

Forschung der negativen Einflüsse des Betriebes von schweren Forstmaschinen auf Forstbestände



J. Neruda – R. Ulrich

FORMEC 2004

8.-10.9.2004

Umfang von progressiven Nutzungstechnologien in der tschechischen Forstwirtschaft wächst

Die Technologien sind an der Benutzung von Harvestern und Forwardern gegründet und

- fordern anspruchsvolle technologisch-ökonomische Vorbereitung, um gute Resultate zu bekommen
- Arbeitsproduktivität sowie Arbeitssicherheit erhöhen
- Gesundheitsrisika herabzusetzen
- Holzevidenz vereinfachen
- Maschinen sind ziemlich schwer, grob; verursachen verschiedenartige Schäden an den Beständen (aber nicht höher als bei den klassischen Technologien).

Infolge des Befahrens von schweren Maschinen entstehen (können entstehen):

- auf den Waldböden ungünstige Strukturänderungen
- Baumverletzungen
- Verluste an der Waldproduktion von 17 und mehr Prozenten (Becker 1999)
- Beschädigung der Wurzelsysteme von anliegenden Bäumen (auch auf Rückegassen)

Man kann erwarten einen direkten Zusammenhang zwischen:

- der Beschädigung des Bodens und der Baumwurzeln
- der Befahrenhäufigkeit der Maschinen nach den Rückegassen
- dem Gewicht, spezifischem Fahrgestelldruck, Bodencharakter, Wetter und den weiteren Einflüssen (McMahon, 1995).

Drücke im Boden:

- entstehen durch Wechselbeziehung zwischen der Maschinenfahrgestell und der Bodenoberfläche
- sind vor allem vom Niveau des Reifenaufpumpen, deren Konstruktion und Steife, der Adhensionsbelastung des Traktionsmechanismus und den Komponenten der Radtraktionskraft abhängig
- verursachen Boden- und Wurzelschäden
- durch Deformationen der oberen Bodenschichten können Furchen gebildet werden.

Werte dieser Parameter können registriert und bei Kriterienbearbeitung verwendet werden.

Zwei Problemkreise der Maschinenschwereeinflüsse entstehen:

- **Primärwirkung der Drücke auf Wurzeln** bei Befahren \Rightarrow direkte Wurzelschäden - Schaden an starken Wurzelpartien (vor allem bei flach wurzelnden Baumarten), Schaden an Absorptionszonen an den dünnsten Wurzelteilen
- **Sekundärwirkung durch die Bodenverdichtung** \Rightarrow Veränderungen an Wasserabsorptionsfähigkeit und Bodendurchlässigkeit für Luft und Wurzeln

Das Druckniveau in der bestimmten Stelle im Boden ist abhängig von:

- gegebenem Typ, Aufpumpen, Belastung und Traktion der Reifen
- von Tiefe, in der die Verfolgung verläuft
- von Decke der Bodenoberfläche
- von Vorkommen der groben und armierenden Bodenbestandteile etc.

Übersicht einiger Methoden, die von uns bei der Forschung angewendet waren:

- **Methode der Messung der momentanen Bodendrucke** in Kombination mit klasischen Bodenanalyse
- Kombination der **Messungsmethode des Transpirationsstromes im Gewebe mit genauer Lokalisierung der Wurzeln**
- **Raumaufnahmen des Bodenprofils mittels Pulsradargeräts** (PULS EKKO 1000 der Fa. Sensors and Software Kanada)
- **Kontrolle der Wurzellokalisierung** erfolgte nach Beendigung der Messung mit Hilfe von deren Abdeckung mit Technik des **Überschall-Luftstromes**

Übersicht einiger Methoden, die von uns bei der Forschung angewendet waren:

- Methode der elektrischen Messung der **Absorptionszonen an Wurzeln**
- Methode der **Messung der CO₂-Konzentration** in der Bodenluft
- **biologische Schätzungen** der Veränderungen im Zellengewebe der befahrenen Wurzeln.

Methode der Messung der momentanen Bodendrücke

- eine unikate Messkette der Geräte
- bis sieben hydraulisch-elektronische tensometrische Sensoren hineingelegt am Messort (Registrationsfähigkeit für Drücke von 0 bis 2 MPa)
- analog-digitaler Messwertwandler DAS
- transportabler Computer zur Eintragung und Auswertung der Daten.

Die Untersuchung war auf die obere Bodenschicht ausgerichtet, **ca 10 – 15 cm unter der Bodenoberfläche.**

In dieser Tiefe eine grosse Menge von bedrohenen Fichtewurzeln vorkommt.

Messung der Bodendrucke



Übersicht über Messungsergebnisse der Bodendrucke, verursacht durch Befahren von schweren Maschinen auf verschiedenen Lokalitäten

Lokalitätsbezeichnung	Maschine	Gesamtgewicht	Spezifischer Bodendruck max. (bar)	Boden		Reisigschichthöhe		Druck im Boden max. (bar)	Penetration-widerstand (daN)	
				Charakteristik	Feuchtigkeit	vor Befahren	nach Befahren		vor	nach
		(kg)	(%)		(cm)	(cm)				
Jedovnice 289 C3Z Fichte 100%, 40 Jahre	einachsiger Anhänger	3 300	2,1	0-6 cm typischer Moder, 6-8 cm Humuserde, 8-15 cm brauner Lehmboden, 15-30 cm hellbrauner Lehmboden	33	35	22	1,2 0,9	6,5 6,5	19,0 17,0
Vranov - Fläche A 20C3b Fichte 70%, 40 Jahre	FMG Mini Bruunett 678	17 950	1,1	modale Kambierde, 0-2 cm Humusmoder, 2-11 cm dunkelgrauer Sandlehmboden, 11-40 cm weissgelber Lehmsandboden	8	50	17	4,0 4,0 5,0	20,0 20,0 20,0	20+ 20+ 20+
Vranov - Fläche B1 17C3 Fichte 70%, 40 Jahre	einachsiger Anhänger	3 300	2,1	gegleydenere Kambierde, 0-10 cm braunschwarzer Lehmboden, 10-25 cm gelber Lehmsandboden mit Skelett	38	40	24	1,6 1,3	10,3 10,3	17,5 16,8
Vranov - Fläche B2 17C3 Fichte 70%, 40 Jahre	FMG Mini Bruunett 678	17 950	1,1	gegleydenere Kambierde, 0-10 cm braunschwarzer Lehmboden, 10-25 cm gelber Lehmsandboden mit Skelett	38	38	18	3,5 1,4	12,7 12,7	19,5 19,4
Nová Říše bei Telč Fläche A Fichte 80%, 50 Jahre	FMG Mini Bruunett 678	16 500	1,0	0-20 cm gelbbrauner Lehmboden mit Sand und Skelett, 20-30 cm weissgrauer Lehmboden, stark gegleydener	28	35	16	2,8 2,5 1,6	5,5 5,5 5,0	12,0 7,0 6,0
Nová Říše bei Telč Fläche B Fichte 80%, 50 Jahre	FMG Mini Bruunett 678	16 500	1,0	0-20 cm gelbbrauner Lehmboden mit Sand und Skelett, 20-30 cm weissgrauer Lehmboden, stark gegleydener	38	40	22	1,8 1,2 1,3	7,5 7,5 7,5	17,0 17,0 21,0
Nová Říše bei Telč Fläche C Fichte 80%, 50 Jahre	FMG Mini Bruunett 678	16 500	1,0	0-20 cm dunkelgelbbrauner Sandlehmboden, 20-30 cm weissgrauer Lehmboden, gegleydener	21	38	19	5,0 3,0 -	18,0 18,0 17,0	25,0 25,0 23,0
Cikar Fläche A Fichte 90%, 80 Jahre	LogBear 4000	5 900	0,4	0-20 cm Moor mit Sand, 20+ hellbrauner weicher Sand	29	30	19	0,9 1,1 0,6	7,0 7,0 7,5	7,5 7,5 8,2
Cikar Fläche B Fichte 90%, 80 Jahre	Nokka Forwarder 24 WD	11 600	0,5	0-20 cm Moor mit Sand, 20+ hellbrauner weicher Sand	39	30	18	0,6 0,7 0,5	5,0 5,0 5,0	5,0 5,0 5,0
Cikar Fläche C Fichte 90%, 80 Jahre	Valmet 840.1	23 600	1,2	0-25 cm Moor mit Sand, 20+ hellbrauner weicher Sand	30	45	25	0,2 0,3 0,1	5,5 5,5 5,5	5,6 5,6 5,5
Cikar Fläche D Fichte 90%, 60 Jahre	Valmet 840.1	23 600	1,2	0-5 cm Moder, 5+ hellbrauner weicher Sand mit Mineralstoffen	13	36	20	2,4 2,1 0,9	16,0 16,0 16,0	24,0 24,0 24,0
Jeseniky Gebirge - Skřítek Fichte 90%, 90 Jahre nach Kahlschlag	Timberjack 1110 D	24 400	0,9	0-5 cm Moder, 5+ cm brauner Lehmboden, kleines Skelett	33	38	17	3,3 3,4 3,8	6,0 6,0 6,0	8,0 8,0 8,0
Račín bei V. Dářko Fläche A Fichte 95%, 70 Jahre	FMG Mini Bruunett 678	16 970	1,0	Pseudogley kambisch, 0-5 cm typischer Moder, 5-12 cm schwarzbrauner Humuslehmboden, 12-20 cm brauner Lehmboden, 20+ cm kambische	15	40	15	1,8 0 1,2	10,0 10,0 10,0	18,0 18,0 16,0
Račín bei V. Dářko Fläche B Fichte 95%, 70 Jahre	FMG Mini Bruunett 678	16 970	1,0	Pseudogley modal, 0-7 cm Moor, 7-17 cm Marmorerde, 17-42 cm grauschwarzer Boden mit Marmoreffekt	21	38	15	2,3 3,5 1,7	9,0 9,0 9,0	13,0 13,0 13,0

Ermittelte Ergebnisse des Ablaufs von Bodendrücken

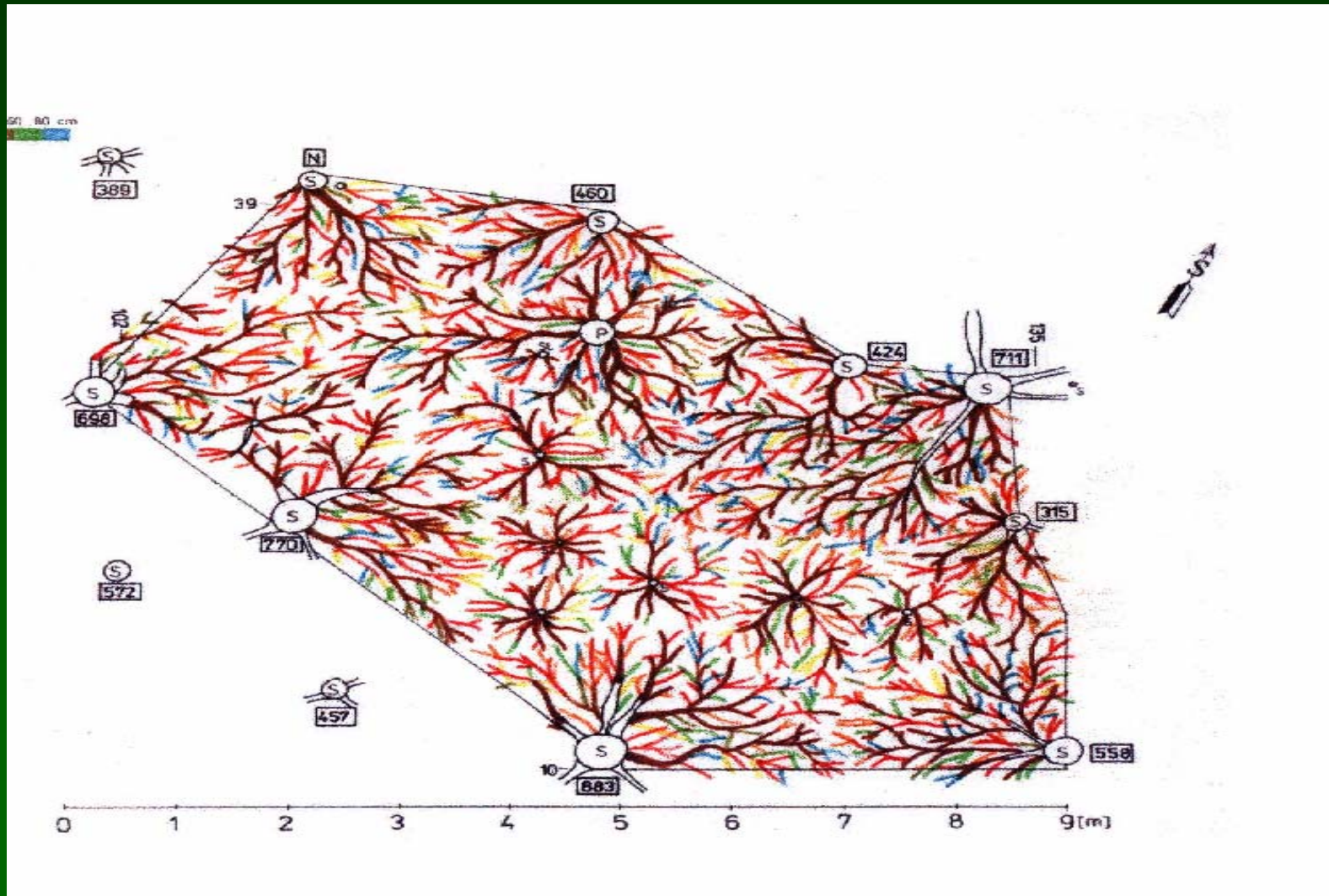
- Spitzenwerte der gemessenen Bodendrücke befinden sich zwischen 0,09 und 0,7 MPa (Boden ohne Reisig)
- die Werte des Bodendruckes auf den Flächen mit einer Reisigdecke sind offenbar niedriger - sehr positive Feststellung
- evidente Unterschiede im Vergleich der Werte des gerechneten spezifischen Bodendruck und dem gemessenen Bodendruck in so niedriger Tiefe von 10 cm unter der Bodenoberfläche
- Drucksonden bieten die Druckwerte, die analogisch für die Wurzeln sind (ähnliche Bedingungen).

Methode der Transpirationsstrommessung

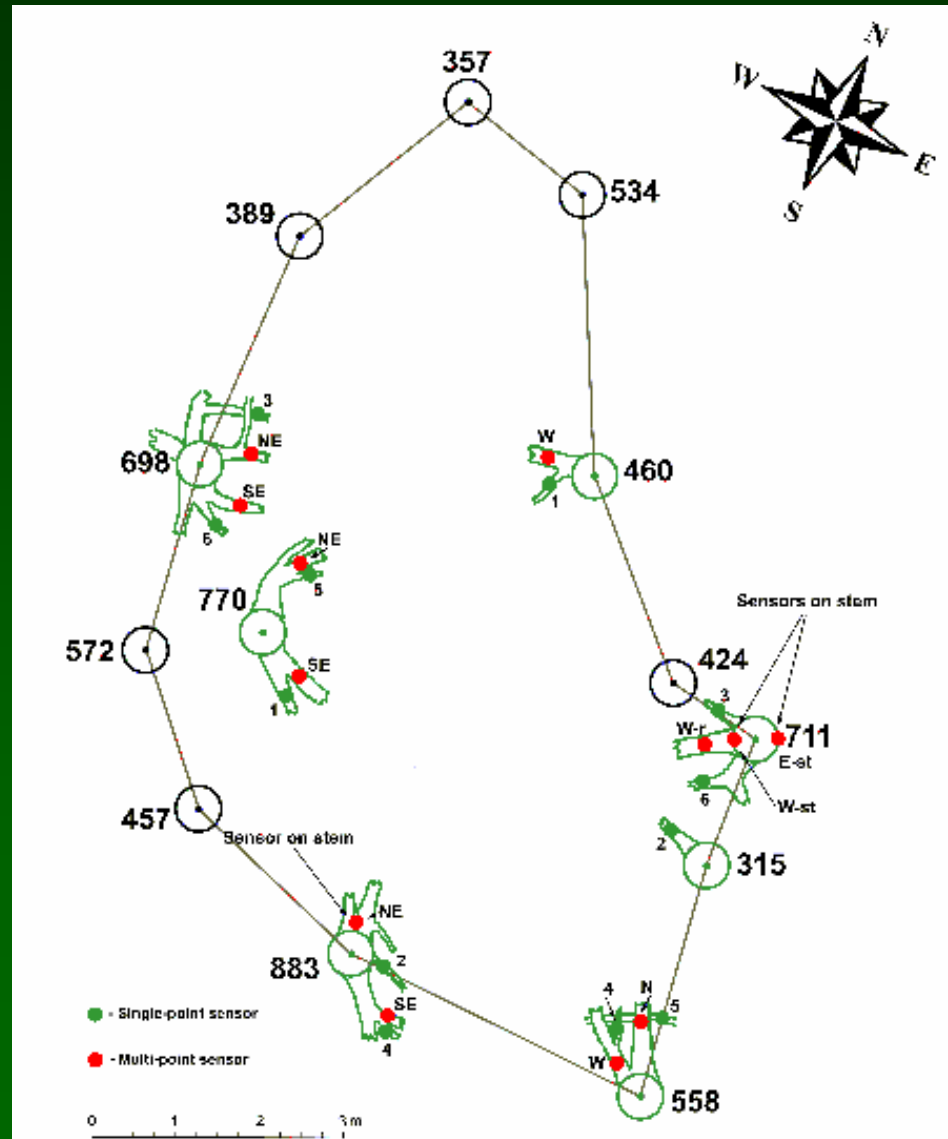
Der Transpirationsstrom wurde in Stämmen und einzelnen Sketelettwurzeln in der Nähe des Stammes mittels Methode der **Deformation des thermischen Feldes** gemessen:

- die Reaktion der direkt betroffenen Wurzeln durch Befahren: steiler Stromanstieg von mehreren Minuten, nachfolgend auch gleich steiler Rückgang (auf ein niedrigeres Niveau als vor dem Befahren)
- keine Reaktion auf die Belastung wurde bei den Wurzeln ermittelt, die sich in der Erde gedrehten und die Rückegasse nicht reichen
- der grösste Rückgang wurde in mittleren und tieferen Xylemschichten beobachtet

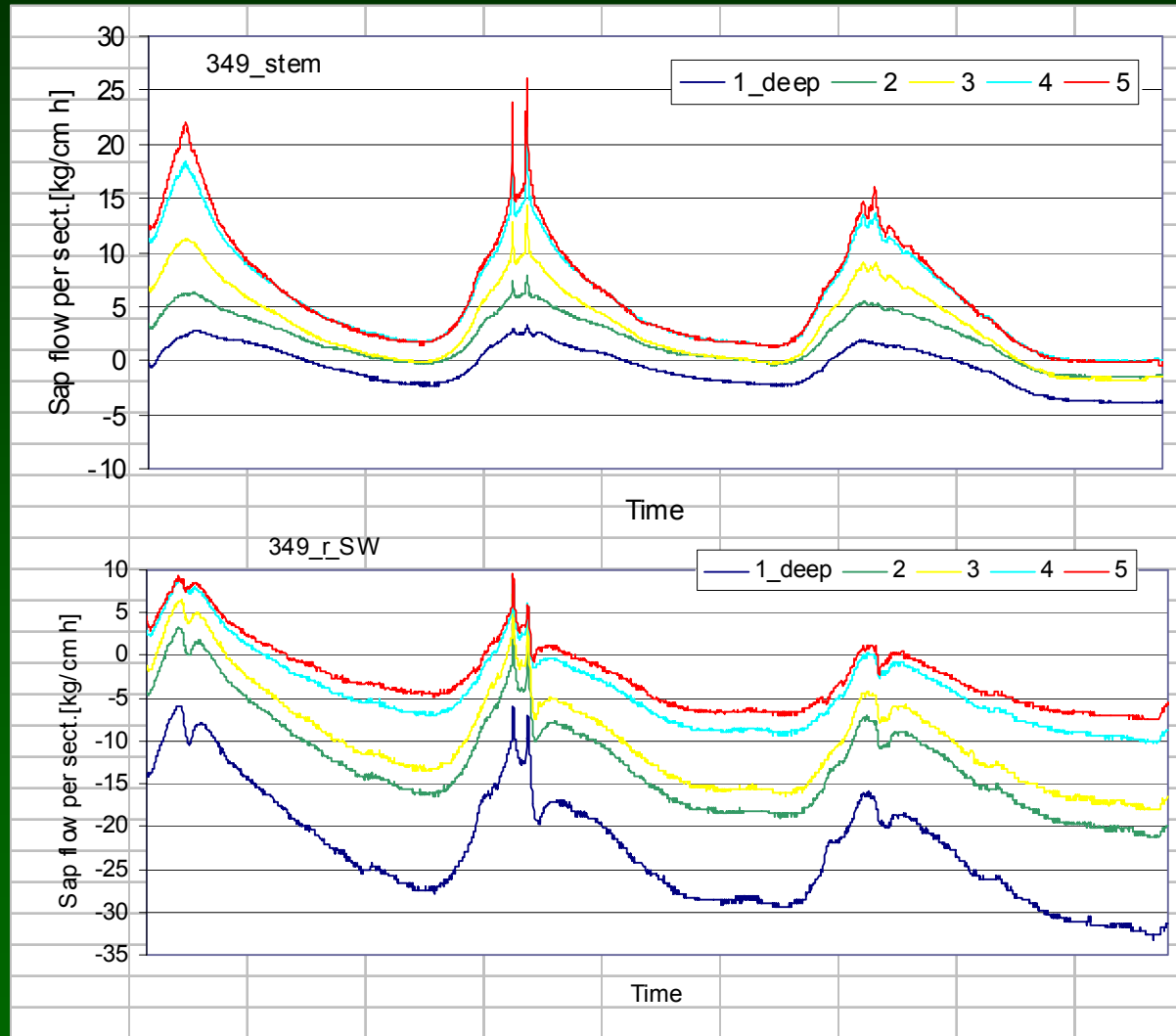
Aufnahme eines Bodenprofils mit Baumwurzeln mittels Pulsradargeräts im Fichtenbestand



Aufnahme eines Bodenprofils mit Baumwurzeln im Fichtenbestand an der Versuchsfläche Vranov 1



Beispiel der Reaktion des Transpirationsstromes auf das Befahren der Wurzeln durch den Forwarder



Methoden der Transpirationsstrommessung

Zusammenfassung:

- die Reaktion nur dann, soweit durch das Befahren ein bedeutender Wurzelteil betroffen worden ist, bis in die Tiefe ca 15 bis 20 cm
- bei den tiefer wachsenden Wurzeln keine Reaktion
- die beobachteten Reaktionen des Transpirationsstromes waren sehr schnell
- die auf dem trockenem harten Boden wachsenden Fichtenwurzeln reagierten nur kurzfristig und waren schwach beeinflusst
- die Wurzeln wachsenden auf dem feuchten Boden reagierten ziemlich starker und oft verzeichneten ausgeprägte Funktionsschädigung
- aufgrund der Messung des Transpirationsstromes möglich ist, Bedingungen vorläufig zu charakterisieren, unter denen das Befahren von Mechanismen die Wurzeln beschädigt oder nicht.

Methoden der elektrischen Messung von Absorptionszonen an Wurzeln

- die Messungsmethode der Absorptionszonen zum Studium sowie zur Messung der Wurzelschäden der Bäume durch Befahren von schweren Maschinen gut zu verwenden ist
- näheres dazu siehe Beitrag Ulrich - Neruda - Staněk (2004) von diesem Symposium FORMEC 2004.

Forwarder FMG Mini Bruunett 678 voll belastet mit Fichtenschnittholz



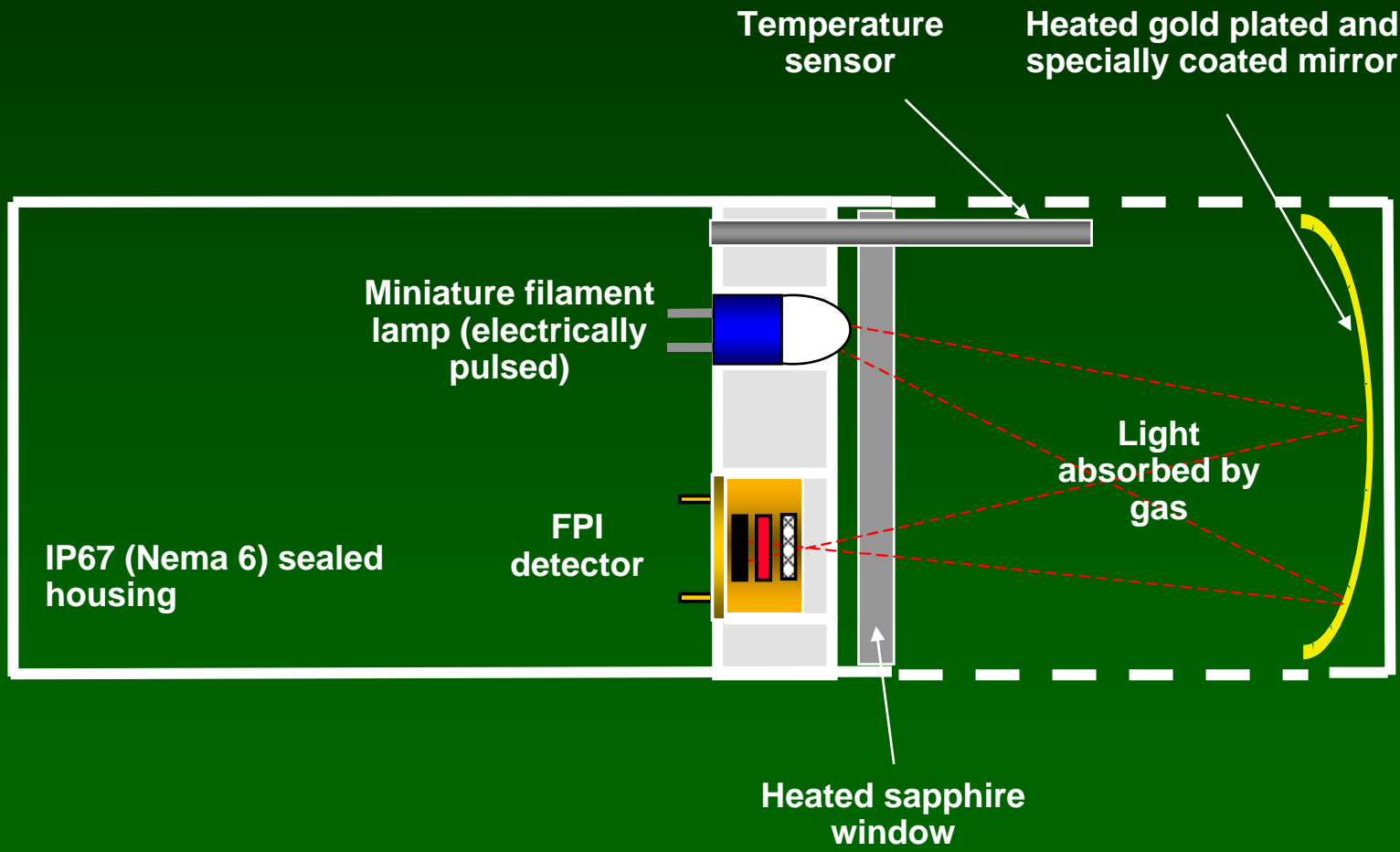
Methode der Messung der CO₂-Konzentration in der Bodenluft

- **Befahren** von schweren Maschinen auf dem Boden ⇒ **Bodenverdichtung** (von manchen Autoren behandelt ist)
- Herabsetzung der Bodenporigkeit und dessen Luftkapazität
- verschlechtert wird die Bodenventilation
- es kann zur Anhäufung von CO₂ und zur Erhöhung seines Anteils an Bodenluft kommen
- die verschlechterte Bodenventilation kann bis zur Unterbrechung des Wachstums von Feinwurzeln führen
- insbesondere in den Böden mit höherem Tongehalt können undurchlässige Schichten entstehen, die bei der erhöhten Feuchtigkeit sogar Absterben der Wurzeln verursachen können

Prinzip der Methode der Messung der CO₂-Konzentration in der Bodenluft

- im Laufe des ersten Halbjahres 2004 wurden neu die Untersuchungsarbeiten auf der Ermittlung des CO₂ Gehalt in der Bodenluft
- gesucht wurde Methode, die ermöglicht, in den Feldbedingungen sowohl die momentanen Werte des CO₂-Gehalts zu messen als auch ihre Entwicklung mit Zeit zu registrieren
- die Methoden auf Basis des Gaschromatographes waren nicht zugänglich (sie können nicht den zeitlichen Ablauf der CO₂-Konzentration in der Bodenluft registrieren)
- erstellt wurde eine Methode, gegründet auf Basis der Geräte von finnländischer Firma Vaisala, zusammengesetzt aus dem GMT 221- Messgerät der CO₂-Konzentration und der GMP 221-Mess-Sonde mit Grundmessbereich bis auf 3 % CO₂ und Messgenauigkeit von 0,02 %

Die Sonde basiert auf Messung der Absorption des Infrarot-Strahles von in der Luft enthaltenem CO₂



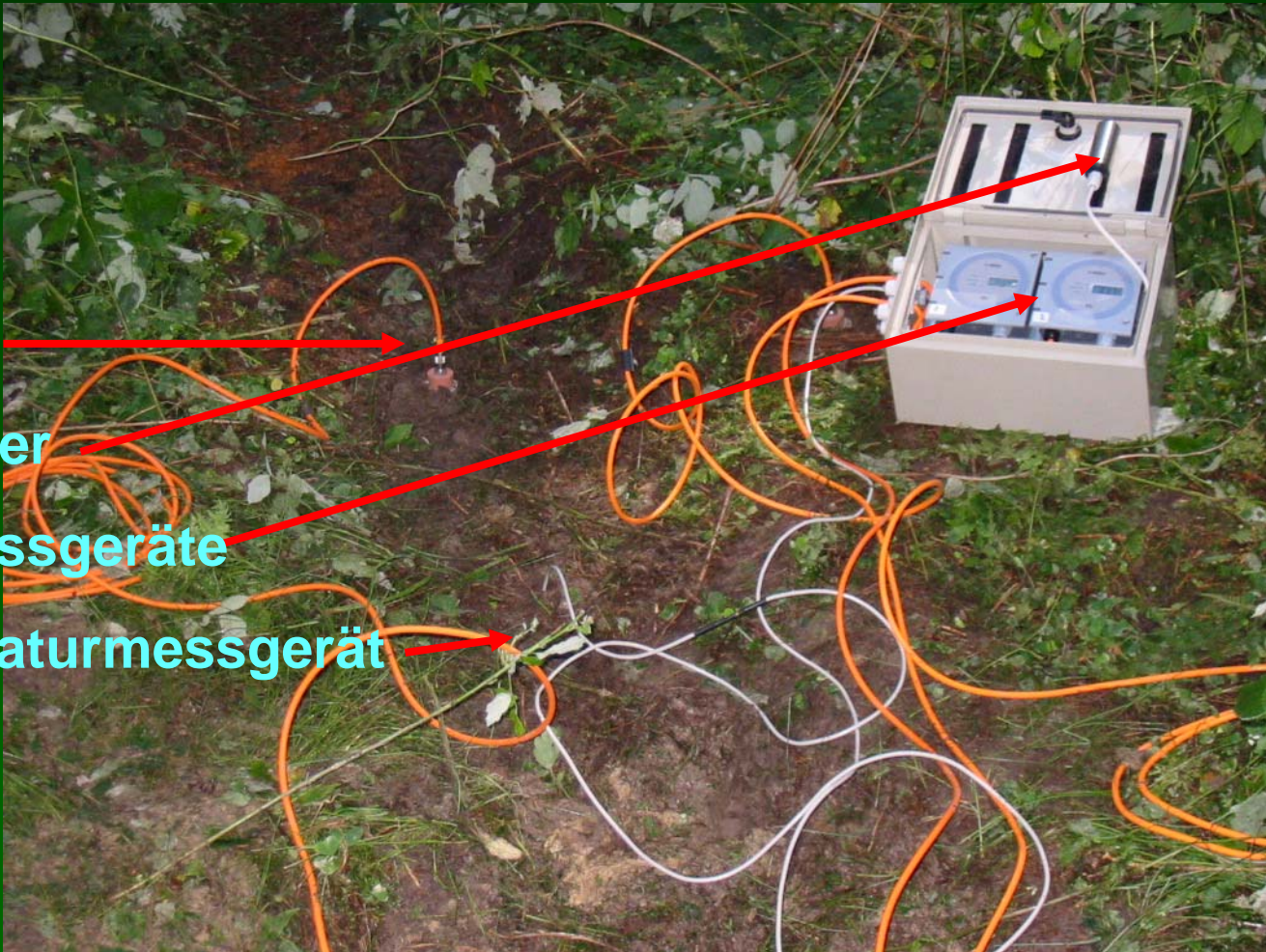
Geräte wurden in eine Messkette angeordnet:

Sensor

Datalogger

CO₂-Messgeräte

Temperaturmessgerät



Für Mess-Sonde wurde eine mit Stopfen verdichtete Hülse und eingebautem Sondenkörper gebildet, die in eine kalibrierte Öffnung im Boden immer in Tiefe von ca. 12 cm hineingelegt wurde.

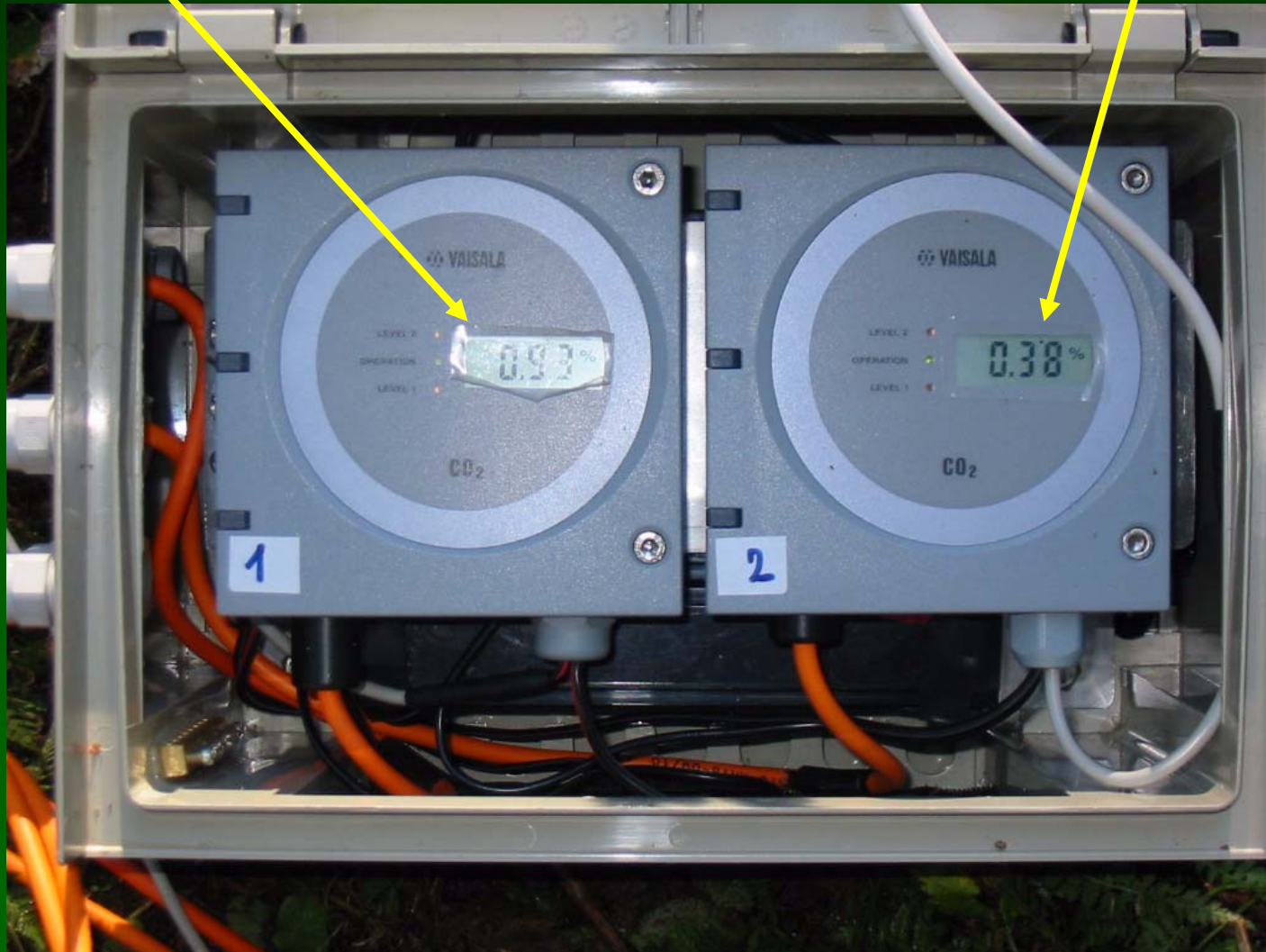


Die eigenen Messungen erfolgten mit zwei Sonden (eine in der Spur, die zweite im Boden ohne Befahren)

Messung der CO₂-Konzentration

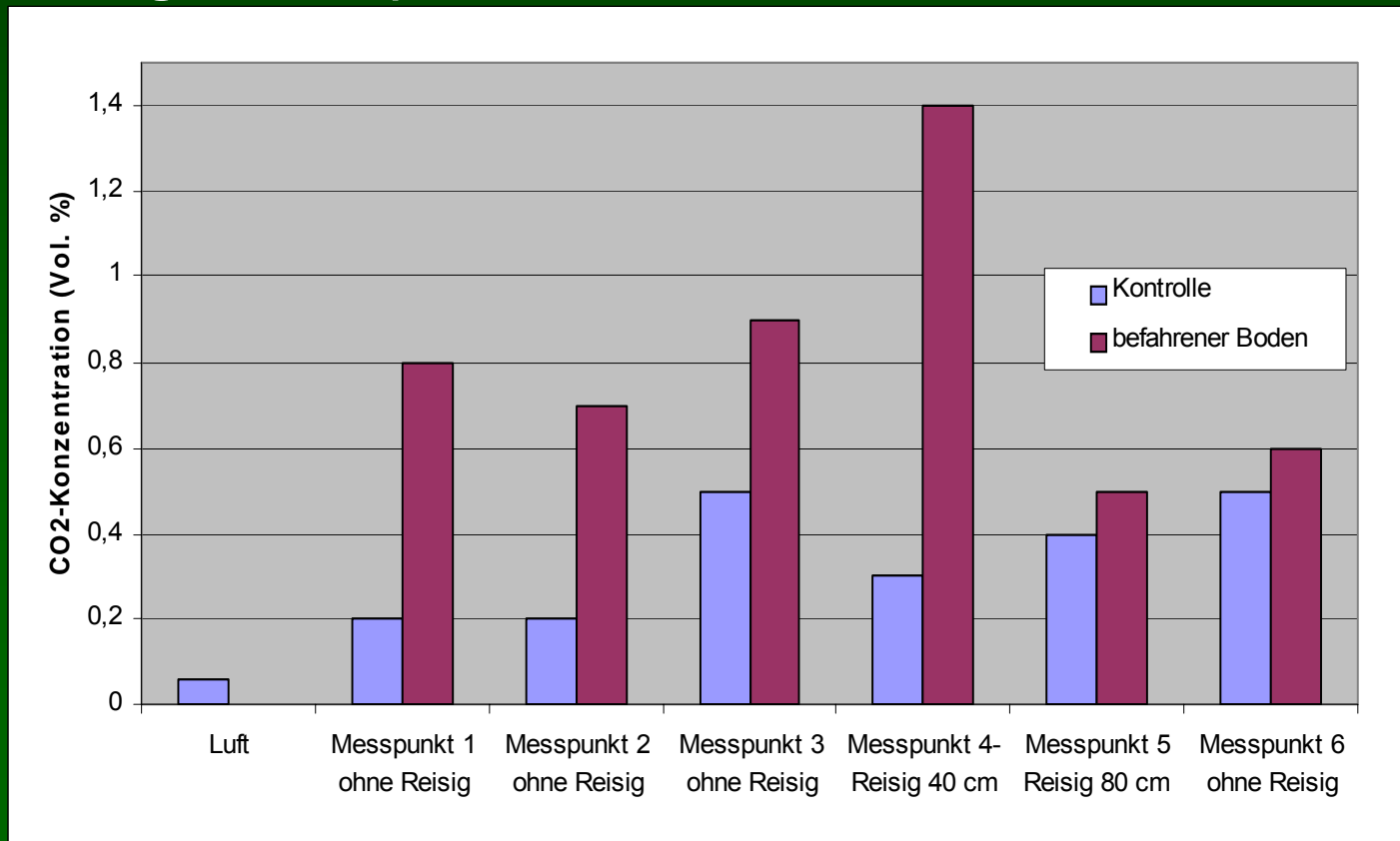
In der Spur

Kontrolle



Messung der CO₂-Konzentration

- Der Boden an den Versuchsflächen war lehmig mit verschiedener Skala der Feuchtigkeit (von niedriger Feuchtigkeit des Boden am Messpunkt 1 zum nassen Boden an Messpunkten 5 und 6)
- Der Boden an den Messpunkten war immer 10mal durch den Forwarder FMG Mini Bruunett 678 (Gesamtgewicht 18 000 kg, Bereifung 600 mm) befahren



Messung der CO₂-Konzentration - Schlussfolgerungen

- man kann überraschend **signifikante Ergebnisse** beobachten
- beträchtlich **verschlechterte Ventilationseigenschaften** des Bodens in den Radspuren
- wenn die **Konzentration von 0,06 % CO₂** in der Bodenluft für den **Grenzwert** gehalten ist, dann wurden von uns fast in allen Fällen ausgeprägte Überschreitungen dieses Wertes ermittelt
- **Anstieg der CO₂-Konzentration** gibt es auch **nach einem einzigen Befahren vom Forwarder** auf der Bodenoberfläche
- **nach einem einzigen Befahren vom Harvester** sind sehr oft die **Erhöhungen des CO₂ Gehaltes nur gering!**
- die Ergebnisse mit der angeführten Gerätekette weisen auf die wichtige Tatsache des ausgeprägten Anstiegs der CO₂-Konzentration in der Bodenluft auf den Waldböden, vor allem beim wiederholten Befahren des Forwardes
- es scheint sich, dass hierdurch kann es zur Beschränkung der Tätigkeit des Wurzelsystems der Bäume kommen.

Schlussfolgerungen

- Bewegung der schweren Forwarders auf den Rückegassen in den Waldbeständen wirkt sich auf die Baumwurzeln, obwohl man bei denen keine visuelle Veränderungen beobachten kann
- Beschädigt sind vor allem die Oberflächenwurzeln bis Tiefe von ca. zwischen 10 und 15 cm
- Bei den durch dickere Bodenschicht geschützten Wurzeln wurde keine Beschädigung sowie keine Reaktion auf das Befahren beobachtet
- Beschädigung der Wurzelfunktion ist signifikant grösser auf den verhältnismässig weichen feuchten Böden, während auf den trockenen verhältnismässig harten Böden, die durch Befahren nicht deformiert sind, reagieren die Wurzeln nur kurzfristig und es kommt nicht zu einer anhaltenden Beschädigung ihrer Funktion
- Bodenveränderungen mit potentialer unerwünschter Wirkung auf die Baumwurzeln treten bereits nach einem einzigen Befahren von schweren Maschinen auf. Es ist notwendig, das Verbot ihrer Bewegung ausserhalb der ausgezeichneten Rückegassen zu erfordern.

Danke für Ihre Aufmerksamkeit.

Die Autoren bedanken sich dem GAČR für Unterstützung bei Lösung der gegebenen Problemstellung sowie dieses Beitrags, ausgedrückt durch Zuteilung des Grantprojekts Nr. 526/02/0792 “Methoden zur Verbesserung der Determination der Wurzelschädigung der Bäume in den Fichtenbeständen von Forwardern”.