

Minimera risken för markpackning med hjälp av Terranimo[®]

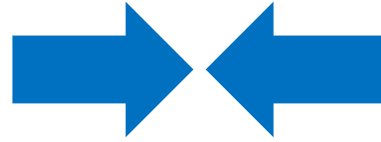
Thomas Keller

Institutionen för mark och miljö, SLU, Uppsala

thomas.keller@slu.se

Markstruktur för växtproduktion – potentiell konflikt

Marken ska vara lucker och porös mark för god rottillväxt



men tillräckligt stark för att motstå erosion och mekaniska belastningar



Photos: Gaby Brändle
Agroscope (CH)



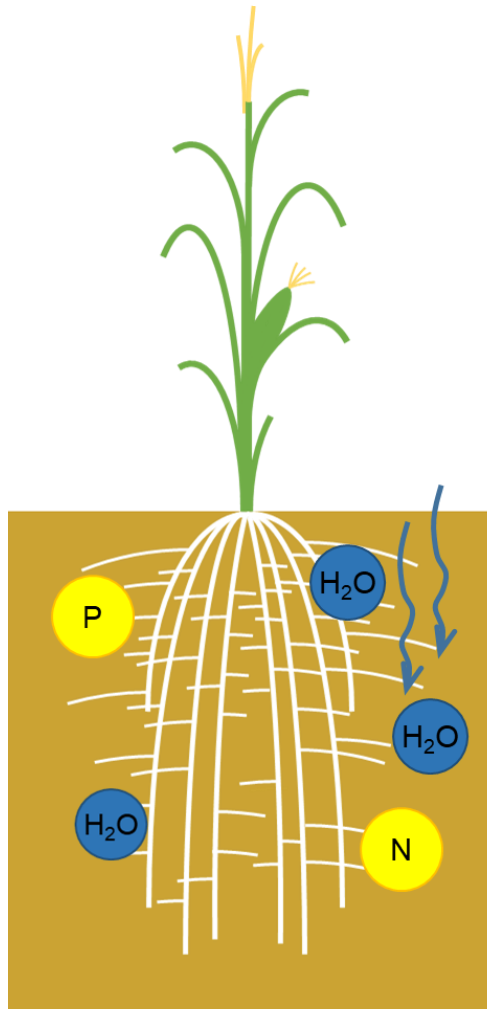
Marken har en viss hållfasthet, men om vi utsätter den för ett för högt tryck deformeras den



Markpackning: effekter på växter och vattentransport



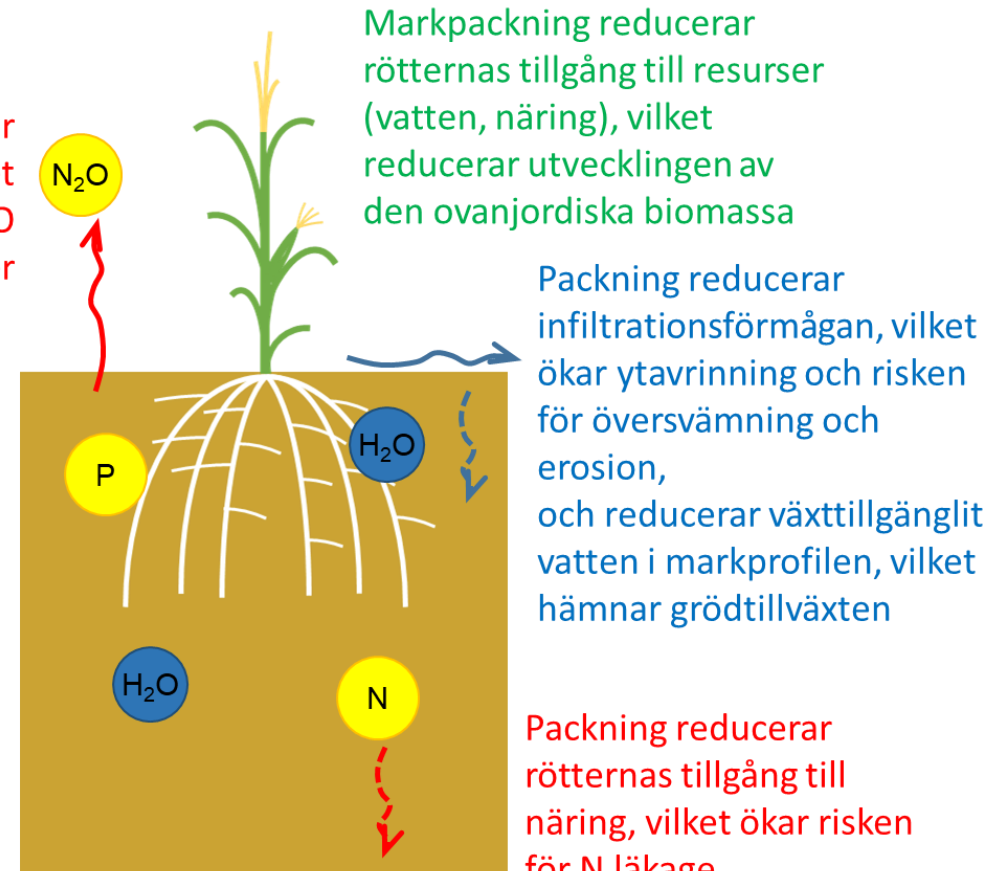
Markpackningens effekter på processer och markfunktioner



Opackat mark

Markpackning reducerar «markluftning», vilket ökar risken för N₂O emissioner

Markpackning hindrar rottillväxt pga syrebrist och högt mekaniskt motstånd, vilket reducerar kol-input till marken



Packad mark

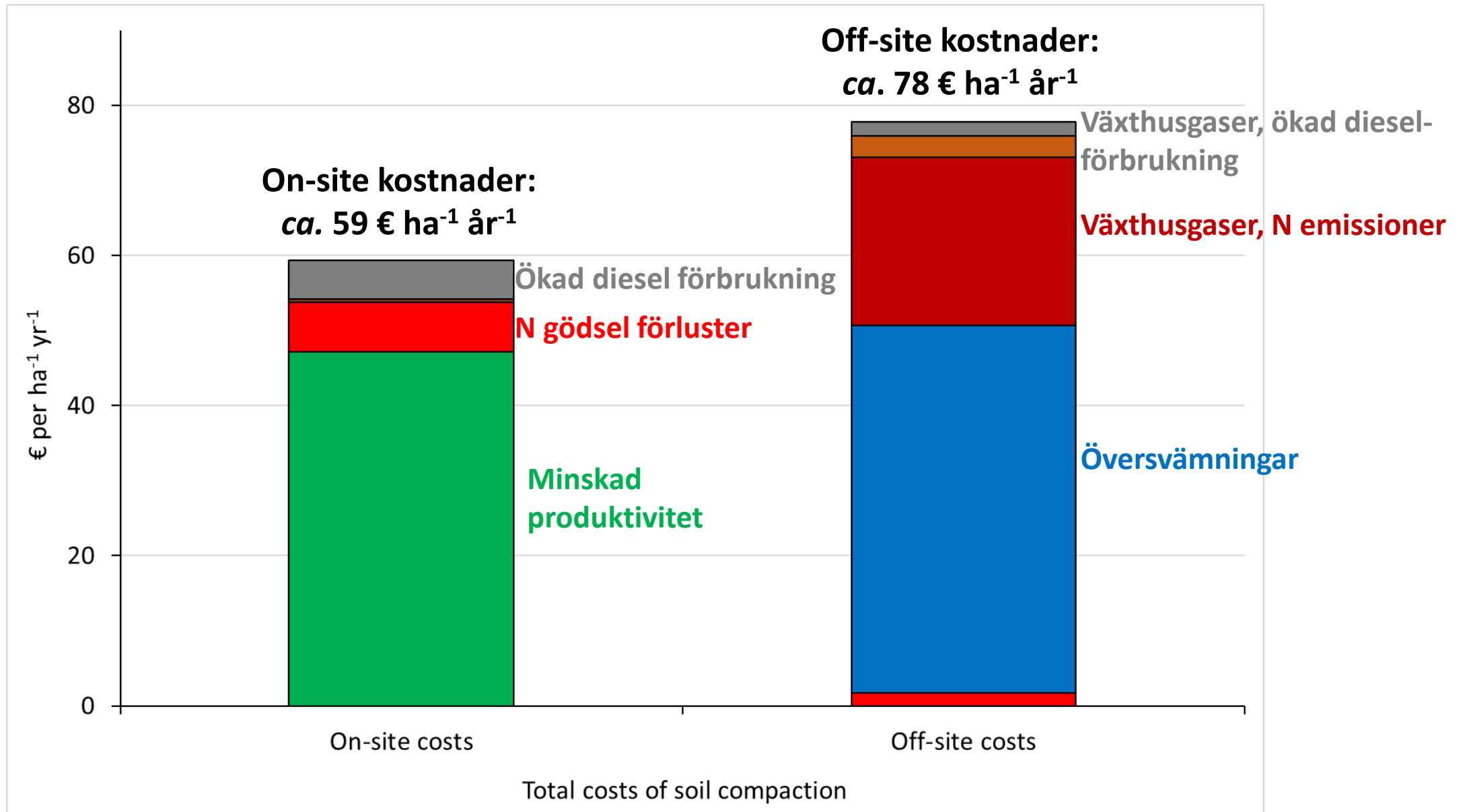
Markpackning reducerar rötternas tillgång till resurser (vatten, näring), vilket reducerar utvecklingen av den ovanjordiska biomassa

Packning reducerar infiltrationsförmågan, vilket ökar ytavrinning och risken för översvämning och erosion, och reducerar växttillgängligt vatten i markprofilen, vilket hämnar grödtillväxten

Packning reducerar rötternas tillgång till näring, vilket ökar risken för N läkage

Vad kostar markpackning?

Här: uppskattningar för England & Wales Graves *et al.* (2015) *Ecol. Econ.* 119

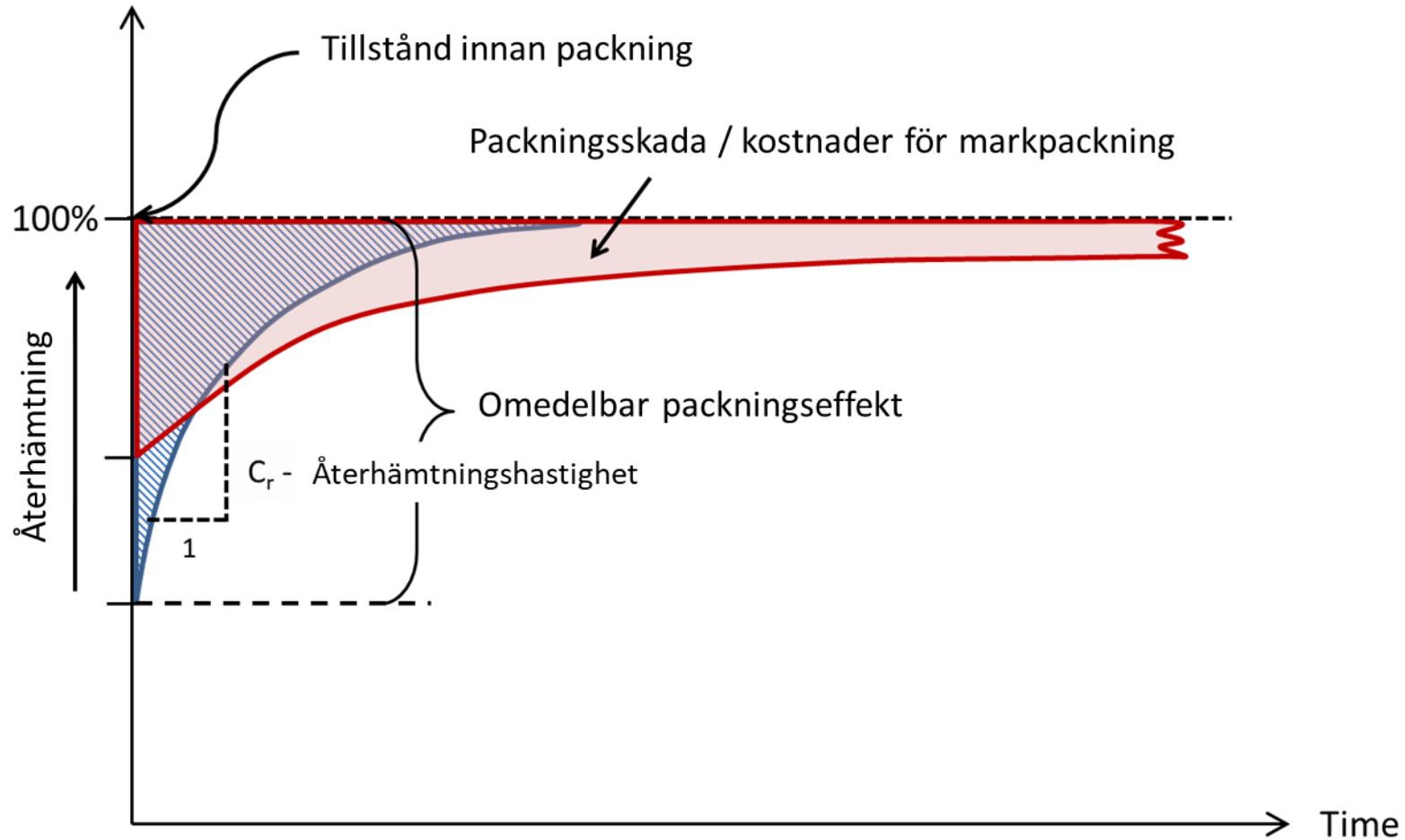


Några uppskattningar för Sverige, kostnader för minskat skörd

Assumptions	Productivity losses *) (M€ yr ⁻¹)	Fraction of total agricultural income **) (%)	
Hectare costs of 19.4 € per ha agricultural land and year (Graves et al., 2015)	59	7.4	
Average yield loss of 4.5% (Graves et al., 2015) and 35% compaction-affected area (Oldeman et al., 1991; Graves et al., 2015; Schjønning et al., 2015; Brus and van den Akker, 2018)	33	4.1	
Yield loss 4-8% depending on soil texture (Eriksson et al., 1974) and distribution of textural classes for arable land in Sweden (Djodjic, 2015)	68	8.5	
Yield data from experiments with gantry and cable-drawn implements showing 20% yield penalty of wheeled soil (Håkansson et al., 1985; Chamen, 2011; Chamen et al., 2015) and 35% compaction-affected area (Oldeman et al., 1991; Graves et al., 2015; Schjønning et al., 2015; Brus and van den Akker, 2018)	145	18.1	
<div style="background-color: #f0f0f0; padding: 5px; border: 1px solid #ccc;"> Storleksordning: 50-100'000'000 € per år - det är såklart osäkra uppskattningar </div>	Mean	76	9.5
	Median	63	7.9

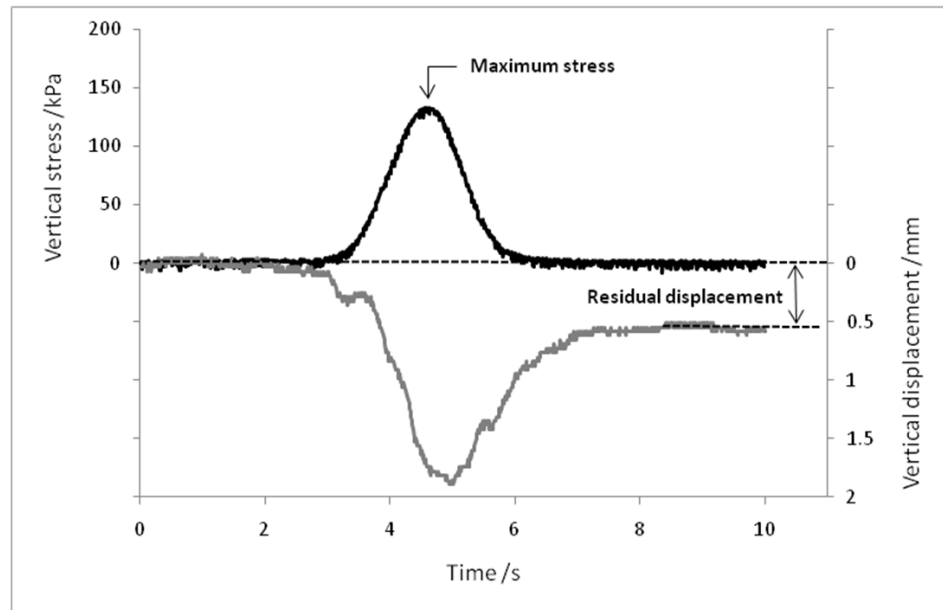
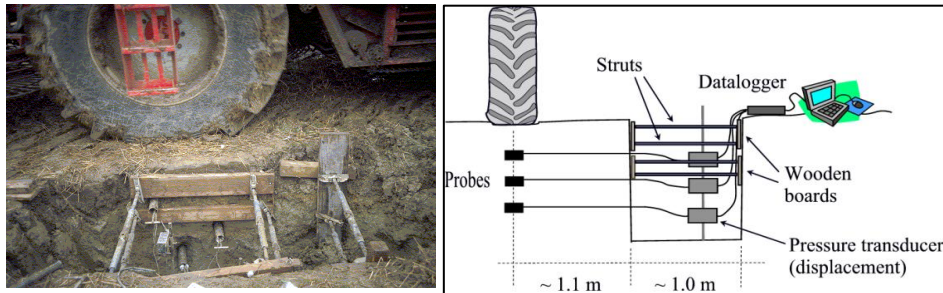
Kostnader för markpackning: kumulativ förlust av markens funktionalitet, integrerad över tid

Markfunktion eller markegenskap (t.ex. skörd)



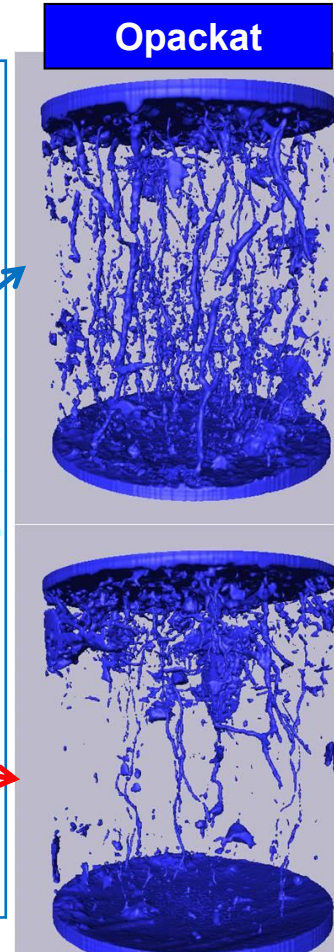
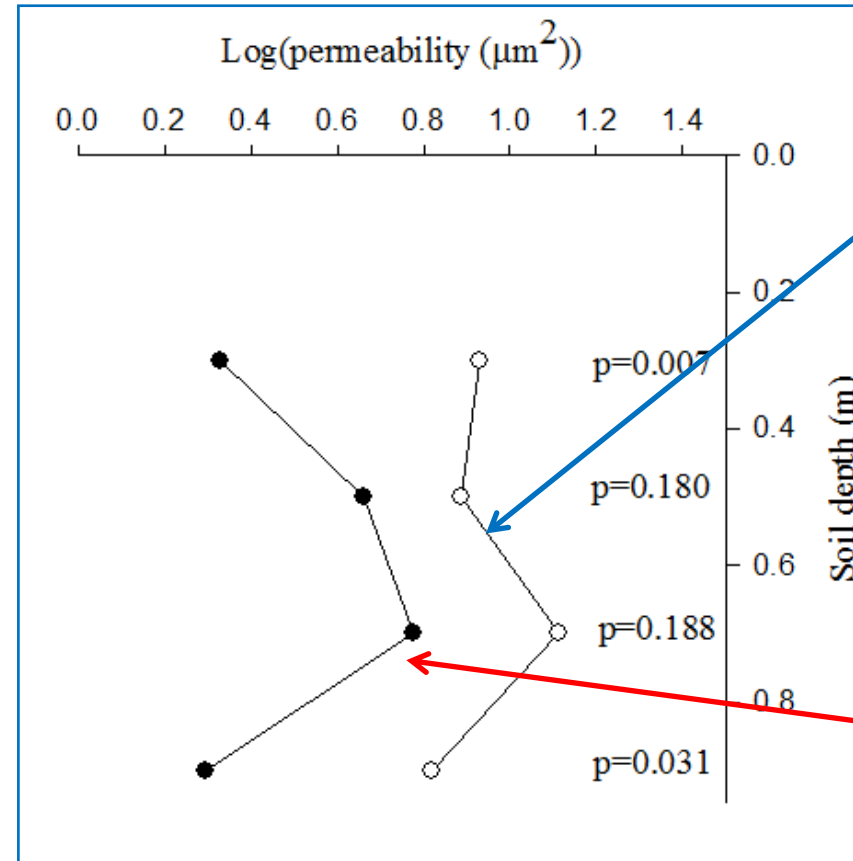
Tidsskalor för packning och återhämtning är helt olika

Markpackning: sekunder (10^0 s)



Keller *et al.* 2012. *Soil Sci.* 177.

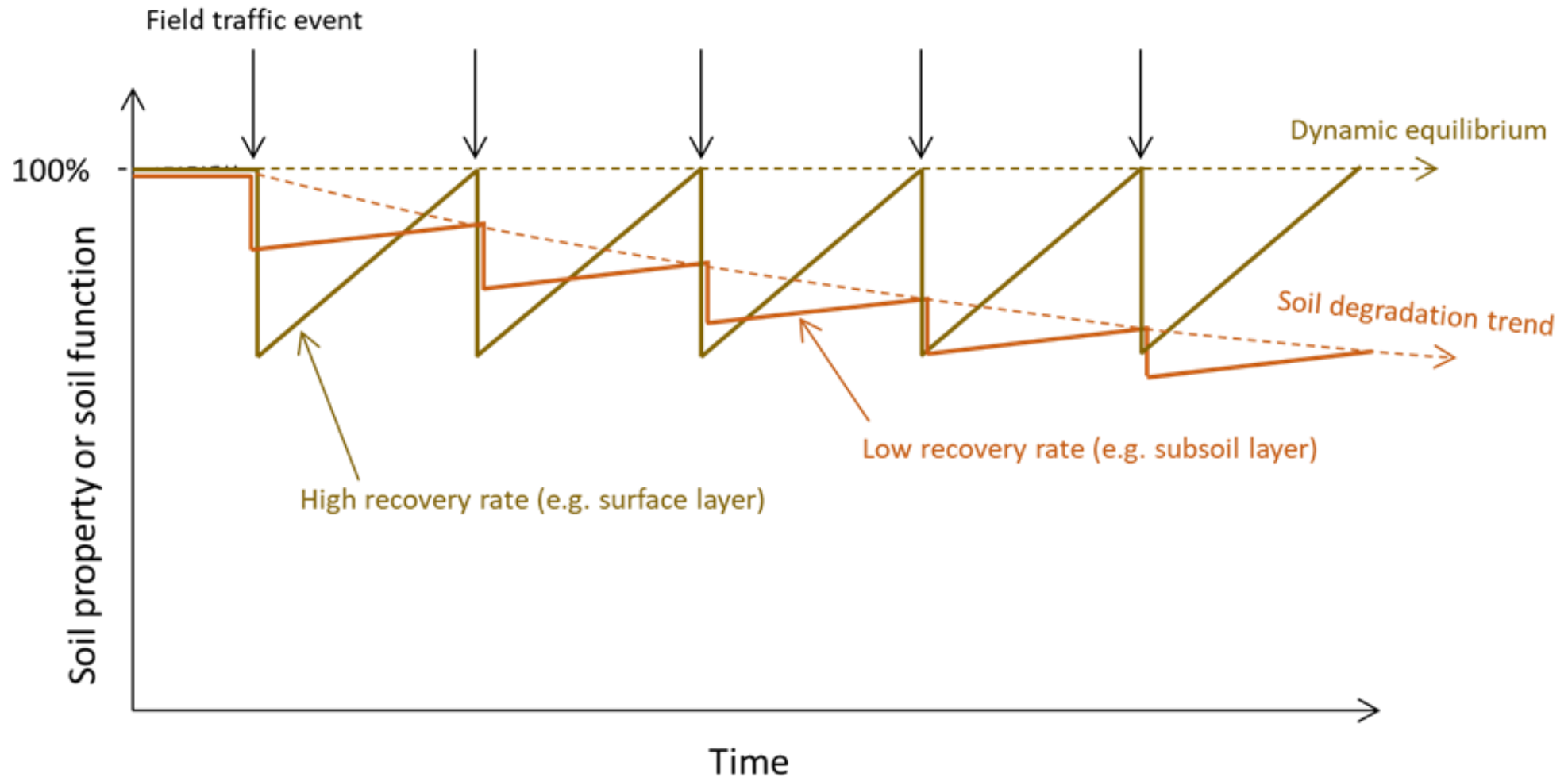
Återhämtning: decennier (10^9 s) (?)



14 år efter packning

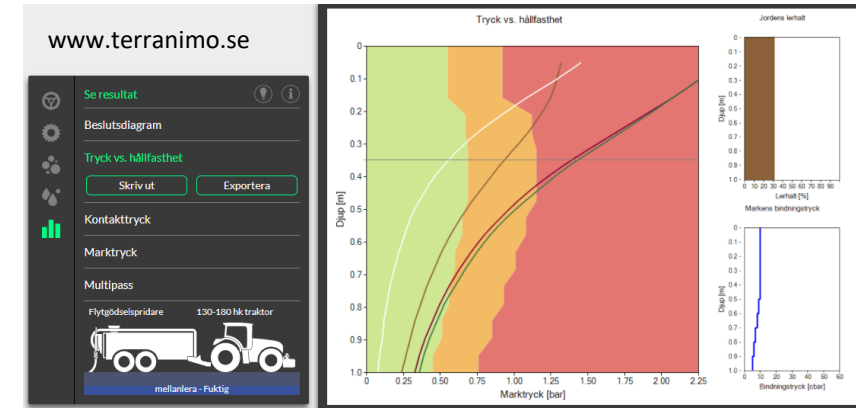
Berisso *et al.* 2012. *Soil Tillage Res.* 122
 Lamandé *et al.*, 2013. *Soil Sci.*, 178, 359-368.

Sambandet mellan frekvensen av packningstillfällen och återhämtningshastigheten är avgörande



Att hantera markpackning

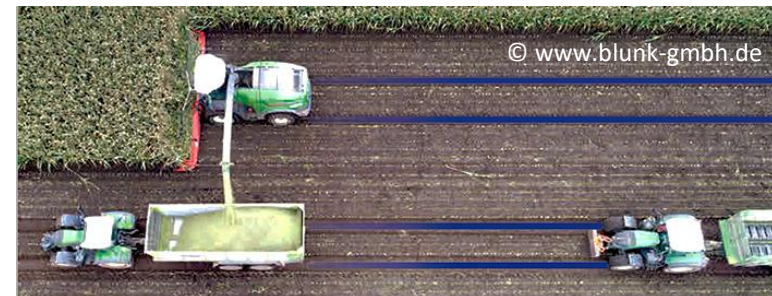
- Minimera risken för markpackning genom att säkerställa att belastningen inte överskrider markens hållfasthet → **Terranimo®**



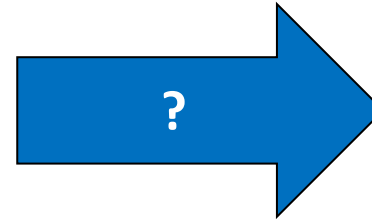
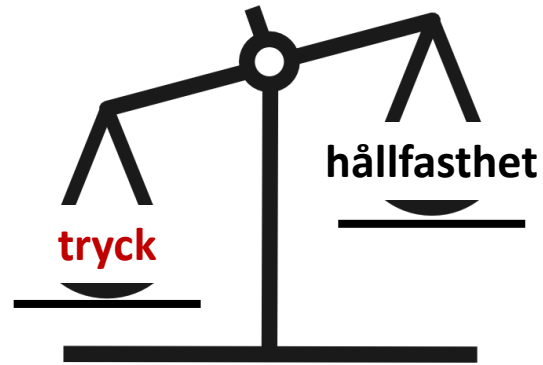
- Reparera packningsskador, genom t.ex. alvluckring, «biologisk alvluckring» med hjälp av växter med djupa rötter --> **Rekommenderas ej (alltid bättre att förebygga), eller bara om man verkligen måste**



- Begränsa all körning till en liten yta och låta resten av fältet «orörd» – «fasta körspår» (controlled traffic farming, CTF)



Återhämtning är långsam -> bättre att undvika markpackning



Option 1: reducera tryck i marken

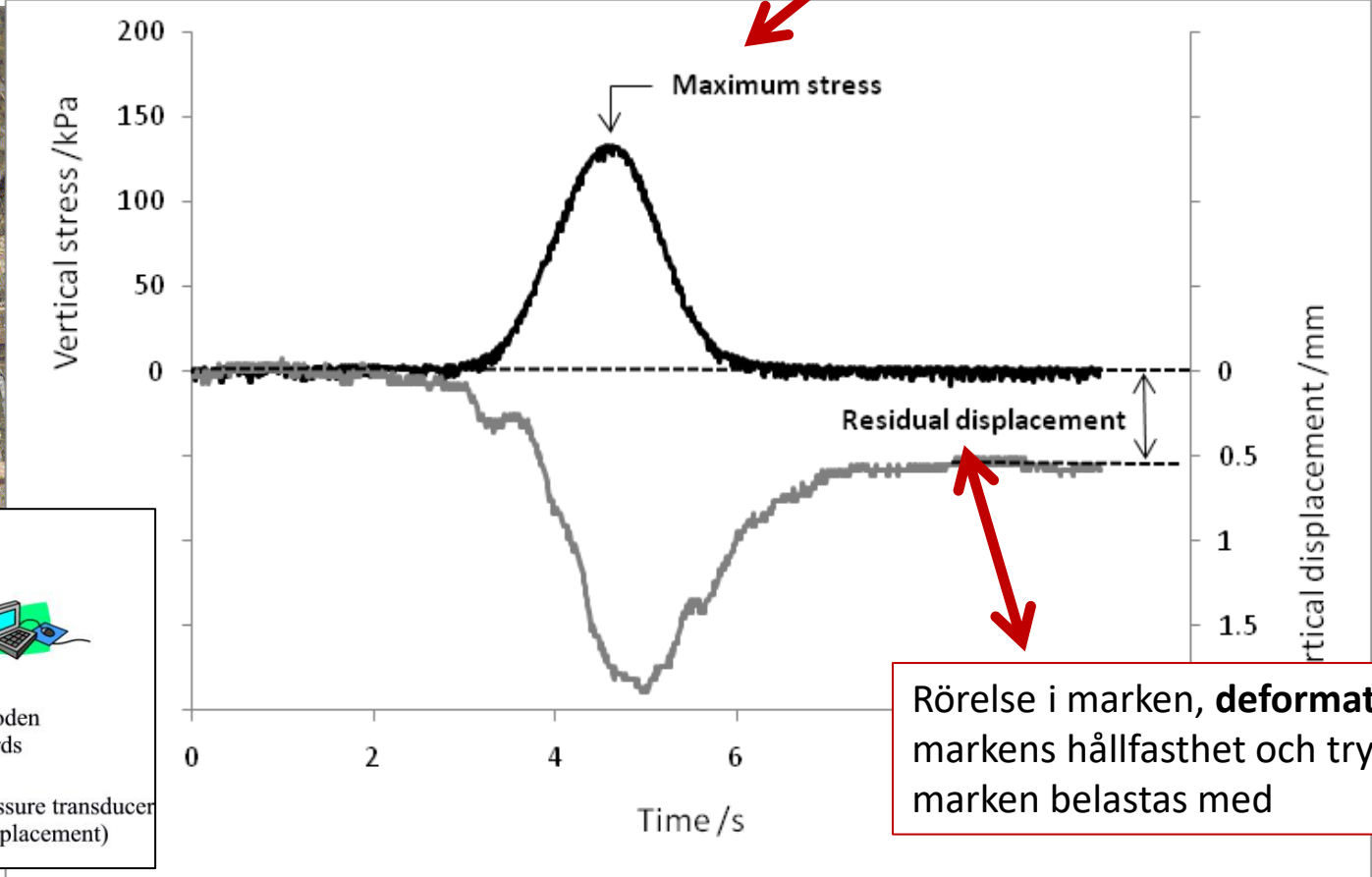
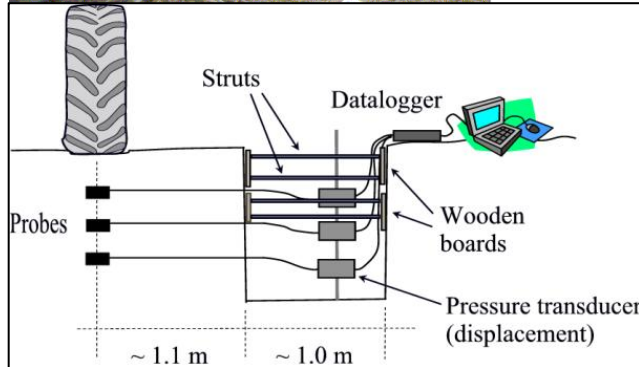
Option 2: öka markens hållfasthet

Mera generellt: se till att tryck \leq hållfasthet



Risk för markpackning - en "balansgång" mellan tryckbelastningen och markens hållfasthet

Tryck: beror främst på maskinegenskaper (hjulast, däck, ringtryck, ...), men även på markens egenskaper och tillstånd



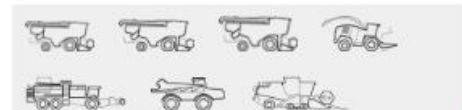
Rörelse i marken, **deformation**: beror på markens hållfasthet och trycket som marken belastas med

1. Välj maskin

Traktor



Självgående

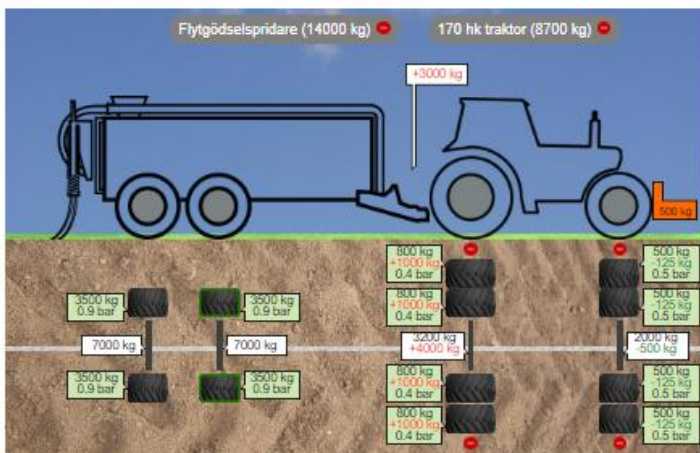


Vagn



Beräkning av viktöverföring

Klicka på däcksymbolen för att ändra däck, hjullast och ringtryck



Med lastöverföring	Utan lastöverföring
Hjullast (tom): 800 kg +1000 kg, 0.4 bar	Hjullast: 800 kg, 0.4 bar
Ringtryck	Ringtryck

Ringtryck OK
Ringtryck för lågt
Ringtryck för högt

2. Konfigurera däck

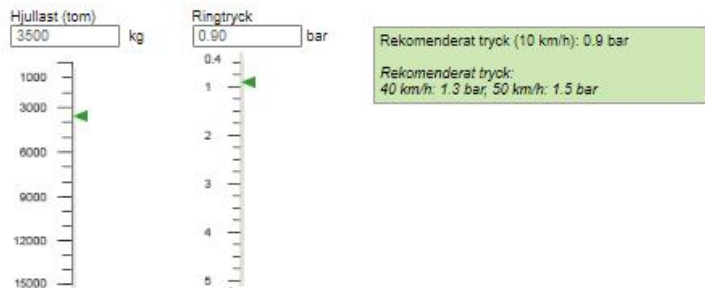
Välj lämpliga parametrar för de valda däcken

Ändra endast en sida Ändra på båda sidor

Standarddäck Däck-assistent

Däckkategori: Implementdäck
Tillverkare: Trelleborg
Däckbeteckning: T421
Dimension (Lastindex): 800/55-26.5 (186)

Skriv ut datablad



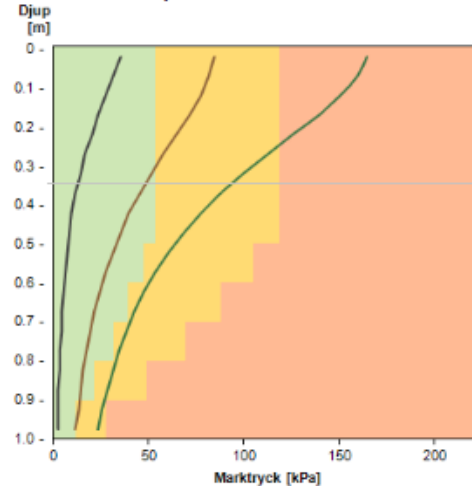
Se resultat

Skriv ut

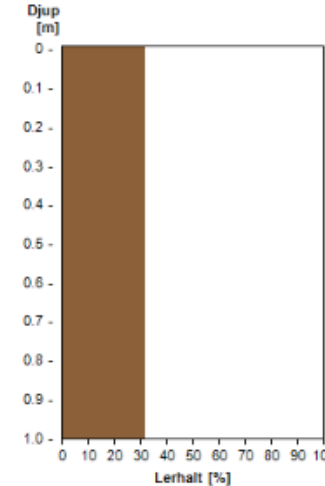
170 hk traktor	Färgdiagram	Visa i diagram	Tillverkare	Däckbeteckning	Däckdimension	Hjullast [kg]	Tryck [bar]
Vänster yttre framhjul		<input checked="" type="checkbox"/>	Michelin	MultiBib	480/65R28	375 kg	0.5 bar
Vänster inre framhjul		<input type="checkbox"/>	Michelin	MultiBib	480/65R28	375 kg	0.5 bar
Höger inre framhjul		<input type="checkbox"/>	Michelin	MultiBib	480/65R28	375 kg	0.5 bar
Höger yttre framhjul		<input type="checkbox"/>	Michelin	MultiBib	480/65R28	375 kg	0.5 bar
Vänster yttre bakhjul		<input checked="" type="checkbox"/>	Michelin	MultiBib	600/65R38	1800 kg	0.4 bar
Vänster inre bakhjul		<input type="checkbox"/>	Michelin	MultiBib	600/65R38	1800 kg	0.4 bar
Höger inre bakhjul		<input type="checkbox"/>	Michelin	MultiBib	600/65R38	1800 kg	0.4 bar
Höger yttre bakhjul		<input type="checkbox"/>	Michelin	MultiBib	600/65R38	1800 kg	0.4 bar

Flytgödselspridare	Färgdiagram	Visa i diagram	Tillverkare	Däckbeteckning	Däckdimension	Hjullast [kg]	Tryck [bar]
Vänster framhjul		<input checked="" type="checkbox"/>	Trelleborg	T421	600/55-26.5	3500 kg	0.9 bar
Höger framhjul		<input type="checkbox"/>	Trelleborg	T421	600/55-26.5	3500 kg	0.9 bar
Vänster bakhjul		<input type="checkbox"/>	Trelleborg	T421	600/55-26.5	3500 kg	0.9 bar
Höger bakhjul		<input type="checkbox"/>	Trelleborg	T421	600/55-26.5	3500 kg	0.9 bar

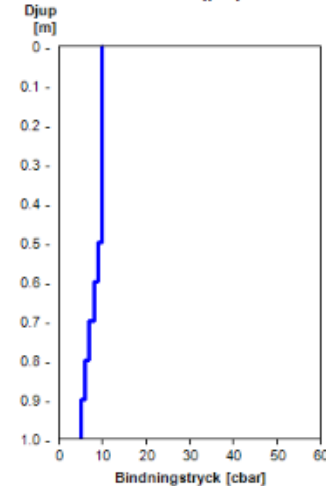
Tryck vs. hållfasthet



Jordens lerhalt

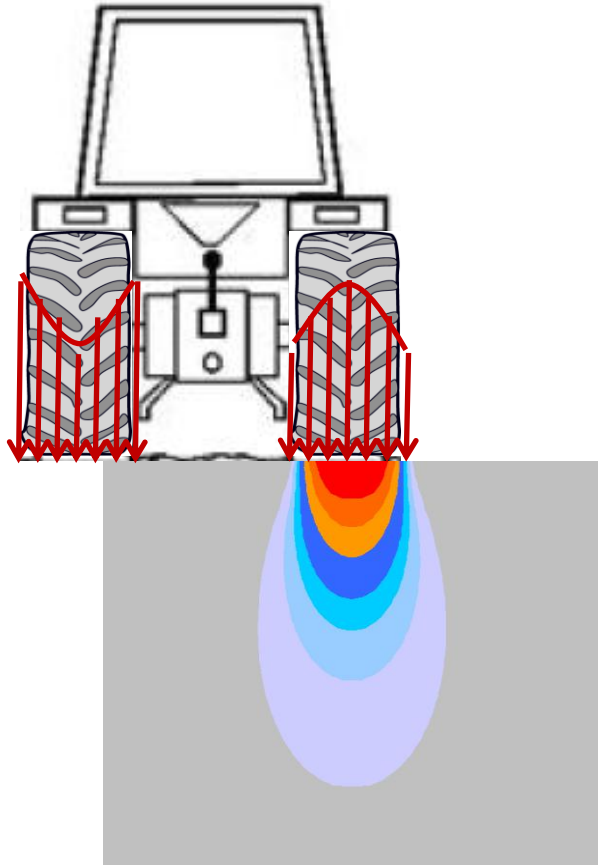


Markens bindningstryck



Kurvorna visar vertikalt marktryck. Gränsen mellan grönt och gult motsvarar 50% av markens uppskattade hållfasthet. Under denna nivå är det ingen risk för markpackning. Gränsen mellan gult och rött motsvarar 110% av markens uppskattade hållfasthet. Över denna nivå kan en permanent packning av marken förväntas.

Terranimo[®] beräknar tryck i marken och uppskattar markens hållfasthet för att bedöma markpackningsrisken

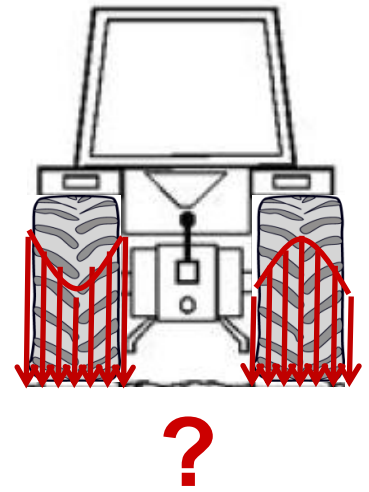


- 1** Kontakt mellan däck (eller band) och mark:
kontaktyta, kontaktryck
 är en funktion av (däckdimensioner, hjullast, ringtryck)

- 2** Tryckutbredning i marken
 = f (markens fuktighet)

Kontakttryck mellan mark och däck

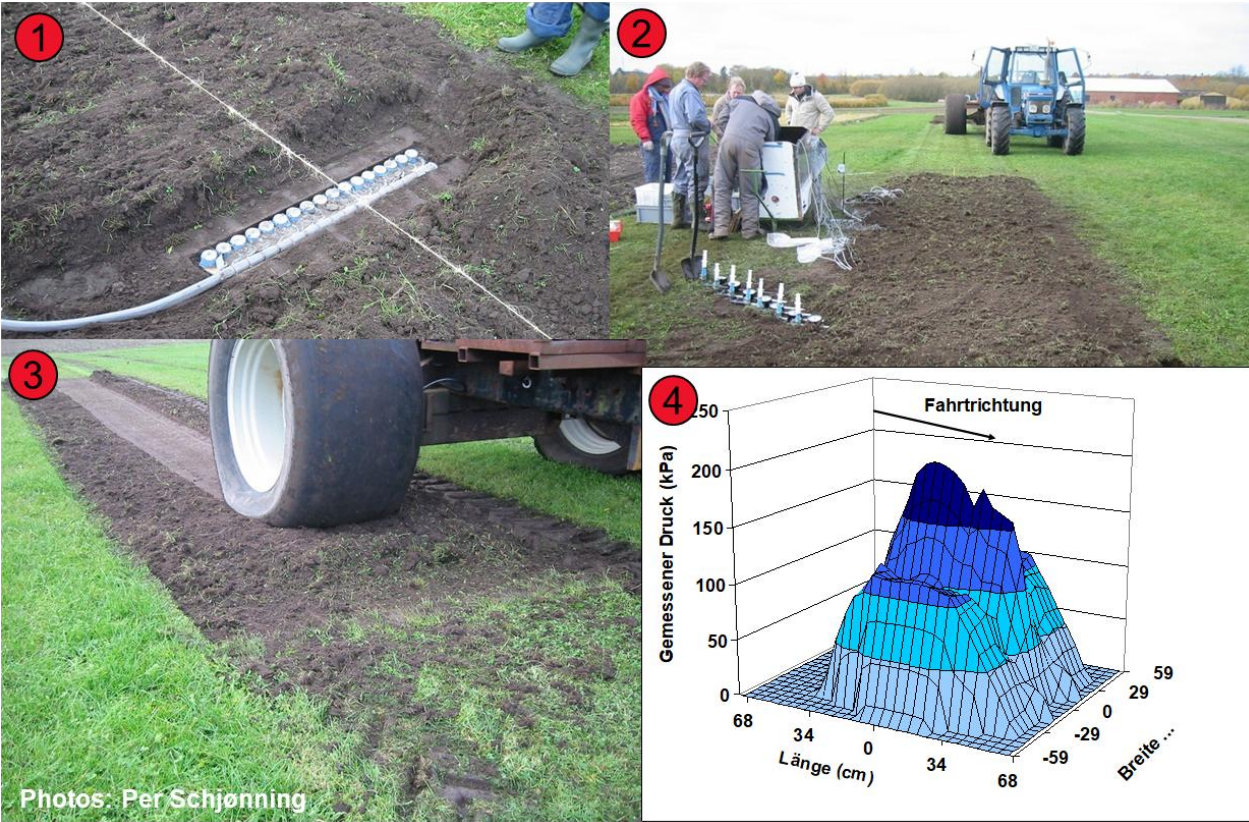
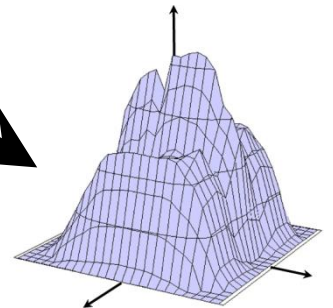
Många mätningar med olika däck, hjullaster, ringtryck



Däckegenskaper (däckdimension, ringtryck, hjullast) och information om markens tillstånd (kompakt, luckrat, mm.)

Modell (ekvationer)
 Ansatz:
 Keller (2005)
 Schjønning *et al.* (2008)

Tryckfördelning



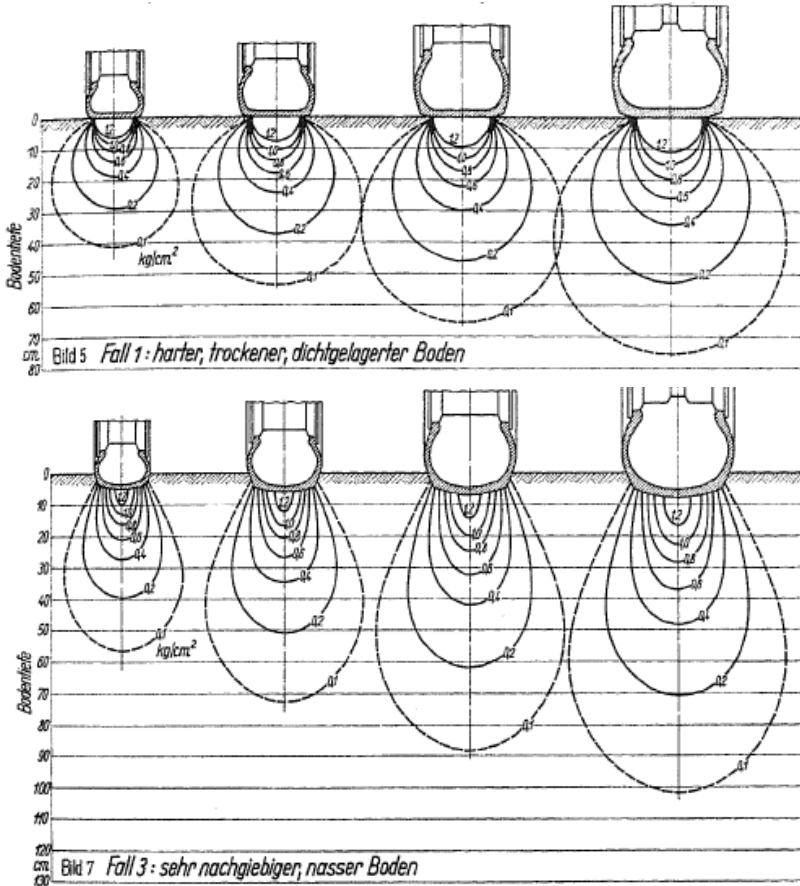
Photos: Per Schjønning

Keller T (2005) A model for prediction of the contact area and the distribution of vertical stress below agricultural tyres from readily-available tyre parameters. *Biosystems Engineering* 92, 85-96.
 Schjønning P, Lamandé M, Tøgersen FA, Arvidsson J & Keller T (2008) Modelling effects of tyre inflation pressure on the stress distribution near the soil-tyre interface. *Biosystems Engineering* 99, 119-133.

Ett liknande modell finns för band
 (Keller & Arvidsson, 2016, *Soil & Tillage Research* 155)

Tryckutbredning i marken: Terranimo[®] använder sig av teori för elastiska homogena material (som dock ofta används för mark)

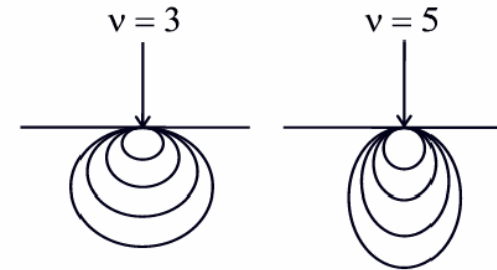
Söhne W (1953) Grundlagen der Landtechnik 5, 49-63.



$$\sigma_r = \sum_{i=0}^{i=n} \frac{v P_i}{2\pi r_i^2} \cos^{v-2} \theta_i$$

(Boussinesq, 1884; Fröhlich, 1934; Söhne, 1953)

v = konzentrationfaktor



Boussinesq J (1885) Application des Potentiels à l'étude de l'équilibre et du Mouvement des Solides Élastiques. Gauthier-Villars, Paris, 30 pp.

Fröhlich OK (1934) Druckverteilung im Baugrunde. Springer Verlag, Wien, 178 pp.

Söhne W (1953) Druckverteilung im Boden und Bodenverformung unter Schlepperreifen. Grundlagen der Landtechnik 5, 49-63.

Tryckutbredning i marken: exempel på jämförelse mellan simuleringar och mätningar

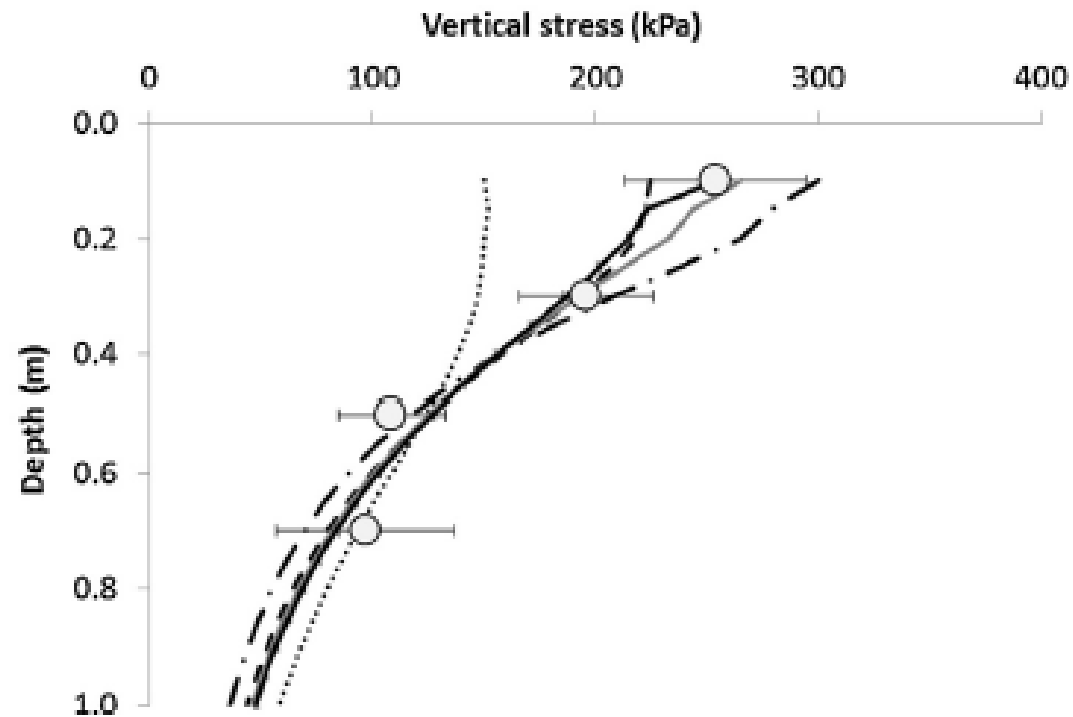
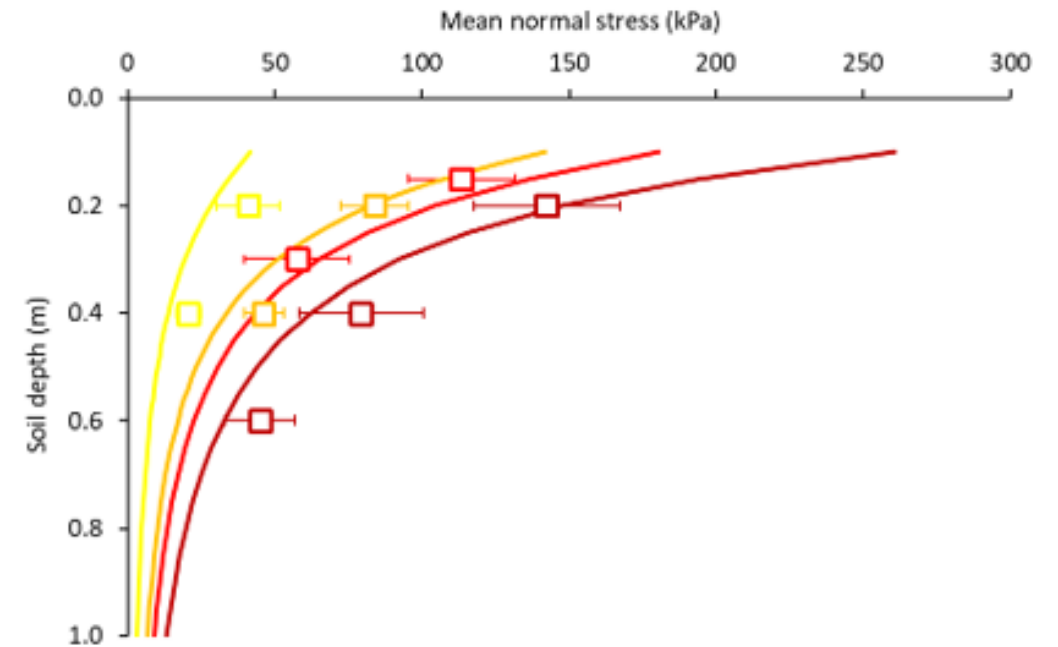


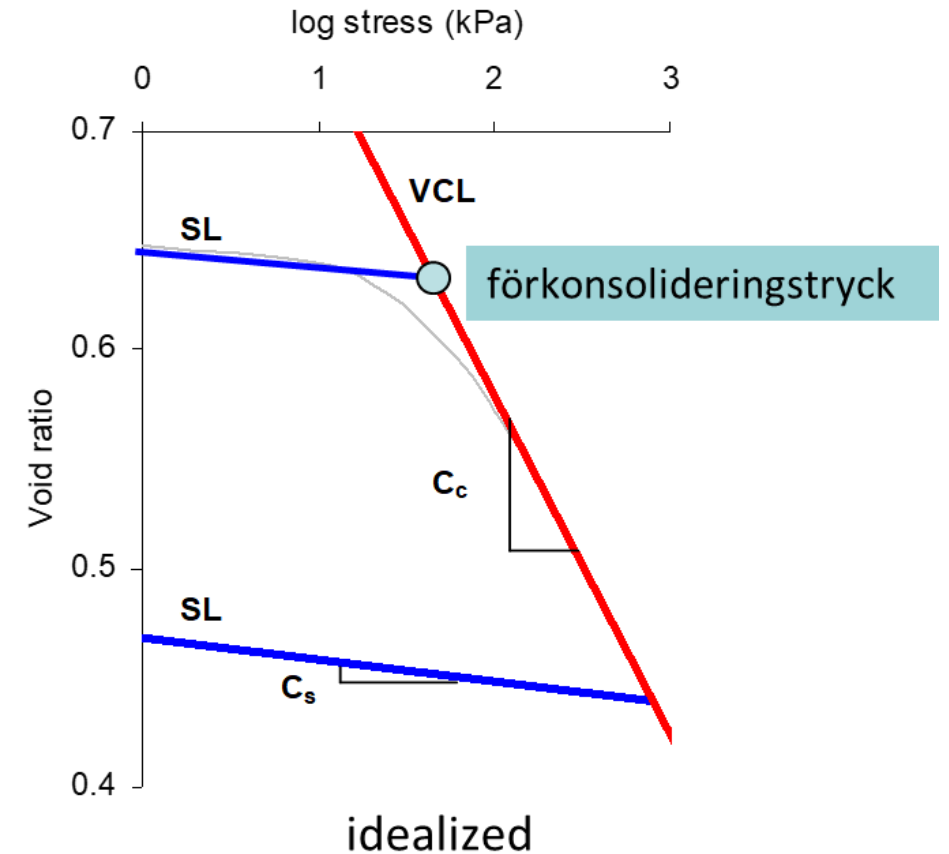
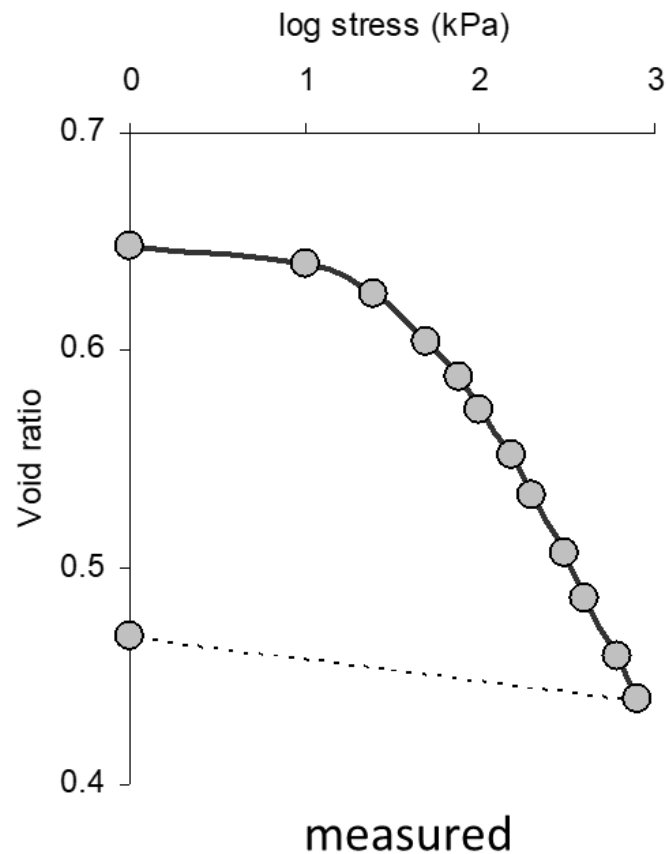
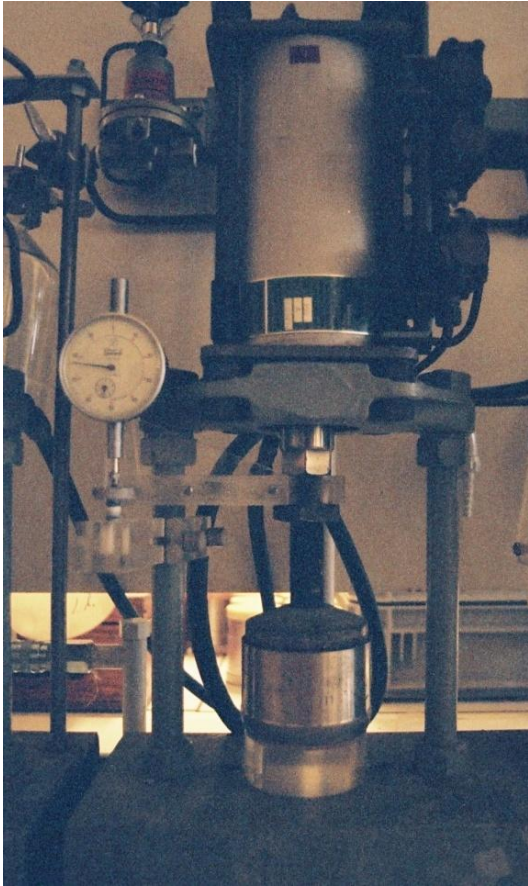
Fig. 4. Measured (circles) and simulated vertical stress beneath the centre of a wheel with a 1050/50R32 tyre with a load of 86 kN and an inflation pressure of 150 kPa using uniform stress (dotted curve; $\nu=5.0$, RMSE = 29.7), parabolic distribution (chain-dotted curve; $\nu=2.5$, RMSE = 17.9), power-law distribution with a power of 1.5 (dashed curve; $\nu=3.2$, RMSE = 14.3), calculated stress distribution with the model of Keller (2005) (grey curve; $\nu=3.6$, RMSE = 13.3) and measured stress distribution (black curve; $\nu=3.8$, RMSE = 14.0) as model input at 0.1 m depth. Error bars indicate standard deviation. See text and Table 5 for details.



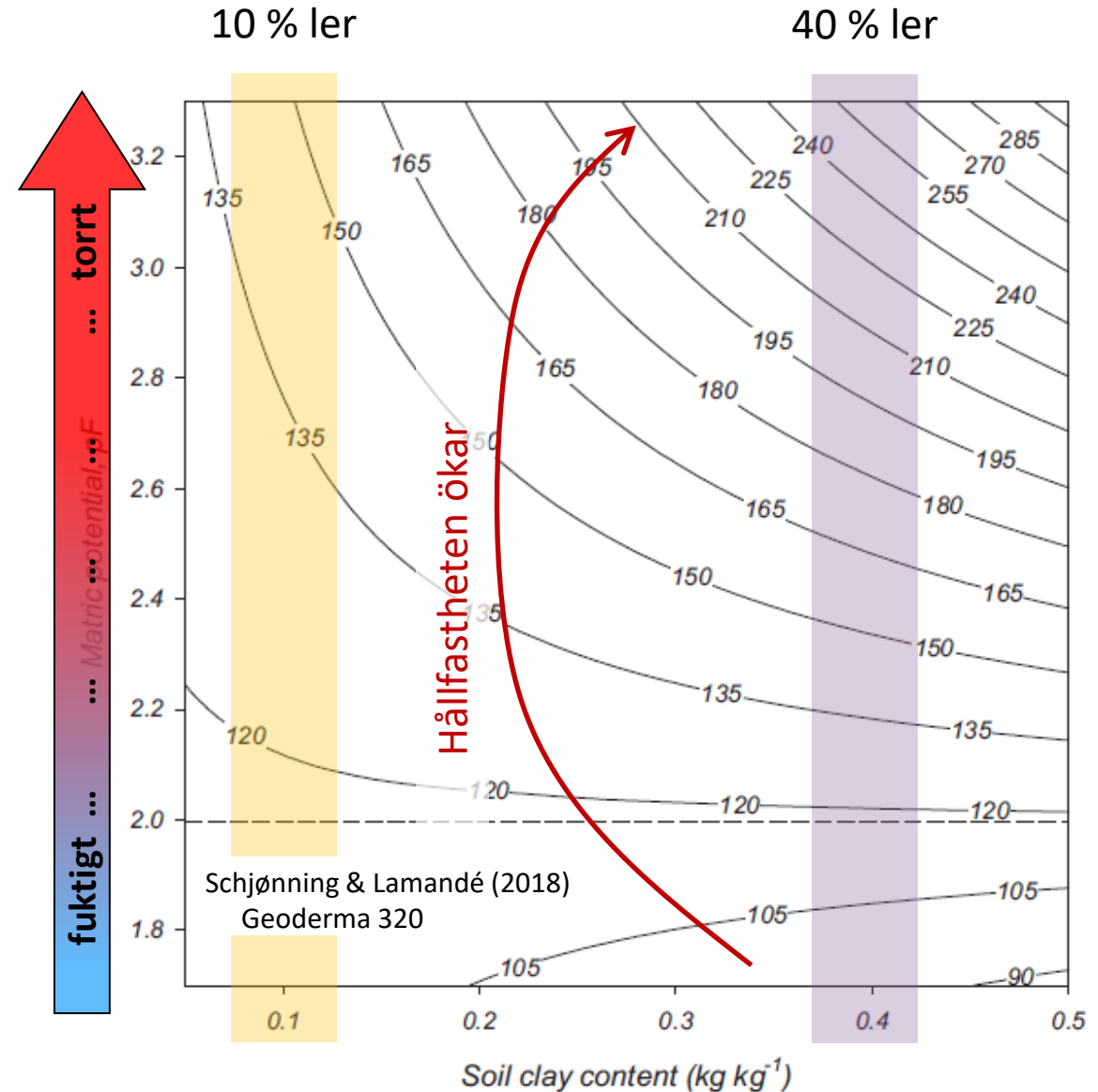
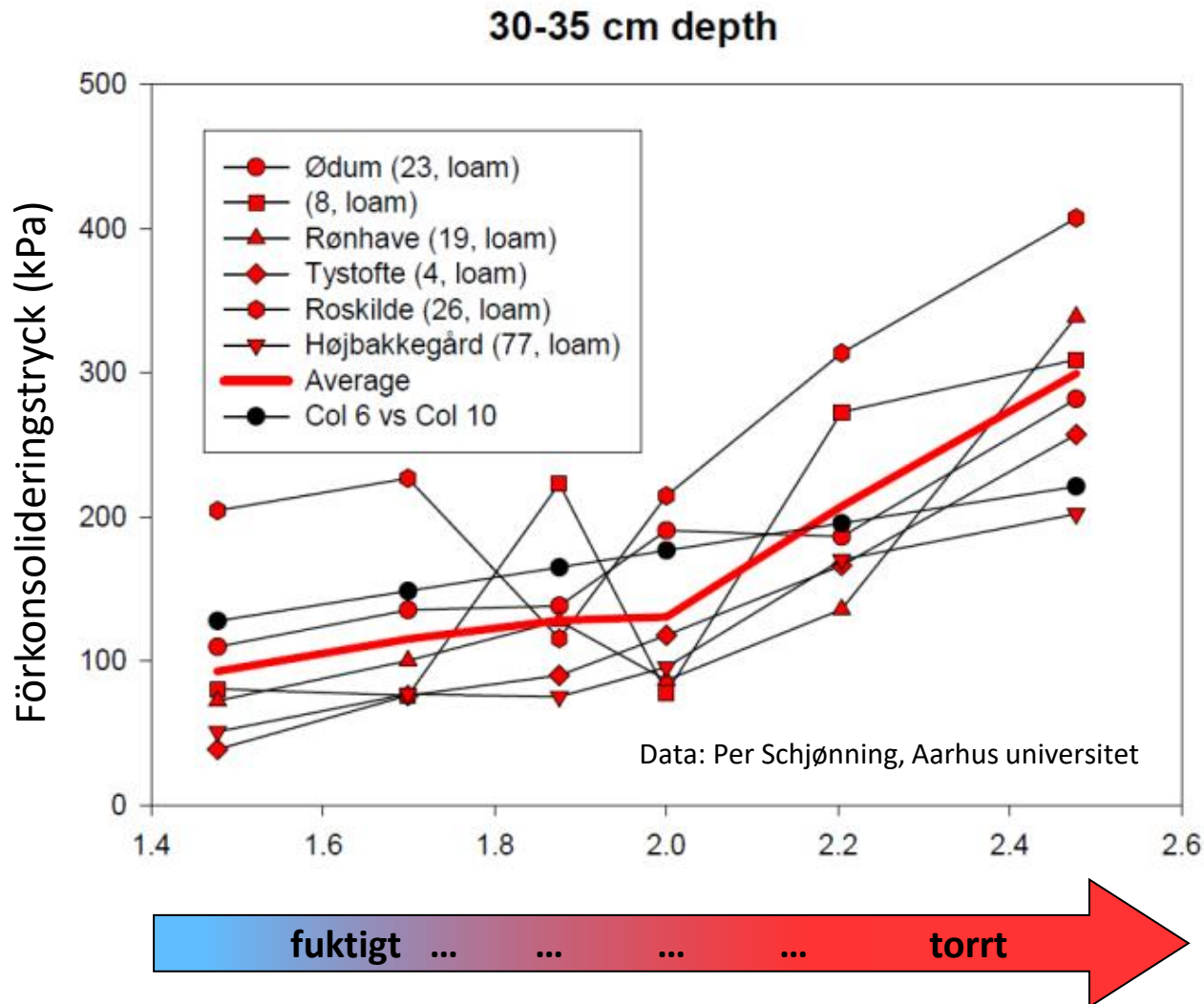
Supplementary Fig. S1. Measured (symbols; error bars denote standard deviation) and simulated mean normal stress for a wheel load of 2 Mg (yellow), 4 Mg (orange), 6 Mg (red) and 9 Mg (dark red). Tyre width and inflation pressure were as follows. 2 Mg wheel load: 600 mm, 100 kPa; 4 Mg wheel load: 710 mm, 160 kPa; 6 Mg wheel load: 900 mm, 210 kPa; 9 Mg wheel load: 1050 mm, 300 kPa. Data: 2 and 4 Mg: Keller et al., unpublished; 6 Mg: Arvidsson et al. (2015); 9 Mg: Keller et al. (2017).

Hållfasthet: Hur mäter man markens mekaniska hållfasthet mot packning?

Man "trycker ihop" ett cylindriskt jordprov i ett "uni-axialt kompressionstest" (uniaxial compression test, "Ödometer-test"). Detta är tänkt att efterlikna situationen (dvs. trycktillståndet) i marken under ett hjul / under ett fordon. Utifrån tryck-deformations-kurvan kan man bestämma en hållfasthet som kallas för "förkonsolideringstryck".



Markens hållfasthet – utifrån många mätningar kan man göra en empirisk modell för uppskattning av hållfastheten



1. Välj maskin

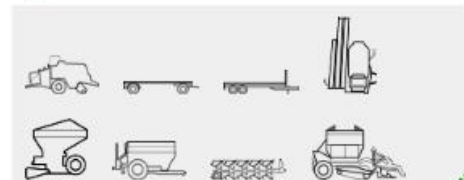
Traktor



Självgående

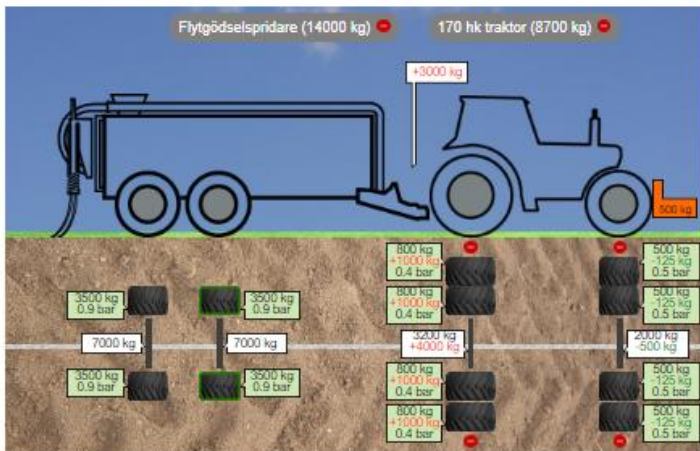


Vagn



Beräkning av viktöverföring

Klicka på däcksymbolen för att ändra däck, hjullast och ringtryck



Med lastöverföring	Utan lastöverföring	Ringtryck
800 kg +1000 kg 0.4 bar	800 kg 0.4 bar	Ringtryck OK
Hjullast (tom) Extra vikt Ringtryck	Hjullast Ringtryck	Ringtryck för lågt
		Ringtryck för högt

2. Konfigurera däck

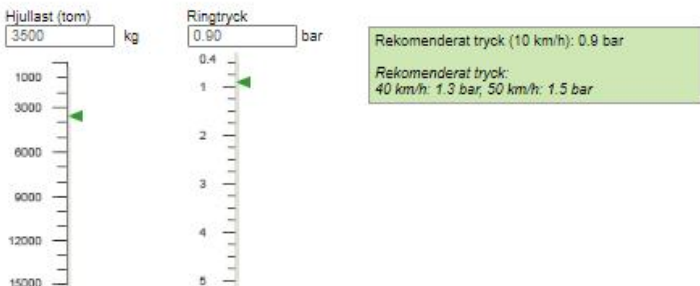
Välj lämpliga parametrar för de valda däcken

Ändra endast en sida **Standarddäck**
 Ändra på båda sidor **Däck-assistent**

Däckkategori:
 Däckbeteckning:

Tillverkare:
 Dimension (Lastindex):

Skriv ut datablad



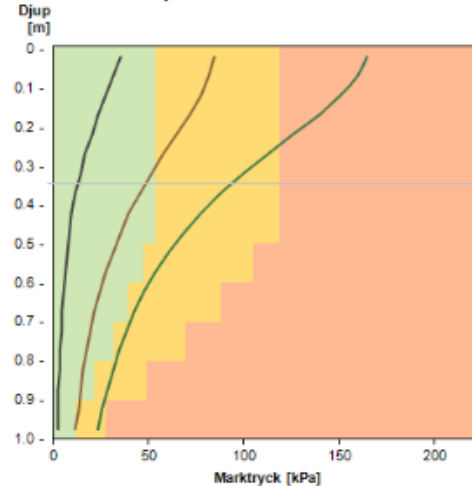
Se resultat

Skriv ut

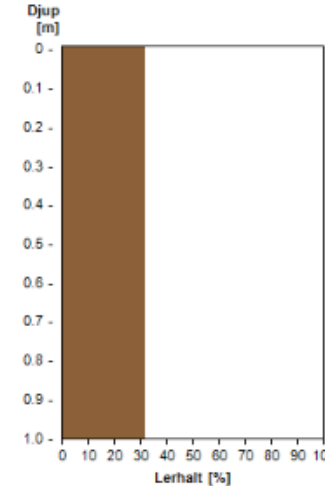
170 hk traktor	Färgdiagram	Visa i diagram	Tillverkare	Däckbeteckning	Däckdimension	Hjullast [kg]	Tryck [bar]
Vänster yttre framhjul		Göm	Michelin	MultiBib	480/65R28	375 kg	0.5 bar
Vänster inre framhjul			Michelin	MultiBib	480/65R28	375 kg	0.5 bar
Höger inre framhjul			Michelin	MultiBib	480/65R28	375 kg	0.5 bar
Höger yttre framhjul			Michelin	MultiBib	480/65R28	375 kg	0.5 bar
Vänster yttre bakhjul		Göm	Michelin	MultiBib	600/65R38	1800 kg	0.4 bar
Vänster inre bakhjul			Michelin	MultiBib	600/65R38	1800 kg	0.4 bar
Höger inre bakhjul			Michelin	MultiBib	600/65R38	1800 kg	0.4 bar
Höger yttre bakhjul			Michelin	MultiBib	600/65R38	1800 kg	0.4 bar

Flytgödselspridare	Färgdiagram	Visa i diagram	Tillverkare	Däckbeteckning	Däckdimension	Hjullast [kg]	Tryck [bar]
Vänster framhjul		Göm	Trelleborg	T421	600/55-26.5	3500 kg	0.9 bar
Höger framhjul			Trelleborg	T421	600/55-26.5	3500 kg	0.9 bar
Vänster bakhjul			Trelleborg	T421	600/55-26.5	3500 kg	0.9 bar
Höger bakhjul			Trelleborg	T421	600/55-26.5	3500 kg	0.9 bar

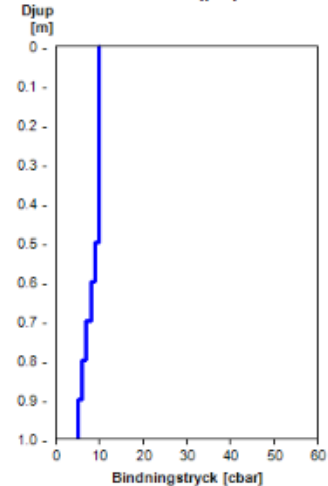
Tryck vs. hållfasthet



Jordens lerhalt



Markens bindningstryck



Kurvorna visar vertikalt marktryck. Gränsen mellan grönt och gult motsvarar 50% av markens uppskattade hållfasthet. Under denna nivå är det ingen risk för markpackning. Gränsen mellan gult och rött motsvarar 110% av markens uppskattade hållfasthet. Över denna nivå kan en permanent packning av marken förväntas.