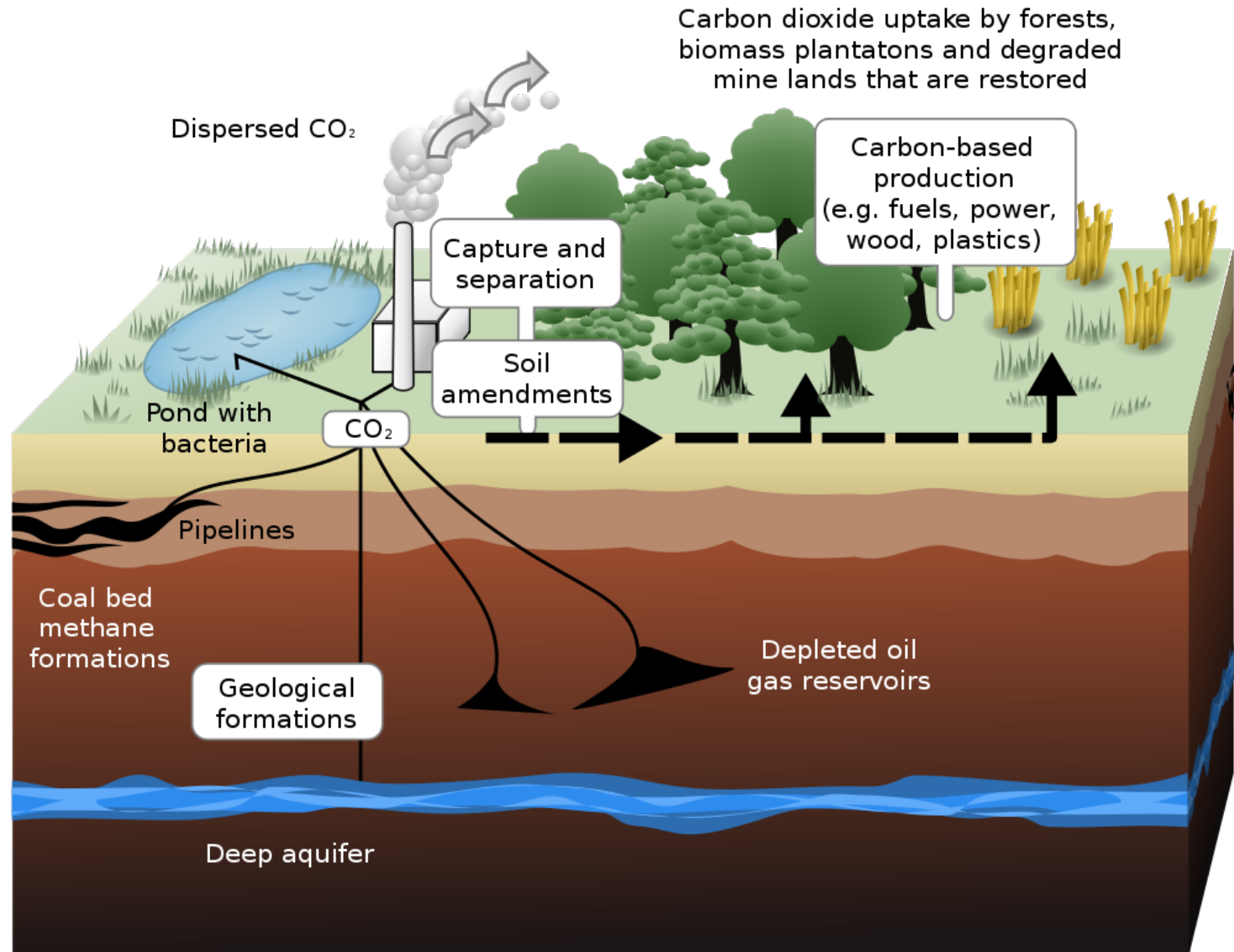
Angebotsportfolio zur Deckung der Differenz zwischen Nachfrage «Mittel» und herkömmlicher Stromerzeugung



- **GuD:** Gaskombikraftwerke
- **CCS:** Abtrennung und Lagerung von CO₂

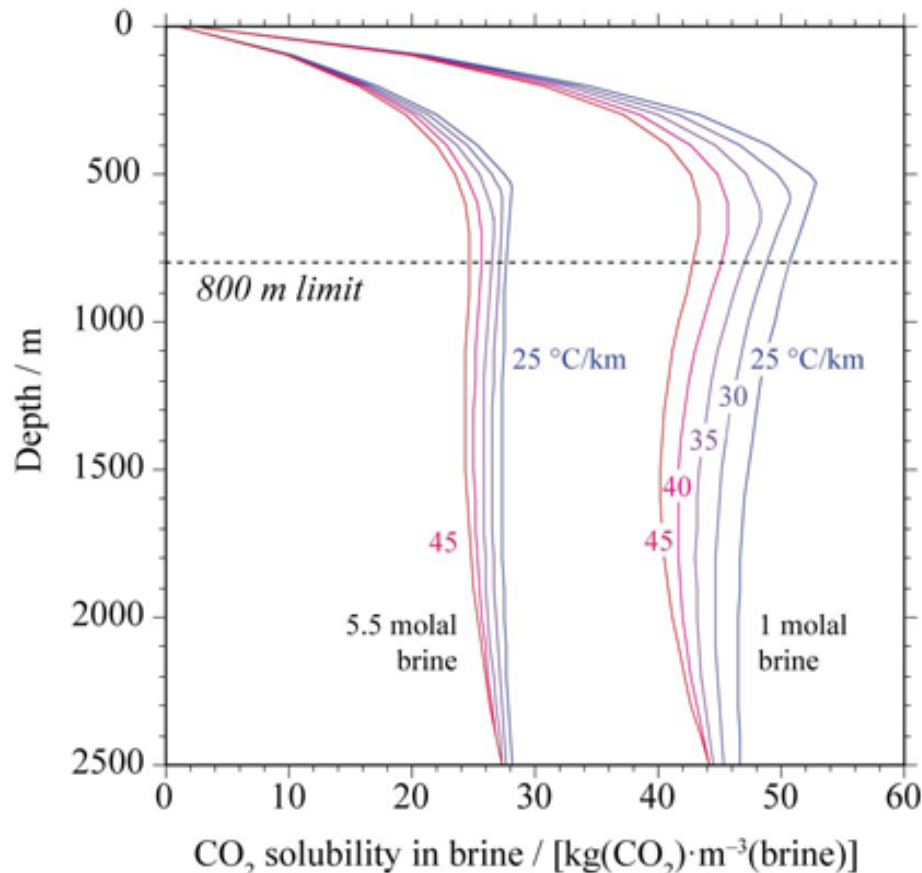
Was ist CO₂ Sequestrierung?

CCS



Löslichkeit von CO₂ ist begrenzt

Diamond et al. BFE (2010) «Potential for CO₂ sequestration in Switzerland»

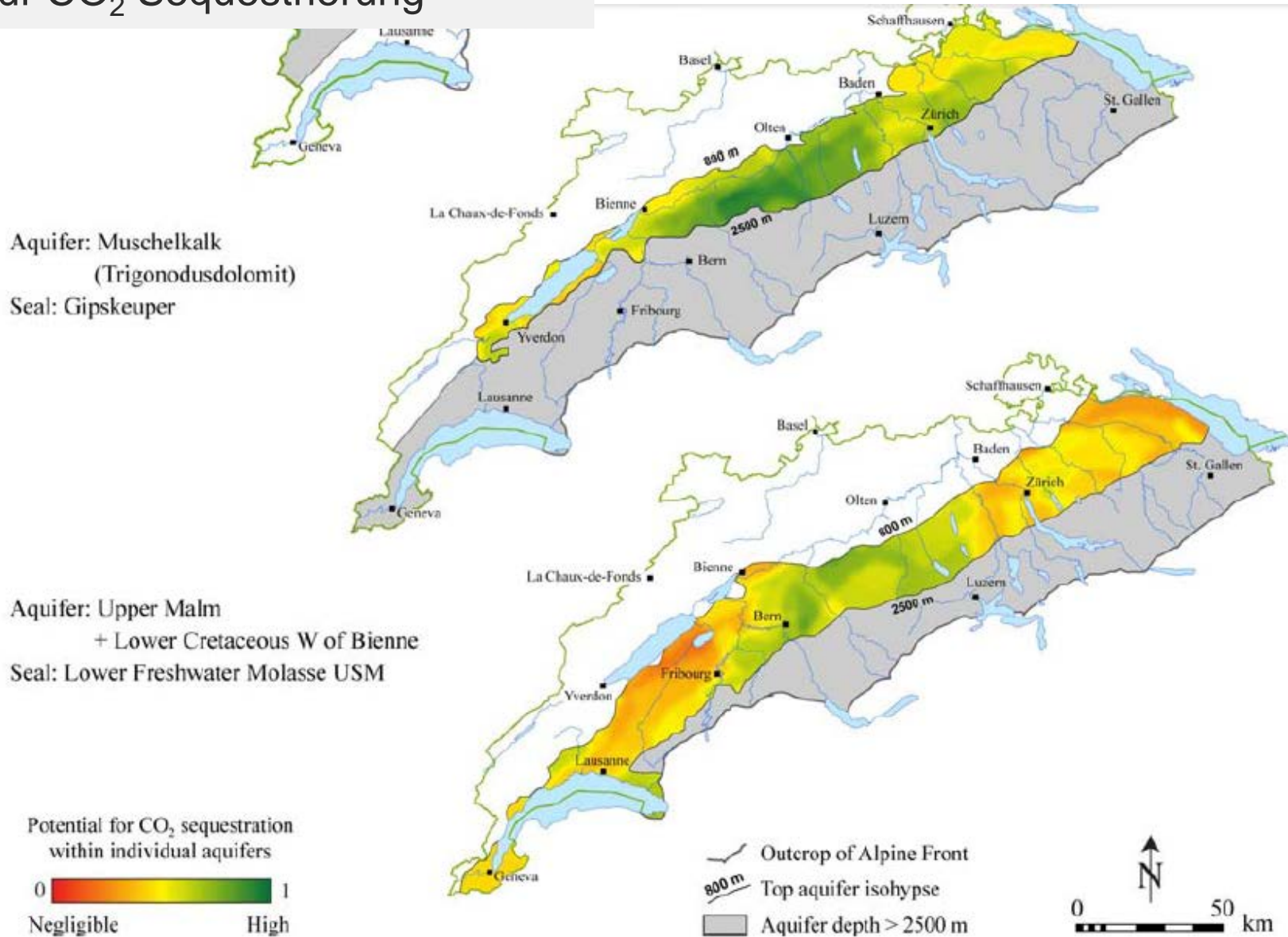


Beschränkte Löslichkeit
30-50 kg CO₂ pro m³.

Rest als CO₂-Tröpfchen,
spezifisch leichter als
Salzwasser

Potential saliner Grundwasserleiter

für CO₂ Sequestrierung



Energiewende: Wasser als Endlager

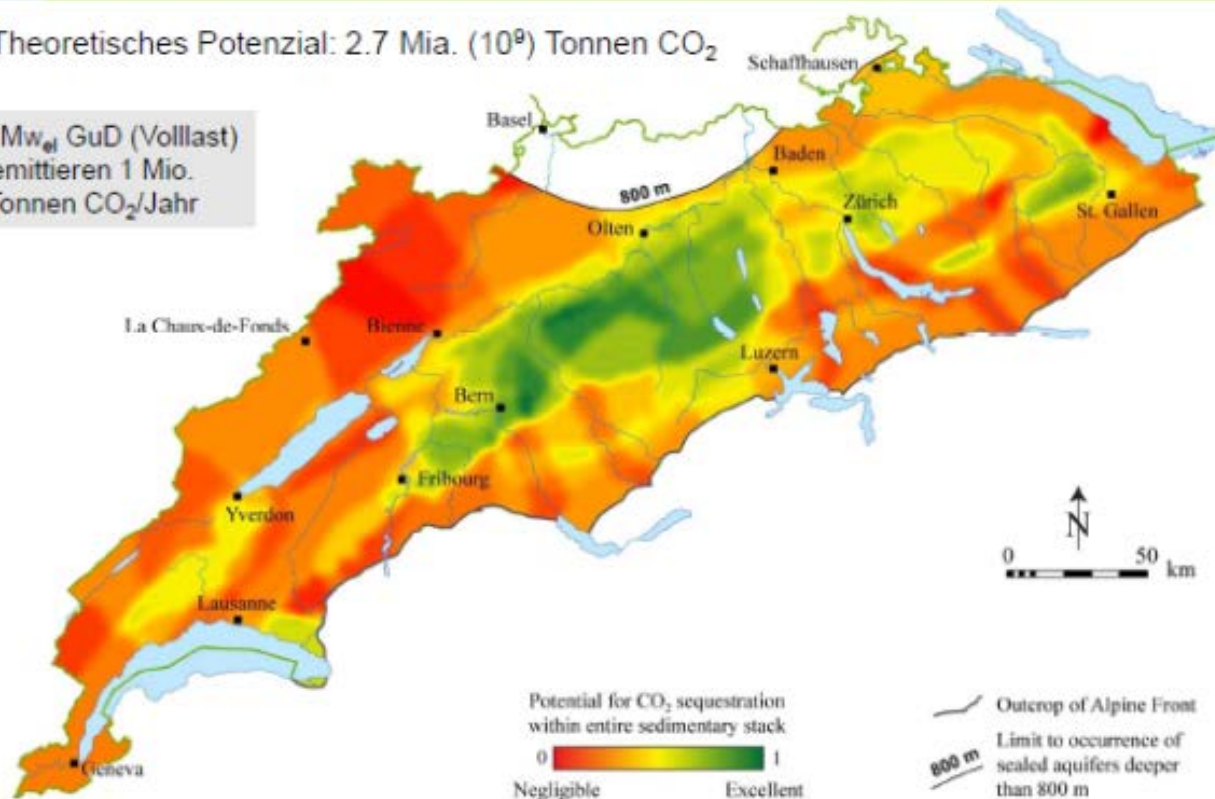
Herausforderung: Sicheres Endlager für CO₂ im Schweizer Mittelland



Theoretisches Potenzial CO₂-Sequestrierung im Aquiferstapel

Theoretisches Potenzial: 2.7 Mia. (10⁹) Tonnen CO₂

350 Mw_{el} GuD (Vollast)
emittieren 1 Mio.
Tonnen CO₂/Jahr



Quelle: Diamond et al., BFE Speicherpotenzialstudie, 2010

Rohstoff-Handel und - Import

... zunehmender «virtueller» Schadstoffhandel

Glencore steigert Reingewinn um über die Hälfte

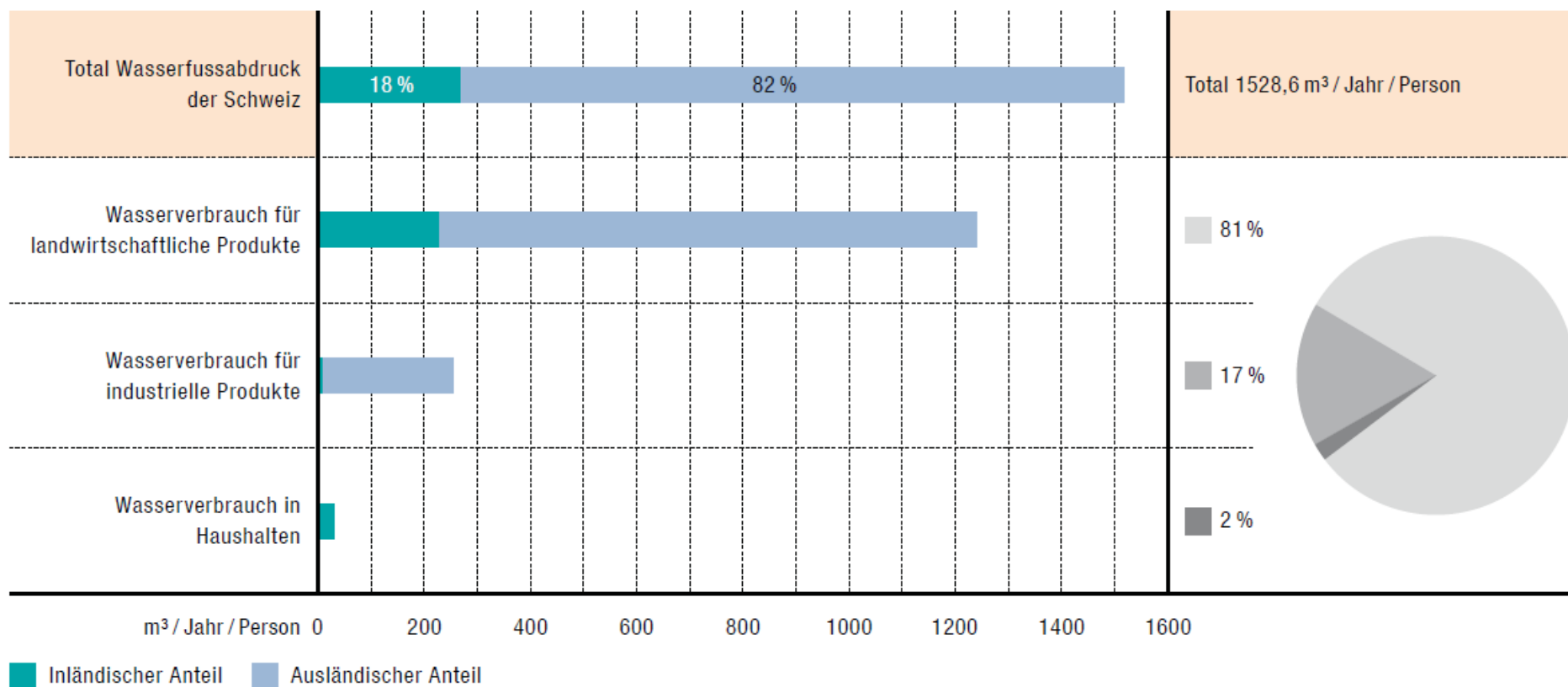


Hauptsitz von Glencore in Baar - Der Rohstoffriese hat im ersten Halbjahr 2011 kräftig zugelegt (Archiv)

Quelle: Keystone

Wasser Fussabdruck...

... genügt nicht, weil die Reinigungskosten exportiert bleiben

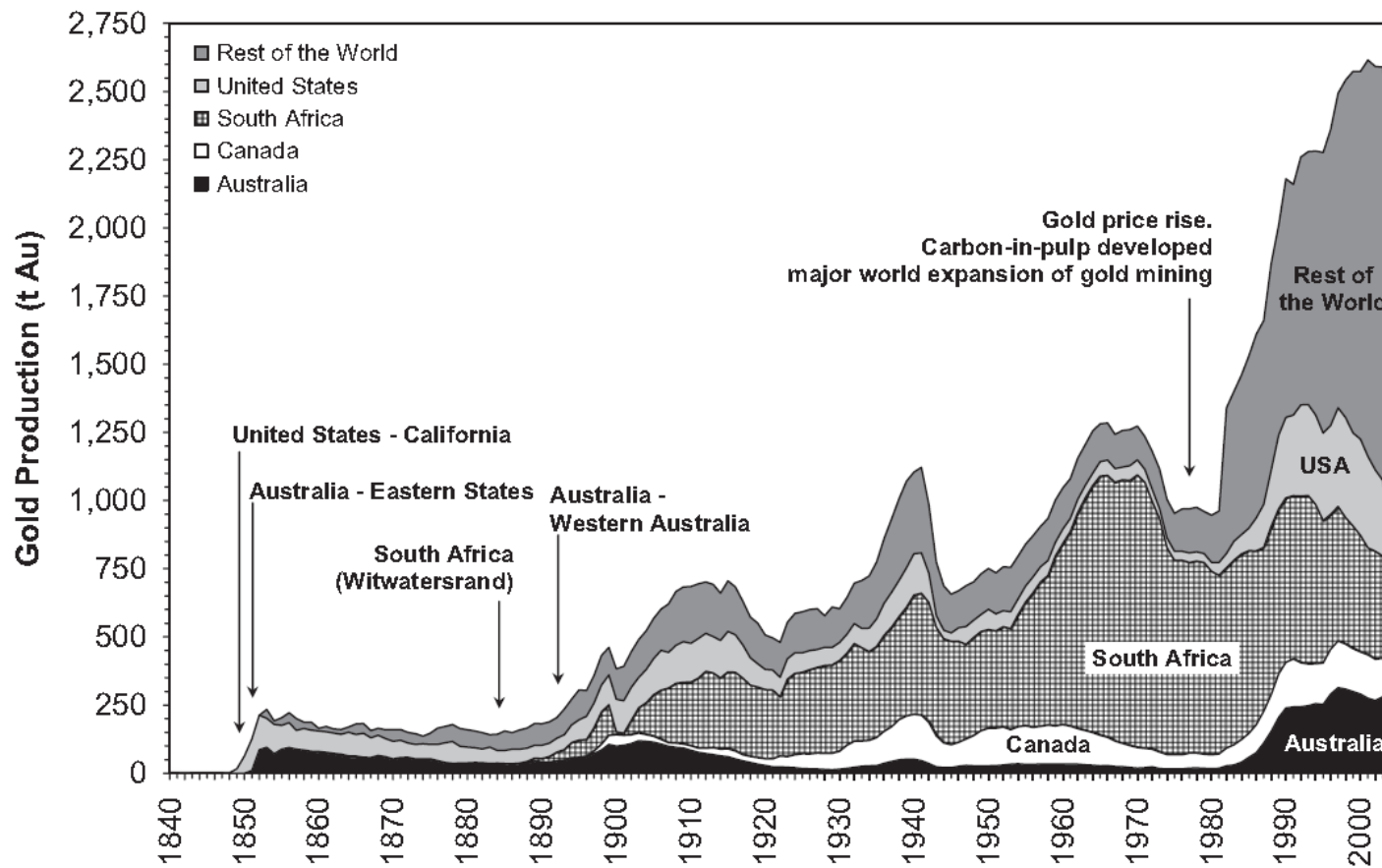


Viel Schutt für wenig Gold

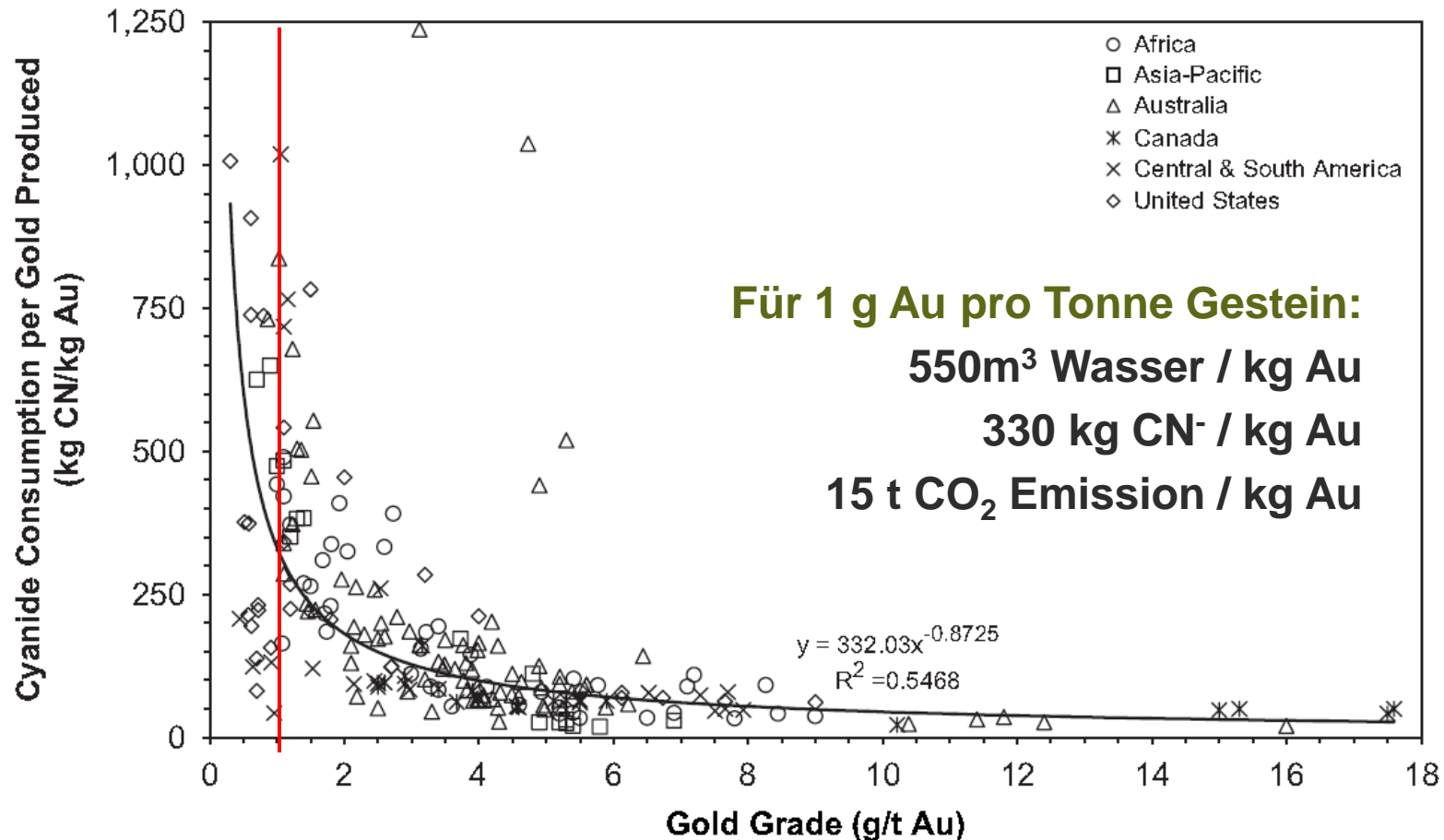
Geschätzte Massenbewegungen im Bergbau in Mio t Jahr⁻¹. Um das reine Produkt zu erhalten, werden z.T. grosse Abraumhalden produziert

Mining activity	Total	Refined product	Waste
Coal	18,444	3,787	14,657
Building stone	14,186	10,430	3,756
Lignite	9,024	930	8,094
Copper	4,190	9.3	4,181
Petroleum	3,489	3,065	424
Iron	3,138	604	2,534
Gold	2,138	0.002	2,138
Phosphate	477	119	358
Nickel	403	0.72	402
Aluminum	302	101	201

Globale Goldförderung nimmt zu...



Erzqualität nimmt laufend ab, Chemie-Einsatz steigt

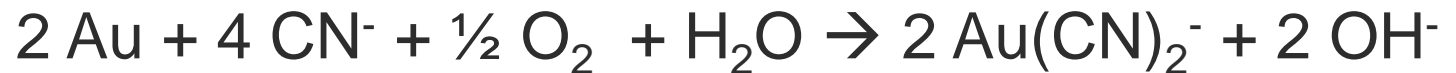


Gold wird mit Cyanid gewonnen

Au^+_{aq} ist nicht stabil und oxidiert wässrige Lösungen



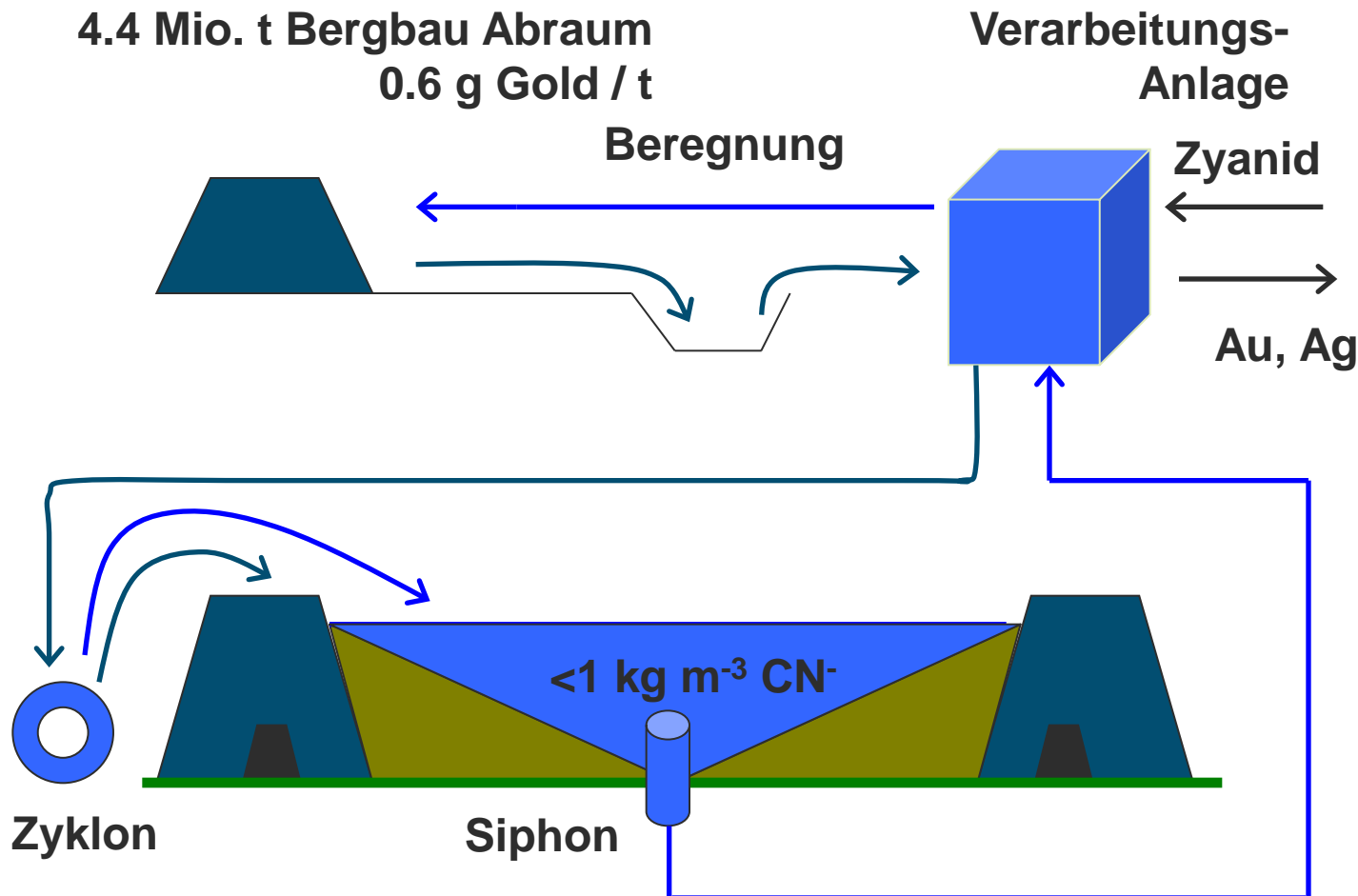
Metallisches Gold löst sich jedoch mit Cyanid (0.5 g L^{-1})



„Reinheit des Goldes“
täuscht. Goldbergbau
braucht Cyanid oder Hg

Gold Extraktion

Baia Mare, Rumänien, 2000



Mängelliste

Zyanid im Grundwasser

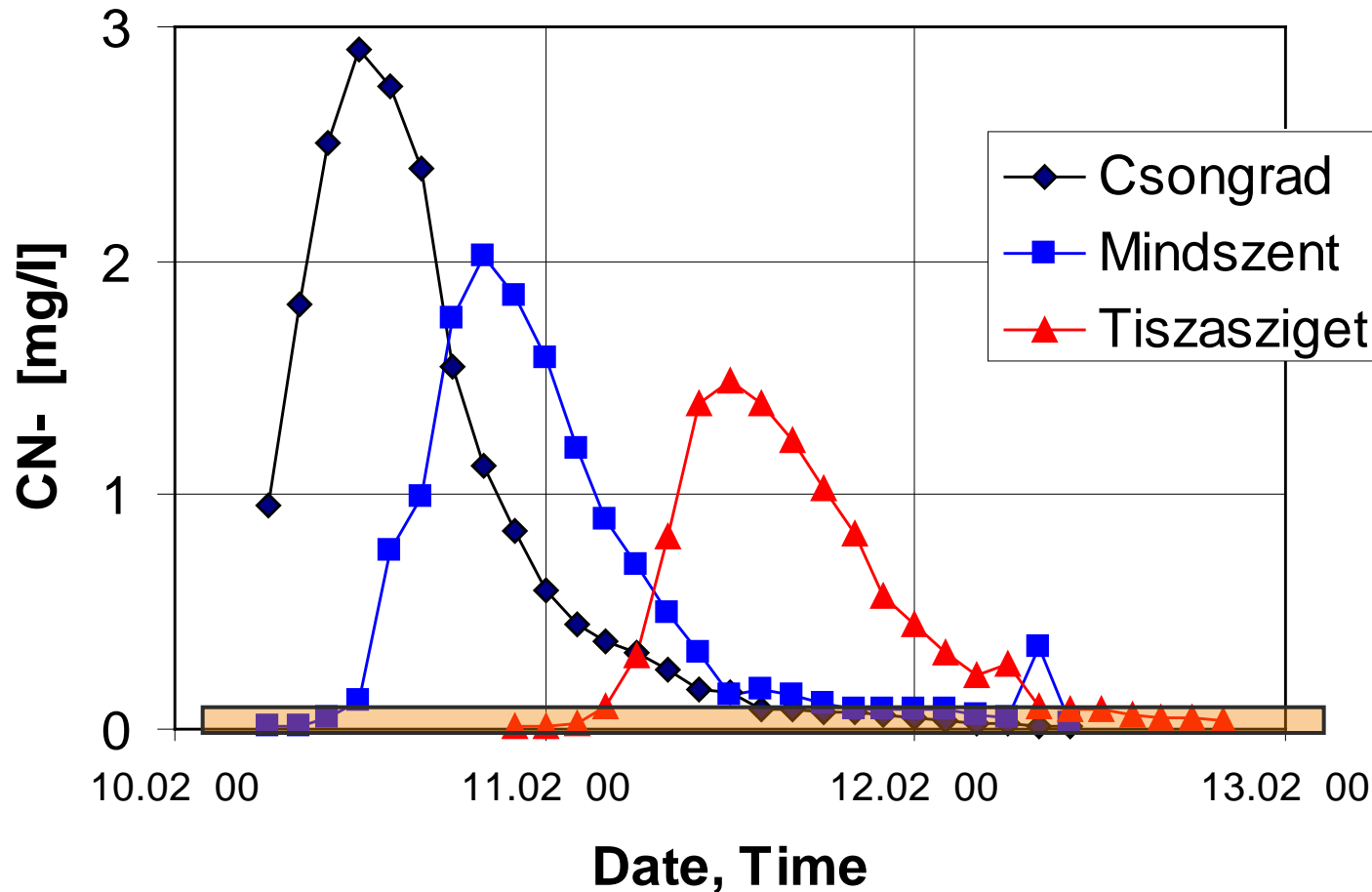
Damm mit Schlamm Gebaut

Zykone versagen im Winter

Kein Platz für Regenwasser

Zyanid Unfall in der Theiss

Nach 10 Tagen erreicht das CN^- die ungarische Tiefebene



LC50 = lethale
Konzentration,
bei der 50%
Versuchstiere
sterben

LD = lethale
Dosis

LC₅₀ Fische
~ 0.1 mg $\text{CN}^- \text{ L}^{-1}$

LD₅₀ Menschen
200 mg

Ökologische und ökonomische Folgen

- 4 Wasserwerke kontaminiert
- 1200 t Fische in der Theiss verendet
 - Dank Verdünnung & Abbau kein Fischsterben in der Donau
- Bergbauunternehmen erklärt Bankrott
 - Ersatzstoffe für CN^- vorhanden
 - Geschlossene Extraktion möglich
- Es braucht internationale Standards!



Bis 2060 wird die Schweiz älter, urbaner, tiefer und verflochtener.

1. Weitere Reinigungsstufe der ARAs nötig und sinnvoll,
2. Chemie-Einsatz im Gebäudebereich begrenzen,
3. Schutz und Nutzen von tiefen Grundwasserleitern planen,
4. Gewässer lokal schützen, aber mit internationalen Standards!