



Dikningsavstånd och kalkfilterdike på lerjord i Västmanland

Påverkan på flöde, skörd och utlakning av kväve och fosfor

Sandra Lillsjö Kronblad

Examensarbete/Självständigt arbete • 30 hp

Sveriges lantbruksuniversitet, SLU

Institutionen för mark och miljö

Agronomprogrammet - mark/växt

Examensarbeten / Institutionen för mark och miljö, SLU

Nummer i serien 2025:12

Uppsala 2025



Dikningsavstånd och kalkfilterdike på lerjord i Västmanland. Påverkan på flöde, skörd och tuttlakning av kväve och fosfor

Drainage distance and lime filter on clay soil in Västmanland. Effects on flow, yield and leaching of phosphorus and nitrogen.

Sandra Lillsjö Kronblad

Handledare:	Ingrid Wesström, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för mark och miljö
Examinator:	Helena Aronsson, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för mark och miljö
Omfattning:	30 hp
Nivå och fördjupning:	Avancerad nivå, A2E
Kurstitel:	Självständigt arbete i Markvetenskap, A2E - Agronomprogrammet - mark/växt
Kurskod:	EX0881
Program/utbildning:	Agronomprogrammet - mark/växt 300 hp
Kursansvarig inst.:	Institutionen för mark och miljö
Utgivningsort:	Uppsala
Utgivningsår:	2025
Upphovsrätt:	Alla bilder används med upphovspersonens tillstånd.
Serietitel:	Examensarbeten / Institutionen för mark och miljö, SLU
Nummer i serien:	2025:12
Nyckelord:	täckdikning, dräneringsfilter, näringsbelastning, fosforutlakning, kväveutlakning

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap och Fakulteten för skogsvetenskap.
Institutionen för mark och miljö

Sammanfattning

Jordbruket står för en stor del av transporten av näringsämnen till sjöar och hav, där den skapar problem med övergödning. En del av denna transport beror på täckdikning, som har potentialen att öka belastningen av kväve (N) och fosfor (P). Dränering är och andra sidan en viktig del av jordbrukets produktion och klimatsäkring inför framtiden. Dränering förbättrar markstruktur, minskar risken för ytaavrinning och ökar skördar. Den uppskattade summan för klimatanpassning av dräneringen i Sverige är totalt 25 miljarder Skr. Det är med andra ord viktigt att välja ett system som uppfyller de positiva effekterna av täckdikning, men samtidigt minska potentiell utlakning av näringsämnen. Syftet med denna studie är att med resultat från ett långliggande dräneringsförsök besvara hur olika dikesavstånd och dikesmaterial påverkar skörd och transport av näringsämnena N och P, på en lerjord i Västmanland. I försöket finns fyra behandlingar totalt med tre upprepningar per behandling. Behandlingarna är A) Befintligt tegelrör från 1920-talet utan filter och 10 meter dikesavstånd. B) Ny dräneringsslang med grusfilter och 10 meter dikesavstånd. C) Ny dräneringsslang med grusfilter och 5 meter dikesavstånd. D) Ny dräneringsslang med grusfilter och strukturkalk blandad återfyllning och 10 meter dikesavstånd. Flödet uppmättes från försöksrutorna och var fjortonde dag togs ett vattenprov ut för att bedöma koncentrationerna. Dessa värden användes för att beräkna belastningen. Näringsläckage minskade generellt med ett lägre flöde och ett kortare dikningsavstånd resulterade i ett lägre flöde. Kalkfilterdike minskade förluster av P de flesta försöksåren i jämförelse med system utan kalkfilterdike. Skillnaden mellan behandlingar var dock endast signifikanta ($p < 0,05$) de första två försöksåren och endast för P utlakning mellan det gamla tegelrörssystemet (kontrollen) och det nya täckdikningssystemen. Skörden ökade i nya täckdikningssystem, men ej signifikant mellan olika dikningsavstånd eller med kalkfilterdike.

Nyckelord: täckdikning, dräneringsfilter, näringsbelastning, fosforutlakning, kväveutlakning

Abstract

Agriculture stands for a large part of the nutrient loads reaching lakes and seas, causing eutrophication. Part of this transport of nutrients is due to subsurface drainage, which has the potential of increasing loads of nitrogen (N) and phosphorus (P). Drainage is however also an important part in an effective food production and a security for future climate change. It improves soil structure, reduces risk of surface runoff and increases yields. The estimation of cost for a climate adaptation of drainage in Sweden is in total 25 billion Skr. It is in other words important to select a system of subsurface drainage that will keep the positive effects, while still reducing potential loss of nutrients. This study aimed to, with results from a long-term drainage trial, answer how different drainage distances and materials affect yield and flow of the nutrients N and P, on a clay soil situated in Västmanland.. The trial has four treatments in total with three replicates each. The treatments are A) Original tile drainage from 1920, no filter and 10 meter distance between lines. B) New drainage using plastic lines with 10 meter distance and gravel filter. C) New drainage using plastic lines with 5 meter distance and gravel filter. D) New drainage using plastic lines with 10 meter distance and gravel filter and lime-filter. It was found that nutrient loss generally was reduced by a lesser flow and that a shorter distance between drains gave a lower flow. Lime-filters resulted in a lower loss of P and often an increase in N. Lime-filters did reduce P loss most years compared to a system without. The differences between treatments were however only significant ($p < 0.05$) for the first two years of the study period and then only for P

and between the old system (control) and the new systems. Yields did increase with new systems but did not significantly differ between drain distance or with lime-filter.

Keywords: subsurface drainage, nutrient load, drain envelopes, phosphorus leaching, nitrogen leaching

Innehållsförteckning

Tabellförteckning	7
Figurförteckning	9
Förkortningar	11
1. Inledning	12
1.1 Syfte och frågeställning	13
1.2 Bakgrund	13
2. Material och metod	15
2.1 Beskrivning av försöksplats	15
2.1.1 Försöksupplägg	15
2.1.2 Jord och markkartering	16
2.1.3 Växtodling	17
2.2 Väderdata	18
2.3 Mätningar	18
2.4 Datahantering	19
2.4.1 Felkällor	19
2.4.2 Beräkning och statistik	19
3. Resultat	20
3.1 Avrinning	20
3.2 Kväveutlakning	23
3.3 Fosforutlakning	30
3.4 Årlig avrinning och utlakning	36
3.5 Skörd	39
4. Diskussion	45
4.1 Äldre system och nytt system	46
4.2 Kalkfilterdike	47
4.3 Dikningsavstånd 5 eller 10 meter	48
5. Slutsats	51
Referenser	52
Populärvetenskaplig sammanfattning	55

Tabellförteckning

Tabell 1: Medelvärde för varje behandling av mätningar för markkartering gjord år 2020 på djup 0–20 cm. P-AL, K-AL, Mg-AL, Ca-AL, Fe-AL, Al-AL anges i mg/100g lufttork jord. Mullhalt anges % av torr vikt.....	17
Tabell 2: Sådd gröda och tillhörande information om sort, utsädesmängd och sådatum.	17
Tabell 3: Typ av gödslingsmedel, giva och datum för gröda och år	18
Tabell 4: Årlig avrinning och utlakning av näringsämnen för behandlingar A (10 m avstånd, tegelrör), B (10 m avstånd, nya plaströr), C (5 m avstånd, nya plaströr) och D (10 m avstånd, nya plaströr, kalkfilterdike) försöksår 2019/2020, fosfatfosfor (PO ₄ -P), Total fosfor (Total P), Total P filtrerad (Total P filtrerad), ammoniumkväve (NH ₄ -N), nitrit+nitratkväve (NO ₂ +NO ₃ -N), Total kväve (Total N). Olika bokstäver (a, b) indikerar en signifikant skillnad mellan behandlingar på signifikansnivå p<0,05	36
Tabell 5: Årlig avrinning och utlakning av näringsämnen för behandlingar A (10 m avstånd, tegelrör), B (10 m avstånd, nya plaströr), C (5 m avstånd, nya plaströr) och D (10 m avstånd, nya plaströr, kalkfilterdike) försöksår 2020/2021, fosfatfosfor (PO ₄ -P), Total fosfor (Total P), Total P filtrerad (Total P filtrerad), ammoniumkväve (NH ₄ -N), nitrit+nitratkväve (NO ₂ +NO ₃ -N), Total kväve (Total N). Olika bokstäver (a, b) indikerar en signifikant skillnad mellan behandlingar på signifikansnivå p<0,05	37
Tabell 6: Årlig avrinning och utlakning av näringsämnen för behandlingar A (10 m avstånd, tegelrör), B (10 m avstånd, nya plaströr), C (5 m avstånd, nya plaströr) och D (10 m avstånd, nya plaströr, kalkfilterdike) försöksår 2021/2022, fosfatfosfor (PO ₄ -P), Total fosfor (Total P), Total P filtrerad (Total P filtrerad), ammoniumkväve (NH ₄ -N), nitrit+nitratkväve (NO ₂ +NO ₃ -N), Total kväve (Total N). Signifikansnivå p<0,05	37
Tabell 7: Årlig avrinning och utlakning av näringsämnen för behandlingar A (10 m avstånd, tegelrör), B (10 m avstånd, nya plaströr), C (5 m avstånd, nya plaströr) och D (10 m avstånd, nya plaströr, kalkfilterdike) försöksår 2022/2023, fosfatfosfor (PO ₄ -P), Total fosfor (Total P), Total P filtrerad (Total P filtrerad), ammoniumkväve (NH ₄ -N), nitrit+nitratkväve (NO ₂ +NO ₃ -N), Total kväve (Total N). Olika bokstäver (a, b) indikerar en signifikant skillnad mellan behandlingar på signifikansnivå p<0,05	38
Tabell 8: Årlig avrinning och utlakning av näringsämnen för behandlingar A (10 m avstånd, tegelrör), B (10 m avstånd, nya plaströr), C (5 m avstånd, nya plaströr) och D (10 m avstånd, nya plaströr, kalkfilterdike) försöksår 2023/2024,	

fosfatfosfor (PO ₄ -P), Total fosfor (Total P), Total P filtrerad (Total P filtrerad), ammoniumkväve (NH ₄ -N), nitrit+nitratkväve (NO ₂ +NO ₃ -N), Total kväve (Total N). Signifikansnivå p<0,05	38
Tabell 9: Skörderesultat och kvalitet för behandlingar A (10 m avstånd, tegelrör), B (10 m avstånd, nya plaströr), C (5 m avstånd, nya plaströr) och D (10 m avstånd, nya plaströr, kalkfilterdike) år 2020. Tusenkornvikt (TKV). Signifikansnivå p<0,05	40
Tabell 10: Skörderesultat och kvalitet för behandlingar A (10 m avstånd, tegelrör), B (10 m avstånd, nya plaströr), C (5 m avstånd, nya plaströr) och D (10 m avstånd, nya plaströr, kalkfilterdike) år 2021. Tusenkornvikt (TKV). Olika bokstäver (a, b) indikerar en signifikant skillnad mellan behandlingar på signifikansnivå p<0,05	41
Tabell 11: Skörderesultat och kvalitet för behandlingar A (10 m avstånd, tegelrör), B (10 m avstånd, nya plaströr), C (5 m avstånd, nya plaströr) och D (10 m avstånd, nya plaströr, kalkfilterdike) år 2022. Tusenkornvikt (TKV). Olika bokstäver (a, b) indikerar en signifikant skillnad mellan behandlingar på signifikansnivå p<0,05	41
Tabell 12: Skörderesultat och kvalitet för behandlingar A (10 m avstånd, tegelrör), B (10 m avstånd, nya plaströr), C (5 m avstånd, nya plaströr) och D (10 m avstånd, nya plaströr, kalkfilterdike) år 2023. Tusenkornvikt (TKV). Signifikansnivå p<0,05	42
Tabell 13: Skörderesultat och kvalitet för behandlingar A (10 m avstånd, tegelrör), B (10 m avstånd, nya plaströr), C (5 m avstånd, nya plaströr) och D (10 m avstånd, nya plaströr, kalkfilterdike) år 2024. Tusenkornvikt (TKV). Olika bokstäver (a, b, c) indikerar en signifikant skillnad mellan behandlingar på signifikansnivå p<0,05	43

Figurförteckning

Figur 1: Översiktlig bild över försöksfältets 12 rutor och dess korresponderande behandlingar. A (10 m avstånd, tegelrör), B (10 m avstånd, nya plaströr), C (5 m avstånd, nya plaströr) och D (10 m avstånd, nya plaströr, kalkfilterdike). Bild är ej skalenlig	16
Figur 2: Ackumulerad dygnsavrinning i mm över försöksperiod oktober 2019 – juni 2024 för behandlingarna A (10 m avstånd, tegelrör), B (10 m avstånd, nya plaströr), C (5 m avstånd, nya plaströr) och D (10 m avstånd, nya plaströr, kalkfilterdike)	22
Figur 3: Nederbörd (mm) och medeltemperatur (°C) under hela försöksperioden från oktober 2019 – juni 2024. Värdet för medeltemperatur (SMHI 2025b) och nederbörd (SMHI 2025a)	23
Figur 4: Årlig ackumulerad total-kväveutlakning (Total N) per dygn i kg per hektar över försöksperioden oktober 2019 - juni 2024 för behandlingarna A (10 m avstånd, tegelrör), B (10 m avstånd, nya plaströr), C (5 m avstånd, nya plaströr) och D (10 m avstånd, nya plaströr, kalkfilterdike)	25
Figur 5: Årlig ackumulerad utlakning av ammonium-kväve (NH ₄ -N) per dygn i kg per hektar över försöksperioden oktober 2019 – juni 2024 för behandlingarna A (10 m avstånd, tegelrör), B (10 m avstånd, nya plaströr), C (5 m avstånd, nya plaströr) och D (10 m avstånd, nya plaströr, kalkfilterdike)	27
Figur 6: Årlig ackumulerad utlakning av nitrat- och nitritkväve (NO ₃ -N och NO ₂ -N) per dygn i kg per hektar över försöksperioden oktober 2019 – juni 2024 för behandlingarna A (10 m avstånd, tegelrör), B (10 m avstånd, nya plaströr), C (5 m avstånd, nya plaströr) och D (10 m avstånd, nya plaströr, kalkfilterdike).	29
Figur 7: Årlig ackumulerad total fosforutlakning (Total P) per dygn i kg per hektar över försöksperioden oktober 2019 – juni 2024 för behandlingarna A (10 m avstånd, tegelrör), B (10 m avstånd, nya plaströr), C (5 m avstånd, nya plaströr) och D (10 m avstånd, nya plaströr, kalkfilterdike)	31
Figur 8: Årlig ackumulerad utlakning av total fosfor filtrerad (Total P filtrerad) per dygn i kg per hektar över försöksperioden oktober 2019 – juni 2024 för behandlingarna A (10 m avstånd, tegelrör), B (10 m avstånd, nya plaströr), C (5 m avstånd, nya plaströr) och D (10 m avstånd, nya plaströr, kalkfilterdike)	33
Figur 9: Årlig ackumulerad utlakning av fosfat-fosfor (PO ₄ -P)) per dygn i kg per hektar över försöksperioden oktober 2019 – juni 2024 för behandlingarna A (10 m avstånd, tegelrör), B (10 m avstånd, nya plaströr), C (5 m avstånd, nya plaströr) och D (10 m avstånd, nya plaströr, kalkfilterdike)	35

Förkortningar

Förkortning	Betydelse
SLU	Sveriges lantbruksuniversitet
NH ₄ -N	Ammoniumkväve
PO ₄ -P	Fosfatfosfor
Total-P	Totalfosfor
Total-P filtrerad	Filtrerad totalfosfor
Total-N	Totalkväve
NO ₂ +NO ₃ -N	Nitrit- och nitratkväve
P	Fosfor
K	Kalium
S	Svavel
N	Kväve
NS	Innehåll av kväve och svavel, siffror indikerar procent av innehåll.
NPK	Innehåll av kväve, fosfor och kalium, siffror indikerar procent av innehåll
SMHI	Sveriges metrologiska och hydrologiska institut
P-AL	Växttillgänglig fosfor
K-AL	Växttillgänglig kalium
Mg-AL	Växttillgängligt magnesium
Ca-AL	Växttillgängligt kalcium
Fe-AL	Växttillgängligt järn
Al-AL	Växttillgängligt aluminium
N ₂ O	Lustgas

1. Inledning

Jordbruket i Sverige står för lite mindre än hälften av landets utsläpp av näringsämnena fosfor (P) och kväve (N) (*Jordbruksverket 2019*). Nettobelastningen på sjöar och hav består framför allt av diffusa källor, där jordbruket är en av de dominerande källorna (Havs- och vattenmyndigheten 2019). Dränering av jordbruksmark är en viktig del av produktionen och kan bidra med nytta, men kräver kunskap om potentiella negativa effekter av näringstransport ut i vattendrag. År 2023 var 47 % av Sveriges åkermark dränerad och 61 % av all åkermark (anlagt dräneringssystem eller inte) ansågs tillfredställande dränerad av lantbrukare (*Grönvall 2024*). Det finns alltså ett behov av förbättrad dränering, men det finns parallellt också ett behov av anpassning för framtida klimat. Bland annat förväntas fosforförluster öka under klimatförändringar, speciellt med ökad vinternederbörd som leder till större flöden (Ockenden et al. 2017). Denna anpassning av täckdikning till klimatförändringar bedöms kosta upp till en miljard kronor årligen i 25 års tid för att täcka behovet (*Hoffman et al. 2023*). Generellt så ökar belastningen av N och P med täckdikning, men fördelen är att den samtidigt gör marken mer tillgänglig för jordbruk och kan minska förluster av sediment (Skaggs et al. 1994). Några av de positiva effekterna är en sänkt grundvattennivå lokalt som gynnar rotutveckling, utjämning av flödestoppar efter kraftig nederbörd, tidigare upptorkning på våren, jämnare mognad av gröda och stabilisering av markstruktur (*Larsson et al. 2019*). Täckdikning leder alltså till en effektivare produktion på den jordbruksmarken som tillgås. Effekten av täckdikning kan vara blandad och några exempel tas upp i (*Larsson et al. 2019*). Täckdikning har möjligheten att minska P-förluster genom en jämnare infiltration, där P har större chans att binda till markpartiklar, men samtidigt finns risken att förlusten av P ökar med ökad transport av partikelbundet P. Ett annat exempel är hur en luftigare jordprofil gynnar rotutveckling, där rötter kan ta upp mer näringsämnen, men syre kan gynna mineralisering av organiskt N. Detta belyser komplexiteten med täckdikning, som både en risk för ökad utlakning, men samtidigt en nytta för effektivare produktion och potentiell minskning av utlakning. Då behovet av dränering upplevs som stort, en variation av näringsläckage finns och täckdikning är en kostsam investering för framtiden, behövs kunskap som kan ge stöd vid beslut om systemdesign. Detta kan vara stöd i beslut om dikningsavstånd eller utnyttjande av kalkfilterdike.

1.1 Syfte och frågeställning

Syftet med denna studie är att med resultat från ett långliggande dräneringsförsök besvara hur olika dikesavstånd och dikesmaterial påverkar skörd och flödet av näringsämnena kväve och fosfor, på en lerjord i Västmanland.

Frågorna som ämnas besvaras i denna undersökning är följande.

- Är det någon skillnad i transport av kväve och/eller fosfor baserat på dikningsavstånd?
- Är det någon skillnad i skörd och kvalitet baserat på dikningsavstånd?
- Hur påverkas skörd och näringsläckage av att dränering har kalkfilterdike på lerig jord?

1.2 Bakgrund

Det är viktigt att anpassa täckdikning till de förutsättningarna som finns på platsen det ska anläggas. Detta innefattar bland annat dimensionen på ledningarna och avståndet mellan grenledningar. Ledningarnas dimension är baserade på avvattningsarealen och ledningarnas lutning. En innerdiameter på 50 millimeter är vanligt, så längre järnutfällning och igenslamning inte är ett stort problem. Annars kan diametern ligga kring 65 millimeter (Karlsson 2019). Dikningsavståndet baseras på dimensionerat flöde, torrlägningsdjupet, vattenledningsförmågan och markens lutning. Men baseras också på hur kuperad terrängen är, om vattenkänsliga grödor ska odlas och om det är tyngre maskiner som ska gå på marken, då minskas ofta dikningsavståndet. Rekommenderat avstånd för lerjordar är mellan 10–14 meter (Täckdikningsföreningen rf 2015). Täckdikning är en investering som ska vara funktionell i minst 50 år och därför behöver hänsyn tas till ett klimat som kan komma att förändras. Lerjordar kan komma att vara de jordar som framför allt påverkas av klimatförändringarna med mindre tjäle som luckrar jorden, mer markpackning och därmed en reducerad genomsläpplighet. Minskning av dikningsavstånd är en av anpassningarna som kan göras för att hantera detta, utöver att öka kapacitet på stamledningar och kantdiken (Jordbruksverket 2009).

Det vanligaste filtermaterialet är grus och om grus inte finns att tillgå kan lindade ledningar av exempelvis geotextil eller kokos användas, samt sågspån på rostjordar. Filtrets uppgift är att underlätta infiltration av vatten, men samtidigt filtrera en del av jordmaterialet som kan komma in i rören. Detta är framför allt kornstorlekar som grov- och finmo. Grusfilter rekommenderas vara 2–8 millimeter, men kan vara större om jorden inte har en benägenhet att slamma igen (Karlsson 2018).

Kalkfilterdike innebär att strukturkalk läggs i återfyllning vid ny täckdikning eller omtäckdikning (Gyllenström & Larsson 2013). Kalkfilterdiken kan förbättra aggregatstruktur, samt reducera risken för att lerpartiklar slammas upp. Detta kan

minska förluster av P genom att infiltrationen ökar och risken för ytaavrinning och där med förlust av partikelbundet P minskar. Samtidigt ökar den jämnare infiltrationen chansen att P löst i markvätskan binds till markpartiklar (Bång et al. 2012). Kalkfilter reducerar utlakning av P och detta visades i ett långliggandeförsök i Finland (Kirkkala et al. 2012). Tre olika sand-kalkfilter testades innehållande bränt kalk och/eller en blandning av flera kalkrestprodukter. Alla filter hade en relativt god förmåga att reducera läckage av total fosfor, partikelfosfor och löst reaktiv fosfor, men begränsad förmåga att reducera kväveläckage. Fosfor kan adsorbera till bland annat naturliga mineraler som kalksten, zeolit och kalcit och mängden som adsorberas är beroende på temperatur och närvaron av andra ämnen som kan reducera adsorptionen genom att ta adsorptionsplatser (Sellner et al. 2019). I kalcium (Ca) baserade filter sker framför allt utlakningsreaktioner och bindningsförmåga till löst reaktiv fosfor kan variera. Effektiviteten baseras på flödesmängd och mättningsgrad av materialet (Mendes et al. 2022). Om flödesmängden är för stor så hinner reaktionen inte ske i lika stor utsträckning och mättas filtret så avtar dess effekt. Hur stor belastningen är från de olika behandlingarna kommer att bero på två faktorer, flöde och koncentration. Det finns en säsongsvariation för transport av näringsämnen, där koncentrationen är högre under växtsäsong men näringsbelastningen är som högst under icke växtsäsong (Rixon et al. 2024).

Tidigare analys av resultat från ett långliggande försöks två första år visade att dikesavstånd inte hade någon påverkan på flödet, men att de nya täckdikningssystemen hade en positiv inverkan på skörd jämfört med det äldre tegelrörssystemet. Utlakningen av fosfor minskade medan kväveutlakningen ökade (Wesström & Joel 2022). Den positiva skördepåverkan kan förväntas fortsatt vara fallet under de kommande tre försöksåren, då systemtäckdikning kan leda till större skördar genom att torka upp jorden tidigare på våren och även ge en stabilare struktur, där täckdikningen gynnar en djupare rotutveckling som kan hjälpa att säkra skörd även i torrperioder (Tilla Larsson et al. 2018).

2. Material och metod

2.1 Beskrivning av försöksplats

Studien utfördes med data insamlad från ett långliggande försök anlagt 2018 utanför Sala i Västmanlands län, på en konventionell gård vid Gölja. Årsnederbörden är i genomsnitt 549 mm och årsmedeltemperaturen 6,2 °C (*SMHI 2021*). Jordarten är en mellanlera och fältet har en platt topografi, där ytaavrinning inte bedöms vara ett problem. Fältet där försöket ligger har en äldre tegelrördränering från 1920 talet, med selekterade delar nydränerade 2018. De gamla dräneringsledningarna grävdes av när den nya dräneringen anlades. Fältet brukas som ett och alla odlingsåtgärder utförs beroende av varandra, vilket innebär att sådatum exempelvis är anpassat till den delen av fältet som torkar upp senast på våren.

2.1.1 Försöksupplägg

Försöket består av fyra behandlingar (A-D) med tre upprepningar per behandling, som sammanlagt blir 12 rutor (se Figur 1). Behandlingarna är i så stor utsträckning som möjligt slumpmässigt fördelade på rutorna, men alla behandlingar A är på en plats i försöket.

- A. Befintligt tegelrör utan filter, 10 m dikesavstånd.
- B. Ny dräneringsslang med grusfilter, 10 m dikesavstånd.
- C. Ny dräneringsslang med grusfilter, 5 m dikesavstånd.
- D. Ny dräneringsslang med grusfilter och strukturskalk blandad i återfyllning, 10 m dikesavstånd.

5, 7 och 9 har högre halter. Mullhalten är i genomsnitt 5,4 % i matjorden, med en variation mellan rutor som mest är 1 %. Längre ner i profilen så avtar snabbt mullhalten för alla rutor och vid 40 cm djup är mullhalten noll. Medeltalet för P-AL i matjorden är 8,2, motsvarande en fosforklass på III. Vissa delar av försöket framförallt området med rutor 10, 11 och 12, har P-AL upp till 10,2 vilket ger en fosforklass på IVA. (Tabell 1) Värt att notera är att behandlingarna A och D i nästan alla fall har högre värden än resterande behandlingar. Undantagen är Fe-AL för D och kalium/magnesium kvoten för behandling A. Behandling D har ett högre pH och ett högre Ca-AL värde, vilket kan förklaras av strukturskalken som ingår i behandlingen. Behandling B har den lägsta lerhalten.

Tabell 1: Medelvärde för varje behandling av mätningar för markkartering gjord år 2020 på djup 0–20 cm. P-AL, K-AL, Mg-AL, Ca-AL, Fe-AL, Al-AL anges i mg/100g lufttorr jord. Mullhalt anges % av torrsvikt

Behandling	A	B	C	D
pH	6,3	6,1	6,2	6,8
P-AL	9	8	7	9
K-AL	17	13	14	15
Mg-AL	39	26	31	34
Ca-AL	282	205	212	385
Mullhalt	5,8	5,4	5,0	5,5
Kalium/Magnesium	0,4	0,5	0,5	0,5
Fe-AL	44	42	42	42
Al-AL	36	34	35	37

2.1.3 Växtodling

Gården drivs konventionellt och bekämpning av ogräs görs i alla grödor och insekticider används framför allt i odling av vårraps. Detaljerad information om sådd gröda och gödsling återfinns i Tabell 2 respektive Tabell 3. Gården har en växtföljd med grödorna: höstvete (*Triticum aestivum*), vårraps (*Brassica napus ssp. Napus*), vårvete (*Triticum aestivum*), havre (*Avena sativa*) och ärt (*Pisum sativum*) och tillämpar sig av reducerad jordbearbetning och direktsådd.

Tabell 2: Sådd gröda och tillhörande information om sort, utsädesmängd och sådatum

Gröda	År	Sort	Utsädesmängd (kg/ha)	Sådatum
Höstvete	2020	-	-	2019-
vårraps	2021	INV100	-	2021-05-13
vårvete	2022	Sibelius	300	2022-04-29
Havre	2023	Galant	200	2023-05-09
Vårvete	2024	Sibelius	220	2024-05-12

Tabell 3: Typ av gödslingsmedel, giva och datum för gröda och år

Gröda	År	Typ	Giva (kg/ha)	Datum
Vårraps	2021	NPK	400	2021-05-13
Vårraps	2021	Axan NS27-4	200	2021-06-20
Vårvete	2022	Agro NS 38	300	2022-04-29
Vårvete	2022	NS 27-5	200	2022-06-19
Havre	2023	Urea N46	180	2023-05-09
Havre	2023	NPK 22-6-6 Yaramila	100	2023-05-10
Vårvete	2024	NPK 26-3-5	300	
Vårvete	2024	kalksalpeter	300	2024-06-17

2.2 Väderdata

Det finns ingen väderstation som ligger vid försöket. Väderdata har hämtats från en närliggande SMHI väderstation (Sala A, 96 560). Stationen ligger på latitud 59.9036 longitud 16.6579 och 56 meter över havet. Data som används är maximal temperatur (°C), minimal temperatur (°C), medeltemperatur (°C) och nederbörd (mm).

2.3 Mätningar

Från varje försöksruta leds avrinningsvattnet separat i täta rörledningar (PE-50 millimeter ”avloppsrör”) till en mätstation för flödesmätning och vattenprovtagning. Flödesmätningarna utförs automatiskt med vippkärl kopplade till en data-loger (CR1000X, Campbell Scientific), där en tippning innebär att 4 liter vatten passerat. Dessa mängder loggas per timme. Efter att 0,2 millimeter vatten har passerat från en ruta tas en mindre portion vatten till ett samlingsprov, som tas ut och skickas på analys var 14:e dag. De tagna vattenproverna analyseras av det ackrediterade laboratoriet vid Institutionen för vatten och miljö (SLU) enligt handboken för miljöövervakning (Naturvårdsverket 2008). Formerna av näringsämnen som mäts är total fosfor (Total-P), total filtrerad fosfor (Total-P filtrerad), fosfatfosfor ($\text{PO}_4\text{-P}$), total kväve (Total-N), nitrat och nitritkväve (NO_2+NO_3) och ammoniumkväve ($\text{NH}_4\text{-N}$).

Skördemätningar för biomassa i varje försöksruta sker i två små skörderutor med en area på 42 m² vardera, placerade vinkelrätt mot dräneringsledningens riktning. Ett prov tas ut för analys av innehåll i skörden. Analyserna varierar baserat på gröda. Det som har redovisats är skörd (kg/ha), stärkelse (% av torrsubstans (ts)), oljehalt (% av ts), glukos (% av ts), vattenhalt (%), relativ

skörd, tusenkornvikt (15 %/9 % vattenhalt g), råfett (% av ts), råprotein (% av ts), kväve (% av ts) klorofyll (ppm) och ergosterol.

2.4 Datahantering

2.4.1 Felkällor

När mätinstrumenten inte har kunnat uppmäta tillräckligt korrekta mätvärden, har dessa uteslutits eller interpolerats, samt beräknats. En upprepning har delvis uteslutits, på grund av dokumentation av snedställt vippkärl under längre period första försöksåret och ett läckage i vippkärl sista försöksåret som pågått under okänd tid. Detta vippkärl tillhörde ruta 5, med behandlingen C. Resultat från denna ruta togs bara med i beräkningar av flöde och belastning under perioden 2021–2023. Mätdata har även exkluderats vid tillfällena med enstaka tippningar i en period av annars inget flöde alls. Dessa är tillfällena då vippkärlens funktion har kontrollerats i fält. Tillfällena när linjär interpolering används var när avrinning plötsligt upphörde helt under en period med annars höga flöden och det inte kunde förklaras av negativa lufttemperaturer. Under försöksår 2023–2024 var det högre flöde än vad vippkärlen hann med, samt en översvämning av mätstationen. Vid detta tillfälle uppstod orimligt höga värden och för att lösa detta sattes ett tak på avrinning baserat på kapaciteten hos dräneringsrören och försöksrutans rutans area. Avrinningen under ett dygn fick inte överstiga 22,6 mm/dygn för behandlingarna med dikesavstånd 10 m och 18,1 mm/dygn för behandlingen med 5 m dikesavstånd.

2.4.2 Beräkning och statistik

En kalibrering av vippkärlen utfördes för att kontrollera att volymen vid tippning stämmer överens med dokumenterat flöde. Avrinningsdata korrigerades baserat på den genomsnittliga volymen av de två sidorna på varje vippkärl.

Vid flödesproportionell provtagning har de uppmätta koncentrationerna vid ett provtagningstillfälle använts för alla dygn mellan föregående provtagning och den aktuella provtagningsdagen. Dygnskoncentrationerna multipliceras med dygnsavrinningarna för att beräkna dygnstransporter som därefter summerats till månads- eller årstransporter.

Det totala årsflödet, årstransporterna och skördemätningarna analyserades separat årsvis med variansanalys (envägs ANOVA) för att se om det fanns en signifikant skillnad ($p < 0,05$) mellan de olika behandlingarna. Om signifikanta skillnader fanns utfördes Tukey HSD (honestly significant difference) test för att identifiera vilka behandlingar. För skördedata redovisas även variationskoefficienter och Least Significant Difference (LSD).

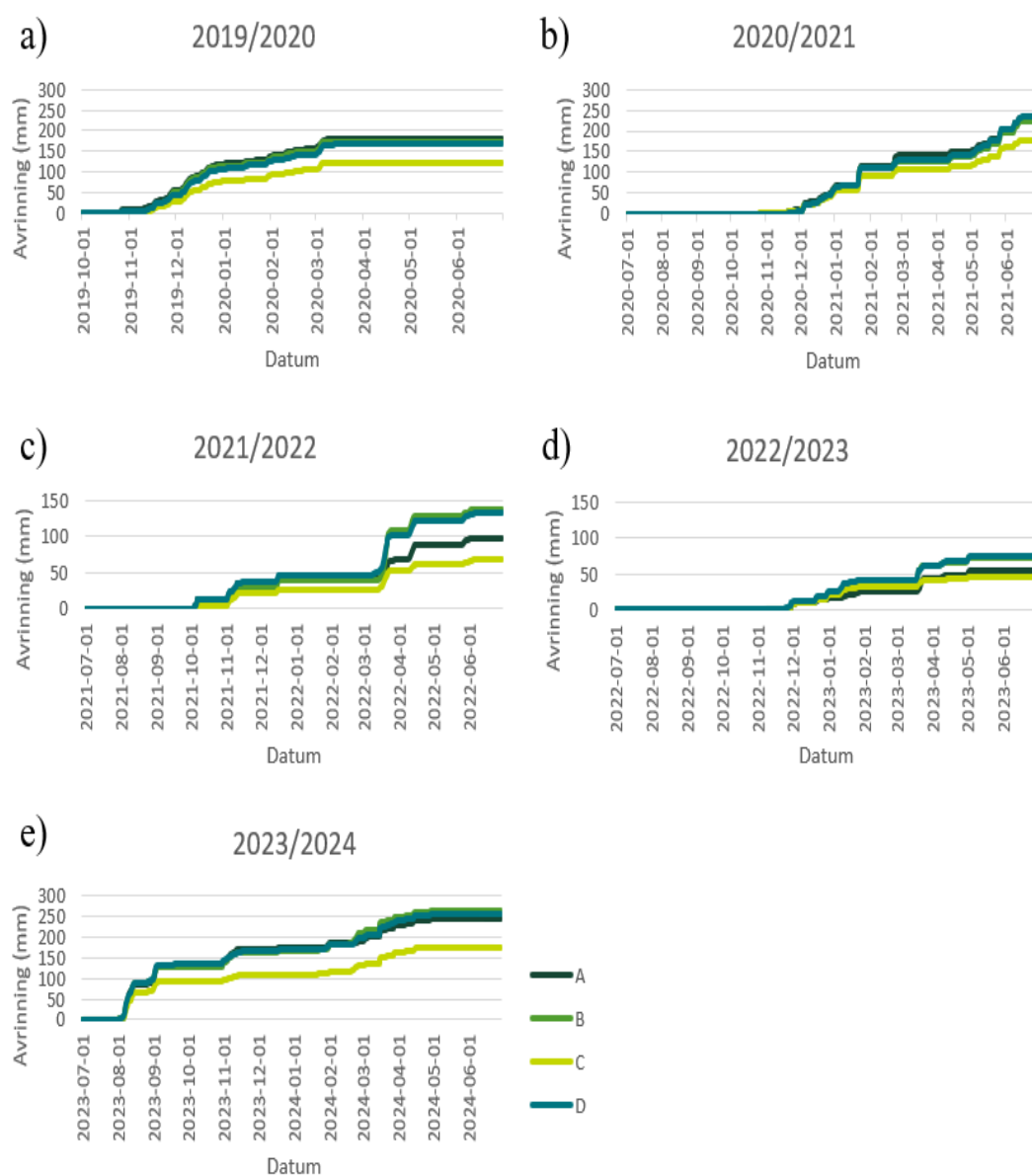
3. Resultat

3.1 Avrinning

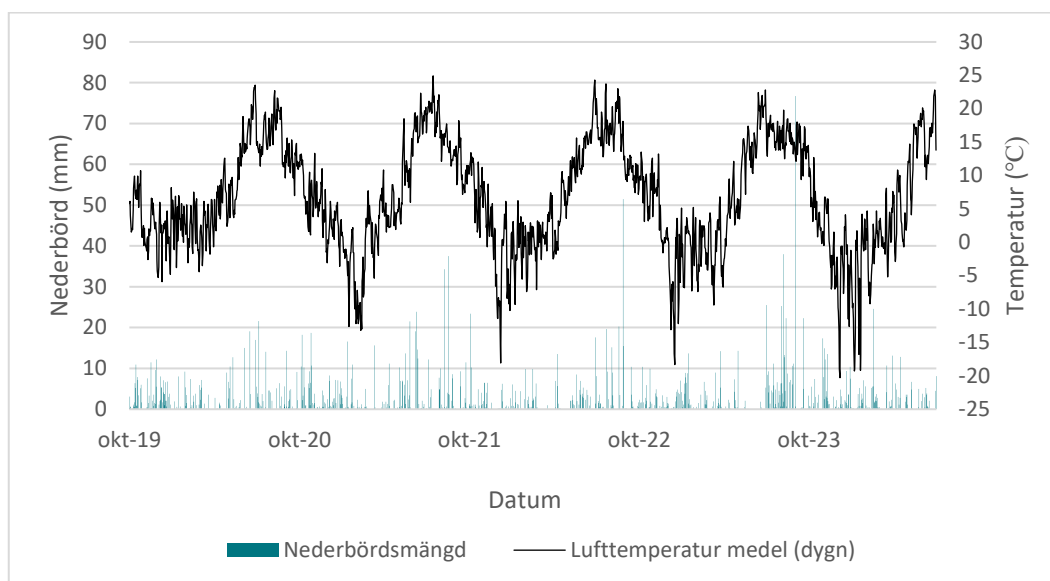
Den årliga ackumulerade dygnsavrinningen för de olika dikesavstånden (se Figur 2) visade att de olika behandlingarna generellt hade en relativt likvärd avrinning under samma år och uppvisar samma trender för tidpunkt för avrinning. Vissa undantag finns dock för behandling C och A, där behandling C hade en synligt lägre total avrinning alla år utom 2022/2023 och behandling A hade en lägre total avrinning än behandling B och D år 2021/2022. En vanlig trend som kan ses för alla behandlingar över åren är att avrinning främst sker under höst och tidig vinter innan den sedan avtar eller helt slutar fram till våren. Avrinningen kan även avta helt i perioder under vintermånaderna. Perioder av avstannad avrinning trots dokumenterad nederbörd skedde framförallt under en period av minusgrader. Detta härleddes till tjäle i marken som försvårar infiltration. Figur 3 ger en översiktlig bild över nederbörd och medeltemperatur över hela försöksperioden.

Första försöksåret (oktober 2019 – juli 2020, se Figur 2 a)) hade en avrinning som började i slutet av oktober och avtog i början av mars. Detta år hade ingen tydlig avstanning av avrinning under vintermånaderna. Det är en nära överlappning mellan de olika behandlingarna och endast behandling C sticker ut som lägre under hela perioden. Andra försöksåret (juli 2020 – juni 2021, se Figur 2 b)) startade avrinningen senare, i slutet på november och avtog i början av juni. Under perioden mellan fanns det flertalet tillfällen med avstannad avrinning, men längsta perioden var från mars till april. Även här var behandling C lägre än de andra behandlingarna, som var lika varandra. Tredje försöksåret (juli 2021 – juni 2022, se Figur 2 c)) påbörjades avrinningen i början av oktober och pågick till början av juni. Flera tillfällen av avstannad avrinning, med den längsta perioden från mitten av december till mitten av mars. Detta år hade en lägre årlig avrinning än tidigare försöksår och den kraftigaste ökningen skedde i mitten på mars. Här skiljde sig behandlingarna A och C sig tydligt från de nästan överlappande behandlingarna B och D. A var lägre och C hade en ytterligare lägre avrinning. Fjärde försöksåret (juli 2022 – juni 2023, se Figur 2 d)) började avrinningen i slutet på november och höll på tills början av maj. Det skedde ett längre avbrott i mitten av januari tills mitten av mars. Behandling B och D var nästan överlappande och högre än både behandling A och C, som var väldigt lika. Detta år hade den lägsta total avrinning av alla försöksåren. Femte försöksåret (juli 2023 – juni 2024, se Figur 2 e)) startade avrinningen tidigare än de andra försöksåren, redan i början av augusti och höll på till mitten av april. Under denna period skedde två längre avbrott av avrinning. Det första september till november och det andra mitten av november till februari. Kraftigaste ökningen under kortast tid

skedde i augusti till september. Behandling C var lägre än resterade behandlingar, som var väldigt lika varandra i total avrinning.



Figur 2: Ackumulerad dygnsavrinning i mm över försöksperiod oktober 2019 – juni 2024 för behandlingarna A (10 m avstånd, tegelrör), B (10 m avstånd, nya plaströr), C (5 m avstånd, nya plaströr) och D (10 m avstånd, nya plaströr, kalkfilterdike)



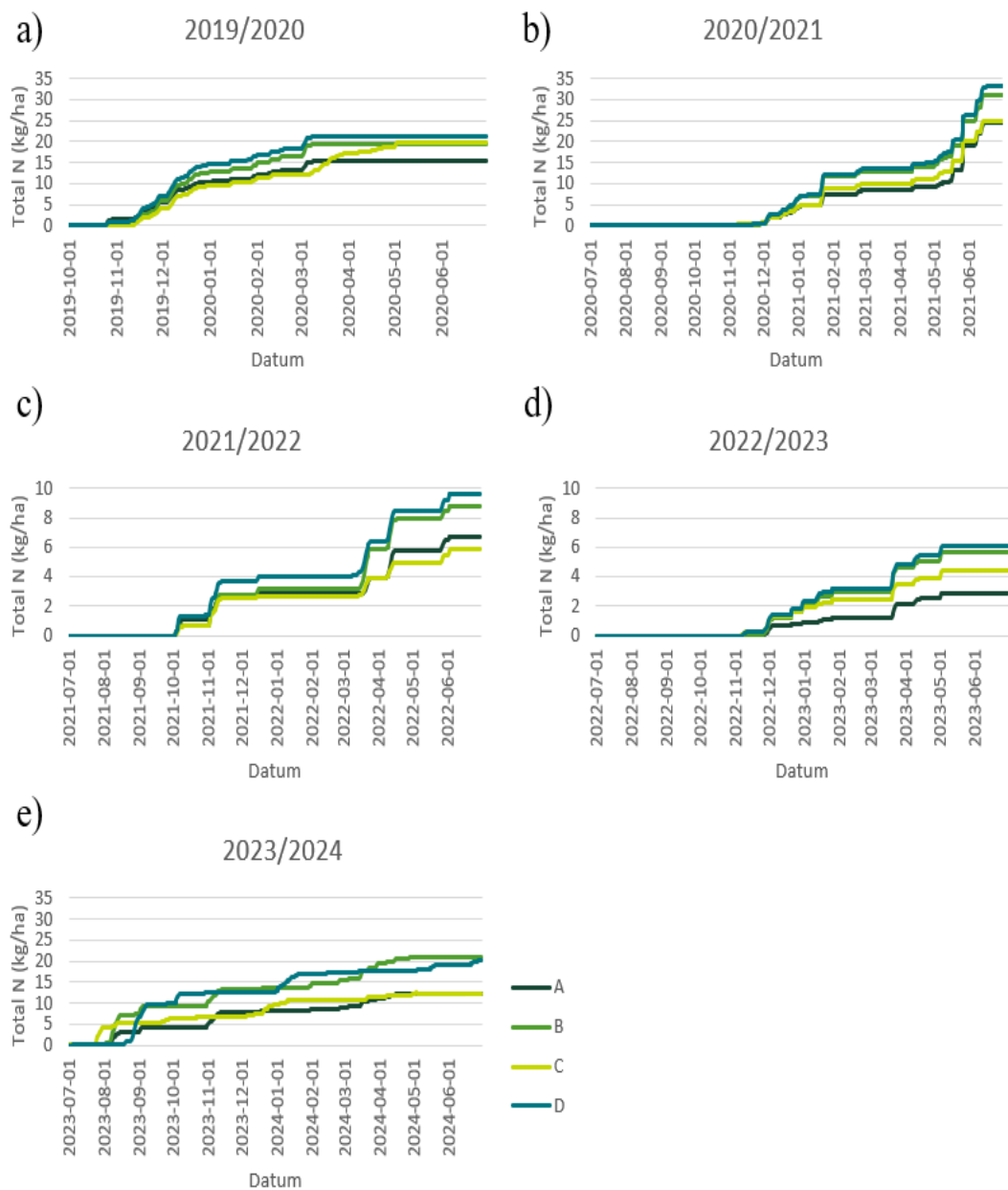
Figur 3: Nederbörd (mm) och medeltemperatur (°C) under hela försöksperioden från oktober 2019 – juni 2024. Värden för medeltemperatur (SMHI 2025b) och nederbörd (SMHI 2025a)

3.2 Kväveutlakning

Den årliga ackumulerade kväveutlakningen under försöksåren, följer liknande trender som avrinningen, med utlakning och avrinning pågående under samma perioder. Första försöksåret (se Figur 4 a)), började utlakningen i mitten av oktober och pågick till mars, där den började eller helt avtog. Behandling A och C hade låg N-utlakning i början av försöksåret, men C ökade drastiskt i mars till nivån av de andra behandlingarna B och D. Andra försöksåret (se Figur 4 b)) började utlakningen i slutet av november och pågick till mitten av juni, med ett längre uppehåll från slutet av februari till början av april. Skillnaden mellan behandlingarna var låga, men A och C var lägst, medan B och D överlappade. Detta år hade den högsta totala N-utlakningen. Tredje försöksåret (se Figur 4 c)) började utlakningen i oktober och pågick till juni, med ett längre avbrott från mitten av december till mitten av mars. Behandlingarna skilja sig mer mot slutet av försöksåret, där A och C var lika och B och D var lika och större i N-utlakning. Till skillnad från andra försöksår var behandling A större än C i slutet av försöksåret. Fjärde försöksåret (se Figur 4 d)) började utlakningen i november och pågick till maj, med ett längre avbrott från slutet av januari till mitten av mars. Behandling D och B var nästan överlappande i utlakning, men C var lägre och behandling A ytterligare lägre. Detta år hade den lägsta totala N-utlakningen. Femte försöksåret (se Figur 4 e)) började utlakningen i slutet av juli och började avta i april. Inga tydliga avbrott i utlakningen för alla behandlingar under en

period. Tillfällena av uppehåll skilde sig mellan behandlingarna. Liknande trend som tidigare, men behandlingarna C och A lägre än B och D.

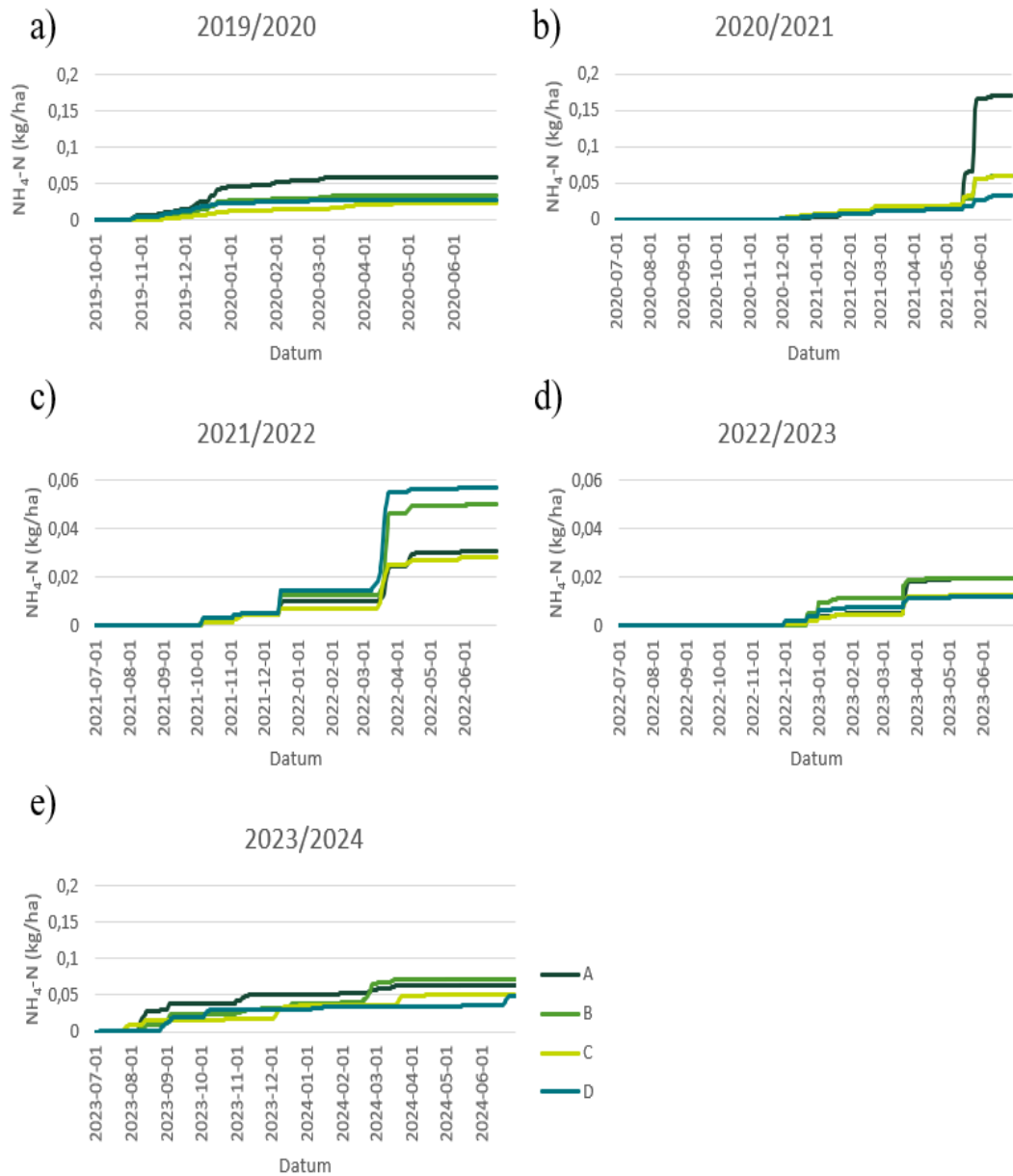
De årliga genomsnittliga koncentrationerna för Total-N var generellt lägre för behandling A i jämförelse med resterande behandlingar. 2021/2022 är undantaget, då koncentrationen var väldigt lik behandling B, som var lägre än både behandling C och D. Behandling C stack ut de sista två försöksåren, med att ha en koncentration som var synligt högre.



Figur 4: Årlig ackumulerad total-kväveutlakning (Total N) per dygn i kg per hektar över försöksperioden oktober 2019 - juni 2024 för behandlingarna A (10 m avstånd, tegelrör), B (10 m avstånd, nya plaströr), C (5 m avstånd, nya plaströr) och D (10 m avstånd, nya plaströr, kalkfilterdike)

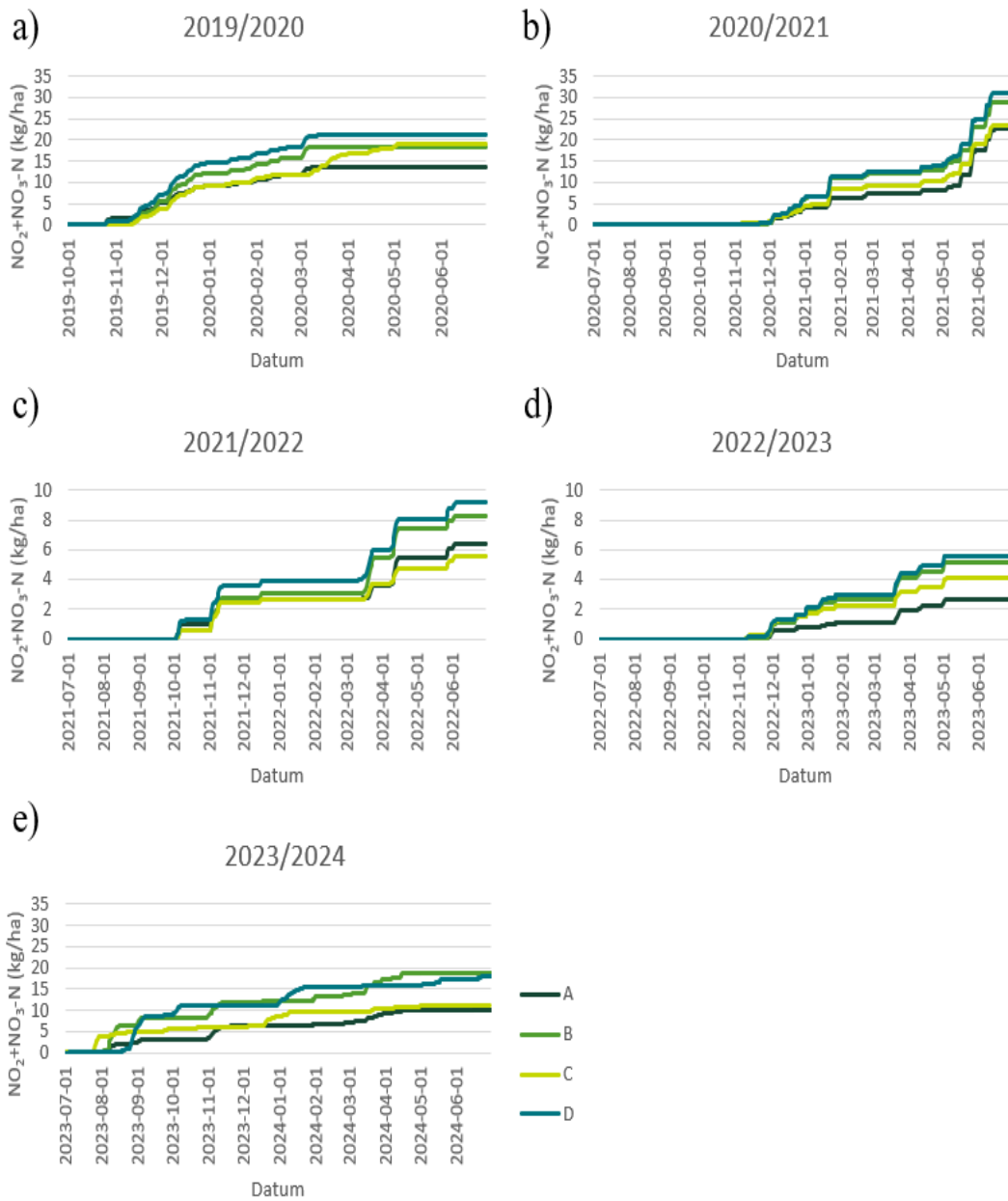
Den ackumulerade $\text{NH}_4\text{-N}$ utlakningen uppvisar olika trender mellan behandlingarna beroende på försöksår. Vissa år sticker behandlingar ut som märkbart högre än resterande och andra försöksår är samma behandling lägre än resterande behandlingar. Dock så är behandling C och D oftast lägst de flesta år. Det finns fortsatt en trend av avbrott i utlakning under vintermånaderna. Första försöksåret (se Figur 5 a)) startade utlakningen i mitten av oktober och pågick till början av mars. Under denna period hade behandling A en synligt större utlakning än resterande behandlingar, som alla låg relativt lågt i jämförelse. Andra försöksåret (se Figur 5 b)) började utlakningen i december och pågick till början av juni, med ett längre avbrott från mitten av februari till mitten av maj, där majoriteten av utlakningen skedde. Behandling A sticker ut som störst och behandling D är märkbart lägre än resterande behandlingar. Tredje försöksåret (se Figur 5 c)) började utlakningen i oktober och pågick till slutet av maj, men ökade väldigt lite från och med mitten av mars, där den största utlakningen skedde. Utlakningen avstannade även under perioden mitten av december till mitten av mars. Behandling D och B var högst, till skillnad från tidigare år och A och C var lägre och nästan överlappande. Detta år hade den lägsta utlakningen av alla försöksår. Fjärde försöksåret (se Figur 5 d)) började utlakningen i november och pågick till maj. Under slutet av januari till mitten av mars skedde ingen utlakning. I början av försöksåret ligger behandling A lågt, men ökar sedan kraftigt i mars för att ha en av de högsta utlakningarna med behandling B. Femte försöksåret (se Figur 5 e)) började utlakningen i mitten av juni och pågick, med varierande avbrott beroende på behandling tills början av april. Behandling D ökade plötsligt i slutet på försöksåret. Behandling A ökar tidigt, men har i slutet av året en lägre utlakning än behandling B, som hade en kraftig ökning under februari.

De genomsnittliga årskoncentrationerna för behandlingarna var låga alla år och visade ingen trend på att variera stort mellan behandlingar eller typisk öka för en behandling. 2020/2021 kunde en liten större ökning observeras för behandling A och 2023/2024 kunde en lite större ökning observeras i behandling C.



Figur 5: Årlig ackumulerad utlakning av ammonium-kväve ($\text{NH}_4\text{-N}$) per dygn i kg per hektar över försöksperioden oktober 2019 – juni 2024 för behandlingarna A (10 m avstånd, tegelrör), B (10 m avstånd, nya plaströr), C (5 m avstånd, nya plaströr) och D (10 m avstånd, nya plaströr, kalkfilterdike)

Utlakningen av $\text{NO}_3+\text{NO}_2\text{-N}$ (se Figur 6) följer den Totala-N utlakningens trender. Behandlingarna följer samma storleksordning sett till mängd utlakning och årliga genomsnittliga koncentrationer. Andelen $\text{NO}_2+\text{NO}_3\text{-N}$ utgör mellan 82–99% av den Totala-N utlakningen från behandlingarna alla försöksår och inga ytterligare beskrivningar av kurvorna kommer att göras.

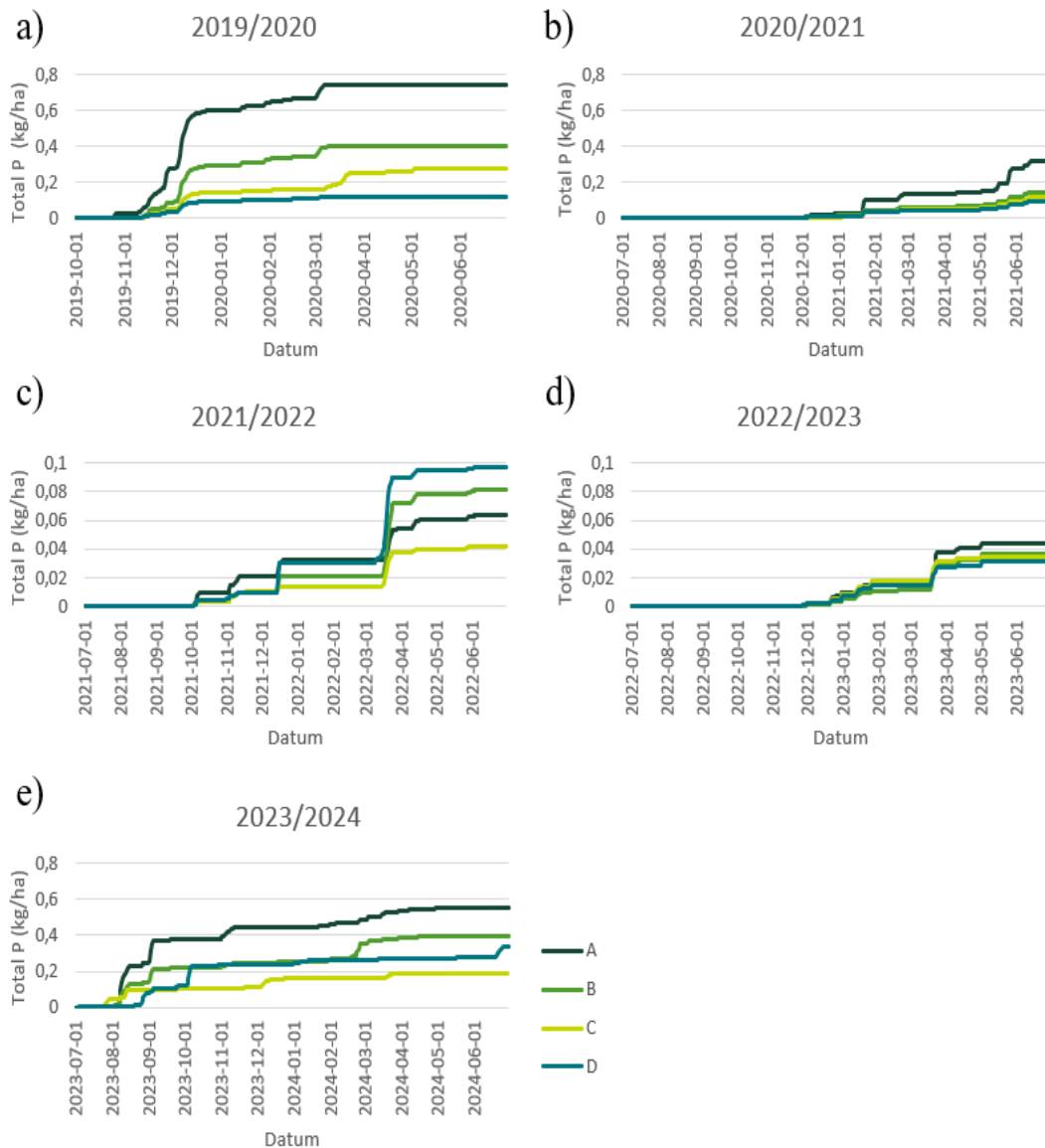


Figur 6: Årlig ackumulerad utlakning av nitrat- och nitritkväve ($\text{NO}_3\text{-N}$ och $\text{NO}_2\text{-N}$) per dygn i kg per hektar över försöksperioden oktober 2019 – juni 2024 för behandlingarna A (10 m avstånd, tegelrör), B (10 m avstånd, nya plaströr), C (5 m avstånd, nya plaströr) och D (10 m avstånd, nya plaströr, kalkfilterdike)

3.3 Fosforutlakning

Under försöksårens gång varierade trender för vilken behandling som uppvisade mest Total-P utlakning. Det fanns avbrott i utlakningen under vintermånaderna och behandling A stack vid flera tillfällen ut med en tydligt högre utlakning än resterande behandlingar. Första försöksåret (se Figur 7 a)) började utlakningen i slutet på oktober och pågick tills början av mars, med en period av lägre utlakning, men ej helt avstannande. Behandling A hade en tidigare utlakning än resterande och fortsatte att vara högst under hela försöksåret. I behandling D avtog utlakningen redan i början av december. Andra försöksåret (se Figur 7 b)) började utlakningen i slutet av oktober och pågick fram till början av juni, med ett avbrott från slutet av december till början av april. Även detta år hade behandling A en större utlakning. Resterande behandlingar var relativt lika varandra. Tredje försöksåret (se Figur 7 c)) började utlakningen i oktober och pågick till juni, med ett längre avbrott från mitten av december till början av mars. Detta försöksår hade behandling D en högre utlakning än resterande behandlingar, till skillnad från tidigare år. Att notera är att mängden inte överstiger utlakningen från tidigare försöksår. Behandling C hade lägst utlakning. Fjärde försöksåret (se Figur 7 d)) började utlakningen i början av november och pågick till slutet av april, med det längsta avbrottet under den tiden från mitten av februari till mitten av mars. Behandling A hade störst utlakning. Övriga behandlingar var lika, med behandling D fortfarande lägre utlakning än resterande behandlingar. Femte försöksåret (se Figur 7 e)) började utlakningen i slutet på juli och pågick till slutet av mars. Avbrott i utlakning skedde varierande mellan behandlingar. Behandling A hade den högsta och behandling C den lägsta utlakningen. Behandling B och A hade en ökning i mars som resterande behandlingar till synes inte hade eller hade i väldigt liten mängd. Utlakning verkar även kunna vara förskjuten mellan behandlingar.

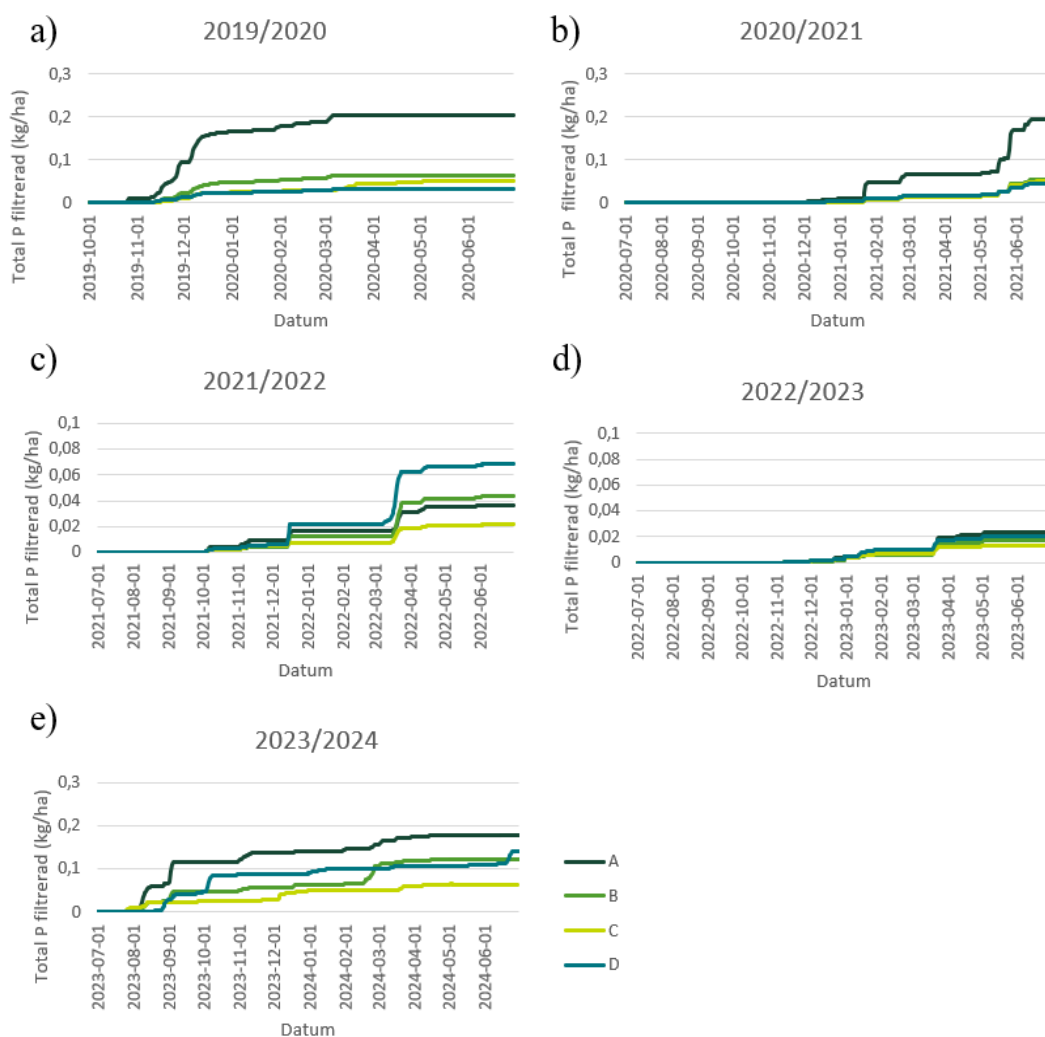
De genomsnittliga årskoncentrationerna för Total-P var typiskt lite högre i behandling A än resterande behandlingar under alla försöksår utom 2021/2022, där ingen tydlig skillnad kunde ses mellan behandlingar. Lägst var koncentrationen generellt i behandling D.



Figur 7: Årlig ackumulerad total fosforutlakning (Total P) per dygn i kg per hektar över försöksperioden oktober 2019 – juni 2024 för behandlingarna A (10 m avstånd, tegelrör), B (10 m avstånd, nya plaströr), C (5 m avstånd, nya plaströr) och D (10 m avstånd, nya plaströr, kalkfilterdike)

Översiktligt över försöksåren uppvisar behandling A en trend att ha en högre Total-P filtrerad utlakning, alla år utom år 2021/2022, medan behandling C har lägre utlakning än resterande behandlingar. Första försöksåret (se Figur 8 a)) hade en väldigt låg utlakning under långa perioder. Utlakningen börjar i slutet av oktober och pågår till lite varierande perioder för de olika behandlingarna. I behandling C pågick utlakningen till slutet av april, medan i resterande behandlingar upphörde utlakningen redan i början av mars. Behandling A hade en tydligt högre utlakning än resterande. Andra försöksåret (se Figur 8 b)) började utlakningen i november och pågick till början av juni, med ett längre avbrott från mars till början av maj. Även detta år var utlakningen i behandling A större än resterande behandlingar, som annars är väldigt likvärdiga varandra. Alla större tillfällen av utlakning var under samma perioder för behandlingarna, men mängden i A skiljer sig vid de tillfällena synligt. Tredje försöksåret (se Figur 8 c)) började utlakningen i oktober och pågick till början av juni, men ökningen var väldigt låg från början av april. Den största ökningen skedde i mitten av mars. Det var även ett längre avbrott i utlakning från mitten av december till början av mars. Detta år hade behandling D den största utlakningen och behandling A och B skilde sig minst från varandra, medan C var fortsatt var lågt. Fjärde försöksåret (se Figur 8 d)) började utlakningen i november och fortsatt till maj, med en period med ingen till låg utlakning från slutet av januari till mitten av mars. Behandling A skilde sig det här året mindre från resterande behandlingar, men hade fortfarande högst utlakning. Behandling C hade fortsatt lägst utlakning. Femte försöksåret (se Figur 8 e)) började utlakningen i mitten av juli och pågick till början av maj för alla behandlingar utom D, där en låg utlakning fortsatte en tid efter. Detta år var det varierande trender mellan behandlingar och det verkar till synes kunna vara fördröjningar i utlakning. Behandling A hade fortsatt högst utlakning och behandling C hade lägst utlakning.

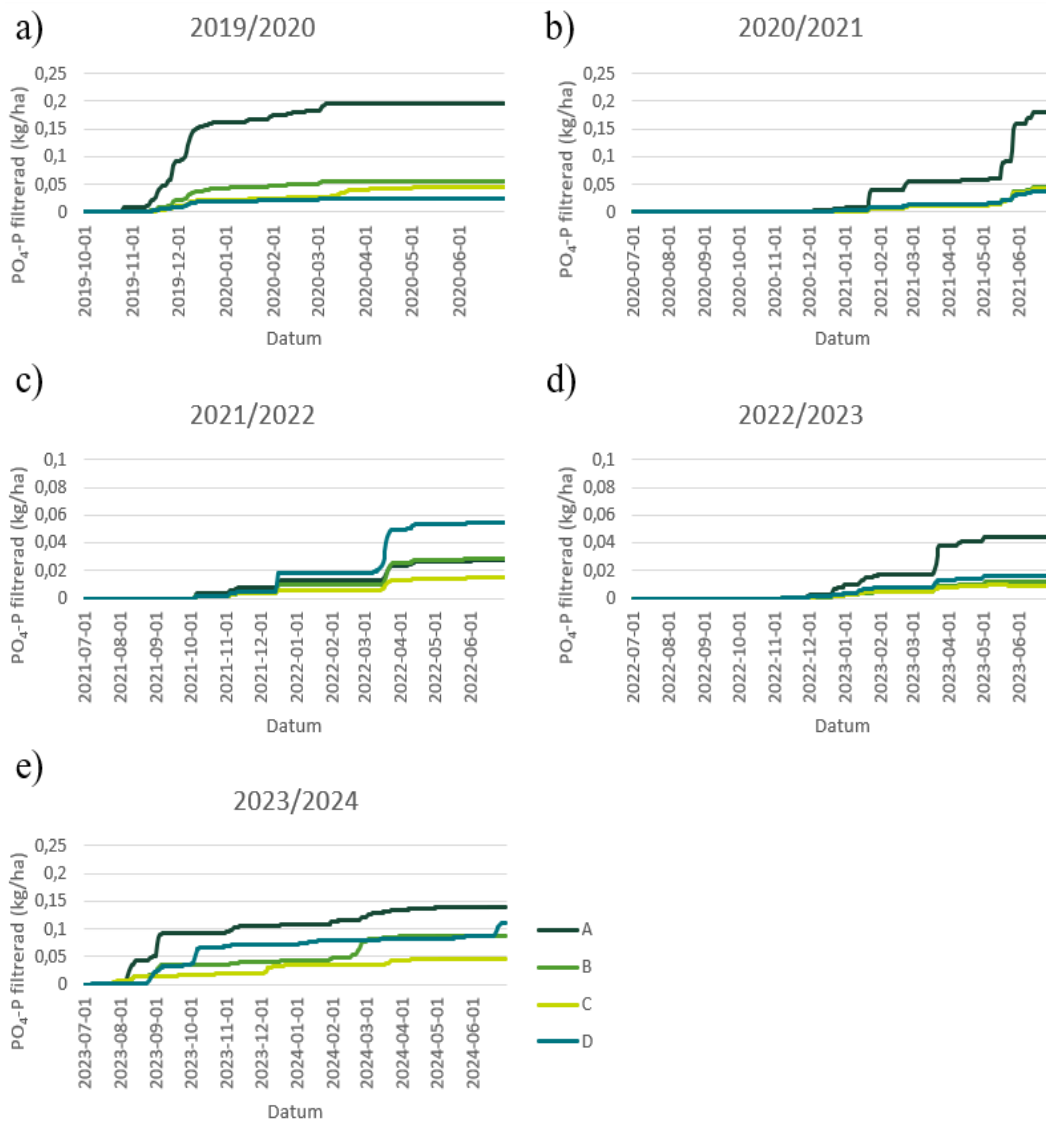
Skilnader i genomsnittliga årskoncentrationer var väldigt låga alla år utom de första två försöksåren, där behandling A visade en trend av att ha en tydligt högre årskoncentration.



Figur 8: Årlig ackumulerad utlakning av total fosfor filtererad (Total P filtererad) per dygn i kg per hektar över försöksperioden oktober 2019 – juni 2024 för behandlingarna A (10 m avstånd, tegelrör), B (10 m avstånd, nya plaströr), C (5 m avstånd, nya plaströr) och D (10 m avstånd, nya plaströr, kalkfilterdike)

Den årliga ackumulerade utlakningen av filtrerad $\text{PO}_4\text{-P}$ (se Figur 9) var för alla år utom 2021/2022 högst i behandling A och typiskt låg eller lägst för behandling C. Behandlingarna följde i stort sett samma trender i ökning, men skiljde sig i mängd, där A typiskt ökade mer än resterande behandlingar. Det sista försöksåret skiljde sig trenderna mellan behandlingarna mer och vissa behandlingar var fördröjda eller avtog under olika perioder. Trenderna och mängderna var i stort sett identiska till utlakningen av Total-P filtrerad, men skillnader finns i fjärde försöksåret, framför allt i behandling A, som hade en högre utlakning (se Figur 9 d)).

Skillnader i genomsnittliga årskoncentrationer var väldigt låga alla år utom de första två försöksåren, där behandling A hade tydligt högre koncentrationer än resterande behandlingar.



Figur 9: Årlig ackumulerad utlakning av fosfat-fosfor ($PO_4\text{-P}$) per dygn i kg per hektar över försöksperioden oktober 2019 – juni 2024 för behandlingarna A (10 m avstånd, tegelrör), B (10 m avstånd, nya plaströr), C (5 m avstånd, nya plaströr) och D (10 m avstånd, nya plaströr, kalkfilterdike)

3.4 Årlig avrinning och utlakning

I Tabell 4 presenteras första försöksårets avrinning och utlakning. Det syns tydligt att det finns en skillnad mellan behandlingarna i mängd utlakat N och P. I jämförelse med behandling A så kan man generellt se en ökning eller minskning av utlakning i övriga behandlingar. Total-N utlakningen var generellt högre i alla behandlingar jämfört med behandling A, utom i C. Utlakningen av Total-P var också generellt lägre för alla behandlingar i jämförelse med behandling A. Det fanns dock endast en signifikant skillnad i Total-P utlakning mellan behandling A och D. Utlakad mängd av Total-P filtrerad var lägre än Total-P och visade att mer än hälften var partikulärt fosfor. Den totala P utlakningen består alltså till största del av partikulärt bunden fosfor. Utlakningen av $\text{NO}_2+\text{NO}_3\text{-N}$ följer generellt ett liknande mönster som Total-N utlakningen, med skillnaden att behandling C var högre än A. Utlakningen av $\text{NH}_4\text{-N}$ var högst i behandling A.

Avrinningen var relativt lik mellan behandlingarna, med behandling C lägre än resterande och behandling A störst årlig avrinning. Dock fanns det ingen signifikant skillnad i avrinning mellan behandlingar.

Tabell 4: Årlig avrinning och utlakning av näringsämnen för behandlingar A (10 m avstånd, tegelrör), B (10 m avstånd, nya plaströr), C (5 m avstånd, nya plaströr) och D (10 m avstånd, nya plaströr, kalkfilterdike) försöksår 2019/2020, fosfatfosfor ($\text{PO}_4\text{-P}$), Total fosfor (Total P), Total P filtrerad (Total P filtrerad), ammoniumkväve ($\text{NH}_4\text{-N}$), nitrit+nitratkväve ($\text{NO}_2+\text{NO}_3\text{-N}$), Total kväve (Total N). Olika bokstäver (a, b) indikerar en signifikant skillnad mellan behandlingar på signifikansnivå $p<0,05$

Behandling	Total avrinning mm	$\text{PO}_4\text{-P}$ filtrerad kg/ha	Total P kg/ha	Total P filtrerad kg/ha	$\text{NH}_4\text{-N}$ kg/ha	$\text{NO}_2+\text{NO}_3\text{-N}$ kg/ha	Total N kg/ha
A	181	0,197 ^a	0,747 ^a	0,205 ^a	0,060	13,6	15,4
B	174	0,057 ^b	0,399 ^{ab}	0,064 ^b	0,033	18,4	19,4
C	123	0,027 ^b	0,173 ^{ab}	0,030 ^b	0,021	14,7	15,3
D	168	0,025 ^b	0,122 ^b	0,031 ^b	0,028	21,2	21,4
Medel	153	0,075	0,348	0,081	0,034	15,9	16,8
OBS	11	11	11	11	11	11	11
PROB F1	0,464	0,001	0,007	0,001	0,171	0,108	0,220

För andra försöksåret (se Tabell 5) var avrinningen relativt lika mellan behandlingar, men behandling C hade en tydligt lägre avrinning. Den Total-N utlakningen var i alla behandlingar högre än i behandling A och den Total-P utlakningen var lägre. Tittar man närmare på utlakningen av $\text{PO}_4\text{-P}$ och Total-P filtrerad, kan man se att de följer samma trender som den totala fosfor, men skiljer sig i signifikans. Total-P utlakningen i behandling A var signifikant större

än i behandling D, men ej i resterade behandlingar. För utlakningen av PO₄-P och Total-P filtrerad var behandling A signifikant skild från alla andra behandlingar. Utlakningen av NO₂+NO₃-N följde samma trend som Total-N, men utlakningen av NH₄-N var signifikant högre för behandling A än resterande behandlingar.

Tabell 5: Årlig avrinning och utlakning av näringsämnen för behandlingar A (10 m avstånd, tegelrör), B (10 m avstånd, nya plaströr), C (5 m avstånd, nya plaströr) och D (10 m avstånd, nya plaströr, kalkfilterdike) försöksår 2020/2021, fosfatfosfor (PO₄-P), Total fosfor (Total P), Total P filtrerad (Total P filtrerad), ammoniumkväve (NH₄-N), nitrit+nitratkväve (NO₂+NO₃-N), Total kväve (Total N). Olika bokstäver (a, b) indikerar en signifikant skillnad mellan behandlingar på signifikansnivå p<0,05

Behandling	Total avrinning mm	PO ₄ -P filtrerad kg/ha	Total P kg/ha	Total P filtrerad kg/ha	NH ₄ -N kg/ha	NO ₂ + NO ₃ -N kg/ha	Total N kg/ha
A	233	0,181 ^a	0,316 ^a	0,194 ^a	0,170 ^a	22,5	24,5
B	223	0,045 ^b	0,147 ^{ab}	0,053 ^b	0,061 ^b	29,0	31,0
C	169	0,042 ^b	0,118 ^{ab}	0,050 ^b	0,059 ^b	23,4	25,0
D	234	0,039 ^b	0,097 ^b	0,046 ^b	0,033 ^b	31,2	33,2
Medel	215	0,077	0,169	0,086	0,081	26,5	28,4
OBS	12	12	12	12	12	12	12
PROB F1	0,318	0,0002	0,002	0,0003	0,0005	0,113	0,128

Den totala avrinningen var lägst för behandling C och tydligt högre för behandlingarna B och D. Det fanns ingen signifikant skillnad i avrinning mellan behandlingarna dock. Utlakningen under försöksåret 2021/2022 (Tabell 6), visade att behandling D hade den största utlakningen av både N och P. Den totala utlakningen av Total-N bestod till största delen av NO₂+NO₃-N. Detta år bestod Total-P utlakningen till nästan 50% av PO₄-P i alla behandlingar och den filtrerade Total-P till majoritet av PO₄-P. Ingen av skillnaderna mellan behandlingarna var signifikanta.

Tabell 6: Årlig avrinning och utlakning av näringsämnen för behandlingar A (10 m avstånd, tegelrör), B (10 m avstånd, nya plaströr), C (5 m avstånd, nya plaströr) och D (10 m avstånd, nya plaströr, kalkfilterdike) försöksår 2021/2022, fosfatfosfor (PO₄-P), Total fosfor (Total P), Total P filtrerad (Total P filtrerad), ammoniumkväve (NH₄-N), nitrit+nitratkväve (NO₂+NO₃-N), Total kväve (Total N). Signifikansnivå p<0,05

Behandling	Total avrinning mm	PO ₄ -P filtrerad kg/ha	Total P kg/ha	Total P filtrerad kg/ha	NH ₄ -N kg/ha	NO ₂ + NO ₃ -N kg/ha	Total N kg/ha
A	99	0,027	0,063	0,037	0,031	6,39	6,7
B	138	0,029	0,081	0,043	0,050	8,28	8,8
C	75	0,015	0,042	0,022	0,028	5,6	5,9
D	133	0,055	0,097	0,068	0,057	9,2	9,7
Medel	111	0,032	0,071	0,043	0,042	7,4	7,8

OBS	12	12	12	12	12	12	12
PROB F1	0,349	0,305	0,459	0,363	0,599	0,179	0,177

Den totala avrinningen under 2022/2023 var lägre än tidigare år (se Tabell 7) och även utlakningen av både P och N var lägre. Det fanns en signifikant skillnad i N-utlakning mellan behandling D, som hade den högsta utlakningen och behandling A som hade den lägsta. N-utlakningen bestod till störst del av $\text{NO}_2+\text{NO}_3\text{-N}$. Även där var behandling A och D signifikant skilda från varandra. Total-P utlakningen var väldigt lika mellan behandlingarna. $\text{PO}_4\text{-P}$ och Total-P filtrerad hade störst utlakning hos behandling A och D och minst i behandling C. Det finns inget tydligt mönster mellan mängd avrinning och P-utlakningsmängd och avrinningen skilde sig inte heller signifikant. Utlakningen av Total-N och $\text{NO}_2+\text{NO}_3\text{-N}$ ökade dock med en ökad avrinning i behandlingarna.

Tabell 7: Årlig avrinning och utlakning av näringsämnen för behandlingar A (10 m avstånd, tegelrör), B (10 m avstånd, nya plaströr), C (5 m avstånd, nya plaströr) och D (10 m avstånd, nya plaströr, kalkfilterdike) försöksår 2022/2023, fosfatfosfor ($\text{PO}_4\text{-P}$), Total fosfor (Total P), Total P filtrerad (Total P filtrerad), ammoniumkväve ($\text{NH}_4\text{-N}$), nitrit+nitratkväve ($\text{NO}_2+\text{NO}_3\text{-N}$), Total kväve (Total N). Olika bokstäver (a, b) indikerar en signifikant skillnad mellan behandlingar på signifikansnivå $p<0,05$

Behandling	Total avrinning mm	$\text{PO}_4\text{-P}$ filtrerad kg/ha	Total P kg/ha	Total P filtrerad kg/ha	$\text{NH}_4\text{-N}$ kg/ha	$\text{NO}_2+\text{NO}_3\text{-N}$ kg/ha	Total N kg/ha
A	54	0,017	0,045	0,023	0,019	2,6 ^b	2,9 ^b
B	72	0,012	0,037	0,017	0,020	5,2 ^{ab}	5,7 ^{ab}
C	48	0,009	0,035	0,013	0,013	4,1 ^{ab}	4,4 ^{ab}
D	74	0,016	0,032	0,020	0,012	5,6 ^a	6,1 ^a
Medel	62	0,013	0,037	0,018	0,016	4,4	4,8
OBS	12	12	12	12	12	12	12
PROB F1	0,508	0,379	0,842	0,518	0,606	0,031	0,039

Det fanns för år 2023/2024 (se Tabell 8) ingen signifikant skillnad i avrinning utlakning mellan de olika behandlingarna. Den Total-N bestod till störst del av $\text{NO}_2+\text{NO}_3\text{-N}$. Behandling B och D hade högst N-utlakning förutom utlakning av $\text{NH}_4\text{-N}$. Utlakning av Total-P, $\text{PO}_4\text{-P}$ och Total-P filtrerad var högst i behandling A och lägst i behandling C.

Tabell 8: Årlig avrinning och utlakning av näringsämnen för behandlingar A (10 m avstånd, tegelrör), B (10 m avstånd, nya plaströr), C (5 m avstånd, nya plaströr) och D (10 m avstånd, nya plaströr, kalkfilterdike) försöksår 2023/2024, fosfatfosfor ($\text{PO}_4\text{-P}$), Total fosfor (Total P), Total P filtrerad (Total P filtrerad), ammoniumkväve ($\text{NH}_4\text{-N}$), nitrit+nitratkväve ($\text{NO}_2+\text{NO}_3\text{-N}$), Total kväve (Total N). Signifikansnivå $p<0,05$

Behandling	Total avrinning	$\text{PO}_4\text{-P}$ filtrerad	Total P	Total P filtrerad	$\text{NH}_4\text{-N}$	$\text{NO}_2+\text{NO}_3\text{-N}$	Total N
------------	--------------------	-------------------------------------	---------	----------------------	------------------------	------------------------------------	---------

	mm	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha
A	244	0,138	0,550	0,180	0,064	10,2	12,3
B	263	0,089	0,393	0,122	0,072	18,8	20,9
C	175	0,055	0,246	0,075	0,054	14,5	16,1
D	257	0,086	0,258	0,110	0,038	17,7	19,3
Medel	235	0,092	0,362	0,122	0,057	15,3	17,2
OBS	11	11	11	11	11	11	11
PROB F1	0,733	0,322	0,295	0,36	0,651	0,191	0,281

3.5 Skörd

Höstvete skördades år 2020. Skördemängd och kvalitetsmätningar presenteras i Tabell 9. Det fanns ingen signifikant skillnad i vare sig skördemängd eller kvalitet detta år, dock så fanns det fortfarande skillnader att notera. I relativ skördemängd, så ökade skörden i alla nydränerade behandlingar och då som mest i behandling D. Försöket var något ojämnt i skörd, men var annars jämnt till mycket jämnt i kvalitet. Skillnaden mellan behandlingarna var väldigt små.

Tabell 9: Skörderesultat och kvalité för behandlingar A (10 m avstånd, tegelrör), B (10 m avstånd, nya plaströr), C (5 m avstånd, nya plaströr) och D (10 m avstånd, nya plaströr, kalkfilterdike) år 2020. Tusenkornvikt (TKV). Signifikansnivå $p < 0,05$

Behandling	Skörd	Relativ skörd	Protein	Gluten	Stärkelse	Ergostrol	Kväve	TKV	Vattenhalt
	(kg/ha)	(%)	(%)	(%)	(%)	EGS	(%)	(g)	(%)
A	8750	100	12,0	26,9	68,0	5,6	2,1	43,4	13,4
B	9810	112	11,6	25,9	68,7	6,0	2,0	45,8	13,5
C	9710	111	11,9	26,2	68,1	6,0	2,1	45,8	13,6
D	10496	120	11,8	26,5	68,6	6,0	2,1	45,3	13,3
Medel	9692		11,8	26,4	68,4	5,9	2,1	45,1	13,5
OBS	12		12	12	12	12	12	12	12
PROB F1	0,205		0,754	0,511	0,732	0,208	0,754	0,197	0,490
CV%	9,9		3,0	2,8	1,2	4,7	3,0	3,3	1,8

Vårraps skördades 2021 och kvalitet och skördemängd skilde sig inte signifikant mellan behandlingarna, med undantag för tusenkornsvikten (Tabell 10) för behandlingarna A och D. Den relativa skörden visade även detta år att skörden var större för de nydränerade behandlingarna relativt till A, men oljehalten var trots det högst i behandling A.

Tabell 10: Skörderesultat och kvalitet för behandlingar A (10 m avstånd, tegelrör), B (10 m avstånd, nya plaströr), C (5 m avstånd, nya plaströr) och D (10 m avstånd, nya plaströr, kalkfilterdike) år 2021. Tusenkornvikt (TKV). Olika bokstäver (a, b) indikerar en signifikant skillnad mellan behandlingar på signifikansnivå $p < 0,05$

Behandling	Skörd (kg/ha)	Relativ skörd (%)	Oljehalt (% av ts)	Klorofyll (ppm)	Kväve	TKW (9% Vh g)	Vattenhalt (%)
A	2750	100	48,3	17,4	3,6	4,3 ^a	10,7
B	2933	107	47,8	18,1	3,5	4,1 ^{ab}	12,4
C	2885	105	48,1	20,2	3,5	4,0 ^{ab}	12,1
D	3135	114	48,1	19,6	3,5	3,9 ^b	10,8
Medel	2926		48,1	18,8	3,5	4,1	11,5
OBS	12		12	12	12	12	12
PROB F1	0,110		0,947	0,434	0,538	0,015	0,578
CV%	6,6		1,6	11,4	2,0	5,1	14,5
LSD						0,37	

Vårvete skördades 2022. Ingen signifikant skillnad fanns i skörd eller kvalitet, med undantag för stärkelse (Tabell 11) mellan behandlingarna C och D. Den relativa skörden var detta år lägre i jämförelse med A för behandlingarna B och C. Endast behandling D hade en större relativ skörd, men betydligt mindre i jämförelse med tidigare år. Behandlingarna var jämna.

Tabell 11: Skörderesultat och kvalitet för behandlingar A (10 m avstånd, tegelrör), B (10 m avstånd, nya plaströr), C (5 m avstånd, nya plaströr) och D (10 m avstånd, nya plaströr, kalkfilterdike) år 2022. Tusenkornvikt (TKV). Olika bokstäver (a, b) indikerar en signifikant skillnad mellan behandlingar på signifikansnivå $p < 0,05$

Behandling	Skörd (kg/ha)	Relativ skörd (%)	Stärkelse (% av ts)	Gluten (% av ts)	Vattenhalt (%)	TKW (15% Vh g)
A	8474	100	64,2 ^{ab}	33,1	19,3	48,5
B	7866	93	64,4 ^{ab}	32,7	19,3	47,8
C	7762	92	63,7 ^b	33,6	19,4	48,3

D	8607	102	64,7 ^a	32,2	19,2	48,3
Medel	8177		64,2	32,9	19,3	48,2
OBS	12		12	12	12	12
PROB F1	0,079		0,023	0,122	0,220	0,692
CV%	6,1		0,7	2,2	0,5	1,3
LSD			0,82			

Havreskörden 2023 visade inga signifikanta skillnader varken i skörd eller kvalitet mellan behandlingarna (Tabell 12). Den relativa skörden ökade detta år igen och var högre i de nydränerade leden i jämförelse med behandling A.

Tabell 12: Skörderesultat och kvalitet för behandlingar A (10 m avstånd, tegelrör), B (10 m avstånd, nya plaströr), C (5 m avstånd, nya plaströr) och D (10 m avstånd, nya plaströr, kalkfilterdike) år 2023. Tusenkornvikt (TKV). Signifikansnivå $p < 0,05$

Behandling	Skörd	Relativ skörd	Råprotein	Råfett	Kväve	TKV	Vattenhalt
	kg/ha	(%)	(% av ts)	(% av ts)	(% av ts)	(g)	(%)
A	4014	100	12,7	6,2	2,0	32,0	17,7
B	4506	112	12,7	6,2	2,0	34,1	19,1
C	4777	119	12,9	5,9	2,1	34,9	21,0
D	4150	103	12,6	6,0	2,0	32,0	20,4
Medel	4362		12,7	6,1	2,0	33,2	19,5
OBS	12		12	12	12	12	12
PROB F1	0,117		0,286	0,191	0,286	0,423	0,053
CV%	9,7		1,4	2,6	1,4	7,23	8,5

Det fanns flera variationer i kvalitet 2024 hos vårvete, men ingen signifikant skillnad i skörd (Tabell 13) dock så var den relativa skörden lägre för behandlingarna B och C, men fortsatt högre i behandling D. Detta resultat av relativ skörd, liknar det från 2022 då vårvete också odlades. De signifikanta skillnaderna som finns är mellan behandling C och D för råprotein, gluten, stärkelse och kväve. Det fanns även en signifikant skillnad i ergostrol mellan behandling A och D, samt C och D.

Tabell 13: Skörderesultat och kvalité för behandlingar A (10 m avstånd, tegelrör), B (10 m avstånd, nya plaströr), C (5 m avstånd, nya plaströr) och D (10 m avstånd, nya plaströr, kalkfilterdike) år 2024. Tusenkornvikt (TKV). Olika bokstäver (a, b, c) indikerar en signifikant skillnad mellan behandlingar på signifikansnivå $p < 0,05$

Behandling	Skörd	Relativ skörd	Råprotein	Gluten	Stärkelse	Ergostrol	Kväve	TKV	Vattenhalt
	(kg/ha)	(%)	(% av ts)	(% av ts)	(% av ts)		(% av ts)	(g)	(%)
A	4326	100	13,6 ^{ab}	29,9 ^{ab}	62,5 ^{ab}	8,1 ^{ab}	2,4 ^{ab}	37,5	20,1
B	3966	92	13,7 ^{ab}	30,0 ^{ab}	62,5 ^{ab}	7,6 ^{abc}	2,4 ^{ab}	38	18,4
C	4015	93	13,9 ^a	30,6 ^a	62,3 ^a	8,0 ^{ab}	2,4 ^a	37,8	19,6
D	4599	106	13,2 ^b	29,3 ^b	63,3 ^b	7,1 ^c	2,3 ^b	38,4	17,9
Medel	4226		13,6	29,9	62,6	7,7	2,4	37,9	19
OBS	12		12	12	12	12	12	12	20,1
PROB F1	0,258		0,016	0,017	0,028	0,017	0,016	0,384	0,086
CV%	9,8		2	1,9	0,8	6	2,05	1,5	6,4
LSD			0,5	1	0,9	0,8	0,1		

4. Diskussion

Avrinningen från varje dräneringsbehandling skilde sig åt. Variationer i avrinning mellan försöksår, kan förklaras av skillnader i årsnederbörd. Det är dock skillnaden mellan behandlingarna som är intressant att notera. Det fanns en variation inom behandlingarna, men trots det så fanns det även ett mönster av att vissa behandlingar hade en lägre avrinning. En av dessa var behandling C, som oftast hade en lägre årsavrinning, och behandling B och D som oftast hade den högsta avrinningen. Perioder av ingen avrinning under vintermånader beror högst troligen på tjäle i marken, som har stoppat infiltrationen av nederbörd. Uteslutningen av en upprepning i behandling C första och sista försöksåret kan ha haft en påverkan på hur mycket behandlingen skilde sig från resterande i både avrinning och utlakning. De höga flödena sista försöksåret, som var över kapaciteten för vippkärlen, kan bidra till en osäkerhet i årsavrinning för alla behandlingar. Årsavrinningen kan ha underskattats speciellt under översvämning av källaren i mätstationen. Denna översvämning bidrar också till en osäkerhet av beräknad belastning under den perioden. Utlakningen av olika näringsämnen började typiskt under vissa perioder. Vanligtvis mellan oktober och mitten av december. Undantaget var femte försöksåret där utlakningen började redan i juli. Detta kan förklaras av nederbördsmönstret det försöksåret, med kraftig nederbörd från slutet av sommaren till hösten. Utlakningen skedde när avrinningen skedde och följer därför samma trender som avrinningen. Det som skiljer sig och gav skillnader mellan behandlingar var flödesmängd och koncentrationerna vid de tillfällena. En av anledningarna till att det är så få tillfällen av signifikanta skillnader i utlakning mellan behandlingarna, kan bero på att det inte var någon signifikant skillnad i avrinning. Mängden avrinning har trots allt en stor påverkan på belastningen och de ej signifikanta skillnaderna kan bero på de variationer som fanns i avrinning, men även variationer i koncentrationer av näringsämnen som är lokala. Trots att behandlingarna brukats likvärdigt, så visade de genomsnittliga markkarteringsresultaten att det finns en skillnad i exempelvis P-AL, samt lerhalt mellan behandlingarna.

Alla rutor med behandlingar sås och skördas under samma tillfälle och då baserat på vad som torkar upp sist och mognar sist. Detta kan innebära att den förväntade skördeökningen i försöket var lägre än vad den potentiellt hade kunnat vara, tack vare de olika täckdikningssystemen. Om behandling B, C eller D torkar upp vid ett tidigare tillfälle än behandling A och därför kan sås vid ett tidigare tillfälle, så kommer det inte att ske. Detta skulle kunna vara en bidragande faktor till att skörden, även om de under de flesta år var högre i nydränerade behandlingar, inte var signifikant högre än i behandling A.

Kvaliteten på skörden skilde sig inte signifikant mellan behandlingar de flesta år. De år som hade en signifikant skillnad var utan ett tydligt mönster över

försöksperioden. Sista försöksåret hade flera signifikanta skillnader i kvalité, men dessa kan bero på behandlingarnas förmåga att hantera de ovanligt höga flödena sensommar/hösten år 2023, snarare än ett tydligt mönster över tid att någon parameter av kvalité gynnas av dikesavstånd eller kalkfilterdike.

Framtida studier har möjlighet att utföra olika odlingsåtgärder, så som såtidpunkt, baserat på behandlingen för att se om en större och signifikant skördeskillnad kan ses. En annan möjlig utveckling är att närmare studera koncentrationerna av näringsämnen månadsvis för att få en tydligare bild av koncentrationstrender än vad en genomsnittlig årskoncentration ger. Det kan också vara en möjlighet att ta markprover för att få en bättre uppfattning om lagrade N i marken och potentiella förluster andra vägar än genom avrinning, exempelvis utsläpp av lustgas (N_2O).

4.1 Äldre system och nytt system

Behandling A består av ett äldre tegel täckdikningssystemet, med 10 meter dikningsavstånd och tre rutor lokaliserade på samma plats längst ner i försöket. Behandling B består av ny täckdikning av plaströr, med 10 meter dikningsavstånd, och tre slumpade försöksrutor. Att lägga om en gammal dränering kan ses som en intensifiering av en redan befintlig dränering. Sedan 1920-talet då dräneringen lades, är det troligt att den inte behållit samma kapacitet över åren. Dräneringar kan sättas igen med sediment och materialet som gammal täckdikning består av skiljer sig idag från förr. Vatten kommer in i tegelrören i skarvarna och kan därför sätta igen över tid. Man kan även tänka sig att möjligheten för att vatten ska tränga in i rören kan vara relativt begränsade, jämfört med en nyare dräneringsslang med slitsar längs med hela röret. På grund av detta så förväntas avrinningen kunna öka i ett nytt system, vilket skulle gynna avvattningen och produktionen, men dock även ha potential att öka utlakning av framför allt $\text{NO}_2+\text{NO}_3\text{-N}$.

I jämförelse med varandra, uppvisade det äldre systemet en tendens till högre utlakning av Total-P, $\text{PO}_4\text{-P}$ och Total-P filtrerad. Det nyare systemet hade högre utlakning av Total-N och $\text{NO}_2+\text{NO}_3\text{-N}$. Ett undantag var försöksåret 2021/2022, då A hade en högre utlakning av Total-P och B hade högre utlakning av Total-P filtrerad samt $\text{PO}_4\text{-P}$. Utlakningen av $\text{NH}_4\text{-N}$ varierade från år till år och ingen behandling visade större tendens till utlakning än den andra. Behandling B hade också högre avrinning under hela försöksperioden även om ej signifikant. Att behandling B hade högre avrinning än behandling A skulle kunna förklaras av olikheterna mellan tegelrören och dräneringsslangarna i plast. Skillnaden i ämnen som utlakas skulle också kunna förklaras av rören. A hade en större mängd P som utlakade i jämförelse med B. Det finns en risk att sediment tar sig in i dräneringsrören genom skarvarna och med tiden täpper igen dem. Denna risk

finns fortfarande hos den nya dräneringsslangen, dock skulle mängden kunna vara mindre. Den mindre mängden partikelfosfor (Total-P – Total-P filtrerad) som kommer in i det nya systemet kan bero på skillnader i lerhalter mellan rutor och behandlingar. Rutorna 10–12 (behandling A) hade en högre lerhalt än rutorna i behandling B. Behandling B hade ett grusfilter, vilket det äldre systemet inte har. Grusfilter kan underlätta för infiltration och förebygga igenslamning på grund av kornstorlekar större än lerpartiklar (*Larson et al.* 2019). Detta filtermaterial kan ha spelat en roll i att minska sediment från att hamna i dräneringsslangen och därmed minskat P utlakningen, då P ofta är partikelbundet. Dock så är kornstorleken på grusfiltret så stort att det troligen inte skulle ha en sådan stor påverkan på partikel P utlakningen i försöket. Det kan dock fortfarande ha en roll i att öka flödet till dräneringsslangen. Utlakningen av N var större i B och detta kan förklaras av att flödet var högre, då N framför allt utlakas genom dräneringsvatten. Långtidsmedelvärde för utlakning av Total-N för ett typområde med styv lera och partier av sandig morän i Skåne ligger kring 15,8 kg/ha och för Total-P kring 0,56 (Linefur & Stjerma Forsberg 2018). Dessa värden beror på djurtäthet och gödslingsstrategi i området och är mest relevanta för södra delen av landet, men kan ge ett riktvärde för att avgöra hur stor utlakningen är i försöket. De åren med låg avrinning låg Total-N och Total-P under långtidsmedelvärdet. År med högre flöden kunde utlakningen av Total-N vara över långtidsmedelvärdet, speciellt de nya täckdikningssystemen. Total-P var dock alltid lägre i de nya täckdikningssystemen och medelvärdet uppnåddes eller överstegs endast av behandling A första och sista försöksåret.

Att anlägga ny täckdikning kan rekommenderas på jordar som har problem med läckage av P, men med risken att öka läckage av N. Om detta görs, så ställer det ytterligare krav på produktionen att begränsa tillförseln av N till systemet. Endast tillföra gödsel vid tillfällen då gröda kan ta upp det och utnyttja sig av precisionsodlings metoder som anpassad N giva via sensor.

4.2 Kalkfilterdike

Behandling D är ett nylagt dräneringssystem som, likt behandling B har 10 meters dikningsavstånd, men skiljer sig genom att det blandades in strukturkalk i jorden innan återfyllning. Det kan förväntas att utlakningen av P ska vara lägre då kalkfilterdiket både har förmåga att binda P och gynna infiltration och förbygga ytavrinning. Dock så är fördelen av att minska risk för ytavrinning inte nödvändigtvis lika relevant på denna försöksplats, där topografin är väldigt platt. Effekten av ny dränering och kalkfilterdike för att reducera P förluster hade kunnat vara större på mark med mer lutning.

Med kalkfiltret kan en minskning av P förväntas, med väldigt liten eller ingen minskande effekt av N-läckage. Efter en period på fem försöksår sedan anläggning, bedöms inte effektiviteten av kalkfiltret ha minskat avseende värt

mycket. Dock så finns det exempel på en minskad effektivitet av kalkfilterdike redan efter ett år och livslängden bedöms bero på vattenkvalité och inflödesmängd (Kirkkala et al. 2012).

Behandling D skiljer sig genom att ha högre Total-N utlakning och $\text{NO}_2 + \text{NO}_3$ -N utlakning, med undantag för sista försöksåret. För N-utlakning verkar det finnas ett sammanhang mellan högst avrinning och högst N-utlakning, förutom året 2021/2022. Det generellt lite högre flödet i behandling D skulle kunna vara en effekt av kalkfiltrets strukturförbättrande förmåga som ökar flödet utöver förbättringen från grusfiltret. P-utlakningen var högre i behandling B de första två försöksåren och sista försöksåret i jämförelse med behandling D. Något som kan beror på kalkfiltret och kalks P-bindande förmåga. Anledningen till att behandling D har en större P-utlakning försöksår 2021/2022 och 2022/2023, har ingen tydlig förklaring, men kan misstänkas ha en koppling till den låga avrinningen, då samma mönster inte hittades i försöksår med högre årsnederbörd. Dessa variationer var inte stora eller signifikanta och i med att mönstret inte fortsatte sista försöksåret, är det inte heller troligt att det berodde på ett mättat kalkfilterdike. Att notera är att de signifikanta skillnaderna som finns i utlakning var för P de första två försöksåren, då försöket var relativt nytt. Det var inte lika långt tid sedan strukturkalkningen av hela fältet gjorts och jorden kan ha varit mer lucker sedan nydräneringen. Vilket kan ha betytt att nyttan fortfarande var stor nog att ge större skillnad mellan det äldre och det nya dräneringssystemet. Om kalkfilterdike ska anläggas vid nydränering blir det en avvägning mellan nyttan det kan göra för att minska utlakning och den extra kostnader att lägga det. I detta försök så syntes en reducering av P utlakning, men dock inte signifikant skild från ett liknande system utan kalkfilterdike. Därför kan nyttan av det delvis ifrågasättas om risken för ytavrinning inte är högre.

Den skördeökning som sker i behandling D i jämförelse med de andra behandlingarna skulle kunna förklaras av kalkfiltrets påverkan på markstrukturen, utöver den goda effekten som dräneringen har. Detta kan vara en del av förklaringen till den relativa skördemängden för behandlingen, som vid flera tillfällen var högre än andra skördeökningar relativt behandling A. Samt varför behandling D inte hade en relativ skördeminskning de åren vårvete odlades.

4.3 Dikningsavstånd 5 eller 10 meter

Behandling C var nydränerad med ett dikningsavstånd på 5 m, till skillnad från behandling B med 10 meter. Med ett kortare dikningsavstånd kan avrinningen förväntas ske snabbare. Mindre yta per dräneringsslang och därför mindre vatten per rör. Detta kan betyda ett långsammare flöde genom dräneringsslangen, men också en större kapacitet för hela försöksrutan. Ökar avrinningen på grunda av det minskade avståndet så kan utlakningen också förväntas öka. Ett försök visade

mindre förluster av $\text{NO}_3\text{-N}$ vid ett större dikningsavstånd (18,3 meter och 24,4 meter i jämförelse med 12,2 meter), vilket tros bero på att bredare avstånd leder till långsammare avrinning och mer $\text{NO}_3\text{-N}$ stannar i markprofilen (Hwang et al. 2024).

Behandling C hade kontinuerligt en lägre avrinning och även lägre utlakning av både P och N, i jämförelse med behandling B. Enda undantaget var för Total-P 2022/2023, då behandlingarna hade ungefär samma årliga utlakning. Resultaten kan tolkas som att en lägre avrinning innebär en lägre utlakning av både N och P. År 2022/2023 var avrinningen generellt låg i hela försöket och B hade en avrinning på 72 mm/år, medan C hade 48 mm/år. Trots den skillnaden så var årliga Total-P väldigt lika mellan behandlingarna. Denna skillnad verkade inte bero på en stor skillnad i P-AL, men skulle kunna vara effekten av en skillnad i koncentrationer. Årskoncentrationerna skiljer sig dock inte mycket mellan behandlingarna.

Att flödet och utlakningen skulle vara mindre för ett mindre dikningsavstånd, stämmer inte överens med andra studiers resultat. En studie (Kladivko & Bowling 2021) visade att dikningsavstånd 5 meter och 10 meter hade en signifikant skillnad i $\text{NO}_3\text{-N}$ belastning årligen, där 5 meter hade en större belastning och koncentrationer skilde sig inte mellan dikningsavstånd. Denna studie var dock på en lättare jord som skiljer sig från den jordart som försöket i denna studie utförs på, samt från sydöstra Indiana, USA. En studie från Finland (Jokinen et al. 2024) på lerig jord visade dock liknande resultat där förbättring av redan lagd dränering genom kompletterande dräneringsrör som minskade dikningsavståndet gav större avrinning och en större belastning av $\text{NO}_3\text{-N}$. Trots att skillnaden framför allt berodde på det ökade flödet, observerades det även att koncentrationen av N i avrinningen ökade med mindre dikningsavstånd. En möjlig förklaring till skillnaden i avrinning skulle kunna vara infiltrationsförmågan i jorden. Lerhalten i alven är för två av upprepningarna lite högre än resterande. Dock så kan det inte vara den enda förklaringen då, lerhalten i alven är hög för andra behandlingars upprepningar utan att flödet påverkats lika stort. Minskad infiltration skulle kunna vara på grund av markpackning av rutor, exempelvis när de skördas ruta för ruta, men det är inte troligt att alla upprepningar skulle råkat packas och därför visa samma låga avrinning. Det vore av intresse att mäta infiltrationshastigheten för försöksrutorna både på ytan och längre ner i markprofilen.

År 2023 hade behandling C den största skörden och en relativ skörd som var märkbart högre än tidigare år. Avrinningen för försöksår 2022/2023 var lägst av alla år och början av år 2023 hade låg nederbörd och väldigt kraftig nederbörd under kort period under sensommaren till hösten. En treårig studie (Acharya et al. 2019) som tittade på dikningsavstånds (9, 12 och 15 meter) påverkan på skörd av sojaböna, majs och sockerbeta, fann att nyttan delvis berodde på årets nederbörd men även på grödan som odlades. Om våta år, så gynnades sojaböna och majs av

ett kortare dikningsavstånd, medan torra år så gynnades majs och sockerbeta av ett längre dikningsavstånd. Detta förklaras i studien vara delvis på grund av att ett längre avstånd under våta år kan leda till stående vatten, medan kortare avstånd innebär snabbare borttransport av vatten. Det är möjligt att behandling C hade en bättre förmåga att hantera den våta perioden i slutet av 2023, vilket kan vara en bidragande faktor till att den relativa skörden blev så pass högre.

Det finns i detta försök ingen tydlig fördel att minska dikningsavståndet från det rekommenderade 10 meter till 5 meters dikningsavstånd, då det inte fanns någon signifikant skillnad i avrinning, utlakning av näringsämnen eller skörd från ett system med 10 meters dikningsavstånd. Dock så motsäger sig detta resultat från andra studier där avrinningen ökade med ett minskat dikningsavstånd. Dessa studier tittade dock inte på en skillnad mellan 10 meter och 5 meter. Ett mindre dikningsavstånd kan med dagens klimat vara svårt att försvara nyttan av, men skulle nederbörden öka i intensitet i framtiden kan ett mindre avstånd som leder bort vatten snabbare vara en fördel. Behandling C hade en mindre upprepning första och sista försöksåret vilket kan ha bidragit till osäkerheten, dock så följde åren med alla upprepningar samma trend. Ytterligare år med observationer och tillfällen med högre nederbörd och torrperioder skulle behövas för att bedöma nyttan detta system kan ha. Speciellt från ett perspektiv av klimatanpassning och livslängden ett täckdikningssystem har.

5. Slutsats

Syftet med denna studie var att besvara om det är någon skillnad i transport av N och/eller P baserat på dikningsavstånd och om det är någon skillnad i skörd och kvalitet baserat på dikningsavstånd. Samt påverkan på skörd och näringsläckage som kalkfilterdike har på en lerig jord.

Slutsatsen är att skillnader i dikningsavstånd och användning av kalkfilterdike troligen inte har någon påverkan på avrinning eller utlakning. Det är i stället uppgraderingen till ett nyare system som har störst påverkan på transporten av näringsämnet P. Om detta är en effekt från nyanläggandet av försöket eller inte kan inte säkert sägas i denna studie, utan behöver flera år av observationer för att med säkerhet kunna avgöras.

Sedan dras även slutsatsen att skörden och kvalitén av skörden inte påverkas signifikant av olika dikningsavstånd eller användandet av kalkfilterdike. Det är möjligt att skördepotentialen är högre med olika dikningsavstånd och med kalkfilterdike, men inte under omständigheter som varit i denna studie där åtgärder inte anpassats till enskilda behandlingar.

Referenser

- Acharya, U., Chatterjee, A. & Daigh, A.L.M. (2019). *Effect of Subsurface Drainage Spacing and Depth on Crop Yield*. Agronomy Journal, 111 (4), 1675–1681. <https://doi.org/10.2134/agronj2018.11.0738>
- Bång, M., Carlsson-Ross, C., Börling, K., Wallentin, J., Karlsson, L., Larsson, M., Fredriksson, F. (2012). *Jordbruket och vattenkvaliteten, kunskapsunderlag om åtgärder*. (RA12:22), Jordbruksverket.
<https://webbutiken.jordbruksverket.se/sv/artiklar/jordbruket-och-vattenkvaliteten-kunskapsunderlag-om-atgarder.html>
- Grönvall, A (2024). *Bevattning och dränering av jordbruksmark 2023*. (JO0112). Jordbruksverket. <https://jordbruksverket.se/om-jordbruksverket/jordbruksverkets-officiella-statistik/jordbruksverkets-statistikrapporter/statistik/2024-11-20-bevattning-och-dranering-av-jordbruksmark-2023> [2025-05-18]
- Gyllenström, M., Larsson, M. (2013). *Kalkfilterdike diken Antaganden och metodik för beräkning av åtgärdspotential och kostnad*. Länsstyrelserna, Vattenmyndigheterna.
<https://www.vattenmyndigheterna.se/download/18.2e50256416a58d18ea95458c/1559549>
- Havs- och vattenmyndigheten (2019). *Näringsbelastningen på Östersjön och Västerhavet 2017: Sveriges underlag till HELCOM:s sjunde Pollution Load Compilation*. (2019:20). Havs- och vattenmyndigheten.
<https://www.havochvatten.se/data-kartor-och-rapporter/rapporter-och-andra-publikationer/publikationer/2020-03-06-naringsbelastningen-pa-ostersjon-och-vasterhavet-2017.html> [2025-05-18]
- Hoffmann, M. Redner, A. Törnquist, M. Thuillier, V. Lundquist, L-E. Johansson, C. Windfäll, E. Sundblad, F. Nordenskjöld, C. Forssell, M. (2023), *Livsmedelsberedskap, klimat och natur KOSTNADER FÖR JORDBRUKETS GRÖNA OMSTÄLLNING*. Lantbrukarnas riksförbund. <https://www.lrf.se/las-mer/kostnader-for-jordbrukets-grona-omstallning/>
- Hwang, S., Singh, S., Bhattarai, R., Jeong, H. & Cooke, R.A. (2024). *Impact of Subsurface Drainage System Design on Nitrate Loss and Crop Production*. Applied Sciences, 14 (22), 10180. <https://doi.org/10.3390/app142210180>
- Jokinen, V., Salo, H., Mäkelä, M., Nurminen, J., Äijö, H., Laine-Kaulio, H., Myllys, M. & Koivusalo, H. (2024). *The effects of improved subsurface drainage on runoff and nitrogen leaching from a clayey field section*. Irrigation and Drainage, 73 (4), 1408–1423. <https://doi.org/10.1002/ird.2965>
- Jordbruksverket (2009). *Klimatförändringen och täckdikningen*. (OVR169). Jordbruksverket.

<https://webbutiken.jordbruksverket.se/sv/artiklar/klimatforandringarna-och-tackdikningen.html>

Jordbruksverket (2019) *Åtgärder för minskade växtnäringsförluster från jordbruket*. (OVR125). Jordbruksverket.

<https://webbutiken.jordbruksverket.se/sv/artiklar/ovr125.html>

Kirkkala, T., Ventelä, A.-M. & Tarvainen, M. (2012). *Long-Term Field-Scale Experiment on Using Lime Filters in an Agricultural Catchment*. *Journal of Environmental Quality*, 41 (2), 410–419. <https://doi.org/10.2134/jeq2010.0429>

Kladivko, E.J. & Bowling, L.C. (2021). *Long-term impacts of drain spacing, crop management, and weather on nitrate leaching to subsurface drains*. *Journal of Environmental Quality*, 50 (3), 627–638. <https://doi.org/10.1002/jeq2.20215>

Larsson, T. Heeb, A. Krook, J. Lundmark, M. Johansson, T (2018). *Underhåll ditt dike för ett rikare odlingslandskap*. (JO18:1). Jordbruksverket.

<https://webbutiken.jordbruksverket.se/sv/artiklar/jo181.html> [2025-05-13]

Larsson, T. Rasic, Z. Malm, P. Heeb, A. Neselius, T. (2019) *Täckdikning - för bättre skörd och miljö*. (JO18:2). Jordbruksverket.

<https://webbutiken.jordbruksverket.se/sv/artiklar/jo182.html>

Mendes, L.R.D., Pugliese, L., Canga, E., Wu, S. & Heckrath, G.J. (2022). *Analysis of reactive phosphorus treatment by filter materials at the edge of tile-drained agricultural catchments: A global view of the current status and challenges*. *Journal of Environmental Management*, 324, 116329.

<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116329>

Naturvårdsverket (2008). *Dräneringsvatten på observationsfält*. naturvardsverket.se [2025-04-25]

Ockenden, M.C., Hollaway, M.J., Beven, K.J., Collins, A.L., Evans, R., Falloon, P.D., Forber, K.J., Hiscock, K.M., Kahana, R., Macleod, C.J.A., Tych, W., Villamizar, M.L., Wearing, C., Withers, P.J.A., Zhou, J.G., Barker, P.A., Burke, S., Freer, J.E., Johnes, P.J., Snell, M.A., Surridge, B.W.J. & Haygarth, P.M. (2017). *Major agricultural changes required to mitigate phosphorus losses under climate change*. *Nature Communications*, 8 (1), 161.

<https://doi.org/10.1038/s41467-017-00232-0>

Linefur, Helena & Stjernman Forsberg, Lovisa (2018). *Minskande trend av näringsläckage från jordbruksmark – Utvärdering från typområde M39 mellan 1983-2016*. (2018:01). Länsstyrelsen Skåne.

<https://www.lansstyrelsen.se/download/18.68fbc90d193243b379e481cb/1732526271621/Minskande%20trend%20av%20n%C3%A4ringsl%C3%A4ckage%20fr%C3%A5n%20jordbruksmark.pdf>

Rixon, S., May, H., Persaud, E., Elsayed, A., Levison, J., Binns, A. & Goel, P. (2024). *Subsurface influences on watershed nutrient concentrations and loading in a clay dominated agricultural system*. *Journal of Hydrology*, 645, 132140.

<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.132140>

Sellner, B.M., Hua ,Guanghui, Ahiablame ,Laurent M., Trooien ,Todd P., Hay ,Christopher H. & and Kjaersgaard, J. (2019). *Evaluation of industrial by-products and natural minerals for phosphate adsorption from subsurface drainage*. Environmental Technology, 40 (6), 756–767.

<https://doi.org/10.1080/09593330.2017.1407364>

Skaggs, R.W., Brevé ,M. A. & and Gilliam, J.W. (1994). *Hydrologic and water quality impacts of agricultural drainage**. Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 24 (1), 1–32.

<https://doi.org/10.1080/10643389409388459>

SMHI - Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut (2021). Normal-nbd-1991-2020. <https://www.smhi.se/data/temperatur-och-vind/temperatur/dataserier-med-normalvarden-for-perioden-1991-2020> [2025-05-25]

SMHI - Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut (2025a). smhi-opendata_5_96560_20250303_174643. <https://www.smhi.se/data/hitta-data-for-en-plats/ladda-ner-vaderobservationer/precipitation24HourSum/96560> [2025-03-03]

SMHI - Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut (2025b). smhi-opendata_2_96560_20250310_103026.csv. <https://www.smhi.se/data/hitta-data-for-en-plats/ladda-ner-vaderobservationer/airtemperatureMean24h/96560> [2025-03-10]

Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut (2025).smhi-opendata_19_20_96560_20250305_135044.csv. <https://www.smhi.se/data/hitta-data-for-en-plats/ladda-ner-vaderobservationer/airTemperatureMinAndMaxOnceEveryDay/96560> [2025-03-05]

Täckdikningsföreningen rf (2015). *Åkertäckdikning*. (ISBN 978-952-5345-32). Täckdikningsföreningen rf. <https://www.salaojayhdistys.fi/sv/publikationer/>

Wesström, I. & Joel, A. (2022). *Effects of drainage system renewal on nutrient leaching and crop yield*. Proceedings of 11th International Drainage Symposium, August 30 – September 2, 2022, St. Joseph, MI, 2022. 1–8. ASABE.

<https://doi.org/10.13031/ids.202200039>

Populärvetenskaplig sammanfattning

Täckdikningssystem är en bra metod för att gynna jordbruksproduktion, men kan bidra till övergödning till följd av ökad transport av näringsämnen som fosfor och kväve.

Det finns inte många försök i Sverige som inriktar sig på avvattning av jordbruksmark, trots att denna fråga är så pass aktuell som den är. Ett långliggande försök anlades i Västmanland, för att svara på hur näringstransport och skörd påverkas av täckdikningssystem. Det fanns ingen tydlig påverkan av att ha en tätare läggning av ledningar i marken. Varken för transport av kväve eller fosfor. Inte heller fanns det någon påverkan av att ha kalk med vid återfyllnad när täckdikning grävdes (kalkfilterdike). Dock så visade det sig finnas en skillnad av att uppgradera äldre täckdikning med tegelrör till en ny täckdikning med plastslang, grusfilter och kalkfilterdike. En effekt som kan vara begränsad över tid eller i alla fall ha varierande effekt beroende på år. Transporten av fosfor minskar med ett nytt system i jämförelse med ett gammalt. Det fanns även skillnader som inte var så stora men som kan ge en vägledning till möjliga effekter. Något som var motsägelsefullt från tidigare studiers resultat var att avrinningen i ledningarna minskade med ett kortare avstånd mellan ledningarna. Detta lägre flöde minskade ofta även transporten av näringsämnen, så länge koncentrationen av fosfor och kväve inte var för stor. Det gick även att se en liten positiv inverkan på skörd av att ha ett nytt dräneringssystem i jämförelse med ett gammalt. En påverkan som kan härledas komma från den strukturförbättringen som både kalkfilterdike och ett nytt täckdikningssystem kan ha bidragit med. Negativt var dock att transporten av kväve riskerade att öka i ett nytt täckdikningssystem, både med och utan kalkfilterdike.

Klimatförändringar kan komma att påverka nederbördens förekomst och intensitet, vilket kan skapa ett behov av ökad kapacitet hos dräneringssystem. Samtidigt så påverkar dränering transporten av näringsämnen och har risken att öka läckage eller chansen att minska det. Näringsämnen som hamnar i våra vattendrag skapar problem med övergödning. Samtidigt så är dränering med täckdikning en viktig del av den svenska matproduktionen och en kostsam investering för den enskilde lantbrukaren. Det är därför som kunskap om näringstransporter, som tar skörden i åtanke viktigt. Att studier också utförs på platser med olika försättningar är också en pusselbit för att i Sverige kunna anpassa täckdikningssystem till fält och gårdars förutsättningar, samtidigt som man tar hänsyn till miljöpåverkan.

Publicering och arkivering

Godkända självständiga arbeten (examensarbeten) vid SLU kan publiceras elektroniskt. Som student äger du upphovsrätten till ditt arbete och behöver i sådana fall godkänna publiceringen. I samband med att du godkänner publicering kommer SLU även att behandla dina personuppgifter (namn) för att göra arbetet sökbart på internet. Du kan närsomhelst återkalla ditt godkännande genom att kontakta biblioteket.

Även om du väljer att inte publicera arbetet eller återkallar ditt godkännande så kommer det arkiveras digitalt enligt arkivlagstiftningen.

Du hittar länkar till SLU:s publiceringsavtal och SLU:s behandling av personuppgifter och dina rättigheter på den här sidan:

- <https://libanswers.slu.se/sv/faq/228316>

☒ JA, jag, Sandra Lillsjö Kronblad har läst och godkänner avtalet för publicering samt den personuppgiftsbehandling som sker i samband med detta

☐ NEJ, jag/vi ger inte min/vår tillåtelse till att publicera fulltexten av föreliggande arbete. Arbetet laddas dock upp för arkivering och metadata och sammanfattning blir synliga och sökbara.