



Kaasrahanud
Euroopa Liit

AKIS

Eesti põllumajanduse
teadmussiirde- ja
innovatsioonisüsteem

Toitainete käitumine mullas ja leostumine Toiteelementide bilanss mullas

Alar Astover, mullateaduse professor

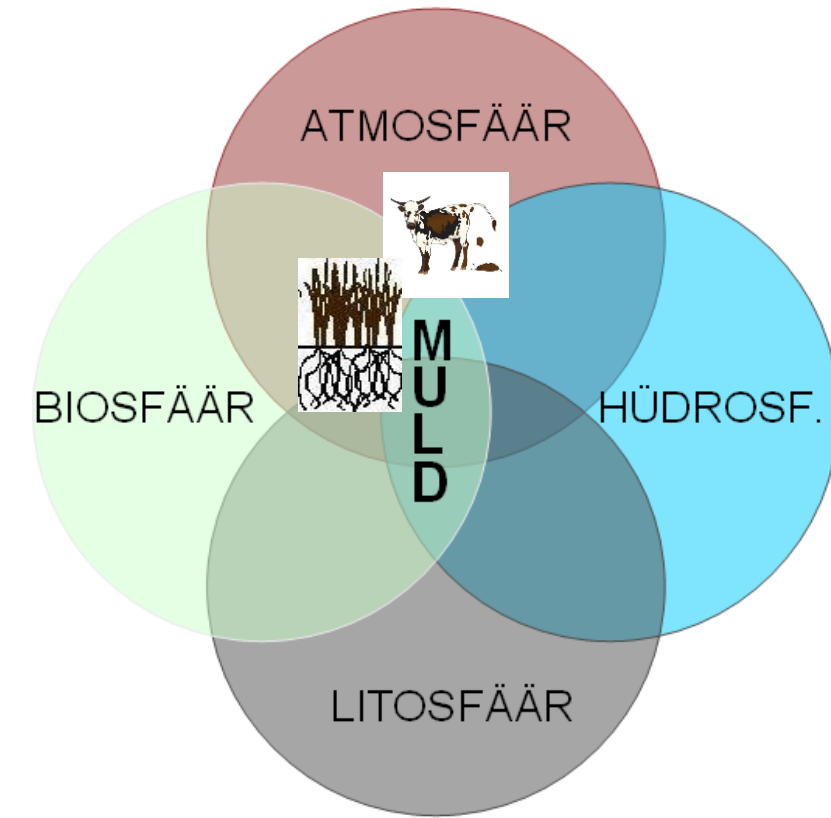
Eesti Maaülikool, põllumajandus- ja keskkonnainstituut, mullateaduse õppetool



07.10.2026

Põllumajandus ja kestlikkus – tasakaal produktiivsuse, tasuvuse ja keskkonnamõjude vahel

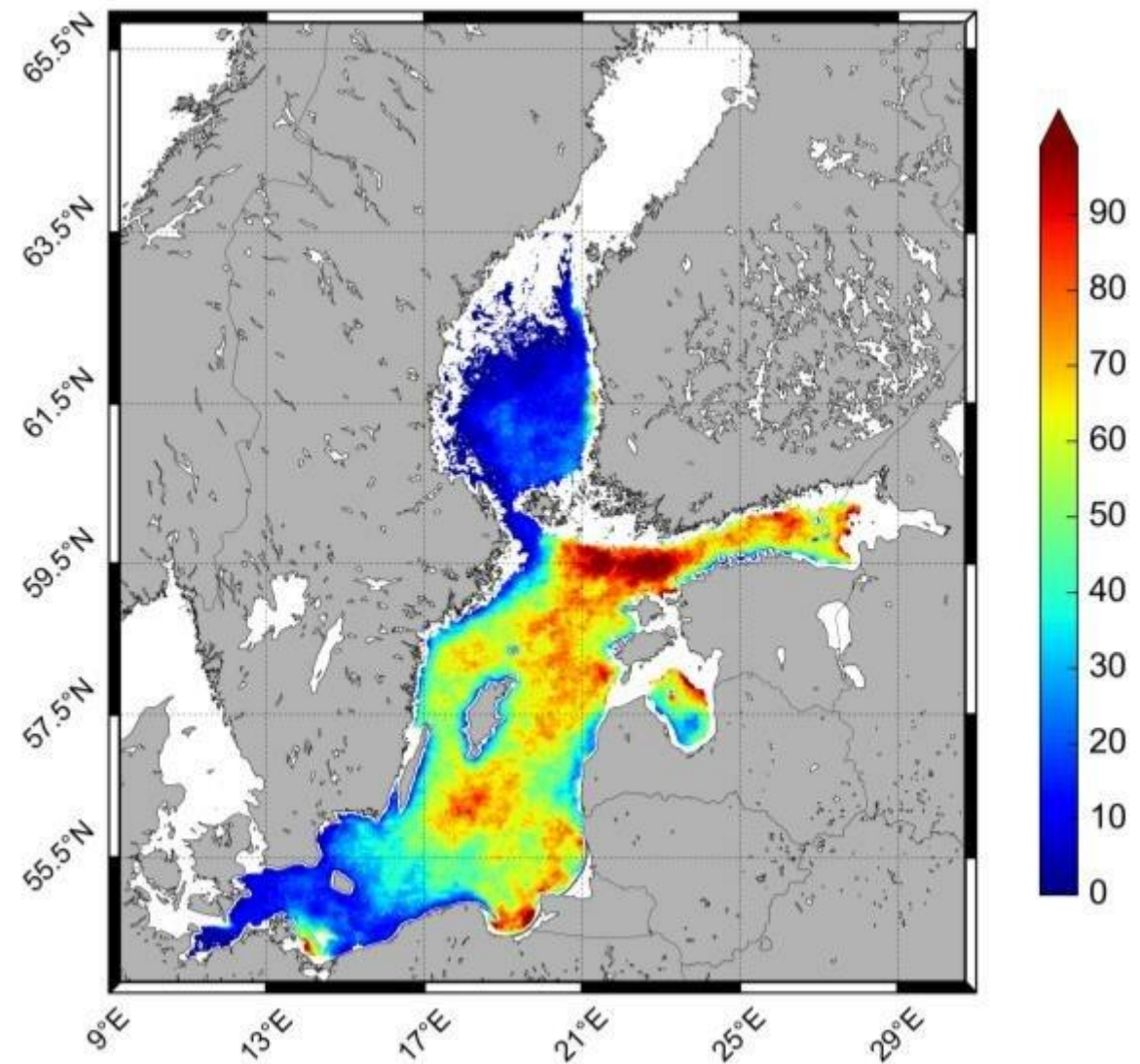
- Iga inimtegevus, sh põllumajandus mõjutab paratamult looduskeskkonda
- Mis mida või keda (**vesi**, õhk, muld, elustik) ohustab?
- Mis ohustab veekogumeid?
 - Saasteained (pestitsiidid ja nende laguproduktid, ravimijäägid, raskmetallid, mikro/nanoplast, ...)
 - **Toiteelemendid N ja P liigses koguses** (need ringlevad ka inim mõjutab ökosüsteemis, ent põllumajanduses suuremad vood ja kadude riskid suurenevad)
- Punktreostus, hajukoormus
- Ainete vood ja muundumise protsessid olemuselt siiski kõik ülimalt lokaalsed! Seda eriti taim-muld süsteemis.



- Läänemeri õitseb

Päevade arv, mil juuni kuni august on tuvastatud tsüanobakterite ohtrus

Meie pinna- ja põhjavee seisund on kehvamaks muutumas



The number of days of detected surface accumulations of cyanobacteria in June–August using satellite remote sensing in years 2002–2015, NASA Aqua-MODIS processed by SMHI.

Karlson, Bengt & Eilola, Kari & Johansson, Johannes & Linders, Johanna & Mohlin, Malin & Willstrand Wranne, Anna & Wåhlström, Iréne. (2017). Distribution of cyanobacteria blooms in the Baltic Sea.



- **Taimetoiteelement** on keemiline elemente (N, P, K jne), mis on vajalik taime kasvamiseks ja arenemiseks ning millest ühtegi ei ole talle omaste funktsioonide tõttu võimalik asendada mõne teise keemilise elemendiga.
- **Taimetoitaine** on ioon või molekul, millena taime neid elemente omastab. Mittemineraalseid elemente (H, C, O) omastab taime peamiselt veest ja süsihappegaasist. Mineraalseid elemente saab taime põllumullast peamiselt lahustunud ionide kujul:
 - anioonidena (nt NO_3^- , H_2PO_4^- , HPO_4^{2-}) või
 - katioonidena (nt NH_4^+ , K^+).
- **Bilanss** on arvutuslik näitaja, mis leitakse ajas ja ruumis kokkulepitud süsteemi piires konkreetse elemendi sisendite ja väljundite vahena.
- Seda arvestatakse enamasti elemendi üldkoguste alusel.

17+ hädavajalikku taimetoiteelementi

Taimede toitumisviisid:

- Lahustunud ioonidena (peamiselt juurte kaudu mullalahusest) – lämmastik nt NH_4^+ ja NO_3^-
 - Difusiooniga
 - Vee massivooga
- Lehtede kaudu
- Sümbioos mükoriisaga

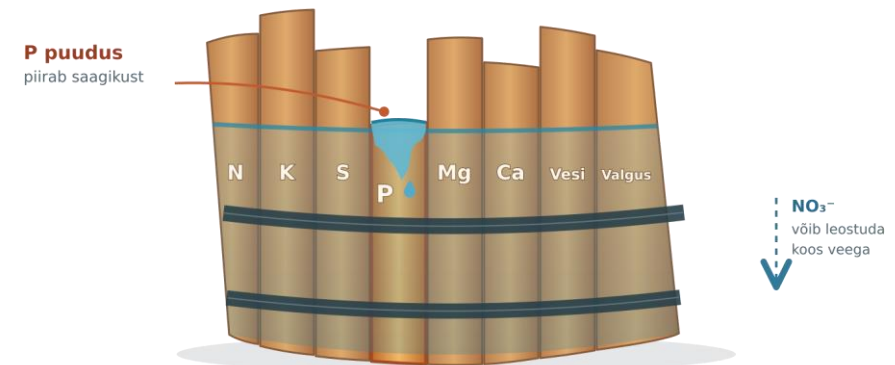
Taimetoiteelement	Taimetoitaine (peamised omastamise vormid)
Süsinik – C	$\text{CO}_2, \text{H}_2\text{CO}_3$
Vesinik – H	$\text{H}^+, \text{OH}^-, \text{H}_2\text{O}$
Hapnik – O	O_2
Lämmastik – N	$\text{NO}_3^-, \text{NH}_4^+, (\text{aminohapped})$
Fosfor – P	$\text{HPO}_4^{2-}, \text{H}_2\text{PO}_4^-$
Kaalium – K	K^+
Kaltsium – Ca	Ca^{2+}
Magneesium – Mg	Mg^{2+}
Väävel – S	SO_4^-
Boor – B	$\text{H}_3\text{BO}_3, \text{BO}_3^-$
Vask – Cu	Cu^{2+}
Raud – Fe	$\text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+}$
Mangaan – Mn	Mn^{2+}
Tsink – Zn	Zn^{2+}
Molübdeen – Mo	MoO_4^-
Kloor – Cl	Cl^-
Koobalt – Co	Co^{2+}
Nikkel – Ni	Ni^{2+}

Taimele ja mulla elustikule ei piisa ainult sellest, et tal drik on toiduga täidetud, vaid ruum (muld) peab ka soe, ilus ja mugav olema ... toitumistingimused on rohkemat kui toiteelemendid.

... seega muld peab laiemas vaates "heas" seisundis olema.

Liebigi tünn: miinimumseadus

Saaki piirab kõige napim vajalik kasvutegur

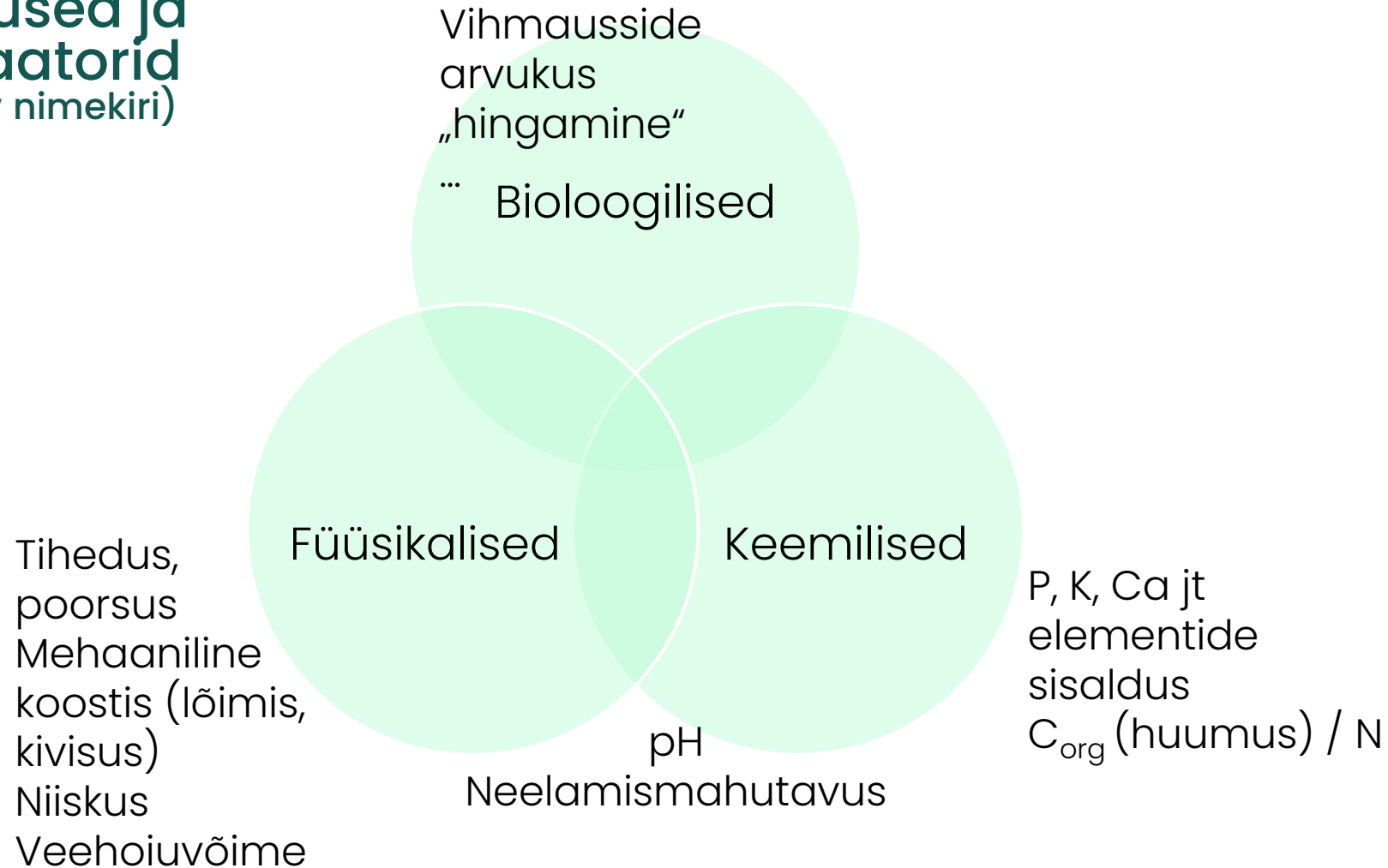


Näide: fosforipuudust ei korva teiste tegurite parem kättesaadavus.

ChatGPT (OpenAI) abil autori juhiste järgi, 7.10.2026

Mulda ja ainevoogusid üksiku näitajaga võimaliku hinnata

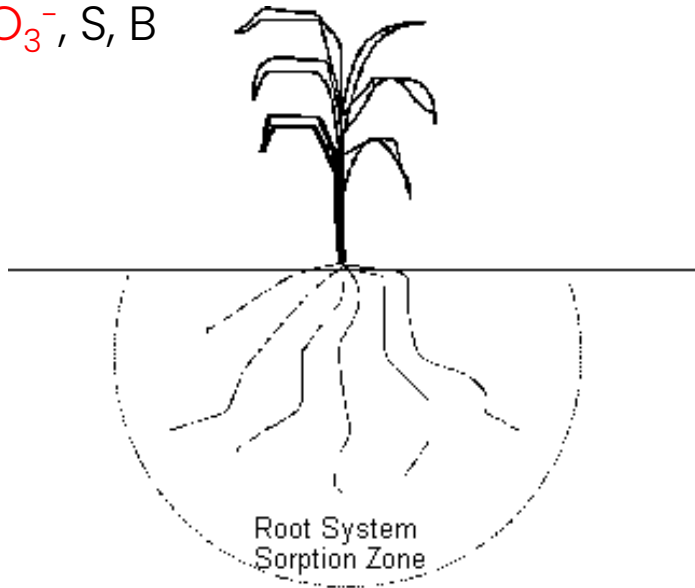
Mulla omadused ja nende indikaatorid (ainult näitlikustav nimekiri)



Toitainete/elementide liikuvus mullas ja omastamine taimede poolt

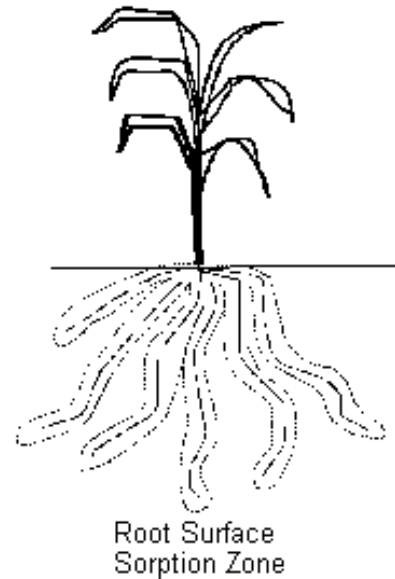
Väga liikuvad
(leostumise oht
suur)

NO_3^- , S, B



Keskmiselt liikuvad

NH_4^+ , K, Ca, Mg, Mo



Väheliikuvad

P, Cu, Fe, Mn, Zn

<https://soil5813.okstate.edu/BOOK.htm>

NH_4^+ omastamise
tsoon, kaugus juurest

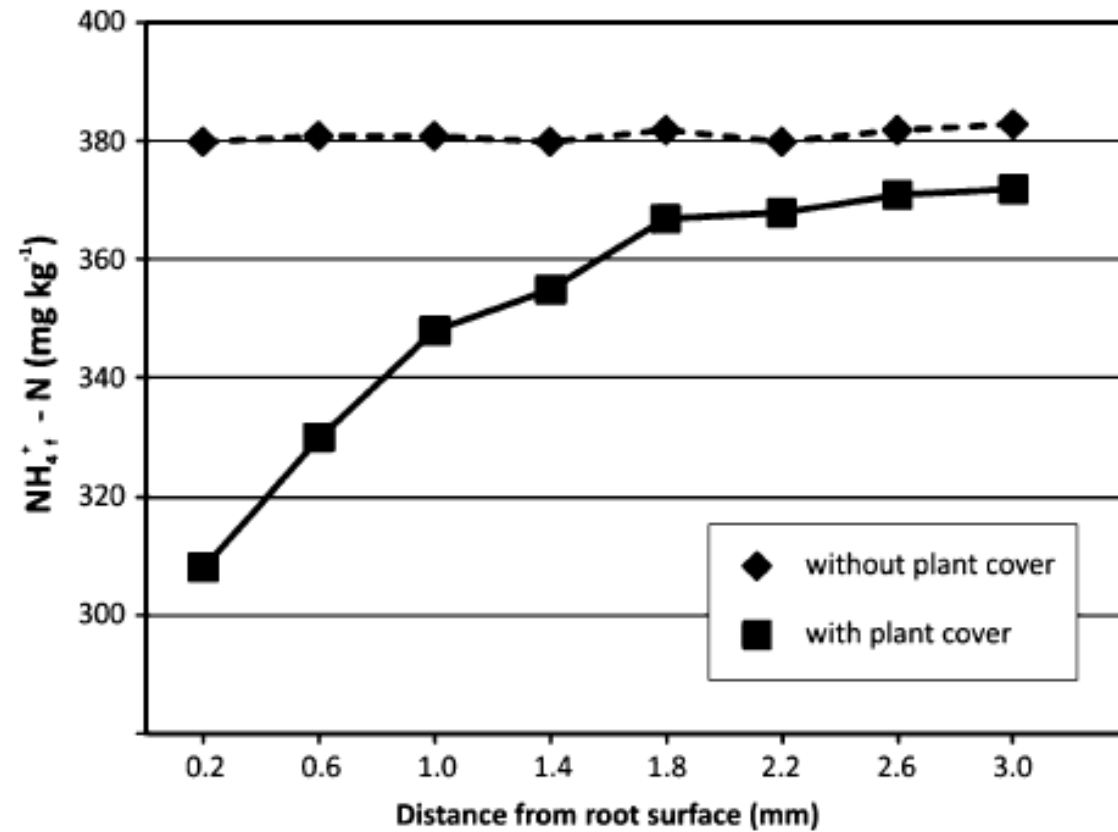
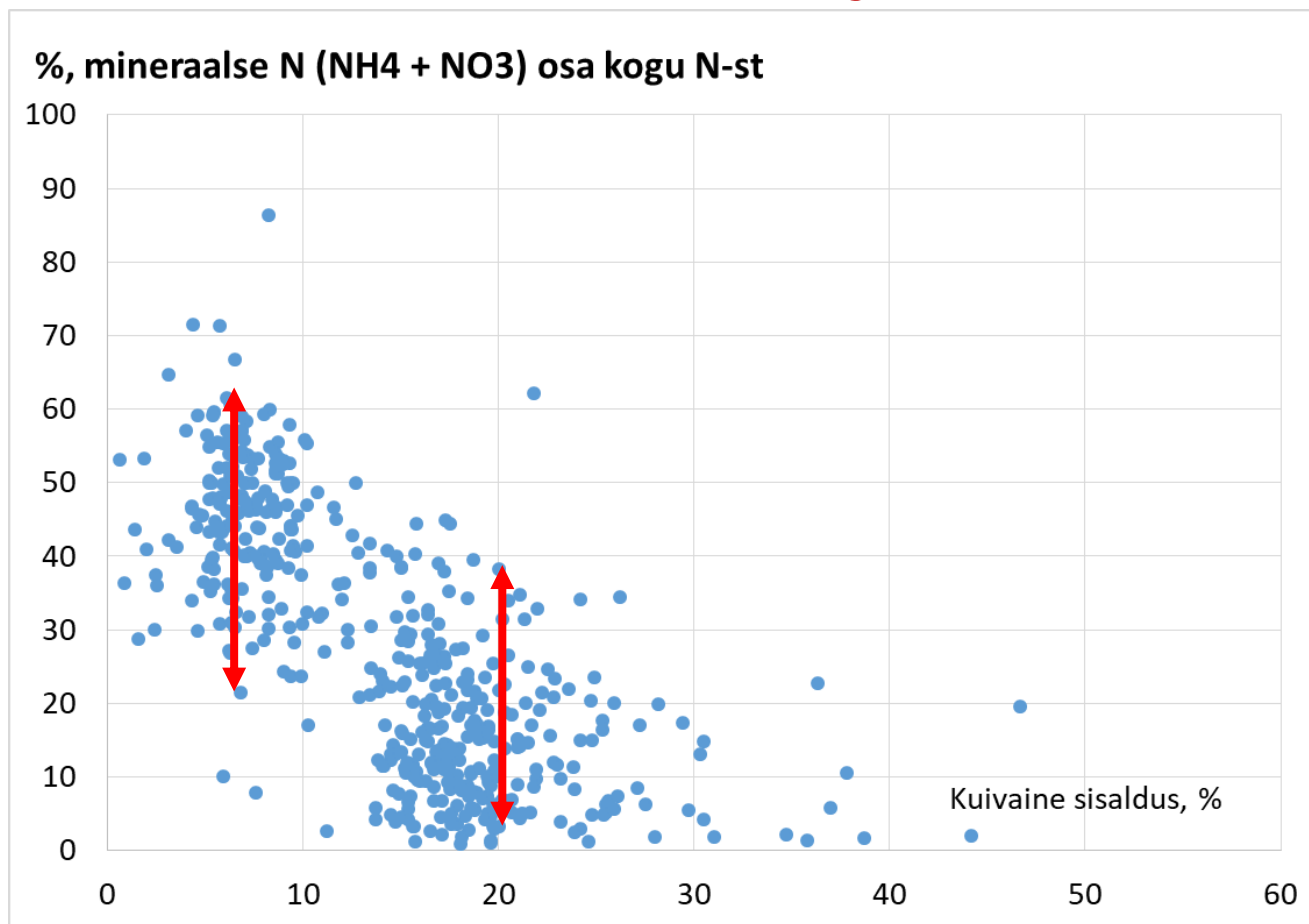


Fig. 2 Depletion profile of NH_4^+ -N in the rhizosphere of oilseed rape in a soil with high amount of expandable clay minerals (57% clay and 17% of smectites and vermiculite in the clay fraction; source: Scherer and Ahrens 1996)

Nieder et al. 2011. Biol Fertil Soils (2011) 47:1–14

Lahustunud N osa orgaanilistes väetistes (sõnnikuanalüüside tulemused, PMK 2009–12)

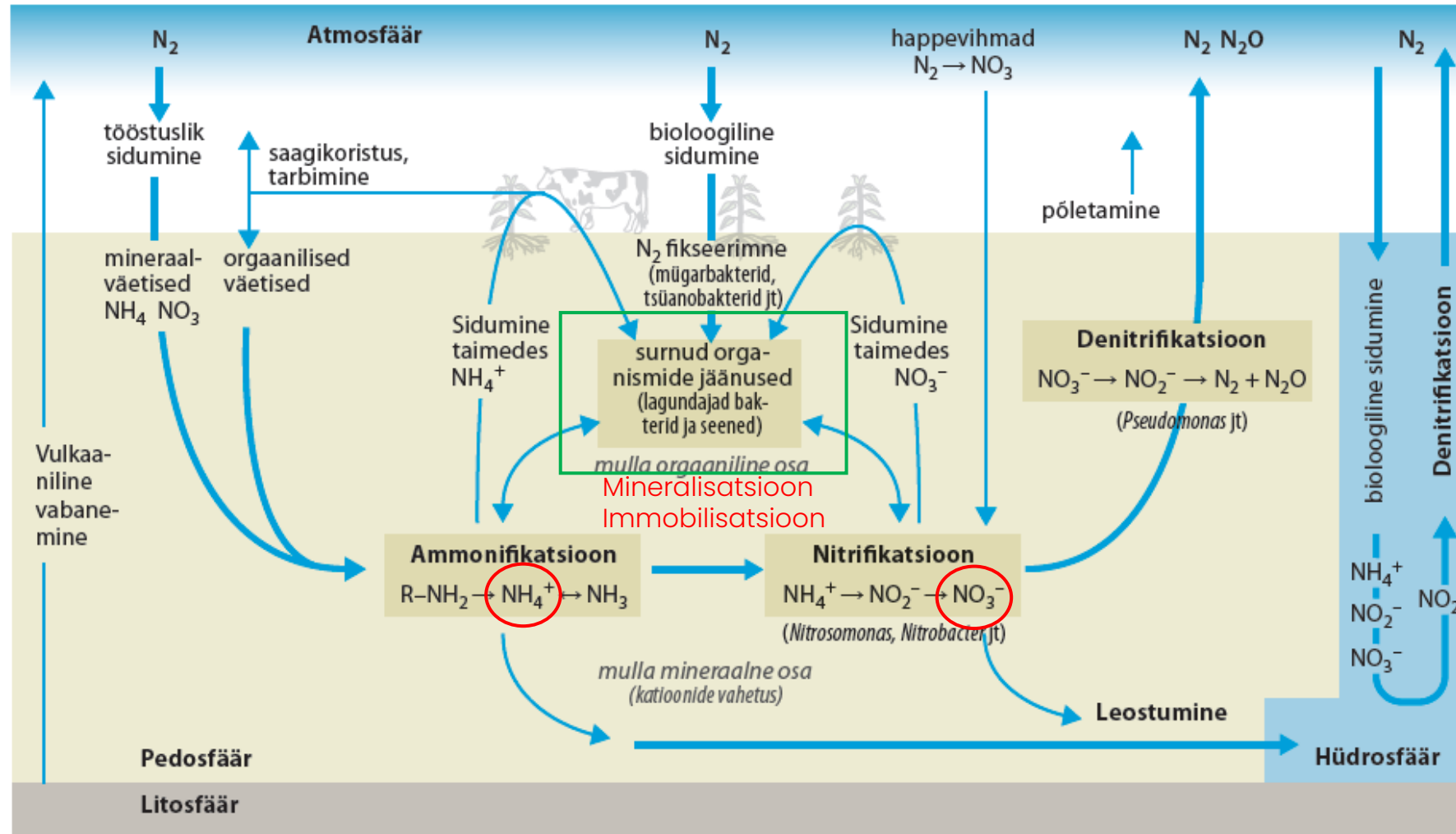
Valdav osa (>95%) mineraalsest N-st algelt ammooniumina



- Lisaks N üldsisaldusele on ka kiiresti liikuva/omastatava sisaldus väga erinev
- Seda isegi samaväärse kuivaine juures

Lämmastik muld-taim süsteemis

- Peamiselt orgaanilise aine koostises.
- Eesti mineraalmuldade N üldsisaldus on keskmiselt 0,1...0,3% ehk 3000...9000 kg/ha. Taimedele omastatavana sellest aastas ainult (0,5)1...3%.



Kui kiiresti nitrifikatsioon toimub?

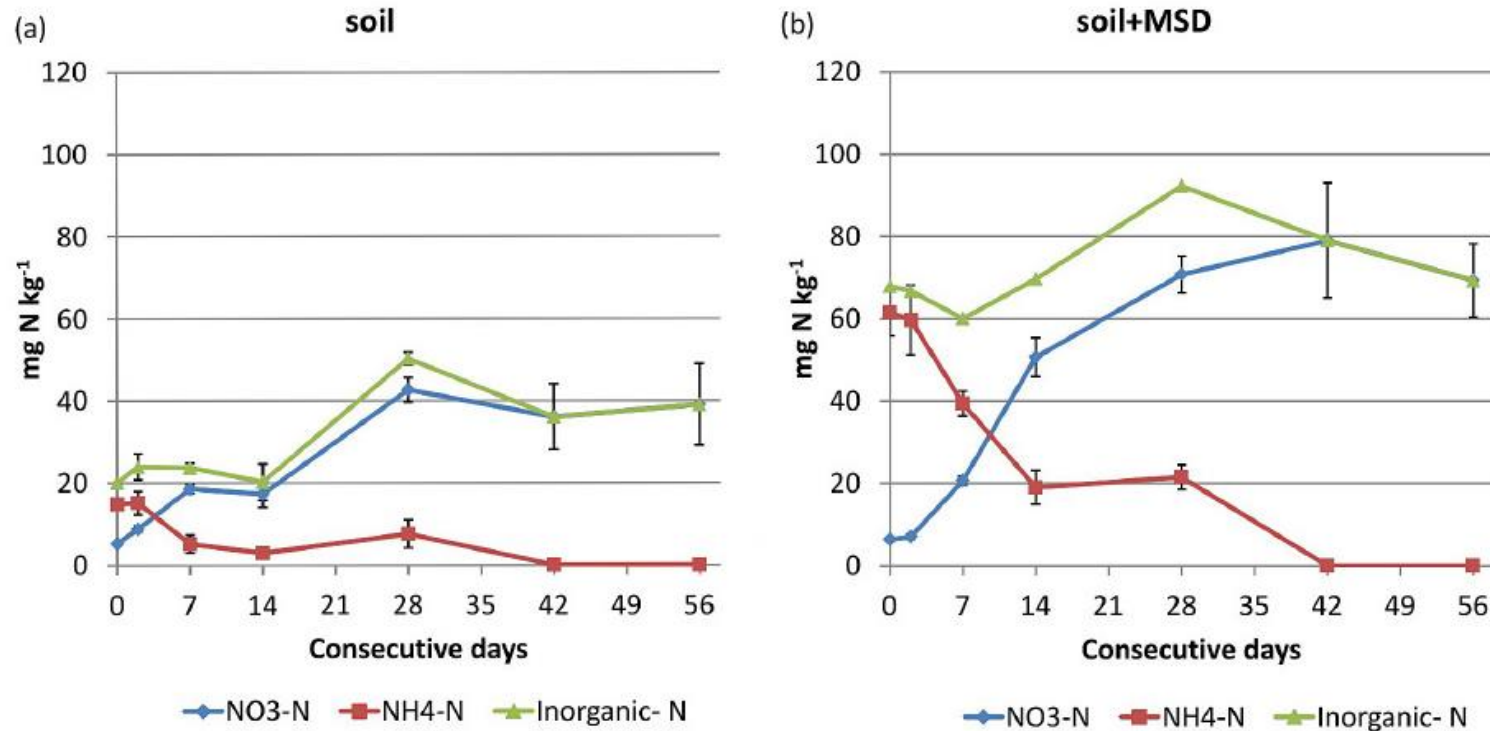
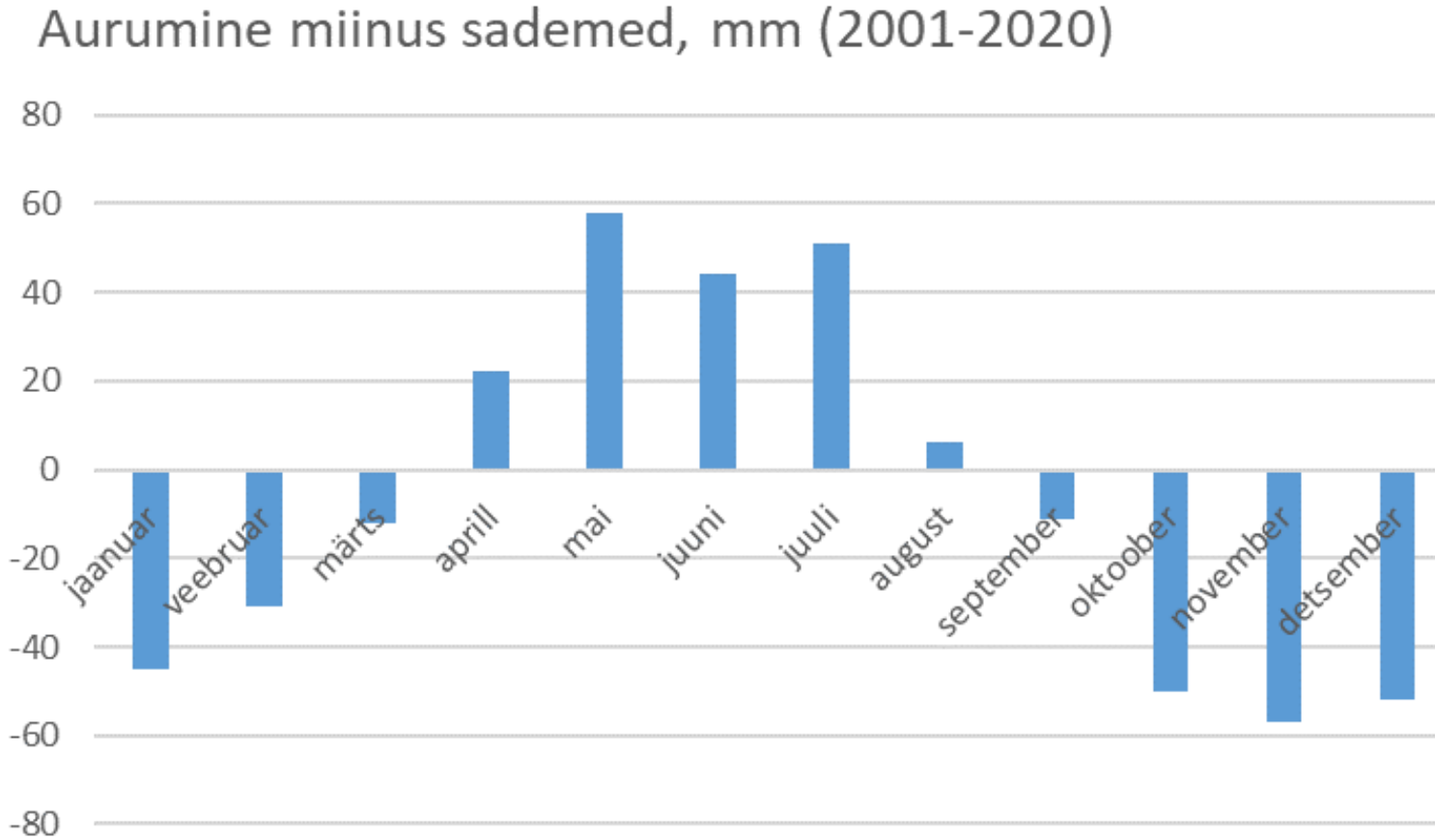


Figure 1. Changes in NO₃-N, NH₄-N and inorganic-N content in control soil (a) and in soil treated with digestate (b) in the incubation experiment

NP liikuvus ja kaod mullast sõltuvad

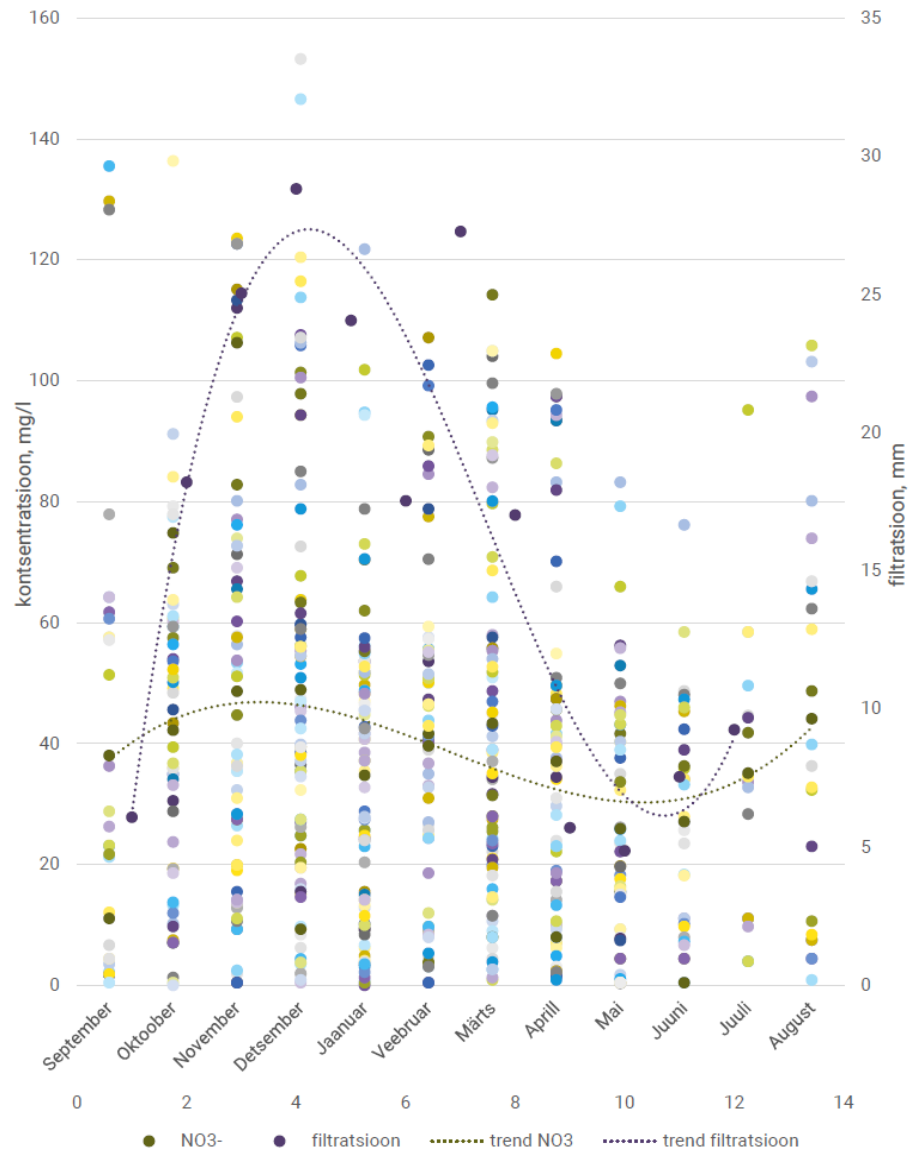
- Mulla/põllu omadused, geoloogia
 - Lõimis, koresus, mulla/pinnakatte tusedus, drenaaž, reljeef...
- Kliima, ilmastik
 - Sademed (temperatuur)
- Väetise liik, omadused, kasutusnorm
 - Mineraalväetis, orgaaniline väetis (tahe-, vedelsõnnik, haljasväetis, ...)
- **Tarbijate olemasolu ja tegusus** (taim, mullaelustik – sünkroonsus nende vajadustega)
- Tunne oma mulda, taime, väetist ja tehnoloogiat ning ole valmis, et ilma sina ei halda!

Eesti kliima, ilmastik



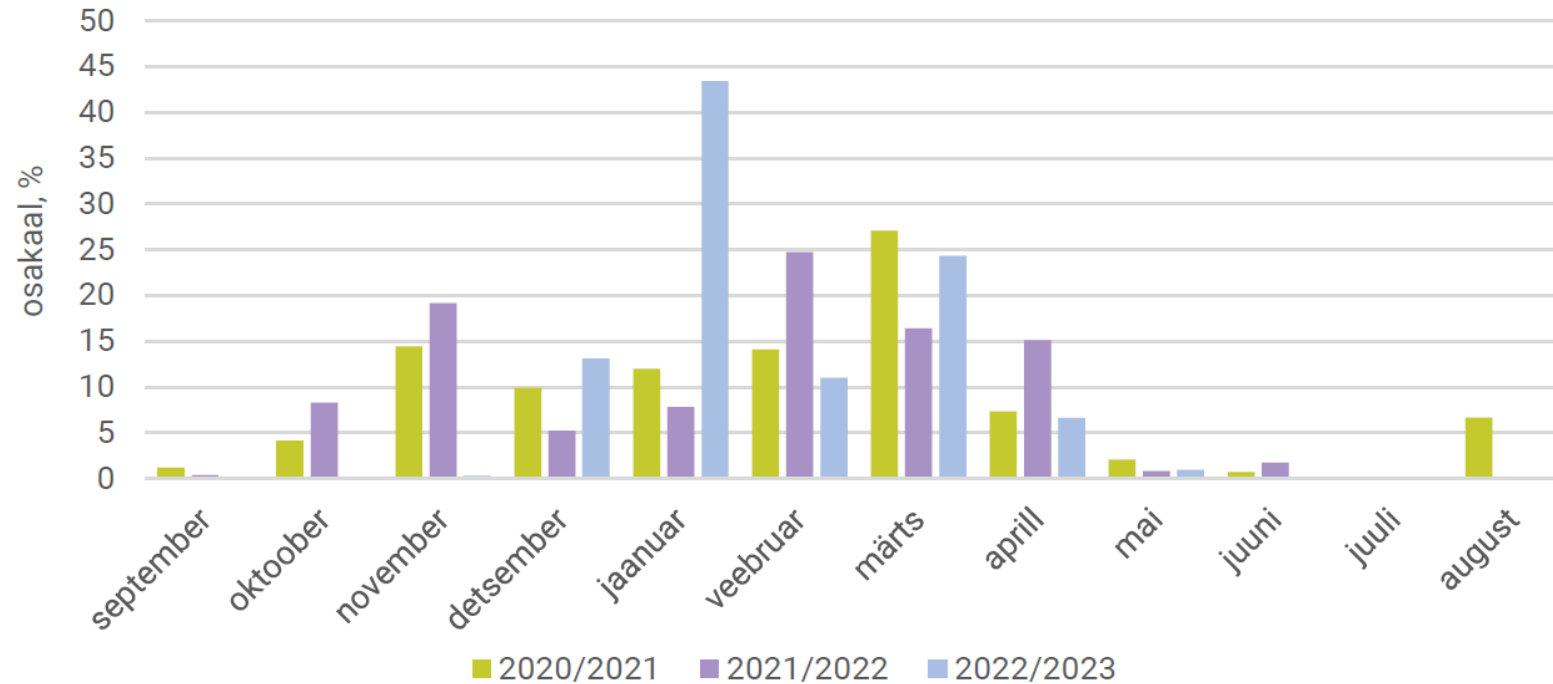
Lähteandmed: EMHI

- METK drenivee seire
- Väärtuslik teave, ent valim pole väga suur



Joonis 7. Nitraatiooni keskmine kontsentratsioon ja filtratsioon kuude kaupa perioodil 2014-2023

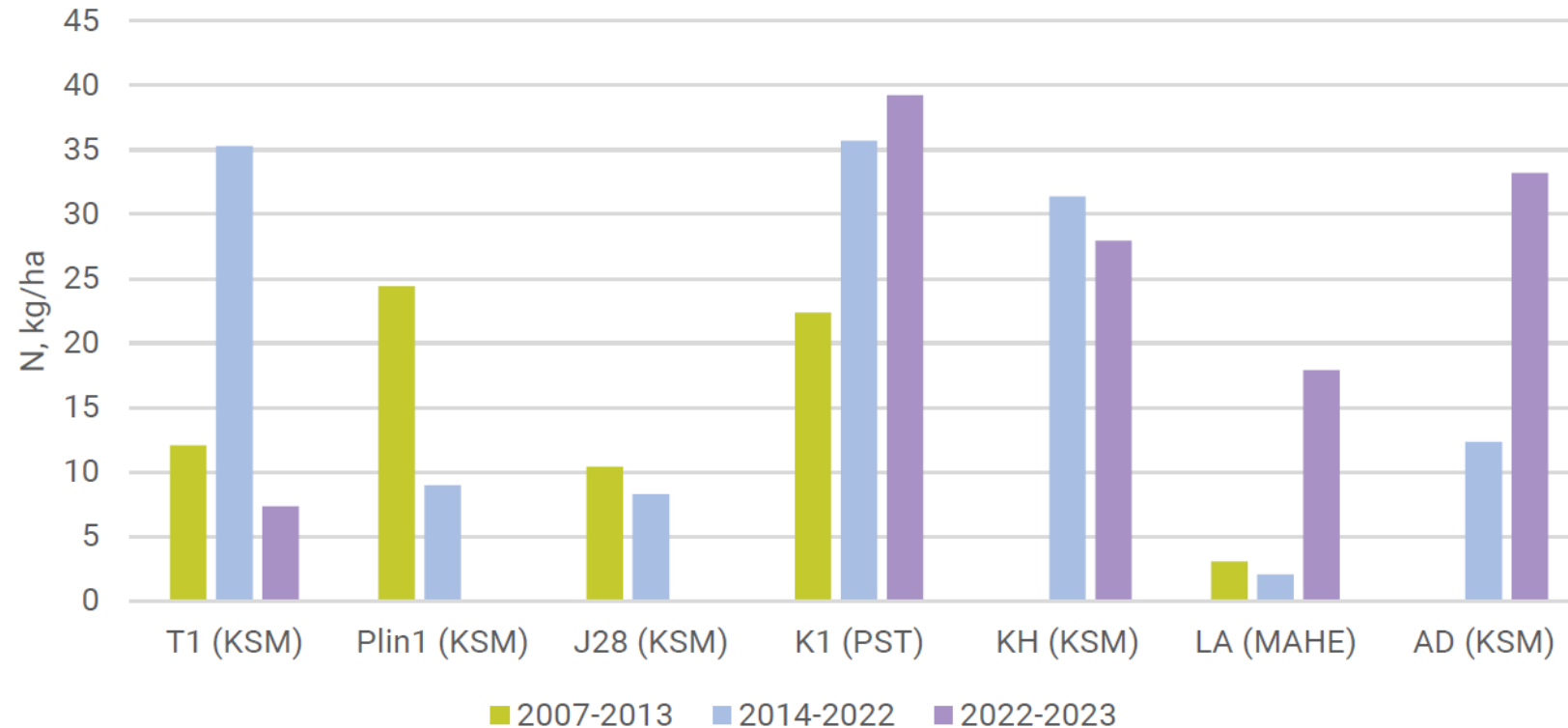
Leostumine peamiselt oktoober kuni aprill



Joonis 19. Lämmastiku leostumise jagunemine kuude lõikes seireperioodidel 2020-2021, 2021-2022 ja 2022 - 2023 august september

Taimetoiteelemendid drenivees. METK, Jaan Kanger 2024.

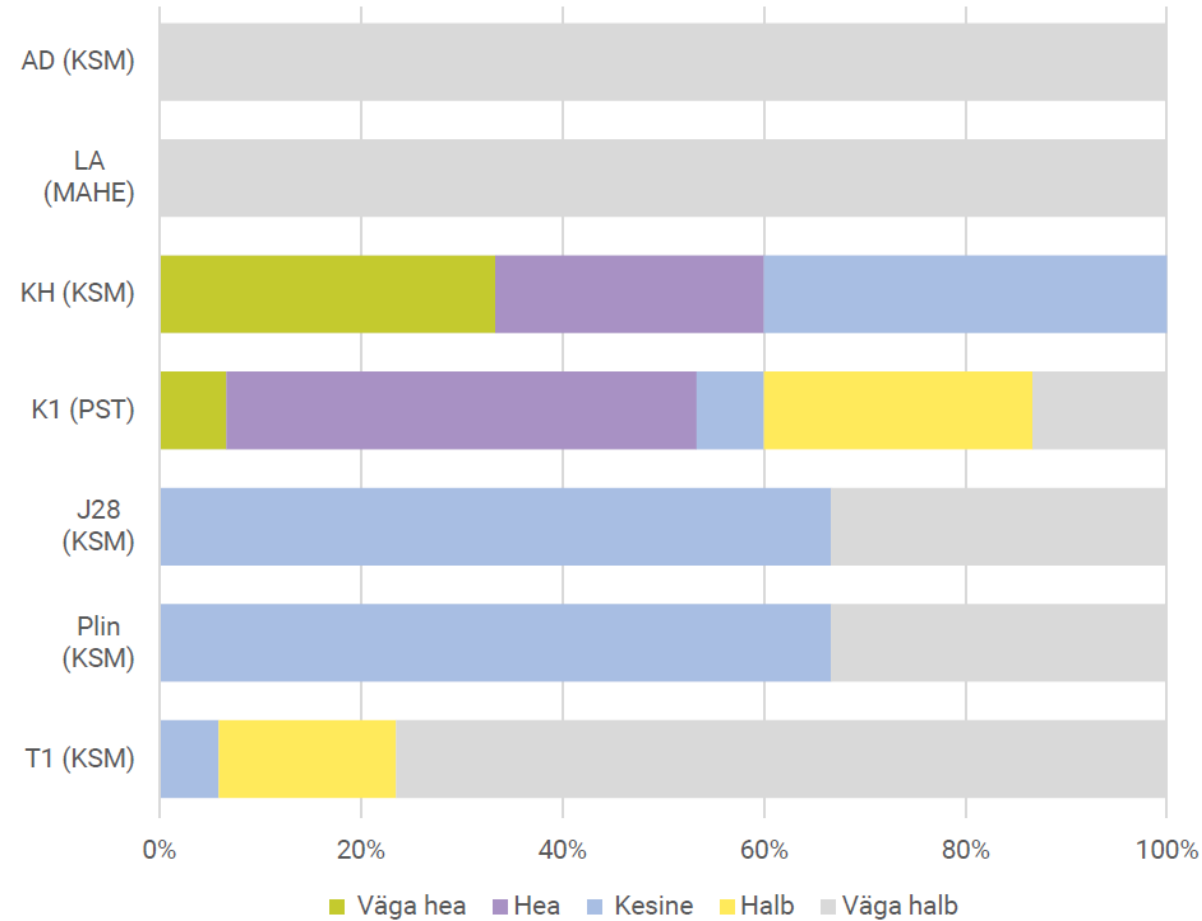
- Leostumine (N, kg/ha aastas) dreniseire põldudel



Joonis 20. Nitraatlämmastiku aastane leostumine seirepõldudel (T1, Plin, J28, K1, KH, LA, AD) referentsperioodidel 2007-2013, 2014-2022 ja aastatel 2022-2023

Taimetoiteelemendid drenivees. METK, Jaan Kanger 2024.

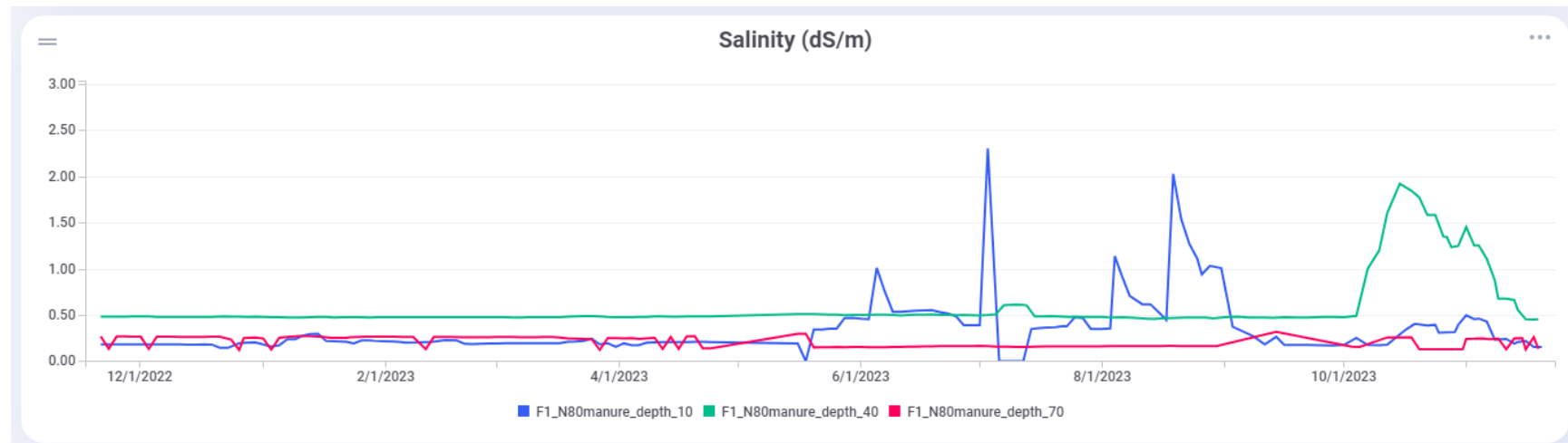
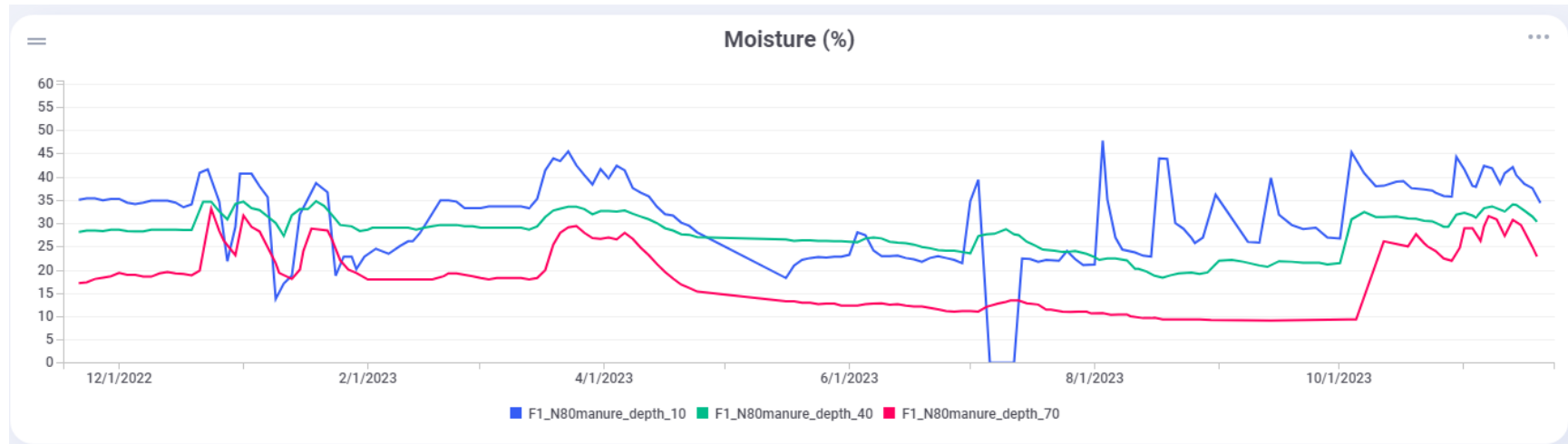
- Liigset N drenivees sageli ja selge seos väetamisega



Joonis 6. Perioodil 09.2022-09.2023 kogutud dreniveeproovide jagunemine seisundiklassidesse üldlämmastiku sisalduse alusel

Taimetoiteelemendid drenivees. METK, Jaan Kanger 2024.

- Mullasensorid IOSDV väetiskatses (Tartu)
- Sorgo, 80 kg N + sõnnik
- 10 cm sügavus
- 40 cm sügavus
- 70 cm sügavus



Mulla lõimis

(jaotus mehhaanilise koostise alusel)



Sõre liiv

Sidus liiv

Saviliiv

Kerge liivsavi

Keskmine liivsavi

Raske liivasavi

Savi

Sobilik enamikele kultuurtaimedele

Kerged lõimised

Rasked lõimised

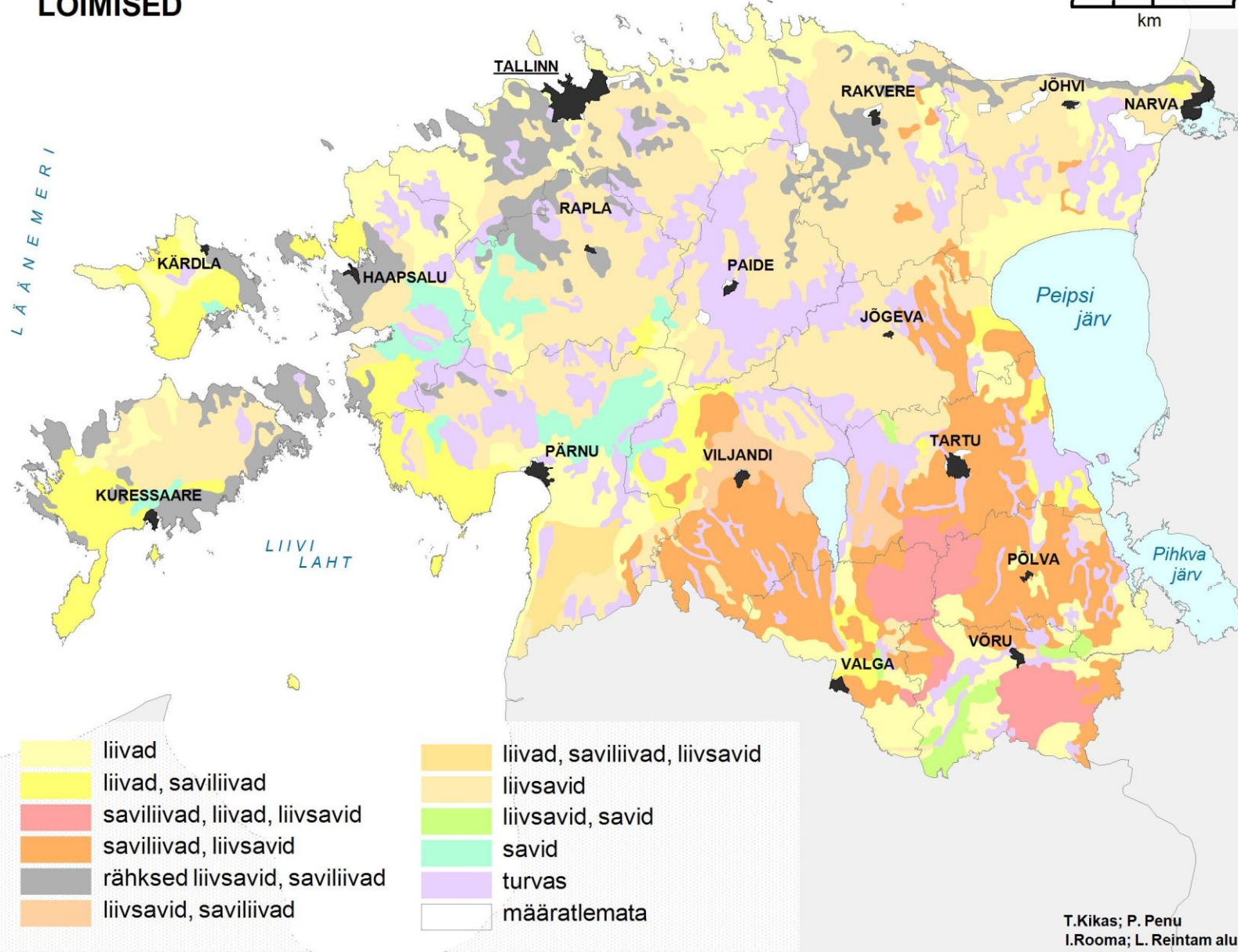
LÕIMISED

SOOME LAHT

0 25 50
km

LÄÄNEMER

LIIVI LAHT

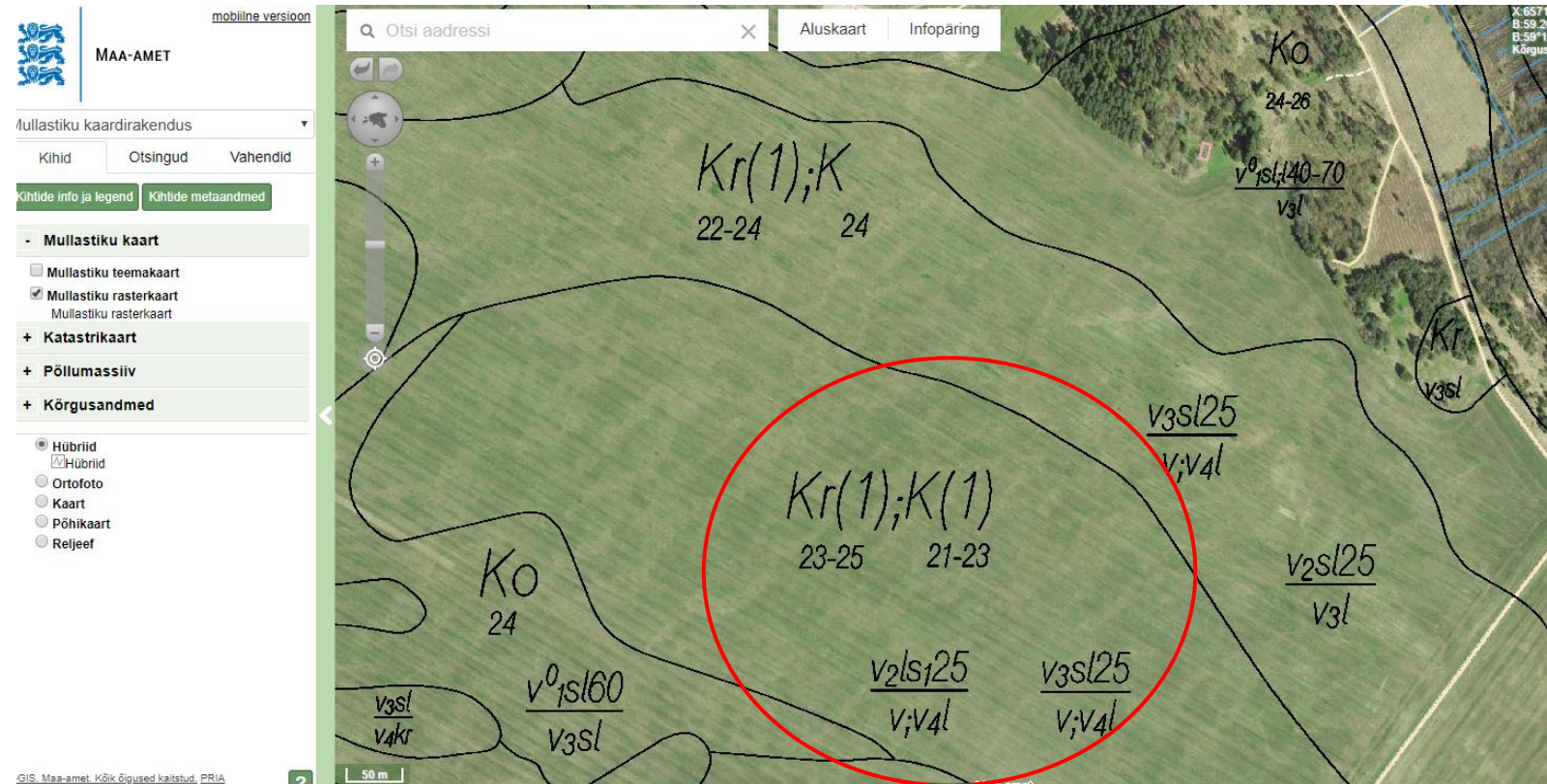


T.Kikas; P. Penu
I.Rooma; L. Reintam alusel

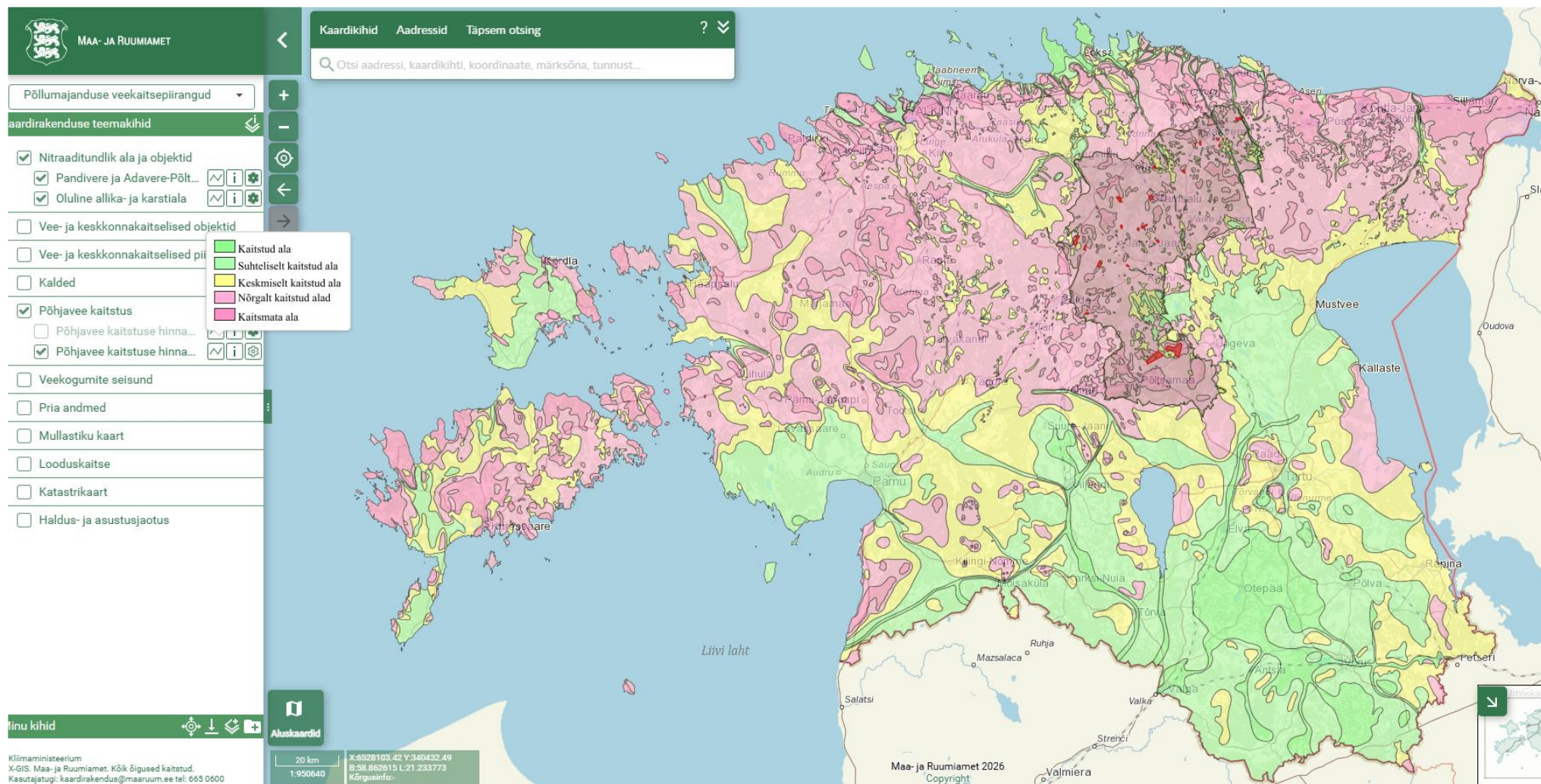
Tunne mulda... kas selline muld on suure või väikse leostumisriskiga?

Mullastikukaart – Maa-ameti kaardirakendus METK kaardirakendused (hetkel pindmise kihi lihsustatud lõimis)

Heaks otsuseks ei tohi jääda “pinnapealseks”.



• Põhjavee kaitstus ja põllumajanduse veekaitsepiirangud Maa- ja Ruumiameti kaardirakenduses



https://xgis.maaamet.ee/xgis2/page/app/kkmin_nitraaditundlik

07.10.2026

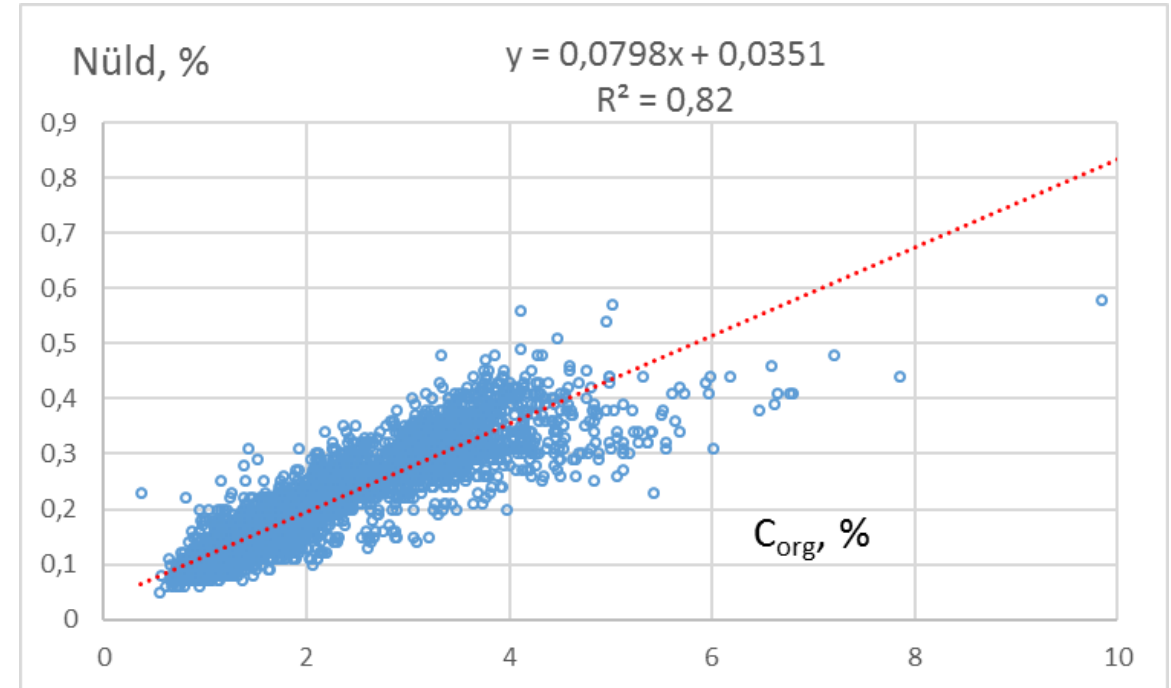


Corg 29% Corg 5,2% Corg 2,4%
 Nüld 2,18% Nüld 0,46% Nüld 0,23%

Mida süsinikurikkam muld, seda suurem on seal ka N varu.

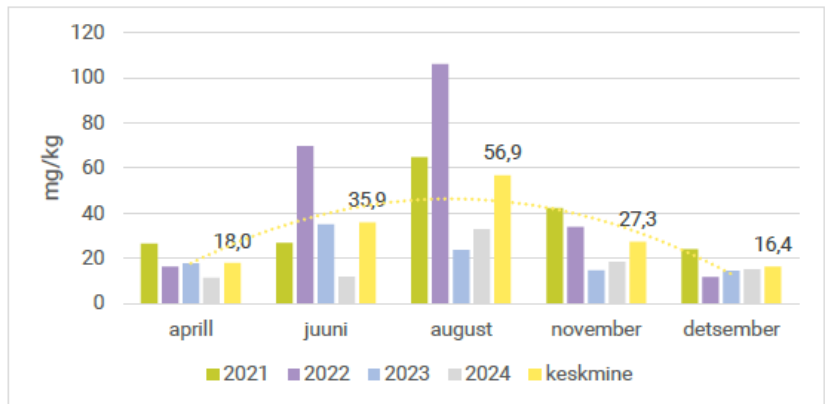


Seos mulla orgaanilise süsiniku ja üldlämmastiku sisalduse vahel (põllumuldade seirealade andmebaas n=6521)

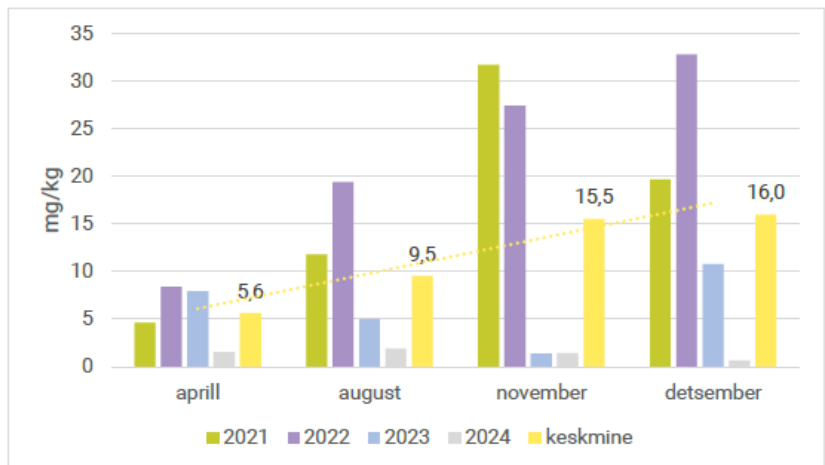


- Aastas mineraliseerub u (0,5)1-3% orgaanilise aine N-st
- Kui humuskiht 25 cm ja Corg 2%, siis vabaneb mulla enda varudest 70-140 kg N/ha aastas

NTA alade muldade erinevate toiteelementide sisalduse muutus ja leostumise potentsiaal põllumuldades aastatel 2011–2024



Joonis 5. Nmin sisaldus ja dünaamika Adavere 4 turvasmullal 0-30 cm sügavuses aastate lõikes



Joonis 6. Nmin sisaldus ja dünaamika Adavere 4 turvasmullal 60-90 cm sügavuses aastate lõikes

Väetamise ABC (2014) – olemasolevad soovitused



Tabel 18. Kultuuride väetamine lämmastikuga

Kultuur	Planeeritav saak, t/ha	Lämmastiku tarve		
		Mulla orgaanilise C sisaldus, %		
		<1	1...2	>2
		vaja anda taimetoitelementi, kg/ha		
Suviteravili				
Suvinisu	3,0	90	80	70
	4,0	115	105	95
	5,0	140	130	120
	6,0	–*	155	145
	7,0	–*	200	190
Oder	3,0	70	65	60
	4,0	90	85	75
	5,0	110	100	90
	6,0	130	120	110
	7,0	160	150	140
Kaer	3,0	75	65	55
	4,0	90	80	70
	5,0	110	100	90
	6,0	130	120	110
	7,0	155	145	135

- Kolm range piiriga klassi Corg sisalduse alusel
- ... muud tausta vaja ka arvestada
 - Eelvili, org väetise järelmõjud (sh selle N-bilanss)
 - Põhumajandus
 - Ajastamine, jaotatud normid
 - Taime seisundi hinnang (N-sensor, ...)
 - ..



Bilanss



Miks on põllumajandustootjal vaja lämmastiku (N) bilanssi arvestada?

- Kohustus

- keskkonnasõbraliku majandamise toetuse (edaspidi KSM);
RT I, 29.12.2022, 12 "Perioodi 2023–2027 keskkonnasõbraliku majandamise toetus":
§ 11. Lämmastikubilansi koostamine – Taotleja peab põllumajandusmaa kohta, millel kasvatab põllukultuuri või heintaimet ja millel kasutab lämmastikku sisaldavat väetist või kasvatab lämmastikku siduvat põllumajanduskultuuri, põllupõhist arvestust lämmastiku mulda viimise ja mullast väljaviimise kohta e-põlluraamatus.

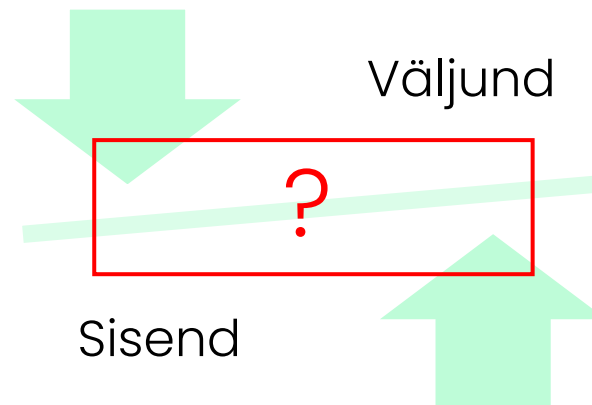


Miks on põllumehel vaja lämmastiku (N) bilanssi arvestada?

- Kohustus
 - keskkonnasõbraliku majandamise toetuse
- Eluline vajadus
 - Eluks hädavajalik element
 - 4Õ: õige väetis, aeg, koht, kogus
 - Saagikus, saagi kvaliteet
 - Väetisel on hind (u alates 1 eur/kg N)
 - Mõju keskkonnale
 - Mulla seisund (sh mulla elustik)
 - Kaod vette (N ja P)
 - Kaod õhku – N (sh tugev kasvuhoonegaas N_2O)
 - ...



- **Bilanss** on arvutuslik näitaja, mis leitakse **ajas ja ruumis** kokkulepitud süsteemi piires konkreetse elemendi sisendite ja väljundite vahena.
- Seda arvestatakse enamasti elemendi üldkoguste alusel.





Enamkasutatavad põllu bilansi osad ja nendega seonduv määramatus (väike, keskmine, suur)

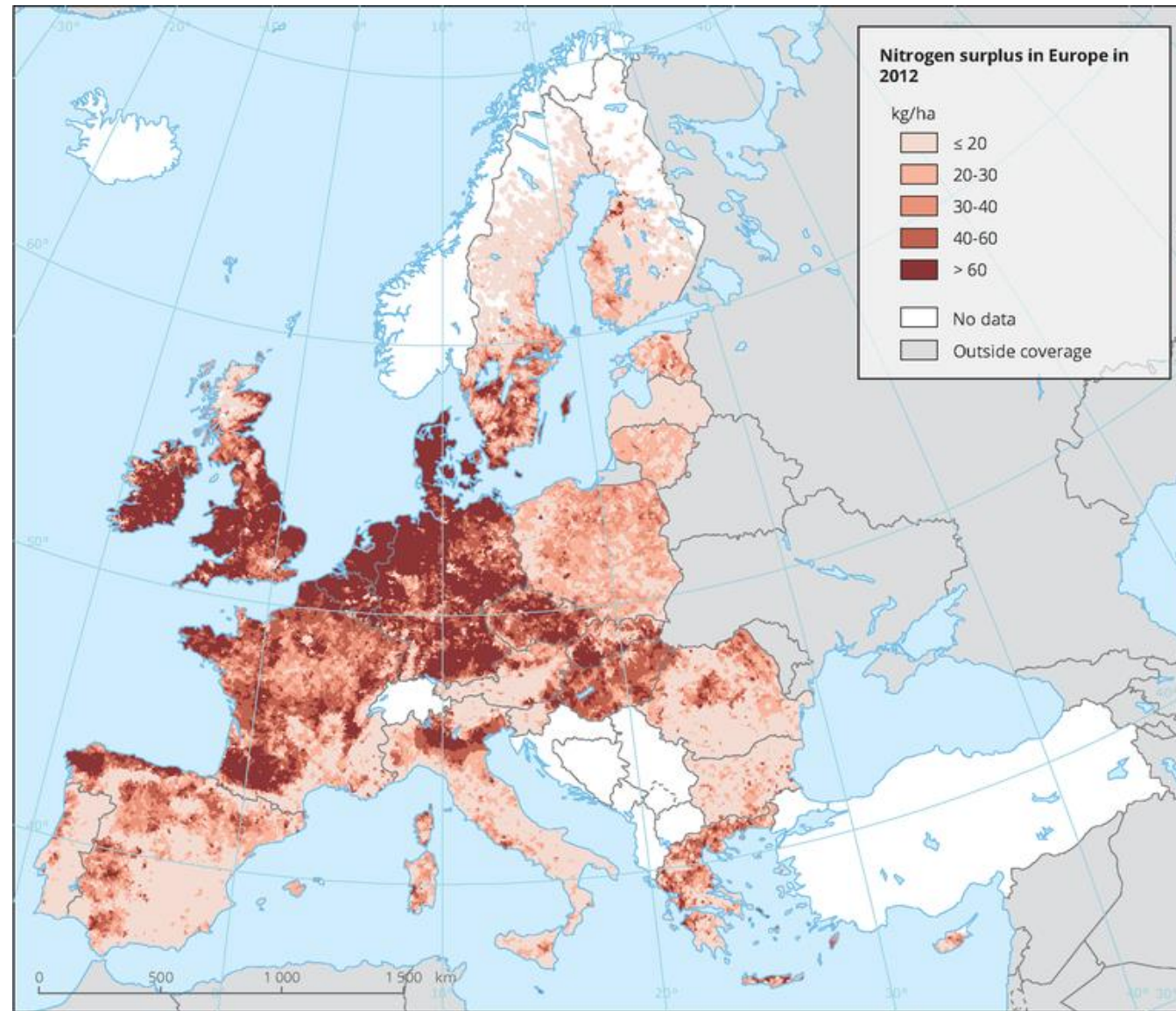
Eemaldamine:

- Põhisaak (tera/kaunvili/raps, söödakultuurid, heintaimed)
- Kõrvalsaadused (põhk, selle suhe terasaaki)
- Toiteelementide kontsentratsioon saagis (N, P, K)

Sisendid:

- (Atmosfäärne sademetega (5-7 kg N/ha))
- N bioloogiline fiksatsioon
- Mineraalväetised
- Orgaanilised väetised
- Seemnetega

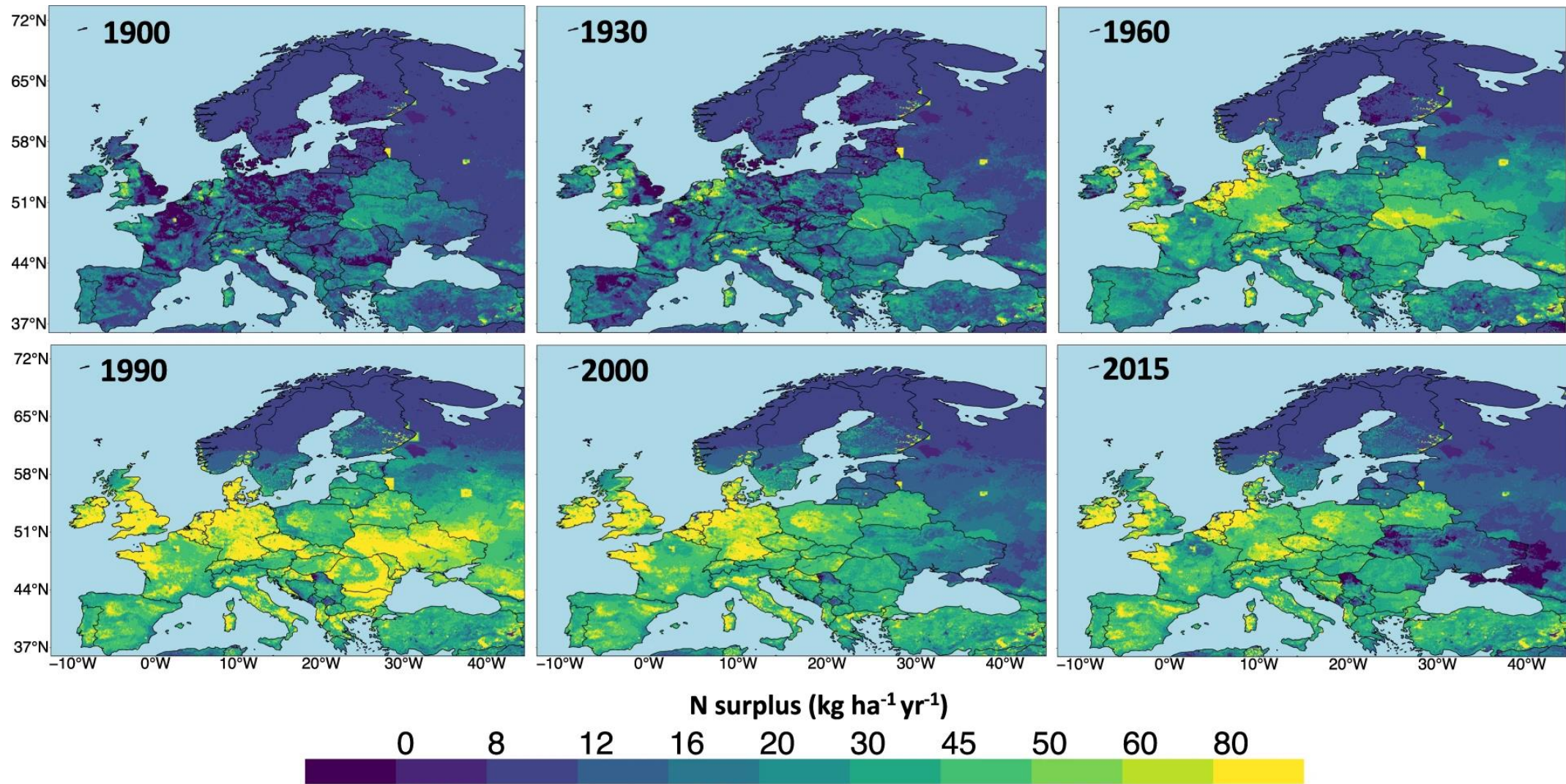
Lämmastiku bilanss põllumajandusmaal, kg/ha



Reference data: ©ESRI

https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/nitrogen-surplus-in-europe-in-2012/124040-map3-1-map-wa-nitrogen_v05_cs6.eps

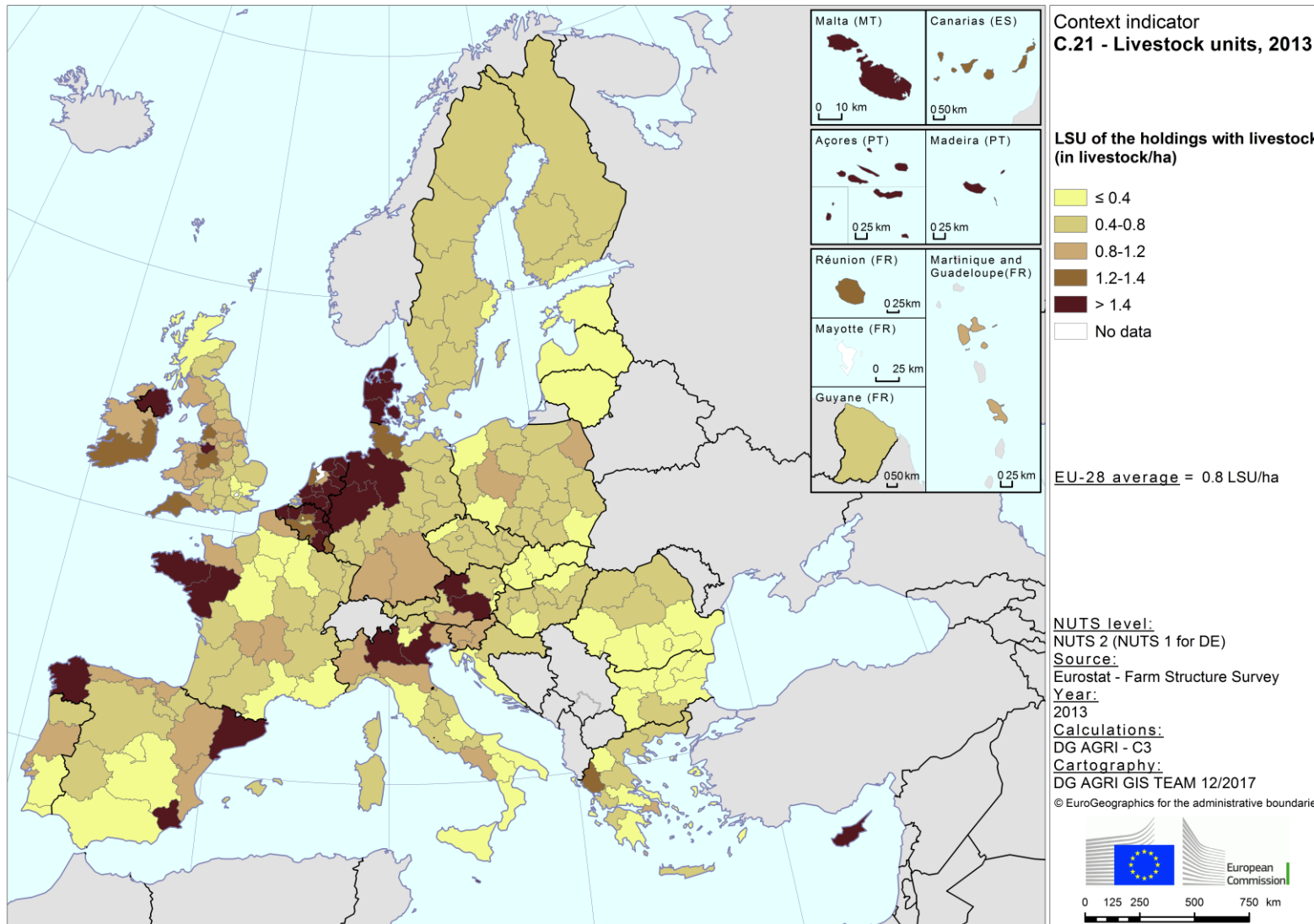
07.10.2026

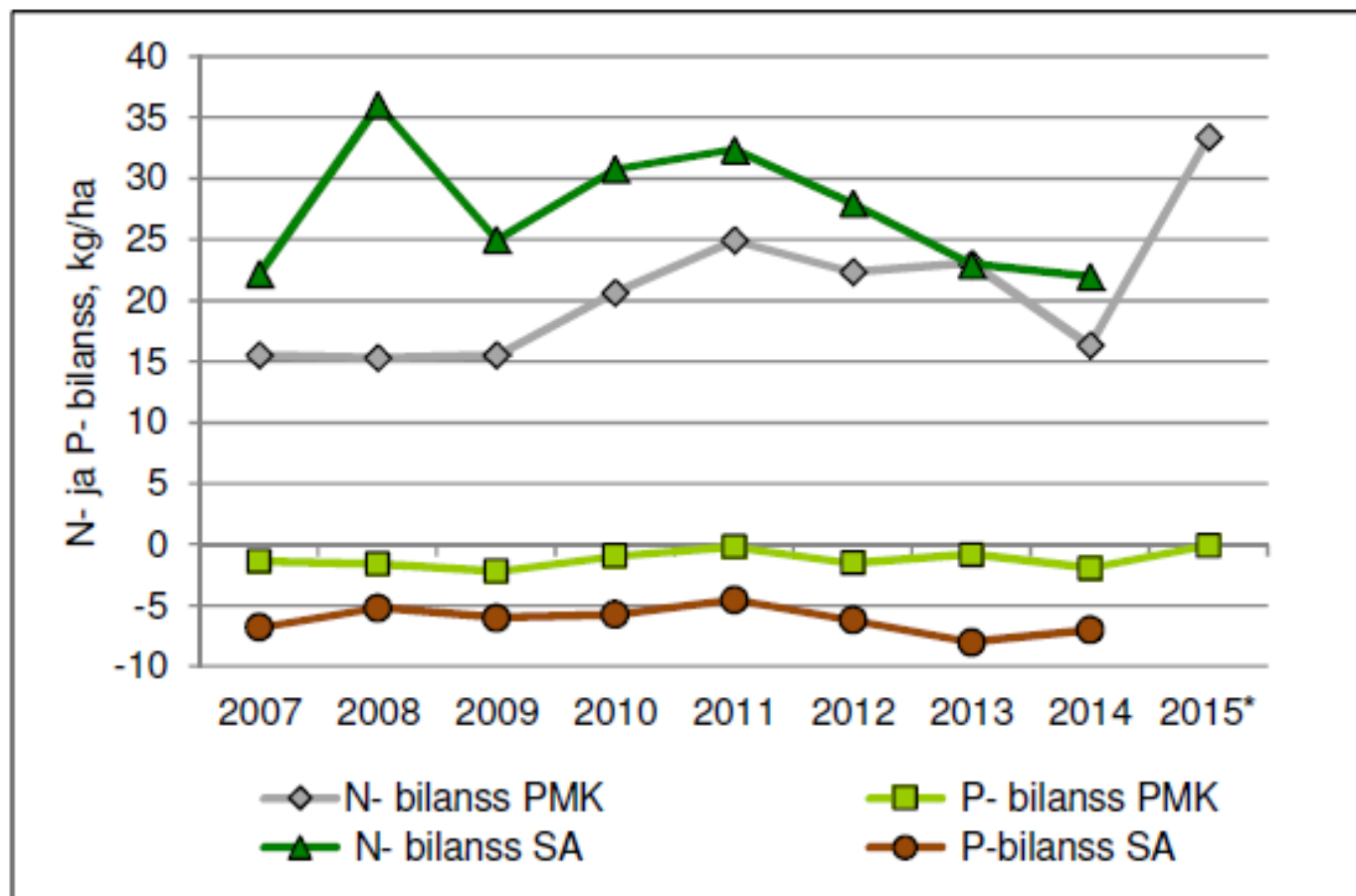


Snapshots of N surplus (kg ha⁻¹ of grid area yr⁻¹) across Europe. The figure shows the annual spatial variation in N surplus given as the mean of our 16 N surplus estimates for the selected years.

Boyer, M., Arrazin, F.J., Attinger, S. et al. Long-term annual soil nitrogen surplus across Europe (1850–2019). Sci Data 9, 612 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41597-022-01693-9>

Loomkoormus (lüh/ha)





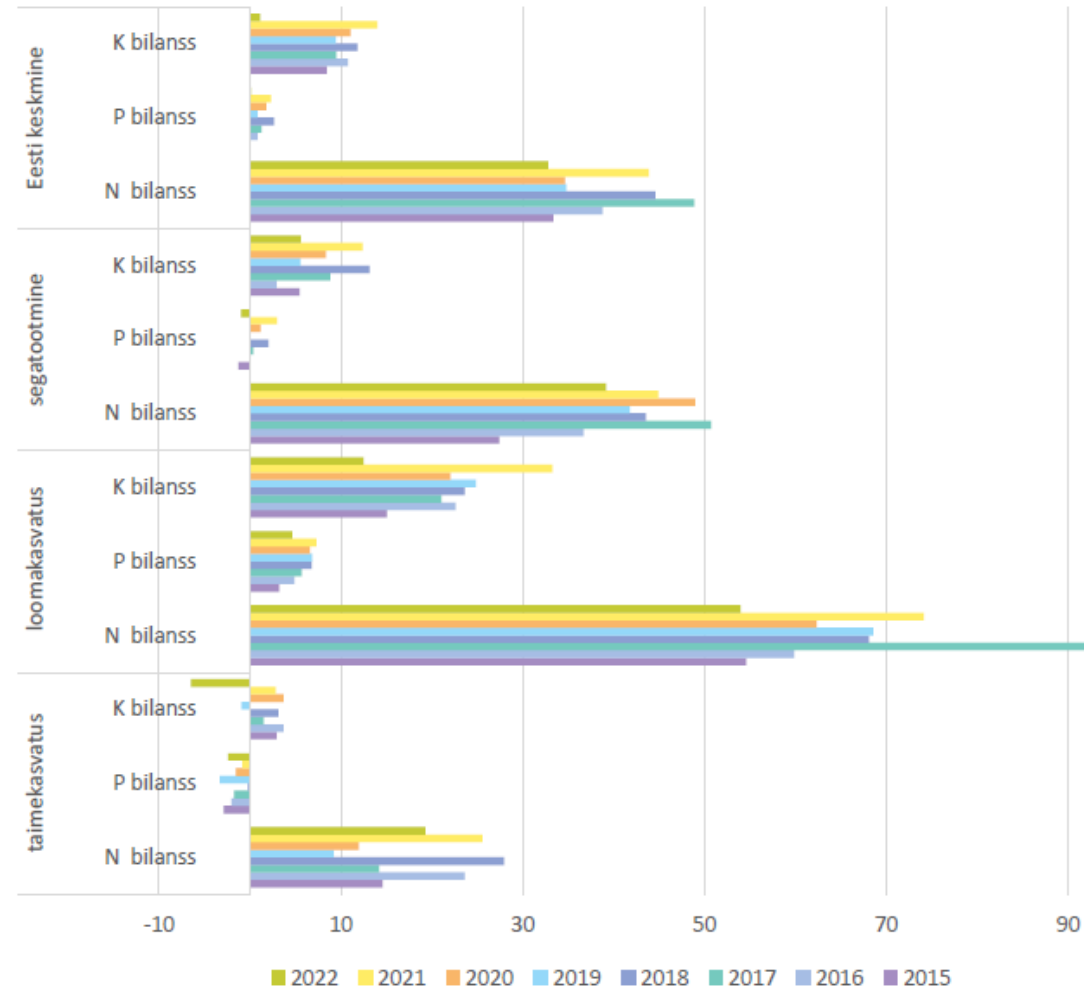
Joonis 48. Lämmastiku ja fosfori bilanss Statistikaameti ja PMK seireettevõtete andmetel aastatel 2004-2015 (Statistikaamet, 2017) viimane täiendus 28.01.2015

2015*. a muudeti PMK seirevalimit (2007.-2014. a valimis ~120 ettevõtet, 2015. aastast valimis 661 ettevõtet, laiendatud tulemustel esindatud 7580 põllumajandustootjat)

Põllumajandusuuringute Keskus, 2017

Taluvärava toiteelementide bilansi uuring

Põllumajandusettevõtete lämmastiku, fosfori ja kaaliumi bilanss
tootmistüübiti perioodil 2015–2022 (METK, 2024)





- Kui suur bilansi üleküllus (*surplus*) on ohuks?
- Ühest vastust pole. Üleküllus pole 100% kadu. Alates +50 kg N/ha ...

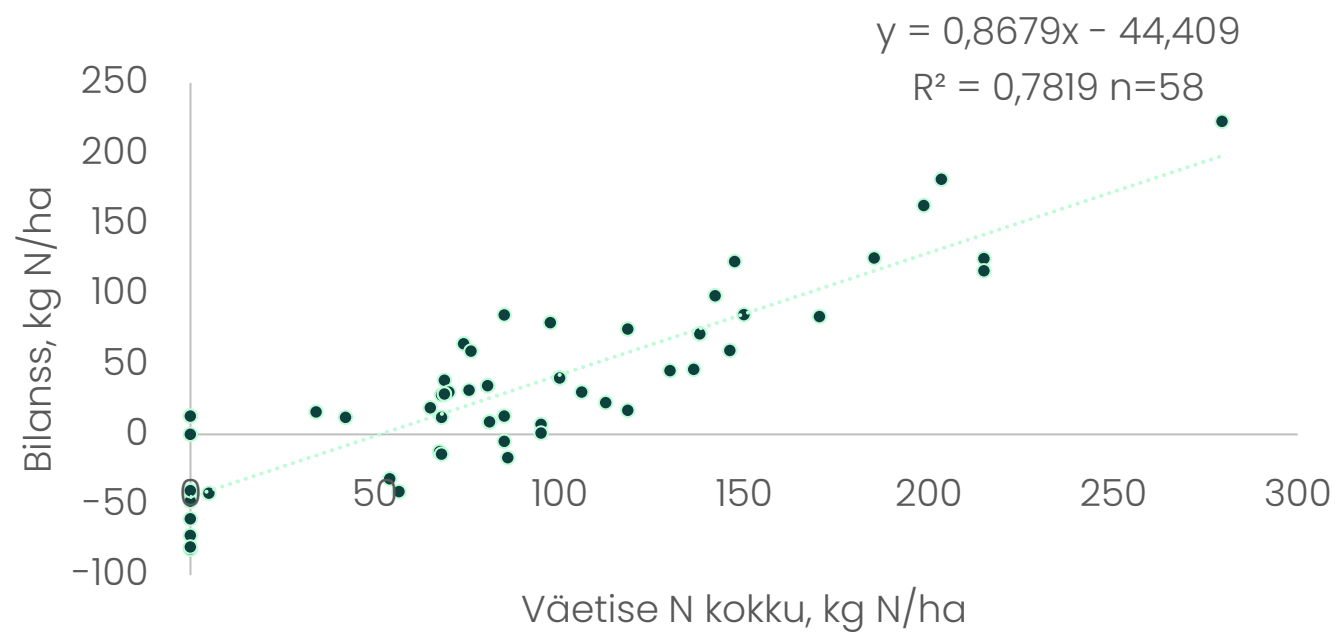
Interpretation	Nitrogen surplus (kg/ha/yr)		
	Cropping systems	Mixed crop-livestock systems, 1 LSU/ha	Mixed crop-livestock systems, 2 LSU/ha
Very high	>120	>160	>200
High	80-120	120-160	160-200
Modest	50-80	90-120	130-160
Low	20-50	60-90	100-130
Very low	<20	<60	<100

Figure 17 Tentative scheme for the interpretation of N surplus values of crop production systems and mixed crop-livestock production systems with 1 and 2 livestock units (LSU) per ha. Proposed target values are tentative.

EU Nitrogen Expert Panel (2015) Nitrogen Use Efficiency (NUE) – an indicator for the utilization of nitrogen in agriculture and food systems. Wageningen University, Alterra, PO Box 47, NL-6700 Wageningen, Netherlands.

Väetise N sisendi ja bilansi vaheline seos

8 seirepõldu (METK drenivee seire)

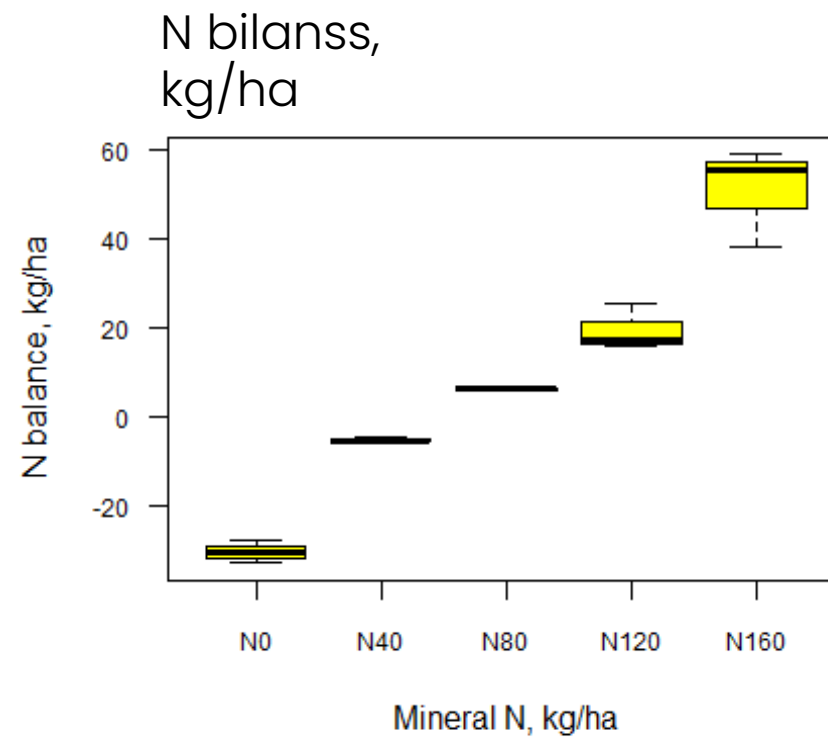
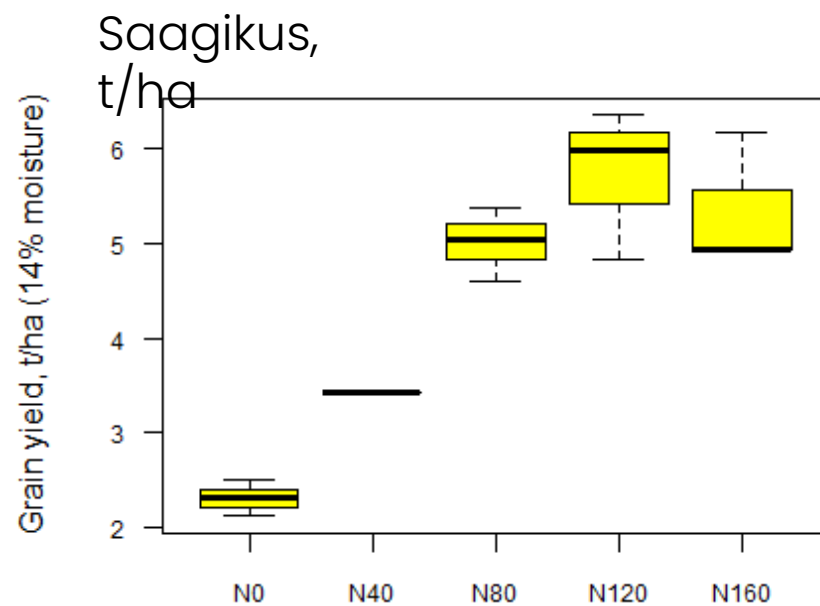


Lähteandmed: METK drenivee seire

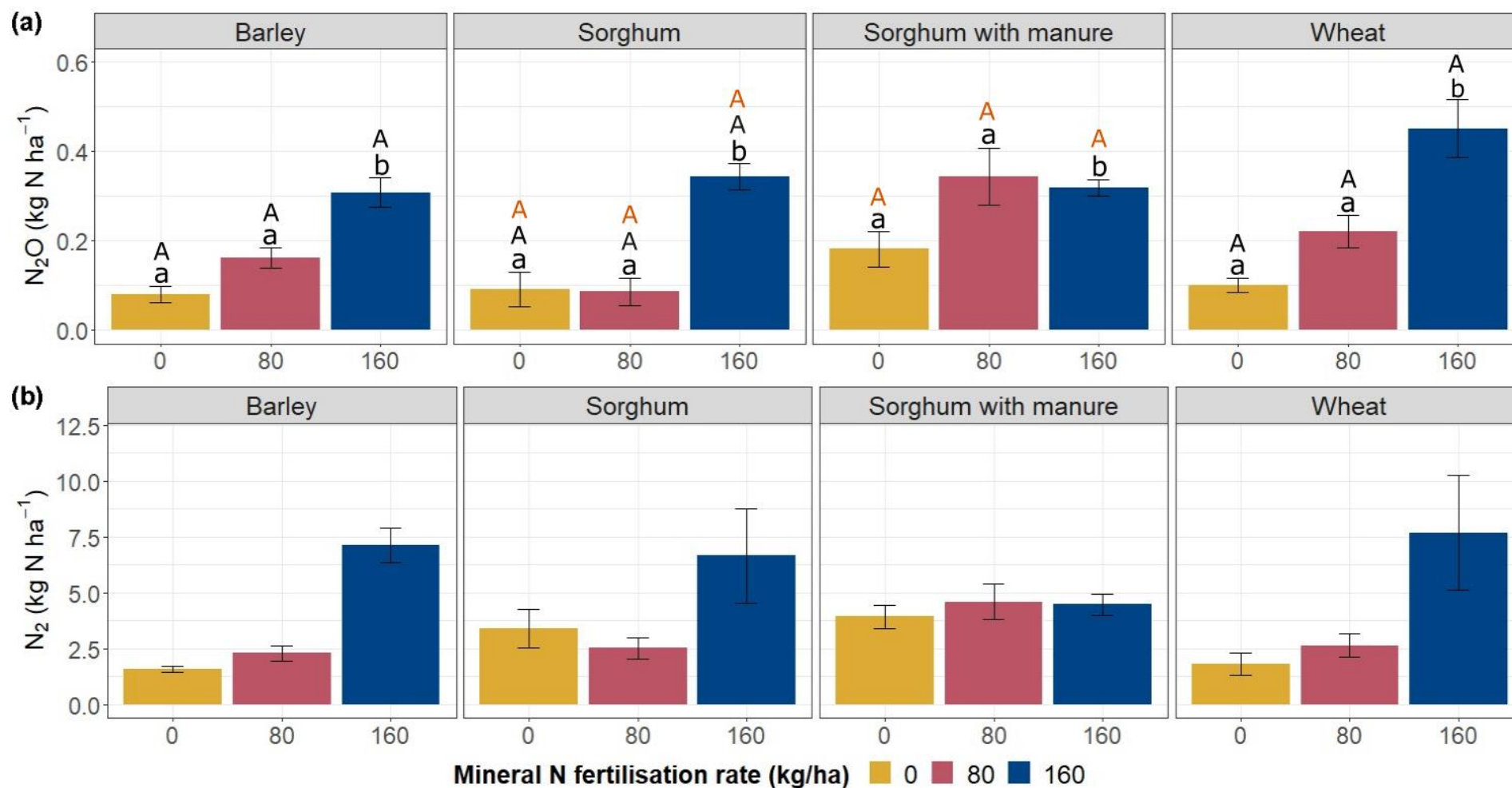


Põldkatse odraga 2015. aastal

Tartu, C 11%



- Kui N sisend liigne, siis suureneb ka lendumine – ülemisel joonisel N_2O emissioonid
- IOSDV katse 2022. aasta vegetatsiooniperiood



Kuusemets, L.; Mander, Ü.; Escuer-Gatius, J.; Astover, A.; Kauer, K.; Soosaar, K.; Espenberg, M. (2025). Interactions of fertilisation and crop productivity in soil nitrogen cycle microbiome and gas emissions. Soil, 11 (1), 1-15. DOI: 10.5194/soil-11-1-2025.



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	AJ	AK	AL	AM
1	 Eesti Maaülikool Estonian University of Life Sciences										Kaalutud keskmine			
2											0	-7	-55	
3	Arvuta rida		Lisa		Kustuta		Puhasta rida	Saak			Bilanss (kg/ha)			Hinnangud bilansi tulemusele
4	Põllu number	Põllu nimi	Põllu-massiiv	Kultuur	Pind (ha)	Aasta	Külvisenorm (kg/ha)	Saagikus (kg/ha)	Koristatav saagiosa	Proteiini % kuiv-aines	N	P	K	N
5	Teraviljad													
6				suvinisu	1		200	5000	terad	14,7	23	-2	2	Suure N-tarbega mullal tasakaalus bilanss. Oled jätkusuutlik.
7				suvinisu	1		200	5000	terad ja põhk	14,7	9	-6	-37	Suure N-tarbega mullal tasakaalus bilanss. Oled jätkusuutlik.
8	Muud													
9				taliraps	1		8	3200			30	14	98	
10	Kaunviljad													
11											0	0	0	
12	Heintaimed													
13				liblikõieliste ja kõrreliste segu	1			10000	märgsilo kuni loomiseni		-63	-33	-284	Suure N-tarbega mullal tugevasti negatiivne bilanss. Saagi moodustumine mulla orgaanilise aine N arvelt.

<https://pk.emu.ee/struktuur/mullateadus/teadustoo/mullakalkulaatorid/>

STRUKTUUR > MULLATEADUSE ÕPPETOOL > TEADUSTÖÖ > C JA NPK KALKULAATORID >

C ja NPK kalkulaatorid

Juhtimine

Aianuse õppetool

Elurikkuse ja loodusrisi õppetool

Hüdrobioloogia ja kalanduse õppetool

Keskkonnakaitse ja maastikukorralduse õppetool

Maastikuarhitektuuri õppetool

Mullateaduse õppetool

Üldinfo

Töötajad

Teadustöö

C ja NPK kalkulaatorid

Publikatsioonid

Projektid

Doktorandid

Kaitstud doktoritööd

Mullalabor

Õppetöö

Huumusbilansi kalkulaator

Muldade tasakaalustatud sisukuseisund on nii agronoomilistest, ökoloogilistest kui ka kliima aspektidest lähtuvalt üha suurema tähelepanu keskmes. Sõna huumus on praktikasse juurdunud, ent tegelikult määratakse laboris otseselt mulla orgaanilise sisukuse kontsentratsioon ja huumuseisisaldus on selle leitud arvutuslik väärtus. Käesolevas kalkulaatoris on tulemused väljendatud mulla orgaanilise sisukuna (C_{org}).

C_{org} bilanss sõltub eelkõige tootmistasemest, mullast, kasvatatavast kultuurist ja väetamisest. Varasemate uuringute meta-analüüsiga töötati välja ja täiustati koefitsientide ja arvutusalgortime, mis arvestavad erinevate agrotehnoloogiate (harimisviisid, tahe- ja vedelsõnniku kasutamine, hajasväetised, kompostid, vahekultuurid, põhumajandus jne) mõju mulla C_{org} bilansile.

Kalkulaatori saab kasutada mineraalmuldadel C_{org} bilansi ja varu arvutamiseks. Lähteandmetena on vaja sisestada huumuskihi tusedus, orgaanilise sisukuse kontsentratsioon, mulla lõimis, kultuuri valik, põhisaaži suurus ning väetamise andmed. Kalkulaator võimaldab saada vastuse üksiku põllu tasandil kui ka kogu kui ka põldude/kulvkorra keskmisena.

Programm töötab tabelarvutusprogrammi MS Excel baasil ja sisaldab makrosid, mille kasutus on vaja lubada. Kalkulaator on tasuta kasutamiseks ja levitamiseks. Kalkulaatori arendamisse on olulise panuse andnud prof. Hugo Roostalu, dotsent Enn Laurinson, prof. Alar Astover jpt. Tagasiside ja lähem teave: Alar Astover, alar.astover@emu.ee

• **Huumusbilansi kalkulaator versioon 2.0 alla laadimine siit (pakitud .zip failina)**

NPK põllupõhise bilansi kalkulaator

Käesolev põllupõhine NPK bilansi kalkulaator on välja töötatud lihtsustatud üldbilansi põhimõttel. Väljundina võetakse arvesse põhi- ja kõrvalsaagiga eemaldatavad kogused, mis sõltuvad saagi suurusest ja vastava tootlemendi kontsentratsioonist saagis. Sisenditena võetakse arvesse mineraal- ja orgaanilised väetised ning liblikõieliste kultuuride poolt õhust seotav lämmastik. Ajalise arvestuse aluseks on konkreetse kultuuri kogu kasvutsükli periood. Kalkulaatori lihtsustatud bilansi ja tagastamise osakaalu (sisendi suhe eemaldamisse) alusel annab kalkulaator tulemustele kvalitatilised sõnalised hinnangud sõltuvalt konkreetse põllu mulla omadustest ja väetistarbist. Kalkulaatori kasutajal on soovi korral võimalik ise muuta vastava kultuuri saagi N/proteiini-, P- ja K-sisalduse väikeväärtusi, orgaaniliste väetiste koostist jms koefitsiente.

Programm töötab tabelarvutusprogrammi MS Excel baasil ja sisaldab makrosid, mille kasutus on vaja lubada. Kalkulaator on tasuta kasutamiseks ja levitamiseks. Tagasiside ja lähem teave: Alar Astover, alar.astover@emu.ee

• **NPK põllupõhise kalkulaatori versiooni 1.0 alla laadimine siit (pakitud .zip failina)**

Arendused e-põlluraamatu süsteemidega seostamiseks töös

E-pria keskkonnas teatud lihtsustusena olemas...

<https://pk.emu.ee/struktuur/mullateadus/teadustoo/mullakalkulaatorid/>

07.10.2026





Kaasrahanud
Euroopa Liit

- Tulekul

MULD2 lõpukonverents "Eesti digitaalne mullastikukaart eile, täna ja homme" – 21. oktoober, Türil.

XVII Mullapäev – 4. detsember 2026, Tartus.

Ma tänan!



emu.ee

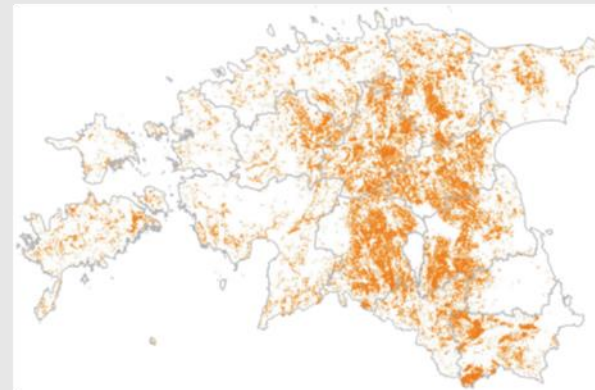


maaylikool



maaylikool

Aasta muld 2026 Leetjas muld – Eestimaa kuld



Alar Astover, mullateaduse professor

Eesti Maaülikool, põllumajandus- ja keskkonnainstituut, mullateaduse õppetool

Kreutzwaldi 1, Tartu 51014

Mob. 5122824; E-post: alar.astover@emu.ee; Web: <https://pk.emu.ee/mullateaduse-oppetool>