B. Schönmuth, T. Scharnhorst, S. Entenmann, W. Pestemer, C. Büttner

„Rückhaltpotenzial und Langzeitschicksal von TNT in Nadelbäumen“

TV5-assoziiertes Projekt A1: „Dendrotoleranz gegenüber STV in Altlastböden und Langzeitschicksal von [^{14}C]-Trinitrotoluol und [^{14}C]-Hexogen in Nadelgehölzen.“

Humboldt-Universität zu Berlin (HUB)
Fachgebiet Phytomedizin

Julius Kühn-Institut,
Bundesforschungsinstitut für
Kulturpflanzen

Ausgangssituation und Ziel

9.997 km² = 2,8 % der Fläche Deutschlands nehmen Rü-Altstandorte und gegenwärtig militärisch genutzte Liegenschaften ein.

3240 Rüstungs-Altstandorte in der Bundesrepublik (UBA 1995)

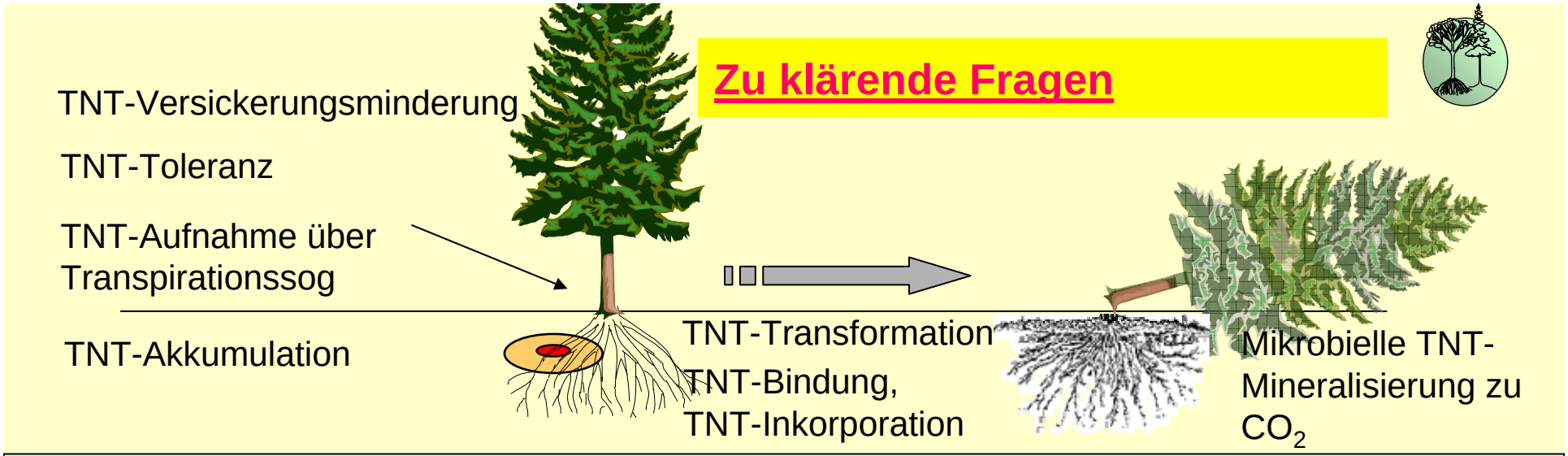
Ein Teil der Rüstungs-Standorte ist mit STV (TNT) belastet.

Viele STV-Vorkommen und STV-Verdachtsflächen sind großflächig bewaldet, vorrangig mit Nadelbäumen.

Es bietet sich an, das Potenzial von Nadelbäumen zur natürlichen Verringerung der Boden- und Grundwasser-Kontamination mit TNT zu untersuchen.

Während es für Laubbäume knappe Hinweise für STV-Aufnahme und Metabolisierung gibt, liegen für Nadelgehölze kaum Ergebnisse vor.

Ziel: Erkundung des TNT-Rückhaltpotenzials und der Holznutzungsmöglichkeiten von Rüstungs-Nadelwädern
→ Nutzungsempfehlungen



Fragen bei der dualen Nutzung von Rüstungs-Altstandort-Wäldern

 # Welche Bäume bewirken den größten Niederschlags-Rückhalt?

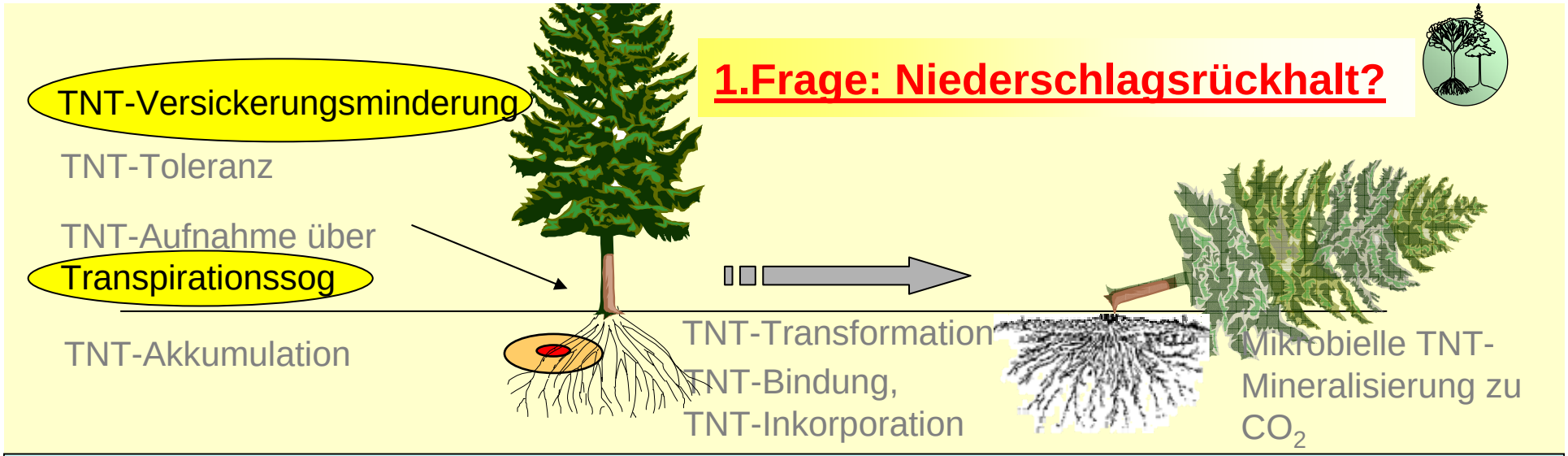
 # Welche Bäume ertragen STV-Kontaminationen am Besten?
- Haben Nadelbäume eine höhere TNT-Toleranz als Laubgehölze?

 # Welche Bäume können zur Gestaltung von Rü-Altstandortwäldern empfohlen werden?

 # Welche Akkumulationsorte für TNT-Inkorporationen sind möglich?
Wurzeln ?, Holz ?, Nadeln → Streuschicht ?

 # Gibt es toxikologische Risiken bei der Holznutzung von Rü-Altlastwäldern?

 # Was passiert nachhaltig mit inkorporiertem „TNT“ nach dem Absterben der Baumorgane?
- In welche biochemische Fraktionen werden STV inkorporiert?
- Kann TNT bei der Verrottung von Nadeln, Holz und Wurzeln indirekt mineralisiert werden?



Fragen bei der dualen Nutzung von Rüstungs-Altstandort-Wäldern

 # Welche Bäume bewirken den größten Niederschlags-Rückhalt ?

 # Welche Bäume ertragen STV-Kontaminationen am Besten ?
- Haben Nadelbäume eine höhere DendroToleranz als Laubgehölze ?

 # Welche Bäume können zur Gestaltung von Rü-Altstandortwäldern empfohlen werden ?

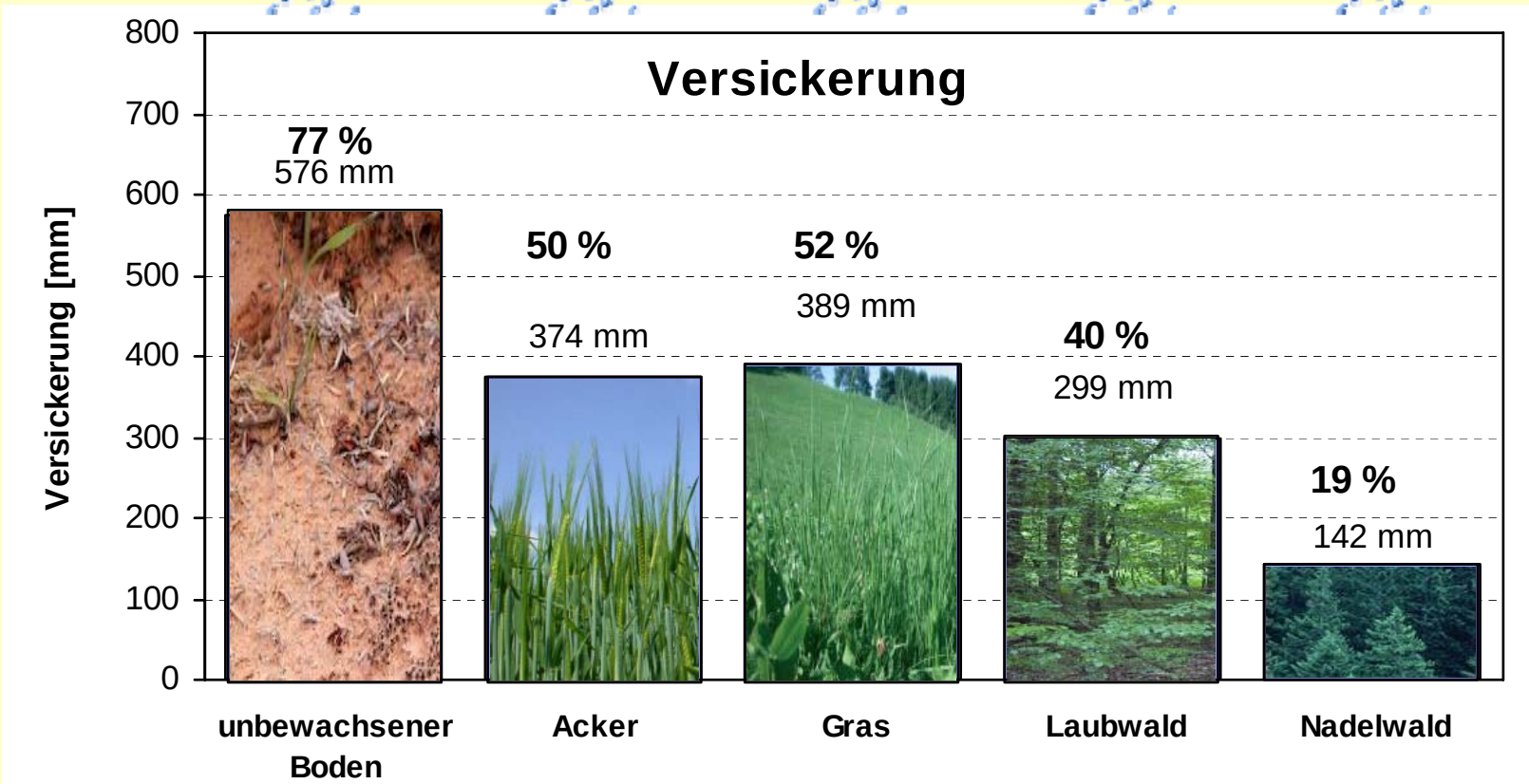
 # Welche Akkumulationsorte für STV-Inkorporationen sind möglich ?
Wurzeln ?, Holz ?, Nadeln → Streuschicht ?

 # Gibt es toxikologische Risiken bei der Holznutzung von Rü-Altlastwäldern ?

 # Was passiert nachhaltig mit inkorporierten „STV“ nach dem Absterben der Baumorgane ?
- In welche biochemische Fraktionen werden STV inkorporiert ?
- Kann TNT bei der Verrottung von Nadeln, Holz und Wurzeln indirekt mineralisiert werden ?

Indirekter Rückhalt von STV durch Nadelbäume

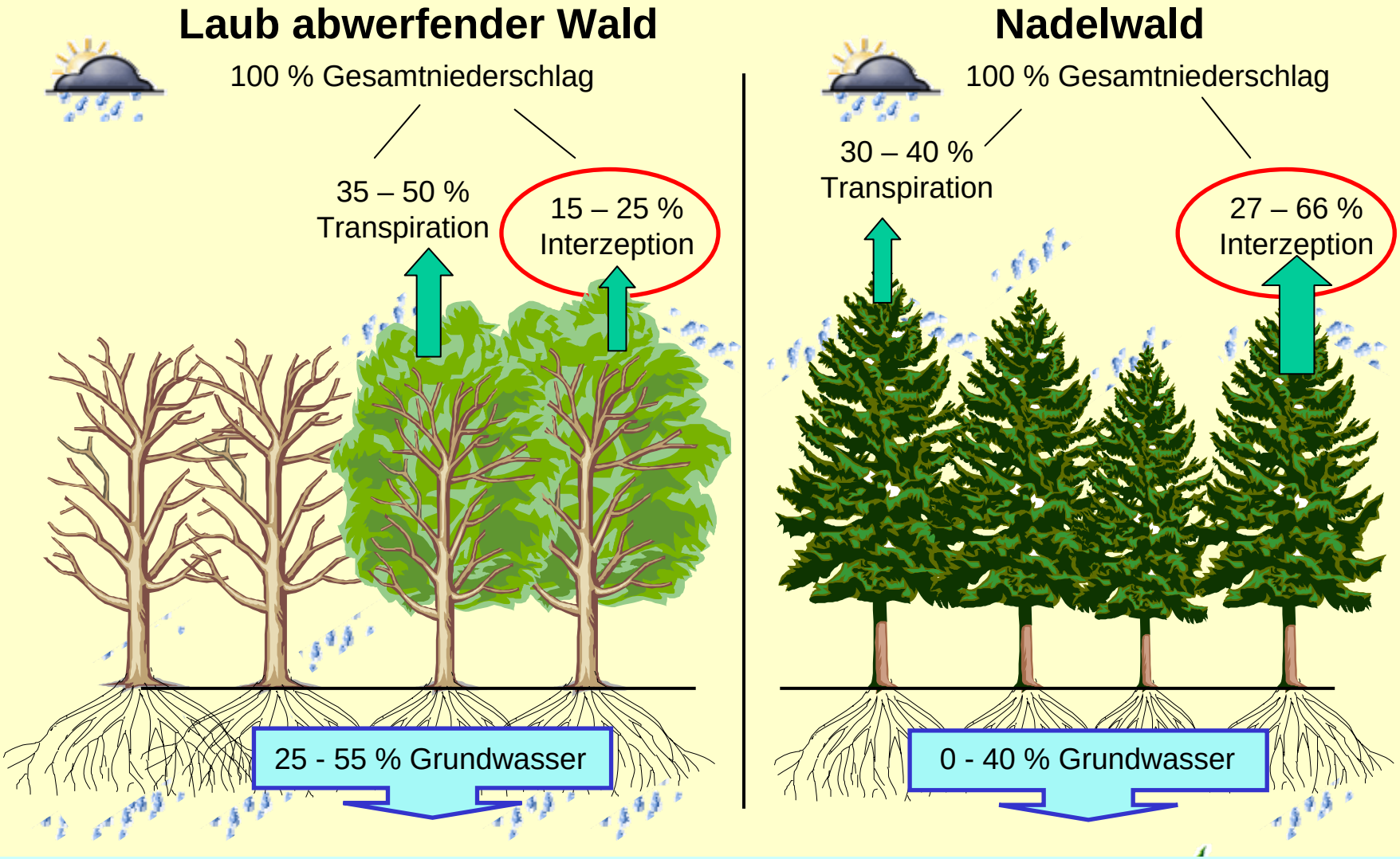
Versickerungsminderung im Jahreslauf unter Nadelwald am Höchsten



Einfluss der Vegetation auf die Sickerwasserhöhe bei **748 mm Jahresniederschlag** (nach Proksch 1990)

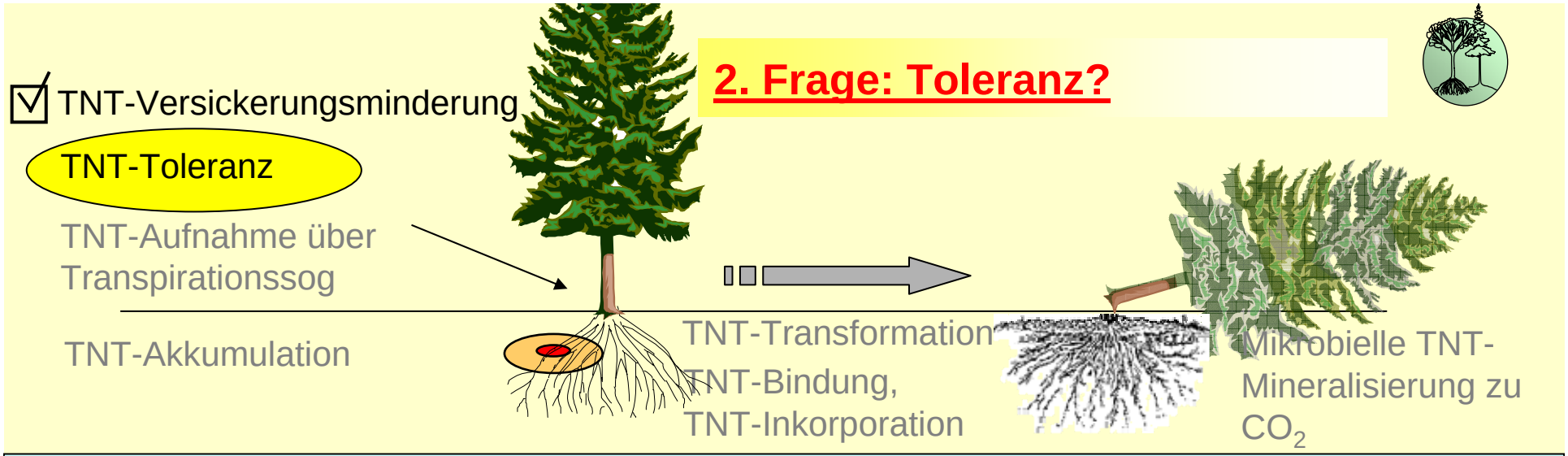
Indirekter STV-Rückhalt durch Versickerungsminderung

Evapotranspiration, Interzeption und Absickerung in Laub- bzw. Nadelwald



Vergleich der hydrologischen Bilanz von Laub und Nadelwald (nach Schulze 1982). Nadelwald ist trockener als Laubwald, wegen der stärkeren Verdunstung von den nassen Oberflächen. Dies ist abhängig vom Blattflächenindex.

Schulze, E.-D., 1982. Plant life forms and their carbon, water and nutrient relations. Encycl. Plant Physiol., New Ser. 12B: 615-676.



Fragen bei der dualen Nutzung von Rüstungs-Altstandort-Wäldern

 # Welche Bäume bewirken den größten Niederschlags-Rückhalt ?

 # Welche Bäume ertragen STV-Kontaminationen am Besten ?
- Haben Nadelbäume eine höhere DendroToleranz als Laubgehölze ?

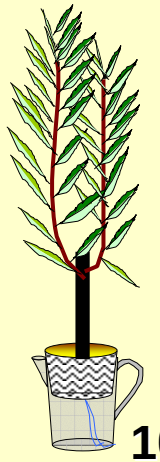
 # Welche Bäume können zur Gestaltung von Rü-Altstandortwäldern empfohlen werden ?

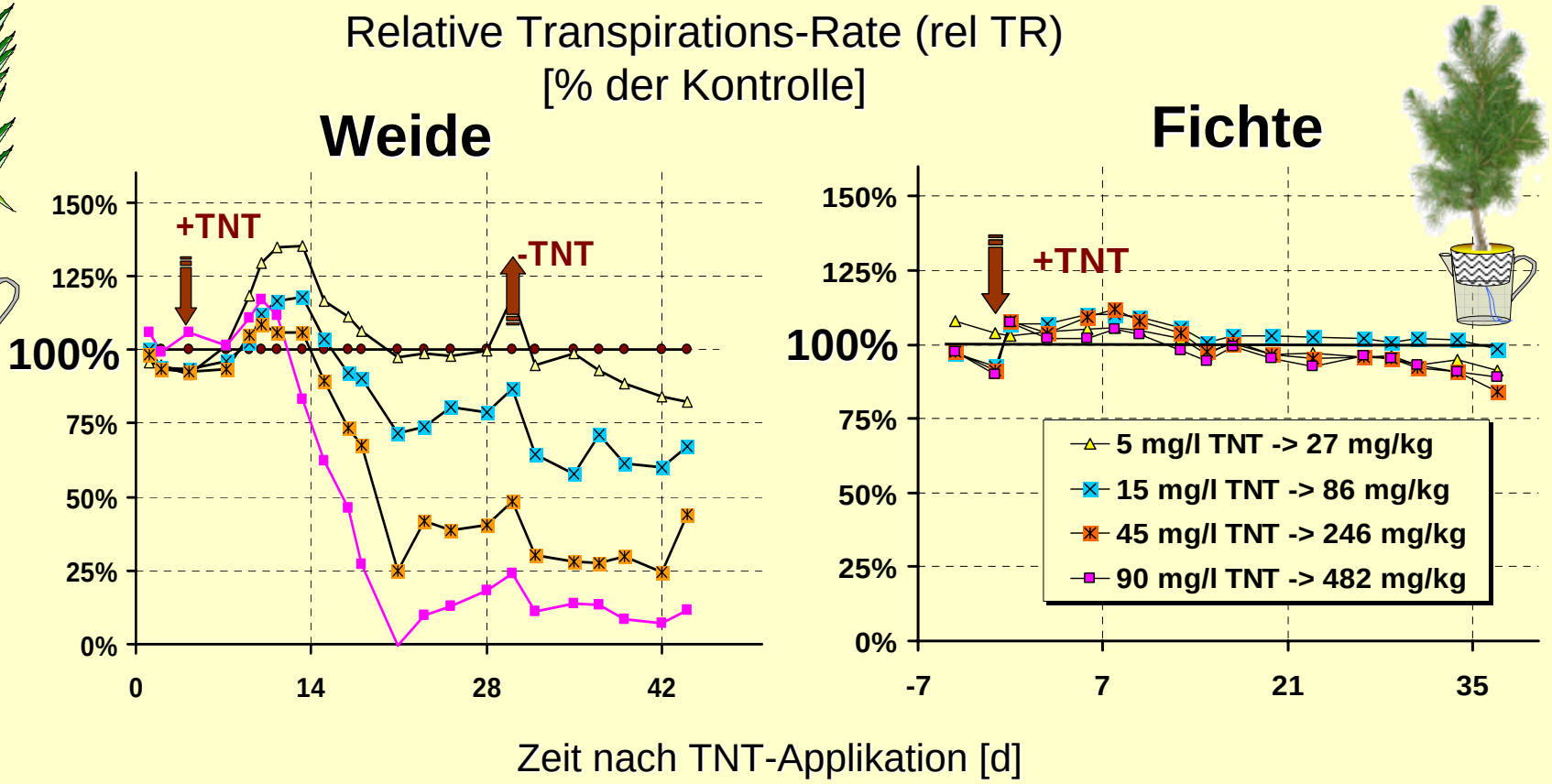
 # Welche Akkumulationsorte für STV-Inkorporationen sind möglich ?
Wurzeln ?, Holz ?, Nadeln → Streuschicht ?

 # Gibt es toxikologische Risiken bei der Holznutzung von Rü-Altlastwäldern ?

 # Was passiert nachhaltig mit inkorporierten „STV“ nach dem Absterben der Baumorgane ?
- In welche biochemische Fraktionen werden STV inkorporiert ?
- Kann TNT bei der Verrottung von Nadeln, Holz und Wurzeln indirekt mineralisiert werden ?

Nadelgehölze sind TNT-toleranter als Laubbäume

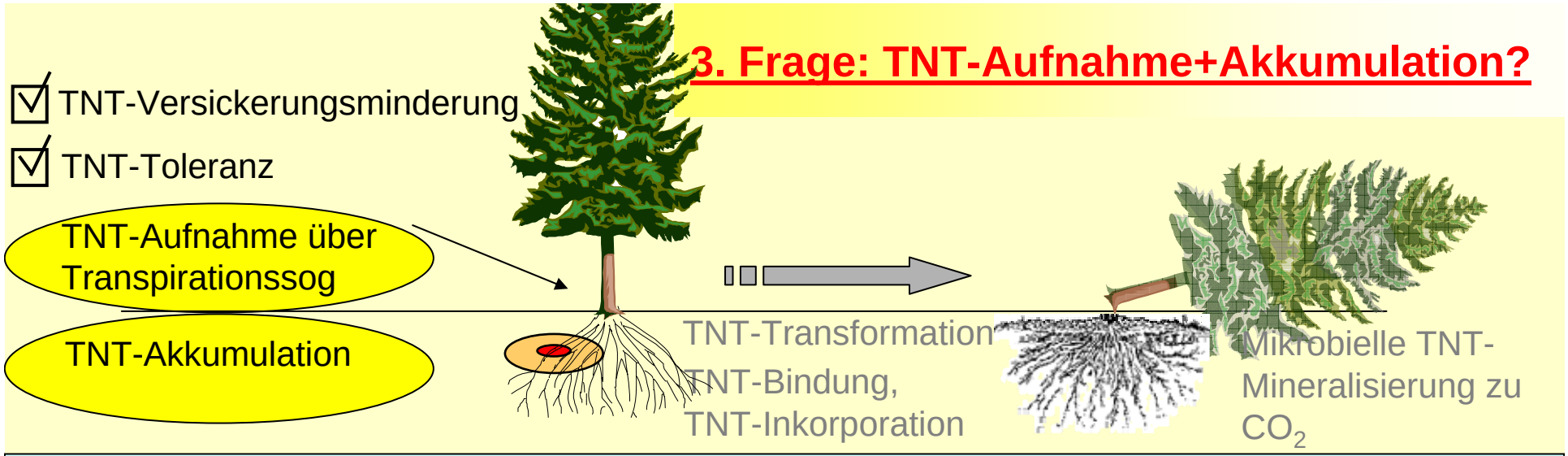




Die Transpiration von Weiden wird konzentrationsabhängig durch TNT gehemmt.

Auf die Transpiration von Fichten hat TNT kaum einen Effekt.

3. Frage: TNT-Aufnahme+Akkumulation?



Fragen bei der dualen Nutzung von Rüstungs-Altstandort-Wäldern

 # Welche Bäume bewirken den größten Niederschlags-Rückhalt ?

 # Welche Bäume ertragen STV-Kontaminationen am Besten ?
- Haben Nadelbäume eine höhere DendroToleranz als Laubgehölze ?

 # Welche Bäume können zur Gestaltung von Rü-Altstandortwäldern empfohlen werden ?

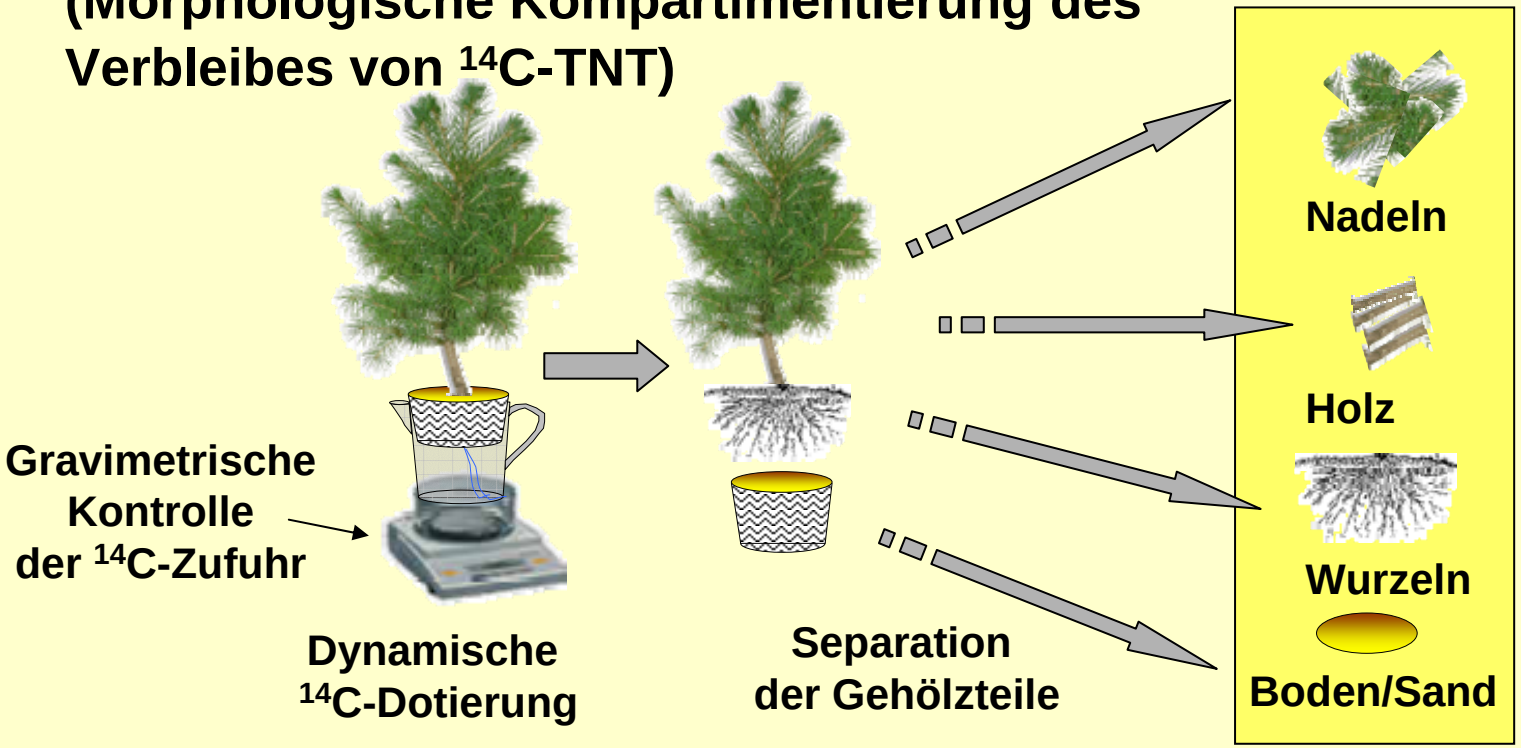
 # Welche Akkumulationsorte für STV-Inkorporationen sind möglich ?
Wurzeln ?, Holz ?, Nadeln ? → Streuschicht ?

 # Gibt es toxikologische Risiken bei der Holznutzung von Rü-Altlastwäldern ?

 # Was passiert nachhaltig mit inkorporierten „STV“ nach dem Absterben der Baumorgane ?
- In welche biochemische Fraktionen werden STV inkorporiert ?
- Kann TNT bei der Verrottung von Nadeln, Holz und Wurzeln indirekt mineralisiert werden ?

Lokalisierung des STV-Rückhalts im Baum

(Morphologische Kompartimentierung des Verbleibes von ^{14}C-TNT)

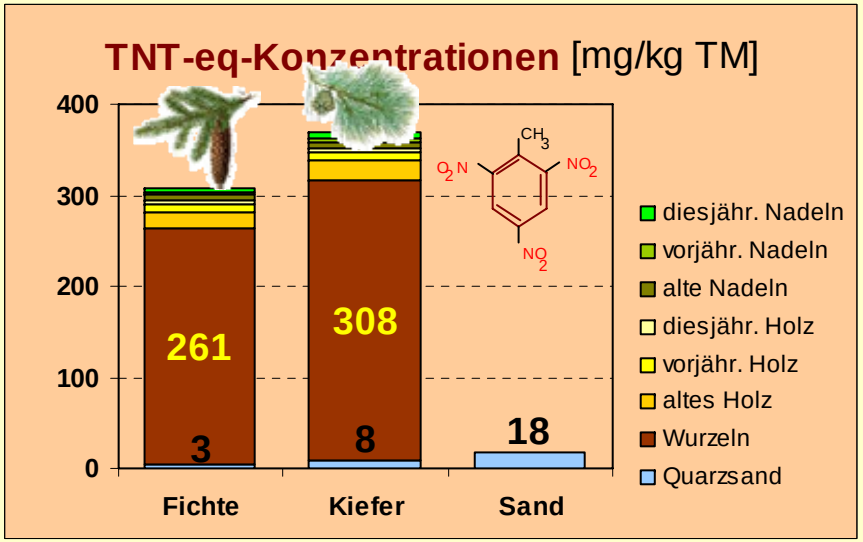


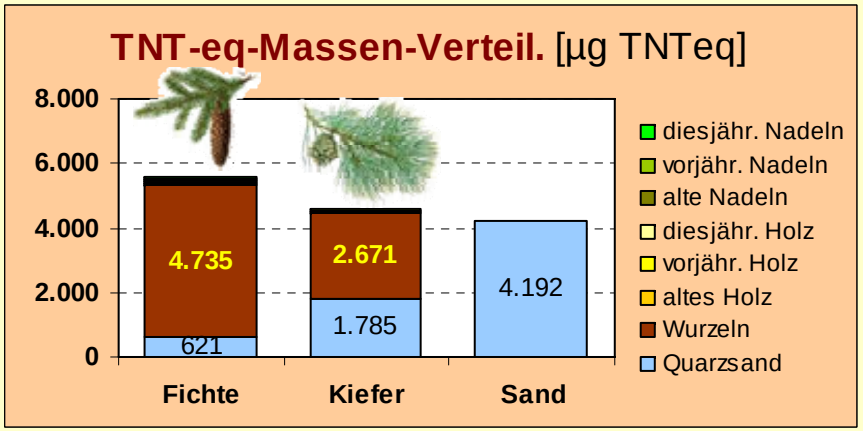
Impuls-Applikation von 14C-markiertem TNT über Dochtgefäße

3-jährige Fichten
2-jährige Kiefern

→ TNT (45 mg/l) → 35 Tage Nachwirkzeit

TNT-Rückhalt im Baum (Vorläufiger ^{14}C-TNT-Verbleib 1)



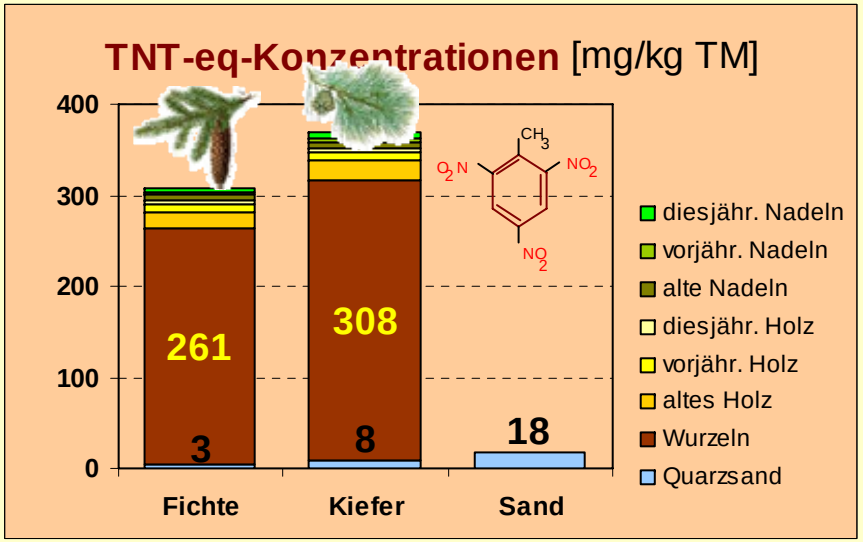


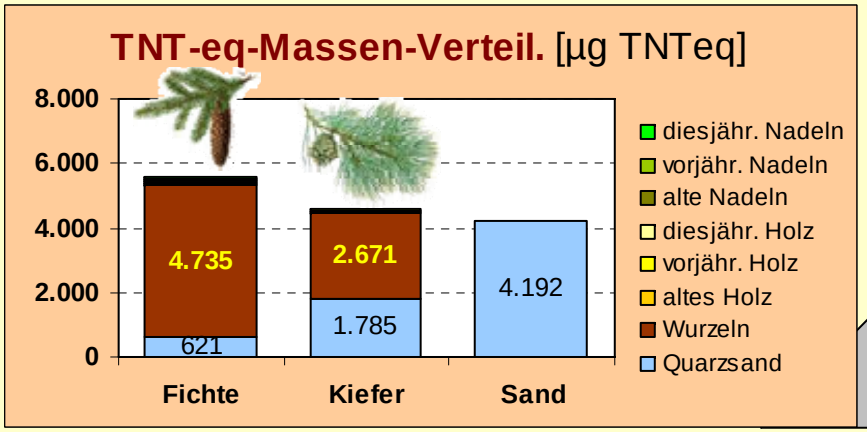
TNT wird vorwiegend in der Wurzel akkumuliert/ transformiert und dort zurückgehalten

Konzentrationen von bis zu 300 mg TNTeq je kg TM sind z.B. in Kiefern-Wurzeln möglich

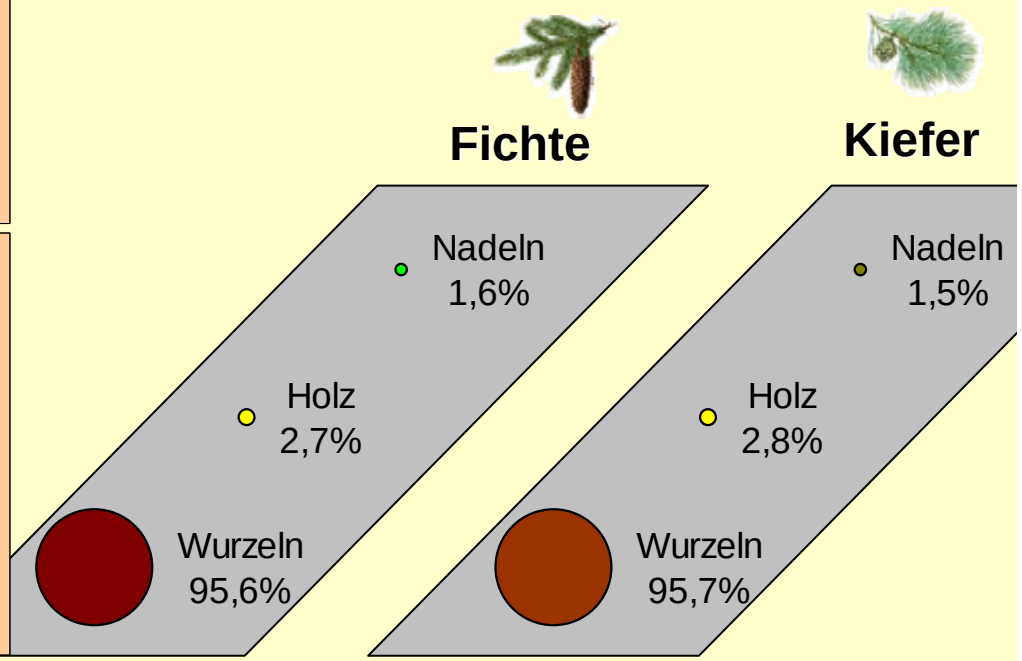
Nadelgehölze können TNT-haltige Böden deutlich **abreichern**

TNT-Rückhalt im Baum (Vorläufiger ^{14}C-TNT-Verbleib 2)





Prozent. Massen-Verteilung

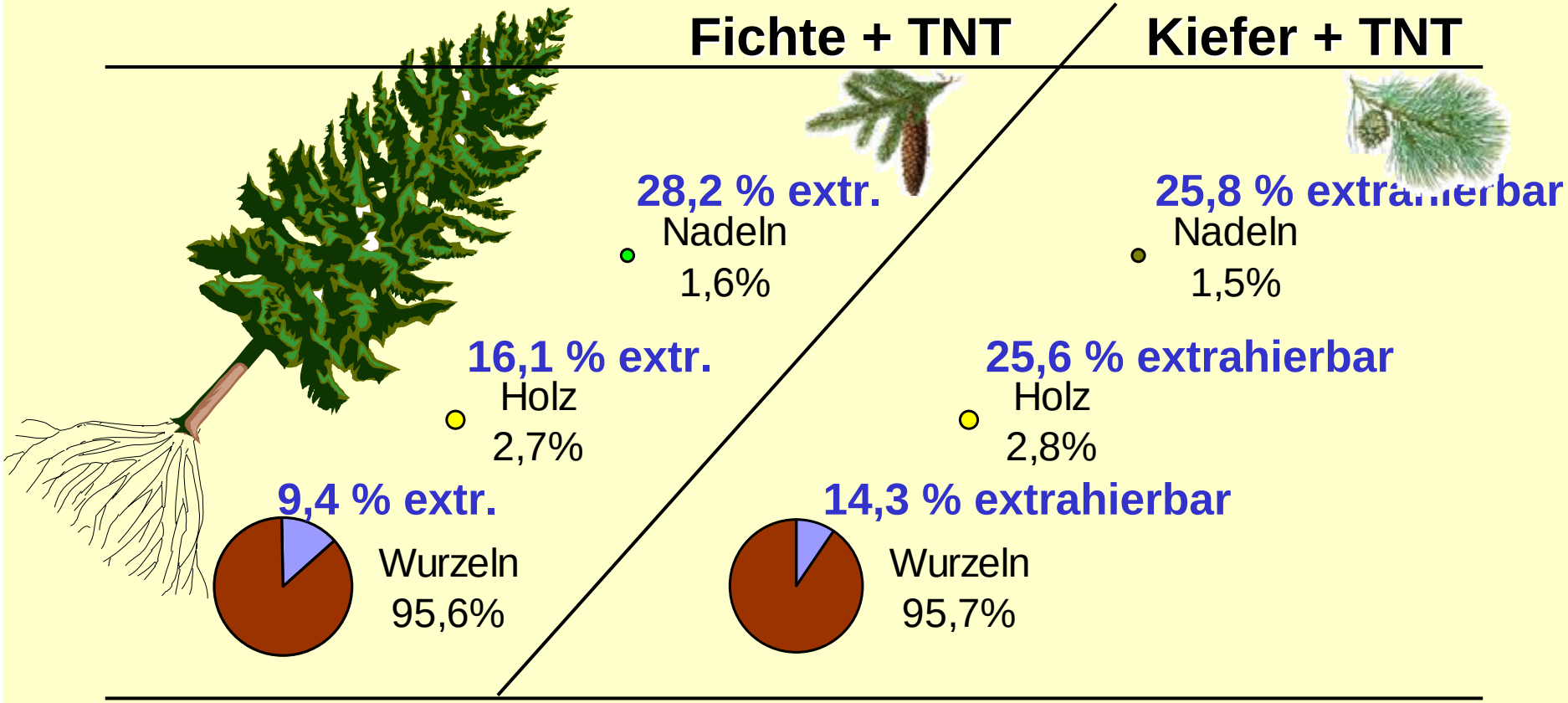


TNT wird vorwiegend in der Wurzel akkumuliert/ transformiert und dort zurückgehalten

Konzentrationen von bis zu 300 mg TNTeq je kg TM sind z.B. in Kiefern-Wurzeln möglich

Nadelgehölze können TNT-haltige Böden deutlich **abreichern**

TNTeq-Massen-Verteilung + Festlegung von TNTeq



TNT wird zu 85-90 % in der Wurzel festgelegt und somit zurückgehalten.

Die Extrahierbarkeit nimmt zwar zu Holz und Nadeln hin zu, hat aber wegen der Massenverteilung kaum mehr Bedeutung.

→ Durch starke Wurzelfestlegung wenig Aufwärtstransport in Holz u. Nadeln möglich

„TNT“-Rückhalt in der Wurzel

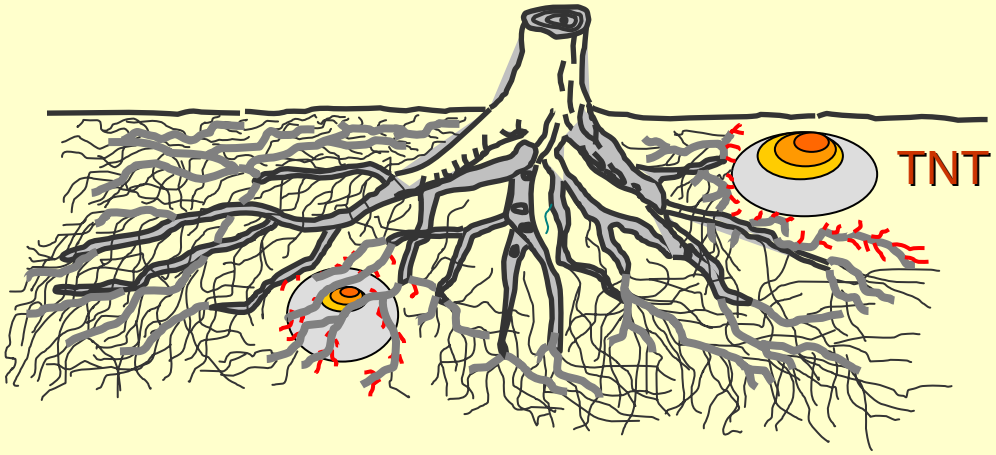
„TNT“-Rückhalt erfolgt vorwiegend in Wurzel

Wo genau erfolgt der Wurzelrückhalt nach der TNT-Aufnahme und -Transformation?

In den Grobwurzeln?

In den mittleren Wurzeln?

In den Feinwurzeln?



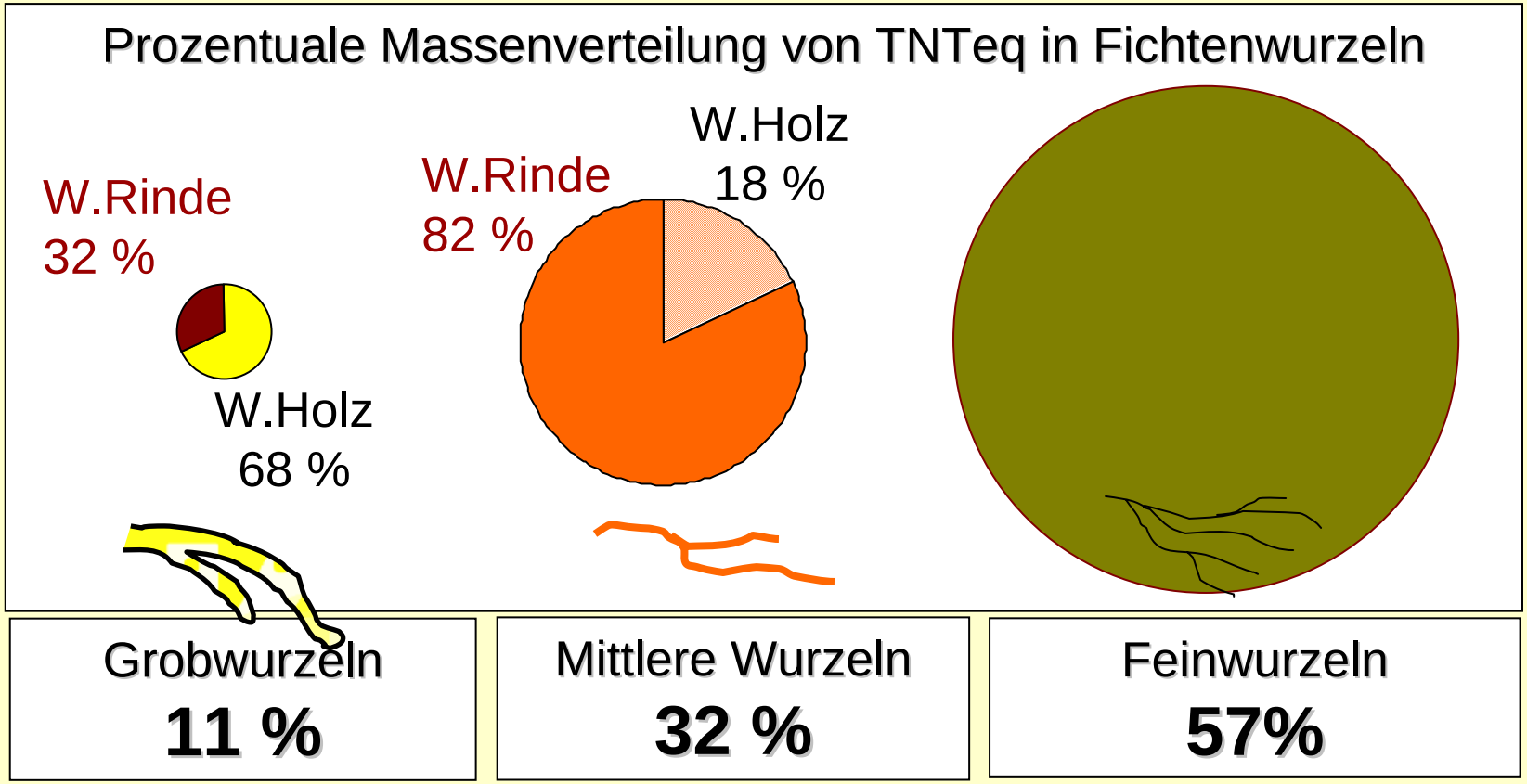
In der Wurzelrinde?

Im Wurzelholzteil (Zentralzylinder)?

Da Nadelhölzer gemeinhin sehr langsam verrotten, ist die Wurzellokalisations-Frage wichtig für die Einschätzung der **Verrottungsgeschwindigkeit**

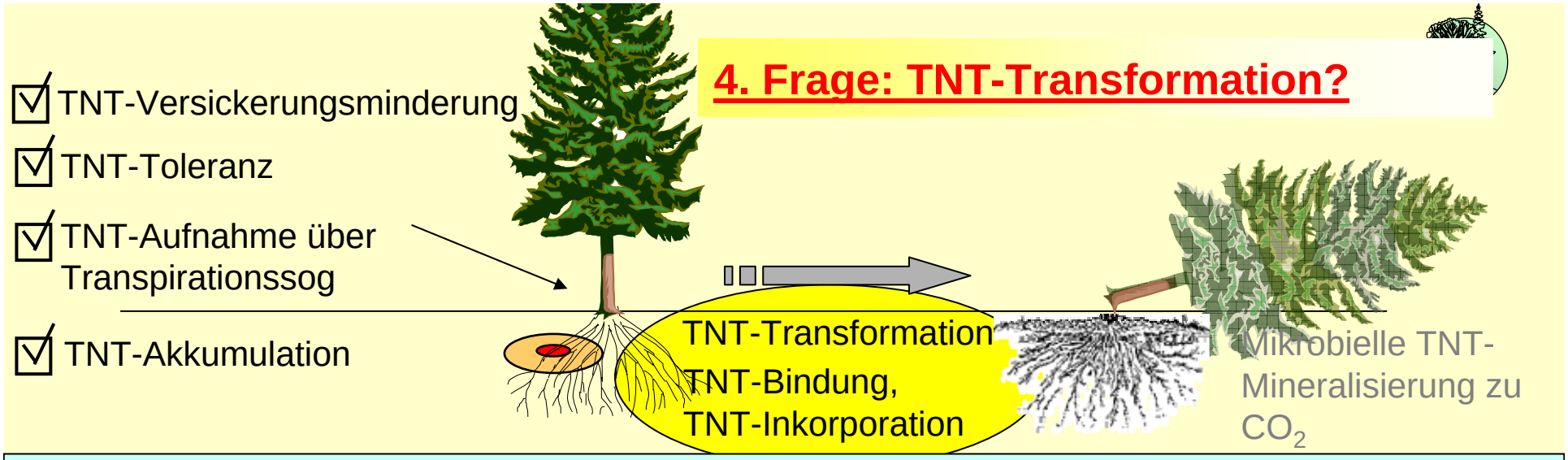
und für die Frage, ob die **Wurzelstubben** als Dekontaminationsmaßnahme gerodet werden könnten oder müssten.

TNTeq – Fein-Lokalisierung in Fichten-Wurzeln



Grobwurzeln	Mittlere Wurzeln	Feinwurzeln
11 %	**32 %**	**57%**

86 % der TNT-Transformanten sind an/in den Feinwurzeln und an der Oberfläche von Grob- und Mittelwurzeln zu finden. Nur **14 %** sind im Wurzelholz lokalisierbar (**8 %** im Grobwurzelholz).
Es macht also wenig Sinn, die Wurzelstubben zu roden, um eine Kontaminationsminderung zu erreichen.



Fragen bei der dualen Nutzung von Rüstungs-Altstandort-Wäldern

 # Welche Bäume bewirken den größten Niederschlags-Rückhalt ?

 # Welche Bäume ertragen STV-Kontaminationen am Besten ?
- Haben Nadelbäume eine höhere DendroToleranz als Laubgehölze ?

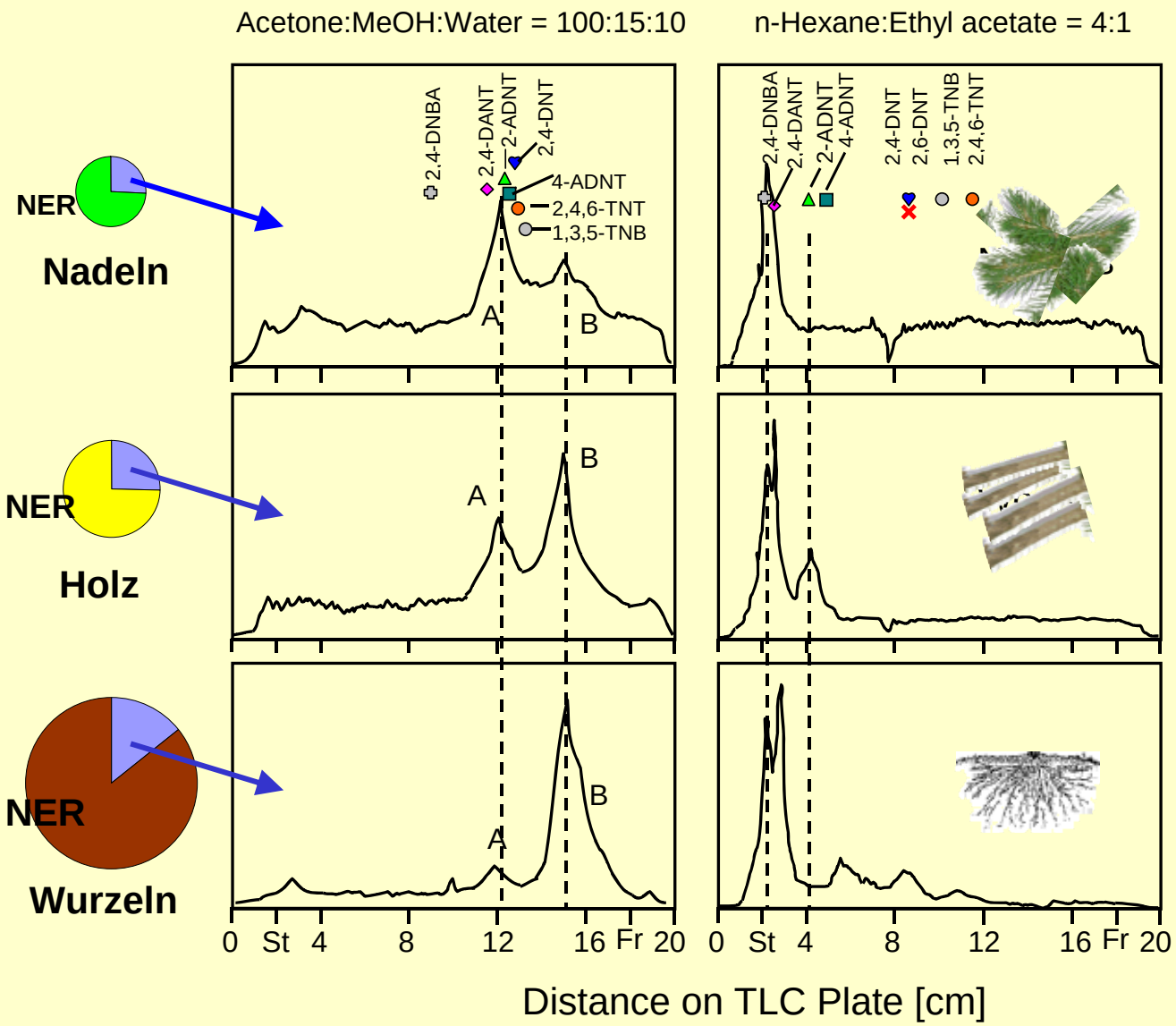
 # Welche Bäume können zur Gestaltung von Rü-Altstandortwäldern empfohlen werden ?

 # Welche Akkumulationsorte für STV-Inkorporationen sind möglich ?
Wurzeln ?, Holz ?, Nadeln → Streuschicht ?

 # Gibt es toxikologische Risiken bei der Holznutzung von Rü-Altlastwäldern ?

 # Was passiert nachhaltig mit inkorporierten „STV“ nach dem Absterben der Baumorgane ?
- In welche biochemische Fraktionen werden STV inkorporiert ?
- Kann TNT bei der Verrottung von Nadeln, Holz und Wurzeln indirekt mineralisiert werden ?

Methanolische ^{14}C-TNT-Kiefern-Extrakte



TNT ist transformiert

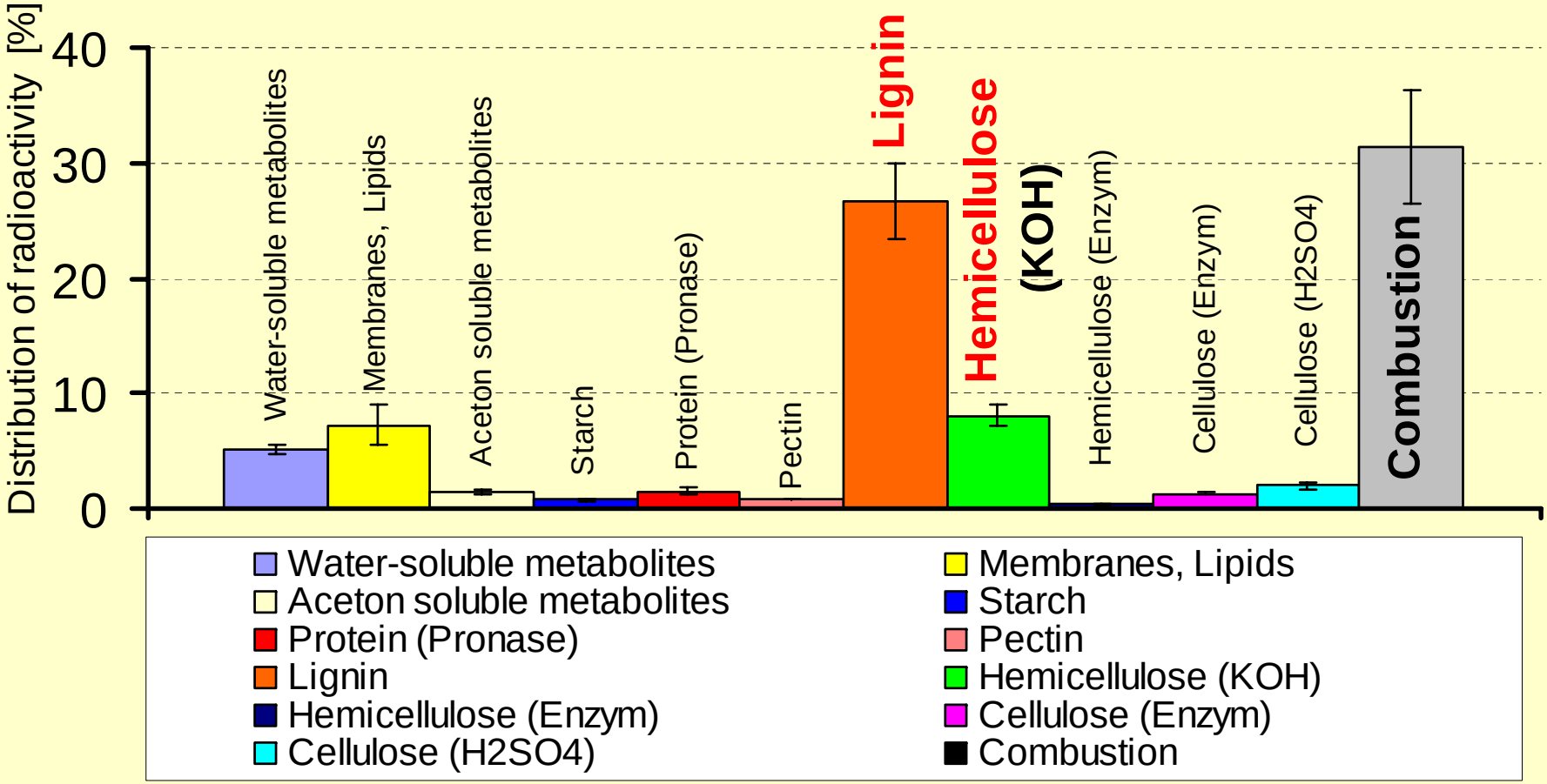
Folgende Transformanten können ausgeschlossen werden:

- 2,4-DNBS
- 2,4-DANT
- 2-ADNT
- 4-ADNT
- 2,4-DNT
- 2,6-DNT
- 1,3,5-TNB
- 2,4,6-TNT

Metabolitenidentifikation mittels 15N-TNT notwendig (*Dr. Steinbach, Marburg*)

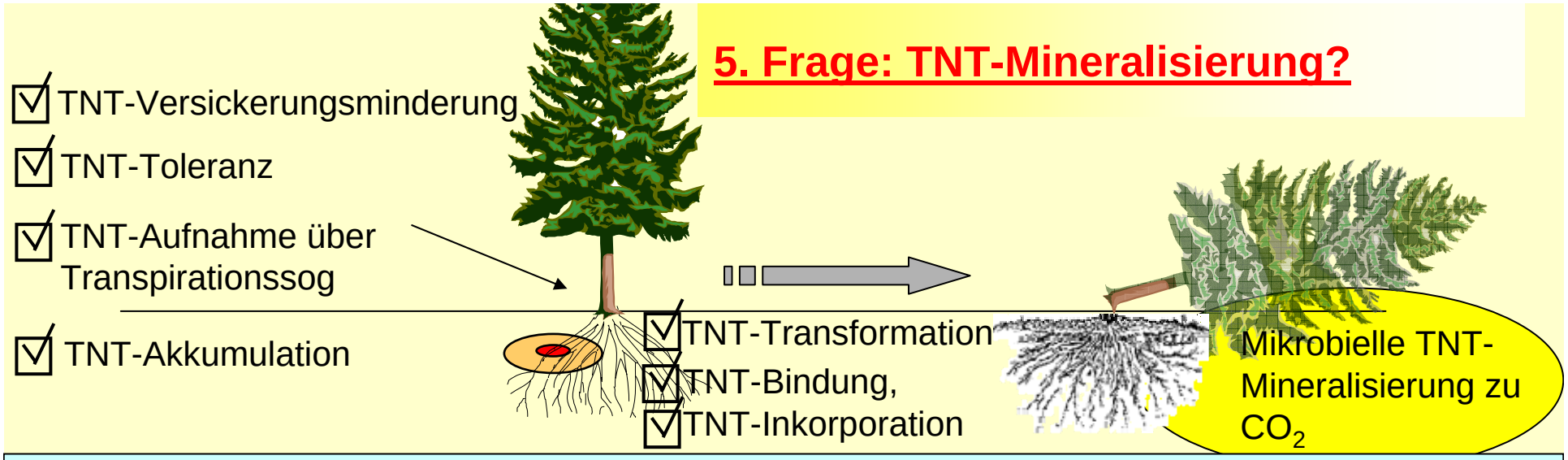
Biochem. Fein-Fraktionierung des ^{14}C-TNT-Rückhaltes

Beispiel:Feinwurzeln von Fichten



Die gebundene, TNT-bürtige Radioaktivität ist hauptsächlich in der Lignin-Fraktion und der Hemicellulosefraktion anzutreffen.

5. Frage: TNT-Mineralisierung?



Fragen bei der dualen Nutzung von Rüstungs-Altstandort-Wäldern

 # Welche Bäume bewirken den größten Niederschlags-Rückhalt ?

 # Welche Bäume ertragen STV-Kontaminationen am Besten ?
- Haben Nadelbäume eine höhere DendroToleranz als Laubgehölze ?

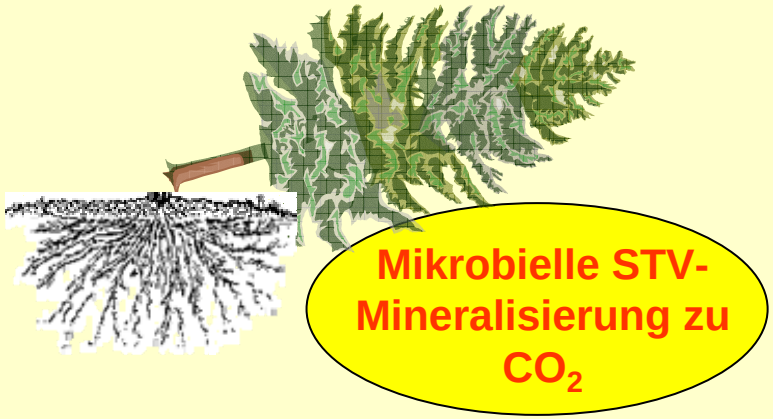
 # Welche Bäume können zur Gestaltung von Rü-Altstandortwäldern empfohlen werden ?

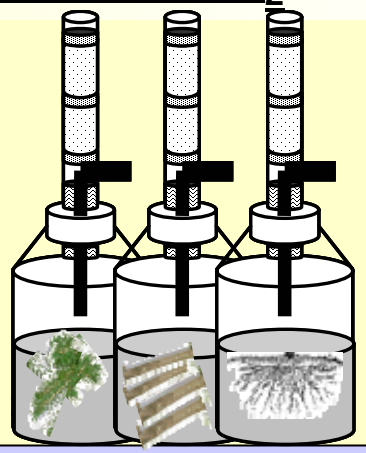
 # Welche Akkumulationsorte für STV-Inkorporationen sind möglich ?
Wurzeln ?, Holz ?, Nadeln → Streuschicht ?

 # Gibt es toxikologische Risiken bei der Holznutzung von Rü-Altlastwäldern ?

 # Was passiert nachhaltig mit inkorporierten „STV“ nach dem Absterben der Baumorgane ?
- In welche biochemische Fraktionen werden STV inkorporiert ?
- Kann TNT bei der Verrottung von Nadeln, Holz und Wurzeln **indirekt** mineralisiert werden ?

Verrottung der Baumteile → TNT-Mineralisierung zu CO_2





Verrottungexperimente

Mit Pilzen

- ★ *Phanerochaete chrysosporium*
- *Trametes versicolor*
- ★ Kultiviert auf vorgerottetem Wurzelmaterial

TNT-Wurzeln (Fichte)

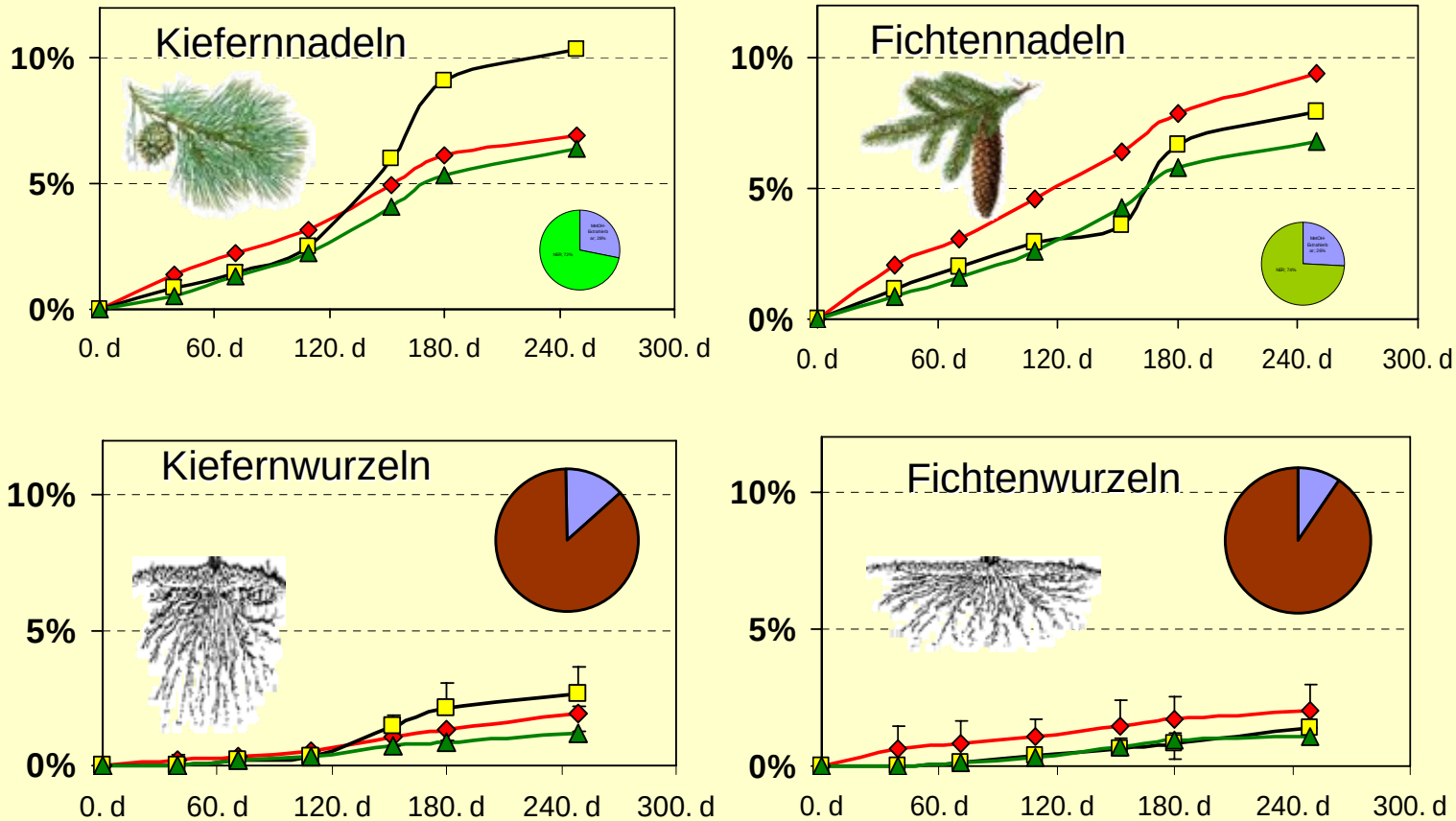
RDX-Wurzeln (Fichte)

Mit Standortböden

TNT-Wurzeln	Fichte	BBA	CZ	TE
	Kiefer	BBA	CZ	TE
TNT-Nadeln	Fichte	BBA	CZ	TE
	Kiefer	BBA	CZ	TE
TNT-Holz	Fichte			TE
	Kiefer			TE

TNT- Nadeln und -Wurzeln in 3 Böden – erste 8 Monate

Kumulative $^{14}CO_2$ **Freisetzung**
[% der Anfangsaktivität von ^{14}C]



BBA
Lehmiger Sand
2,5 % org. C
pH 6,7

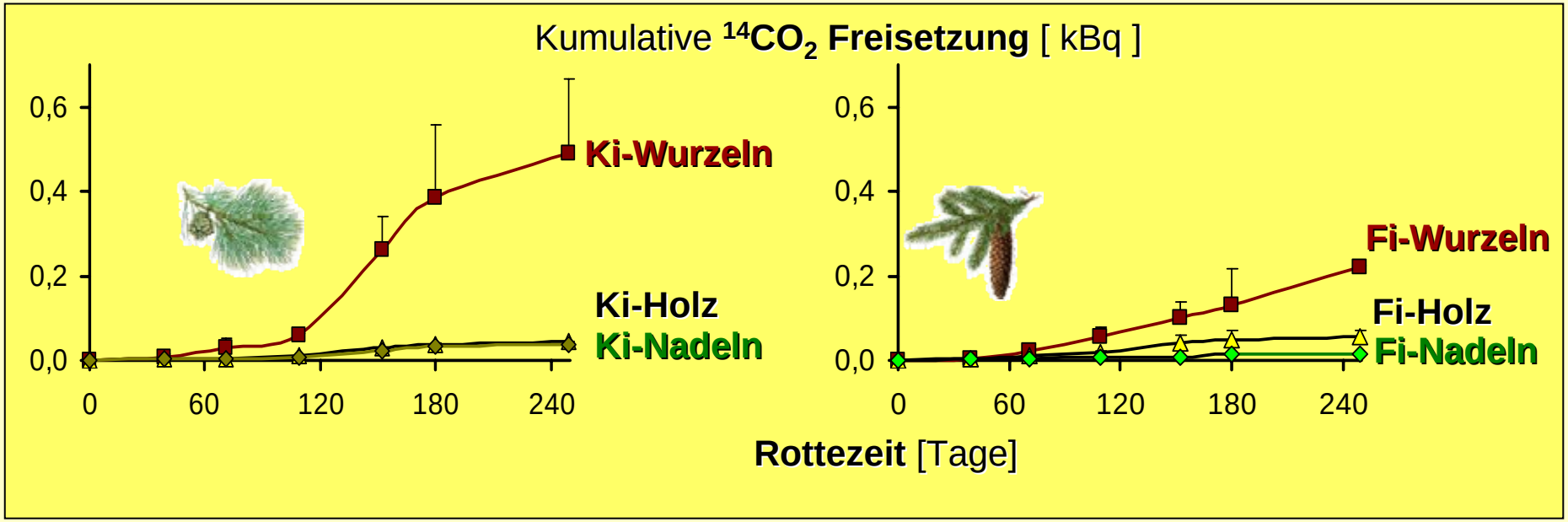
TE
Sandiger Lehm
3,8 % org. C
pH 7,3

CZ
Schluffiger Lehm
16,3 % org. C
pH 4,5

TE ist ein typischer Kiefernstandort.
Kiefernmaterial rottet hier am besten.

BBA-Boden ist ein Fichtenwald-Boden.
Fichtenmaterialverrottung ist in BBA-Boden am schnellsten.

Freigesetzte CO_2-Radioaktivität (kBq) in TE-Boden



Bei gleicher Einwaage zeigen Wurzeln wesentlich höhere Stoffumsätze als Holz oder Nadeln. Dies ist durch die höhere TNT-bürtige Anfangs-Radioaktivitätskonzentration bedingt.

Zusammenfassung
Rückhaltpotenzial und Langzeitschicksal von TNT in Nadelbäumen

1# **TNT-Rückhalt** durch Versickerungsminderung (Niederschlagsrückhalt)

2# **Rückhalt**-Voraussetzung ist die TNT-Toleranz von Nadelbäumen

3# **Rückhalt** durch TNT-Aufnahme und Verteilung im Nadelbaum

Rückhalt überwiegend in der Wurzel → Feinwurzeln, Rinde der mittleren Wurzeln

4# **Rückhalt** durch Metabolisierung im Nadelbaum

Vorwiegend nicht-extrahierbare Rückstände (NER), kaum extrahierbare Komponenten

5# **Rückhalt** in den biochemischen Kompartimenten

(Sehr wenig extrahierbare TNT-Transformanten,
Metabolischer Einbau vorwiegend in Lignin und Hemicellulosen)

6# **Langzeit-Schicksal** von TNT (endgültige Dekontamination)

- erste Werte zur Verrottbarkeit/Mineralisierung zu CO_2
- transformiertes und gebundenes TNT kann indirekt zu CO2 mineralisiert werden

→ Allgemeine **Umgangsempfehlungen** für die Altlastvegetation

Umgangsempfehlung für TNT-Standortvegetation

(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 ihres „Winterrückhalts“ zu bevorzugen und auch wegen ihrer TNT-Akkumulations- und TNT-Metabolisierungsfähigkeit zur Bepflanzung geeignet und können indirekt zur TNT-Mineralisierung beitragen.

Eine Holznutzung (Plenterverfahren) ist möglich.

Nadelwälder auf STV-Standorten sind grundsätzlich zu erhalten.

Zur Erhöhung der Artenvielfalt sind Einpflanzungen von ca. 15-20 % Laubhölzern zu erwägen.

Bewaldeter Altstandort „Tanne“ bei Clausthal-Zellerfeld

Gehölze: Vorwiegend Fichten auf saurem Boden

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!