

TV5 A 1: Toleranz von Nadelgehölzen gegenüber TNT und Hexogen sowie deren Metabolite – eine alternative Möglichkeit für die Nachnutzung von Rüstungsstandorten?

B. Schönmuth, C. Büttner

Humboldt-Universität zu Berlin, LGF, IGW, Fachgebiet Phytomedizin, D-14195 Berlin, berndschoenmuth@yahoo.de, carmen.buettner@agrar.hu-berlin.de

Die vorzustellenden Ergebnisse wurden im Rahmen des TV5-assozierten Projektes A1: "Dendrotoleranz gegenüber STV in Altlastböden und Langzeitschicksal von [¹⁴C]-Trinitrotoluol und [¹⁴C]-Hexogen in Nadelgehölzen" erarbeitet.



Hintergrund

9.997 km² = 2,8 % der Fläche Deutschlands nehmen Rüstungsaltsstandorte und gegenwärtig militärisch genutzte Rüstungs-Liegenschaften ein. 3240 Rüstungs-Altstandorte soll es in der Bundesrepublik geben.

Ein Teil der Rüstungs-Standorte ist mit STV belastet und viele STV-Vorkommen und STV-Verdachtsflächen sind bewaldet, vorrangig mit Nadelbäumen.

Es bietet sich daher an, das Potenzial von Bäumen zur natürlichen Verringerung der Boden-Kontamination mit STV zu untersuchen.

Während es für Laubbäume Hinweise für STV-Aufnahme und Metabolisierung aus der Literatur und eigenen Vorarbeiten gibt, liegen für Nadelgehölze kaum Ergebnisse vor. Insbesondere zur Hexogen-Aufnahme durch Nadelgehölze gab es bisher keinerlei Informationen.

Ziel

Duale Nutzung von Bäumen als Repositions- und als Remediationspflanzen

Vorgehensweise

Bei der Wiederbelebung forstlicher Nutzungsmöglichkeiten von Rüstungs-Altstandorten können wir (vereinfacht) zwei Fälle unterscheiden, für die hier jeweils ein Beispiel angeführt wird.

Auf der einen Seite liegt vor uns der Wunsch zur allmählichen Revitalisierung STV-kontaminierter, devastierter Flächen durch Neubepflanzung mit Gehölzen (Beispiel: ehemalige Brandplatzhalde bei Torgau/Elsnig) und auf der anderen Seite steht vor uns die Aufgabe der zukünftigen Artengestaltung und die Auslotung der Möglichkeiten einer Holzbewirtschaftung bereits bewaldeter STV-Flächen (Beispiel: ehemaliges Werk „Tanne“ bei Clausthal-Zellerfeld), mit dem Nebenziel der Erwirtschaftung von Mitteln zur technischen Sanierung von „hot spots“.

Für beide Varianten gilt die Bedingung: Die Bäume sollen gleichzeitig gut wachsen und zur STV-Minderung beitragen. Es soll also eine duale Nutzung von Bäumen als Repositions- und als Remediationspflanzen angestrebt werden.

Bei der Gehölzauswahl für Bepflanzungen und auch für die künftige Artengestaltung bereits etablierter Rüstungsaltlastwälder ist die Einschätzbarkeit der Schadstofftoleranz von Bäumen („Dendrotoleranz“) ein wesentlicher Entscheidungsfaktor.

Zu klärende Fragen

Für die duale Nutzung von vorhandenen oder anzupflanzenden Rüstungsaltstandort-Wäldern sind beispielsweise folgende Fragen von Bedeutung:

- Welche Bäume ertragen STV-Kontaminationen am Besten?
 - Welche (einfachen !) Dendrotoleranzparameter können genutzt werden?
 - Haben Nadelbäume eine höhere DendroToleranz als Laubgehölze?
 - Hat der Altlastboden einen Einfluss auf die Dendrotoleranz?
- Welche Bäume können zur Gestaltung von Rüstungs-Altlastwäldern empfohlen werden?
- Welche Akkumulationsorte für STV-Inkorporationen sind möglich?
 - Wurzeln? Holz? , Streuschichtbildende Nadeln?
- Gibt es toxikologische Risiken bei der Holznutzung von Rüstungsaltlastwäldern?

Eine wesentliche Frage ist auch:

- Was passiert nachhaltig mit inkorporierten „STV“ nach dem Absterben der Baumorgane?
 - In welche biochemische Fraktionen werden STV inkorporiert? In die nur schwer und langsam abbaubare Ligninfraktion, in die Cellulose- oder Hemicellulose-Fraktion?
 - Gibt es langfristig Risiken bei der Verrottung von Resten der Zweige, Nadeln und vor allem der Wurzeln?

Toleranz-Test-Methodik

Für die Toleranzbestimmungen wurde die Transpiration der Gehölze gemessen, da sie als physiologischer Leistungsparameter – ähnlich dem Wachstum - die Gesamt-Vitalität der Gesamtpflanze widerspiegelt.

Transpirationmessungen im Zeitbereich von Wochen sind nicht nur an Laubgehölzen und krautigen Pflanzen, sondern auch an Nadelgehölzen durchführbar.

Im Gegensatz zum Wachstum dessen kurzfristige Änderung bei Nadelgehölzen ja nur auf den engen Zeitbereich des Maitriebes begrenzt bleibt, lässt sich die Transpiration über das ganze Jahr hinweg messen.

Die zu testenden Schadstoffe werden im Abstand von etwa 3 Tagen jeweils frisch als bioverfügbar-wässrige Lösung über Glasfaserdochte appliziert.

Die Transpiration wird als Evapo-Transpiration gemessen und durch Abzug der Evaporation des Bodens berechnet. Die Transpirationsrate ist die Transpirationsgeschwindigkeit und kann als relative Transpirationsrate zur 100%-Kontrolle in Bezug gesetzt werden.

Ergebnisse und Diskussion

Schwache Toleranz von *Salix* EW13 (Weide)

Wollen wir die Toleranz von Nadelgehölzen mit der von Laubgehölzen vergleichen, brauchen wir natürlich erst einmal die Reaktion von Laubgehölzen.

Hier ein Beispiel:

Die Transpiration von Weiden (hier der Klon *Salix* EW13) wird schon nach 14 Tagen durch TNT konzentrationsabhängig gehemmt. Wenn auch in schwächerem Maße, so hemmen auch RDX und andere STV, wie ADNTs; DNTs; MNTs die Transpiration von Weiden.

Schwache Konzentrationen von RDX können nach unseren Ermittlungen bei Weiden (und auch bei krautigen Pflanzen) die Transpiration fördern.

Auch die Transpiration von anderen Laubgehölzen, wie Pappeln, Ahorn und Weißbuchen ließ sich durch STV hemmen.

Toleranz von Fichten gegenüber TNT

Im Gegensatz zu Laubgehölzen hat TNT trotz hoher kumulativer TNT-Zufuhr von bis zu 480 mg je kg Substrat kaum einen Effekt auf die Transpiration von Fichten. Auch andere STV, wie DNT, DNBA und MNTs und auch RDX zeigten keine Effekte.

Kein TNT-Einfluss auf die Biomasse bei Kiefern

Auch auf die Biomasse-Entwicklung bei Kiefern ist kein TNT-Einfluss festzustellen:

Trotz sehr hoher TNT-Zufuhren von bis zu 1 g TNT pro kg Bodentrockenmasse (bei einer Applikationskonzentration von 90 mg/l TNT) sind Einflüsse auf die Frischmassen- und Trockenmassenverteilung auch nach fast einem halben Jahr nicht zu ermitteln. Insbesondere Wurzelwachstumseinschränkungen, wie sie bei Laubhölzern und Kräutern durch TNT-Einfluss feststellbar sind, konnten nicht von der üblichen Streuung abgegrenzt werden.

Auch bei Fichten war kein Einfluss von TNT, 2,4-DNT, 2,4-DNBS, MNTs und RDX auf die Biomasse-Entwicklung zu finden.

STV-Schadsymptome an Laubgehölzen

Während wir unspezifische Schadbilder für TNT-verwandte Verbindungen finden, sind bei RDX sind die Schadsymptome spezifisch. Sie äußern sich an den Blättern in einem Vergilben und nachfolgendem Absterben der Interkostalfelder. Diese Schadeffekte beginnen an den Blatträndern und führen bei weiterer Ausprägung zu einer Abwärtskrümmung der äußeren Blattareale.

Junge Laubgehölzblätter könnten somit der Bio-Indikatoren für hochbelastete RDX-Flächen Verwendung dienen.

Keine Schadsymptome bei Fichten

Im Gegensatz zu Laubhölzern sind bei Kiefern und bei Fichten keinerlei Schadbilder erkennbar. Keine der bisher angeführten STV zeigte sichtbare Symptome, selbst dann nicht, wenn TNT und RDX in hoher Konzentration nahe der Wasserlöslichkeitsgrenze und aufeinanderfolgend appliziert wurden.

Sind Nadelhölzer Excluderpflanzen für STV?

Da wir bisher kaum Anzeichen für eine Schädigung von Nadelbäumen fanden, stellt sich die Frage, ob STV überhaupt in Nadelgehölze aufgenommen werden, oder ob sie in einer Art Stress-Vermeidung (stress avoidance) dem Bodenschadstoff aus dem Wege gehen können.

Morphologische Kompartimentierung der Aufnahme von TNT und RDX

Die morphologische Kompartimentierung, d.h. die Lokalisierung des „vorläufigen Verbleibes von ^{14}C -TNT und ^{14}C -RDX“ ist u.a. wichtig dafür, welche Gehölzorgane bei späteren Verrottungs-Untersuchungen hauptsächlich Verwendung finden werden.

Die Aufnahme-Versuche mit ^{14}C -markierten STV zeigen übereinstimmend bei Fichten und Kiefern, dass TNT vorwiegend in der Wurzel akkumuliert wird. Werte bis zu 300 mg TNT-Äquivalente je kg Trockenmasse sind beispielsweise in Kiefernurzeln möglich.

RDX hingegen wird weniger in Wurzeln festgehalten, sondern über den Transpirationsweg weiter aufwärts transportiert und vorwiegend in Nadeln akkumuliert. Bis zu 94 mg RDX-Äquivalente je kg Trockensubstanz waren in Kiefernadeln zu finden. Die jüngsten, diesjährigen Nadeln, die den höchsten Anteil an der Transpiration haben, zeigen auch die höchste RDX-Äquivalent-Konzentration.

Bei der Betrachtung der Massenverteilung (in μg -Äquivalenten von TNT und RDX) zeigt sich eindeutig das Abreicherungsvermögen von Kiefern und Fichten. Der gehölzbepflanzte Sand zeigt deutlich geringere Massen an TNT und RDX als der unbepflanzte Sand.

Vergleich der Festlegung von RDX und TNT

Wir sind im Augenblick dabei, den Grad der Festlegung von TNT und RDX in Wurzeln von Fichten und Kiefern festzustellen. Erste Ergebnisse an Wurzeln zeigen:

RDX-Äquivalente zeigen eine schwache Festlegung in Wurzeln von Fichten und Kiefern.

Weil dadurch ein leichter Aufwärtstransport zu Holz und Nadeln möglich ist, ergeben sich Risiken bei der Holznutzung und durch abfallende Nadeln sind Streuschichtanreicherungen von RDX und/oder seinen Metaboliten möglich.

TNT-Äquivalente sind dagegen zu ca. 90% in der Wurzel festgelegt. Ein Aufwärtstransport über den Transpirationsstrom ins Holz und in die Nadeln ist somit kaum mehr effektiv.

Vergleich der Metabolisierung von RDX und TNT

Bisher liegen nur Untersuchungsergebnisse an **Wurzeln** von Fichten und Kiefern vor.

Bei der Untersuchung des noch extrahierbaren Anteils zeigt sich übereinstimmend bei beiden Nadelgehölzen:

RDX liegt nach seiner Aufnahme im Wurzelgewebe fast ausschließlich weiterhin als RDX vor. Dies erklärt, neben der geringen Festlegung des RDX, auch den guten Aufwärtstransport zu Holz und Nadeln.

Der nach der 90%igen Festlegung noch extrahierbare Anteil an **TNT**-Äquivalenten dagegen ist vollständig metabolisiert. Extrahierbares „TNT“ ist weder TNT noch ADNT oder DANT. Lediglich sehr polare Metabolite sind im TLC-Radiochromatogramm aufzufinden.

Notwendigkeit weiterführender Untersuchungen

Die Natur der TNT-Festlegung im Wurzelgewebe und das Langzeitverhalten der TNT-Abkömmlinge, die in Wurzeln inkorporiert sind muss in späteren Untersuchungen abgeklärt werden. Was passiert z.B. bei der Simulation des natürlichen Rotteprozesses? Beispielsweise sind lignolytische Weißfäulepilze, die die Zerstörung des Wurzelholzes bewirken, auch dafür bekannt, dass sie auch TNT und andere STV abbauen können.

Zusammenfassung

Zusammenfassend lässt sich sagen:

- Im Vergleich mit Laubgehölzen und krautigen Pflanzen sind Nadelgehölze (Fichte, Kiefer) toleranter gegenüber TNT, RDX und anderen STV.
- Fichten und Kiefern können erhebliche Mengen an ¹⁴C-TNT und ¹⁴C-RDX aus der Bodenlösung extrahieren und TNT- bzw. RDX-bürtige Radioaktivität akkumulieren.
- TNT-Abkömmlinge werden hauptsächlich in der Wurzel akkumuliert und dort zu ca. 90 % nichtextrahierbar festgelegt. RDX wird dagegen bevorzugt oberirdisch im Holz und vor allem in Nadeln akkumuliert.
- Risiken bei der Holznutzung ergeben sich vor allem auf RDX-Standorten durch die Gefahr der Holz- und Streuschichtakkumulation

(Vorläufige) Empfehlungen für den KORA-Leitfaden:

- Empfehlungen zur Artengestaltung müssen standortspezifisch erfolgen. Sie müssen Boden- und Klimafaktoren sowie den vorhandenen Pflanzenbestand berücksichtigen.
- Nadelgehölze sind für die künftige Artengestaltung von Rüstungs-Altstandorten wegen ihrer STV-Toleranz und wegen ihrer „Wintertranspiration“ (Transpiration plus Kronenrückhalt) zu bevorzugen und auch wegen ihrer STV-Akkumulations- und STV-Metabolisierungsfähigkeit zur Bepflanzung geeignet.
- Nadelwälder auf STV-Standorten sind grundsätzlich zu erhalten. Zur Erhöhung der Artenvielfalt sind Einpflanzungen von ca. 20 % Laubhölzern sinnvoll.

Dieses Projekt wird im Rahmen des Förderschwerpunktes "KORA" vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert, Förderkennzeichen: 0330704.

Ein Großteil der praktischen Arbeiten wurde und wird an der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft (BBA) durchgeführt. Mein Dank an dieser Stelle für die Bereitstellung der Arbeitsmöglichkeiten und die enge Zusammenarbeit an die Leitung des Institutes für Ökotoxikologie und Ökochemie, insbesondere an Prof. Wilfried Pestemer und dessen Nachfolger Dr. Detlef Schenke.

Ganz besonderer und herzlicher Dank ist auszusprechen an Frau Tanja Scharnhorst für ihre Unermüdlichkeit bei den experimentellen Arbeiten und ihre vielen wochenendlichen und feiertäglichen Versuchsbetreuungen.

Bis auf das titelseitige Waldbild für Herrn Uwe Wittmann wurde auf Abbildungen konsequent verzichtet, da diese einerseits den Tagungsband-Redakteuren nach bisherigen Erfahrungen große Probleme bei der Drucklegung bereiten können und andererseits die Vorträge ohnehin als pdf-Folien ins Web gestellt werden.

Wer sich nicht durch die Menüs von www.natural-attenuation.de hangeln möchte, findet selbsterklärende Vortragsbilder und themenbegleitende Poster leicht unter www.dendroremediation.de/KORA