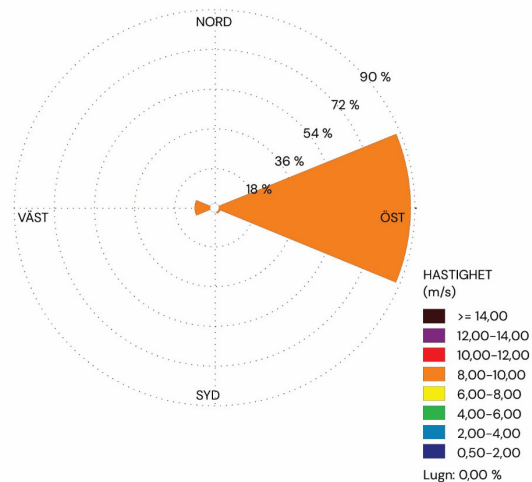


# Vinderosion av jordbruksmark



Bradley W. Goodfellow, Thomas Stevens,  
Annika Svanbäck & Magnus Asp

SGU-rapport 2026:03  
Diarie-nr: 31-200/2025

[www.sgu.se](http://www.sgu.se)

Författare: Bradley W. Goodfellow, Thomas Stevens (Uppsala universitet),  
Annika Svanbäck (Jordbruksverket) och Magnus Asp (SMHI)

Granskad av: Anna Hedenström  
Ansvarig enhetschef: Anna Hedenström  
Redaktör: Johan Sporrang

Omslagsbild: Bild överst till vänster visar vinderosion av isälvsediment på Dalbyvägen, 4 km öster om Lund, 13 april 2018. Fotograf: Jonas Ising. Bild överst till höger: Dammplym som omger en traktor under stenborttagning för odling av potatis, Björnstorps, 10 april 2025. Fotograf: Bradley W. Goodfellow. Bild längst ner till vänster: Thomas Stevens testar markytmetning med markbaserad lidar på isälvsediment, Bjällerup, 10 april 2025. Fotograf: Bradley W. Goodfellow. Vindros för mars–juni 1984 (exceptionella erosionsår),  $\geq 8 \text{ m s}^{-1}$  och  $< 1 \text{ mm 12-h}^{-1}$  (33 timmars data). Illustratör: Magnus Asp.

April 2026

**Sveriges geologiska undersökning**

Box 670, 751 28 Uppsala  
tel: 018-17 90 00  
e-post: sgu@sgu.se  
www.sgu.se

# Innehåll

Introduktion .....	4
Effekter av vinderosion och transport av sediment från odlingsmark .....	5
Paneuropeisk kvantitativ bedömning av vinderosion på odlingsmark .....	6
Vinderosion av jordbruksmark i Skåne – bidragande faktorer.....	8
Förändringar i vindklimatet (meteorologiska drivkrafter) .....	12
Förändringar i jordbruksmetoder (ökad sårbarhet).....	13
Vinderosion av jordbruksmark i Skåne – konsekvenser och åtgärder .....	14
Vinderosion av jordbruksmark i andra delar av Sverige .....	16
Online-resurser .....	16
Vindrosanalys, Knivsåsen, Skåne, baserad på ERA-data 1940–2025 .....	17
Rekommenderat protokoll för övervakning av vinderosion på odlingsmark.....	20
Referenser.....	24

# Introduktion

Vinderosion av jord är en globalt viktig process. Den försämrar jordbruksmark i en stor del av världen och efterföljande avsättning av vindburna partiklar bidrar till sedimenttillförsel och gödning av hav (Lal 1994, Proestakis m.fl. 2025). Förutom att skada jordbruksmarken kan luftburet damm utgöra en fara för människors hälsa och ekosystem (Bragazza m.fl. 2012, Tong m.fl. 2023). I Sverige kan områden med finkorniga jordar som är avgörande för jordbruket vara känsliga för vinderosion (mest sand och silt). Dessa områden är utbredda i södra Sverige, inklusive men inte begränsat till, delar av Västra Götaland, Uppsala län och Skåne, som ligger under den högsta postglaciala kustlinjen (SGU:s kartvisare *Jordarter 1:25 000–1:100 000* som nås via [www.sgu.se](http://www.sgu.se)). Dessa kritiska jordbruksregioner producerar en stor del av Sveriges mat. Jordbruksjordar kan vara mest känsliga för vinderosion under torra vårperioder, när marken torkar upp efter vintern och grödor precis börjar gro. Vinderosion av jordbruksmark kan också förvärras med pågående klimatförändringar eftersom ökad föränderlighet i den hydrologiska cykeln och högre avdunstning kan resultera i mer frekvent och/eller allvarigare torka (Bartkowski m.fl. 2022), vilket kan inträffa under de kritiska vårperioderna. Att förstå vinderosion av jordbruksmark är därför viktigt för förvaltningen av en kritisk resurs, anpassning till klimatförändringar och för att bevara människors och ekosystemens hälsa.

Det har inte gjorts någon bedömning av vinderosion av odlad mark i Sverige under de senaste 23 åren. Syftet med detta projekt är därför:

- (i) Att genomföra en litteraturgenomgång för att få en uppdaterad bedömning av riskerna för vinderosion, med fokus på odlad mark i Sverige.
- (ii) Att analysera vinddata för en utvald plats i Skåne.
- (iii) Att gitta online-resurser som kan bidra till en systematisk bedömning av risken för vinderosion i Sverige.
- (iv) Att genomföra preliminära undersökningar av känsligheten för vinderosion på utvalda fältplatser i Skåne.
- (v) Att ta fram ett rekommenderat bedömningsprotokoll för mätning av vinderosion, transport och deposition på fältplatser i Sverige.

Denna rapport utgör en förstudie för framtida forskning och för att bistå myndigheter i bedömningen av vinderosionsrisker för att bemöta ett krav inom ett nytt markdirektiv (EU:s markövervakningslag 2025) att bedöma och mildra vinderosion som en viktig del av hållbar markförvaltning. Arbetet med att sammanställa denna rapport har delvis finansierats av SMHI:s Myndighetshetsnätverk för klimatanpassning (SMHI23:1 2025/371/5.2.2, 1:10).

# Effekter av vinderosion och transport av sediment från odlingsmark

Vinderosion har allvarliga effekter både lokalt på platsen den sker och på långt avstånd, inklusive miljöförstöring, hälsorisker och ekonomiska förluster.

## Effekter på plats:

- **Förlust av jordens bördighet:** Avlägsnandet av matjord, som är rik på näringsämnen och organiskt material, skadar den långsiktiga jordbruksproduktiviteten (Pimentel m.fl. 1995, Riksen & de Graaff 2001, Lyon & Smith 2010). Eroderad jord innehåller vanligtvis ungefär tre gånger mer näringsämnen än den jord som blir kvar (Pimentel m.fl. 1995).
- **Minskade skördar:** Skördarna på kraftigt eroderade jordar är betydligt lägre (Pimentel m.fl. 1995, Lyon & Smith 2010). Skördeminskningar på mellan 12 % och 65 % sker i olika regioner globalt (Pimentel m.fl. 1995).
- **Försämrad markstruktur:** Erosion minskar vatteninfiltrationen och vattenhållningsförmågan, vilket kan bidra till vattenbrist för grödorna (Pimentel m.fl. 1995, Riksen & de Graaff 2001).
- **Skador på grödor:** Vinddriven jord kan minska grödornas överlevnad och tillväxt genom nötning och kan öka växternas stress och mottaglighet för sjukdomar (Lyon & Smith 2010, Barring m.fl. 2003).
- **Ekonomiska kostnader:** Extra arbetskraft och bränsle för upprepad jordbearbetning, extra kostnader för utsäde, jordbrukskemikalier, och reparation och underhåll av jordbruksmaskiner, och minskade skördar (Riksen & de Graaff 2001).

## Effekter på avstånd från platsen där vinderosion sker:

- **Luftföroreningar:** Uppvirvlad jord blir en del av dammbelastningen i atmosfären, vilket försämrar sikten, förorenar luften, stör markbunden transport och flygtrafik samt smutsar ner maskiner och bostads- och kommersiella byggnader (Goossens m.fl. 2001, Riksen & de Graaff 2001, Lyon & Smith 2010).
- **Spridning av föroreningar:** Processen sprider damm, näringsämnen, herbicider och pesticider, vilket utgör en risk för omgivande ekosystem och människors hälsa (Goossens m.fl. 2001, Riksen & de Graaff 2001, Tong m.fl. 2023). Till exempel, fina partiklar PM<sub>10</sub> och PM<sub>2,5</sub>, som är en viktig källa till luftföroreningar, kan eroderas från jordbruksmark. Dessa partiklar i sig själva orsakar ett stort antal för tidiga dödsfall från en mängd olika sjukdomar (Deryugina m.fl. 2019). Dessutom kan dammavsättning öka gödningen av våtmarker och därigenom öka aktiviteten hos bakterier, vilket kan störa kolets kretslopp (Bragazza m.fl. 2012). Dammpartiklar i atmosfären kan också fungera som vektorer för bakterier, virus, och svampsporor (Tong m.fl. 2023).
- **Skador på vattensystem:** Sedimentation i vattendrag, floder och reservoarer skadar vattenlevande organismer, minskar vattenlagringskapaciteten, täpper till vattendrag och ökar kostnaderna för vattenrening (Riksen & de Graaff 2001, Lyon & Smith 2010).
- **Ekonomiska kostnader:** I samband med rengöring av diken, vägar, häckar, maskiner, byggnaders exteriör och interiör, miljöåterställning, hälso- och sjukvård samt minskad arbetsproduktivitet och livskvalitet (Riksen & de Graaff 2001, Tong m.fl. 2023).

**Vinderosion av damm, snarare än sand, är viktigast i norra Europa** (Goossens m.fl. 2001):

Detta beror på att:

- Silt och lera förekommer i höga halter i jordar över stora områden (SGU:s kartvisare *Jordarter 1:25 000–1:100 000*).
- Näringsämnen, organiskt material, bekämpningsmedel och föroreningar är oftast bundna till silt- och lerpartiklar, där de kan nå koncentrationer som är upp till tio gånger högre än i den totala matjorden (Young m.fl. 1985, Zobeck & Fryrear 1986, Leys & McTainsh 1994, Sterk m.fl. 1996).
- Fina partiklar (PM<sub>10</sub> och PM<sub>2,5</sub>) som är de partikelstorlekar som är mest skadliga för människors hälsa (Tong m.fl. 2023).
- Patogener (virus, bakterier, nematoder, sporer) kan finnas på fina kornstorlekar och spridas över stora avstånd när vinden transporterar damm.
- Dammpartiklar som eroderats från ett fält transporteras oftast bort från fältet, till skillnad från vinddriven sand, som till stor del kan stanna kvar på fältet (eller samlas längs staket) efter en relativt kort transport med vinden.

## Paneuropeisk kvantitativ bedömning av vinderosion på odlingsmark

Vinderosion har historiskt sett förbisetts i Europa, men erkänns nu som ett miljöproblem (Borrelli m.fl. 2017) som kräver mätningar och utveckling av åtgärder där det finns behov (EU:s markövervakningslag 2025). Fältmätningar och observationer visar att vinderosion är ett hot mot en rad odlingsmarker i hela Europeiska unionen (EU), från Medelhavsområdet till de tempererade klimaterna i norra Europa (Borrelli m.fl. 2017). En heltäckande förståelse av dess rumsliga och tidsmässiga dynamik har dock varit begränsad. Det finns många lokala studier, men de är ojämnt fördelade, vilket har lett till en kunskapslucka som har hindrat utvecklingen av effektiva EU-strategier (Borrelli m.fl. 2017).

För att åtgärda denna brist genomfördes en modellbedömning med hjälp av en geografisk informationssystemversion av den reviderade vinderosionsformeln (GIS-RWEQ) för åkermark i de 28 EU-medlemsstaterna (Borrelli m.fl. 2017). Modellen integrerade rumsliga och tidsmässiga data om viktiga faktorer: klimatisk erosivitet (väderfaktor, WF), jordens eroderbarhet (eroderbar fraktion, EF; skorpfaktor, SCF), vegetationstäckning (kombinerad grödfaktor, COG) och jordens ojämnhet (K). GIS-RWEQ gav den första kvantitativa uppskattningen av jordförlustpotentialen på paneuropeisk skala och visade följande viktiga resultat:

- **Genomsnittlig jordförlust:** Modellen förutspår en genomsnittlig årlig jordförlust på 0,53 Mg ha<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup> över EU:s 96,1 miljoner hektar åkermark för perioden 2001–2010.
- **Fördelning:** Cirka 36,3 % av den undersökta marken visade inga tecken på erosion. För de återstående 63,7 % förutsåg modellen dock jordförlustnivåer från mycket låga till höga. Bara 9,7 % av åkermarken upplevde måttlig (5,3 %) till hög (4,4 %) jordförlust.
- **Geografiska hotspots:** De regioner som är mest utsatta för vinderosion är:
  - o **Norra Europa:** Längs Nordsjökusten i Danmark, Storbritannien, Nederländerna, Tyskland, Frankrike och Belgien, samt längs Östersjökusten.
  - o **Medelhavsområdet:** Regioner i Spanien (Aragón, Castilla y Leon), Italien (Apulien, Toscana, Sardinien), Provence i Frankrike och delar av Grekland.

- o **Östeuropa:** De rumänska och bulgariska lågländerna som omger Karpaterna och längs Svarta havets kust.
- o **Sverige** har den fjärde högsta potentiella jordförlusten bland 11 nordeuropeiska länder, sett till genomsnittlig och drabbad yta. (tabell 1). GIS-RWEQ-modellen förutspådde en jorderosionshastighet på  $1,23 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$  ( $\sigma = 1,39$ ) för Skåne.

**Tabell 1.** Potentiell jordförlust från odlade åkrar i nordeuropeiska länder beräknad med hjälp av GIS-RWEQ. Anpassad från Borrelli m.fl. (2017).

Land	Genomsnittlig jordförlust ( $\text{Mg ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ )	Maximal jordförlust ( $\text{Mg ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ )	Jordförlust område >3 $\text{Mg ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ (%)
Belgien	0,31	8,4	1,5
Danmark	3,01	39,9	36,3
Estland	0,27	15,3	2,3
Finland	0,33	16,5	3,0
Tyskland	0,26	33,1	1,1
Lettland	0,07	7,9	0,2
Litauen	0,10	8,1	0,1
Nederländerna	2,60	36,7	30,4
Polen	0,18	11,6	0,2
Sverige	0,74	26,1	5,8
Storbritannien	1,03	29,2	10,7

- **Säsongsdynamik:** Jordförlusten i EU är som störst under vintern (december–februari) och står för cirka 57 % av den totala årliga förlusten. Denna period sammanfaller med de högsta värdena för väderfaktorn (WF).
- **Effekten av grödor:** Vegetationstäckets spelar en viktig skyddande roll och utvärderas som jordens retentionkapacitet ( $SL_{sv}$ ; Guoli m.fl. 2014). Det har ett värde på  $11,37 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$  enligt modellen av Borrelli m.fl. (2017). Den potentiella markförlusten under permanenta barjordförhållanden uppskattades därför till  $11,9 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ , med en topp under vårperioderna (Borrelli m.fl. 2017). Den period och varaktighet varje år under vilken jorden är bar beror på vilken gröda som odlas (tabell 2). Sockerbetor, potatis och majs lämnar odlingsmarken oskyddad under perioder på fem till åtta månader under vintern och våren. Vårhavre, vårvete, vårkorn och ärtor lämnar marken oskyddad under vintern och tidig vår, vilket är kritiska perioder för vinderosion (Jönsson 1992, Ekström m.fl. 2002, Barring m.fl. 2003, Borrelli m.fl. 2017).
- **Behov av lokal kunskap.** Medan bedömningen av jordbruksmarkens känslighet för vinderosion med hjälp av den reviderade vinderosionsformeln görs på regional nivå (Borrelli m.fl. 2016, Du m.fl. 2022, Han m.fl. 2023), bör lokal kunskap införlivas för att förfinna dessa uppskattningar på lokal nivå. Detta beror på att modellen har följande begränsningar, som kan leda till underskattningar av markförlusten:
  - o **Dataupplösning:** Indata för vindhastighet, nederbörd och evapotranspiration härrör från ett grovt rutnät på  $25 \times 25 \text{ km}$ .
  - o **Vindegenskaper:** Modellen tog inte hänsyn till vindriktning eller vindbyar, vilket är avgörande för att bedöma extrema erosionshändelser. Användningen av daglig genomsnittlig vindhastighet kanske inte på ett adekvat sätt representerar korta, intensiva vindhändelser, eftersom jordförflyttningen är proportionell mot kubiken av den genomsnittliga vindhastigheten.

- o **Jordfuktighetsmodul:** Modellens dagliga skala fångar inte upp den snabba uttorkningen av markytan efter ett regnväder, vilket kan leda till erosion inom några minuter. Detta påverkar särskilt fuktiga regioner i norra Europa, där modellen ofta begränsar förekomsten av erosion på grund av hög jordfuktighet.

**Tabell 2.** Status för jordtäcket under olika månader för grödor som odlas på sandjordar i nordvästra Europa. Anpassat från Riksen och de Graaff (2001) och Goossens och Riksen (2004).

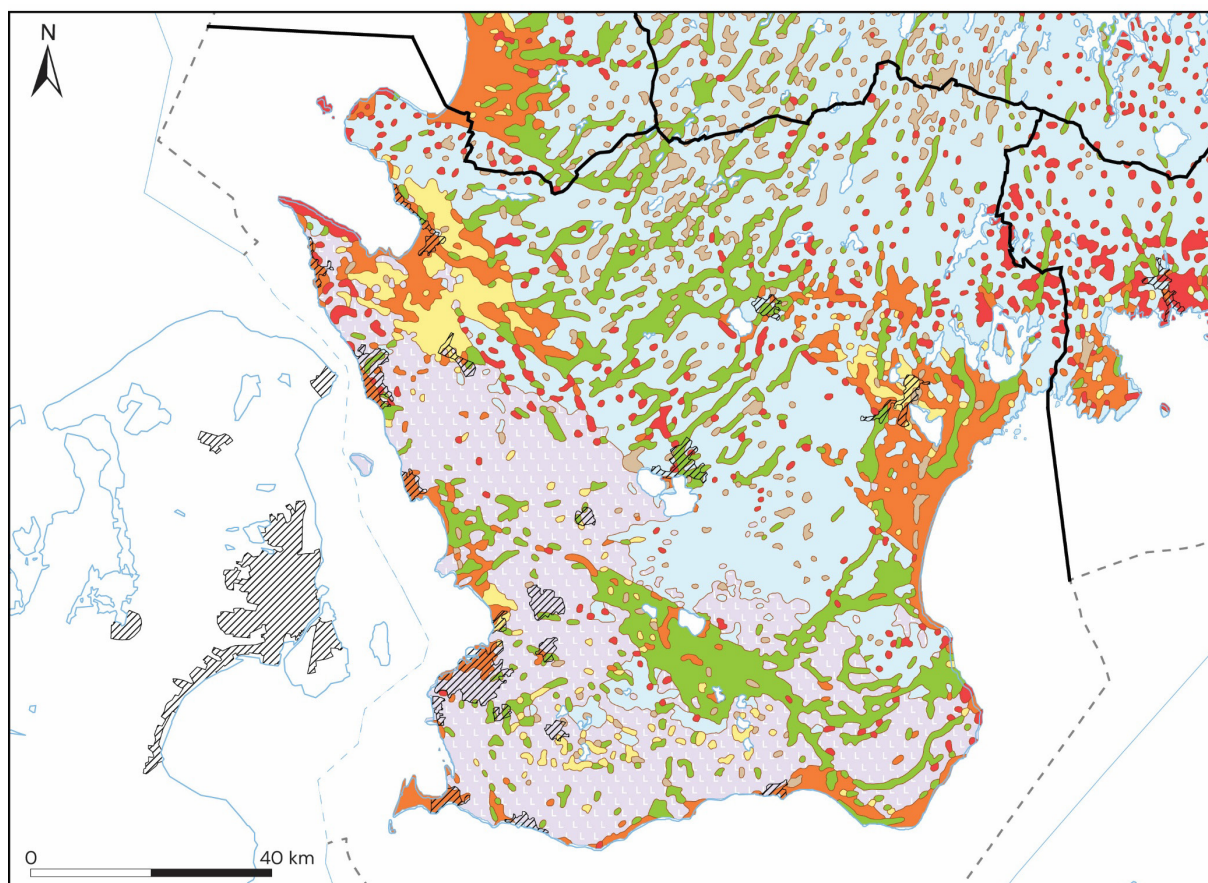
Gröda	Månad											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
Sockerbeter	O	O	Op	Os	N	-	-	-	-	-h	-h	O
Potatis	O	O	Op	Os	N	-	-	-	-h	Op	O	O
Vinterråg	-	-	-	-	-	-	-	-h	Op	OsN	-	-
Vinterkorn	-	-	-	-	-	-	-h	Op	Os	ON	-	-
Vintervete	-	-	-	-	-	-	-	-h	Op	O	N	-
Havre	O	Op	OsN	-	-	-	-	-h	Op	O	O	O
Vårkorn	O	Op	OsN	-	-	-	-	-h	Op	O	O	O
Vårvete	O	Op	OsN	-	-	-	-	-h	Op	O	O	O
Ärter	O	Op	N	-	-	-	-	-h	Op	O	O	O
Majs	O	O	O	Op	OsN	-	-	-	-h	Op	O	O
Vinterraps	-	-	-	-	-	-	-h	OsN	-	-	-	-

O = ingen gröda på fältet, inget marktäcke; p = markberedning; s = såbäddsberedning, sådd/plantering; - = gröda på fältet; h = skördeperiod; N = gröda på fältet men ger inget skydd mot vinderosion.

GIS-RWEQ-prognoser för potentiell vinderosion jämförda med lokala fältstudier på två platser i Storbritannien och en tredje plats i Tyskland visade att de var jämförbara i samma storleksordning. Det finns dock inga kvantitativa data om jorderosion för Sverige, även om vinderosion av jordbruksmark är ett dokumenterat problem (Jönsson 1992, Riksen & De Graaff 2001, Bärning m.fl. 2003, Böhner m.fl. 2003, Riksen 2004). Lokala fältmätningar av vinderosion och transport behövs därför i Sverige för att uppfylla både tekniska och juridiska krav (EU:s markövervakningslag 2025).

## Vinderosion av jordbruksmark i Skåne – bidragande faktorer

Vinderosion av odlad mark i Sverige och forskningen kring detta har traditionellt varit koncentrerad till Skåne. Nästan 60 % av de mest utsatta jordarna i Sverige finns i Skåne (20 000 ha, Jorderosionskommittén 1950, 1957, citerat i Bärning m.fl. 2003), där cirka 40 % av landarealen används för växtodling (fig. 1–3, Hydbom m.fl. 2020). De jordar som är mest utsatta för vinderosion är bland annat postglacial sand, isälvsediment och silt (fig. 1, Bärning m.fl. 2003). Moränlera och lerig morän kan också vara utsatta för vinderosion (Jönsson 1992).



**Jordart**

Torv	Morän	Territorialgräns
Lera-silt	Morän eller vittringsjord	Länsgräns
Postglacial sand-grus	Berg	Tätorter
Isälvs sediment	Vatten	
Moränlera eller lerig morän		

**Figur 1.** Fördelning av jordarter i Skåne, kartlagt i skala 1:1 000 000 (SGU:s kartvisare *Jordarter 1:1 miljon*).


Den stora ökningen av vinderosion i Skåne som observerades under 1970- och 1980-talen jämfört med tidigare decennier tillskrivs en kombination av variationer i det regionala vindklimatet, förändrade jordbruksmetoder som ökade markens sårbarhet för vinderosion och bristen på lämpliga långsiktiga underhållsstrategier för skyddsåtgärder (Jönsson 1992, Bärning m.fl. 2003). Analyserna fokuserade på fält som odlas med sockerbetor, som är kala under vintern och våren (Jönsson 1992, Bärning m.fl. 2003). Våren (mars till juni) är den mest sårbara perioden eftersom marken då kan torka ut. Denna sårbarhet under våren står i kontrast till de mer sydliga delarna av Europa, där vinderosionen av marken är som störst under vintern (Borrelli m.fl. 2017).



**Figur 2.** Jordar mellan Lund och Dalby, kartlagda i skala 1:25 000 (SGU kartvisare). Vindkänsliga jordar inkluderar isälvs-sediment och glacial silt. **(a)** Vinderosion av isälvs-sediment i april 2028 (foto: Jonas Ising, SGU). Fotoplatsen visas på kartan. **(b)** Lidar-skanning av odlat isälvs-sediment i april 2025. Fotoplatsen visas på kartan. Stallgödsel används som ett förebyggande skyddande täckmaterial på denna plats.



#### Jordart, grundlager

 Kärrtorv	 Isälvs sediment
 Svämsediment, ler-silt	 Isälvs sediment, sand
 Svämsediment, grovsilt-finsand	 Morängrovlora
 Svämsediment, sand	 Lerig morän
 Gyttjelera (eller lergyttja)	 Sandig morän
 Postglacial finlera	 Urberg
 Glacial lera	 Fyllning
 Glacial grovsilt-finsand	 Vatten

#### Kraftledningar

 Kraftledning, region

#### Vägar

 ———

 - - -

#### Järnvägar

 - - -

#### Hydrografi

 ———

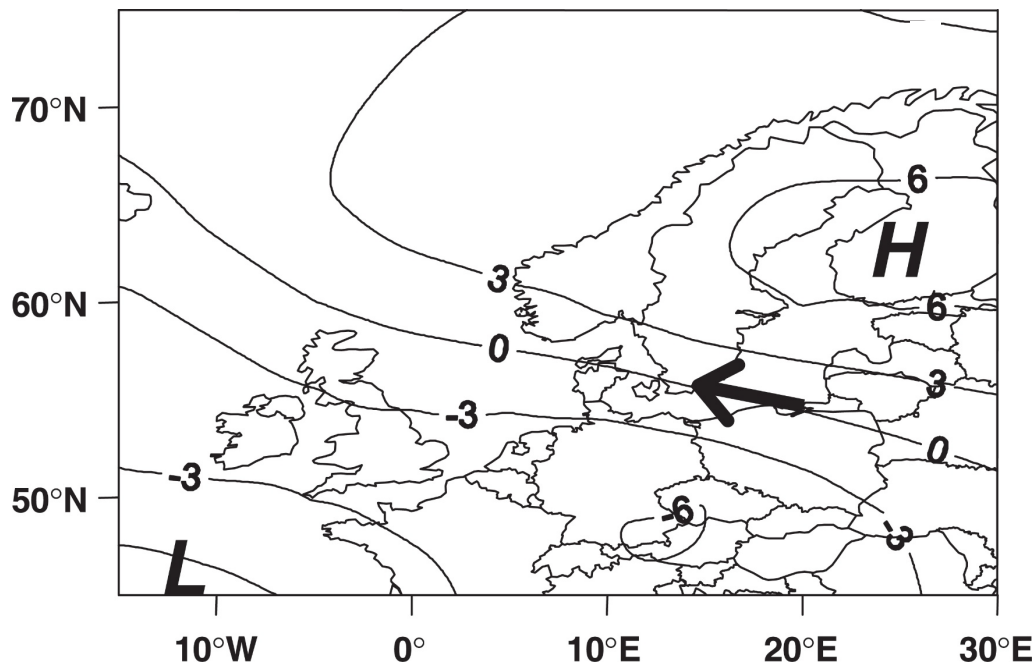


**Figur 3.** Jordar som är känsliga för vinderosion söder om Björnstorp, Skåne, kartlagda i skala 1:25 000 (SGU kartvisare). Dessa inkluderar sandiga isälvs sediment och glacial grovsilt-finsand. **(a)** Erosion av damm syns tydligt under jordbearbetning för potatis i april 2025. Fotoplatsen visas på kartan. **(b)** Sandiga isälvs sediment i förgrunden och glacial grovsilt-finsand i mitten av bilden. Ett stort odlingsområde finns i ett öppet, vindutsatt landskap. Fotoplatsen visas på kartan.

## Förändringar i vindklimatet (meteorologiska drivkrafter)

Vind är den drivande faktorn för vinderosion. Andra meteorologiska förhållanden och markytans egenskaper dämpar potentialen för vinderosion genom att begränsa potentialen för att partiklar frigörs från marken. Dessa dämpande faktorer inkluderar nederbörd, markfuktighet, strålning, avdunstning, fysiska och kemiska markegenskaper som avgör erosion av damm, markytans ojämnheter, förekomsten av ett skyddande täcklager och vindbarriärer (Bärring m.fl. 2003). Den klimatfaktor som främst drev den observerade ökningen av vinderosion under 1970- och 1980-talen var en förändring i vindens erosivitet, vilket kunde hänföras till:

- **Ökad frekvens av starka vindar under våren** (Jönsson 1992, Ekström m.fl. 2002, Bärring m.fl. 2003): På regional nivå ökade frekvensen av starka vindar ( $\geq 9 \text{ m s}^{-1}$ ) under våren särskilt under 1970- och 1980-talen. Perioden 1969–1988 var betydligt blåsigare under våren än den föregående perioden (1948–1968).
- **Allvarliga vinderosionshändelser var starkt förknippade med ett specifikt vädermönster** (Ekström m.fl. 2002, Bärring m.fl. 2003):
  - o Det viktigaste synoptiska mönstret (fig. 4) innefattar en lufttrycksgradient mellan ett **högtryckssystem över Skandinavien** och ett **lågtryckssystem över Centraleuropa**, vilket genererar en östlig luftström över Skåne.
  - o Denna östliga luftström för med sig kontinentala luftmassor som i allmänhet är **torrare** och ger mindre nederbörd än västliga luftströmmar. Detta gör att markytan torkar ut, vilket kraftigt ökar risken för vinderosion.
  - o **Persistens**: Långa perioder med ihållande östliga vindar i kombination med torra markförhållanden ökar risken för vinderosion avsevärt.
  - o **Ostliga vindar visade sig vara de mest erosiva**: De allvarligaste fallen av vinderosion (74 % av den totala skadan på sockerbetor) var förknippade med lufttrycksmönstret som visas i figur 4.



**Figur 4.** Synoptisk karta över den genomsnittliga lufttrycksfördelningen, uttryckt som avvikelser från den säsongsmässiga genomsnittliga tryckfördelningen, under de viktigaste vinderosionshändelserna. Källa: Bärring m.fl. (2003), omritad från Ekström m.fl. (2002).

- **Sekundära erosiva vindar (västlig sektor):** Även om vindklimatet i Skåne naturligt domineras av vindar från den västliga sektorn, är dessa vindar i allmänhet mindre erosiva (Ekström m.fl. 2002, Barring m.fl. 2003):
  - o **Västlig strömning (V–NV):** Västliga vindar är de näst vanligaste starka vindarna under våren, och den totala vindriktningen under erosionssäsongen är bimodal (58 % västlig, 42 % östlig). De står dock endast för 5 % av den totala erosionsskadan, trots att de är vanligare och ibland når de högsta vindhastigheterna.
  - o **Hämmande faktor (regn):** Västliga vindar är i allmänhet förknippade med advektion (förflyttning) av fuktig luft från Nordatlanten och medför ofta cykloniska frontregn. Denna fuktighet håller marken våt, vilket kraftigt minskar risken för vinderosion.
  - o **Starka, övergående händelser:** Tryckmönstret som är förknippat med starka västliga vindar står endast för en liten andel av erosionsdagarna, men kan orsaka vinderosion. Dessa händelser är ofta kortvariga stormar.

Analyser av tryckmönstren (stormfrekvens och cyklonintensitet) visade variationer mellan årtiondena, men inga tecken på en övergripande långsiktig trend i vindklimatet under denna period. Dessa variationer ansågs ligga inom gränserna för naturlig klimatvariabilitet (Barring m.fl. 2003).

## Förändringar i jordbruksmetoder (ökad sårbarhet)

- **Landskapsförändringar:** Historiska analyser i Skåne visar ett direkt samband mellan perioder av intensiv erosion och förändringar i markanvändningen.
  - o En ”ekologisk kris” under 1700-talet drevs på av avskogning och odling av sårbara nya marker (Mattsson 1987, citerat i Jönsson 1992, och Barring m.fl. 2003).

Jordbrukslandskapet blev mer sårbart för vinderosion under 1970- och 1980-talen på grund av rationalisering (Jönsson 1992, Barring m.fl. 2003):

- **Större fält och borttagande av vindskydd:** Jordbruksrationaliseringen ledde till ett förändrat lokalt vindklimat på grund av fältförstoringar och borttagande av vindbrytande vegetation.
  - o Jordbruksrationaliseringen sedan 1940-talet ledde till att naturliga vindskydd som häckar, alléer, dungar och trädgrupper togs bort.
  - o Förlusten av dessa hinder, som var nödvändiga för att kunna använda större jordbruksmaskiner, ökade vindens räckvidd, vilket resulterade i ett landskap som var mer utsatt för starka vindar.
  - o Kartstudier bekräftade att åkerlängderna ökade och den totala längden på hög vegetation minskade avsevärt under de 50 år som föregick studien.
- **Nya odlingsmetoder:** Införandet av nya jordbruksmetoder, särskilt inom sockerbetsodling, minskade skyddet för jorden på mikroklimatnivå.
  - o Införandet av monogermfrön i slutet av 1960-talet ledde till att fröna såddes glesare, vilket gjorde att jorden blev mer utsatt under den kritiska groningsfasen, eftersom plantorna växte upp utan att behöva gallras.
  - o Ogräsbekämpningsåtgärder som genomfördes tidigt under växtsäsongen hindrade ogräset från att skydda jorden.
  - o Förberedelsen av såbädden före sådd ökar jordens eroderbarhet.

Den ökade vinderosionen under 1970- och 1980-talen berodde på en ”missmatchning” i tidskalan: naturliga variationer medförde perioder med ökad vindstyrka och starka ostliga vindar, samtidigt som jordbruksmetoderna hade utvecklats till att skapa ett landskap med större, oskyddade åkrar och sårbara grödor, vilket gjorde att hela systemet var oförberett på den naturliga vindbelastningen (Bärring m.fl. 2003).

- Ökad påverkan av starka vindar: Under perioden 1969–1988 var en högre andel veckor med minst en observation av starka vindar förknippade med vinderosion (23,2 %) jämfört med 1948–1968 (5,8 %), vilket tyder på att påverkan av starka vindar ökade under denna tid.

**Jordbearbetning som dominerande källa:** Effekterna av jordbearbetning på dammutsläpp har inte utvärderats i Sverige. En 15 månader lång fältstudie i ett jordbruksområde i Niedersachsen, Tyskland, som utvecklats på glaciala sediment bestående av sand, silt och lera, visade dock att dammutsläppen från jordbearbetning var 6,6 gånger högre än dammutsläppen från naturliga vinderosionshändelser (Goossens m.fl. 1991). Det förekom hög dammaktivitet under våren (mars–maj) och hösten (oktober–november), vilket sammanföll med perioder av jordbearbetning. Denna studie visar att mekanisk markstörning kan vara en stor och potentiellt dominerande bidragande faktor till vinderosion, även i Sverige.

## Vinderosion av jordbruksmark i Skåne – konsekvenser och åtgärder

**Fysiska och ekonomiska konsekvenser:** Konsekvenserna av vinderosion i Skåne har inte kvantifierats i termer av volymer av eroderad, transporterad och återdeponerad jord. Under den ekologiska krisen på 1700-talet, när vinderosion åtföljdes av avskogning och odling av nya marker, observerades sandansamlingar längs stengårdsgårdar och i sanddyner, som senare stabiliserades genom plantering av tallskogar (Mattsson 1987). Sedan 1850 har vissa tidigare jordbruksmarker i Skåne planterats med träd, **eftersom förlusterna av finkorniga sediment och näringsämnen har varit så stora att fortsatt odling inte har varit möjlig** (Rasmusson 1962 och Åhman 1974, citerade i Jönsson 1992). Vinderosion observerades återigen vara ett problem på 1940-talet (Committee on Erosion 1950, citerat i Jönsson 1992) och register över vinderosion började föras från 1948 av Sockerbolaget AB (Jönsson 1992), som inte längre existerar efter att det köptes upp av den danska sockerproducenten Danisco 1993 (nu känt som Nordic Sugar). Dessa register innehöll veckorapporter från jordbrukare om den areal av sockerbetor som behövde sås om efter vinderosion. Förutom att det inte fanns någon information om erosionsvolymer i dessa register var det omöjligt att identifiera den exakta tidpunkten för erosionen på grund av den veckovisa tidsupplösningen (Jönsson 1992). De ekonomiska konsekvenserna har dock, åtminstone periodvis, varit stora, särskilt under de extrema vinderosionsåren 1974 och 1984, då även leriga jordar eroderades utöver sandiga och siltiga jordar (Jönsson 1992). År 1984 ledde vinderosionen till att 9 % av sockerbetornas areal i Skåne såddes om, och kostnaden för en erosionshändelse översteg 60 miljoner kronor (Jönsson 1992, justerat för inflation till 2025). Nihlén (1990) rapporterade också om ett minskat innehåll av organiskt material i vindutsatta jordar. Fotografiska bevis på aktiv vinderosion i Bärring m.fl. (2003) kompletteras med flygfotografier av vinddrivna sandlober som sträcker sig över hundratals meter av plöjda åkrar i Jönsson (1992). Såvitt vi vet har det inte bedrivits någon forskning om vinderosion av odlade fält i Skåne under de senaste 23 åren (sedan Bärring m.fl. 2003), även om anekdotiska bevis tyder på att det fortfarande är en aktiv process.

När det gäller **människors hälsa** finns det inga kända säkra nivåer för fina partiklar i luften (EU-direktiv 2008). Detta kräver generella minskningar av mängden luftburna partiklar, inklusive

införandet av gränsvärden för att säkerställa miniminivåer av människors hälsa. I Sverige, är den dagliga gränsen för partiklar (PM<sub>10</sub> och PM<sub>2,5</sub>) enligt *EU-direktivet 2008/50/EG om skydd av människors hälsa och miljön* 50 µg m<sup>-3</sup> och 25 µg m<sup>-3</sup>. Motsvarande årsmedelvärde är 40 µg m<sup>-3</sup> (PM<sub>10</sub>) och 24 µg m<sup>-3</sup> (PM<sub>2,5</sub>) men det finns ett förslag om att dessa värden ska sänkas till 20 µg m<sup>-3</sup> och 10 µg m<sup>-3</sup>, respektive, till 2030 (EU 2024). Varje minskning av mängden fina partiklar i atmosfären är fördelaktig och ju lägre mängd desto bättre.

Vinderosion av jordbruksmark är känd för att vara en viktig källa till luftburet fina partiklar i andra länder (Tong m.fl. 2023). Därför kan det vara **viktigt att bedöma hur mycket det damm som eroderats av vinden från jordbruksmark bidrar till luftburet fina partiklarna på lokal och regional nivå inom Sverige**. De viktigaste källorna till partiklar i Sverige är antropogena föroreningar från vägtrafik och andra former av transporter, industrier och stora energi- och värmeproducenter samt uppvärmningsanläggningar i bostäder (Rittner m.fl. 2020). I Skåne blåser dessa föroreningar också över från Danmark (Rittner m.fl. 2020). Modellering, begränsad till januari och juli, visar att luftburet PM<sub>10</sub> och PM<sub>2,5</sub> i Skåne är som högst på vintern, då de också kan överskrida de rekommenderade dagliga gränserna i stadsområden och längs större motorvägar (Rittner m.fl. 2020). Viktiga frågor är hur mycket vinderosion av jordbruksmark periodvis bidrar till denna partikelhalt, särskilt under våren (bar jordbruksmark och vinterdäck), och över vilken rumslig skala kan detta bidrag vara viktigt? Även om vinderoderat damm inte överskrider dagliga gränsvärden, eller endast gör det lokalt eller under korta perioder, kan det bli viktigt när det kombineras med andra partiklar som ingår i antropogena föroreningar.

**Åtgärder:** Eftersom det inte har bedrivits någon forskning om vinderosion på svenska åkrar under de senaste två decennierna, och eftersom den akademiska litteraturen före det var sparsam, är det nästan helt oklart vilka åtgärder som har vidtagits och hur effektiva de har varit. Som svar på vinderosionen på åkrarna på 1940-talet väcktes ett intresse för vindskyddsplanteringar. Trots forskning om att anpassa danska vindskyddsmetoder till Skåne (Petersson 1947, Svensson 1960, och Hedenskog 1962, citerade i Jönsson 1992) etablerades aldrig vindskydd i någon större utsträckning av skäl som fortfarande är oklara.

**Konserverande jordbearbetningsmetoder**, inklusive reducerad jordbearbetning och bibehållande av stubb, har identifierats som mycket effektiva strategier för att mildra naturlig och jordbearbetningsrelaterad vinderosion (Pimentel m.fl. 1995, Lyon & Smith 2010, Tong m.fl. 2023). De fungerar genom att etablera och bibehålla vegetationsskydd, producera stabila jordklumpar eller aggregat på markytan och göra marken ojämn. Ett exempel från en halvtorr region i Kina visar att bibehållande av stubbtäcke kan uppnå en genomsnittlig vinderosionsmotståndseffektivitet på över 74 %, vilket effektivt skyddar utsatta jordar i denna region (Tong m.fl. 2023). Reducerad jordbearbetning praktiseras i Skåne, där införandet av dessa metoder påverkas av gårdens storlek, jordtyp (det är mer sannolikt på lerjord), växtföljd och jordbrukarnas utbildning, även om den rapporterade studien inte nämner att minskad vinderosion är ett mål för dessa metoder (Hydbom m.fl. 2020). Cirka 20 % av den odlade åkermarken i Sverige är föremål för reducerad jordbearbetning och ingen jordbearbetning (Eurostat 2013), vilket är ungefär genomsnittet för Europeiska unionen. Det är dock oklart om det används som en strategi för att minska vinderosion och hur effektivt det är för att bekämpa vinderosion under svenska förhållanden.

En strategi för att bekämpa vinderosion är att sprida stallgödsel på vindutsatta jordar. Enligt muntliga källor från en jordbrukare nära Lund (Ola Drevås, personlig kommunikation april 2025; fig. 2) fungerar stallgödsel som ett skyddande marktäcke som sprids på kala, torra sand- och siltjordar på våren om väderprognosen visar på vindar (kontinuerliga eller byar) över 15 m s<sup>-1</sup>. Det är oklart hur utbredd denna praxis är och det saknas mätningar av dess effektivitet i

bekämpningen av vinderosion. Det verkar också som om gödselmängderna skulle räcka för att skydda områden på endast några hektar per gård, snarare än stora ytor av utsatta jordar.

## Vinderosion av jordbruksmark i andra delar av Sverige

Det finns inga dokumenterade uppgifter om vinderosion av odlad mark någon annanstans i Sverige. Därför har man antagit att vinderosion inte är ett viktigt problem. Muntliga källor tyder dock på att vinderosion också påverkar odlingsmark utanför Skåne. Till exempel observerades vinderosion av odlingsmarker som utvecklats i sandjordar längs Hallands kust generera en sandstorm som skapade svåra körförhållanden längs motorväg E6 i april 2019 (Bradley W. Goodfellow, personlig observation). Och den 6 april 2026 orsakade vinderosion av postglacial sand en sandstorm som ledde till en farligt minskad sikt på E22 nära Sölvesborg i Blekinge. Detta resulterade i en olycka med 13 bilar, och 5 personer fördes till sjukhus (SVT-nyhet 6 april 2026). Vinderosion av odlingsmark som utvecklats på torv har också observerats på Gotland i sådan utsträckning att dyner bildats av omlagrad torv (rapporterat till Gustav Sohlenius, SGU, vid Kungl. Skogs- och Lantbruksakademien, maj 2025). Även sanddyner på Gotland blev aktiva på 1700-talet efter att markanvändningen förändrats. Åkermark var lokalt överbelastat innan stabiliseringen, som slutfördes i början av 1900-talet (Länsstyrelsen Gotlands län 2026). Även om den inte odlas utsätts vegetationen som växer på omfattande sandjordar i norra Sverige ofta för intensiv betesprens från renar, vilket gör sandjordarna sårbara för vinderosion, som kan förvärras med den pågående globala uppvärmningen. Intensivt odlade regioner genom västra Götaland och Uppsala län är ofta belägna på finkorniga jordar i platta, öppna landskap som kan bli mer sårbara för vinderosion på grund av global uppvärmning. Bedömningar av vinderosion av odlade fält krävs på nationell nivå, snarare än att enbart fokusera på Skåne. Dessa bedömningar bör omfatta klimat-, mark-, landskaps- och markanvändningsfaktorer samt hur sårbarheten för vinderosion kan förändras med den globala uppvärmningen. Detta kommer att bli ett krav i ett nytt markdirektiv (EU:s markövervakningslag 2025) att bedöma och mildra vinderosion som en viktig del av hållbar markförvaltning.

## Online-resurser

Följande sex online-resurser tillhandahåller information som är relevant för bedömningen av vinderosion på odlingsmark i Sverige:

- <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/vind/vad-ar-en-vindros>  
Vindrosor visar vindriktningar och vindhastigheter under valda tidsintervall.
- <https://www.smhi.se/data/hitta-data-for-en-plats/ladda-ner-vaderobservationer/wind>  
Denna webbplats tillhandahåller data för Sverige om den viktigaste klimatfaktorn för vinderosion.
- <https://apps.sgu.se/kartvisare-jordarter-25-100.html>  
Denna webbplats visar den nationella jordkartan för Sverige och är därmed en viktig källa för att identifiera områden med sandiga och finkorniga jordar som kan vara utsatta för vinderosion.

- <https://experience.arcgis.com/experience/24971f87bc4f46a48b7970d3133262de?org=gis-slu> Lerhaltskartan. Denna digitala åkermarkskarta omfattar all jordbruksmark i södra Sverige, upp till och med Hälsingland, och har tagits fram av Sveriges lantbruksuniversitet (SLU) i samarbete med SGU.

Jämfört med andra jordartskartor redovisar den digitala åkermarkskartan betydligt mer detaljerad information om åkermarkens textur (kornstorleksfördelning), vilket möjliggör en rad användningsområden. Mer leriga jordar är mindre känsliga för vinderosion än sandiga och siltiga jordar, men kan bidra till dammbelastningen i atmosfären (Jönsson 1992, Goossens m.fl. 2001). Denna karta visar detaljerade kornstorleksfördelningar och jordklassificeringar enligt kornstorlek, vilket är användbart för att fastställa riskområden för vinderosion.

- <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/hydrologi/vattenbalans-och-vattnets-kretslopp/markvatten>

Markvattenhalten är ett mått på markens fuktighet från markytan ner till grundvattnet. Detta är relevant för att fastställa markens känslighet för vinderosion (torra jordar bidrar till ökad risk).

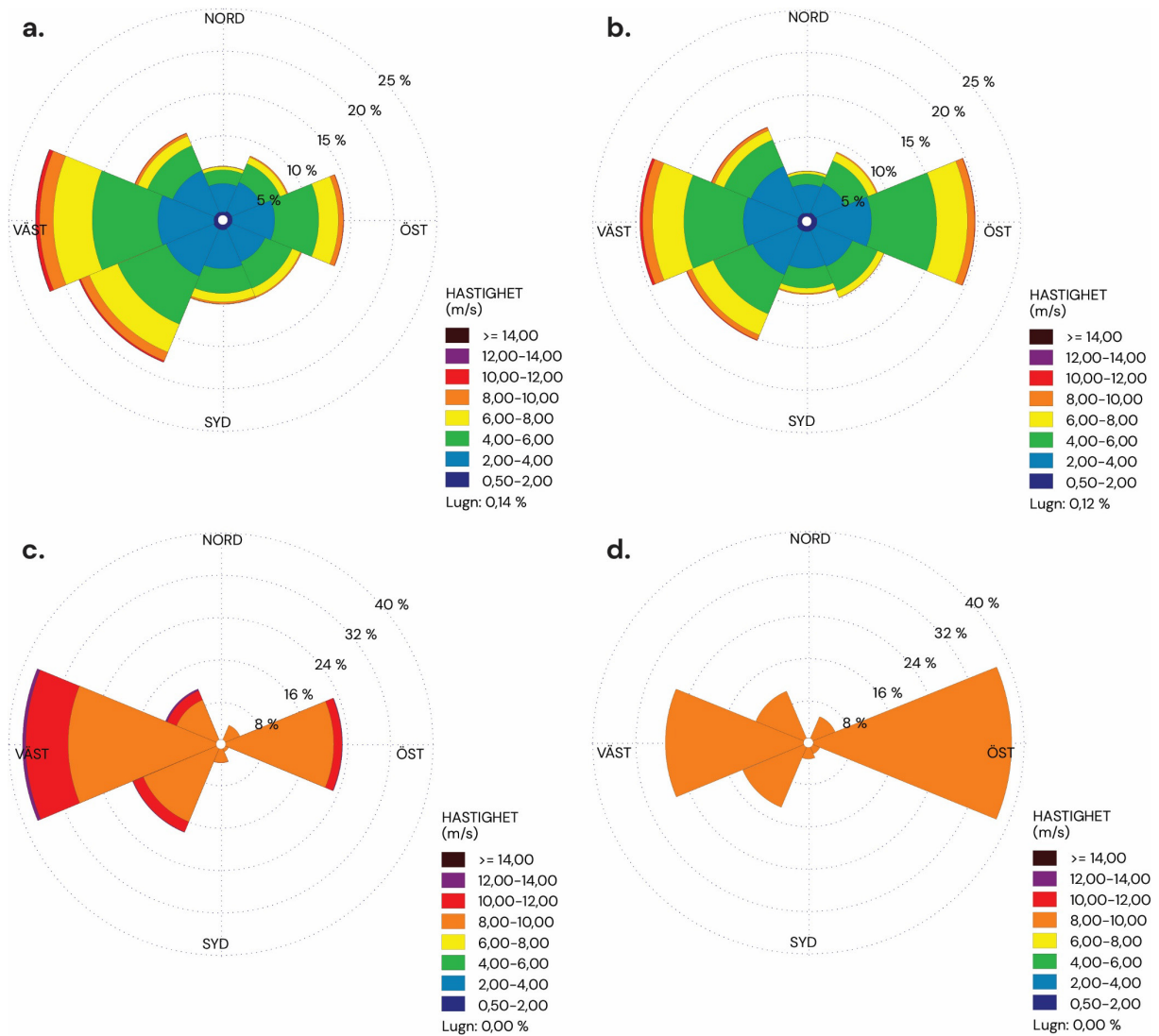
- <https://www.slu.se/institutioner/skogens-ekologi-skotsel/forskning2/markfuktighetskartor/> SLU Soil Moisture Map är en högupplöst karta som visar markfuktighet på en skala från 0 till 100, där låga värden indikerar torr jord och höga värden indikerar våt jord. Markfuktighetskartorna är beräknade med artificiell intelligens. SLU:s Markfuktighetskarta är i första hand för användning vid skogsplanering, men kan även ha andra användningsområden.

## Vindrosanalys, Knivsåsen, Skåne, baserad på ERA-data 1940–2025

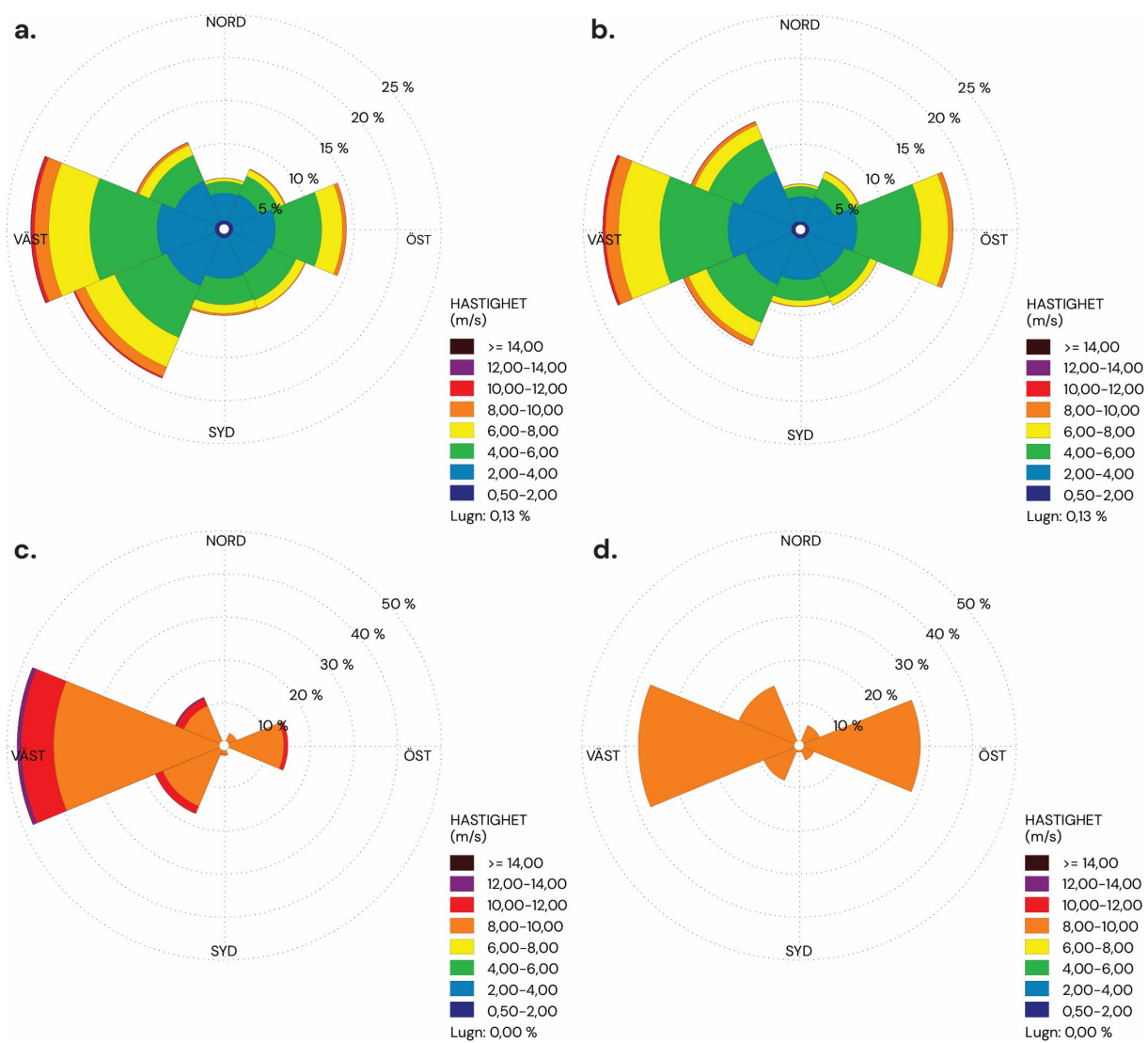
Vindrosorna visar vindriktningsförhållanden fördelat på 8 vindriktningar och 8 vindhastighetsklasser förutom lugnt (0–0,5 m/s). Underlaget till vindrosorna är timvis data 1940–2024 uttaget för Knivsåsen (lat 55.6547, lon 13,4064) från återanalysdatasetet ERA5 (Copernicus Climate Change Service 2025) Rumslig upplösning för datasetet är 0,25° x 0,25° och data tas från närmaste gridpunkt från angivna koordinater. Vinden som anges är 10 minuters medelvind och gäller på 10 m höjd över mark. I de fall vårperioden analyserats har data för 1 mars–30 juni använts. Som kraftiga vindar har vindar på minst 8 m s<sup>-1</sup> analyserats medan för torra förhållanden har tillfällena med mindre än totalt 1 mm nederbörd de senaste 12 timmarna använts.

Vindriktningen anger den riktning varifrån vinden kommer. Ringar som visar andel av tiden i procent finns utritade. Vindhastighetsklasserna förklaras i figurerna.

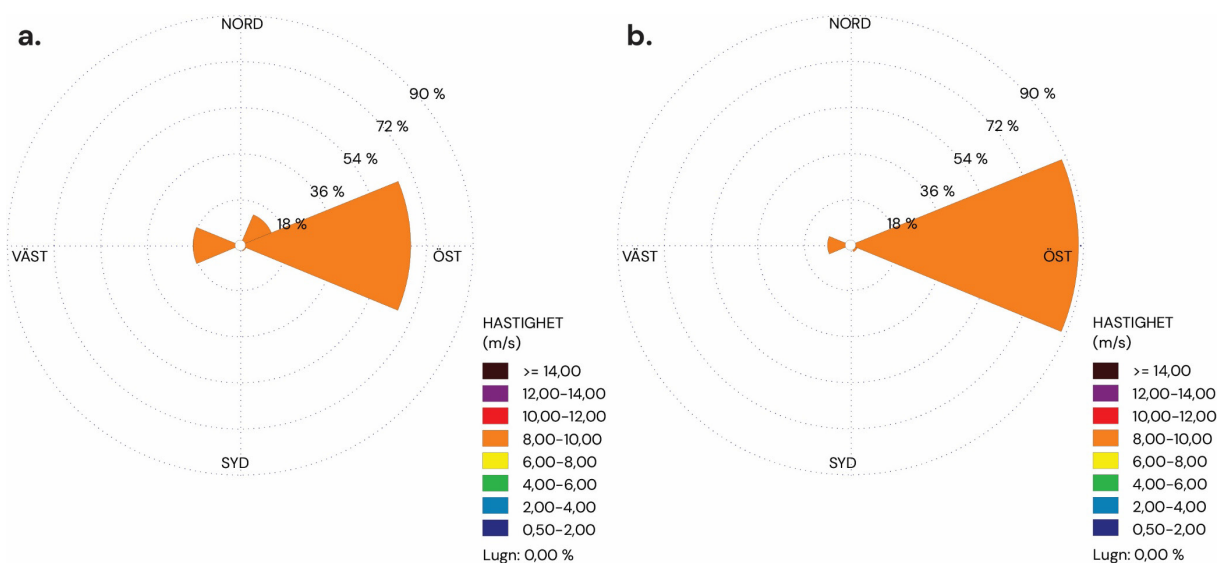
- Vindrosorna visar mindre förändringar under perioden 1991–2020 jämfört med 1961–1990 (fig. 5 och 6).
  - Det finns knapp märkbar ökning av vindar från sydväst sett över hela året och en minskning med några procent av vindar från ost och nordost under vårperioderna.
  - Starka vindar ( $\geq 8 \text{ m s}^{-1}$ ) från ost under vårperioderna har minskat från ~22 % till ~15 % och från 36 % till 28 % under torra perioder ( $< 1 \text{ mm 12-h}^{-1}$ ). Däremot har starka vindar från väst under torra vårperioder ökat från 26 % till 36 %.
- Under de exceptionella erosionsåren 1974 och 1984 blåste starka torra vindar från ost ~65 % respektive ~88 % av tiden (fig. 7).
- Under våren 2025 däremot var vindar från väst dominerande (fig. 8).
- Sammanfattningsvis har vindklimatet i Knivsåsen under perioden 1991–2020 förändrats något jämfört med 1961–1990, med den viktigaste skillnaden att det nu är vanligare med starka torra vindar från väster än från öster.



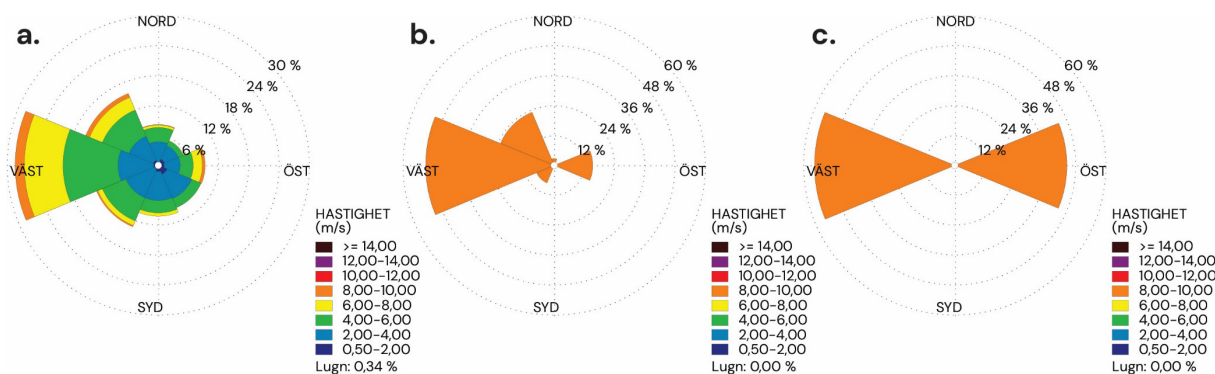
**Figur 5.** Vindrosor för 1961–1990. (a) Helår (b) Mars–juni (c) Mars–juni,  $\geq 8 \text{ m s}^{-1}$  (d) Mars–juni,  $\geq 8 \text{ m s}^{-1}$  och  $< 1 \text{ mm } 12\text{-h}^{-1}$ .



Figur 6. Vindrosor för 1991–2020. (a) Helår (b) Mars-juni (c) Mars-juni,  $\geq 8 \text{ m s}^{-1}$  (d) Mars-juni,  $\geq 8 \text{ m s}^{-1}$  och  $< 1 \text{ mm } 12\text{-h}^{-1}$ .



Figur 7. Vindrosor för exceptionella erosionsår, 1974 och 1984 (Jönsson 1992). (a) Mars-juni 1974,  $\geq 8 \text{ m s}^{-1}$  och  $< 1 \text{ mm } 12\text{-h}^{-1}$  (38 timmars data) (b) Mars-juni 1984,  $\geq 8 \text{ m s}^{-1}$  och  $< 1 \text{ mm } 12\text{-h}^{-1}$  (33 timmars data).



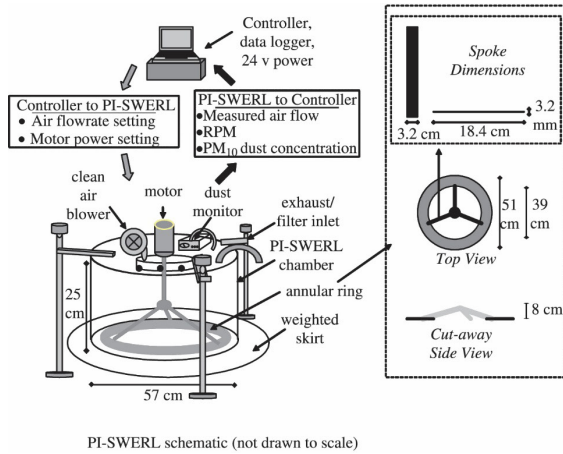
**Figur 8.** Vindrosor för våren 2025. (a) Mars-juni (b) Mars-juni,  $\geq 8 \text{ m s}^{-1}$  (c) Mars-juni,  $\geq 8 \text{ m s}^{-1}$  och  $< 1 \text{ mm } 12\text{-h}^{-1}$  (36 timmars data).

## Rekommenderat protokoll för övervakning av vinderosion på odlingsmark

I många fall bedöms jordbruksmarkens känslighet för erosion på regional nivå med hjälp av den reviderade vinderosionsformeln (RWEQ; Borrelli m.fl. 2017, Du m.fl. 2022, Han m.fl. 2023). Lokal kunskap bör dock beaktas vid förfining av dessa uppskattningar på lokal nivå. En plats som kan vara väl lämpad för att bedöma vinderosion på lokal skala är söder om Björnstorp i Skåne (fig. 4). Här förekommer sandiga, siltiga och leriga jordar i nära anslutning till varandra och är därmed utsatta för nästan identiska meteorologiska förhållanden. Känsligheten för vinderosion kan bedömas på alla tre jordarna (streckad rektangel i figur 4). Följande protokoll rekommenderas för övervakning av jordbruksmark som är känslig för vinderosion.

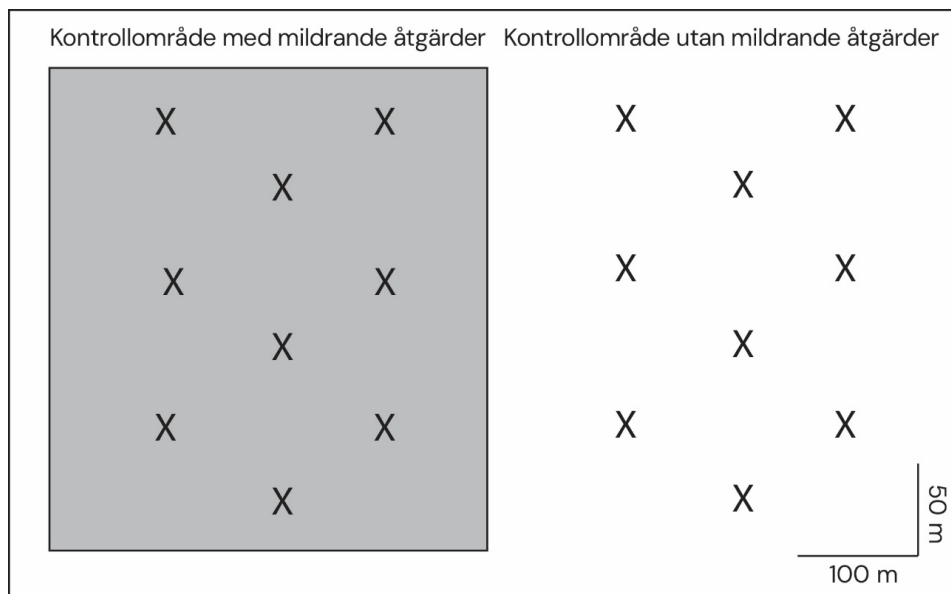
1. Drönbaserade lidar-undersökningar av övervakningsområden i centimeterskala kopplade till markanvändningsperioder/växstsäsonger (det vill säga på våren för grödor före grodd och efter skörd, och kopplade till specifika arbeten såsom plöjning). Den planerade storleken på övervakningsområdet borde vara  $\sim 200 \times 200 \text{ m}$ , men skanningar med lägre upplösning över större områden kan vara både användbara och genomförbara. Detta möjliggör:
  - a. Mätning av  $\text{m}^{-1}$ -till- $\text{m}^{-1}$ -skaliga mönster av förändringar i jordbruksmarkens yta för att bedöma absolut erosion.
  - b. Koppling av erosion till specifika markanvändningsaktiviteter eller säsongsbetonade miljöer (för att bedöma orsakssamband).
  - c. Bedömning av effektiviteten hos åtgärder för att mildra effekterna, såsom vindskydd (vegetation), nät, gödselskydd, över jordbruksmark.
2. Testning av ytors känslighet för eolisk jorderosion/sedimentutsläpp i övervakningsområden med hjälp av ett PI-SWERL®-instrument (fig. 9). PI-SWERL kan användas vid flera (10 s) upprepade punkter över ett specifikt studieområde och kan upprepas flera gånger under en säsongscykel (Cui m.fl. 2019). Detta gör det möjligt att identifiera:
  - a. Områden som är mest känsliga för erosion.
  - b. Kornstorlek och sammansättningsegenskaper hos utsläppta partiklar över tid och rum (för att bedöma hälso- och miljöeffekter i medvind).

- c. Variationer i eolisk erosion med markanvändning (för att bedöma orsakssamband).
- d. Variationer i eolisk erosion med säsongsbetonad miljö (för att bedöma orsakssamband)
- e. Effekter av åtgärder för att minska erosionspotentialen på  $m^{-1}$ -till- $m^0$ -skalan.



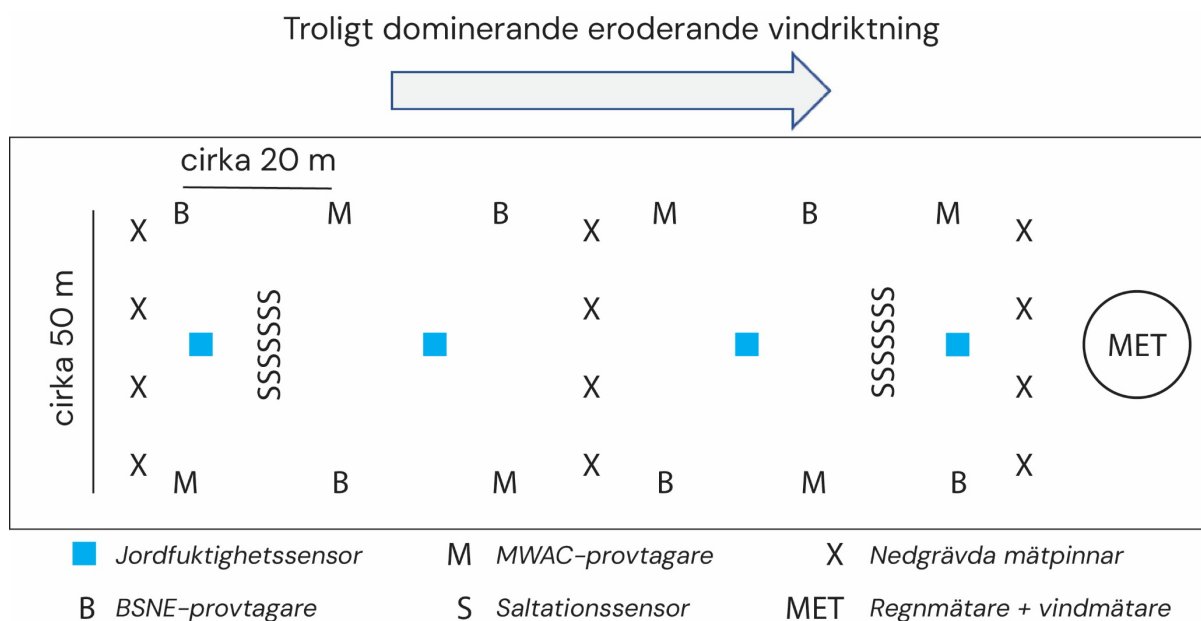
**Figur 9.** Schematisk bild och foto av PI-SWERL. Instrumentet genererar virvlar och mäter utsläppsmängder och partikelstorlekar. Källa: Etyemezian m.fl. (2007) och Cui m.fl. (2019).

3. Övervakning av erosion i realtid med hjälp av ett nätverk av höjdmarkerade pålar som slås ner i marken. Detta skulle göras genom regelbundna (veckovisa) mätningar under en hel säsong, helst även under odlingsperioden. Detta möjliggör:
  - a. Markkontroll av lidar-undersökningar av markytor.
  - b. Tillämpning i riktade experiment om effektiviteten av begränsningsåtgärder (fig. 10).



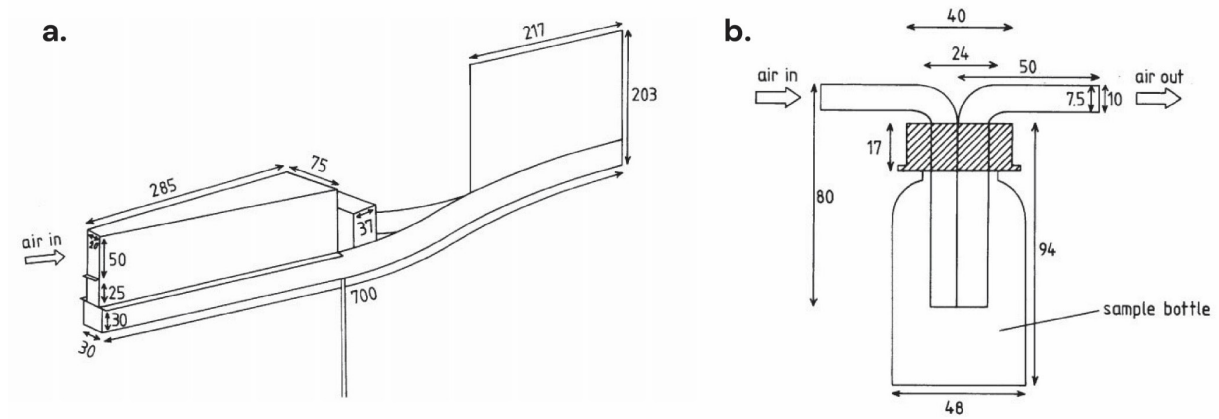
**Figur 10.** Schematisk bild av uppställningen av nätverket av märkta mätpinnar (X) som slagits ner i ett jordbruksförsöksområde bestående av en zon med mildrande åtgärder och ett kontrollområde utan åtgärder. Området övervakas med regelbundna (cirka veckovisa) intervall med höjdmarkeringar på markytan som mäts på pinnarna. Fördelen med denna uppställning är att den enkelt kan övervakas av jordbruksarbetare.

4. Övervakning av sedimenttransport i realtid med hjälp av passiva damm- och sandprovare, saltationssensorer, vindmätare, jordfuktighets- och temperaturmätare samt en regnmätare. Se figur 11 för experimentuppställningen i fält. Detta inkluderar:
- Ett nätverk av passiva damm- och sandprovare för att mäta sedimenttransport över övervakningsplatsen i realtid (MWAC-damm- och BSNE-sandprovare; figur 12).
  - Ett nätverk av saltationssensorer (till exempel SalDecS; figur 13) kopplade till vindmätare och regnmätare på plats för att övervaka faktisk sedimentrörelse och väderförhållanden i realtid.
  - Matematisk modellering med hjälp av data från uppsamlarna och sensorerna för att uppskatta flödet av sand- och dammtransport rumsligt över  $m^0$  till  $m^2$ , eller mer, och över tid på en plats.
  - Samanalys av lokala meteorologiska data, sedimenttransport och regionala data från SMHI:s väderstationer för att undersöka tidpunkten och orsakerna till erosionshändelser, samt specifika effekter.
  - Analys av partikelstorlekarna hos eroderat material i en lasergranulometer (till exempel Malvern Panalytical instruments) för att fastställa möjliga hälso- och miljöeffekter i vindriktningen.

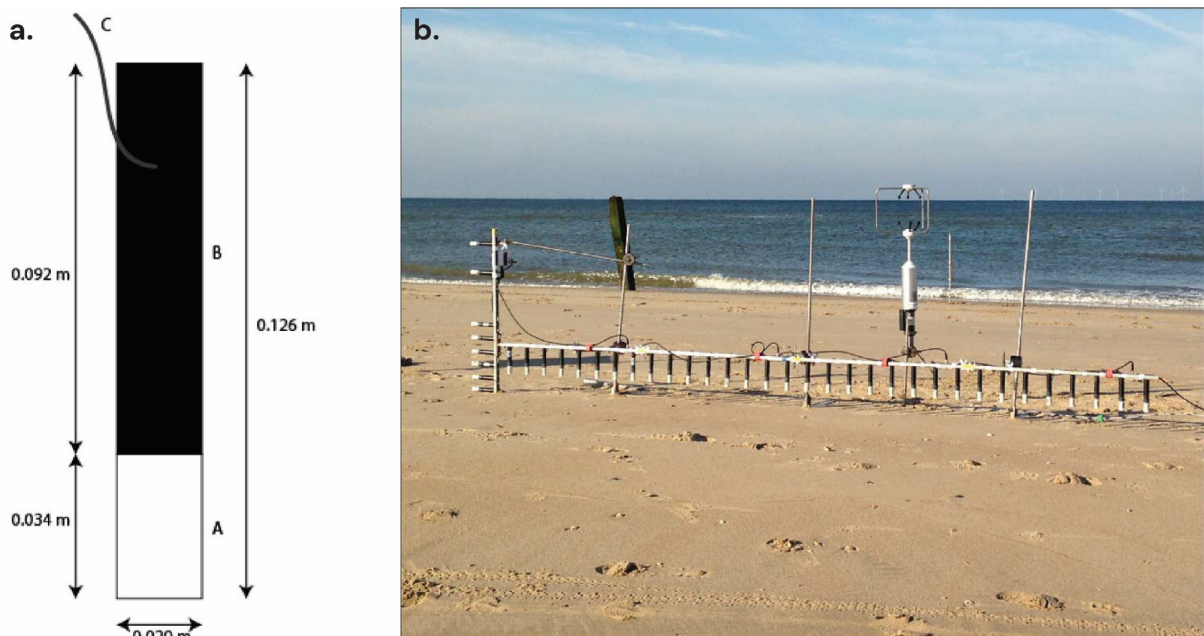


**Figur 11.** Exempel på övervakningsuppställning i ett jordbruksområde som är känsligt för erosion. BSNE = Big Spring Number Eight, MWAC = Modified Wilson and Cooke (fig. 12).

5. Data och analysresultat från ovanstående, i kombination med specifika experiment om åtgärdernas effektivitet (fig. 9), möjliggör rekommendationer för åtgärder för att minska jordförlusten från jordbruksmark i Sverige. Dessa åtgärder förbättrar också jordbruksmarkens motståndskraft mot global uppvärmning.



**Figur 12.** Exempel på damm- och sandprovtagare som ska användas (konstruktionsscheman). **(a)** Big Spring Number 8-provtagare (BSNE). **(b)** Modifierad Wilson- och Cooke-provtagare (MWAC). Källa: Goossens och Offer (2000).



**Figur 13.** Exempel på saltationssensorer och inställningar för användning. **(a)** Schematisk utsida av ett kostnadseffektivt saltationsdetekteringssystem (SalDecS) där A är sensorhuvudet. **(b)** Experimentell inställning med en horisontellt orienterad matris med 32 sensorer med 10 cm mellanrum och en vertikal matris (till vänster) med 8 sensorer. En vindmätare ingår i uppställningen. Källa: de Winter m.fl. (2018).

# Referenser

- Bartkowski, B., Schepanski, K., Bredenbeck, S., Müller, B., 2022: Wind erosion in European agricultural landscapes: More than physics. *People and Nature* 5, 34–44. doi.org/10.1002/pan3.10418
- Borrelli, P., Lugato, E., Montanarella, L. & Panagos, P., 2017: A new assessment of soil loss due to wind erosion in European agricultural soils using a quantitative spatially distributed modelling approach. *Land Degradation and Development* 28, 335–344. //doi.org/10.1002/ldr.2588
- Bragazza, L., Buttler, A., Habermacher, J., Brancaleoni, L., Gerdo, R., Fritze, H., Hanajik, P., Laiho R. & Johnson, D., 2012: High nitrogen deposition alters the decomposition of bog plant litter and reduces carbon accumulation. *Global Change Biology* 18, 1163–1172. doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02585.x
- Bärring, L., Jönsson, P., Mattsson, J.O. & Åhman, R., 2003: Wind erosion on arable land in Scania, Sweden and the relation to the wind climate—a review. *Catena* 52, 173–190. doi.org/10.1016/S0341-8162(03)00013-4
- Böhner, J., Schäfer, W., Conrad, O., Gross, J. & Ringeler, A., 2003: The WEELS model: methods, results and limitations. *Catena* 52, 289–308. doi.org/10.1016/S0341-8162(03)00019-5
- Copernicus Climate Change Service, 2025: ERA5 hourly time-series data on single levels from 1940 to present. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS). URL: <https://cds.climate.copernicus.eu/datasets/reanalysis-era5-single-levels-timeseries> åtkommen 8 april 2025
- Cui, M., Lu, H., Wiggs, G.F.S., Etyemezian, V., Sweeney, M.R. & Xu, Z., 2019: Quantifying the effect of geomorphology on aeolian dust emission potential in northern China *Earth Surface Processes and Landforms* 44, 2872–2884. doi.org/10.1002/esp.4714
- de Wintera, W., Dama, D.B., Delbecq, N., Verdoodt, A., Ruessink, B.G. & Sterka, G., 2018: Measuring high spatiotemporal variability in saltation intensity using a low-cost Saltation Detection System: Wind tunnel and field experiments. *Aeolian Research* 31, 72–81. doi.org/10.1016/j.aeolia.2017.11.003
- Deryugina, T., Heutel, G., Miller, N.H., Molitor, D. & Reif, J., 2019: The mortality and medical costs of air pollution: Evidence from changes in wind direction. *American Economic Review* 109, 4178–4219. doi.org/10.1257/aer.20180279
- Du, H., Liu, X., Jia, X., Li, S. & Fan, Y., 2022: Assessment of the effects of ecological restoration projects on soil wind erosion in northern China in the past two decades. *Catena* 215, 106360. doi.org/10.1016/j.catena.2022.106360
- Ekström, M., Jönsson, P. & Bärring, L., 2002: Synoptic patterns associated with major wind erosion events in southern Sweden (1973–1991). *Climate Research* 23, 51– 66.
- EU, 2024. Proposal for a directive of the European Parliament and of the council on ambient air quality and cleaner air for Europe (recast)(2022/0347(COD)).
- EU Directive, 2008: *on ambient air quality and cleaner air for Europe*. Official Journal of the European Union, 152 s. <eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0050> åtkommen 27 mars 2026
- EU Directive, 2025: *Soil monitoring law*. Official Journal of the European Union 2025/2360, 56 s. <http://data.europa.eu/eli/dir/2025/2360/oj > åtkommen 27 mars 2026
- Guoli, G., Jiyuan, L., Quanqin, S. & Jun, Z., 2014: Sand-fixing function under the change of vegetation coverage in a wind erosion area in northern China. *Journal of Resources and Ecology* 5, 105–114. doi.org/10.5814/j.issn.1674-764x.2014.02.002
- Goossens, D. & Offer, Z.Y., 2000: Wind tunnel and field calibration of six aeolian dust samplers. *Atmospheric Environment* 34, 1043–1057.

- Goossens, D., Gross, J. & Spaan, W. 2001: Aeolian dust dynamics in agricultural land areas in Lower Saxony, Germany. *Earth Surface Processes and Landforms* 26, 701–720.
- Han, Y., Zhao, W., Zhou, A. & Pereira, P., 2023: Water and wind erosion response to ecological restoration measures in China's drylands. *Geoderma* 435, 116514. doi.org/10.1016/j.geoderma.2023.116514
- Hedenskog, T., 1962: Vindskydd. Några erfarenheter från mångåriga häckförsök. Wind erosion. Experiments with hedges. *Statens Jordbruksförsök, Meddelande Nr. 133*, 34 s. (engelsk sammanfattning)
- Hydbom, S., Alkan Olsson, J. & Olsson, P.A., 2020: The use of conservation tillage in an agro-intensive region: results from a survey of farmers in Scania, Sweden. *Renewable Agriculture and Food Systems* 35, 59–68. doi.org/10.1017/S174217051800025X
- Jorderosionskommittén, 1950: *Betänkande med förslag till intensifierade åtgärder för sand- och jordflyktens bekämpande avgivet av 1949 års jorderosionskommitté*. Stockholm. 185 s.
- Jorderosionskommittén, 1957: Markvård och erosionsskydd: betänkande avgivet av 1949 års jorderosionskommitté. *Statens Offentliga Utredningar No. 1957:17*, Stockholm. 82 s.
- Jönsson, P., 1992: Wind erosion on sugar-beet fields in Scania, southern Sweden. *Agricultural and Forest Meteorology* 62, 141–157.
- Kohfeld, K.E. & Harrison, S.P., 2001: DIRTMAP: the geological record of dust. *Earth-Science Reviews* 54, 81–114.
- Lal, R., 1994: Soil erosion by wind and water: problems and prospects, in: *Soil Erosion Research Methods* (2<sup>nd</sup> edition) edited by R. Lal, pp 1–9, Routledge, New York.
- Leys, J. & McTainsh, G., 1994: Soil loss and nutrient decline by wind erosion—cause for concern. *Australian Journal of Soil and Water Conservation* 7, 30–35.
- Lyon, D.J. & Smith J.A., 2010: *Wind erosion and its control*. NebGuide, University of Nebraska, USA, 4 s.
- Länsstyrelsen Gotlands län, 2026: Besöksmålet Ullahau. <<https://www.lansstyrelsen.se/gotland/besoksmal/naturreservat/ullahau.html>> åtkommen 27 mars 2026.
- Mattsson, J.O., 1987: Vinderosion och klimatändringar. Kommentarer till 1700-talets ekologiska kris i Skåne. Wind erosion and climatic change. Comments on the ecological crisis of Skåne during the 18th century. *Swedish Geographical Yearbook* 63, 94–108. (engelsk sammanfattning)
- Nihlén, T., 1990: Eolian processes in southern Scandinavia and the Mediterranean area. *Meddelanden från Lunds universitets Geografiska Institutioner, avhandlingar 110*. Lund University Press, 86 s.
- Petersson, G., 1947: Vindens skadegörelse på åkerjord i södra Sverige. Några förslag till stoftflyktens begränsning. Damage done by wind to agricultural land in southern Sweden. A few suggestions towards the limitation of soil drifting. *Statens Jordbruksförsök, Meddelande Nr. 20*, 52 s. (engelsk sammanfattning)
- Pimentel, D., Harvey, C., Resosudarmo, P., Sinclair, K., Kurz, D., McNair, M., Crist, S., Shpritz, L., Fitton, L., Saffouri, R. & Blair, R., 1995: Environmental and Economic Costs of Soil Erosion and Conservation Benefits. *Science* 267, 1117–1222.
- Proestakis, E., Amiridis, V., Pérez García-Pando, C., Tsyro, S., Griesfeller, J., Gkikas, A., Georgiou, T., Gonçalves Ageitos, M., Escribano, J., Myriokefalitakis, S., Bergas Masso, E., Di Tomaso, E., Basart, S., Stuut, J-B.W. & Benedetti A., 2025: Quantifying dust deposition over the Atlantic Ocean. *Earth System Science Data* 17, 4351–4395. doi.org/10.5194/essd-17-4351-2025
- Rasmusson, G., 1962: Sandstorm effects on arable land as seen on air photos. A study of a wind eroded area in the Vomb valley, Scania, Sweden. *Lund Studies in Geography, Ser. C, No. 3*, 23 s.

- Riksen, M.J.P.M. & De Graaff, J., 2001: On-site and off-site effects of wind erosion on European light soils. *Land Degradation and Development* 12, 1–11. doi.org/10.1002/ldr.423
- Rittner, R., Gustafsson, S., Spanne, M. & Malmqvist, E., 2020: Particle concentrations, dispersion modelling and evaluation in southern Sweden. *SN Applied Sciences* 2:1013. doi.org/10.1007/s42452-020-2769-1
- Sterk, G., Herrmann, L. & Bationo, A., 1996: Wind-blown nutrient transport and soil productivity changes in Southwest Niger. *Land Degradation and Development* 7, 325–335.
- Stevens, T., Sechi, D., Tziavaras, C., Schneider, R., Banak, A., Andreucci, S., Hättestrand, M. & Pascucci, V., 2022: Age, formation and significance of loess deposits in central Sweden. *Earth Surface Processes and Landforms* 47, 3276–3301. doi.org/10.1002/esp.5456
- Tong, D.Q., Gill, T.E., Sprigg, W.A., Van Pelt, R.S., Baklanov, A.A., Barker, B.M., Bell, J.E., Castillo, J., Gassó, S., Gaston, C.J., Griffin, D.W., Huneus, N., Kahn, R.A., Kuciauskas, A.P., Ladino, L.A., Li, J., Mayol-Bracero, O.L., McCotter, O.Z., Méndez-Lázaro, P.A., Mudu, P., Nickovic, S., Oyarzun, D., Prospero, J., Raga, G.B., Raysoni, A.U., Ren, L., Sarafoglou, N., Sealy, A., Sun, Z. & Vimic, A.V., 2023: Health and safety effects of airborne soil dust in the Americas and beyond. *Reviews of Geophysics* 61, e2021RG000763. doi.org/10.1029/2021RG000763
- Tong, X., Hao, B., Chen & Z. & Liu H., 2023: Wind erosion resistance effect of conservation tillage: The case of chestnut soil in Mongolian Plateau. *Revista Ciência Agronômica* 54, e20228408. doi: 10.5935/1806-6690.20230015
- Young, R.A., Olness, A.E., Mutchler, C.K. & Moldenhauer, W.C., 1985: Chemical and physical enrichments of sediment from cropland. In *Erosion and Soil Productivity*. American Society of Agricultural Engineers. Publication No. 8-85, 107–116.
- Zobeck, T.M. & Fryrear, D.W., 1986: Chemical and physical characteristics of windblown sediment II. Chemical characteristics and total soil and nutrient discharge. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 29, 1037–1041.
- Åhman, R., 1974: Vinderosion i Sydsåne. Wind erosion in southern Scania. *Swedish Geographical Yearbook* 50, 232–240. (engelsk sammanfattning)