

Zeitschrift: Neujahrsblatt der Naturforschenden Gesellschaft Schaffhausen
Herausgeber: Naturforschende Gesellschaft Schaffhausen
Band: 62 (2010)

Artikel: Chemische und physikalische Bodenbelastungen : zum Beispiel im Kanton Schaffhausen
Autor: Stössel, Iwan / Thalmann, Adolf / Zehnder, Andreas
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-584662>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 09.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

7. Chemische und physikalische Bodenbelastungen

Zum Beispiel im Kanton Schaffhausen

Iwan Stössel, Adolf Thalmann, Andreas Zehnder

7.1 Unsere Böden: Dreck oder Rohstoff?

Unser Verhältnis zum Boden ist zwiespältig. Einerseits ist es der «Dreck unter unseren Füßen». Andererseits ist es die Grundlage unserer Ernährung schlechthin: Ohne Boden gibt es weder Viehfutter noch Gemüse, Obst oder Getreide! Auf nur 11% der Erdoberfläche wächst die Lebensgrundlage von fast 7 Milliarden Menschen. Doch nur 3% der Erdoberfläche sind von Natur aus fruchtbar genug für eine langfristig ertragreiche Landwirtschaft. Boden ist nicht gleich dem Wasser, das wir trinken, oder gleich der Luft, die wir atmen; das Verhältnis ist indirekter. Aufgrund dieser Zwiespältigkeit tut sich unsere Gesellschaft mit dem Schutz der Ressource Boden ausserordentlich schwer. Der Schutz des Bodens läuft zudem auf einer ganz anderen Zeitskala: Während es nur Minuten dauert, um einen Boden nachhaltig zu zerstören, so kann es Jahrtausende dauern, um ihn wieder aufzubauen (Abb. 61).



61 Ein gesunder Boden ist die Grundlage der Ernährung der kommenden Generationen

7.1.1 Der Boden – ein Langzeitgedächtnis

Natürliche Böden sind meist das Resultat einer Jahrtausende dauernden Wechselwirkung von Klima, biologischer Aktivität und geologischer Unterlage. Jeder Standort hat seine eigene Geschichte, und damit auch seinen eigenen Boden. Böden wachsen sehr langsam: In gemässigten Breiten und durchschnittlichem Boden je nach Quelle zwischen 0.003 und 0.08 mm pro Jahr. Entsprechend ist jeder Eingriff des Menschen langfristig, und oft in Zeiträumen der menschlichen Wahrnehmung kaum umkehrbar. So, wie Urwälder nicht einfach angepflanzt werden können, können standortgerechte Böden nicht wieder einfach künstlich aufgebaut werden. Veränderungen im Boden bleiben während Jahrtausenden sicht- und spürbar. In diesem Sinne ist der Boden aus menschlicher Sicht als nicht-erneuerbare Ressource zu betrachten.

Heute sind Böden weltweit stark vom Menschen beeinflusst, direkt oder indirekt. Jahrtausendelange Bewirtschaftung, Drainagen, Eindeichungen, Einsatz von Dünger und Pflanzenschutzmittel sowie Überbauungen sind Beispiele dafür. Uralte Reisterrassen sind die eine Seite, Ausdehnung der Wüsten und Versalzung der Böden sind eine andere Seite. Böden sind global in Gefahr: Eine Studie aus dem Jahr 1991 kommt zum Ergebnis, dass der Mensch in seiner bisherigen Geschichte bereits 20 Millionen Quadratkilometer Ackerfläche unbrauchbar gemacht habe. Dies entspricht der Fläche der Vereinigten Staaten und Kanadas zusammen.

Gemäss Erhebungen des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) gibt es auch in der Schweiz keine völlig unbelasteten Böden mehr. Der Einsatz schwerer Maschinen in der Land-, der Bau- und der Waldwirtschaft, das Ausbringen von Dünger und Pflanzenschutzmitteln, die Luftbelastung durch Heizungen und Verkehr, Skipisten und Schneehärter, Streusalz im Winter, Sportveranstaltungen und natürlich vor allem der enorme Bodenverbrauch durch die zunehmende Überbauung sind nur einige Stichworte zur Bodenschutzfrage in der Schweiz.

Doch Bodenschutz, so notwendig er auch ist, ist eine grosse Herausforderung, denn das System «Boden» ist äusserst komplex und noch immer schlecht verstanden. Zudem erfüllt der Boden eine Vielzahl von Funktionen. Zielkonflikte sind vorprogrammiert: kurzfristige Ertragsoptimierung stehen der langfristigen Bewirtschaftungsperspektive gegenüber. Oder Nahrungsmittelpro-

duktion der Biodiversität (Stichwort: Moorschutz). Daran zeigt sich aber auch, wie wichtig der nachhaltige Schutz der Böden ist, damit sie auch künftig diese vielfältigen Funktionen abdecken können.

7.1.2 Der Bodenschutz in der Schweizer Gesetzgebung

Der Bodenschutz ist in der Schweiz seit 1983 im Umweltschutzgesetz (USG) verankert (Art. 33, 34 und 35) und über die langfristige Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit definiert (Abb. 62). Darüber hinaus gibt es eine ganze Reihe von Verordnungen, Richtlinien, Merkblättern und Grundsätzen zum Schutz des Bodens. Der Bodenschutz gemäss USG manifestiert sich zudem in den Ausführungsvorschriften zum Gewässerschutzgesetz, zum Waldgesetz, zum Landwirtschaftsgesetz, zum Katastrophenschutz, zur Luftreinhaltung, zum Umgang mit Stoffen und Organismen sowie zu den Abfällen und zu den Lenkungsabgaben. Die Freisetzungsvorordnung (FrSV) regelt auch den Schutz des Bodens vor gebietsfremden Organismen (Abb. 63). Darin wird den weiteren Funktionen des Bodens Rechnung getragen (Abb. 64).



62 Der Boden bildet die Grundlage der Versorgung mit Lebensmittel. Hauptaspekt der Bodenschutzbemühungen ist daher die langfristige Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit.



63 Zunehmend geraten auch biologische Bodenbelastungen wie der invasive Japanische Staudenknöterich in den Fokus des Bodenschutzes.



64 Die Erhaltung der Biodiversität ist sehr direkt an die Erhaltung der vielfältigen Böden geknüpft (Goldrandwidderchen auf Magerwiese in Merishausen).

In einem Leitbild «Bodenschutz Schweiz» definiert das BAFU zehn Eckpunkte der Schweizerischen Bodenschutzpolitik:

1. Voraussetzung für einen verantwortungsbewussten Umgang mit dem Boden ist das Wissen um seine zentrale Stellung im Naturhaushalt und seine Verletzlichkeit.
2. Der fruchtbare Boden muss – unabhängig seiner Nutzung – vorsorglich gegen chemische, biologische und physikalische Belastungen geschützt werden.
3. Ein wirkungsvoller und kostengünstiger Bodenschutz bedarf einer koordinierten, teilweise langfristig angelegten Bodenbeobachtung und -überwachung.
4. Der Boden erbringt im Naturhaushalt lebenswichtige Leistungen. Deswegen darf er bezüglich Fläche, Menge und Qualität nur nachhaltig, schonend und sparsam genutzt werden.
5. Belastete Böden, von denen Gefahren für Menschen, Nutztiere und Nutzpflanzen ausgehen, dürfen nicht unbehandelt an die Nachwelt weitergegeben werden. Sie sind mindestens so weit zu sanieren, dass die Gefahren beseitigt werden.

6. Der offene Boden ist wie Wasser, Luft und Wald ein Allgemeingut, das vom jeweiligen Besitzer zwar genutzt, aber nicht zerstört werden darf. Wer Boden nutzt, ist demnach auch für dessen Schutz verantwortlich.
7. Die Integrität des Bodens muss durch rechtliche Normen gesichert werden.
8. Der Schutz des Bodens ist als Gesellschaftsauftrag anerkannt. Um diesen zeitgerecht und wirkungsvoll erfüllen zu können, müssen die erforderlichen institutionellen Voraussetzungen eines unabhängigen Bodenschutzes verbessert und seine finanziellen und personellen Ressourcen verstärkt werden.
9. Der Bodenschutz muss von allen Bodenschutzakteuren gemeinsam und gleichgerichtet vollzogen werden. Eine enge Vernetzung ist unentbehrlich. Doppelspurigkeiten sind durch fallweise Zuteilung der Federführung zu vermeiden.
10. Besonders wichtige Partner des Bodenschutzes sind der Naturschutz, die Raumplanung, die Landwirtschaft und die Forstwirtschaft. Die Zusammenarbeit mit ihnen muss intensiviert und gepflegt werden.

Im USG wird festgelegt, dass einerseits vorbeugende Massnahmen gegen chemische, biologische und physikalische Bodenbelastungen, andererseits aber auch – je nach Nutzung – konkrete Massnahmen bei bereits vorliegenden Bodenbelastungen zu ergreifen sind. Als Beurteilungsgrundlage sollen dafür Richt-⁴ und Sanierungswerte⁵ dienen.

Diese Bestimmungen aus dem USG werden in der Verordnung über die Belastungen des Bodens (VBBo) konkretisiert. Unter anderem wird darin ein zwischen dem Richt- und dem Sanierungswert liegender «Prüfwert» eingeführt (Abb. 65). Die kantonalen Behörden sind bei Überschreitung der Richtwerte verpflichtet, die Ursachen zu ergründen und Massnahmen zu prüfen bzw. zu treffen. Bei Überschreiten der Prüfwerte untersuchen die Kantone, ob die Belastung des Bodens Menschen, Tiere oder Pflanzen konkret gefährdet («Gefährdungsabschätzung»). Bei konkreter Gefahr müssen die Kantone die Gefährdung soweit einschränken, bis die Gefahr nicht mehr besteht. Sofern die Sanierungswerte überschritten werden, müssen die entspre-

⁴ Die Richtwerte geben die Belastung an, bei deren Überschreitung die Fruchtbarkeit des Bodens nach dem Stand der Wissenschaft oder der Erfahrung langfristig nicht mehr gewährleistet ist.

⁵ Die Sanierungswerte geben die Belastung an, bei deren Überschreitung nach dem Stand der Wissenschaft oder der Erfahrung bestimmte Nutzungen ohne Gefährdung von Menschen, Tieren oder Pflanzen nicht möglich sind.



65 Richt-, Prüf- und Sanierungswerte dienen der Beurteilung der chemischen Bodenqualität. Die Verordnung über die Belastung des Bodens (VBBo) legt für kritische Schadstoffe und Nutzungsspezifisch konkrete Werte fest.

chenden Nutzungen eingeschränkt oder verboten bzw. Massnahmen zur Reduktion der Bodenbelastung angeordnet werden.

Im Kanton Schaffhausen liegt der Bodenschutz mehrheitlich in der Verantwortung des Amtes für Lebensmittelkontrolle und Umweltschutz, der physikalische Bodenschutz in der Landwirtschaftszone liegt jedoch in der Verantwortung des Landwirtschaftsamtes (Verordnung zum Einführungsgesetz zum Umweltschutzgesetz [kantonale Umweltschutzverordnung, USGV, § 61]).

7.2 Situation des Bodens im Kanton Schaffhausen

Selbstverständlich gibt es keine generelle Charakterisierung der Belastung der Schaffhauser Böden. Zu unterschiedlich ist ihre Geschichte, auch auf kleinem Raum. Während in der Region der Stadt Schaffhausen die lange industrielle Vergangenheit ihre Spuren hinterlassen hat, dominieren in der Region Klettgau, Randen und Reiat die landwirtschaftlich beeinflussten Böden. Der flächenmäßig ausgeprägte Rebbau hinterliess grosse Flächen mit einer allerdings geringen Schwermetallbelastung. Das mehrheitlich trockene Klima bedingt, dass in der Landwirtschaft Ackerflächen auch in hügeligem Gelände im Vergleich zu Wiesland überdurchschnittlich stark vertreten sind. Damit verbunden ist eine erhöhte Erosionsanfälligkeit.

Im Folgenden werden einige aktuelle Themen des Bodenschutzes sowohl in einem allgemeinen Rahmen, aber auch mit einem Bezug zum Kanton Schaffhausen diskutiert.

7.2.1 Die Versiegelung des Bodens

Die wohl am offensichtlichsten negative Wirkung für den Boden ist dessen Versiegelung: dort, wo der Boden von Gebäuden, von Verkehrsflächen, Plätzen oder anderem überbaut wird, ist die Bodenfruchtbarkeit auf lange Zeit zerstört (Abb. 66). In der Schweiz verschwinden täglich rund 11 Hektaren ($11 \cdot 10'000 \text{ m}^2$) Kulturland, das sind rund 1 m^2 pro Sekunde. Auf ein Jahr hochgerechnet entspricht das beinahe der Fläche der Stadt Schaffhausen ($40'150'000 \text{ m}^2$; Stadt: $41'780'000 \text{ m}^2$). Dadurch werden pro Jahr rund 4 Millionen m^3 sauberer Oberboden und 11 Millionen m^3 sauberer Unterboden verschoben.

Diese Zahlen stammen aus früheren Erhebungen. Zur Zeit läuft schweizweit die dritte Erhebung der Arealstatistik der Schweiz. Sie ermöglicht erstmals gesicherte Aussagen zum Wandel der Bodennutzung über zwei Zeitintervalle von je 12 Jahren. Die Auswertung des Kantons Schaffhausen ist noch nicht abgeschlossen; es liegen jedoch die Daten von 8 Kantonen der Westschweiz vor. Aufgrund von Hochrechnungen ist von einer Siedlungsfläche in der Schweiz von heute 303'300 ha auszugehen. In der Erfassungsperiode



66 Die Überbauung einer Fläche ist die stärkste Einschränkung der Bodenfruchtbarkeit.

1979/85 betrug die Siedlungsfläche noch 246'400 ha. Innerhalb von 24.5 Jahren hat sich die Siedlungsfläche somit um 57'000 ha erhöht. Versiegelter Boden heisst auch schneller Abfluss des Wassers bzw. zunehmende Hochwassergefährdung.

Mit Blick auf diese Entwicklung hat der Bundesrat bereits 1992 den gesamtschweizerischen Mindestumfang des ackerfähigen Kulturlandes (Ackerland und Kunstmiesen in Rotation) sowie ackerfähige Naturwiesen («Fruchtfolgeflächen») im «Sachplan Fruchtfolgefläche» auf 438'560 ha festgesetzt und deren Aufteilung auf die Kantone bestimmt. Dieser Sachplan, ein Ergebnis der intensiven Zusammenarbeit zwischen Bund und Kantonen, sollte bestgeeignetes Landwirtschaftsland vor Überbauung schützen und der langfristigen Versorgungssicherung erhalten. An der generellen Zielsetzung hat sich bis heute nichts geändert, die Problemstellung hat sich jedoch weiter verschärft. Der Kanton Schaffhausen ist verpflichtet, 8'900 ha Fruchtfolgeflächen auszuscheiden, bzw. gestützt auf die Raumplanungsverordnung geeignete Massnahmen zu deren Schutz zu ergreifen. Zur Zeit sind (nach Abzug von Bauzonen, Rebflächen und Schutzzonen) 9'064 ha, also knapp 102%, ausgewiesen.

7.2.2 Verdichtung

Im Bodenschutz unterscheidet man zwischen chemischer und physikalischer Belastung des Bodens. Während die chemische Belastung die Beeinträchtigung der Bodenfruchtbarkeit aufgrund von chemischen Verunreinigungen beschreibt, umfasst die physikalische Belastung die negativen Auswirkungen von Erosion und Verdichtung.

Wenn Landwirte im Herbst mit den schweren Zuckerrüben-Vollerntern in nasse Felder fahren, hinterlassen sie tiefe Furchen. Zurück bleibt ein verdichteter, kompakterter Boden, der in seiner Fähigkeit, Wasser und Luft aufzunehmen und zu speichern sowie Wasser versickern zu lassen, stark eingeschränkt ist (Abb. 67). Der natürliche Gas- und Wasseraustausch ist gestört, Wurzeln und andere Organismen können schlecht eindringen: damit ist auch die Fruchtbarkeit gestört. Beim nächsten Niederschlag kann Wasser kaum in den Boden eindringen, sondern muss oberflächlich abfliessen: der Beginn der Erosion.



67 Die Tragfähigkeit der Böden nimmt mit zunehmendem Wassergehalt ab. Wenn ein tonreicher Boden bei nassen Verhältnissen zu stark belastet wird, wird er nachhaltig geschädigt.

Ein verdichteter Oberboden kann mit bestimmten Massnahmen wieder gelockert und damit für Wurzeln und Bodenorganismen wieder durchlässig gemacht werden. Schwieriger wird es, wenn die Verdichtung auch den Unterboden erfasst. Hier sind mechanische Massnahmen zur Lockerung des Bodens kaum erfolgversprechend. Das Wasser kann dann zwar in den Oberboden eindringen, bleibt aber auf dem Unterboden liegen und kann nicht abfließen. Dies führt zu staunassen Böden mit deutlich reduzierter Fruchtbarkeit, geringem Sauerstoffgehalt und reduzierter Fähigkeit zur Mineralisierung von Stickstoff. Auch hier wird der seitliche Abfluss und damit die Erosion begünstigt. An Hanglagen können solche Stauhorizonte sogar zum Abgleiten ganzer Bodenschichten führen.

Die Bodenverdichtung in der Schweiz hat in den letzten 30 Jahren enorm zugenommen. Der Einsatz immer schwererer Maschinen in Land- und Forstwirtschaft zeitigt Folgen. Dadurch verursachte Ertragseinbussen können bis zu 20% ausmachen.

Wie im Beispiel mit den Zuckerrüben erwähnt, ist vor allem das Befahren der Böden bei hohem Wassergehalt kritisch. Dann ist die Tragfähigkeit gering und die resultierende Verdichtung entsprechend hoch. Landwirte und Bauunternehmer sind daher aufgefordert, sensible Arbeiten nur bei trockenen Böden durchzuführen, und bei kritischen Arbeiten Ober- und Unterboden durch geeignete Massnahmen zu schützen. Um Landwirten und Bauunternehmern eine Beurteilungsgrundlage zur Verfügung zu stellen, werden derzeit je eine Tensiometerstation im Klettgau und im oberen Kantonsteil aufgebaut. Diese Anlagen dienen zur Messung der Bodenfeuchte. Man wird sich dann über Internet jederzeit informieren können, ob der Wassergehalt im Boden für drucksensible Arbeiten ausreichend tief ist. Die Fertigstellung dieser Stationen ist auf Frühjahr 2010 geplant.

Es gibt jedoch eine ganze Reihe von weiteren Massnahmen, welche die langfristige Verdichtung des Ober- und vor allem auch des Unterbodens verhindern helfen:

- Umorientierung auf bodenschonende Verfahren, Wahl eines geeigneten Bearbeitungszeitpunktes.
- Abstützung der Fahrzeugmasse auf mehrere Achsen.
- Vergrösserung der Auflagefläche (grössere und breitere Reifen, Luftdruckabsenkung, Doppelreifen). Zu beachten ist jedoch die Tatsache, dass bei einer Verdoppelung des Auflagedruckes und gleichzeitiger Verdopplung der Pneu-Auflagefläche die Druckverhältnisse im Boden nicht gleich bleiben: Der Druck wirkt tiefer in den Unterboden, wo die Verdichtungen kaum rückgängig gemacht werden können.
- Reduzierung der Bearbeitungsintensität sowie das Zusammenlegen von Arbeitsgängen.
- Reduzierung der Transportmassen.
- Bei grösseren Bauvorhaben sollten Bodenschutzanliegen bereits in der Konzeptions- und Planungsphase einfließen, damit Eingriffe wie im Extremfall die Verfügung eines Baustoppes nur im Sinne einer «Notbremse» einzusetzen sind (Abb. 68). Bei diesen Bauvorhaben ist auch der Einsatz eines bodenkundlichen Baubegleiters vorzusehen.

Im Kanton Schaffhausen gibt es keine flächendeckenden Erhebungen, die quantitative Aussagen erlauben würden. Es können lediglich Angaben gemacht werden, wie gross die Gefährdung der Schaffhauser Böden im Generellen ist. Während sandige Böden nur wenig empfindlich auf Druck reagieren, sind schwere tonige Böden im trockenen Zustand sehr gut belastbar, können aber im feuchten oder gar nassen Zustand irreparabel verdichtet werden. Solche tonigen Böden sind ausser in der Klettgau-Ebene im Kanton recht weit verbreitet. Besonders deutlich wird dies etwa in der Region Schleitheim-Beggingen, wo die Tongesteine der Trias und des Unteren Juras die Unterlage bilden. In der Tat scheinen hier Verdichtungsprobleme häufiger verbreitet als anderswo im Kanton.



68 Schutz des Unterbodens durch eine Kiespiste, die den Druck der Baumaschinen auf eine breite Fläche verteilt.

7.2.3 Erosion

Oft verbunden mit der Verdichtung ist das Problem der Erosion. Böden wachsen sehr langsam. Soll die Bodenfruchtbarkeit langfristig erhalten bleiben, darf daher der Bodenabtrag nicht grösser sein als die Neubildungsraten von Böden.

Im Rahmen einer Diplomarbeit (Friedli, 2006) wurde für die Schweiz die Bodenerosionsrate modelliert und in Karten visualisiert. Die Abschätzungen beruhen auf einem Hektarraster und wurden sowohl für die landwirtschaftliche Nutzfläche als auch für das Ackerland durchgeführt. Die folgenden Parameter sind in die Modellierung eingeflossen:

- **Niederschlagserosivität:** erosive Kraft des Regens, abhängig von Häufigkeit und Intensität der Regeneriegnisse
- **Bodenerodibilität:** Erosionsanfälligkeit des Bodens, abhängig von Zusammensetzung und Struktur
- **Topographiefaktor:** Hangneigungsfaktor und Hanglänge
- **Bodenbedeckungsfaktor:** (abhängig von der Fruchfolge) Für die Auswertung wurde auf Daten der landwirtschaftlichen Betriebsstrukturerhebung der Jahre 2002, 2003 und 2004 zurückgegriffen (Flächenangaben nach Gemeinden zu den jeweils angebauten Hauptkulturen).
- **Erosionsschutzfaktor:** Schutzwirkung von Konturnutzung und Streifenanbau. Hier wurde eine pauschale Annahme getroffen.

Auf Kantonsebene ausgewertet, zeigt der Kanton Schaffhausen die deutlich höchste Bodenerosionsgefährdung (Erosion von 4.04 t/ha und Jahr), gefolgt vom Kanton Aargau (2.92 t/ha und Jahr), Basel-Landschaft (2.86 t/ha und Jahr) und Zürich (2.61 t/ha und Jahr). In Schaffhausen ist der Kunstwiesenanteil am geringsten, und es gibt viele Ackerflächen in Hanglagen. Diese Verteilung ist teilweise bedingt durch die tiefen Niederschlagsraten. In Schaffhausen war im Jahr 2007 64% der durch Schaffhauser Landwirte bewirtschafteten Nutzfläche offene Ackerfläche, was schweizweit nur noch vom Kanton Genf knapp übertroffen wird. Der gesamtschweizerische Mittelwert lag 2007 bei 27.1% (Landwirtschaftsamt, 2009). Gemäss der Modellrechnung zur Bodenerosion würden im Kanton Schaffhausen pro Jahr allein vom Ackerland rund 36'000 Tonnen fruchtbare Bodenmaterial abgeschwemmt, Material das in Zukunft für den Ackerbau fehlt und zudem die Gewässer belastet.

Diese gemittelten Bilanz-Zahlen dürfen jedoch nicht darüber hinweg täuschen, dass Erosion vor allem ein lokales Phänomen ist, dem auch mit lokalen Massnahmen viel entgegen gesetzt werden kann. Die Ostschweizer Fachstellen bieten daher den Landwirten Unterstützung an, um das Problem der Erosion abschätzen und damit besser kontrollieren zu können (Mosimann und Rüttimann, 2000). Konkrete Massnahmen zur Reduktion der Bodenerosion wirken auf verschiedenen Ebenen. Vermeidung von Bodenverdichtung, Auswahl von Kulturen mit geringer Erosionsgefährdung, Zwischenkultur statt Winterbrache oder Direktsaat statt Anbau mit dem Pflug, Mulchen sowie Bodenbearbeitung in Richtung der Höhenkurven sind nur einige Beispiele. Die Direkt- oder Mulchsaat wird in erosionsgefährdeten Gebieten Nord- und Südamerikas bereits im grossen Stil eingesetzt. Hier waren die Erosionsschäden so gross, dass bereits vor 30 Jahren entsprechende Korrekturmassnahmen eingeleitet wurden. Neben der kleineren Erodibilität bietet die Direktsaat eine Reihe weiterer Vorteile, insbesondere einen besseren Wasser- und Stickstoffhaushalt (wobei allerdings während der Umstellung zum Aufbau der Mulchschicht noch grössere Stickstoffgaben notwendig sind). Doch die Umstellung auf Direktsaat ist agrotechnisch anspruchsvoll und auch mit einem wichtigen Nachteil gekoppelt: Der Bekämpfung von Ackerbeikräutern und Pflanzenkrankheiten muss erheblich mehr Gewicht beigemessen werden, da sich diese besser ausbreiten können, wenn sie bzw. krankes Pflanzenmaterial nicht regelmässig untergepflügt werden. Kurzfristige Ertragseinbussen können nicht ausgeschlossen werden, auch wenn diese langfristig durch den Erhalt der Bodenkrume und einen geringeren Stickstoffbedarf kompensiert werden (Huggins & Reganold, 2009). Die Wasserkonkurrenz mit anderen Pflanzen ist bei der Direktsaat erhöht.

Da die Auswaschung von Nitrat bei Mulchsaat-Bewirtschaftung deutlich kleiner ist als bei einer Bewirtschaftung mit dem Pflug, wird diese Bewirtschaftungsart im Rahmen des Nitratreduktionsprojektes im Klettgau gefördert (Biedermann et al. 2007).

7.3 Schadstoffe im Boden

Schadstoffe im Boden können die Bodenfruchtbarkeit und damit den landwirtschaftlichen Ertrag negativ beeinflussen, oder sie können sogar direkt eine gesundheitliche Gefährdung für Tier oder Mensch darstellen. Heute ste-

hen einerseits anorganische Schadstoffe (Schwermetalle), andererseits gewisse organische Verbindungen (u.a. Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe [PAK], Polychlorierte Biphenyle [PCB]) im Fokus der Beobachtung.

Die Wirkung von Schadstoffen hängt nicht nur von deren Gehalt im Boden ab, sondern auch vom Boden selbst. Je nach Zusammensetzung sind die Schadstoffe nämlich unterschiedlich stark gebunden. Die stark krebserregenden Polyzyklischen Aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK) beispielsweise binden sich über polare Bindungen an Huminstoffe oder werden in die Huminstoffe integriert und sind daher nur wenig mobil. Die Gefahr, dass sie ins Grundwasser ausgewaschen werden oder aber über Nahrungspflanzen in die menschliche Ernährungskette gelangen können, ist daher recht klein. Dafür spielen sie dort eine grosse Rolle, wo Kinder direkt mit belastetem Boden in Kontakt kommen, und diesen dabei auch über den Mund aufnehmen können.

Die Mobilität der Schwermetalle variiert – je nach Schwermetall - recht stark mit dem pH-Wert des Bodens. Tendenziell nimmt die Löslichkeit der Schwermetalle bei tieferem pH, also in saureren Böden zu. Es kann jedoch auch eine Mobilisierung der Schwermetalle bei steigendem pH, also im alkalischen Milieu beobachtet werden: Dabei steigt die Löslichkeit der Huminsäuren, wodurch sich gut lösliche Schwermetall-Huminsäure-Komplexe bilden können (neben ebenfalls gut löslichen Hydroxo- und Carbonato-Komplexen). Die Löslichkeit der Schwermetalle ihrerseits ist massgebend dafür, wie gut sie von den Pflanzen aufgenommen werden.

Nicht alle Schwermetalle sind nur giftig. Es gibt Schwermetalle, die in geringen Konzentrationen wichtig für biochemische Prozesse im Körper sind. In der Tierernährung ist daher beispielsweise Kupfer auch ein fester Bestandteil. Doch wird eine gewisse Konzentration überschritten, kann sich eine Giftwirkung entfalten. Die Schadstoffbelastungen im Boden haben seit der Industrialisierung im 19. Jahrhundert stark zugenommen. Weil die Aufenthaltszeit der Schadstoffe im Boden sehr lang ist – viel länger als in Gewässern, in der Luft, oder in Lebenwesen – braucht es eine ständige Bodenbeobachtung, deren Resultate in die umweltpolitischen Entscheide einfließen müssen. Einerseits betreibt der Bund eine nationale Bodenbeobachtung (NABO), andererseits unterhalten die Kantone sogenannte kantonale Bodenbeobachtungen (KABO), wobei sich diese Programme in Bezug auf Fokus und räumliche Auflösung ergänzen sollen.

7.3.1 Die Nationale Bodenbeobachtung (NABO)

Das Bundesamt für Landwirtschaft (BLW) und das Bundesamt für Umwelt (BAFU) betreiben seit 1984 gemeinsam ein nationales Bodenbeobachtungsprogramm, um die langfristige Entwicklung der Schadstoffe in den Schweizer Böden im Auge zu behalten.

Zum Auftrag der Nationalen Bodenbeobachtung gehören

- die zeitliche und räumliche Erfassung und Beurteilung von Belastungen,
- die Erfolgskontrolle von Bodenschutzmassnahmen,
- die Früherkennung negativer Trends und
- die Prognose zukünftiger Bodenbelastungen.

Die bisher wichtigsten Erkenntnisse sind (aus Desaules et al. 2006):

- In der Schweiz gibt es keine absolut unbelasteten Böden mehr. Auch in abgelegenen Gebieten findet man Schadstoff-Anreicherungen.
- Die zivilisationsbedingten Belastungen unserer Böden mit anorganischen Schadstoffen sind bei Blei, Kupfer, Cadmium und Zink am stärksten. Auf rund 10% der Bodenfläche dürfte der Richtwert dieser Elemente überschritten sein, wie eine erste Grobschätzung ergab.
- Die Schadstoffkonzentrationen im Oberboden (0 bis 20 cm Tiefe) verändern sich unerwartet rasch. 87% der untersuchten Standorte zeigten nach fünf Jahren bereits bei mindestens einem von neun Schadstoffen (Cadmium, Kobalt, Chrom, Kupfer, Quecksilber, Nickel, Blei, Zink und Fluor) eine signifikante Zu- oder Abnahme. Nach zehn Jahren war dies bei allen 25 Landwirtschafts-Standorten der Fall, die bislang untersucht wurden.
- Die Ursachen zeitlicher Konzentrationsveränderungen sind vielfältig und wirken nicht linear. Neben anthropogenen Einträgen sind je nach Standort auch natürliche und teilweise anthropogen beeinflusste bodendynamische Prozesse beteiligt. Es gibt auch erste Hinweise, dass der gemessene Schadstoffgehalt abhängt vom Bodenzustand, der seinerseits je nach Zeitpunkt der Probenahme variiert.

Im Kanton Schaffhausen befindet sich ein einziger NABO-Ackerbau-Standort bei Schleitheim.

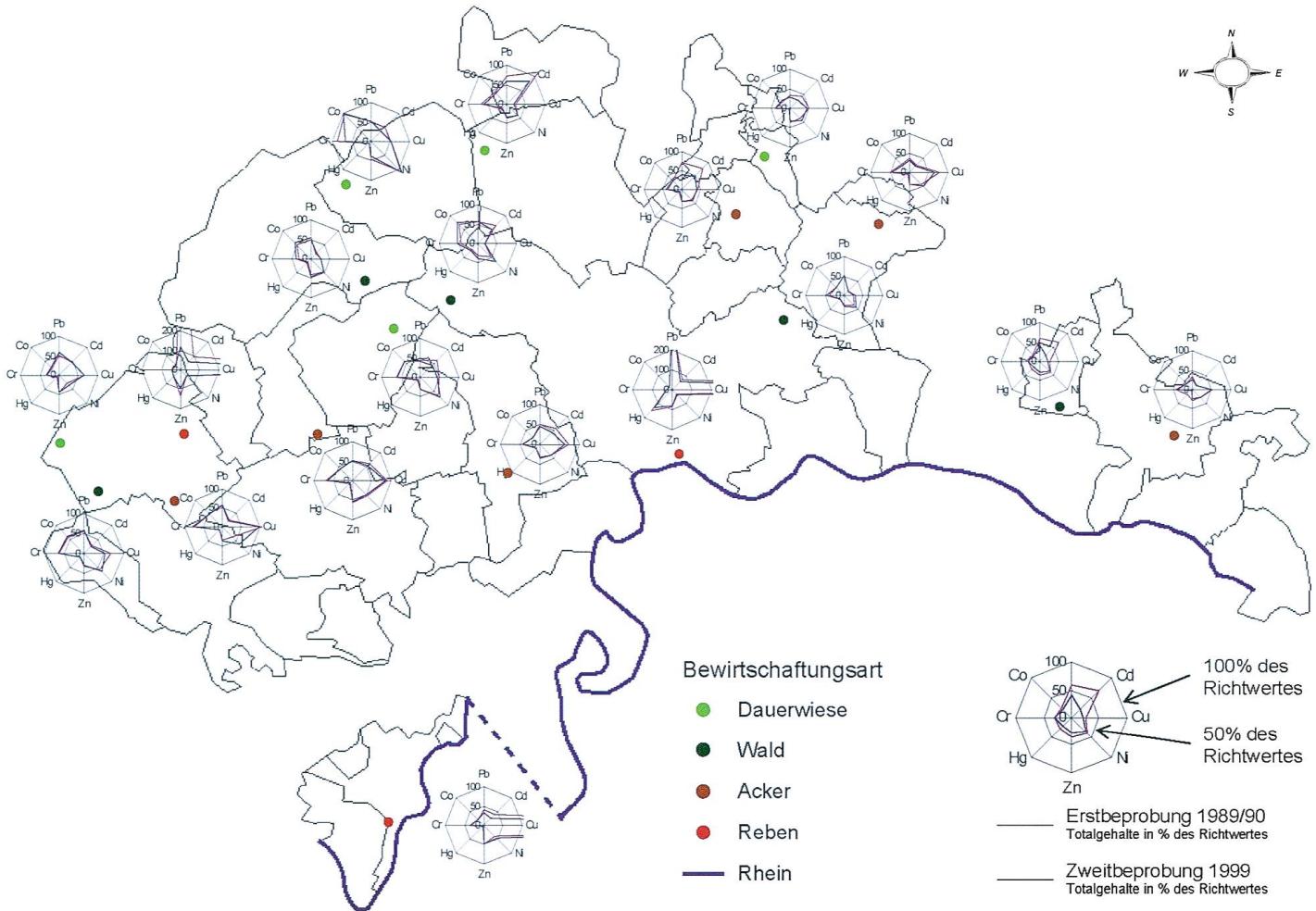
7.3.2 Das Kantonale Bodenbeobachtungsprogramm (KABO)

Damit die auf nationaler Ebene gewonnenen Erkenntnisse auf kantonale Ebene herunter gebrochen werden können, betreibt der Kanton Schaffhausen (wie auch andere Kantone) zusätzlich eine kantonale Bodenbeobachtung. Das Kantonale Bodenbeobachtungsprogramm des Kantons Schaffhausen sieht vor, dass alle 10 Jahre an 19 Standorten Bodenproben genommen und in Bezug auf Schwermetalle und pH-Wert des Bodens analysiert werden (Abb. 69). Das Ziel dieser Messungen sind Zeitreihen, die Aufschluss über die Entwicklung der Bodenfruchtbarkeit und die Wirksamkeit der getroffenen Massnahmen geben. Das Kantonale Bodenbeobachtungsnetz umfasst Standorte, die als Ackerflächen, Dauerwiesland, Wald oder für den Rebbau genutzt werden. Es sind explizit Flächen, die nicht von konkreten Emissionsquellen (Altlasten, Verkehr, Industrie) betroffen sind. Das Ziel ist die Erfassung des diffusen Eintrages durch die Atmosphäre.

Die Erstbeprobung fand 1989, die Zweitbeprobung 1999 statt. Diese Beprobungen ergaben summarisch keinen signifikanten Trend in einer Veränderung des Schwermetallgehaltes in Böden. Bei fünf Werten (von insgesamt 152 Einzelbestimmungen) wurde eine klare⁶ Zunahme, bei zehn Werten eine klare Abnahme festgestellt. Insgesamt 7 Messungen (der zweiten Beprobungskampagne) zeigen eine deutliche Überschreitung des Richtwertes. Zwei Bestimmungen lagen im Bereich des Richtwertes. Von den Überschreitungen betroffen waren die Schwermetalle Blei, Kupfer, Nickel und Quecksilber. Bei Zink lag lediglich ein Wert im Bereich des Richtwertes.

Um die Versauerung der Böden zu beobachten, wurde auch der pH-Wert bestimmt. In verschiedenen Regionen der Schweiz nimmt die Versauerung der Böden, vor allem aufgrund des anthropogenen Stickstoffeintrages in die Luft, stark zu. Gemäss BAFU sind mehrere Tausend Quadratkilometer der Schweiz betroffen. Besonders gefährdet sind Böden, die bereits von Natur aus einen tiefen pH-Wert zeigen. Im Kanton Schaffhausen lassen sich diesbezüglich jedoch keine klaren Trends erkennen. Dies ist nicht überraschend: Von wenigen Ausnahmen abgesehen dominieren im Kanton Schaffhausen kalkreiche und damit in Bezug auf den pH gut gepufferte Böden. Von einer eigentlichen Versauerung der Böden kann daher in unserem Kanton nicht gesprochen werden.

⁶ D.h. unter Berücksichtigung des Streubereichs der Messungen.



69 KABO-Standorte mit bisherigen Messungen. Im Messprogramm des KABO werden verschiedene Böden mit verschiedenen Bewirtschaftungsformen, aber ohne direkten Schadstoffeinfluss beprobt. Die Grafik gibt die Schwermetall-Schadstoffverteilung in Prozent des Richtwertes an.

Die bisherige Messreihe des KABO Schaffhausen ist jedoch für das Erkennen von langfristigen Tendenzen noch zu kurz. Im Herbst 2009 findet die dritte Messkampagne statt.

7.3.3 Natürliche vorkommende Schwermetalle

Schwermetalle kommen in gewissen Konzentrationen natürlich in Gesteinen und den sich auf ihnen entwickelnden Böden vor. So sind denn auf den Randenhochflächen oft die Cadmium-Gehalte recht deutlich über dem Durchschnitt. Der Grund liegt in der langen Zeit, in der diese Hochflächen

der Verwitterung und Erosion ausgesetzt gewesen waren, denn der Randen war während der Eiszeiten nicht von den Gletschern überfahren und damit «leergeräumt» worden. Während gewisse Mineralien laufend durch Wasser gelöst und in Form von Lösung abtransportiert werden, bleiben andere, schwerlösliche Mineralien zurück. Im Laufe der Jahrtausende sammelt sich damit ein schwerlöslicher Rückstand. Cadmium ist in diesen Mineralien besonders häufig, daher ist die Cadmium-Konzentration an gewissen Stellen besonders hoch. Im Kanton Schaffhausen wurden geogene (d.h. natürliche) Richtwertüberschreitungen von Cadmium festgestellt (Kantonales Laboratorium, 1994). Genauere Untersuchungen dazu bestehen jedoch nicht. Eine ähnliche Situation herrscht u.a. im Gebiet des Blauen/Nenzlingen (Basel-Landschaft). Sie wurde vom Kantonalen Labor BL in Bezug auf die Produktion von Brotgetreide eingehend untersucht. Es zeigte sich, dass ab einem Wert von 2 mg Cadmium pro kg Boden der lebensmittelrechtliche Wert im Brotgetreide überschritten wird. Bisherige Messungen von geogenen Belastungen im Kanton Schaffhausen liegen unter 2 mg Cadmium pro kg Boden.

7.3.4 Verwendung von Müll-Klärschlammkompost (MKK)

In den 70er Jahren wurde in der Kehrichtbehandlungsanlage Hard (KBA Hard), wie in zehn anderen Anlagen der Schweiz auch, ein Kompost aus Hauskehricht und Klärschlamm (Müll-Klärschlammkompost MKK) hergestellt. Dieser wurde an die Landwirtschaft und an Private abgegeben. Analysen haben jedoch um 1980 gezeigt, dass gewisse Schwermetalle (v.a. Blei, Cadmium, Kupfer und Zink) im MKK in unerwünscht hohen Konzentrationen vorkommen. Dies führte dazu, dass 1986 strenge Schwermetallgrenzwerte für Kompost in die Stoffverordnung aufgenommen wurden.

1994 wurden im Kanton Schaffhausen 28 Bodenproben genommen und auf die Elemente Blei, Cadmium, Kobalt, Chrom, Kupfer, Nickel, Quecksilber und Zink analysiert. Die Proben wurden sowohl auf Flächen, auf denen MKK ausgebracht wurde, als auch auf entsprechenden Referenzflächen genommen. Es konnte gezeigt werden, dass auf MKK-Flächen mit erhöhten Blei-, Cadmium-, Kupfer-, Zink und teilweise Quecksilber-Werten gerechnet werden muss. Die beobachtete Schadstoffverteilung zeigt eine recht eindeutige Signatur, so dass auch bei künftigen Messungen der Einfluss von MKK eigentlich klar erkennbar sein sollte.

Die Flächen, auf denen die Verwendung von MKK bekannt ist, wurden in einer kantonalen Datenbank erfasst. Die Entfernung von Boden aus diesen Belastungsflächen ist bewilligungspflichtig. Die Wiederverwendung ist an strenge Auflagen geknüpft, um eine unkontrollierte Verteilung des belasteten Erdreichs zu vermeiden.

7.3.5 Reben und die Bordeauxbrühe

Gegen Ende des 19. Jahrhunderts breiteten sich neue, aus Amerika eingeführte Schädlinge über ganz Europa aus: zunächst die Reblaus (*Phylloxera vastatrix*), anschliessend mit dem Import von Reben, die gegen die Reblaus resistent sind, folgte der Falsche Mehltau, hervorgerufen durch den Pilz *Plasmopara viticola*. Natürlich blieb auch der Rebbau-Kanton Schaffhausen von der neuen Plage nicht verschont.

Mehr durch Zufall als durch systematische Forschung entdeckte ein französischer Botanikprofessor ein Mittel zur Bekämpfung des Falschen Mehltaus: eine Mischung von Kupfervitriol und Kalkmilch. Später wurde diese Lösung als Bordeauxbrühe bekannt. Dieses Mittel gegen den falschen Mehltau wurde schon wenige Jahre nach dessen Entdeckung in Europa grossflächig eingesetzt.

Um 1890 genügten noch ein bis zwei Spritzungen pro Jahr, später waren es schon fünf bis sieben. Bis in die zwanziger Jahre wurden die Spritzungen durch den Bund und die Kantone subventioniert. Teilweise wurden sogar kantonale Spritzobligatorien eingeführt. Bis in die dreissiger Jahre stiegen die Kupferfrachten bis auf durchschnittlich 50 kg Kupfer pro ha Rebberg und Jahr an; In den Jahren 1920 bis 1940 wurden Spitzen von bis zu 80 kg Kupfer pro ha und Jahr erreicht. Mit der Einführung von gesetzlichen Vorschriften und der Verwendung von effizienteren Kupferverbindungen konnten die Kupferfrachten ab ca. 1965 stark reduziert werden. Heute dürfen noch maximal 4 kg Kupfer pro ha und Jahr eingesetzt werden, wenn man nach den Prinzipien des Ökologischen Leistungsnachweises (ÖLN) und Bio Suisse produziert.

Stellenweise wurde in den fünfziger bis in die achziger Jahre auch Müll-Klärschlammkompost (MKK) zur Verbesserung der Bodenstruktur und zur Erhöhung des organischen Anteils auf Rebbergen eingesetzt (siehe oben). Als man feststellte, dass dieser Kompost stark erhöhte Gehalte von Cadmium, Blei, Nickel Zink und Kupfer aufweist, wurden die Mengen drastisch reduziert, und schliesslich verboten.

Im Weinbaukanton Schaffhausen wurde ebenfalls Bordeauxbrühe eingesetzt. Auch hier muss überall dort, wo zwischen 1885 und ca. 1970 Reben angebaut wurden, mit deutlich erhöhten Gehalten an Kupfer im Boden gerechnet werden. Anhand von altem Kartenmaterial wurden die Rebflächen im Kanton kartiert (Stand 1885), gemäss dieser Auswertung waren dies rund 1200 ha. Es handelt sich für das relevante Zeitfenster recht genau um die Maximalausdehnung. Nur in ganz wenigen Gebieten wurde die Rebfläche später noch ausgedehnt; auf vielen Flächen jedoch wurde der Rebbau später eingestellt. Heute wird im Kanton Schaffhausen noch auf rund 477 ha (Stand 2008) Rebbau betrieben. Das sind rund 3% der landwirtschaftlichen Nutzfläche des Kantons.



70 Rebberge sind ein Wahrzeichen des Kantons Schaffhausen, weisen aber wie auch andernorts erhöhte Gehalte von Kupfer im Boden auf.

Es konnte verschiedentlich gezeigt werden, dass das Kupfer das Wachstum der Pflanzenwurzeln und damit die Bodenfruchtbarkeit insgesamt erheblich einschränken kann, und dass die Aktivität der Bodenlebewesen reduziert wird.

Die schädliche Wirkung von Kupfer auf den Menschen ist nicht ganz einfach zu beurteilen und wird in unterschiedlichen Quellen auch unterschiedlich bewertet. Generell aber gilt, dass Kupfer für den Menschen eine vergleichsweise geringe Toxizität aufweist. Dagegen kann es für gewisse Tiere, namentlich Wiederkäuer, sehr problematisch sein. Schafe, die im Vergleich zu anderen Weidetieren nahe am Boden fressen und dadurch auch viel Erdmaterial aufnehmen, gelten als besonders gefährdet (Abb. 71). Entsprechend ist das Weiden von Schafen ab einem Kupfergehalt von 150 mg/kg (= Prüfwert), das Weiden von Rindern jedoch erst ab einem Kupfergehalt von 550 mg/kg problematisch.

Im Kanton Schaffhausen liegen die Kupferbelastungen der Rebberge in der Regel zwischen Richt- und Prüfwerten der VBBo. Prüfwertüberschreitungen werden nur in Ausnahmefällen festgestellt, meist dann, wenn andere Emissionsquellen dazu kommen. Damit stehen die Schaffhauser Rebberge im nationalen Vergleich gut da.



71 Schafe sind durch kupferhaltige Böden in ehemaligen Rebbergen besonders gefährdet.

7.3.6 Schwermetalle bei Schiessanlagen

In den rund 6'000 Kugelfängen ehemaliger und noch in Betrieb stehender Schiessanlagen der Schweiz lagern mehrere zehntausend Tonnen Blei und andere Schwermetalle aus dem Schiessbetrieb. Jedes Jahr kommen rund 200 Tonnen dazu. Der Eintrag von Blei in die Umwelt durch den Schiessbetrieb ist damit mehr als zwei Mal so gross wie der Eintrag durch Verkehr, Industrie und Gewerbe zusammen.

Das Blei stammt aus der Munition. Die darin verwendeten Bleilegierungen enthalten jedoch meist noch andere Schwermetalle; in der schweizerischen Ordonnanzmunition ist dies vor allem Antimon zu 2 bis 5%. Antimon zeigt ein für Schwermetalle eher untypisches Lösungsverhalten im Boden und ist ähnlich toxisch wie Arsen. Bei einer möglichen Gefährdung von Grundwasser könnte Antimon daher eine entscheidende Rolle spielen (siehe z.B. Gresch und Wettstein 2002, Mathys et al. 2007). Für Blei wurde gezeigt, dass die vertikale Verlagerung durch Rückhalteprozesse wirksam verzögert wird, so dass der Durchbruch ins Grundwasser – je nach Boden und Grundwasserverhältnissen – erst nach mehreren Jahrzehnten oder Jahrhunderten stattfinden kann. Die Mobilität von Antimon scheint bei üblichen Bodenverhältnissen höher als jene des Bleis.

Auch im unmittelbaren Umfeld des Schützenhauses können Belastungen von Quecksilber, Zink und Kupfer eine Rolle spielen. Diese Schadstoffe werden bzw. wurden bei der Schussabgabe freigesetzt. Sie scheinen aber in der Regel lediglich zu Richtwertüberschreitungen zu führen (Küng 2008).

Früher wurde fast überall in einen Erdwall geschossen. In solchen Erdwällen kann Blei stellenweise bis zu 10% ausmachen. Der Bleigehalt übersteigt damit die Konzentration gewisser Bleierze. Blei ist im Boden zwar nur wenig mobil, und eine Gefährdung des Grundwassers wird daher wohl die Ausnahme bleiben. Doch dies bedeutet auch, dass das Blei über Jahrhunderte bis Jahrtausende einen Boden belasten kann. Alte und aktuelle Kugelfänge von Schiessanlagen sind daher im Kataster der belasteten Standorte verzeichnet. Insbesondere die Gefährdung weidender Tiere oder spielender Kinder gilt es durch geeignete Schutzmassnahmen auszuschliessen. Daher ist davon auszugehen, dass Kugelfänge stillgelegter Schiessanlagen nach Altlastenrecht saniert werden müssen. Momentan sind lediglich Kugelfänge, die im Wald lie-

gen und weder Grund- noch Oberflächengewässer gefährden können, davon ausgenommen. Hier geht das Bundesamt für Umwelt davon aus, dass keine konkrete Gefährdung besteht. Überall dort, wo das Land jedoch für die Landwirtschaft, als Garten oder gar als Kinderspielplatz genutzt werden soll, ist eine Dekontamination des Bodens unumgänglich. Dies bedingt einerseits aufwändige Untersuchungen, vor allem aber hohe Kosten bei der Entsorgung des belasteten Erdreichs.

Heute gibt es Alternativen zum Erdwall-Kugelfang. Im Kanton Schaffhausen wurden in den letzten Jahren viele Stirnholzkugelfänge eingeführt: Die Munition landet nicht mehr im Erdwall, sondern im geschnittenen Holz, das dann korrekt entsorgt werden kann. Die Erfahrung zeigt jedoch, dass auch ein Stirnholzkugelfang nicht ganz emissionsfrei betrieben werden kann. Das Holz zersplittert und verrottet, und ein Teil der Munition landet dennoch im Boden. Die Bundesämter für Umwelt und für Militär fordern daher die Schützenvereine und Gemeinden auf, künstliche Kugelfänge einzurichten. Es handelt sich dabei um Stahlbehälter, die über eine Kunststoffplatte und Stahl-



72 Künstliche Kugelfänge wie hier in Altorf verhindern, dass Blei aus der Munition in den Boden und schliesslich in die Nahrungskette gelangen kann.

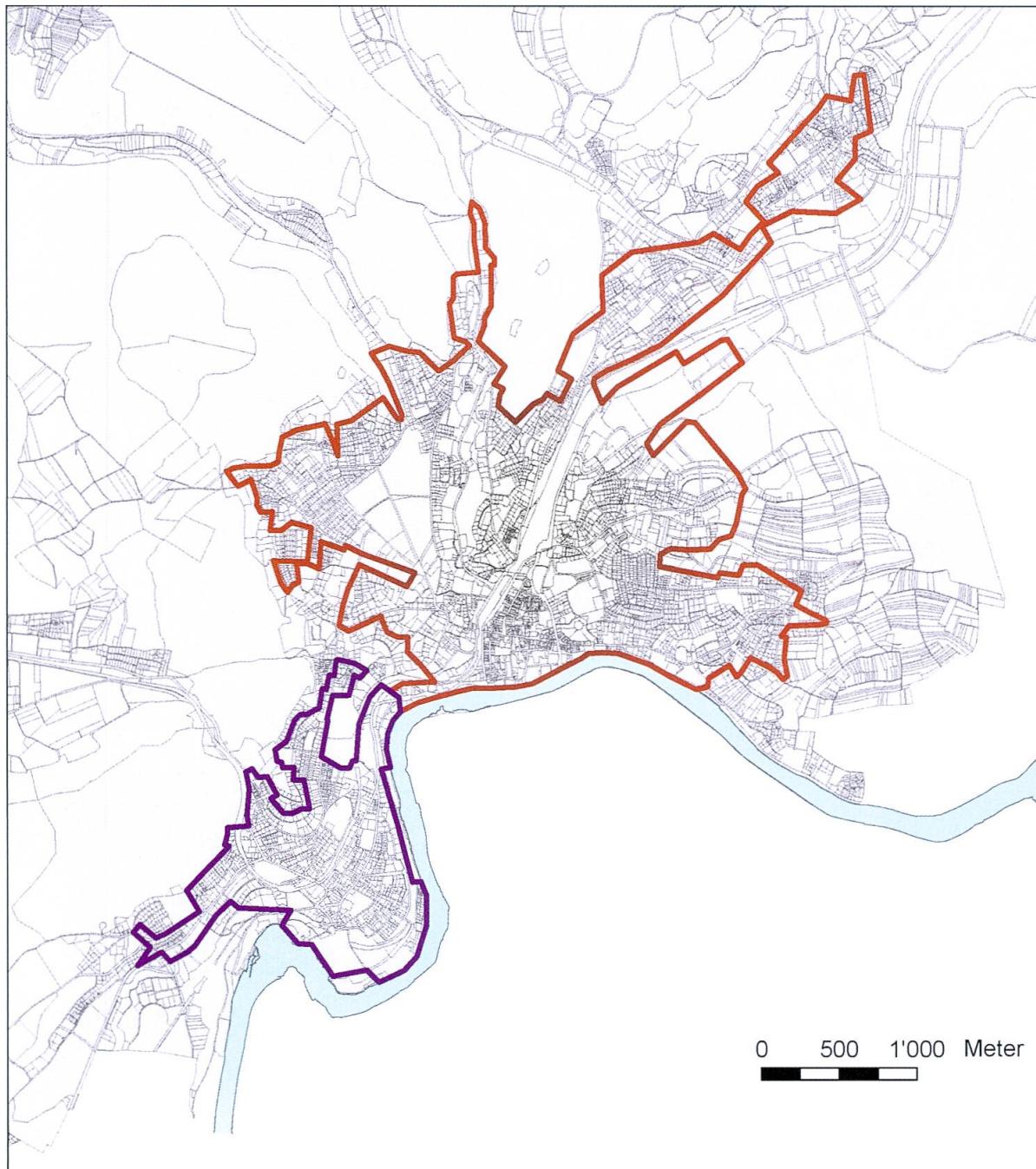
blech bzw. Gummigranulat die Kugeln abbremsen und aufnehmen (Abb. 72). Die Frist wurde neu auf den 31.12.2012 für Kugelfänge in einer Grundwasserschutzzone bzw. auf den 31.12.2020 für alle anderen Kugelfänge gesetzt. Nur wenn diese Fristen eingehalten werden, werden Bundesbeiträge für die alblastentechnische Sanierung der alten Erdwallkugelfänge geleistet.

Im Kanton Schaffhausen gibt es 57 aktuelle und ehemalige Kugelfänge. Davon sind rund ein Drittel mit einem Stirnholzkugelfang sowie drei mit einem künstlichen Kugelfang ausgerüstet. Bei sechs Anlagen wurden Grund- oder Oberflächenwasserproben genommen. In keinem der untersuchten Fälle musste jedoch eine Beeinträchtigung der Wasserqualität festgestellt werden. Die alblastentechnische Sanierung aller Kugelfänge wird gegen 5 Millionen Franken kosten.

7.3.7 Siedlungsgebiete

Im Bereich der Siedlungsgebiete sind die Schwermetallgehalte meist leicht erhöht: Zink, Blei, Kupfer und Cadmium, sowie an einigen Stellen auch Quecksilber sind neben PAK die Hauptschadstoffe. Quellen der Schadstoffe sind einerseits die langjährige Belastung durch den Verkehr (insbesondere bleihaltige Treibstoffe), andererseits auch die zahlreichen Verbrennungsprozesse. Gerade in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts wurden in den Hausverbrennungen noch viele problematische Stoffe verbrannt (z.B. Holz mit schwermetallhaltigen Farbanstrichen). Schadstoffe aus den Abgasen dieser Verbrennungen lagerten sich dann vorwiegend in der unmittelbaren Umgebung ab.

Im Rahmen der KABO-Erhebungen wurde in Schaffhausen das Gebiet um den Munot intensiver beprobt und analysiert. Diese Proben bestätigten die Erfahrungen anderer Kantone in älterem Siedlungsgebiet. Signifikante Richtwertüberschreitungen von Kupfer und Blei, moderate Überschreitungen bei Zink und schliesslich erhöhte, aber den Richtwert nicht erreichende Werte von Cadmium und Quecksilber. Vor wenigen Jahren wurde in Schaffhausen ein breitflächiges Monitoring der Schadstoffe im Gebiet der Stadt durchgeführt. Dieses Monitoring zeigte, dass innerhalb des Bereiches, der bereits 1950 Siedlungsgebiet war, Richtwertüberschreitungen deutlich häufiger auftreten als ausserhalb (Abb. 73).



73 Ausdehnung der 1950er-Siedlungsgebiete in Schaffhausen und Neuhausen am Rheinfall.
(Quelle: Vermessungsamt Kanton Schaffhausen)

Aufgrund dieser Erkenntnisse sind bei Baugesuchen im alten Siedlungsgebiet Bodenverschiebungen nur mit Auflagen möglich. Ziel dieser Auflagen ist es, den Belastungsperimeter durch Verschiebungen von Bodenmaterial nicht unnötig und vor allem auch unkontrolliert auszuweiten.

Im Rahmen einer kleinen Messkampagne wurde 2001 der Einfluss der ehemaligen Kehrichtverbrennungsanlage Hard in Beringen untersucht (Amt für Lebensmittelkontrolle und Umweltschutz, 2001). Dabei zeigte sich, dass die Schwermetallgehalte in den Böden in der Umgebung der Anlage im Bereich der üblichen Gehalte liegen; eine Abhängigkeit von der Distanz zur Anlage war nicht feststellbar. Somit scheint die Anlage keinen nachteiligen Einfluss auf die Böden in der Umgebung gehabt zu haben.

7.3.8 Verkehrswege

Aus dem Strassenverkehr werden verschiedene Schadstoffe emittiert, die sich dann vor allem in strassennahen Böden wiederfinden: PAK und (mit abnehmender Bedeutung) Blei aus der Verbrennung der Treibstoffe, Zink und Cadmium durch Reifenabrieb. Je nach Teergehalt im Asphalt kann ein grosser bis überwiegender Anteil der Bodenbelastung mit PAK aus dem Abrieb der Strassenoberfläche stammen. In verschiedenen Berichten werden die Auswirkungen des Strassenverkehrs auf die Belastung der Böden beschrieben (Buwal, 1992, AFU Solothurn, 1994, Fachstelle Bodenschutz Kanton Zürich, 2000). Die Belastungen sind klar abhängig von der Verkehrsdichte. Stichprobenartige Untersuchungen im Kanton Schaffhausen haben ähnliche Ergebnisse geliefert.

Aufgrund dieser Resultate wurde z.B. im Kanton Zürich ein sogenannter Prüfperimeter definiert, in welchem Richtwertüberschreitungen zu erwarten sind und bei geplanten Bodenverschiebungen deshalb Untersuchungen gemacht werden müssen: Bei 2'000 bis 15'000 Fahrzeugen pro Tag beträgt er 15 m, über 15'000 Fahrzeugen pro Tag 25 m; bis 2'000 Fahrzeuge pro Tag ist keine Prüfung erforderlich.

Auch der Schienenverkehr hat Auswirkungen auf die benachbarten Böden. Hier stammen die Schadstoffe vorwiegend aus dem Abrieb von Bremsbelägen, Rädern, Stromabnehmern, Schienen und Fahrleitungen. Als Resultat ist mit systematischen Richtwertüberschreitungen z.B. für Kupfer im Bereich bis 7 m ab Bahntrasse zu rechnen, in der Distanz von 7 bis 10 m wurden einzelne Richwertüberschreitungen festgestellt.

7.3.9 Familiengärten

Haus- und Familiengärten können vor allem als Folge von Schadstoffeinträgen im 20. Jahrhundert so stark belastet sein, dass Massnahmen zur Gefahrenabwehr erforderlich sind (Abb. 74). Belastungsursachen sind: Ausbringen belasteter Asche, Einsatz von Abfalldüngern wie Kehrichtkompost oder Klärschlamm, übermässiger Hilfsstoffeinsatz, Verwertung industrieller Abfallprodukte wie Giessereisande, Infrastrukturunterhalt, Freizeittätigkeiten wie Feuerwerke oder Reparaturarbeiten. Auch die Vorgeschichte (Belastete Standorte, Rebberge, Industriearale) oder die Nähe zu Schadstoffquellen wie Verkehr oder Industrie spielen eine grosse Rolle.

Der operative und analytische Aufwand für die Untersuchung der Gärten ist sehr gross. In den letzten Jahren hat das Kantonale Labor damit begonnen, mit Fokus auf Familiengartenareale die Situation im Kanton Schaffhausen zu untersuchen. Vor allem in der Stadt Schaffhausen mit der industriellen Vergangenheit, aber auch in Neuhausen, Thayngen, Beringen und einer Reihe von weiteren Gemeinden gibt es eine aktive Familiengartentradiiton. Im Rahmen eines Vorprojektes sollte ein rasches und kostensparendes Vorgehen getestet werden. Im Jahr 2008 wurden daher sämtliche Familiengärten der Stadt Schaffhausen mit Hilfe eines mathematischen Modells grob eingestuft. Dieses mathematische Modell liefert aufgrund von diversen Eingabeparametern die Wahrscheinlichkeit, mit welcher Prüfwerte nach VBBo⁷ in dem Areal überschritten werden. Als Leitparameter dienen die Schadstoffe Blei und Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK).

In drei Arealen wurde dieses mathematische Modell anschliessend mit zwei unabhängigen Analysemethoden überprüft: XRF⁸ (im Labor) und naschemische Analyse nach VBBo. Auf XRF-Messungen im Feld wurde verzichtet. In einem weiteren Areal in Neuhausen wurde in Zusammenarbeit mit einer Klasse der Kantonsschule und mit Hilfe von Stichproben die Belastungssituation analysiert.

⁷ VBBo: Verordnung über Belastungen des Bodens, SR 814.12

⁸ Röntgenfluoreszenzanalysen



74 Familiengärten werden intensiv genutzt – umso wichtiger ist, dass das darin produzierte Gemüse sorgenfrei genossen werden kann.

Die Resultate zeigen eine insgesamt erfreulich geringe Belastung der Familiengärten. Nur in einem Areal mussten relevante Überschreitungen der Prüfwerte festgestellt werden. Konkrete Massnahmen, die auf einer Gefährdungsabschätzung beruhen, müssen lediglich in drei Teilparzellen (von 42 analysierten Parzellen) ergriffen werden.

Die Auswertung hat gezeigt, dass sich das mathematische Modell bisher am Standort Schaffhausen nicht bewährt hat. Jedoch konnten dank einer sorgfältigen Aufbereitung die beiden eingesetzten Analysenmethoden sehr gut zur Übereinstimmung gebracht werden. Das weitere Vorgehen wird nun in Zusammenarbeit mit den Grundstücksinhabern festgelegt.

Die Situation der Hausgärten bzw. Privatgärten ist vermutlich ähnlich. Jedoch existieren dazu in unserem Kanton keine umfassenden Untersuchungen.

7.3.10 Dünger: Nitrat etc.

Den bebauten Böden werden durch die Pflanzen und letztlich auch durch uns Konsumenten Nährstoffe entzogen. Dieser Nährstoffentzug muss durch Düngergabe kompensiert werden, um die Bodenfruchtbarkeit aufrecht zu erhalten. Doch wenn die Düngergabe nicht gezielt erfolgt und ein Ungleichgewicht in Bezug auf einzelne Nährstoffe entsteht, kann dadurch die Bodenfruchtbarkeit negativ beeinflusst werden. Die notwendige Düngermenge variiert mit der angebauten Kultur und der Zusammensetzung des Bodens. Mittels Bodenproben kann die optimale Düngermenge (Phosphor, Kalium, Magnesium und Calcium) bestimmt werden. Der Nährstoffgehalt ist ohne Messung nur schwer abschätzbar.

Es lässt sich zudem kaum vermeiden, dass ein gewisser Teil dieser Nährstoffe sein Bestimmungsziel «Aufnahme durch Pflanzenwurzel» nicht erreicht. Der Austrag durch Sickerwasser auf der einen Seite, die Emission in die Atmosphäre auf der anderen Seite sorgen dafür, dass Nährstoffe schliesslich an Orte gelangen, wo man sie nicht haben will. Allerdings sind auch hier in den letzten Jahren grosse Fortschritte erzielt worden. Das Schleppschlauchverfahren zur emissionsarmen Ausbringung von Gülle setzt sich bei den Landwirten zunehmend nicht nur aus Umweltschutzgründen, sondern auch aufgrund von wirtschaftlichen Überlegungen durch.

Die «Grundlagen für die Düngung im Acker- und Futterbau» (GRUDAF) der Forschungsanstalten Agroscope Changins-Wädenswil (ACW) und Reckenholz-Tänikon (ART) fasst die bis heute vorliegenden Erkenntnisse zusammen und stellt für die Schweizer Landwirte konkrete Handlungsempfehlungen bereit. Das Bundesamt für Landwirtschaft prüft momentan, ob und in welcher Weise die Änderungen der GRUDAF in die Instrumente des ÖLN, insbesondere die Suisse-Bilanz, eingebaut werden können. Im Vordergrund stehen dabei die Bodenanalysen und die Flexibilisierung der Stickstoff-Düngung.

Während in der Landwirtschaft die Düngung nicht zuletzt auch über das Kosten-Nutzenverhältnis recht stark geregelt ist, ist die Situation in Gärten, vor allem in den Privatgärten eine andere. In der Schweiz gibt es rund 50'000 Freizeitgärten mit einer Gesamtfläche, die etwa 3'000 mittleren Landwirtschaftsbetrieben entspricht. Intensiv bewirtschaftete Gartenböden enthalten



75 Die Verwendung von Asche im Gartengrill als Dünger ist verlockend – aber nicht sinnvoll. Einerseits ist die Düngewirkung schlecht, andererseits bringt man damit Schadstoffe in den Boden.

oft einen Überschuss an Kalium, Magnesium und vor allem Phosphor. Sowohl Mineral- (Granulat-, Flüssig oder Pulverdünger) als auch organischer Dünger (Kompost, Tiermist) wird in den Gärten meistens deutlich zu hoch dosiert (siehe z.B. Leutert, 2007). Phosphor beispielsweise, das von den Pflanzen nur in geringen Mengen aufgenommen wird, kann sich über die Jahre sehr stark aufkonzentrieren. Falls keine Nährstoffanalyse des Bodens vorliegt, sollte daher auf Kunstdünger, auf organischen Volldünger und auf Hühnermist⁹ verzichtet werden. Auf Asche¹⁰ – nach wie vor ein bei Hobbygärtnern beliebter Abfalldünger – sollte aber auf jeden Fall verzichtet werden. Hier wird der vermeintlich positive Effekt einer (meist unnötigen) Kaliumdüngung durch hohe Konzentrationen von Schwermetallen ins Negative umgewandelt. (Abb. 75).

9 Hoher Phosphorgehalt!

10 Asche ist kalium- und meist auch schwermetallhaltig

7.3.11 Pflanzenschutzmittel (inkl. Unkrautvertilgungsmittel)

Pflanzenschutzmittel (= Pestizide) sind Stoffe, die Pflanzen vor Schadorganismen schützen, Nährstoffmangel verhindern oder beheben oder die Widerstandsfähigkeit von Pflanzen gegenüber Schädigungen (Viren, Bakterien, Pilze, «Unkräuter») erhöhen. Dazu gehören auch Wachstumsregulatoren und Pflanzenstärkungsmittel. Sie dienen somit zum Schutz von Kulturpflanzen und sind heute ein wichtiger und integraler Bestandteil der Nahrungsmittelproduktion. Man unterscheidet je nach Schadorganismus Herbizide (Kräuter), Fungizide (Pilze), Algizide (Algen), Aphizide (Blattläuse), Akrazide (Milben), Bakterizide, Viruzide, Molluskizide (Schnecken) oder Rodentizide (Nagetiere). Diese Einteilung täuscht eine gezielte Giftwirkung auf die genannten Organismen vor, die aber nicht immer gegeben ist, da Pflanzenschutzmittel in grundlegende Stoffwechselvorgänge eingreifen. Bei der Anwendung erreicht nur ein Teil der Pflanzenschutzmittel sein Ziel, der andere dringt in den Boden ein und gelangt durch Auswaschung ins Grundwasser. Hier besteht die Gefahr, dass diese Stoffe in die natürlichen Stoffkreisläufe eingreifen, dass sich Resistenzen bilden oder dass sie über Umwege in die menschliche Nahrungskette gelangen.

Das bekannteste Beispiel für die negativen Auswirkungen von Schädlingsbekämpfungsmitteln auf Umwelt und Mensch ist der Einsatz von DDT (Abk. für Dichlordiphenyltrichlorethan) in den vierziger bis siebziger Jahren. Obwohl inzwischen lange verboten, ist das äusserst persistente¹¹ DDT noch überall auf der Welt nachweisbar. Auch die als Unkrautvertilgungsmittel eingesetzten Triazine wie das einst weit verbreitete Herbizid Atrazin sind heute weitestgehend verboten, da sie sich in der Umwelt ebenfalls äusserst persistent verhalten und dadurch beispielsweise ins Grundwasser gelangen können. Noch heute findet man etwa in Böden entlang von Bahndämmen erhöhte Gehalte von Atrazin und dessen Umbauprodukten.

1999 wurden durch das kantonale Labor in Kürbiskernen (nicht nur aus dem Kanton Schaffhausen) erhöhte Gehalte von Dieldrin festgestellt. Seit 1972 ist der Einsatz der beiden Insektizide und Saatbeizmittel Aldrin und Dieldrin in der Schweiz verboten. Während Aldrin mit der Zeit zu Dieldrin abgebaut wird, gilt Dieldrin als persistent. Die selbe Substanz wurde im Rah-

¹¹ persistent: wird über lange Zeit nicht abgebaut.

men einer durch den Kassensturz initiierten Untersuchung in einer Reihe von Kürbiskernölen nachgewiesen. Dass diese Substanzen auch nach über 30 Jahren noch in relevanten Mengen in Lebensmittelprodukten nachgewiesen werden kann, unterstreicht die Bedeutung des Bodens auch als chemischer Speicher für Umweltsünden.

Heute unterliegt der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln strengen gesetzlichen Vorgaben (Chemikalienrecht, Pflanzenschutzverordnung). Obschon noch viele Fragen offen sind, wird damit grundsätzlich in der Landwirtschaft dem gegenwärtigen Stand der Erkenntnisse – auch zum Schutz des Bodens – Rechnung getragen. Im Kanton Schaffhausen sind keine umfassenden Daten zur Gefährdung des Bodens durch Pflanzenschutzmittel bekannt. Im Jahr 2007 führte jedoch der Kanton Basel-Landschaft auf 27 Landwirtschaftsböden eine Untersuchung mit Fokus auf aktuell verwendete und frühere Pflanzenschutzmittel durch. Aufgrund ähnlicher Bodenverhältnisse kann davon ausgegangen werden, dass die Situation im Kanton Schaffhausen ähnlich ist. Die Untersuchung ergab keine grossen Auffälligkeiten. Immerhin lassen sich Spuren der persistenten, heute verbotenen und nicht mehr eingesetzten Pestizide nachweisen. Es ist jedoch unklar, welche Bedeutung bezüglich Mensch und Umwelt diesem Befund zukommt.

7.3.12 Fragen der Zukunft: Nanopartikel, Mikroverunreinigungen

Es ist zu erwarten, dass die Zukunft neben neuen Lösungen auch neue Probleme mit sich bringen wird. Die Liste der Stoffe, die heute in den Gewässern gefunden werden, ist lang. Neben Pestiziden und Schwermetallen rücken Medikamente, hormonaktive Substanzen und Nanopartikel zunehmend in den Fokus der Forschung. Die Wirkung dieses gesamten «Cocktails» auf die Umwelt ist nur schlecht bekannt. Das im Jahr 2007 neu geschaffene Zentrum für Ökotoxikologie an der EAWAG wird sich mit genau diesen Fragen beschäftigen. Eine Zweigstelle dieses Zentrums befasst sich spezifisch mit dem Umweltsystem «Boden».

Sogenannt hormonaktive Substanzen wirken sich gemäss einer ganzen Reihe von Studien bereits in geringsten Konzentrationen negativ auf den Fortpflanzungserfolg einiger Fischarten und anderer Lebewesen aus. Unter anderem im Rahmen des Nationalen Forschungsprogrammes NFP 50 wurde

gezeigt, dass sich die negativen Auswirkungen über die Nahrungskette durchaus auch auf den Menschen erstrecken können. Die Schwierigkeit der Untersuchungen besteht darin, dass neben der bereits sehr langen Liste von eigentlichen Ausgangsstoffen auch deren Abbauprodukte berücksichtigt werden müssen. Es deutet zudem vieles darauf hin, dass die Wirkung der Einzelsubstanzen nicht isoliert betrachtet werden kann. Wenn mehrere Substanzen kombiniert werden, können völlig neue und offensichtlich auch verstärkende Effekte auftreten (synergistische oder antagonistische Wirkung). Oder es entstehen beim mikrobiellen Abbau im Boden Zwischenprodukte (= Metabolite), die noch giftiger als die Ausgangssubstanz sein können. Selbstverständlich treten diese Substanzen nicht nur in den Gewässern auf, sondern gelangen über die Bewässerung oder über die Luft auch in Böden. Hier liegen jedoch noch keine umfassenden Studien vor. Eine Konsequenz der vorliegenden Erkenntnisse ist das Verbot von Klärschlamm als Dünger.



76 Regenwürmer sind für den Boden zentral, dienen jedoch auch immer wieder als Indikatoren. Beispielsweise meiden Regenwürmer Böden, die mit Nanopartikeln angereichert sind.

Zur Zeit wächst die Anwendung von synthetisch hergestellten Nanomaterialien rasant. Die winzige Ausdehnung der Nanopartikel bringt physikalische und chemische Besonderheiten mit sich, die völlig neue technische Möglichkeiten erschliessen. Es stellt sich daher zunehmend die Frage, was mit diesen Partikeln geschieht, wenn sie in die Umwelt gelangen. Jedoch auch hier gilt: über die Ökotoxikologie von Nanopartikeln im Boden ist praktisch nichts bekannt, sie gerät jedoch zunehmend ins Visier der Forschung. Dass ein Effekt besteht, scheint unbestritten. So hat man beispielsweise nachgewiesen, dass Regenwürmer Boden mit künstlichen Nanopartikeln meiden (Strauch 2009; Abb. 76). Es gibt jedoch auch Bemühungen, die Nanotechnologie zur Sanierung beispielsweise von bleibelasteten Böden einzusetzen (Mobilisierung des Bleis durch Zugabe von Eisen-Nanopartikeln).

Der Schutz des Bodens ist daher ein Thema, dem es auch in Zukunft viel Beachtung zu schenken gilt!