

Kontaminationsrisiken durch Bewässerung



Bild: Paul van den Berge, FiBL

Bernhard Speiser, Mirjam Schleiffer

30. 9. 2021

Erstellt im Auftrag von Bio Suisse



Inhaltsverzeichnis

English summary.....	1
1. Fragestellung.....	2
2. Wasser und Bewässerung.....	2
2.1 Bewässerung im Spannungsfeld der Wassernutzungsarten.....	2
2.2 Unterschiedliche Wasserquellen.....	2
2.3 Bewässerung mit <i>aufbereitetem</i> Abwasser.....	3
2.4 Bewässerung mit <i>nicht</i> aufbereitetem Abwasser.....	3
2.5 Risiken der Bewässerung mit Abwasser.....	4
3. Vorkommen verschiedener Kontaminanten im Wasser.....	5
3.1 Vorkommen pathogener Mikroorganismen.....	5
3.2 Vorkommen von Schwermetallen.....	6
3.3 Vorkommen übriger organische Stoffe.....	7
3.3.1 <i>Pharmazeutika (inkl. Antibiotika) und Körperpflegeprodukte.....</i>	<i>9</i>
3.3.2 <i>Pestizide.....</i>	<i>10</i>
3.3.3 <i>Übrige Kontaminanten.....</i>	<i>10</i>
4. Kontamination von Lebensmitteln durch Bewässerungswasser.....	10
4.1 Kontamination durch Mikroorganismen.....	10
4.2 Kontamination durch Schwermetalle.....	11
4.3 Kontamination durch übrige organische Schadstoffe.....	11
4.3.1 <i>Antibiotika.....</i>	<i>12</i>
4.3.2 <i>Übrige Pharmazeutika und Körperpflegeprodukte.....</i>	<i>12</i>
4.3.3 <i>Pestizide.....</i>	<i>13</i>
4.3.4 <i>Übrige Kontaminanten.....</i>	<i>13</i>
5. Massnahmen zur Risikoreduktion.....	14
5.1 Risikoreduktion gegen Pathogene.....	14
5.2 Risikoreduktion gegen übrige Kontaminanten.....	16
6. Schlussfolgerungen und Empfehlungen.....	16
7. PS: Weitere Wassernutzungen.....	18
8. Dank.....	18
9. Literatur.....	18

English summary

This study provides an overview of the contamination risks in agriculture arising from the use of irrigation water. Various water sources are used for irrigation: surface water, groundwater, drinking water, collected rainwater, desalinated seawater and treated or untreated wastewater. Common contaminants in water are *pathogens* from human or animal origin, *heavy metals* and a wide range of *organic contaminants* such as pharmaceuticals, cosmetics, detergents and pesticides.

Wastewater is usually the cheapest and sometimes the only source of water that can be used for irrigation. Its use for irrigation is attractive, because it contains many plant nutrients. However, the elevated levels of organic contaminants, salts, heavy metals and pathogens also pose risks. Moreover, surface waters often contain a certain proportion of treated or untreated wastewater. Thus, wastewater may be used unconsciously for irrigation purposes.

The transfer of contaminants from irrigation water to agricultural products has been demonstrated in some cases. The risk of *pathogen* contamination is greatest for crops where the edible parts grow close to the surface (e.g. herbs, lettuce). *Heavy metals* have been shown to accumulate in soils and in crops. According to the World Health Organization, boron and cadmium are a particular threat. The accumulation of *organic contaminants* varies greatly from one substance to another, but depends also on soil quality and transpiration rate of the crop. Generally speaking, leafy vegetables have higher absorption potential than root vegetables, followed by cereals, fodder plants and fruit vegetables.

Most current guidelines for reducing risks associated with irrigation water address risks from pathogens. The most important measures include the reduction of contamination of water bodies, disinfection or purification of irrigation water, storage of water in ponds and adapted irrigation technology. Finally, the harvested products can be washed, peeled or cooked to reduce pathogen contamination. These measures can be expected to have a partial effect against other contaminants too, but there is need for further research. From a food safety point of view, pathogens pose the greatest risk. For many other contaminants (in particular cosmetics and pharmaceuticals), the primary exposition via direct application by far exceeds the potential levels resulting from contaminated crops. Nevertheless, their presence in food does not match consumer expectation, particularly for organic food, and such contaminants should also be monitored and minimised. As water demand in agriculture will continue to increase in the future, the risks posed by irrigation water must be monitored and further investigated.

1. Fragestellung

Diese Studie untersucht, ob und wie weit Bewässerung ein Kontaminationsrisiko für die bewässerten Kulturen und das entsprechende Lebensmittel darstellt. Die Studie ist als Überblick gedacht und umfasst alle möglichen Arten von Stoffen / Mikroorganismen welche über die Bewässerung eingetragen werden können und zeigt die Problematik in allen Weltregionen auf. Ziel der Studie ist es, solche Risiken besser zu verstehen.

Andere Wassernutzungen (Aquakultur, Tierhaltung, Verarbeitung) sind nicht Teil dieser Studie. Um das Bild abzurunden, werden diese Wassernutzungen jedoch im letzten Kapitel ganz kurz angeschnitten.

2. Wasser und Bewässerung

2.1 Bewässerung im Spannungsfeld der Wassernutzungsarten

Der Wasserbedarf der Landwirtschaft ist stark gestiegen, und macht heute rund 70 % des gesamten weltweiten Wasserbedarfs aus (Helmecke *et al.*, 2020). Der Anstieg des Wasserbedarfs in der Landwirtschaft hat folgende Gründe:

- die *bewässerte Fläche* hat sich seit den 1960er Jahren verdoppelt
- der Bestand an *Nutztieren* hat sich seit den 1970er Jahren verdreifacht
- die *Aquakultur* ist seit den 1980er Jahren um das 20-fache angestiegen (Mateo-Sagasta *et al.*, 2018).

Bewässerung ist heute ein Schlüsselfaktor für gute Erträge im Pflanzenbau. In ariden und semiariden Gebieten muss oft regelmässig bewässert werden. In gemässigten Klimazonen hingegen dient die Bewässerung meist dazu, kürzere Trockenperioden zu überbrücken und Schäden an den Kulturen zu verhindern.

Der Wasserverbrauch steigt generell an, nicht nur in der Landwirtschaft. Gemäss Schätzungen könnte bis 2030 weltweit eine Unterversorgung mit Wasser von 40 % bestehen (European Commission, 2012). Regional kann die Unterversorgung natürlich auch wesentlich höher sein. Damit steht der Wasserverbrauch der Landwirtschaft immer stärker in Konkurrenz zum übrigen Wasserverbrauch.

2.2 Unterschiedliche Wasserquellen

Zur Bewässerung werden unterschiedliche Wasserquellen eingesetzt. Diese variieren sehr stark in Bezug auf die Art und die Menge der vorhandenen Schadstoffe / Mikroorganismen. Die wichtigsten Wasserquellen sind:

- Oberflächenwasser (aus Seen, Weihern, Flüssen oder Bächen)
- Grundwasser
- Trinkwasser (aus der Wasserversorgung)
- Gesammeltes Regenwasser

- Entsalztes Meerwasser
- Aufbereitetes oder nicht aufbereitetes Abwasser (aus Landwirtschaft, Aquakultur, Gewerbe, Industrie oder Siedlungen), oft vermischt mit Oberflächenwasser

2.3 Bewässerung mit *aufbereitetem* Abwasser

Die (geplante) Bewässerung mit *aufbereitetem* Abwasser, sogenanntes «reclaimed water» ist verbreitet. Diese Praxis kommt vor allem in ariden und semi-ariden Gebieten vor, wo verfügbares Frischwasser knapp ist. Speziell im Mittelmeerraum und dem Mittleren Osten wird primär aufbereitetes Abwasser für die Bewässerung von landwirtschaftlichen Flächen eingesetzt (Lazarova *et al.*, 2013). Die FAO schätzt, dass weltweit ca. 0.5 Millionen Hektaren mit aufbereitetem Abwasser bewässert werden (Winpenny *et al.*, 2010). Auch in der EU existiert grosses Potential, zukünftig vermehrt aufbereitetes Abwasser für die Bewässerung einzusetzen (Deville *et al.*, 2020).

Aufbereitetes Abwasser nimmt eine Mittelstellung zwischen Abwasser und sauberem Wasser ein. Es kann noch Pflanzennährstoffe enthalten, weist jedoch auch einen erhöhten Salzgehalt auf. Da die Aufbereitung oft keine vollständige Reinigung erzielt, kann es aber auch noch einen gewissen Gehalt an Schadstoffen und Pathogenen aufweisen (Colon und Toor, 2016). Welche Nährstoffe, Schadstoffe und Pathogene in welcher Menge in aufbereitetem Wasser vorkommen, hängt mit der Verschmutzung des Abwassers und mit der Art der Aufbereitung zusammen und lässt sich somit nicht verallgemeinern.

Europa

Auch in der Europäischen Union ist die Bewässerung mit aufbereitetem Abwasser verbreitet (Drewes *et al.*, 2017). Dies ist jedoch oftmals ungeplant. Viele Oberflächengewässer in Regionen mit landwirtschaftlicher Bewässerung erhalten auch Zufluss aus Kläranlagen. Basierend auf Fallbeispielen aus Spanien, Italien und Frankreich zeigt die Studie, dass der Anteil an aufbereitetem Abwasser in europäischen Flüssen zwischen wenigen Prozent bis über die Hälfte ausmachen kann. In niederschlagsreichen Perioden liegt der Anteil meist unter 10 %. In trockenen Zeiten hingegen nimmt das Wasser aus Niederschlägen stark ab, während das Abwasser weitgehend konstant bleibt. Dadurch kann der Anteil des Abwassers auf über 50 % steigen. Gleichzeitig ist dann auch die Nachfrage nach Bewässerungswasser besonders gross, was das Risiko für die Belastung der landwirtschaftlichen Kulturen erhöht (Drewes *et al.*, 2017).

2.4 Bewässerung mit *nicht aufbereitetem* Abwasser

Der Bedarf für Bewässerung ist in denjenigen Regionen am höchsten, wo Wasser am knappsten ist. Falls nicht genügend sauberes Wasser zur Verfügung steht, wird deshalb oft auch Abwasser verwendet. Meist handelt es sich dabei nicht ausschliesslich um Abwasser, sondern um Flüsse oder Seen, die einen gewissen Anteil Abwasser enthalten.

Diese Art der Nutzung von Abwasser ist in vielen Fällen nicht geplant. Vielen Landwirt*innen dürfte nicht klar sein, wie sauber oder verschmutzt das Wasser ist, welches sie zur Bewässerung einsetzen. Fallstudien zeigen, dass diese Art der Wasserwiederverwendung häufig ist; das genaue Ausmass ist jedoch unklar (Thebo *et al.*, 2017).

Die Verwendung von Abwasser zur Bewässerung birgt eine komplexe Mischung aus Vor- und Nachteilen (IWMI, 2006). Unter Anderem enthält es viele Pflanzennährstoffe, was den Bedarf an Düngern senken kann.

Wasser, welches einen gewissen Anteil Abwasser enthält, wird aus verschiedenen Gründen für die Bewässerung eingesetzt:

- Oft ist es die einzige verfügbare Wasserquelle, speziell in Trockenzeiten
- Es ist in grossen Mengen verfügbar
- Oft ist es gratis, oder zumindest viel günstiger als sauberes Wasser
- Es ist als Trinkwasser nicht geeignet

Selbstverständlich müsste Abwasser fachgerecht gereinigt werden, bevor es in irgendeiner Form verwendet oder in die Umwelt abgegeben wird. In vielen Weltregionen übersteigt dies jedoch die finanziellen oder logistischen Möglichkeiten. Wo dies der Fall ist, ist die Verwendung zur Bewässerung eher günstiger zu beurteilen als die Einleitung in Oberflächengewässer oder ins Meer. Die im Abwasser in grossen Mengen vorhandenen Pflanzennährstoffe sind im Feld als Dünger willkommen, während eine Überdüngung von Gewässern ökologisch schädlich ist. Zudem werden diverse organische Schadstoffe und Pathogene im Boden besser abgebaut als in Gewässern. Bei der Wiederverwertung von Abwasser macht die Bewässerung rund 30 % aus (Helmecke *et al.*, 2020).

Entwicklungsländer

Gemäss Schätzungen von 2004 wurde weltweit auf 20 Millionen ha in 50 Ländern mit Abwasser bewässert, speziell in 'low-income countries' (Khalid *et al.*, 2018). Das entspricht ca. 10 % der insgesamt bewässerten Fläche (Winpenny *et al.*, 2010). Gemäss einer anderen Schätzung (Thebo *et al.*, 2017) wird sogar rund die doppelte Fläche (35.9 Millionen ha) mit Wasser bewässert, welches mehr als 20% Abwasser enthält. Diese Flächen finden sich grösstenteils in China, Indien, Pakistan, Mexiko und Iran. Von 50 Städten in Asien, Afrika und Lateinamerika kommt Bewässerung mit Abwasser in drei Vierteln vor (IWMI, 2006). Eine Fallstudie zeigt, dass in Pakistan 25 % aller Gemüse mit Abwasser (hauptsächlich Siedlungsabwasser) bewässert wird, und in Sub-Sahara Afrika gar 60 – 100 % (Pachepsky *et al.*, 2011).

2.5 Risiken der Bewässerung mit Abwasser

Die Verwendung von Abwasser zur Bewässerung birgt verschiedene Risiken: (i) Feldarbeiter und Anwohner können Gesundheitsschäden erleiden, speziell durch Humanpathogene; (ii) der Boden kann langfristige Schäden nehmen, speziell durch

Schwermetalle, Salze und persistente organische Verbindungen; (iii) wenn das Abwasser in Oberflächen- oder Grundwasser fliesst, kann das Trinkwasser verschmutzt werden; (iv) das Erntegut kann kontaminiert werden. **Diese Studie beschränkt sich auf den letzten Aspekt.**

3. Vorkommen verschiedener Kontaminanten im Wasser

In Reviews werden meist Schwermetalle und Humanpathogene als wichtigste Kontaminanten des Abwassers angesehen (Khalid *et al.*, 2018). Die Herkunft der Kontaminanten unterscheidet sich je nach ihrer Art. *Pathogene Mikroorganismen* stammen von Menschen oder Tieren und kommen deshalb in Abwässern aus Siedlungsgebieten vor, oder werden von Feldern abgeschwemmt, nachdem Mist oder Gülle ausgebracht wurde. *Schwermetalle* dürften vor allem in Abwässern aus Industrie, Gewerbe und Bergbau verbreitet sein. In tieferen Konzentrationen sind sie auch in Siedlungsabwasser zu finden, und vereinzelt gibt es auch natürliche Vorkommen in Oberflächen- und Grundwasser, bedingt durch Mineralien im Boden/Gestein. *Übrige organische Kontaminanten* dürften vor allem in Abwässern aus Industrie, Gewerbe und Siedlungsgebieten weit verbreitet sein. Gemäss Abaidoo *et al.* (2010) stellen Pathogene in Afrika südlich der Sahara die grösste Bedrohung dar, während in Südostasien Schwermetalle ein zunehmendes Risiko darstellen. Tongesayi und Tongesayi (2015) geben einen Überblick über die verschiedenen Kontaminanten in Abwasser und warnen vor der Verwendung zur Bewässerung.

3.1 Vorkommen pathogener Mikroorganismen

Fast alles Bewässerungswasser enthält hier und da Mikroorganismen (Pachepsky *et al.*, 2011). Es bestehen jedoch grosse Unterschiede, welche Arten vorkommen, in welcher Menge und wie häufig. Die mikrobiologische Qualität von Bewässerungswasser scheint nirgends auf der Welt routinemässig überwacht zu werden. Wenn eine mikrobiologische Kontamination von Lebensmitteln festgestellt wird, so wird jedoch meist auch das Wasser untersucht. In diesem Zusammenhang werden relativ häufig Pathogene gefunden (Pachepsky *et al.*, 2011). Gemäss Drewes *et al.* (2017) werden einige Stunden oder Tage flussabwärts eines Klärwassereinlasses die Grenzwerte für Pathogene häufig überschritten. Dies gilt auch für stark verdünntes Abwasser mit einem Abwasser-Anteil von 10 % oder weniger. Pathogene können auch in Oberflächengewässern vorkommen, falls Mist oder Gülle unsachgemäss ausgebracht wurden (Pachepsky *et al.*, 2011).

Einen Überblick über das Vorkommen verschiedener Mikroorganismen (Viren, Bakterien und Protozoen) gibt Rusinol *et al.* (2020). Die häufigsten Pathogene in Bewässerungswasser sind Darmbakterien (Abaidoo *et al.*, 2010). Die meisten Darm-pathogene können sich ausserhalb ihrer Wirte nicht vermehren, und viele verlieren ihre Infektiosität sehr schnell; Wurmeier stellen eine Ausnahme dar und überleben sehr lange (Abaidoo *et al.*, 2010).

Antibiotikaresistenz

Kläranlagen gelten heute als Hotspots für die Bildung/Übertragung von Antibiotikaresistenzen (Helmecke *et al.*, 2020). Somit besteht die Möglichkeit, dass mit der Bewässerung auch antibiotikaresistente Pathogene verbreitet werden. Ein Review findet sich bei Christou *et al.* (2017).

Wasserdesinfektion

Pathogene können durch eine Wasserdesinfektion unschädlich gemacht werden. Es gibt verschiedene Methoden zur Wasserdesinfektion (Dandie *et al.*, 2020). Am weitesten verbreitet ist die Verwendung von Chlor (reines Chlor, Chlordioxid oder Hypochlorit). Diese Methode ist gut bekannt, billig und breit wirksam. Der Haupt-Nachteil von Chlor ist die Bildung von Chlorat-Rückständen im Erntegut. Dazu kommt die Bildung von Desinfektionsnebenprodukten (disinfection byproducts; DBPs). Relativ bekannt sind auch Geräte, mit denen vor Ort sogenanntes Elektrolytwasser hergestellt wird. Deren Wirkung beruht zum grossen Teil auf der Bildung von Hypochlorit, daher gelten für diese Technologie die gleichen Vor- und Nachteile wie für die Verwendung von Hypochlorit.

Eine echte Alternative wären physikalische Desinfektionsmethoden. Die Verwendung von UV ist bei einigermaßen klarem Wasser (Trinkwasser, Schwimmbäder etc.) gut wirksam. Das für die Bewässerung verwendete Wasser ist jedoch meist trüb, was die Wirksamkeit von UV reduziert. Da bei UV die bakterizide Wirkung nur während der Bestrahlung besteht, können sich Pathogene nach der Desinfektion mit UV wieder vermehren. Andere physikalische Methoden sind noch wenig verbreitet oder erst in Entwicklung. Beispiele sind reaktive Radikale wie z.B. Hydroxyl oder die hydrodynamische Kavitation, welche mit lokalem Hochdruck / Hochtemperatur funktioniert. Die Schweizer Trinkwasserverordnung (SR 817.022.11) nennt noch weitere Verfahren, wie die Ozonierung und die Silberung. Wie weit diese auch bei Bewässerungswasser eingesetzt werden, entzieht sich unserer Kenntnis.

3.2 Vorkommen von Schwermetallen

Neben Pathogenen sind Schwermetalle bei der Verwendung von Abwasser eines der grössten Probleme. Da sie sich im Boden anreichern ist insbesondere die langjährige Verwendung von Abwasser problematisch. Eine Feldstudie hat gezeigt, dass verschiedene Gemüsearten Schwermetalle unterschiedlich stark anreichern. Zudem war die Anreicherung für jedes einzelne Schwermetall unterschiedlich. Blei wurde als problematischstes Element eingestuft (Tom *et al.*, 2014).

Die Bedeutung einzelner Schwermetalle wird unterschiedlich eingeschätzt. Dies hat auch damit zu tun, wie man die Bedeutung definiert. In einer Zusammenstellung wurden Cadmium, Kobalt, Molybdän und Selen als grösstes Risiko eingestuft. Die WHO stuft Bor und Cadmium als besondere Bedrohung ein, da sie sehr toxisch und bioakkumulierend sind. Quecksilber, Cadmium und Blei sind schädlich, da sie schon in

geringen Dosen toxisch und bioakkumulierend sind und eine lange biologische Halbwertszeit haben (Abaidoo *et al.*, 2010).

3.3 Vorkommen übriger organische Stoffe

Heute werden in allen Lebensbereichen (Industrie, Gewerbe, Haushalt, Landwirtschaft ...) synthetische organische Stoffe für verschiedenste Zwecke eingesetzt. Beispiele sind Pharmazeutika, Kosmetika, Reinigungsmittel, Plastik, Konservierungsmittel, Biozide und Textilchemikalien. Manche sind persistent, bioakkumulierend und toxisch (PBT), andere persistent, mobil und toxisch (PMT) (Helmecke *et al.*, 2020). Gute Kläranlagen können viele dieser Stoffe entfernen. Einige stabile Verbindungen werden jedoch oft nicht entfernt, und teilweise bilden sich auch Metaboliten (Helmecke *et al.*, 2020). Der Abbau in der Kläranlage kann zwischen 0 und 99.7 % variieren (Qin *et al.*, 2015).

Im Umweltmonitoring ist teilweise die Bezeichnung «neu auftauchende Schadstoffe» (NAS) üblich. Die EU klassifiziert gewisse Stoffe als ‘contaminants of emerging concern’, und bezeichnet manche Stoffe als ‘priority substances’. Sie hat zudem eine Beobachtungsliste von Stoffen für eine unionsweite Überwachung im Bereich der Wasserpolitik veröffentlicht. Die aktuelle Version dieser Liste umfasst mehrere Empfängnisverhütungsmittel, Antibiotika und Pestizide. Es gibt mehrere Reviews zum Vorkommen solcher Stoffe in europäischen Gewässern. Tabelle 1 gibt einen Überblick.

Tabelle 1: Häufig vorkommende organische Schadstoffe in europäischen Gewässern.

Stoffgruppe	Stoffe	Region	Quelle
Herbizide	Atrazin, Alachlor, Metolachlor, Terbutylazin, Trifluralin	Gewässer, Europa	Sousa <i>et al.</i> (2018)
	MCPA, Mecoprop	Klärwasser, Europa	Loos <i>et al.</i> (2013)
	Diuron, Isoproturon, Terbutylazin, Atrazin, Glyphosat	Gewässer, Niederlande, Frankreich, Deutschland, USA	(Schreiner <i>et al.</i> , 2016)
Insektizide	Carbofuran, Dimethoat, Heptachlor, Hexachlorcyclohexan, Imidacloprid, Malathion	Gewässer, Europa	Sousa <i>et al.</i> (2018)
	Lindan, Fipronil, Imidacloprid	Gewässer, Niederlande, Frankreich, Deutschland, USA	(Schreiner <i>et al.</i> , 2016)

Stoffgruppe	Stoffe	Region	Quelle
Fungizide	Bitertanol, Flutolanil, propiconazole, Boscalid, Carbendazim	Gewässer, Niederlande, Frankreich, Deutschland, USA	(Schreiner <i>et al.</i> , 2016)
Kontaminanten	polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), Diethylhexylphthalat (DEHP; Weichmacher) und Bisphenol A (aus Kunststoffen)	Gewässer, Europa	Sousa <i>et al.</i> (2018)
	Benzotriazol (aus Geschirrspülmitteln), TCPP, PFOS und PFPA (Flammschutzmittel)	Klärwasser, Europa	Loos <i>et al.</i> (2013)
Antibiotika	Azithromycin, Ciprofloxacin, Clarithromycin, Erythromycin, Ofloxacin, Sulfamethoxazol, Trimethoprim	Gewässer, Europa	Sousa <i>et al.</i> (2018)
	Trimethoprim, Ciprofloxacin, Sulfomethoxazol	Klärwasser, Europa	Loos <i>et al.</i> (2013)
	Diverse Antibiotika, insbesondere Sulfomethoxazol	Gewässer, Europa	Zhou <i>et al.</i> (2019)
Übrige Arzneimittel	Acetaminophen, Atenolol, Carbamazepin, Diclofenac, Ibuprofen, Ketoprofen, Metoprolol, Naproxen	Gewässer, Europa	Sousa <i>et al.</i> (2018)
	Carbamazepin, Diclofenac, Kodein, Oxazepam, Tramadol, und	Klärwasser, Europa	Loos <i>et al.</i> (2013)
	Diverse Wirkstoffe, insbesondere Diclofenac, Ibuprofen, Carbamazepin, Atorvastatin	Gewässer, Europa	Zhou <i>et al.</i> (2019)
Empfängnisverhütungsmittel	17-alpha-Ethinylöstradiol, Östriol	Gewässer, Europa	Sousa <i>et al.</i> (2018)
	Ethinylöstradiol	Gewässer, Europa	Zhou <i>et al.</i> (2019)
Kosmetika	Octonoxat (UV-Filter in Sonnencrèmes)	Gewässer, Europa	Sousa <i>et al.</i> (2018)
	DEET (Insektenrepellent)	Klärwasser, Europa	Loos <i>et al.</i> (2013)

Stoffgruppe	Stoffe	Region	Quelle
Lebensmittel	Koffein	Gewässer, Europa	Sousa <i>et al.</i> (2018)
	Koffein	Gewässer, Europa	Zhou <i>et al.</i> (2019)
	Koffein, Acesulfam, Sucralose (Süssstoffe)	Klärwasser, Europa	Loos <i>et al.</i> (2013)

Oft sind die Risiken dieser Stoffe noch nicht komplett verstanden, und die meisten dieser Stoffe sind bisher kaum reguliert (Colon und Toor, 2016).

3.3.1 Pharmazeutika (inkl. Antibiotika) und Körperpflegeprodukte

Pharmazeutika und Körperpflegeprodukte sind vermutlich seit geraumer Zeit in Gewässern verbreitet, erhielten jedoch lange wenig Aufmerksamkeit. Dank besseren analytischen Methoden werden sie seit den 1990er Jahren verstärkt wissenschaftlich untersucht (Colon und Toor, 2016). Einen Überblick gibt die Studie von Ebele *et al.* (2017). Gemäss dieser Studie sind vor allem Steroide wie Östrogene und Progestogene, Entzündungshemmer, Antibiotika, Antiallergika, Antidepressiva aber auch Desinfektionsmittel, Duftstoffe und UV-Filter (aus Sonnencreme) verbreitet. Solche Stoffe sind primär in Siedlungsabwasser zu finden.

Veterinärmedizinische Pharmazeutika gelangen primär durch die Ausbringung von Mist oder Gülle auf Felder und können dort Pflanzen direkt kontaminieren. Bei starken Niederschlägen können sie so auch in Oberflächengewässer gelangen, aber dieser Kontaminationsweg dürfte von untergeordneter Bedeutung sein. In der Aquakultur werden diverse veterinärmedizinische Pharmazeutika eingesetzt. Sie werden direkt ins Wasser gegeben, und sind somit auch im abfliessenden Wasser enthalten (Ebele *et al.*, 2017). Ein weiterer Eintragsweg in Gewässer ist die nicht fachgerechte Entsorgung durch Privatpersonen, Spitäler und Hersteller. Einen Überblick über die Situation bei Antibiotika geben Pan und Chu (2017). Viele dieser Stoffe werden in Kläranlagen kaum abgebaut und sind damit im Abwasser noch vorhanden.

Eine breit angelegte Literaturstudie (Zhou *et al.*, 2019) vergleicht Messungen von Pharmazeutika in Oberflächengewässern in Europa. Insgesamt wurden 284 Wirkstoffe nachgewiesen, die meisten im Bereich von ng/L. In einem Flussbett südlich von Madrid wurden viele Pharmazeutika nachgewiesen (Santiago-Martin *et al.*, 2020), die meisten ebenfalls im Bereich von ng/L. Metformin und die Abbauprodukte von Metamizole und Valsartan wurden jedoch im Bereich ug/L nachgewiesen.

3.3.2 Pestizide

Pestizide können mit dem Oberflächenabfluss oder durch Versickerungswasser von behandelten landwirtschaftlichen Flächen in Gewässer eingetragen werden. Dieser Eintragungsweg ist insbesondere in Regionen mit starken Niederschlägen und steilem Gelände oder auf erosionsgefährdeten Böden wichtig. Ein weiterer wichtiger Eintragungsweg ist Abdrift, wenn Flächen nahe an Gewässern behandelt werden. Schlussendlich kann auch das unsachgemässe Waschen von Spritzen zu Gewässerbelastungen führen.

In verschiedenen Ländern sind unterschiedliche Pestizide häufig in Gewässern zu finden. Insgesamt werden Herbizide und ihre Metaboliten am häufigsten in Flüssen nachgewiesen, gefolgt von Insektiziden und Fungiziden (Schreiner *et al.*, 2016).

3.3.3 Übrige Kontaminanten

Neben Pharmazeutika (inkl. Antibiotika), Körperpflegeprodukte und Pestiziden kommt heute auch eine Vielzahl anderer chemischer Stoffe in Gewässern vor. Beispiele sind Reinigungsmittel, Konservierungsmittel, Textilchemikalien, Koffein, Weichmacher, Flammschutzmittel oder Mikroplastik.

4. Kontamination von Lebensmitteln durch Bewässerungswasser

4.1 Kontamination durch Mikroorganismen

Kontamination durch Pathogene ist ein Hauptrisiko und vermutlich das grösste Risiko für die menschliche Gesundheit, speziell bei roh verzehrten Produkten (Malakar *et al.*, 2019). Verschiedene Studien haben einen Zusammenhang der Bewässerung mit der Häufigkeit von Wurmerkrankungen oder Durchfall gezeigt (Abaidoo *et al.*, 2010).

Aus den USA sind nur wenige Fälle bekannt, in denen Lebensmittel *nachweislich* über die Bewässerung mit Mikroorganismen kontaminiert wurden. Dies hat aber auch damit zu tun, dass ein lückenloser Beweis relativ schwierig zu führen ist, und in weiteren Fällen wird ein Zusammenhang vermutet. Es gibt aber auch Fälle, wo kein Zusammenhang gefunden wurde (Pachepsky *et al.*, 2011). Eine Fallstudie im Libanon zeigte, dass das Wasser meist und die bewässerten Gemüse durchwegs mit coliformen Bakterien kontaminiert waren. Dies wird damit erklärt, dass in landwirtschaftlich genutzten Gebieten immer auch Nutz- und Wildtiere vorhanden sind, welche solche Bakterien ausscheiden (Mcheik *et al.*, 2018).

Mikroorganismen haften meist an der Pflanzenoberfläche an. Dabei gibt es grosse Unterschiede zwischen einzelnen Pflanzenarten und –sorten und zwischen verschiedenen Mikroorganismen. Pflanzen, deren essbare Teile sich nahe am Boden entwickeln (z.B. Salate, Kräuter) sind im Allgemeinen stärker betroffen als Pflanzen, deren essbare Teile sich in der Luft entwickeln (z.B. Tomaten, Peperoni). Bei Petersilie wurde gezeigt, dass gekrauste Formen stärker mit Salmonella befallen sind als glatte Formen. Seltener

dringen Mikroorganismen auch in das Pflanzengewebe ein, meist durch Wunden oder Spaltöffnungen (Abaidoo *et al.*, 2010; Pachepsky *et al.*, 2011). Pathogene werden fast nie durch die Wurzeln aufgenommen (Abaidoo *et al.*, 2010). Einzelne Humanpathogene können in Tomaten überleben und wachsen (Abaidoo *et al.*, 2010).

4.2 Kontamination durch Schwermetalle

In den meisten Gewässern kommen Schwermetalle in Spuren vor und können vielerlei Ursachen haben. Besonders hohe Kontaminationen entstehen oft im Bergbau und in der Industrie. Eine chronische Belastung auf tiefem Niveau ergibt sich jedoch auch aus vielen anderen Quellen wie menschliche und tierische Ausscheidungen, Komposte, Dünger und Wasserleitungen.

Natürlich vorkommende Schwermetalle

Elemente wie Bor, Arsen, Selen und Uran kommen natürlich im Gestein und im Untergrund vor. Durch extensive Verwendung von Grundwasser können sie vermehrt gelöst werden und danach landwirtschaftliche Böden kontaminieren. Bisher wurde vor allem die Auswirkung auf Pflanzenwachstum und Ertrag untersucht, aber es können auch toxische Effekte bei Mensch und Tier auftreten. Eine Fallstudie hat gezeigt, dass in Gegenden Südamerikas mit erhöhtem Arsengehalt in Gewässern auch Pflanzen, Milch, Fleisch und Fisch erhöhte Werte aufweisen (Malakar *et al.*, 2019).

Eine Studie aus Bangladesch untersuchte die Aufnahme von Arsen in Reispflanzen, die mit belastetem Grundwasser bewässert wurden (Abedin *et al.*, 2002). Die Konzentration von Arsen in der Reispflanze stieg mit zunehmender Belastung des Wassers, wobei das Reiskorn weniger stark belastet war als die übrigen Pflanzenteile. Da die Konzentration von Arsen im Reiskorn den Rückstandsgrenzwert von 1 mg/kg nie überstieg, sahen die Autor*innen kein toxikologisches Risiko. Problematischer hingegen stuften sie die Verfütterung des belasteten Reisstrohs an Wiederkäuer ein, da das Stroh eine höhere Arsenbelastung aufwies, welches sich in den Tieren akkumulieren könnte.

4.3 Kontamination durch übrige organische Schadstoffe

Das Risiko von organischen Kontaminanten ist kaum bekannt. Ob und wie diese Stoffe von Pflanzen aufgenommen und in den essbaren Teilen abgelagert werden ist in den meisten Fällen nicht geklärt (Colon und Toor, 2016). Mit Sicherheit kann davon ausgegangen werden, dass sich verschiedene Stoffe / Stoffgruppen komplett unterschiedlich verhalten. Verallgemeinerungen zu dieser Gruppe sind daher kaum möglich.

Risikofaktoren

Gemäss Wu *et al.* (2015) reichern sich Triclocarban, Triclosan, Metformin und Carbamazepin stark in Wurzeln an. Daher stellen diese Stoffe ein Risiko für Wurzelgemüse

dar. Andere Substanzen wie Carbamazepin, Dilantin, Doclofenac, Propranolol, Triclosan und Chloramphenicol zeigen hohe Biokonzentrations-Faktoren in Blättern und Stängel, somit stellen diese Stoffe ein Risiko für Blattgemüse dar.

Christou *et al.* (2019) nennt verschiedene Faktoren, die die Akkumulation von organischen Schadstoffen in Nutzpflanzen beeinflussen. Einerseits akkumulieren verschiedene Nutzpflanzen organische Schadstoffe in unterschiedlichem Ausmass in ihren essbaren Teilen. Verallgemeinernd lässt sich sagen, dass Blattgemüse diese Stoffe am stärksten aufnehmen, gefolgt von Wurzelgemüse, Getreidepflanzen, Futterpflanzen und Fruchtgemüse. Als Zweites spielt auch die Transpirationsrate eine wichtige Rolle. Je grösser die Transpiration, desto höher ist das Risiko zur Aufnahme und Verlagerung von Schadstoffen. Somit ist das Risiko in warmen und trockenen Gebieten erhöht. Als Drittes beeinflusst der Bodentyp die Pflanzenverfügbarkeit der Schadstoffe. Auf Böden mit hohem Gehalt an Ton und organischem Kohlenstoff nehmen Pflanzen weniger Schadstoffe auf. Nicht zu vernachlässigen ist ausserdem die Situation im gedeckten Anbau, wo Pflanzen ausschliesslich mit Bewässerungswasser versorgt werden und dadurch ein höheres Risiko für die Schadstoffaufnahme existiert.

4.3.1 Antibiotika

Viele Antibiotika finden sich im Abwasser, und verschiedene können von Pflanzen aufgenommen werden. Kläranlagen gelten als Brutstätten für Antibiotikaresistenz, welche sich entsprechend im Abwasser findet. Speziell bei Sprinklerbewässerung ist dies ein ernsthaftes Gesundheitsproblem (Malakar *et al.*, 2019).

Bei den Antibiotika werden gemäss Pan und Chu (2017) die Quinolone am stärksten von Pflanzen aufgenommen, gefolgt von Chloramphenicol und Tetracyclinen, während Sulfonamide und Makrolide kaum aufgenommen werden. Allerdings ist das Risiko für die menschliche Gesundheit gemäss Pan und Chu (2017) vermutlich gering. Gemäss Christou *et al.* (2017) werden insbesondere Chloramphenicol, Sulfonamide, Fluoroquinolone und Lincosamine in Pflanzen angereichert.

Eine Studie von Marsoni *et al.* (2014) zeigt, dass mit Antibiotika belastetes Wasser bei Rucola zu Rückständen von Lincomycin und Ofloxacin im Bereich von ng/g führt, während in Maiskörnern keine Rückstände nachweisbar waren.

4.3.2 Übrige Pharmazeutika und Körperpflegeprodukte

Pharmazeutika und Körperpflegeprodukte werden von Pflanzen primär über das Wurzelsystem aufgenommen und können sich innerhalb der Pflanze verteilen. Dabei können die Schadstoffe auch in die essbaren Teile geraten. Gemäss einem Review von 22 Studien (Colon und Toor, 2016) können unter anderem Antibiotika und Antidepressiva in unterschiedlichen Gemüsen eingelagert werden. Ihre Konzentrationen waren zwar nachweisbar, jedoch ungefährlich. Allerdings wurden die meisten dieser Studien unter hydroponischen Bedingungen durchgeführt, so dass sie für den Anbau im Feld (und damit auch für den Biolandbau) nicht repräsentativ sind.

Spuren verschiedener Medikamente (z.B. nicht-steroidale Infektionshemmer, Blutverdünner, Antidepressiva, Antidiuretika, Betablocker, Antiepileptika, Steroidhormone, Kontrastmittel, Benzodiazepine, Tranquilizer und Veterinärmedikamente) finden sich zunehmend im Wasser. Gemäss Malakar *et al.* (2019) werden viele davon von Pflanzen aufgenommen und teilweise akkumuliert.

Eine Studie von Santiago-Martin *et al.* (2020) zeigt, dass die Konzentration von Pharmazeutika im Bewässerungswasser nicht mit der Konzentration in Maiskörnern korreliert. Während im Wasser rund 50 Kontaminanten gefunden wurden, konnten in den Maiskörnern nur die Medikamente Acetaminophen, Ibuprofen und Carbamazepin sowie Nicotin im tiefen ng/g Bereich nachgewiesen werden. Steroidhormone waren in dieser Studie kaum im Wasser nachweisbar, und es wurden auch keine Rückstände in den Kulturpflanzen gefunden.

Gemäss Wu *et al.* (2015) werden Pharmazeutika und Körperpflegeprodukte meist nur in sehr geringem Umfang von Pflanzen aufgenommen.

4.3.3 Pestizide

Es ist davon auszugehen, dass Pestizide in Gewässern landen können, speziell bei schlechter landwirtschaftlicher Praxis. Eine Aufnahme über das Bewässerungswasser in die essbaren Pflanzenteile ist je nach Stoff denkbar und in einigen Fällen nachgewiesen (Christou *et al.*, 2019; Malakar *et al.*, 2019). Allerdings ist es schwierig, diese Aufnahme von Rückständen durch Anwendung oder durch Abdrift zu unterscheiden. Hier besteht weiterer Forschungsbedarf.

4.3.4 Übrige Kontaminanten

Für per- und polyfluorierte Substanzen (Bestandteile von Flammschutzmitteln und anderen Produkten) wurde eine Einlagerung in Kulturpflanzen nachgewiesen (Helmecke *et al.*, 2020).

Synthetische Nanopartikel

Synthetische Nanopartikel werden heute in vielen Bereichen eingesetzt, speziell in der Elektronik, Kosmetik und Lebensmitteltechnologie, aber auch in der Landwirtschaft. So gelangen sie auch in Gewässer. Es muss unterschieden werden zwischen Carbon Nanotubes und Metalloxiden. Für Carbon Nanotubes wurde das Vorkommen in Brokkoli nachgewiesen. Metalloxide reichern sich in diversen Kulturpflanzen an und wurden bereits im Erntegut nachgewiesen. Insgesamt gibt es jedoch noch viele Wissenslücken (Malakar *et al.*, 2019).

Kontaminanten natürlichen Ursprungs

Cyanotoxine: Cyanobakterien kommen in allen Gewässern vor. Unter speziellen Umweltbedingungen (hoher Nährstoffgehalt, hohe Temperaturen) kann es zur Massenvermehrung und zur Freisetzung sogenannter Cyanotoxine kommen. Der Einfluss auf

Kulturpflanzen ist kaum untersucht, aber es ist wahrscheinlich, dass sie in Pflanzen akkumulieren können (Malakar *et al.*, 2019).

Mycotoxine: Gewisse Pilze bilden toxische Metaboliten, sogenannte Mycotoxine. Kürzlich wurde gezeigt, dass einige dieser Pilze auch in Abwasser vorkommen. Dieses Risiko wurde bisher kaum untersucht und kann deshalb nicht genau eingeschätzt werden. Von Reis ist jedoch bekannt, dass er Mycotoxine aufnimmt (Malakar *et al.*, 2019). Auch hier gilt, dass dieser Effekt schwer zu trennen ist von der Kontamination durch Pilzbefall des Erntegutes.

5. Massnahmen zur Risikoreduktion

Das Risiko durch Bewässerung ist bekannt, und es existieren verschiedene Leitlinien zur Risikoreduktion. Allerdings sind diese Massnahmen fast ausschliesslich darauf ausgelegt, Risiken durch *Pathogene* zu reduzieren. Ein Teil der Massnahmen wirkt auch gegen andere Risiken.

5.1 Risikoreduktion gegen Pathogene

Einen Überblick über Riskomanagementsysteme geben Helmecke *et al.* (2020). Die Risiken können theoretisch auf verschiedenen Ebenen angegangen werden:

- Eintrag von Schadstoffen in Gewässer reduzieren
- Wasser vor der Verwendung desinfizieren oder reinigen
- Bewässerungstechnik ändern (z.B. unter- statt überirdisch, längere Wartezeit bis zur Ernte)
- Erntegut waschen oder kochen

Fallstudien

Das grösste Problem mit Pathogenen besteht bei Blattgemüse, welches roh gegessen wird. Für die Bewässerung sollte nur pathogenfreies Wasser verwendet werden. Wo dies nicht möglich ist, kann das Wasser vor der Verwendung behandelt werden (Allende und Monaghan, 2015).

In Mexiko wird seit mehr als 80 Jahren Abwasser zur Bewässerung verwendet. Ein Review zeigt die mikrobiologischen Risiken auf (Peasey *et al.*, 2000). Für Bakterien gilt eine Limite von 10^3 FC/100 ml und für Nematoden 1 Ei/Liter. Diese Limiten gewähren nicht immer vollständige Sicherheit. Insbesondere kommt es darauf an, ob das Lebensmittel roh verzehrt wird. Zusätzlich spielt eine Rolle, ob es lokal vermarktet wird oder in den USA, weil die Bevölkerung unterschiedlich anfällig ist (Peasey *et al.*, 2000).

Eine Studie in Ghana fand, dass die Pathogene auf Kopfsalat umso stärker reduziert waren, je länger vor der Ernte nicht mehr bewässert wurde. Allerdings funktionierte dies nur in der Trockenzeit. In der Regenzeit starben die Pathogene nicht genügend schnell ab, und Spritzer vom Boden kontaminierten die Salate neu. Eine Wartezeit von

2 Tagen kann Viren um 99 % reduzieren (Abaidoo *et al.*, 2010). Die reduzierte Bewässerung führte aber auch zu einem Ertragsverlust (Keraita *et al.*, 2007) (Abaidoo *et al.*, 2010).

Review *kurzfristige* Massnahmen für Entwicklungsländer (IWMI, 2006): Abwasser-Reinigung; drip-irrigation, Bewässerungsstopp vor der Ernte, Erntegut waschen, Erntegut desinfizieren, Erntegut schälen, Erntegut kochen. *Mittelfristig*: Zugang zu besserem Wasser, z.B. Grundwasser, sicherere Bewässerungssysteme. Heikle Kulturen sollten nur mit sicherem Wasser bewässert werden (IWMI, 2006).

Für Regionen wo keine Klärsysteme vorhanden sind schlagen Qin *et al.* (2015) eine kombinierte Strategie vor. Dabei soll in Zeiten hoher Belastung (z.B. Grippezeit) auf die Bewässerung verzichtet werden. Weiter soll der Kontakt zwischen dem Bewässerungswasser und den essbaren Pflanzenteilen durch geeignete Ausbringungstechniken minimiert werden. Zudem soll der Gehalt an organischer Substanz im Boden erhöht und der biologische Abbau von Schadstoffen durch eine verstärkte Düngung gefördert werden.

In vielen Fällen verwenden Landwirt*innen «sauberes» Oberflächenwasser und sind sich gar nicht bewusst, dass dieses einen gewissen Anteil Abwasser enthält (ungeplante Wasserwiederverwendung). In solchen Fällen existiert noch grosses Potential in der Anpassung des Bewässerungsmanagements, um das Risiko für Kontaminationen zu minimieren (Drewes *et al.*, 2017).

Die Zwischenlagerung von Abwasser in Teichen oder Becken kann Pathogene stark reduzieren. Würmer und Protozoen sedimentieren auf den Grund, während Bakterien und Viren absterben. Sandfilter sind recht wirksam (Abaidoo *et al.*, 2010).

Bewässerungsmethoden: WHO unterscheidet: Überflutung; Sprinkler; Tropfbewässerung. Sprinkler birgt die grösste Gefahr für Pathogene. Tropfbewässerung erzielt starke Reduktion, ist jedoch teuer und anfällig auf Verstopfen (Abaidoo *et al.*, 2010).

Die FAO hat einige kostengünstige Massnahmen zusammengestellt um das Kontaminationsrisiko von Lebensmitteln durch die Bewässerung zu verringern (FAO, 2019). Diese sind speziell auf Kleinbauern in Sub-Sahara Afrika ausgerichtet (FAO, 2019). Die Massnahmen beinhalten 1) Tröpfchenbewässerung oder die Bewässerung nahe am Boden mit Giesskannen, 2) Bewässerungsstopp einige Tage vor der Ernte, 3) (eine Serie von) Teichen verwenden damit sich Schadstoffe sedimentieren können, 4) Sandfilter oder Stofffilter verwenden, 5) die Produkte nach der Ernte mit sauberem Wasser reinigen.

Risikomanagement SwissGAP

SwissGAP hat für Landwirtschaftsbetriebe in der Schweiz eine Risikoanalyse Bewässerungswasser ausgearbeitet¹. Im ersten Schritt wird unterschieden, ob die Kultur zum Rohverzehr geeignet ist oder nicht. Falls ja wird unterschieden, ob das Bewässerungssystem die essbaren Pflanzenteile benetzt oder nicht. Falls ja wird unterschieden, was

¹ Risikoanalyse Bewässerungswasser, Download: www.agrosolution.ch

für eine Art Wasser verwendet wird. Daraus ergibt sich eine Risikoeinstufung und entsprechende Massnahmen für den Betrieb. Auch diese Risikoanalyse ist in erster Linie darauf ausgerichtet, Risiken durch Pathogene zu erkennen.

Risikomanagement GlobalGAP

Global GAP definiert in ihrem «Produce Safety Assurance» Standard² unter anderem Kriterien zur Risikoreduktion in der Bewässerung. Als Erstes muss ein Überblick über die Art und Herkunft des Bewässerungswassers erstellt werden. Dabei darf unbehandeltes Abwasser nicht zur Bewässerung eingesetzt werden. Bei behandeltem Abwasser, muss die Wasserqualität bestimmten Richtlinien genügen und regelmässig überprüft werden. Ausserdem wird eine Risikoanalyse vorgeschrieben, welche die Bewässerungsmethode, den Zeitpunkt und die Eigenschaften der Kultur berücksichtigt. Auch diese Risikoanalyse ist in erster Linie darauf ausgerichtet, Risiken durch Pathogene zu erkennen.

5.2 Risikoreduktion gegen übrige Kontaminanten

Wie bereits gesagt sind die heutigen Risikomanagements eindeutig auf Pathogene zugeschnitten. Grundsätzlich kann von den gleichen Massnahmen auch eine Teilwirkung gegen übrige Kontaminanten erwartet werden. Auf diesem Gebiet besteht jedoch noch grosser Nachholbedarf. Allerdings ist die Entwicklung geeigneter Massnahmen dadurch erschwert, dass (i) verschiedene Kontaminanten sehr unterschiedliches Verhalten haben und (ii) grosse Wissenslücken zum Vorkommen und zur Anreicherung in Pflanzen existieren.

6. Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Ausmass der Problematik

Wir gehen davon aus, dass weltweit die Problematik von Kontaminationen durch Bewässerungswasser in Zukunft zunehmen wird. Erstens nimmt die Notwendigkeit der Bewässerung zu (mehr Trockenperioden), zweitens führt die zunehmende Verknappung von Wasser dazu, dass der Anteil des Abwassers im Bewässerungswasser steigt, drittens nimmt die Tierhaltung, die Aquakultur und die Industrialisierung in vielen Regionen zu, was zusätzliches Abwasser erzeugt.

Vorbeugung

Natürlich könnte die Problematik umgangen werden, indem nur sauberes Wasser (Trinkwasserqualität) für die Bewässerung verwendet wird. Allerdings würde dies

² Mehr Informationen unter: www.globalgap.org >For Producers >Global G.A.P. >Produce Safety Assurance

vielerorts bedingen, dass sich das Trinkwasser für die Bevölkerung nochmals verknappen würde.

Die nachhaltigste Lösung des Problems wäre die Klärung des Abwassers. Damit würde nicht nur das Problem der Kontaminationen von Lebensmitteln gelöst, sondern auch Probleme der Trinkwasserversorgung und des Umweltschutzes. Leider ist dieser Ansatz sehr teuer und für viele Länder im Moment nicht umsetzbar. Zudem liegt diese Massnahme ausserhalb der Einflussmöglichkeiten des Biosektors.

Risiko durch Pathogene

Derzeit sehen wir das grösste Risiko bei den Pathogenen. Mikrobielle Kontamination von Lebensmitteln beeinträchtigt die Lebensmittelsicherheit und kann im Extremfall sogar gesundheits- oder lebensgefährdend für Konsument*innen sein. Allerdings sind diese Risiken gut bekannt und wir gehen davon aus, dass bereits wirksame Massnahmen zur Risikoreduktion bestehen. Heute treten Probleme vor allem dann auf, wenn sich ein Betrieb des Risikos nicht bewusst ist oder die Massnahmen nicht befolgt. Falls sich das Risiko aufgrund der vermehrten Nutzung von Abwässern in Zukunft erhöht, müssen die Massnahmen überprüft und allenfalls angepasst werden.

Risiko durch übrige Kontaminanten

Bei den übrigen Kontaminanten gehen die meisten Autor*innen davon aus, dass sie kaum von toxikologischer Relevanz sind. In den meisten Fällen (ganz speziell bei Pharmazeutika und Körperpflegeprodukten) ist die primäre Exposition des Menschen durch die direkte Anwendung wesentlich höher als eine allfällige sekundäre Exposition durch Rückstände in Lebensmitteln. Selbstverständlich sollten auch solche Kontaminationen vermieden oder zumindest minimiert werden, denn sie entsprechen nicht der Konsumentenerwartung an Bioprodukte. Allerdings hat dies nicht die gleich hohe Priorität, da die Lebensmittelsicherheit in der Regel nicht in Frage gestellt ist.

Viele der hier beschriebenen Kontaminationen dürften heute beim Lebensmittelmonitoring unentdeckt bleiben. Erstens werden Lebensmittel heute standardmässig nur auf Pflanzenschutzmittel, Pathogene, Schwermetalle und Mykotoxine untersucht. Und zweitens bewegen sich die meisten in der Literatur erwähnten Kontaminationen in einem sehr tiefen Bereich, der allenfalls bei spezifischen Forschungsfragen ausgelotet wird, nicht jedoch bei Routineanalysen. Dies könnte sich jedoch in Zukunft ändern. Im Sinne der Qualitätspolitik sollten solche Kontaminationen soweit als möglich minimiert werden, auch wenn sie heute nicht routinemässig analysiert werden.

Angesichts der zahlreichen möglichen Kontaminanten, der vielen unterschiedlichen Kulturen und Bewässerungstechniken gibt es derzeit keine einfache Empfehlung für eine wirksame Risikoreduktion. Zum Mindesten sollte jedoch das Risiko im Auge behalten und stichprobenweise genauer untersucht werden.

7. PS: Weitere Wassernutzungen

Diese Studie befasst sich primär mit den Risiken, welche von der Bewässerung ausgehen. Der Vollständigkeit halber erwähnen wir hier ganz kurz, dass Wasser in der Bio-Produktion auch noch anderweitig eingesetzt wird, und auch dort Kontaminationsrisiken bestehen. Dieses Kapitel vermittelt einen ganz kurzen Überblick. Für eine genauere Risikoabschätzung wären separate Projekte nötig.

Aquakultur

Die Aquakultur benötigt grosse Wassermengen. Es ist davon auszugehen, dass auch hier nicht immer sauberes Wasser verwendet wird. Da die Tiere ihr ganzes Leben im Wasser verbringen, dürfte das Kontaminationsrisiko hoch sein.

Tierhaltung: Tränkewasser

Alle Tiere benötigen Wasser. In manchen Fällen stellt der oder die Landwirt*in eine Tränke zur Verfügung. Aus Gründen der Tiergesundheit wird vermutlich möglichst sauberes Wasser verwendet, aber in manchen Regionen ist dies nur beschränkt möglich.

In anderen Fällen suchen sich Weidetiere oder Bienen selbst eine Wasserstelle. Die Wasserqualität ist dabei kaum kontrollierbar.

Lebensmittelverarbeitung

Nahezu in allen Bereichen der Lebensmittelindustrie wird Wasser benötigt. Es muss unterschieden werden zwischen Prozess-, Kühl- und Reinigungswasser. Insbesondere *Wasser als Bestandteil des Lebensmittels* unterliegt dabei besonderen Anforderungen in Bezug auf die chemische Reinheit, die Mineralisation und natürlich die Hygiene. Unabhängig davon ob das Wasser aus einer öffentlichen Trinkwasserversorgung oder einem eigenen Brunnen kommt, ist in den meisten Fällen eine Reinigung oder Aufbereitung erforderlich. Das Endprodukt bestimmt die Wasserqualität. Daher muss dies produktspezifisch definiert und geprüft werden und ist Teil der Qualitätssicherung.

8. Dank

Wir danken Ursula Kretschmar (FiBL) für die Durchsicht des Textes und Bio Suisse für die finanzielle Unterstützung.

9. Literatur

Abaidoo, R.C., Keraita, B., Drechsel, P., Dissanayake, P., Maxwell, A.S., 2010. Soil and Crop Contamination Through Wastewater Irrigation and Options for Risk Reduction in Developing Countries. In: Dion, P. (Ed.), *Soil Biology and Agriculture in the Tropics*, Soil Biology 21, pp. 275-297.

Abedin, J., Cotter-Howells, J., Meharg, A.A., 2002. Arsenic uptake and accumulation in rice (*Oryza sativa* L.) irrigated with contaminated water. *Plant and Soil* 240, 311-319.

- Allende, A., Monaghan, J., 2015. Irrigation Water Quality for Leafy Crops: A Perspective of Risks and Potential Solutions. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 12, 7457-7477.
- Christou, A., Agüera, A., Bayona, J.M., Cytryn, E., Fotopoulos, V., Lambropoulou, D., Manaia, C.M., Michael, C., Revitt, M., Schröder, P., Fatta-Kassinou, D., 2017. The potential implications of reclaimed wastewater reuse for irrigation on the agricultural environment: The knowns and unknowns of the fate of antibiotics and antibiotic resistant bacteria and resistance genes e A review. *Water Research* 123, 448-467.
- Christou, A., Papadavid, G., Dalias, P., Fotopoulos, V., Michael, C., Bayona, J.M., Piña, B., Fatta-Kassinou, D., 2019. Ranking of crop plants according to their potential to uptake and accumulate contaminants of emerging concern. *Environmental Research* 170, 422-432.
- Colon, B., Toor, G.S., 2016. A Review of Uptake and Translocation of Pharmaceuticals and Personal Care Products by Food Crops Irrigated with Treated Wastewater. *Advances in Agronomy* 140, 75-100.
- Dandie, C.E., Ogunniyi, A.D., Ferro, S., Hall, B., Drigo, B., Chow, C.W.K., Venter, H., Myers, B., Deo, P., Donner, E., Lombi, E., 2020. Disinfection options for irrigation water: Reducing the risk of fresh produce contamination with human pathogens. *Critical Rev Environ Sci Technol* 50, 2144-2174.
- Deviller, G., Lundy, L., Fatta-Kassinou, D., 2020. Recommendations to derive quality standards for chemical pollutants in reclaimed water intended for reuse in agricultural irrigation. *Chemosphere* 240, 124911.
- Drewes, J.E., Hübner, U., Zhiteneva, V., Karakurt, S., 2017. Characterization of unplanned water reuse in the EU. Technical University of Munich, Garching, Germany.
- Ebele, A.J., Abou-Elwafa, M., Harrad, S., 2017. Pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) in the freshwater aquatic environment. *Emerging Contaminants* 3, 1-16.
- European Commission, 2012. A Blueprint to Safeguard Europe's Water Resources. COM(2012) 673 final.
- FAO, 2019. On-farm practices for the safe use of wastewater in urban and peri-urban horticulture - a training handbook for Farmer Field Schools, Second edition. Rome.
- Helmecke, M., Fries, E., Schulte, C., 2020. Regulating water reuse for agricultural irrigation: risks related to organic micro-contaminants. *Environ Sci Eur* 32: 4, 10.
- IWMI, 2006. Recycling realities: managing health risks to make wastewater an asset. *Water Policy Briefing*, Issue 17. Colombo, Sri Lanka.
- Keraita, B., Konradsen, F., Drechsel, P., Abaidoo, R.C., 2007. Reducing microbial contamination on wastewater-irrigated lettuce by cessation of irrigation before harvesting. *Tropical Medicine and International Health* 12, 8-14.
- Khalid, S., Shahid, M., Irshad Bibi, N., Sarwar, T., Haidar Shah, A., Khan Niazi, N., 2018. A Review of Environmental Contamination and Health Risk Assessment of Wastewater Use for Crop Irrigation with a Focus on Low and High-Income Countries. *Int J Environ Res Public Health* 15, 895, 36.
- Lazarova, V., Asano, T., Bahri, A., Anderson, J., 2013. Milestones in Water Reuse. The Best Success Stories. IWA Publishing, London.
- Loos, R., Carvalho, R., Antonio, D.C., Comero, S., Locoro, G., Tavazzi, S., Paracchini, B., Ghiani, M., Lettieri, T., Blaha, L., Jarosova, B., Voorspoels, S., Servaes, K., Haglund, P., Fick, J., Lindberg, R.H., Schwesig, D., Gawlik, B.M., 2013. EU-wide monitoring survey on emerging polar organic contaminants in wastewater treatment plant effluents. *Water Research* 47, 6475-6487.

- Malakar, A., Snow, D.D., Ray, C., 2019. Irrigation Water Quality—A Contemporary Perspective. *Water* 11, 1482.
- Marsoni, M., DeMattia, F., Labra, M., Bruno, A., Bracale, M., Vannini, C., 2014. Uptake and effects of a mixture of widely used therapeutic drugs in *Eruca sativa* L. and *Zea mays* L. plants. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 108, 52-57.
- Mateo-Sagasta, J., Marjani Zadeh, S., Turrall, H., 2018. More people, more food, worse water? a global review of water pollution from agriculture. FAO, Rome.
- Mcheik, A., Awad, A., Fadel, A., Mounzer, C., Nasreddine, S., 2018. Effect of Irrigation Water Quality on the Microbial Contamination of Fresh Vegetables in the Bekaa Valley, Lebanon. *American Journal of Agriculture and Forestry* 6, 191-197.
- Pachepsky, Y., Shelton, D.R., McLain, J.E.T., Patel, J., Mandrell, R.E., 2011. Irrigation waters as a source of pathogenic microorganisms in produce: a review. *Adv Agronomy* 113, 73-138.
- Pan, M., Chu, L.M., 2017. Fate of antibiotics in soil and their uptake by edible crops. *Science of the Total Environment* 599-600, 500-512.
- Peasey, A., Blumenthal, U., Mara, D., Ruiz-Palacios, G., 2000. A Review of Policy and Standards for Wastewater Reuse in Agriculture: A Latin American Perspective. Cairncross.
- Qin, Q., Chen, X., Zhuang, J., 2015. The Fate and Impact of Pharmaceuticals and Personal Care Products in Agricultural Soils Irrigated With Reclaimed Water. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 45, 1379-1408.
- Rusinol, M., Hundesa, A., Cardenas-Youngs, Y., Fernandez-Bravo, A., Pérez-Cataluna, A., Moreno-Mesonero, L., Moreno, Y., Calvo, M., Luis Alonso, J., Figueras, M.J., Araujo, R., Bofill-Mas, S., Girones, R., 2020. Microbiological contamination of conventional and reclaimed irrigation water: Evaluation and management measures. *Science of the Total Environment* 710, 136298.
- Santiago-Martin, A., Meffe, R., Teijon, G., Martínez_Hernández, V., López-Heras, I., Alonso, C., Arenas_Romasanta, M., Bustamante, I., 2020. Pharmaceuticals and trace metals in the surface water used for crop irrigation: Risk to health or natural attenuation? *Science of the Total Environment* 705, 135825.
- Schreiner, V.C., Szöcs, E., Bhowmik, A.K., Vijver, M.G., Schäfer, R.B., 2016. Pesticide mixtures in streams of several European countries and the USA. *Science of the Total Environment* 573, 680-689.
- Sousa, J.C.G., Ribeiro, A.R., Barbosa, M.O., Pereira, M.F.R., Silva, A.M.T., 2018. A review on environmental monitoring of water organic pollutants identified by EU guidelines. *Journal of Hazardous Materials* 344, 146-162.
- Thebo, A.L., Drechsel, P., Lambin, E.F., Nelson, K.L., 2017. A global, spatially-explicit assessment of irrigated croplands influenced by urban wastewater flows. *Environ. Res. Lett.* 12, 074008.
- Tom, M., Fletcher, T.D., McCarthy, D.T., 2014. Heavy Metal Contamination of Vegetables Irrigated by Urban Stormwater: A Matter of Time? *PLoS ONE* 9, e112441.
- Tongesayi, T., Tongesayi, S., 2015. Contaminated Irrigation Water and the Associated Public Health Risks. *Food, Energy, and Water*, 349-381.
- Winpenney, J., Heinz, I., Koo-Oshima, S., 2010. The wealth of waste: The economics of wastewater use in agriculture.
- Wu, X., Dodgen, L.K., Conkle, J.L., Gan, J., 2015. Plant uptake of pharmaceutical and personal care products from recycled water and biosolids: a review. *Science of the Total Environment* 536 655-666.

Zhou, S., DiPaolo, C., Wu, X., Shao, Y., Seiler, T.B., Hollert, H., 2019. Optimization of screening-level risk assessment and priority selection of emerging pollutants – The case of pharmaceuticals in European surface waters. *Environment International* 128, 1-10.