TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN

Fakulty of Environmental Sciences, Department of Forest Sciences, Professorship of Forest Technology

Ground pressure is a poor indicator for ecological and technical compatibility

Jörn Erler

FORMEC 2015 Linz, 06. Oct. 2015

The vicious circle of ground pressure

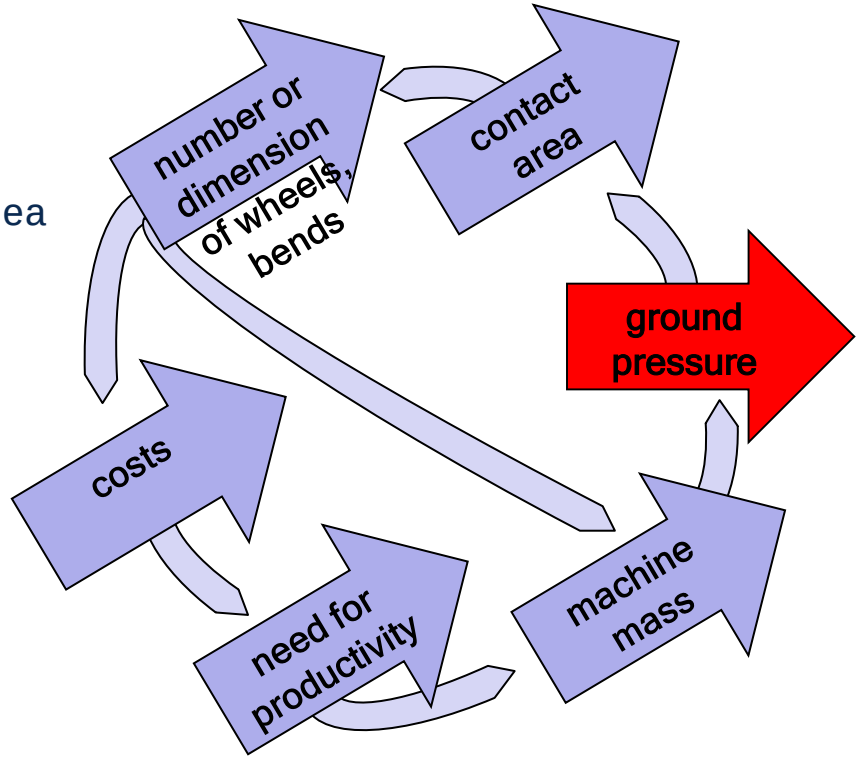
- In forestry specific ground pressure is regarded to be a fine key indicator for
  - ecological compatibility and
  - technical traffic ability

  of forest machines

- To obtain lower ground pressure
  - Option 1: lower wheel load
  - Option 2: increase contact area

- this seems to be a vicious circle

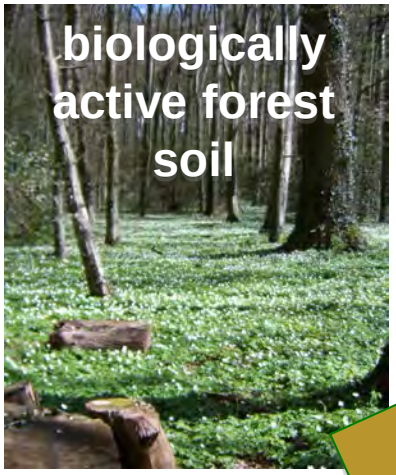
$$\text{specific ground pressure} = \frac{\text{wheel load}}{\text{contact area}}$$



Question: Is specific ground pressure an appropriate indicator?

- physical and ecological basic assumptions
- model structure and assumptions
- 3 hypotheses:
  - ecological compatibility
  - minimization of soil compaction
  - minimization of rut depth
- conclusion

First step of degradation of forest soils by machinery

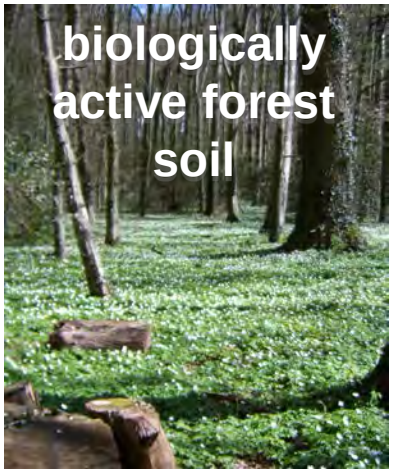


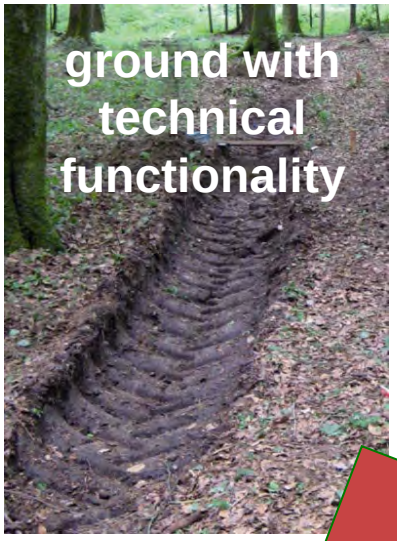
- possible as long as biological processes can take place
- depends on oxygen in the air tubes inside the soil

model assumption

- ecological recreation happens when the maximum impact is not higher than **50 kPa**

Second step of degradation of forest soils by machinery





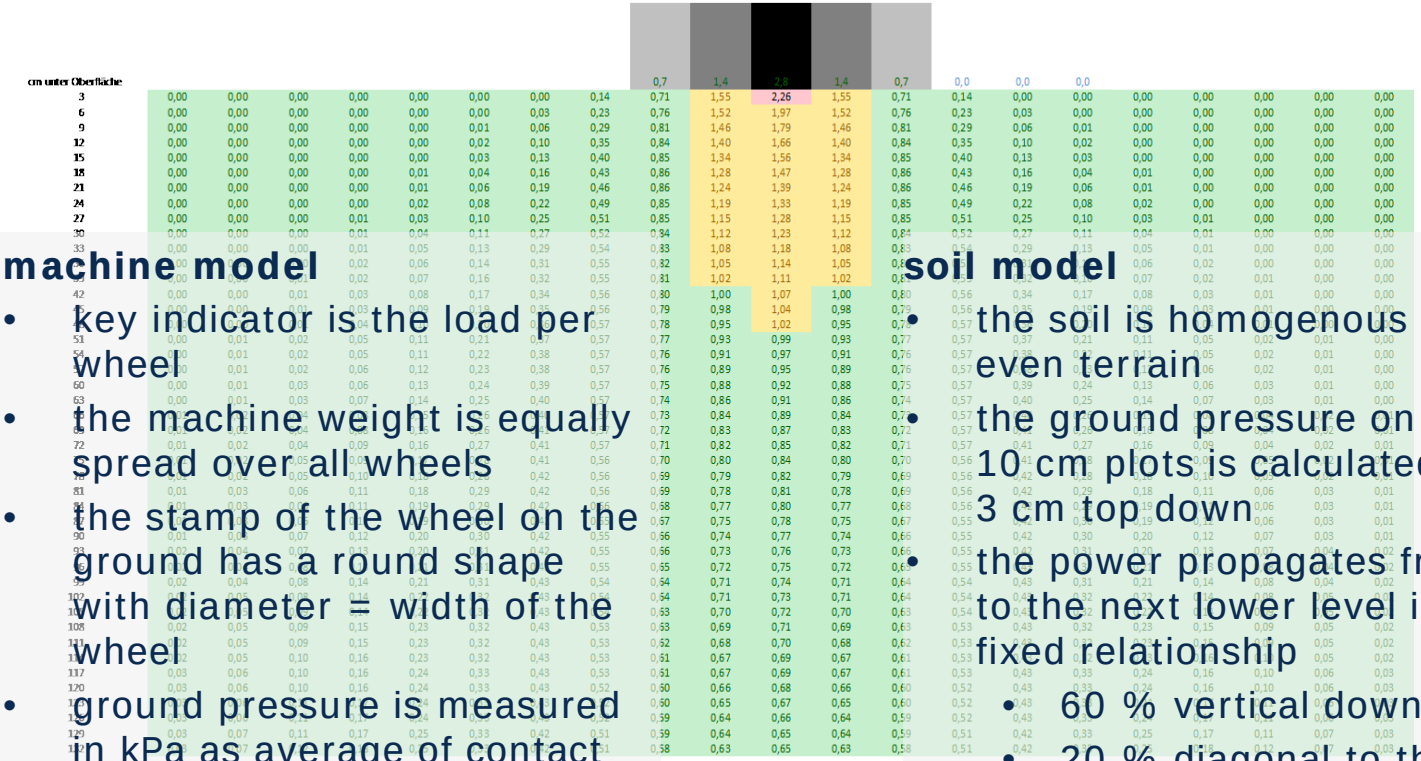
Technical repair

- technically destroyed soils need mechanical input for repairing technical function
- In practice ruts should not be so deep that water will transform them to pits

model assumption

- the rut depth is a rough but accepted indicator for technical bearing capacity of the soil
- for modeling a rut depth of **20 cm** will be seen as acceptable limit

The basic model assumptions



cm unter Oberfläche																							
									0,7	1,4	2,8	1,4	0,7	0,0	0,0	0,0							
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14	0,71	1,55	2,26	1,55	0,71	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,23	0,76	1,52	1,97	1,52	0,76	0,23	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,06	0,29	0,81	1,46	1,79	1,46	0,81	0,29	0,06	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,10	0,35	0,84	1,40	1,66	1,40	0,84	0,35	0,10	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,13	0,40	0,85	1,34	1,56	1,34	0,85	0,40	0,13	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,04	0,16	0,43	0,86	1,28	1,47	1,28	0,86	0,43	0,16	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,06	0,19	0,46	0,86	1,24	1,39	1,24	0,86	0,46	0,19	0,06	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,08	0,22	0,49	0,85	1,19	1,33	1,19	0,85	0,49	0,22	0,08	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
27	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,10	0,25	0,51	0,85	1,15	1,28	1,15	0,85	0,51	0,25	0,10	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
30	0,00	0,00	0,00	0,01	0,04	0,11	0,27	0,52	0,84	1,12	1,23	1,12	0,84	0,52	0,27	0,11	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
33	0,00	0,00	0,00	0,01	0,05	0,13	0,29	0,54	0,83	1,08	1,18	1,08	0,83	0,54	0,29	0,13	0,05	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
36	0,00	0,00	0,00	0,02	0,06	0,14	0,31	0,55	0,82	1,05	1,14	1,05	0,82	0,55	0,31	0,14	0,06	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
39	0,00	0,00	0,01	0,02	0,07	0,16	0,32	0,55	0,81	1,02	1,11	1,02	0,81	0,55	0,32	0,16	0,07	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
42	0,00	0,00	0,01	0,03	0,08	0,17	0,34	0,56	0,80	1,00	1,07	1,00	0,80	0,56	0,34	0,17	0,08	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
45	0,00	0,00	0,01	0,03	0,08	0,18	0,35	0,56	0,79	0,98	1,04	0,98	0,79	0,56	0,35	0,18	0,08	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
48	0,00	0,00	0,01	0,03	0,09	0,18	0,35	0,57	0,78	0,95	1,02	0,95	0,78	0,57	0,35	0,18	0,09	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
51	0,00	0,01	0,02	0,05	0,11	0,21	0,37	0,57	0,77	0,93	0,99	0,93	0,77	0,57	0,37	0,21	0,11	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
54	0,00	0,01	0,02	0,05	0,11	0,22	0,38	0,57	0,76	0,91	0,97	0,91	0,76	0,57	0,38	0,22	0,11	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
57	0,00	0,01	0,02	0,06	0,12	0,23	0,38	0,57	0,76	0,89	0,95	0,89	0,76	0,57	0,38	0,23	0,12	0,06	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
60	0,00	0,01	0,03	0,06	0,13	0,24	0,39	0,57	0,75	0,88	0,92	0,88	0,75	0,57	0,39	0,24	0,13	0,06	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00
63	0,00	0,01	0,03	0,07	0,14	0,25	0,40	0,57	0,74	0,86	0,91	0,86	0,74	0,57	0,40	0,25	0,14	0,07	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00
66	0,00	0,01	0,03	0,07	0,15	0,26	0,40	0,57	0,73	0,84	0,89	0,84	0,73	0,57	0,40	0,26	0,15	0,07	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00
69	0,00	0,01	0,03	0,08	0,15	0,26	0,41	0,57	0,72	0,83	0,87	0,83	0,72	0,57	0,41	0,26	0,15	0,08	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00
72	0,01	0,02	0,04	0,09	0,16	0,27	0,41	0,57	0,71	0,82	0,85	0,82	0,71	0,57	0,41	0,27	0,16	0,09	0,04	0,02	0,01	0,00	0,00
75	0,01	0,02	0,04	0,09	0,16	0,27	0,41	0,56	0,70	0,80	0,84	0,80	0,70	0,56	0,41	0,27	0,16	0,09	0,04	0,02	0,01	0,00	0,00
78	0,01	0,02	0,05	0,10	0,17	0,28	0,42	0,56	0,69	0,79	0,82	0,79	0,69	0,56	0,42	0,28	0,17	0,10	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00
81	0,01	0,03	0,06	0,11	0,18	0,29	0,42	0,56	0,69	0,78	0,81	0,78	0,69	0,56	0,42	0,29	0,18	0,11	0,06	0,03	0,01	0,00	0,00
84	0,01	0,03	0,06	0,11	0,19	0,29	0,42	0,56	0,68	0,77	0,80	0,77	0,68	0,56	0,42	0,29	0,19	0,11	0,06	0,03	0,01	0,00	0,00
87	0,01	0,03	0,06	0,12	0,19	0,30	0,42	0,55	0,67	0,75	0,78	0,75	0,67	0,55	0,42	0,30	0,19	0,12	0,06	0,03	0,01	0,00	0,00
90	0,01	0,03	0,07	0,12	0,20	0,30	0,42	0,55	0,66	0,74	0,77	0,74	0,66	0,55	0,42	0,30	0,20	0,12	0,07	0,03	0,01	0,00	0,00
93	0,02	0,04	0,08	0,13	0,20	0,30	0,42	0,55	0,66	0,73	0,76	0,73	0,66	0,55	0,42	0,30	0,20	0,13	0,07	0,03	0,01	0,00	0,00
96	0,02	0,04	0,08	0,14	0,21	0,31	0,43	0,55	0,65	0,72	0,75	0,72	0,65	0,55	0,43	0,31	0,21	0,14	0,08	0,04	0,02	0,01	0,00
99	0,02	0,04	0,08	0,14	0,21	0,31	0,43	0,54	0,64	0,71	0,74	0,71	0,64	0,54	0,43	0,31	0,21	0,14	0,08	0,04	0,02	0,01	0,00
102	0,02	0,04	0,08	0,14	0,21	0,31	0,43	0,54	0,64	0,71	0,73	0,71	0,64	0,54	0,43	0,32	0,21	0,14	0,08	0,04	0,02	0,01	0,00
105	0,02	0,04	0,08	0,14	0,21	0,31	0,43	0,53	0,63	0,70	0,72	0,70	0,63	0,53	0,43	0,32	0,21	0,14	0,08	0,04	0,02	0,01	0,00
108	0,02	0,05	0,09	0,15	0,23	0,32	0,43	0,53	0,63	0,69	0,71	0,69	0,63	0,53	0,43	0,32	0,23	0,15	0,09	0,05	0,02	0,01	0,00
111	0,02	0,05	0,09	0,15	0,23	0,32	0,43	0,53	0,62	0,68	0,70	0,68	0,62	0,53	0,43	0,32	0,23	0,15	0,09	0,05	0,02	0,01	0,00
114	0,02	0,05	0,10	0,16	0,23	0,32	0,43	0,53	0,61	0,67	0,69	0,67	0,61	0,53	0,43	0,33	0,23	0,16	0,10	0,05	0,02	0,01	0,00
117	0,03	0,06	0,10	0,16	0,24	0,33	0,43	0,53	0,61	0,67	0,69	0,67	0,61	0,53	0,43	0,33	0,24	0,16	0,10	0,06	0,03	0,01	0,00
120	0,03	0,06	0,10	0,16	0,24	0,33	0,43	0,52	0,60	0,66	0,68	0,66	0,60	0,52	0,43	0,33	0,24	0,16	0,10	0,06	0,03	0,01	0,00
123	0,03	0,06	0,10	0,16	0,24	0,33	0,42	0,52	0,60	0,65	0,67	0,65	0,60	0,52	0,43	0,33	0,24	0,16	0,10	0,06	0,03	0,01	0,00
126	0,03	0,06	0,10	0,16	0,24	0,33	0,42	0,52	0,59	0,64	0,66	0,64	0,59	0,52	0,43	0,33	0,24	0,16	0,10	0,06	0,03	0,01	0,00
129	0,03	0,07	0,11	0,17	0,25	0,33	0,42	0,51	0,59	0,64	0,65	0,64	0,59	0,51	0,42	0,33	0,25	0,17	0,11	0,07	0,03	0,01	0,00
132	0,03	0,07	0,11	0,17	0,25	0,33	0,42	0,51	0,58	0,63	0,65	0,63	0,58	0,51	0,42	0,33	0,25	0,17	0,11	0,07	0,03	0,01	0,00

machine model

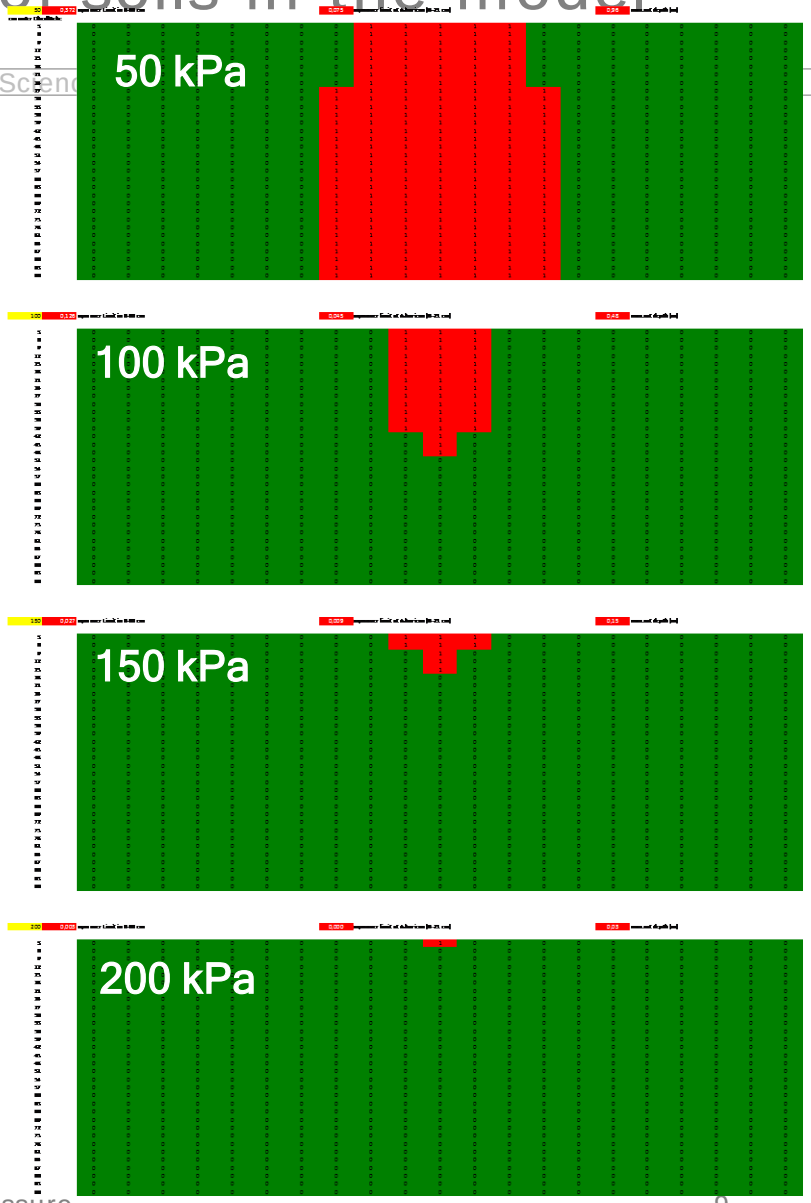
- key indicator is the load per wheel
- the machine weight is equally spread over all wheels
- the stamp of the wheel on the ground has a round shape with diameter = width of the wheel
- ground pressure is measured in kPa as average of contact zone
- the deviation of the ground pressure follows roughly a normal deviation = maximum in the center of the wheel

soil model

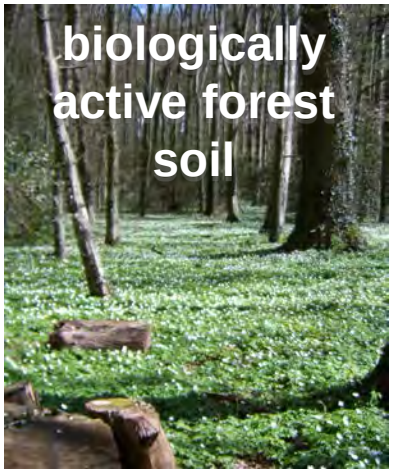
- the soil is homogenous and on even terrain
- the ground pressure on 10 by 10 cm plots is calculated every 3 cm top down
- the power propagates from top to the next lower level in a fixed relationship
  - 60 % vertical down
  - 20 % diagonal to the neighboring plot on each side (only two dimensions!)

Different stability of soils in the model

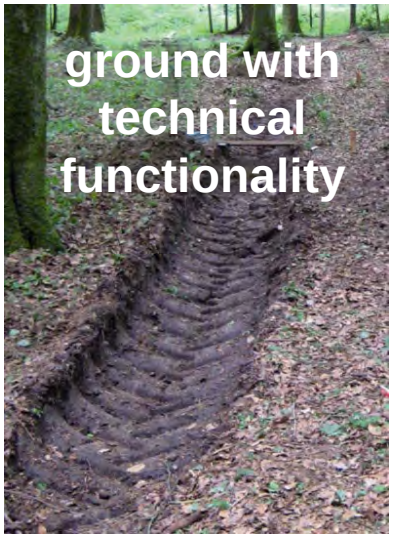
- stability indicated in kPa
- impact indicators
  - green = impact at bearing capacity or less
  - red = impact over bearing capacity
- 4 classes
  - soft soil 50 kPa
  - moderate soil 100 kPa
  - tight soil 150 kPa
  - adamant soil 200 kPa
- example tractor
  - machine weight 10 t
  - 4 wheels
  - wheel width 45 cm = 0.16 sqm contact area per wheel
  - on soft soil: area of impacted soil increases, machine will get stuck
  - on tight or adamant soil: rut depth is 15 or 3 cm, respectively



H1: Ecological compatibility



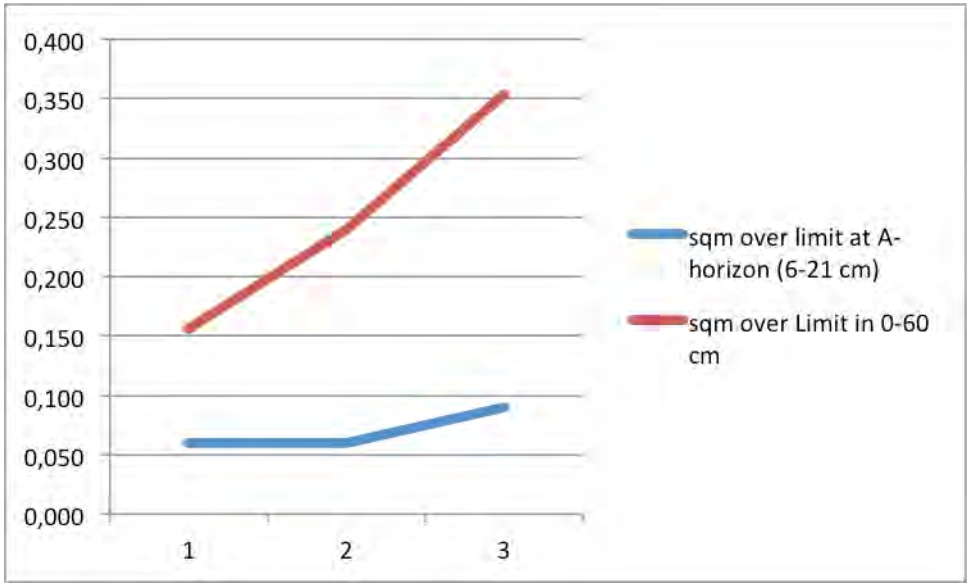
Heavy machines can be ecologically compatible by means of wider wheels



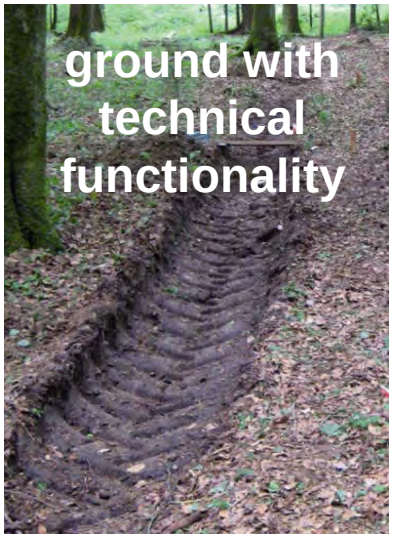
H1: Ecological compatibility

Heavy machines can be ecologically compatible by means of wider wheels.

- Fixed: 4 wheels, 50 kPa
- variables: machine mass and adequate contact area per wheel
  - 1: 10 t, 0.50 sqm
  - 2: 15 t, 0.75 sqm
  - 3: 20 t, 1.00 sqm
- results:
  - Impact in upper 20 cm and upper 60 cm increases with machine weight
  - only light machines fulfill the demand for ecological sound mechanization



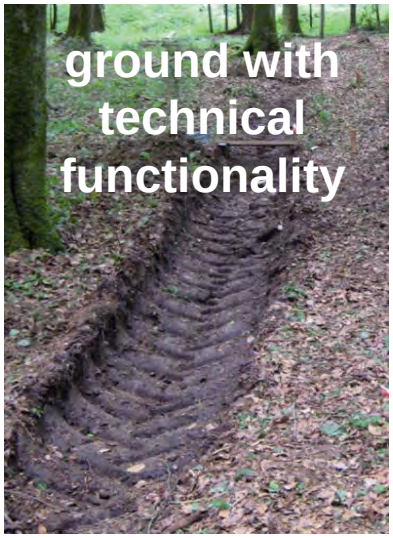
H1: Ecological compatibility



H2: Minimal degradation of fertile soil

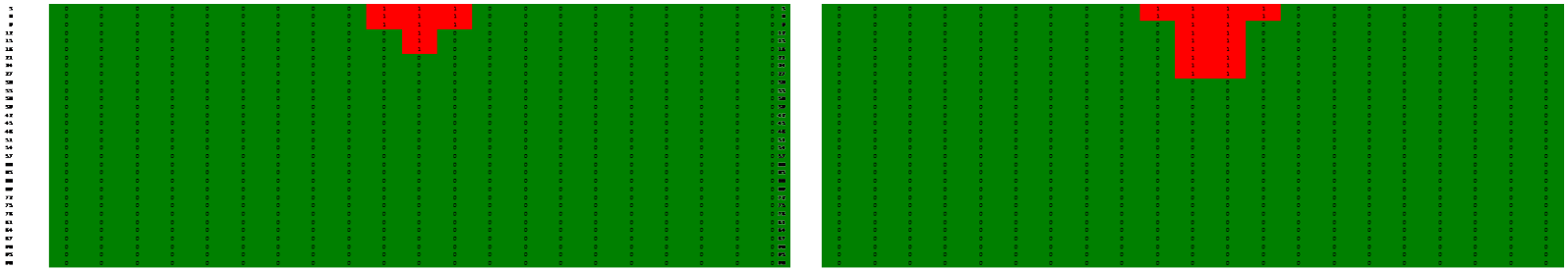
Theses 1: Only light machines fulfill the demand for ecological sound mechanization

The volume of compacted soil can be minimized by wider wheels.



H2: Minimal degradation of fertile soil

The volume of compacted soil can be minimized by wider wheels.



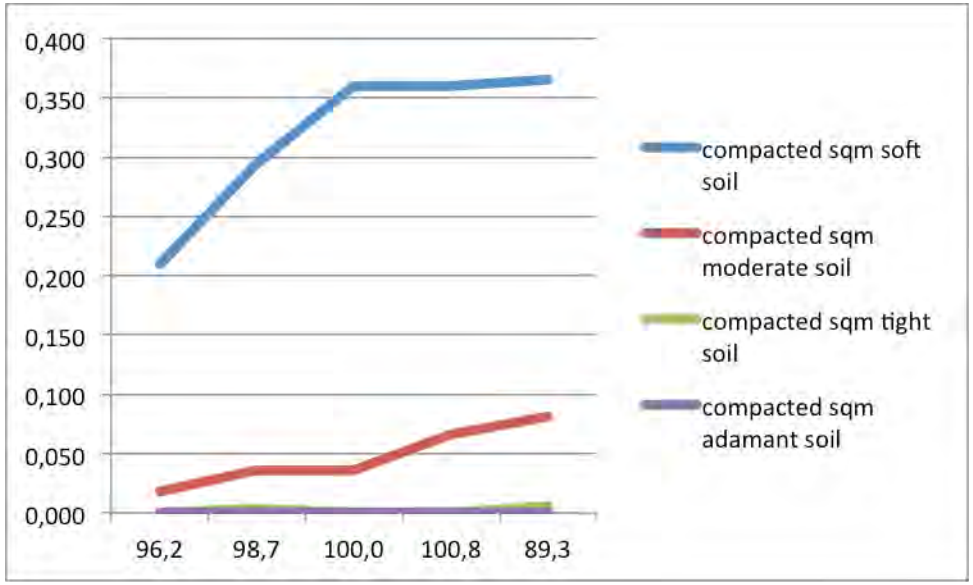
- Moderate soil
- 15 t, 8 wheels, 0.19 sqm = 100 kPa
- Compacted: 0.04 sqm

- Moderate soil
- 25 t, 8 wheels, 0.31 sqm = 100 kPa
- Compacted: 0.07 sqm

- Result: soil compaction increases with absolute wheel load

H2: Minimal degradation of fertile soil

- fixed: ground pressure 100 kPa, 8 wheels
- variable: different weights and adequate wheel widths
  - 1: 10 t, 0.13 sqm
  - 2: 15 t, 0.19 sqm
  - 3: 20 t, 0.25 sqm
  - 4: 25 t, 0.31 sqm
  - 5: 30 t, 0.42 sqm



- In face of invariable ground pressure, light machines cause significantly less soil compaction

H2: Minimal degradation of fertile soil

H3: Lowering the rut depths

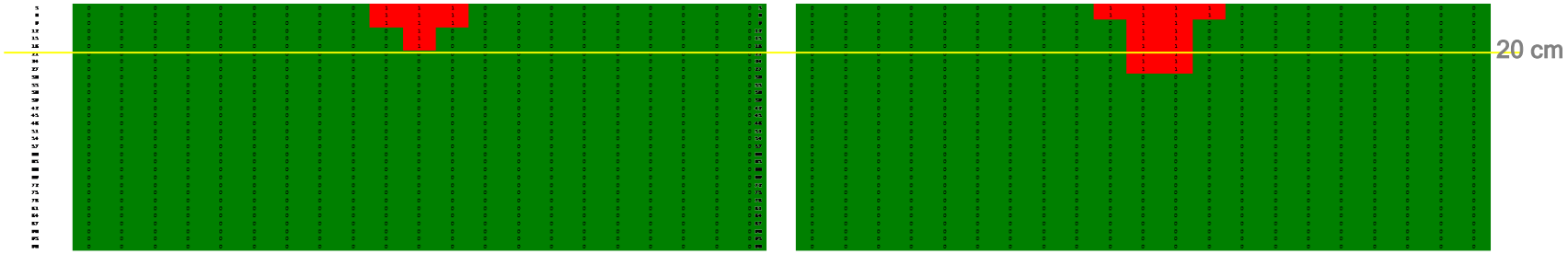
Theses 1: Only light machines fulfill the demand for ecological sound mechanization

Theses 2: Only light machines cause less soil compaction

Rut depth can be limited by wider wheels.

H3: Lowering the rut depths

Rut depth can be limited by wider wheels.



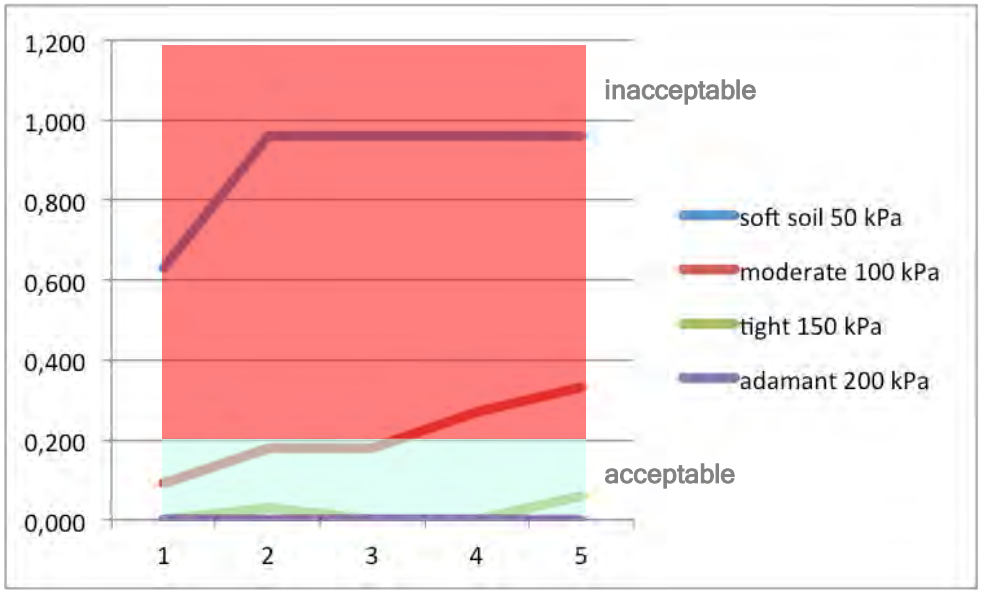
- Moderate soil
- 15 t, 8 wheels, 0.19 sqm = 100 kPa
- Rut depth: 0.18 cm

- Moderate soil
- 25 t, 8 wheels, 0.31 sqm = 100 kPa
- Rut depth: 0.27 cm

- Result: ruts get deeper with increasing wheel load

H3: Lowering the rut depths

- fixed: ground pressure 100 kPa, 8 wheels
- variable: different weights and adequate wheel widths
- Increasing weights cause deeper ruts



H3: Lowering the rut depths

Theses 1: Only light machines fulfill the demand for ecological sound mechanization

Theses 2: Only light machines cause less soil compaction

Theses 3: Only light machines can keep the rut depth on acceptable level

Conclusion

$$\text{specific ground pressure} = \frac{\text{wheel load}}{\text{contact area}}$$

- Is specific ground pressure an appropriate indicator?
- The vicious circle …
  will not end as long as we only look at the specific ground pressure
- In future in addition to specific ground pressure the absolute axle load has to be regarded as well